

UNIVERSIDADE DE BURGOS
PROGRAMA INTERNACIONAL DE DOUTORADO
ENSINO DE CIÊNCIAS

Departamento de Didáticas Específicas



TESE DE DOUTORADO

**INTRODUÇÃO DE CONCEITOS DA TERMODINÂMICA
ATRAVÉS DA RESOLUÇÃO DE SITUAÇÕES E ANÁLISE DA
CONCEITUALIZAÇÃO À LUZ DA TEORIA DOS CAMPOS
CONCEITUAIS DE VERGNAUD**

EDI TEREZINHA DE OLIVEIRA GRINGS

Burgos, mayo de 2014.

UNIVERSIDADE DE BURGOS

PROGRAMA INTERNACIONAL DE DOUTORADO

ENSINO DE CIÊNCIAS

Departamento de Didáticas Específicas



UNIVERSIDADE DE BURGOS



UNIVERSIDADE FEDERAL DO
RIO GRANDE DO SUL

**INTRODUÇÃO DE CONCEITOS DA TERMODINÂMICA
ATRAVÉS DA RESOLUÇÃO DE SITUAÇÕES E ANÁLISE DA
CONCEITUALIZAÇÃO À LUZ DA TEORIA DOS CAMPOS
CONCEITUAIS DE VERGNAUD**

EDI TEREZINHA DE OLIVEIRA GRINGS

Tese de Doutorado realizada por **Edi Terezinha de Oliveira Grings**, para obtenção do grau de Doutora pela Universidade de Burgos, sob a orientação da Dra. **Concesa Caballero** e coorientação do Dr. **Marco Antonio Moreira**.

Burgos, mayo de 2014.

DEDICATÓRIA

***Ao meu pai e a minha mãe (in memoriam),
por terem passado a mim os valores
de solidariedade, justiça e honestidade.***

***Aos meus irmãos,
por terem me apoiado durante esta caminhada.***

***Ao meu querido marido,
por ter estado sempre ao meu lado.***

***Aos meus sobrinhos Júlia, Luísa, Lucas, Luiz Otávio e Nícolas,
por fazerem parte da minha vida.***

AGRADECIMENTOS

Aos meus orientadores, Profa. Dra. Concesa Caballero e Prof. Dr. Marco Antonio Moreira, pelo incentivo e dedicação durante esta caminhada.

Aos demais professores do Programa de Doutorado em Ensino de Ciências, pela transmissão de seus conhecimentos.

Aos colegas do Programa de Doutorado, pelo incentivado nesta trajetória.

Aos alunos da Fundação Liberato, por terem participado desta tese, respondendo questionários, realizando entrevistas e vivenciado a Proposta Didática desenvolvida.

Aos meus colegas da disciplina de Física, pelo apoio e as leituras dos textos de Física, principalmente ao professor Luís André pela revisão crítica da tese.

À direção da Fundação Liberato, por ter liberado horas de trabalho para que este sonho pudesse ser realizado.

A todas as pessoas e instituições que de alguma forma me apoiaram durante a realização desta tese.

RESUMO

Para fundamentar o trabalho desenvolvido, foi utilizado como aporte teórico principal a teoria dos campos conceituais de Vergnaud enriquecida pela visão de Greca e Moreira (2004), agregada às teorias da aprendizagem significativa de Ausubel e à teoria da mediação de Vygotsky, assim como a teoria epistemológica de Stephen Toulmin. Para Vergnaud (1993, p. 9), os conceitos estão constituídos por três conjuntos, um de situações que dão sentido ao conceito e constituem seu referente, outro de invariantes operatórios que lhes dão significado e um terceiro de representações simbólicas que compõem seu significante. Segundo este autor, o domínio de um campo conceitual é progressivo e leva muito tempo com sucessivas continuidades e rupturas. Já na visão epistemológica de Toulmin (1977), a construção de um conceito é concebida como um processo evolucionista. Na primeira etapa desta investigação foi realizado um estudo exploratório, visando identificar os significados atribuídos pelos estudantes a conceitos da Termodinâmica e diagnosticar indicadores de invariantes operatórios que poderiam explicar as dificuldades dos alunos nesta área do conhecimento. Dando continuidade ao trabalho e a partir dos resultados da etapa exploratória foi planejada uma investigação experimental constituída de cinco estudos, utilizando a metodologia didática proposta com a finalidade de facilitar a aprendizagem dos conceitos temperatura, calor, energia interna, trabalho e entropia. Esta proposta didática introduz os conceitos através de situações e foi aplicada nos alunos da 3ª série do ensino médio, da Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha, Novo Hamburgo, RS, Brasil. A partir da análise de dados registrados foram encontrados possíveis indicadores de invariantes operatórios, como por exemplo, quando expressam: “um corpo só aumenta sua temperatura se receber calor”, diagnosticado tanto no estudo exploratório como no estudo experimental. Durante o processo investigativo, constatou-se que os estudantes pensam que um corpo não possa variar sua temperatura sem receber ou ceder calor, da mesma forma opinam que um corpo não possa manter sua temperatura constante mesmo recebendo calor. Os conceitos foram introduzidos através de situações, segundo a metodologia didática e de acordo com Moreira (2004), que afirma que as situações são a porta de entrada

de um campo conceitual. Os estudantes mostraram uma atitude positiva em relação à metodologia proposta, e os resultados das avaliações mostram que as dificuldades não foram totalmente superadas, mas minimizadas. Na análise do processo de conceitualização, há evidências de que os estudantes utilizam os componentes de um esquema, tal como propostos por Vergnaud: inferências (INF), invariantes operatórios (IOP), antecipações (ANT) e regras de ação (REA). Há Indícios, também, da utilização de filiações (FIL), rupturas (RUP), esquemas (EPR) e esquemas em construção (ECO). Embora a metodologia didática tenha se mostrado satisfatória, sugere-se que o conjunto de situações seja ampliado, organizado por ordem de dificuldade e aplicado em outros campos conceituais.

Palavras-chave: conceitos termodinâmicos, invariantes operatórios, campos conceituais.

RESUMEN

Para fundamentar el trabajo desarrollado, se utilizó como aporte teórico principal la teoría de los campos conceptuales de Vergnaud enriquecida por la visión de Greca y Moreira (2004), junto con las teorías del aprendizaje significativo de Ausubel y a la teoría de la mediación de Vygotsky, así como la teoría epistemológica de Stephen Toulmin. Para Vergnaud (1993, p. 9), los conceptos están constituidos por tres conjuntos distintos, uno el de las situaciones que dan sentido al concepto y constituyen su referente, otro el de invariantes operatorios que dan significado y el tercero que lo forman las representaciones simbólicas que conforman su significante. Según este autor, el dominio de un campo conceptual es progresivo y dilatado del tiempo con sucesivas continuidades y rupturas. Desde la visión epistemológica de Toulmin (1977), se concibe también la construcción de un concepto como un proceso evolucionista. En la primera etapa de la investigación, se realizó un estudio exploratorio, con el objetivo de identificar los significados atribuidos por los estudiantes a los conceptos de la Termodinámica y diagnosticar indicadores de invariantes operatorios que podrían explicar las dificultades de los alumnos en esta área del conocimiento. A continuación y, de acuerdo a los resultados de la etapa exploratoria, se planificó una investigación experimental, constituida por cinco estudios, utilizando la metodología didáctica propuesta con la finalidad de facilitar a los estudiantes el aprendizaje de los conceptos temperatura, calor, energía interna, trabajo y entropía. Esta propuesta didáctica introduce los conceptos a través de situaciones y se aplicó a alumnos del 3º grado de la enseñanza secundaria de la Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha, Novo Hamburgo, RS, Brasil. A partir del análisis de los datos registrados, se han encontrado posibles indicadores de invariantes, como por ejemplo, cuando expresan que “un cuerpo solo aumenta su temperatura si recibe calor”, diagnosticado tanto en el estudio exploratorio como en el estudio experimental. Durante el proceso investigativo, se constató que los estudiantes piensan que un cuerpo no puede variar su temperatura sin recibir o ceder calor, de la misma forma que opinan que un cuerpo no puede mantener su temperatura constante incluso recibiendo calor. Los conceptos fueron introducidos a través de situaciones, según la metodología didáctica y de acuerdo

Moreira (2004), que afirma que las situaciones son la puerta de entrada de un campo conceptual. Los estudiantes mostraron una actitud positiva en relación a la metodología propuesta, y los resultados de las evaluaciones muestran que si bien las dificultades no fueron totalmente superadas, al menos sí minimizadas. En el análisis del proceso de la conceptualización, hay evidencias de que los estudiantes utilizan los componentes de un esquema, según lo propuesto por Vergnaud: inferencias (INF), invariantes operatorios (IOP), anticipaciones (ANT), reglas de acción (REA). Hay Indicios, también, de la utilización de filiaciones (FIL), rupturas (RUP), esquemas (EPR) y esquemas en construcción (ECO). Aunque la metodología didáctica se haya mostrado satisfactoria, se sugiere que el conjunto de situaciones sea ampliado, organizado por orden de dificultad y aplicado en otros campos conceptuales.

Palabras-clave: conceptos termodinámicos, invariantes operatorios, campos conceptuales.

ABSTRACT

To support this work it was used as main theoretical contribution the theory of conceptual fields of Vergnaud enriched by the vision of Greca and Moreira (2004), in addition to Ausubel's meaningful learning theory, and Vygotsky's theory of mediation, as well as the epistemological theory of Stephen Toulmin. To Vergnaud (1993, p. 9), the concepts consist of operational invariants, symbolic representations and the resolution of situations. According to this author, the domain of a conceptual field takes a long time, with advances and setbacks. In the epistemological view of Toulmin (Ibid.), the construction of a concept goes through an evolutionary process. In the first stage of this doctoral research, an exploratory study was made to identify the meanings assigned by students to concepts of Thermodynamics and to diagnose indicators of operational invariants that could explain the students' difficulties in this area of knowledge. Continuing the work and building on the results of the exploratory step it was planned a experimental investigation constituted of five studies, using a didactic methodology proposed in order to facilitate the learning of the concepts of temperature, heat, internal energy, work and entropy. This didactic proposal introduces the concepts through problem situations and was applied to High School students of the 3rd grade from Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha, Novo Hamburgo, RS, Brazil. From the analysis of recorded data, possible indicators of operational invariants have been found, for example, when expressing: "one body raises its temperature only when it gets heat", diagnosed both in the exploratory study and in the experimental study. During the investigative process, it was found that students do not believe that a body can vary its temperature without receiving or giving heat, likewise they do not believe that a body can maintain its temperature constant even when receiving heat. The concepts were introduced through problem situations as provided by the didactic methodology supported by Moreira (2004), when he says that the situations are the gateway to a conceptual field. The students showed a positive attitude to the proposed methodology and evaluation results have shown that the difficulties were not fully resolved, but minimized. In the analysis of the conceptualization process, there was evidence that students use the components of a scheme, as proposed by

Vergnaud: inferences (INF), operational invariants (IOP), anticipation (ANT), and action rules (REA). There was also evidence of the use of affiliations (FIL), ruptures (RUP), schemes (EPR), and schemes under construction (ECO). Although the didactic methodology has proved satisfactory, it is suggested that the set of situations must be expanded, organized in order of difficulty, and applied in other conceptual fields.

Keywords: thermodynamical concepts, operational invariants, conceptual fields.

ÍNDICE

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 25 |
| 2 | REVISÃO DE LITERATURA | 33 |
| 2.1 | Introdução | 33 |
| 2.2 | Revisão de artigos sobre análise de conceitos e livros didáticos | 35 |
| 2.4 | Comentários finais sobre a revisão de literatura | 60 |
| 3 | PRESSUPOSTOS TEÓRICOS | 65 |
| 3.1 | Introdução | 65 |
| 3.2 | Visões da formação de conceitos | 68 |
| 3.2.1 | Teoria clássica | 70 |
| 3.2.2 | Visão probabilística dos conceitos | 72 |
| 3.2.3 | Enfoques teórico e essencialista | 74 |
| 3.2.4 | Teoria neoclássica | 76 |
| 3.2.5 | Conclusão | 79 |
| 3.3 | Visão epistemológica da construção de conceitos – Stephen Toulmin | 80 |
| 3.3.1 | Conceitos | 80 |
| 3.3.2 | Mudança conceitual | 81 |
| 3.3.3 | Populações conceituais | 82 |
| 3.3.4 | Disciplina | 83 |
| 3.3.5 | Ciência | 85 |
| 3.3.6 | Racionalidade | 86 |
| 3.4 | Aquisição de conceitos | 88 |
| 3.4.1 | Introdução | 88 |
| 3.4.2 | Aprendizagem de conceitos segundo Vygotsky | 92 |
| 3.4.2.1 | Aquisição de conceito na visão de Ausubel | 98 |
| 3.4.2.2 | Formação de conceitos | 99 |
| 3.4.2.3 | Assimilação de conceitos | 101 |
| 3.4.3 | Aprendizagem significativa | 104 |
| 3.4.4 | Aquisição de conceitos na visão de Vergnaud | 107 |
| 3.4.4.1 | Campos conceituais | 107 |
| 3.4.4.2 | Conceitos | 108 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 3.4.4.3 | Situações..... | 109 |
| 3.4.4.4 | Esquemas..... | 110 |
| 3.4.4.5 | Invariantes operatórios | 112 |
| 3.4.4.6 | A teoria dos campos conceituais | 114 |
| 3.4.5 | Proposta de Greca e Moreira | 115 |
| 3.5 | Conclusão..... | 117 |
| 4 | FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA - CAMPO CONCEITUAL DA | |
| | TERMODINÂMICA – CCT..... | 121 |
| 4.1 | Introdução..... | 121 |
| 4.2 | Temperatura | 122 |
| 4.3 | Estudo dos Gases | 123 |
| 4.4 | Teoria Cinética dos Gases | 126 |
| 4.5 | Energia Interna | 129 |
| 4.6 | Calor | 130 |
| 4.6.1 | Capacidade térmica, calor específico e calor latente | 131 |
| 4.7 | Trabalho | 132 |
| 4.7.1 | Trabalho e calor nos processos termodinâmicos | 132 |
| 4.7.2 | Primeira Lei da Termodinâmica..... | 133 |
| 4.8 | Processos termodinâmicos e capacidade térmica molar..... | 134 |
| 4.8.1 | Capacidade térmica molar de um gás ideal..... | 134 |
| 4.8.1.1 | Capacidade térmica molar a volume constante..... | 134 |
| 4.8.1.2 | Capacidade térmica molar a pressão constante..... | 135 |
| 4.8.2 | Processo adiabático | 136 |
| 4.8.3 | Processo Isobárico | 138 |
| 4.8.4 | Processo isocórico..... | 138 |
| 4.8.5 | Processo isotérmico | 139 |
| 4.9 | Entropia e Segunda Lei da Termodinâmica..... | 139 |
| 4.9.1 | Máquina Térmica..... | 140 |
| 4.9.2 | Ciclo de Carnot..... | 142 |
| 4.9.3 | Escala termodinâmica de temperatura | 144 |
| 4.9.4 | Entropia | 145 |
| 5 | METODOLOGIAS | 151 |
| 5.1 | Metodologia da Pesquisa | 151 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 5.1.1 | Descrição da metodologia: | 153 |
| 5.1.2 | Instrumentos de coleta de dado | 153 |
| 5.1.3 | Contexto em que foi realizada a pesquisa | 155 |
| 5.2 | Metodologia de Ensino | 157 |
| 5.2.1 | Introdução | 157 |
| 5.2.2 | Objetivos da disciplina de física no desenvolvimento dos conceitos do CCT | 162 |
| 5.2.3 | - Descrição da metodologia de ensino utilizada no desenvolvimento do Campo Conceitual da Termodinâmica | 163 |
| 5.2.4 | Avaliação da utilização dos componentes de um conceito pelos estudantes | 168 |
| 6 | ESTUDO EXPLORATÓRIO | 171 |
| 6.1 | Introdução e métodos utilizados | 171 |
| 6.2 | Resultado da parte um | 176 |
| 6.3 | Resultado da parte dois | 184 |
| 6.4 | Resultado da parte três | 190 |
| 6.5 | Conclusão sobre o estudo exploratório | 210 |
| 7 | ESTUDOS EXPERIMENTAIS | 215 |
| 7.1 | Estudo Experimental I – Introdução do Conceito Temperatura | 215 |
| 7.1.1 | Metodologia | 215 |
| 7.1.2 | Apresentação e Discussão dos Resultados | 216 |
| 7.1.2.1 | Análise da discussão oral das situações sobre temperatura | 217 |
| 7.1.2.2 | Análise da discussão escrita das situações sobre temperatura | 227 |
| 7.1.2.3 | Análise por situação: | 227 |
| 7.1.3 | Análise dos resultados da avaliação sobre o conceito de temperatura | 235 |
| 7.1.4 | Conclusão | 239 |
| 7.2 | Estudo Experimental II – Introdução do Conceito Calor | 241 |
| 7.2.1 | Metodologia | 242 |
| 7.2.2 | Apresentação e discussão dos resultados | 242 |
| 7.2.2.1 | Análise da discussão oral das situações sobre calor | 243 |
| 7.2.2.2 | Análise da discussão escrita das situações sobre calor | 246 |
| 7.2.3 | Análise dos resultados da avaliação sobre o conceito calor | 251 |
| 7.2.4 | Conclusão sobre o estudo do conceito calor | 254 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 7.3 | Estudo Experimental III – Introdução do Conceito Energia Interna | 256 |
| 7.3.1 | Metodologia | 257 |
| 7.3.2 | Apresentação e discussão dos resultados | 257 |
| 7.3.2.1 | Análise da discussão oral das situações sobre energia interna | 258 |
| 7.3.2.2 | Análise da discussão escrita das situações sobre energia interna..... | 262 |
| 7.3.3 | Análise dos resultados da avaliação sobre o conceito energia interna ... | 271 |
| 7.3.4 | Conclusão sobre o estudo do conceito energia interna..... | 275 |
| 7.4 | Estudo Experimental IV – Introdução do Conceito Trabalho | 277 |
| 7.4.1 | Metodologia | 278 |
| 7.4.2 | Apresentação e discussão dos resultados | 278 |
| 7.4.2.1 | Análise da discussão oral das situações sobre trabalho | 278 |
| 7.4.2.2 | Análise da discussão escrita das situações sobre trabalho..... | 282 |
| 7.4.3 | Análise dos resultados da avaliação sobre o conceito trabalho e Primeira Lei da Termodinâmica..... | 289 |
| 7.4.4 | Conclusão sobre o estudo do conceito trabalho..... | 293 |
| 7.5 | Estudo Experimental V – Introdução do Conceito Entropia..... | 295 |
| 7.5.1 | Metodologia | 295 |
| 7.5.2 | Apresentação e discussão dos resultados | 296 |
| 7.5.2.1 | Análise da discussão oral das situações sobre entropia | 296 |
| 7.5.2.2 | Análise da discussão escrita das situações sobre entropia..... | 301 |
| 7.5.3 | Análise dos resultados da avaliação sobre o conceito entropia | 309 |
| 7.5.4 | Conclusão sobre o estudo do conceito entropia..... | 313 |
| 7.6 | Conclusão sobre os estudos experimentais | 315 |
| 8 | RESULTADOS DO PRÉ E PÓS-TESTE E OPINIÃO DOS ALUNOS A RESPEITO DA PROPOSTA DIDÁTICA | 319 |
| 8.1 | Resultados do pré e pós-teste..... | 319 |
| 8.2 | Significados dos conceitos da Termodinâmica para os alunos após a aplicação da Metodologia Didática | 329 |
| 8.3 | Avaliação da estratégia didática pelos alunos | 341 |
| | CONSIDERAÇÕES FINAIS | 349 |
| | REFERÊNCIAS | 357 |

| | |
|--|------------|
| APÊNDICES | 373 |
| APÊNDICE I – PRÉ-TESTE PÓS-TESTE | 375 |
| APÊNDICE II– MATERIAIS DO ESTUDO EXPLORATÓRIO (QUESTIONÁRIO PARA PROFESSORES; QUESTIONÁRIO PARA ALUNOS; ENTREVISTA CLINICA) | 385 |
| APÊNDICE III – MATERIAIS DOS ESTUDOS EXPERIMENTAIS (EXEMPLOS DE DISCUSSÃO ESCRITA E TRANSCRIÇÃO DE DISCUSSÕES DAS SITUAÇÕES SOBRE TEMPERATURA, CALOR, ENERGIA INTERNA, TRABALHO E ENTROPIA) | 397 |
| APÊNDICE IV– EXEMPLO DE INSTRUMENTO DE AVALIAÇÃO..... | 431 |
| APÊNDICE V – TEXTOS ELABORADOS PARA O ENSINO DO CCT | 451 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|-----|
| Figura 1. Mapa conceitual para a epistemologia de Toulmin (Grings, 2008). 87 | |
| Figura 2. Mapa conceitual sobre as teorias que fundamentam esta tese (Grings, 2008). | 120 |
| Figura 3. Representação da experiência de Boyle..... | 124 |
| Figura 4. Estados inicial, <i>A</i> , e final, <i>B</i> , de uma transformação gasosa representados no gráfico <i>p, V</i> | 125 |
| Figura 5. Esquema do fluxo de energia em uma máquina térmica. | 141 |
| Figura 6. Esquema do fluxo de energia em um refrigerador | 142 |
| Figura 7. Ciclo de Carnot representado no diagrama <i>p, V</i> | 143 |
| Figura 8. Mapa conceitual - Conceitos da Termodinâmica (adaptado de Moreira,1999)..... | 150 |
| Figura 9. Mapa conceitual sobre a metodologia da investigação (Grings, 2008) 156 | |
| Figura 10. Mapa conceitual sobre a metodologia de ensino (Grings, 2008)..... | 161 |
| Figura 11. Gráfico de comparação entre o desempenho inicial e o desempenho após o estudo do conceito temperatura..... | 239 |
| Figura 12. Gráfico de comparação entre o desempenho inicial e o desempenho após o estudo do conceito calor em cada categoria..... | 254 |
| Figura 13. Gráfico de comparação entre o desempenho médio inicial e o desempenho médio após o estudo do conceito energia interna. | 274 |
| Figura 14. Gráfico de comparação entre o desempenho inicial e o desempenho após o estudo do conceito de trabalho e da Primeira Lei da Termodinâmica em cada categoria | 293 |
| Figura 15. Gráfico de comparação entre o desempenho inicial e o desempenho após o estudo do conceito entropia | 312 |
| Figura 16. Comparação entre os resultados do pré e do pós-teste..... | 321 |
| Figura 17. Evolução do desempenho dos estudantes em cada conceito..... | 324 |
| Figura 18. Comparação das categorias entre os resultados do pré e do pós-teste | 329 |

| | |
|---|-----|
| Figura 19. Resposta do aluno A30 para a pergunta “o que você entende por temperatura?” | 331 |
| Figura 20. Resposta do aluno A17 para a pergunta “O que significa fisicamente calor para você?” | 333 |
| Figura 21. Resposta do aluno A24 para a pergunta “O que você entende por energia interna”. | 335 |
| Figura 22. Resposta do aluno A5 para a pergunta “O que significa fisicamente trabalho para você?” | 337 |
| Figura 23. Resposta do aluno A22 para a pergunta “O que você entende por entropia?” | 339 |
| Figura 24. Vê epistemológico sobre a Tese..... | 355 |

ÍNDICE DE TABELAS

| | |
|--|-----|
| Tabela 1. Relação de periódicos pesquisados..... | 34 |
| Tabela 2. Número de artigos relacionados a pesquisa em Termodinâmica publicados por categorias | 35 |
| Tabela 3. Número de artigos sobre pesquisa em Ensino da Termodinâmica classificados por categoria. | 41 |
| Tabela 4. Objetivos de cada etapa da pesquisa..... | 152 |
| Tabela 5. Instrumentos utilizados para coleta de dados | 154 |
| Tabela 6. Objetivos gerais da disciplina de Física - CCT | 162 |
| Tabela 7. Objetivos específicos da disciplina de Física – CCT | 163 |
| Tabela 8. Resumo dos cinco estudos realizados | 168 |
| Tabela 9. Categorias definidas para avaliar a conceitualização dos estudantes..... | 169 |
| Tabela 10. Coeficiente de correlação item total dos testes inicial e final..... | 173 |
| Tabela 11. Categorização dos significados de temperatura detectados no questionário para alunos..... | 176 |
| Tabela 12. Categorização dos significados de calor detectados no questionário para alunos..... | 178 |
| Tabela 13. Categorização dos significados de energia interna detectados no questionário para alunos..... | 180 |
| Tabela 14. Categorização dos significados de trabalho detectados no questionário para alunos..... | 182 |
| Tabela 15. Categorização dos significados de entropia detectados no questionário para alunos..... | 183 |
| Tabela 16. Caracterização das aulas durante o desenvolvimento do conceito temperatura..... | 216 |
| Tabela 17. Definição de construtos para a análise da discussão das alunas.... | 218 |
| Tabela 18. Definição dos componentes dos esquemas para a análise da discussão das alunas | 218 |
| Tabela 19. Definição do diagnóstico de filiações e rupturas para a análise da discussão das alunas | 219 |

| | |
|---|-----|
| Tabela 20. Categorias utilizadas para análise da avaliação sobre temperatura | 236 |
| Tabela 21. Resultado da análise de consistência interna dos resultados do estudo experimental I – introdução do conceito de temperatura | 237 |
| Tabela 22. Coeficiente de correlação de Pearson dos resultados dos estudos experimental I – introdução do conceito de temperatura | 237 |
| Tabela 23. Desempenho médio dos alunos em cada categoria do estudo experimental I – conceito de temperatura..... | 238 |
| Tabela 24. Desempenho da turma 2311 nos instrumentos do estudo experimental I – conceito de temperatura..... | 238 |
| Tabela 25. Caracterização das aulas durante o desenvolvimento do conceito calor, processos de calor e mudanças de estado. | 242 |
| Tabela 26. Categorias utilizadas para análise dos resultados do estudo experimental II – introdução do conceito de calor..... | 251 |
| Tabela 27. Resultado da análise de consistência interna dos resultados do estudo experimental II – introdução do conceito de calor..... | 252 |
| Tabela 28. Coeficiente de correlação de Pearson dos resultados do estudo experimental II – introdução do conceito de calor..... | 252 |
| Tabela 29. Desempenho médio dos alunos em cada categoria do estudo experimental II – introdução do conceito de calor..... | 252 |
| Tabela 30. Desempenho da turma 2311 nos instrumentos do estudo experimental II – introdução do conceito de calor..... | 253 |
| Tabela 31. Caracterização das aulas durante o desenvolvimento do conceito energia interna e transformações gasosas..... | 257 |
| Tabela 32. Categorias utilizadas para análise da avaliação sobre energia interna e transformações gasosas..... | 272 |
| Tabela 33. Resultado da análise de consistência interna dos resultados dos estudo experimental III – introdução do conceito de energia interna..... | 273 |
| Tabela 34. Coeficiente de correlação de Pearson dos resultados do estudo experimental III – introdução do conceito de energia interna | 273 |
| Tabela 35. Desempenho médio dos alunos em cada categoria do estudo experimental III – introdução do conceito de energia interna | 273 |
| Tabela 36. Desempenho da turma nos instrumentos do estudo experimental III – introdução do conceito de energia interna | 274 |

| | |
|--|-----|
| Tabela 37. Caracterização das aulas durante o desenvolvimento do conceito trabalho e da primeira Lei da Termodinâmica..... | 278 |
| Tabela 38. Categorias utilizadas para análise da avaliação sobre trabalho e a primeira lei da termodinâmica | 290 |
| Tabela 39. Resultado da análise de consistência internados dos resultados do estudo experimental IV – introdução do conceito de trabalho e Primeira Lei da Termodinâmica | 291 |
| Tabela 40. Coeficiente de correlação de Pearson dos resultados do estudo experimental IV – introdução do conceito trabalho e primeira lei da termodinâmica..... | 291 |
| Tabela 41. Desempenho da turma em cada categoria do estudo experimental IV – introdução do conceito de trabalho e primeira lei da termodinâmica..... | 291 |
| Tabela 42. Desempenho médio da turma no estudo experimental IV – introdução do conceito de trabalho e primeira lei da termodinâmica | 292 |
| Tabela 43. Caracterização das aulas durante o desenvolvimento do conceito entropia..... | 296 |
| Tabela 44. Categorias utilizadas para análise da avaliação sobre entropia..... | 310 |
| Tabela 45. Resultado da análise de consistência interna dos resultados do estudo experimental V – introdução do conceito de entropia..... | 310 |
| Tabela 46. Coeficiente de correlação de Pearson dos resultados do estudo experimental V – introdução do conceito de entropia | 310 |
| Tabela 47. Desempenho médio da turma em cada categoria do estudo experimental V – introdução do conceito de entropia | 311 |
| Tabela 48. Desempenho médio da turma no estudo experimental V – introdução do conceito de entropia | 311 |
| Tabela 49. Desempenho médio da turma nos cinco estudos experimentais..... | 315 |
| Tabela 50. Coeficiente de correlação de Pearson..... | 320 |
| Tabela 51. Análise estatística do pré-tese e do pós-teste..... | 321 |
| Tabela 52. Evolução apresentada pelos estudantes nos conceitos temperatura, calor, energia interna, trabalho e entropia..... | 323 |
| Tabela 53. Definição das categorias usadas como critério de avaliação. | 327 |

| | |
|--|-----|
| Tabela 54. Classificação das questões segundo os categorias definidas na | |
| Tabela 53..... | 328 |
| Tabela 55. Significados do conceito temperatura | 331 |
| Tabela 56. Significados do conceito calor..... | 333 |
| Tabela 57. Significados do conceito energia interna | 336 |
| Tabela 58. Significados do conceito trabalho | 338 |
| Tabela 59. Significados do conceito entropia | 340 |
| Tabela 60. Objetivos e questões sobre a avaliação da metodologia | 341 |

1 INTRODUÇÃO

A Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha, situada em Novo Hamburgo, RS, Brasil, é uma instituição que oferece o ensino médio e o ensino técnico integrado nas áreas Eletrotécnica, Eletrônica, Mecânica e Química. Além destes cursos oferece no noturno: Automotivo, Segurança no Trabalho, Design e Informática para a Internet oferecidos para quem já possui a conclusão do ensino médio.

Há vinte e cinco anos trabalho a disciplina de Física na Fundação Liberato, Novo Hamburgo, Brasil. Com atuação em todas as séries e todos os cursos do diurno, tenho observado que os alunos apresentam dificuldades conceituais e de resolução de problemas, que para mim estão intimamente relacionadas, uma vez que ambas constituem o que definimos como conceito, em todos os campos da Física. Observo também dificuldades em interpretação (desconhecimento do significado de palavras) e em operações matemáticas, tais como frações, simplificações, etc. Por esta razão, resolvi investigar o contexto da minha sala de aula e propor alternativas que viessem a diminuir tais dificuldades.

Este trabalho apresenta uma tese de doutorado em Ensino de Ciências vinculada à Universidade de Burgos, Espanha, em convênio com a Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil, que visa propor uma metodologia didática para estudar conceitos da Termodinâmica.

Diante da abrangência das dificuldades apresentadas pelos alunos, e não sendo possível abordar todas nesta tese, foi necessário fazer uma escolha. Optamos pelo que chamamos Campo Conceitual da Termodinâmica (CCT) como objeto desta investigação, uma vez que este assunto pode ser abordado agregando uma descrição macro e micro dos sistemas, o que levaria os alunos a transitar por estes dois modelos. Nos sistemas macro, as variáveis usadas no equacionamento matemático são bem definidas para aqueles cujo número de partículas seja da ordem de 10^{23} . Tais sistemas apresentam variações temporais muito lentas. Assim,

qualquer medida realizada em um sistema macroscópico, necessariamente, envolveria médias espaciais e temporais de grandezas microscópicas. Portanto, estaríamos substituindo uma enorme quantidade de informações (descrição de cada partícula) por grandezas médias. Desta maneira, na descrição macroscópica da Termodinâmica, trabalharemos com três variáveis: volume, temperatura e pressão; e, do ponto de vista microscópico, abordaremos as grandezas através das médias – por exemplo, relacionaremos a temperatura com a energia cinética média dos átomos ou moléculas (no caso dos gases).

Argumenta Vázquez Diaz (1987, p. 236) que o conceito científico de calor exige o conhecimento dos conceitos de temperatura nos seus aspectos macro e microscópico. A exigência desses aspectos para a compreensão do CCT torna-o um dos tópicos mais difíceis do ensino médio, como sinaliza o autor e também Köhnlein e Peduzzi (2002, p. 32), Summers (1983) e Laburú, Silva e Carvalho (2000).

Assim, esta pesquisa aborda os conceitos da Termodinâmica, dando ênfase à visão macroscópica, mas fazendo relação com o que ocorre no sistema do ponto de vista atômico ou molecular (visão microscópica). Por exemplo, quando do ponto de vista macroscópico há um aumento de temperatura, do ponto de vista micro há um aumento no grau de agitação de átomos ou moléculas. Desse modo, dentro do CCT, elegemos os conceitos temperatura, calor, energia interna, trabalho e entropia por estarem intimamente vinculados através das Leis da Termodinâmica.

Nesta trajetória, após uma ampla revisão de literatura e o estudo de aportes teóricos necessários, realizamos um estudo exploratório que embasou a estratégia didática para o ensino do CCT. O objetivo, já mencionado, era propor uma metodologia que desse conta de conceitos importantes constituintes deste campo, numa visão mais ampla, entendida como propõe Vergnaud (1993, p. 9; 2004, p. 26), sendo eles compostos de situações, invariantes operatórios e representações (simbólicas e verbais).

Acreditando, conforme Vergnaud (2004, p. 97), que um conceito não é constituído somente de seu significado teórico, pois “a conceitualização não pode se reduzir à significação das palavras”, entendemos que um conceito só é

adequadamente definido quando aplicado a situações. Assim, é preciso que o sujeito da experiência encontre um problema que só possa ser resolvido com a formação do conceito (Ibid., p. 80). Tal conceito, por sua vez, apresenta-se através de uma representação simbólica, verbal ou pictórica e de uma parte essencial dos conceitos, os invariantes operatórios, na sua maior parte implícitos e, por isso mesmo, exige-se muito estudo para dominá-los. Sendo assim, não é simples estudar ou formalizar um conceito.

Por outro lado Caballero, (2003, p. 147), Vergnaud (2004, p. 27), Vygotsky (2001, p. 334; 2003, p. 118), Toulmin (1977, p. 27), Moreira (2004, p. 11) e Covalada (2008, p. 31) salientam a importância da aprendizagem dos conceitos para o desenvolvimento cognitivo dos estudantes. Uma maneira de ajudar os alunos a evoluírem no seu desenvolvimento mental é auxiliá-los a construir conceitos em toda a sua plenitude, ou seja, abrangendo o tripé: situações, invariantes operatórios e representações simbólicas. Assim, para nós, um conceito não pode ser ensinado sem a simbolização ou a problematização, ou melhor, isto é parte inerente do conceito. Então, não há como estudar um conceito, em Física, separado da resolução de problemas.

Assim, escolhemos o CCT direcionado aos conceitos temperatura, calor, energia interna, trabalho e entropia para estudo nesta tese. Em função das dificuldades apresentadas pelos alunos e do foco apontado pelos referenciais estudados, propomo-nos às seguintes questões de investigação:

- **Que dificuldades os estudantes apresentam no CCT? Que indicadores de invariantes operatórios poderíamos diagnosticar para entender e minimizar tais dificuldades?**
- **Uma estratégia didática que introduza os conceitos através de situações contribuiria para minimizar tais dificuldades, uma vez que Moreira (2004, p. 11) afirma que as situações são a porta de entrada de um Campo Conceitual?**
- **Na conceitualização, os estudantes utilizam invariantes operatórios, representações simbólicas ou verbais e resolvem situações problemas relacionados aos conceitos estudados?**

Para responder aos problemas desta tese, definimos os seguintes objetivos gerais:

- Buscar indicadores de invariantes operatórios a partir das dificuldades apresentadas pelos alunos, na tentativa de minimizar tais dificuldades.
- Desenhar uma metodologia didática que introduza os conceitos do CCT através de situações.
- Verificar se os estudantes utilizam invariantes operatórios que estejam de acordo com a linguagem científica; se usam representação simbólica ou verbal; e se aplicam os conceitos em resolução de situações-problema.

Para alcançar estes objetivos gerais, temos que nos apoiar nos seguintes objetivos específicos:

- Investigar, por meio de questionários e entrevistas, os significados, as dificuldades e os possíveis indicadores de invariantes operatórios apresentados pelos estudantes no CCT. Elaborar e aplicar questionários e entrevistas.
- Construir e escolher situações a serem utilizadas na metodologia didática para introduzir conceitos importantes do CCT. Organizar textos e multimídia para o estudo dos conceitos do CCT. Propor situações problemas e mapas conceituais.
- Elaborar uma avaliação a ser aplicada ao final da metodologia didática para averiguar se os estudantes utilizam invariantes operatórios de acordo com a ciência; se usam adequadamente as representações simbólicas ou verbais envolvidas nos conceitos; e se aplicam tais conceitos em situações-problema.
- Elaborar um teste de múltipla escolha a ser aplicado antes e após a metodologia didática, para verificar se os estudantes evoluíram nos três aspectos constituintes de um conceito segundo Vergnaud: invariantes operatórios, representação simbólica ou verbal e resolução de situações-problema.

Deste modo, esta tese constitui-se de dois estudos: um estudo exploratório, que visa a identificar dificuldades através de possíveis indicadores de invariantes operatórios; e um estudo experimental, constituído de cinco etapas, cada uma envolvendo um dos conceitos estudados – temperatura, calor, energia interna, trabalho e entropia –, com vistas a aplicar a metodologia didática e avaliá-la segundo os critérios apoiados na Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud (invariantes operatórios, representação simbólica ou verbal e situações).

Inicialmente, realizamos uma revisão de literatura sobre os conceitos da Termodinâmica estudados nesta tese (temperatura, calor, energia interna, trabalho e entropia). Posteriormente, esta revisão foi atualizada, envolvendo 13 anos (2000-2013) dos principais periódicos nacionais e internacionais desta área de ensino. Também foram pesquisados artigos importantes anteriores a 2000 (Albert, 1978, p. 389-399; Appleton, 1985, p. 122-127; Bacas, 1997, p. 109-116; Cárdenas, Lozano, 1996, p. 343-349; Cervantes, 1986, p. 3-15; Dominguez, de Pro, Garcia-Rodeja, 1998, p. 461-475; Driver e Rusell, 1982; Engel e Driver, 1985, p. 176-182; Erickson, 1979, p. 221-230; 1980, p. 323-338; Garcia Hourcade e Rodriguez de Avila, 1985, p. 188-193; Harrison, Grayson e Treagust, 1999, p. 55 – 87; Helsdon, 1972, p. 388-389; Helsdon, 1982, p. 114-115; Hewson, 1984, p. 245-262; Jara, p. 688-696, 1991; Kesidou e Duit, 1993, p. 85-106; Lewis e Linn, 1994, p. 657-677; Macedo e Soussan, 1985, p.83-90; Nachmias, Stavy e Avrams, 1990, p. 123-131; Rozier e Viennot, 1991, p. 159-170; Sciarretta, Stilli e Vicenti, 1990, p. 369-379; Shaw, 1974, p. 73-74; Shayer e Wylam, 1981, p. 419-434, 1981; Silva, 1986; Stavy e Berkovitz, 1960, p. 679-692; Summers, 1983 p. 970-675; Thomas, Malaquias, Valente e Antunes, 1985, p. 19-26; Tiberghien, 1980; Vázquez Diaz, 1987, p. 235-238; Warren, 1972, p. 295-297 e p. 41-44) e que tratavam principalmente a respeito de pesquisas em concepções alternativas, uma vez que, nesta época, a maioria dos trabalhos era centrada nesta área. Optamos por apresentar, no capítulo 2, Revisão de Literatura, somente a revisão realizada de 2000 a 2013, considerando que o estudo sobre concepções alternativas já foi exaustivamente examinado e publicado.

Os aportes teóricos apresentados no capítulo 3 trazem, inicialmente, a visão da teoria clássica, da probabilística, da neoclássica, além de enfoques teórico e essencialista e atomismo conceitual para a formação de conceitos. Uma abordagem

epistemológica para a construção de conceitos é apresentada através da teoria epistemológica evolucionista de Stephen Toulmin. Na continuação, o capítulo aprofunda o ponto de vista da Psicologia Cognitiva para a aquisição de conceitos, abordada na visão de diversos teóricos que trazem construtos importantes dentro das suas teorias. Assim, Ausubel estabelece os subsunçores; Vygotsky proõe as construções sociais, signos e instrumentos; Vergnaud apresenta os esquemas herdados de Piaget, que são constituídos de invariantes operatórios. O capítulo mostra ainda a visão de Greca e Moreira (2003, p. 18), que agregam a teoria dos modelos mentais de Johnson-Laird à teoria dos campos conceituais de Vergnaud. Deste modo, o capítulo 3 aborda a formação dos conceitos na mente do indivíduo, e na visão dos teóricos que fundamentam esta tese, a construção do conceito pela comunidade científica e a aquisição de conceitos através das interações sociais.

A fundamentação teórica que ancora os conceitos científicos utilizados neste estudo é descrita no capítulo 4. Os conceitos temperatura, calor, energia interna, trabalho e entropia são apresentados reunindo os aspectos microscópicos e macroscópicos, mas mantendo as características da física clássica. O desenvolvimento de tais conceitos para os alunos é discutido e, por isso, foram elencados para serem tema deste capítulo.

O capítulo 5 descreve a metodologia da pesquisa e a metodologia de ensino, constituída de cinco fases – uma para cada conceito desenvolvido. A metodologia da pesquisa reúne principalmente a pesquisa qualitativa adicionada brevemente da pesquisa quantitativa. A metodologia da pesquisa envolve um estudo exploratório realizado no ano de 2006 e um estudo experimental constituído de 5 etapas cuja coleta de dados foi realizada durante o ano de 2007. A metodologia didática foi aplicada nos cinco estudos experimentais e foi desenvolvida a partir da experiência anterior da pesquisadora em sala de aula, de uma extensa revisão de literatura e de um estudo exploratório.

O estudo exploratório está subdividido em três partes: a primeira pretende identificar os significados dos conceitos da termodinâmica, objeto desta pesquisa; a segunda busca indicadores de invariantes operatórios; a terceira realiza entrevista semiestruturada. O estudo exploratório é mostrado no capítulo 6.

O capítulo 7 traz o estudo experimental que mostra a aplicação da metodologia didática. Os resultados obtidos neste estudo são apresentados também no capítulo 8. Por fim, o capítulo 9 apresenta as considerações finais e sugestões para futuras pesquisas nesta área.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Introdução

Este capítulo tem o objetivo de fazer uma revisão da literatura a respeito da pesquisa sobre o ensino da Termodinâmica, buscando identificar as principais dificuldades dos alunos neste campo e as pesquisas desenvolvidas nesta área. Assim, como a busca foi limitada a pesquisa em ensino de conceitos da Termodinâmica (temperatura, calor, energia interna, trabalho e entropia), mesmo o período de busca tendo sido longo, não foram muitos os artigos encontrados.

A maioria das pesquisas realizadas a respeito dos conceitos da Termodinâmica trata das concepções alternativas sobre temperatura e calor. Warren, 1972 (apud Cervantes, 1987, p. 66) demonstrou sua preocupação quando discutiu que é incorreto falar de quantidade de calor e trabalho que um corpo possui e analisou, também, a confusão existente entre o conceito de calor e energia cinética molecular. Em 1974, Shaw (Ibid.) estudou a problemática de como ensinar calor. Strauss, em 1977 (Ibid.), investigou a propriedade intensiva de temperatura numa pesquisa realizada com crianças de quatro a treze anos – as maiores e menores respondiam corretamente a respeito do resultado da mistura de água fria, e as de idade intermediária respondiam incorretamente. Em 1978, Albert (Ibid.) discutiu, cronologicamente, através de seis categorias, onze modelos de pensamento encontrados na compreensão do conceito de calor por crianças de quatro a nove anos.

Apesar destes trabalhos anteriores a 1979, segundo Carrascosa (2005, p. 184), a publicação de alguns estudos rigorosos, como a tese de Laurence Viennot (1979), atraiu a atenção sobre a aprendizagem conceitual. Os alunos não só terminavam seus estudos sem saber resolver problemas e sem uma imagem adequada de um trabalho científico como também sequer compreendiam o significado dos conceitos científicos mais básicos. Os erros que cometiam não se deviam somente a esquecimento, mas eram justificados com base em determinadas

ideias, defendidas com segurança por um grande número de estudantes. A partir daí, os erros conceituais se converteram em uma potente linha de pesquisa com inúmeros trabalhos em concepções alternativas. Já existem trabalhos que fazem revisão de literatura a respeito de tais concepções (Cervantes, 1987, p. 66; Flores et al., 2004). Por esta razão, esta investigação não se detém especificamente a este tema, mas averigua os trabalhos sobre aprendizagem da Termodinâmica publicados entre 2000 e 2013 nos periódicos cuja relação é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1. Relação de periódicos pesquisados

| Periódicos | Número de artigos |
|---|--------------------------|
| American Journal of Physics (EUA) | 15 |
| Caderno Brasileiro de Ensino de Física (Brasil) | 6 |
| Cognition Instruction (EUA) | 1 |
| Ensaio (Brasil) | 3 |
| Enseñanza de las Ciencias (Espanha) | 1 |
| International Journal of Science Education (IJSE, Inglaterra) | 3 |
| Investigações em Ensino de Ciências (IENCI, Brasil) | 4 |
| Journal of Research in Science Teaching (JRST, EUA) | 3 |
| Latin American Journal of Physics Education (LAJPE) – 2007 a 20013 | 0 |
| Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências (RBPEC, Brasil) | 2 |
| Research in Science Education (RSE, Holanda) | 3 |
| Revista Brasileira de Ensino de Física (RBEF, Brasil) | 3 |
| Revista de Enseñanza de la Física (APFA, Argentina) | 1 |
| Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias (REEC, Espanha) | 4 |
| Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias (REIEC, Argentina) – de 2006 a 2013 | 0 |
| Revista Liberato (Brasil) | 1 |
| Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia (RBECT) – de 2008 a 2013 | 1 |
| Science Education (EUA) | 4 |
| Science & Education (Holanda) | 4 |

Esta revisão iniciou com a busca dos artigos que tratavam dos conceitos objetos desta pesquisa (temperatura, calor, energia interna, trabalho e entropia) através da base de dados do portal da CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior). A partir disso, foi feita uma análise dos títulos e dos resumos dos artigos para procurar aqueles que tratavam sobre o assunto de interesse.

Em primeiro lugar, organizamos uma tabela resumo dos artigos, buscando já classificá-los em categorias e fazendo uma breve descrição sobre os objetivos, metodologias, conclusões e resultados de tais trabalhos. Os artigos foram

classificados segundo o tipo de trabalho envolvido. Uma das categorias foi reclassificada de acordo com os temas abordados nos artigos. Por fim, os artigos foram descritos e caracterizados pelas categorias definidas. Quanto à organização dos dados, os artigos foram examinados usando a técnica de análise de conteúdo proposta por Bardin (1977), que caracteriza a análise de conteúdo como um conjunto de técnicas de exame das comunicações utilizando procedimentos sistemáticos e objetivos na caracterização dos conteúdos das mensagens.

Inicialmente, a intenção desta revisão era selecionar artigos que abordassem pesquisas em ensino da Termodinâmica. Porém, durante a busca, encontramos artigos sobre a análise de livros didáticos e discussão de conceitos que têm o potencial de enriquecer esta tese. Não pesquisamos todos os artigos sobre análise de livros didáticos e conceitos, mas incluímos somente aqueles que traziam contribuições importantes. Logo, classificamos a revisão de literatura em três categorias iniciais, conforme Tabela 2:

Tabela 2. Número de artigos relacionados a pesquisa em Termodinâmica publicados por categorias

| Categoria | Número de artigos |
|----------------------------------|--------------------------|
| Análise e discussão de conceitos | 1 |
| Análise de livros didáticos | 7 |
| Pesquisa em ensino | 51 |

2.2 Revisão de artigos sobre análise de conceitos e livros didáticos

Em primeiro lugar, falaremos sobre a análise de discussão de conceitos através do artigo de Doménech et al. (2003). Os autores comentam sobre as dificuldades a respeito do conceito energia e indicam 24 itens necessários para introduzir tal conceito. Afirmam ser necessário conhecer os problemas que conduziram à introdução do conceito energia, e que o conhecimento não deve ser apresentado como algo acabado. Para eles, é necessário que os estudantes reelaborem os seus próprios conceitos. Discutem que a maioria das investigações sobre este tema se relaciona a aspectos conceituais como, por exemplo, considerar a energia enquanto um fluido ou fazer confusão entre força e energia. Destacam que as dificuldades dos alunos não estão relacionadas somente a aspectos conceituais, mas procedimentais e axiológicos. Diante das dificuldades dos alunos, os autores apresentam uma proposta de ensino para o secundário e superior e a superação do

reducionismo conceitual para uma aproximação da investigação científica, que envolveria os seguintes aspectos:

- interesse e relevância do estudo de energia;
- estratégias de construção dos conhecimentos científicos sobre energia;
- aproximação inicial do conceito energia;
- caráter sistêmico relativo à energia;
- significados dos conceitos trabalho e calor e sua relação com a energia;
- conservação, transformação e degradação de energia;
- apropriação plena do campo de conhecimento que aborda energia.

Doménech et al. (2003) utilizam 24 proposições para oferecer uma visão global do que consideram uma adequada compreensão inicial do conceito energia para os alunos do secundário e universitário, que são listadas a seguir:

1) É necessário conhecer os problemas que introduziram o conceito de energia e todo o corpo de conhecimento associado.

2) É preciso discutir os problemas tratados envolvendo as reflexões dos estudantes.

3) É necessária uma atenção especial às interações Ciência, Tecnologia e Sociedade.

4) Os conhecimentos não devem ser apresentados como algo acabado.

5) É necessário oportunizar aos estudantes a utilização de critérios e estratégias para elaboração e validação dos seus próprios trabalhos científicos.

6) É necessário buscar conexão entre os diversos campos.

7) É preciso salientar que as transformações que um sistema sofre devem-se a interações com outros sistemas ou suas partes.

8) Deve ser evidenciada a ideia de a energia ser associada às configurações dos sistemas e às interações que estas configurações permitem.

9) Salientar que a energia não é um fluido.

10) Uma primeira aproximação de energia pode ser associada à capacidade de produzir transformações.

11) As distintas formas de energia devem ser associadas a diferentes configurações dos sistemas e a suas distintas formas de interagir com a matéria.

- 12) Mostrar que a energia é uma propriedade do sistema.
- 13) Esclarecer que não é possível determinar o valor absoluto da energia de um sistema, somente suas variações.
- 14) Relacionar energia com trabalho, discutindo-o como o ato de transformar a matéria aplicando forças.
- 15) Explicar que o calor engloba um grande número de micro trabalhos realizados a nível sub microscópico.
- 16) Mostrar que as variações de energia de um sistema podem ser devidas à realização de calor ou trabalho.
- 17) Evidenciar ainda que as variações de energia podem ser também devidas às transferências de radiação ou matéria.
- 18) Salientar que os sistemas sofrem transformações, mas em um sistema isolado a energia permanece constante.
- 19) Discutir que a energia total de um sistema pode permanecer constante, e no seu interior haver transformações, mesmo que a soma destas variações seja zero.
- 20) Mostrar que, no resultado das interações e transformações dos sistemas, a energia se degrada.
- 21) Comentar que o crescimento da entropia diminui a possibilidade de transformações.
- 22) Discutir que os processos de degradação de energia (aumento de entropia) permitem explicar a aparente contradição “crise energética”.
- 23) Mostrar que duas condições são necessárias para que um sistema isolado possa sofrer mudanças:
 - devem produzir necessariamente transferências ou transformações de energia entre as partes do sistema;
 - para que isto seja possível, a energia não pode estar distribuída de maneira uniforme.
- 24) Mostrar que a plena apropriação do campo de conhecimento energia exige a utilização reiterada destes conhecimentos em uma variedade de situações.

Na verdade, os autores discutem ainda como implementar estes itens, mas queremos nos ater aos significados de trabalho e calor. Os pesquisadores comentam que as dificuldades dos alunos em energia se estendem aos conceitos

associados a calor e trabalho, com a ideia de trabalho na vida cotidiana e a confusão entre calor e temperatura, ou a ideia de considerar o calor como uma substância. Discutem, ainda, as dificuldades de introduzir estes conceitos e finalizam dizendo que o trabalho e o calor são mecanismos de transferência de energia. Explicam que as variações de energia de um sistema podem ser devidas ao calor ou ao trabalho e citam, ainda, que as variações de energia podem ocorrer também por radiação e matéria. Aqui, gostaríamos de comentar que os autores não consideram a radiação (infravermelha) como calor tal qual é apresentada em alguns livros didáticos, por exemplo (Knight, 2009, p. 531; Sears e Zemansky, 1978, p. 235; Hewit, 2002, p. 284; Serway e Jewet, 2004, p. 612). Doménech et al. (op. cit.), também comentam que a ideia de energia deve envolver os princípios de conservação, transformação e degradação da energia. Quando falam da degradação da energia, ampliam as dificuldades dos alunos ao conceito entropia. Além disso, ressaltam que a distribuição da energia ou crescimento da entropia diminui a possibilidade de transformações. Doménech et al. (op. cit.) discutem o conceito de energia e suas implicações nos conceitos relacionados. Dão 24 sugestões de como introduzir o conceito energia. Concluem dizendo que os conhecimentos devem proporcionar a capacidade de resolver problemas e utilizá-los em situações diversas como, por exemplo, questões do cotidiano.

Amin, et al. (2012) dizem que seu trabalho buscou identificar metáforas explícitas e implícitas em textos pedagógicos. Eles consideram o conceito de entropia e a segunda lei da termodinâmica, um domínio abstrato e desafiador para os alunos. Eles analisaram três níveis de livros universitários a partir de uma perspectiva de metáfora conceitual e uma série de metáforas explícitas e implícitas foram identificados. As metáforas explícitas identificadas incluem entropia como desordem, Termodinâmica como processos ao longo de um caminho, e troca energética como transformações. As metáforas implícitas incluem a aplicação e elaboração e a localização do evento. As semelhanças e diferenças entre metáforas explícitas e implícitas encontradas nos livros são também descritas. Eles levantam implicações pedagógicas importantes: a de que a seleção de metáforas instrucionais explícitas pode ser guiada por coerência com as metáforas implícitas, e a gama de metáforas implícitas encontradas em textos pedagógicos justifica uma estratégia de

instrução envolvendo metáforas. A profundidade do fenômeno da metáfora conceitual e suas implicações para futuras pesquisas também são discutidos.

Em manuais de física, a grandeza física "trabalho" é introduzida como o produto de uma força multiplicada pelo seu deslocamento, afirma Kanderakis (2012). Em outras palavras, 'trabalho' é apresentado como um assunto interno da teoria física, enquanto sua relação com o mundo da experiência, que é o seu significado empírico, não é apresentado. Por outro lado, na história da sua criação, "trabalho" era um conceito que tinha um significado empírico desde o início. Foi construído por engenheiros para medir o trabalho de motores, homens e animais. Em pouco tempo este significado inicial parece desaparecer. O autor explica que o 'trabalho' é apresentado em livros didáticos de física sem o seu significado inicial na história, em que circunstâncias este significado inicial desapareceu, e como os elementos da história de sua criação podem ser utilizados em sala de aula.

Silva et al. (2008) fazem uma análise e reflexão sobre o conceito calor nos livros didáticos e concluem que a literatura aborda calor como energia ou transferência de energia, e a maneira como o conceito é apresentado leva à interpretação de calor como variável de estado.

A técnica de análise de conteúdo é utilizada por Alomá e Malaver (2007) para discutir os conceitos energia, calor, trabalho e o ciclo de Carnot nos livros didáticos. Os autores definem três etapas de análise:

- estabelecem unidades de análise;
- determinam categorias;
- selecionam a mostra de material a ser analisada.

Os autores concluem que a maioria dos livros didáticos não apresenta o conceito de energia, mas fazem referência à energia cinética e potencial, e observam que alguns ainda apresentam a noção de energia como substância. Quanto ao conceito de calor, os livros fazem confusão na definição de calor enquanto forma de energia ou energia que se transfere; apresentam o conceito de trabalho como forma de energia, transferência de energia ou somente como energia.

No ciclo de Carnot, criticam os autores de livros didáticos que falam sobre a eficiência das máquinas reversíveis e dizem que é a mesma se operarem a mesma temperatura. Por outro lado, discutem que isto pode causar confusão, pois o ciclo de Otto pode ter menor eficiência do que o ciclo de Carnot, mesmo que opere nas mesmas temperaturas.

Através de entrevistas semiestruturadas com professores e análise de livros de Física, Físico-química e Engenharia Termodinâmica, Christiansen e Rump (2008) constatam que tanto os professores como os livros apresentam várias abordagens para o mesmo conceito. O conceito sistema, nos livros de Física, significa um sistema de massa constante; nos de Físico-química, são enfatizados sistemas abertos; e, em Engenharia Termodinâmica, a massa também flui do sistema. Assim, os autores sugerem que a Termodinâmica seja abordada de acordo com a especialidade do curso ministrado e uma organização multidisciplinar que permita que os alunos sejam capazes de solucionar problemas importantes para outras especialidades.

Já Kaper e Goedhart (2002) caracterizam a linguagem utilizada nos livros didáticos do ensino secundário para energia e verificam que a energia está relacionada a uma propriedade do objeto em suas diferentes formas, e a mudança desta propriedade permite determinar a energia cinética. Por outro lado, o calor está associado à propriedade temperatura, e a mudança desta propriedade permite calcular a quantidade de calor transferido. Os autores propõem uma linguagem intermediária que permita uma descrição e a previsão de fenômenos no domínio da experiência. Esta linguagem começaria com a linguagem comum e evoluiria para a linguagem aceita pela ciência, pois acreditam que esta sequência permitiria uma transição motivada pelo raciocínio dos estudantes, que iria da linguagem cotidiana até a linguagem científica.

Como pode ser observado através da revisão dos artigos sobre análise de livros didáticos, eles apresentam diferentes conceitos com o mesmo significado ou o mesmo conceito com mais de um significado, e esta seria uma das causas das dificuldades dos alunos e professores em defini-los, segundo a comunidade científica. Muitos conceitos têm sido discutidos exaustivamente em diversos artigos,

tais como os conceitos calor e temperatura. O conceito de sistema também aparece com diferentes significados. Em contrapartida, os autores Kaper e Goedhart (2002), além de analisarem os livros, fazem uma proposta de uma linguagem intermediária que permitiria ao estudante evoluir da linguagem cotidiana para uma linguagem científica.

A pesquisa em ensino que aborda o maior número de artigos foi subdividida, e a Tabela 3 mostra o número de artigos publicados por categorias. É necessário esclarecer que as categorias não são excludentes, e alguns artigos poderiam ser classificados em mais do que uma categoria, mas optamos por aquela onde as características dos artigos eram mais pertinentes. Na categoria estratégias didáticas foram incluídos também artigos que faziam a análise da prática em sala de aula.

Tabela 3. Número de artigos sobre pesquisa em Ensino da Termodinâmica classificados por categoria.

| Categoria | Número de Artigos |
|--------------------------------------|--------------------------|
| Estratégias didáticas e dificuldades | 9 |
| Dificuldades | 22 |
| Estratégias didáticas | 11 |
| Resolução de problemas | 1 |
| Aplicação de novas tecnologias | 3 |
| Centros de ciências | 1 |
| Formação de professores | 1 |

A investigação de Lindsey et al. (2009) indica que as dificuldades apresentadas pelos alunos em Termodinâmica no conceito trabalho. Estão relacionadas à abordagem desenvolvida no ensino da conservação da energia em Mecânica, uma vez que o conceito de sistema não é abordado adequadamente, gerando um obstáculo à aprendizagem no ensino da Termodinâmica. Os alunos também não associam a variação da energia de um sistema com a realização de trabalho. Foram pesquisados 4000 estudantes durante 4 anos. Foi aplicado um pré-teste e desenvolvida uma estratégia didática constituída de um conjunto de questões que visavam sanar as dificuldades. Em seguida, foi realizado um pós-teste. Houve avanço com o desenvolvimento da estratégia, mas mesmo assim os estudantes apresentam dificuldades. Os autores acreditam que essas dificuldades estão relacionadas ao fato de os estudantes não entenderem o que é um sistema.

As dificuldades no conceito de entropia investigada por Ogilvie (2009) estão associadas à crença de que a entropia é uma grandeza que se conserva. Inicialmente, foi feito um pré-teste com alunos do segundo ano de Física, e a estratégia didática foi constituída de quatro blocos de questões aplicadas em momentos diferentes. No final, foi realizado um pós-teste, e dezoito estudantes foram entrevistados. Houve um melhor desempenho dos alunos a respeito do princípio do aumento de entropia em processos espontâneos.

Cochran e Heron (2006) constatam que os estudantes têm dificuldade na utilização da 2ª Lei da Termodinâmica, uma vez que não entendem que a eficiência de qualquer máquina está limitada ao ciclo de Carnot. Por não compreenderem que a energia interna é inalterada em cada ciclo, os estudantes encontram dificuldade também na 1ª Lei da Termodinâmica. Foram pesquisados estudantes de um curso introdutório de Física, e foi aplicada uma estratégia didática constituída de questões sobre a Primeira e Segunda Lei da Termodinâmica envolvendo o ciclo de Carnot, conceito de Entropia, enunciado Kelvin-Planck e a energia interna como função de estado, etc. Os autores dizem que a melhora obtida foi significativa.

Um estudo sobre os gases ideais foi feito por Kautz et al. (2005) com o objetivo de estudar a aplicação da Lei dos Gases Ideais e dos conceitos pressão, volume e temperatura a nível macroscópico. As dificuldades apresentadas no processo isobárico consistiram da não previsão da diminuição da temperatura com a diminuição do volume, quando foram perguntados se seria possível diminuir o volume sem variar a pressão. Disseram que uma diminuição do volume causa um aumento na pressão, fazendo confusão com a transformação isotérmica. Assumiram que a temperatura não varia numa transformação adiabática e não diferem os conceitos de temperatura, calor e energia interna. Consideraram o calor com uma variável de estado e não como um mecanismo de transferência de energia. O estudo foi realizado através de entrevistas com 90 estudantes, realizadas antes e após os exames finais. Na tentativa de sanar as dificuldades, uma estratégia didática foi aplicada com problemas sobre os processos isobáricos e adiabáticos. Houve uma melhora nos resultados finais; embora os estudantes respondessem corretamente às questões, muitos deles não sabiam explicar as suas respostas.

Num outro trabalho, Kautz et al. (2005a) investigam a Lei dos Gases Ideais relacionando as variáveis microscópicas e macroscópicas. A investigação foi conduzida na Universidade de Washington e é a segunda parte de uma pesquisa inicial. A investigação começou com entrevistas individuais. Observaram dificuldades no modelo microscópico dos gases, pois, ao explicar a temperatura, relacionam-na ao número de partículas ou às massas das partículas. Os alunos pensam que a energia cinética média das moléculas diminui em qualquer expansão. Não reconhecem a independência da substância na aplicação da Lei dos Gases Ideais. Acreditam que o número de moléculas ou átomos das substâncias de massas menores são maiores. Atribuem volume a uma partícula de um gás ideal. Confundem massa e volume. Estão convencidos de que a velocidade quadrática média é a mesma para moléculas de massas diferentes à mesma temperatura. Não percebem que moléculas de massas diferentes à mesma temperatura possuem a mesma energia cinética média. Interpretam inadequadamente o número de mols, massa molar e número de Avogadro. Supõem que gases diferentes nas mesmas condições apresentam diferentes números de mols. A estratégia didática utilizada para sanar as dificuldades é composta de pesquisa, atividades de casa e um roteiro de questões a serem resolvidas em aula com uma discussão inicial do professor e troca de ideias com os colegas. Para avaliar os resultados, foi aplicado um pré-teste e pós-teste. Praticamente não houve melhora nos resultados. Os autores sugerem uma sólida base da Mecânica para os alunos serem introduzidos na Física Térmica.

O trabalho de Meltzer (2004) tem o objetivo de detectar as dificuldades dos alunos na Primeira Lei da Termodinâmica e também propor uma estratégia didática. As dificuldades se referem ao fato de considerarem o calor e o trabalho como variáveis de estado, assim consideram que o trabalho e o calor num ciclo são iguais a zero, e na verdade não sabem o que é uma variável de estado. Confundem calor, trabalho e energia interna por terem a mesma unidade. Foram investigados 653 estudantes através de questões abertas e 407 através de questões de múltipla escolha. Alunos (32) voluntários responderam a uma entrevista. A estratégia didática proposta foi constituída de um guia de atividades. Houve melhora nos resultados após a aplicação da metodologia didática, mas o autor sugere mudanças que deem mais embasamento teórico nos conceitos básicos da Termodinâmica.

Kaper e Goedhart (2002) fazem um trabalho sobre os gases ideais, aplicam e analisam duas sequências didáticas. Acreditar que as partículas aumentam de volume durante a expansão aponta dificuldade para os alunos, pois desconsideram a existência de espaço vazio entre elas. Os alunos não entendem o movimento aleatório das partículas. Os pesquisadores utilizam simulações durante a aplicação das metodologias didáticas a 300 alunos durante 6 semanas. As atividades foram realizadas em grupos. A primeira sequência didática era constituída de modelo de partículas para explicar a conservação da matéria, e a segunda tinha o objetivo de desenvolver um modelo que permitisse prever e explicar as propriedades dos gases. Na análise dos dados, utilizaram entrevistas, pré e pós-teste. Os alunos apresentaram melhora nas dificuldades em relação à aplicação da primeira estratégia didática e, em relação à segunda, passaram a utilizar o modelo de partículas para dar explicações e fazer previsões.

Nas dificuldades nos conceitos de sistema e equilíbrio, Covalada et al. (2009) propõem situações que permitam aos alunos desenvolverem os significados de tais conceitos. A metodologia foi aplicada a 25 alunos de Física I, e para avaliação de tal metodologia utilizaram questões que foram respondidas no início e no final do curso. Como conclusão, os autores dizem que os conceitos de sistema e equilíbrio são nucleares e, por isso, precursores de novos conhecimentos, o que pode facilitar a construção de novos conceitos da Mecânica e Termodinâmica. Após a aplicação da metodologia, os alunos dizem (conceito-em-ação) que sistema é um conjunto de corpos, e (teoremas-em-ação) se a soma das forças ou torques for igual a zero o corpo está em equilíbrio, e o equilíbrio se refere a um estado nulo. Concluem ainda que a ação mediadora do professor permite aos alunos explicitarem seus significados e dizem que os resultados da metodologia didática foram parciais.

Doménech e Martínez-Torregrosa (2010) fizeram um trabalho com o objetivo de aprofundar o conhecimento que os alunos do ensino secundário têm sobre os conceitos trabalho e calor. Diferentes atividades foram propostas para 170 alunos do último ano do secundário de 17 e 18 anos. Além disso, outros cinco estudantes foram entrevistados. As atividades propostas tiveram o objetivo de diagnosticar em que medida os alunos tem ideias qualitativas de trabalho e calor, bem como descobrir se eles são capazes de relacionar tais conceitos às variações de energia

experimentada pelos sistemas. Eles afirmam baseado nos argumentos usados pelos alunos que eles concluem o ensino secundário com muita deficiência.

Para identificar as dificuldades dos alunos na Primeira Lei da Termodinâmica, Lovedure et al. (2002) realizam perguntas escritas e entrevistas em dois momentos distintos. Os alunos acreditam na relação indiscriminada da pressão e do volume com o aumento da temperatura. Confundem a transformação adiabática e isotérmica e as variações das grandezas pressão, volume e temperatura numa transformação adiabática. Relacionam a temperatura à densidade de moléculas. Não discriminam os conceitos calor, trabalho e energia interna. Não diferenciam o sinal do trabalho quando o sistema recebe ou cede energia e não transferem o conceito trabalho aprendido na Mecânica para a Termodinâmica. Eles também não entendem que o trabalho não é uma variável de estado.

As ideias dos alunos sobre energia, trabalho, calor e temperatura foram analisadas por Bãnas et al. (2004) e comparadas aos livros didáticos. Esta análise foi realizada através de perguntas abertas com 250 alunos do ensino médio, e constatou-se que eles desconsideram a interferência da energia nas mudanças de estado. Não consideram o princípio da conservação da energia. Confundem degradação de energia com a perda de energia. Relacionam trabalho com esforço físico. Entendem calor como uma forma de energia ou como algo material. Confundem calor e temperatura. Não tem claro o significado de equilíbrio térmico. Não consideram a temperatura constante durante a mudança de estado. Consideram a temperatura proporcional à massa. Os autores, ao compararem as ideias dos alunos com os livros didáticos, observam coincidências e dizem que as concepções alternativas dos alunos podem ser produzidas pelos livros didáticos.

Numa outra pesquisa, onde os alunos também não têm claro o que seja equilíbrio térmico, Clark (2004) analisa a trajetória conceitual dos estudantes através da sequência de cinco entrevistas. Os mapas de elementos e mapas de explicações são apresentados como proposta para analisar a evolução conceitual dos alunos. Concluem que as ideias dos estudantes evoluem de ideias desconexas a coesas e, às vezes, apresentam mudanças revolucionárias.

Amaral e Mortimer (2001), através da análise das concepções dos alunos a respeito do conceito calor, apresentam uma proposta de perfil conceitual constituída de cinco zonas:

- Realista: vincula a ideia de calor relacionada às sensações.
- Animista: o calor é considerado uma substância viva.
- Substancialista: o calor é uma substância que pode penetrar em outros corpos.
- Empírica: está relacionada à medida de temperatura e à diferença entre calor e temperatura.
- Racionalista: o conceito de calor está vinculado à relação entre variáveis.

E, como conclusão, eles dizem que em situação de ensino os estudantes podem apresentar simultaneamente mais do que uma zona de perfil conceitual.

Grings et al. (2006) investigaram 99 estudantes do ensino médio e técnico por meio de um questionário, visando buscar nas dificuldades dos estudantes possíveis indicadores de invariantes operatórios nos conceitos da Termodinâmica, e citam os seguintes:

- a temperatura é a variação do calor;
- a temperatura é diretamente proporcional ao volume;
- em corpos de mesma temperatura a energia interna é igual, independente do estado físico;
- é necessária uma fonte de calor para aumentar a temperatura de um corpo.

Como conclusão, os autores afirmam que a Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud é um referencial importante para o Ensino de Física, pois permite, através da detecção de indicadores de invariantes operatórios, diagnosticar as dificuldades dos alunos.

Para analisar as dificuldades de estudantes universitários no conceito entropia, Speltini (2008) utiliza vídeos e diário de bordo. Percebe que a conservação da energia interfere na aprendizagem da não conservação da entropia e acredita

que os conhecimentos dos alunos sobre conservação atuam como obstáculo epistemológico para a aprendizagem do conceito de entropia.

Covaleda et al. (2005) analisam os significados dos conceitos sistema e equilíbrio por acreditarem que os alunos apresentam dificuldades em tais conceitos. A pesquisa foi realizada com 60 estudantes universitários de Engenharia e Física que responderam a um questionário na última semana do curso. Os autores dividiram o conceito de sistema em três categorias:

- conjunto de elementos ou objetos materiais;
- sistema onde configuram gráficos, esquemas ou processos referenciais;
- sistema como uma parte do universo que interessa estudar.

Sobre equilíbrio, foram definidas cinco categorias:

- o sistema cumpre condições que não mudam;
- o sistema cumpre certas condições de compensação;
- estado de um corpo em que não há mudança, alterações ou movimentos;
- o equilíbrio é a soma, igualdade, momento de forças nulas e velocidade constante;
- diversos significados para equilíbrio.

Concluem que os estudantes apresentam uma variedade de significados para os conceitos equilíbrio e sistema. Os alunos apresentam um conceito de sistema inconsistente, o que resulta na incapacidade de resolver situações que envolvam tal conceito. O conceito de equilíbrio já se apresenta mais próximo da conceitualização aceita cientificamente.

Grings et al. (2008) analisam as dificuldades dos estudantes dos Cursos Técnicos em Química, Eletrotécnica, Eletrônica e Mecânica, avanços e retrocessos e possíveis indicadores de invariantes operatórios. Foi aplicado um questionário e foi realizada uma entrevista com um aluno de cada Curso. Encontraram evidências dos seguintes invariantes operatórios:

- ocorre transferência de calor somente quando os corpos estão encostados;

- uma fonte de calor é sempre necessária para aumentar a temperatura de um corpo.

Os autores concluem que o caminho para a aprendizagem não é linear. Ele pode evoluir, mas, ao mesmo tempo, retroceder, apresentando também filiações e rupturas. Observam que a compreensão dos signos (representações gráficas ou outras) é importante para a compreensão dos conceitos. Percebem também que, após o desenvolvimento dos conceitos em sala de aula, os estudantes continuam usando conceitos implícitos, o que indica a necessidade de mais negociação.

Num outro artigo, Grings et al. (2007a) investigam os significados dos conceitos da Termodinâmica e possíveis indicadores de invariantes operatórios. Através de questionário e entrevistas, são investigados estudantes do ensino médio da Fundação Liberato e os seguintes significados são identificados:

- Temperatura: energia, calor, agitação dos átomos e moléculas e sensação térmica.
- Calor: energia, temperatura, substância calórica, movimento de átomos ou moléculas.
- Energia interna: energia que os corpos possuem dentro deles, calor, movimentos de átomos e moléculas e temperatura.
- Trabalho: energia, esforço físico, movimento, força/deslocamento.
- Entropia: não apresentaram significados lógicos.

Por fim, os autores concluem que a conceitualização dos estudantes está distante dos conceitos aceitos pela comunidade científica.

Foram pesquisados 30 estudantes de graduação em Física através de entrevistas subestruturadas e análise de expressões verbais e escritas por Guo-li e Roger (2009), para investigar os modelos mentais dos estudantes em condução de calor. Os autores encontraram cinco analogias para o processo de condução de calor:

- o calor é transferido passo a passo (as primeiras regiões atingem o equilíbrio térmico, mas as últimas não são afetadas);
- o calor será transmitido simultaneamente e espalhado uniformemente por todo o objeto;
- as temperaturas em diferentes regiões do objeto aumentam na proporção inversa à distância entre a região e a fonte de calor;
- as temperaturas em diferentes regiões do objeto aumentam passo a passo na proporção inversa à distância entre a região e a fonte de calor;
- as temperaturas em diferentes regiões do objeto aumentam a taxa constante na proporção inversa à distância entre a região e a fonte de calor.

Os autores também constatarem crenças ontológicas dos estudantes:

- calor como substância: partículas de calor que se movimentam na condução;
- calor como fluxo: o calor flui através do objeto;
- calor como consequência de colisões: as moléculas colidem no sentido de moléculas de maior energia cinética para as de menor energia cinética.

Concluem que estes dois aspectos, crenças ontológicas e analogias representam melhor os modelos mentais dos estudantes. Percebem que os modelos mentais cientificamente aceitos têm mais chance de produzir previsões corretas. No entanto, os estudantes preferem utilizar regras aprendidas em experiências anteriores para fazer previsão do que manipular seus modelos mentais.

Cotignola et al. (2009) pesquisam as dificuldades dos estudantes no conceito energia interna e relacionam tais dificuldades com a evolução do conceito em livros didáticos e a sua relação com a evolução histórica deste conceito. Neste trabalho, foram realizadas entrevistas gravadas com 31 estudantes do Curso Engenharia e Ciências. Após fazerem uma análise dos livros didáticos e da evolução histórica dos conceitos, eles perceberam que a confusão entre calor e energia interna por parte dos alunos também é apresentada em livros didáticos e na evolução histórica dos conceitos. Por exemplo, alguns autores usam energia térmica como sinônimo de calor, e outros como sinônimo de energia interna. Eles observaram que as respostas

dos alunos coincidem com alguns autores ao considerarem o trabalho transformado diretamente em calor, como no caso da experiência de Joule, evidenciando uma confusão entre calor e energia interna. Concluem dizendo que uma boa estratégia didática deve levar em consideração a evolução histórica e filosófica dos conceitos calor e temperatura.

A energia é um tema central na física e um conceito-chave para a compreensão dos mundos físicos, biológicos e tecnológicos, dizem Besson e Ambrosis (2013). Eles discutem alguns aspectos do ensino e aprendizagem do conceito de energia. Para mergulhar o ensino da ciência no contexto da cultura científica e do mundo cultural dos alunos, os autores propõem a seleção de questões de condução específicas que promovam a motivação para a construção de conceitos. Eles propõem o projeto e avaliação de um caminho de aprendizagem de ensino desenvolvido em torno da questão do efeito estufa e o aquecimento global. A experimentação com alunos do ensino médio mostrou promoveu o engajamento dos alunos em direção a uma compreensão mais profunda do tema. A evolução das respostas dos alunos indica uma utilização cada vez mais correta e adequada dos conceitos de calor, radiação, temperatura, energia interna. Já percebem a distinção entre o equilíbrio térmico e as condições de equilíbrio não estacionárias, e apresentam uma melhor compreensão do efeito de estufa. Com base nos resultados da experimentação e em colaboração com os professores envolvidos, foram preparados novos materiais para os alunos e um novo ciclo de aplicação metodológica, avaliação foi ativado com um grupo maior de professores e alunos. Este tipo de colaboração sistemática entre pesquisadores e professores pode ajudar a preencher a lacuna entre a pesquisa em educação, a ciência e a prática escolar real.

Robertson e Shaffer (2013) relatam uma investigação do raciocínio de alunos e professores sobre os princípios básicos da teoria cinético-molecular e o conceito de volume. Esta pesquisa surgiu a partir da constatação de que os estudantes de nível universitário atribuem um volume ao gás diferente do volume do recipiente que o contém. Foi examinado o grau de raciocínio incorreto associado ao movimento das partículas de um gás. Os resultados sugerem que os professores e os estudantes,

muitas vezes justificam respostas incorretas sobre o volume de um gás com afirmações incorretas sobre o movimento das partículas de gás.

Woody (2013) usa a lei dos gases ideais e analisa pesquisas contemporâneas em filosofia da ciência sobre explicações científicas. Ela discute um projeto alternativo, a perspectiva funcional. O objetivo é destacar iniciativas de investigações que são salientes para as preocupações pedagógicas. A autora argumenta que os professores de ciências devem estar conscientes dos componentes normativos e prescritivos do discurso explicativo, tanto em sala de aula e na ciência em geral. Sugere que os professores deem atenção a essa dimensão de explicação, pois assim irá apoiar o desenvolvimento de habilidades de raciocínio em estudantes de ciências, ajudando-os a compreender que a ciência é mais do que uma simples coleção de fatos empíricos e, conseqüentemente, a educação científica envolve mais do que simplesmente aprendê-las.

Haglund e Jeppsson (2012) usam analogias criadas pelos estudantes como um método construtivista para ensinar um assunto novo, pelo uso daquilo que eles já sabem. Eles relatam um exercício em grupo usando analogias criadas pelos estudantes para dar sentido a dois processos termodinâmicos, expansão adiabática reversível e expansão adiabática livre de um gás ideal. Os participantes (N = 8) eram estudantes do quarto ano de formação de professores de física. A principal conclusão foi a de que no trabalho com analogias os estudantes assumem o controle de sua aprendizagem, que se manifesta em termos de ações de escolha e controle do uso de conversação exploratória. Conseqüentemente, várias analogias foram criadas. No entanto, constataram que podem gerar analogias no ensino de ciências com os riscos de desenvolverem explicações idiossincráticas ou ficar preso em comparações excessivamente complexas.

Leinonen et al. (2012) fazem um estudo sobre as explicações e o raciocínio de estudantes do segundo ano do curso universitário relacionado a compressão adiabática de um gás ideal. O fenômeno era novo para os alunos, mas foi solicitado que explicassem usando seus conhecimentos do ensino secundário. Explicações e raciocínio dos alunos foram investigados com a ajuda de testes de papel e lápis (n

= 86) e entrevistas semi-estruturadas (n = 5), no início de um curso de física térmica da Universidade da Finlândia Oriental. O teste de papel e lápis revelou que os alunos tiveram dificuldades na aplicação do conteúdo ministrado durante o ensino, só alguns deles foram capazes de dar uma explicação correta para o fenômeno. Os resultados também indicaram que os estudantes não percebiam as inconsistências em seu raciocínio, tanto em situações de teste como de entrevista. Eles sugerem na conclusão que o conteúdo do ensino dos cursos de física térmica secundário deve ser cuidadosamente examinado para localizar as melhores ênfases para diferentes leis, princípios, conceitos e modelos.

Abreu e Guerra (2012) sugerem uma abordagem simples para introduzir a termodinâmica, começando com o conceito de energia interna e entropia. A partir de uma série de experiências envolvendo gases, que mostram que a energia interna depende do volume e da entropia, foi introduzido o conceito entropia. Com a introdução de entropia antes das noções de temperatura e de calor, a abordagem proposta evita algumas das principais dificuldades conceituais, como a utilização da temperatura como variável, dizem os autores. A relação entre mecânica e termodinâmica emerge naturalmente, pois a mecânica correspondente a termodinâmica isentrópica. As questões de evolução para o equilíbrio e a irreversibilidade são estudadas a partir da "força dinâmica". Este modelo permite entender o caráter de dissipação da força dinâmica, a abordagem de equilíbrio e a irreversibilidade.

Lidsey, Heron e Shaffer (2012) constataram que mesmo após uma metodologia modificada, muitas dificuldades ainda persistiam. Os autores levantaram a hipótese de que estas dificuldades poderiam estar ligadas a escolha do sistema. Eles decidiram então investigar o entendimento do seu aluno sobre a escolha de um sistema de interesse e as implicações na análise subsequente de energia. Verificaram que os estudantes não acreditavam que determinados grupos de objetos podem ser considerados um sistema. Muitos educadores de física estão cientes de que a escolha de um sistema de interesse não é sempre feita explicitamente para os alunos, e que é comum o uso informal de expressões associando a energia potencial com um objeto, em vez de com um sistema. Em muitos casos há poucas implicações, porque as soluções corretas para problemas

muitas vezes podem ser obtidas apesar da falta de precisão da discussão sobre sistemas. No entanto os autores constataam que inconsistências no conceito sistema podem gerar sérias implicações.

As discussões sobre os fundamentos da mecânica estatística levam à termodinâmica e a definição adequada de entropia, mas tem ocasionado muitas discordâncias, diz Swendsen (2011). Ele acredita que destes desacordos surgem diferentes pressupostos, o que pode tornar difícil conciliar opiniões opostas. Para fazer essas suposições explícitas, ele discute os princípios que guiaram o seu pensamento sobre os fundamentos da mecânica estatística, as origens da termodinâmica microscópica, e a definição de entropia. O autor explica que o objetivo do artigo será alcançado se ele abrir caminho para um consenso final.

O pensamento dos alunos sobre conceitos de calorimetria é investigado por Christensen, Meltzer e Nguyen (2011) em um curso introdutório. Eles constataram que apesar do bom desempenho geral dos alunos, em torno de 50% dos alunos foram capazes de fornecer respostas corretas com explicações satisfatórias. Uma série de dificuldades persistentes foi detectada em 40% dos estudantes, mesmo depois da instrução, incluindo a aparente confusão sobre o significado do calor específico e da incompreensão da natureza das trocas de energia térmica. Entrevistas com os alunos sugerem que a dificuldade com manipulações algébricas contribui significativamente para respostas incorretas sobre questões de calorimetria.

Chiou e Anderson (2010) propõem uma nova abordagem, combinando as crenças ontológicas dos estudantes e explicações do processo, para representar os modelos mentais de condução de calor e, em seguida, examinaram as relações entre seus modelos mentais e suas previsões. Entrevistas clínicas foram realizadas para investigar modelos mentais de 30 estudantes graduação em física e suas previsões sobre a condução de calor. Este estudo adotou um método comparativo constante para descobrir padrões de respostas dos participantes entre as várias fontes de dados, tais como expressões verbais, escritas e desenhos. Os resultados indicam com base nos dados identificados, cinco analogias para o processo de como o calor é

conduzido e três crenças ontológicas sobre a base material para a condução de calor. As combinações destes dois aspectos podem representar melhor seus modelos mentais em termos de ambos os mecanismos subjacentes e emergentes do que processos de condução de calor sozinho como tem sido feito em pesquisas anteriores. Além disso, um modelo mental cientificamente aceito teve uma chance melhor de ser acompanhada por uma previsão correta, embora uma previsão correta pode não resultar de um modelo mental cientificamente aceito. No entanto, como sugerido por alguns psicólogos cognitivos, independentemente do que os modelos mentais dos participantes possuíam, eles tendiam a obter automaticamente as suas regras aprendidas em experiência anterior, em vez de manipular seus modelos mentais, para gerar previsões para os problemas encontrados.

Perrota et al. (2010) dizem que a partir de pesquisas realizadas na década de 1980, sobre trabalho e energia, alguns textos habituais foram modificados. Os autores apresentaram uma situação problemática que pode ajudar a entender a conservação da energia, a escolha de diferentes fronteiras para o sistema, o movimento do centro de massa, e a energia interna dos sistemas de partículas. Eles dizem que o problema pode ser proposto aos estudantes em cursos universitários de Mecânica Básica. Explicam que desenvolveram uma solução completa que pode ser tomada como um exemplo da aplicação do conceitos mencionados e acreditam que o exemplo possa ser útil para outros professores.

Souza e Justi (2011) afirmam que o desenvolvimento dos alunos em atividades de modelagem é uma parte essencial de uma abordagem de ensino mais interativa e dialógica. Eles dizem que uma estratégia de modelagem para o ensino do tema energia envolvida nas transformações químicas foi proposta, sendo aplicada a um grupo de alunos da 2ª série do Ensino Médio de uma escola Pública Federal de Belo Horizonte. Eles percebem que uma estratégia alicerçada em modelagem tem se mostrado problemática uma vez que o professor não apresenta um modelo pronto aos alunos, mas algumas informações que os ajudem a conectar seus conhecimentos anteriores com as ideias atuais. No entanto é possível que os faça repensar e modificar suas ideias anteriores, e é possível que os alunos

percebiam limitações ou incoerências em seus modelos, buscando modificá-los ou mesmo substituí-los por outros mais adequados.

Bordogna et al. (2001) propõem uma abordagem didática que envolve aspectos metodológicos e conceituais para ensinar energia, trabalho e calor. Inicialmente, fazem um levantamento das concepções iniciais dos estudantes e aplicam a metodologia que consiste na modelização da matéria, hierarquização e reorganização curricular. Caracterizou-se também por uma realimentação entre a implementação e a avaliação da aprendizagem. Durante o desenvolvimento da metodologia em sala de aula, são feitas discussões com os alunos. Os autores concluem que houve melhora na aprendizagem dos conceitos básicos, mas dizem que é necessário um cuidadoso instrumento de avaliação para análise da aprendizagem dos conceitos.

Silva et al. (2008) utilizam uma metodologia que chamam de reconstrução curricular didática, baseada no modelo lakatiano, cujo ensino é feito a partir da história e filosofia das ciências. Utilizam a metodologia em uma turma de ensino médio no ensino dos conceitos calor e temperatura. Ao finalizar, dizem que a metodologia apontou para o aprimoramento da lógica utilizada pelos alunos.

Aguiar (2004) utiliza uma metodologia baseada no modelo piagetiano, que usa níveis progressivos de entendimento baseados nas tríades intra, inter e transobjetais. Tal metodologia é utilizada em uma turma do ensino fundamental com 33 alunos. O autor conclui que os resultados da pesquisa indicam que a progressão dos conteúdos do ensino durante o curso favorece as mudanças cognitivas, entendidas como construção de novos significados e modos de raciocínio sobre aspectos da realidade.

Meheut (2004) utiliza sequências didáticas constituídas de desenvolvimento de modelos, explicações e previsão de eventos. Na primeira, usa o modelo de partículas para explicar a conservação da matéria e, na segunda, desenvolve um modelo para explicar e prever o modelo dos gases. A estratégia didática é aplicada a 300 alunos e são feitos registros escritos e gravados, além da realização de entrevistas. Constatam que algumas dificuldades persistem, por exemplo, aumento

de volume como consequência da dilatação de partículas, não aceitação de espaços vazios entre partículas e o movimento desordenado e aleatório de tais partículas. Concluem que os resultados ainda estão longe do esperado e que as questões propostas não foram adequadas, pois não possibilitou a necessidade de um modelo explicativo por parte dos alunos.

Ovando e Cudmani (2004) utilizam uma experiência piloto constituída de um módulo introdutório, que é aplicado a um grupo experimental e de controle e, finalmente, elaboram um módulo de instrução (constituído de um conjunto de questões) sobre a Primeira Lei da Termodinâmica. Os autores dizem que os alunos demonstraram uma atitude negativa em relação à Ciência. Os autores pretendem aprofundar a investigação através de entrevista, e os resultados serão utilizados para ajustar a proposta didática.

Sobre calor e temperatura, Aguiar e Mortimer (2005) desenvolvem uma sequência de ensino que envolve uma discussão preliminar sobre o assunto, trabalhos em pequenos grupos e, por fim, discussões envolvendo também o professor. A estratégia didática foi aplicada numa turma de 8^a série e um episódio das aulas foi gravado e após foi aplicada à metodologia de análise de discurso. Os resultados indicam que a participação dos estudantes na resolução de conflitos depende não somente da escolha da estratégia adequada, mas também dos discursos dos alunos mediados pelo professor.

Os professores são analisados numa estratégia didática que inclui, no ensino da Termodinâmica, o estudo de sistema e equilíbrio por Dumrauf (2001). A análise é feita através de questionários, entrevistas e registros de aula. O autor observou uma relação entre a imagem que os professores fazem da ciência e a sua atuação em sala de aula.

Uma metodologia que inclui problematização inicial, organização do conhecimento e aplicação do conhecimento é utilizada por Köhnlein e Peduzzi (2002). Após investigarem os efeitos das pesquisas em concepções alternativas sobre calor e temperatura através de pré e pós-teste, tal metodologia é aplicada em estudantes do Magistério. Os pesquisadores dizem que o ensino formal é pouco

eficaz na aprendizagem dos conceitos científicos uma vez que as concepções alternativas persistem nos diferentes grupos pesquisados. Quanto à metodologia, houve uma melhoria na aprendizagem dos conceitos, mas muitas concepções ainda aparecem. Os pesquisadores concluem também que poucos resultados sobre as concepções alternativas têm chegado à sala de aula.

Analisar o discurso de alunos e docentes sobre calor em sala de aula é o objetivo do trabalho de Dunrauf e Cordero (2004). Através de entrevista semiestruturada, eles estudaram o discurso de 20 estudantes e professores em 7 aulas. O discurso observado foi caracterizado, de acordo com Leander y Brown, como (ins)estabilidade conceitual (concepções científicas pessoais), (ins)estabilidade focal (a partir da situação focal define o conceito consensuado cientificamente), (ins)estabilidade discursiva-simbólica (movimentos discursivos de negociação), (ins)estabilidade institucional (concebe a instituição educativa como sistema coletivo de atividade), (ins)estabilidade social (reflete a interação entre os participantes), (ins)estabilidade afetiva (manifestação de emoções individuais e coletivas). Os autores concluem que a análise permitiu incursionar nas considerações afetivas e sociais dos docentes e dos alunos.

Após analisar o conceito de calor e temperatura em livros didáticos, Berg (2008) faz um resumo da evolução histórica destes conceitos. Observa que os livros didáticos ainda apresentam confusão na definição de calor e temperatura e comenta que uma boa estratégia didática deve levar em consideração a evolução histórica e filosófica dos conceitos.

Para introduzir o conceito temperatura Grings et al. (2008a) propõem uma metodologia apoiada na Teoria Campos Conceituais de Vergnaud, que visa introduzir os conceitos através de um conjunto de situações. A metodologia foi aplicada a 32 alunos do ensino médio, que trabalharam em duplas. As discussões dos estudantes foram gravadas e analisadas. Os resultados mostram que os alunos acionam vários esquemas e seus componentes durante a resolução das situações problema. Houve também evidência da construção de novos esquemas.

Uma estratégia didática para desenvolver um módulo de física térmica é proposta por Kampen et al. (2004). A metodologia de ensino e aprendizagem baseada em problemas (PBL) foi aplicada por 3 semanas a estudantes do nível básico, que trabalharam em grupos de 4 ou 5 alunos. Os autores observaram uma melhoria considerável dos alunos que participaram da metodologia, uma vez que:

- os estudantes passaram a dar ênfase no processo ao invés do resultado;
- aumentou a motivação;
- avaliação positiva da metodologia por todos os alunos;
- estudantes que participaram da metodologia nos semestres seguintes passaram a ter mais responsabilidade sobre sua aprendizagem.

Os autores Buteler e Gangoso (2004) apresentaram aos estudantes três enunciados diferentes para o mesmo problema: uma versão verbal, gráfica concreta (desenho de cilindros com a sequência de transformações) e gráfica abstrata (representação gráfica) sobre a Primeira Lei da Termodinâmica, que envolve uma transformação adiabática, isocórica e isotérmica. A proposta foi implementada em 56 estudantes de Biologia que já haviam estudado Termodinâmica. Como resultado, os autores observaram que a maioria dos alunos considerou os enunciados como problemas diferentes. Perceberam que eles utilizaram melhor a Primeira Lei da Termodinâmica em resultados gráficos. A maioria dos estudantes não percebeu a transformação isocórica na representação gráfica concreta.

Para estudar o equilíbrio térmico, Clark e Jorde (2004) utilizaram simulações computacionais. Inicialmente, os estudantes fizeram um estudo introdutório com o uso do computador e, após, usaram um guia de exercícios para realizar as atividades propostas. Os autores usaram de pré-teste e pós-teste, grupo experimental e de controle. Os resultados mostraram que o grupo experimental tem um desempenho significativamente melhor do que o grupo de controle.

Para comparar experiências por computador e laboratório sobre calor, temperatura e equilíbrio térmico, Zacharia et al. (2008) realizaram trabalhos que envolveram três etapas: previsão, observação e explicação. Utilizaram pré-teste e pós-teste, grupo experimental e de controle com 64 estudantes de graduação. As

atividades foram realizadas em grupos de três alunos. Os resultados mostram que a experimentação virtual é um processo viável e não uma segunda opção, possibilitando menos tempo de experimentação. No entanto, quando o objetivo da experiência for adquirir habilidades de manipular o material, as experiências de laboratório devem ser feitas, assim a escolha depende dos objetivos de aprendizagem.

Uma experiência com aquisição automática de dados em Física Térmica foi realizada por Sias e Teixeira (2006) em duas turmas do ensino médio, reunidas em grupos de quatro alunos. Para análise da pesquisa, os autores utilizaram a metodologia qualitativa. Observaram, nos trabalhos de grupos, que os alunos compartilham dúvidas e ideias. Houve um grande envolvimento dos alunos nos experimentos de coleta de dados e discussões a respeito.

Para analisar e intervir numa exposição de Termodinâmica da Estação Ciências, Stuchi e Ferreira (2003) aplicaram questionários em estudantes do ensino fundamental e médio antes e depois da visita. Após a organização de uma exposição proposta pelos autores os resultados foram avaliados através de entrevista. Os pesquisadores observaram que os alunos apresentam grande dificuldade ao enfrentar situações novas. Verificaram que a exposição contribui para um início de um desenvolvimento cognitivo. Sugerem que a exposição seja sempre atualizada e passe por um processo de avaliação contínua.

Sperandeo-Mineo (2005) realizam uma pesquisa para verificar se os professores apresentam conhecimento e competência para desenvolver um ensino baseado em modelagem e verificam que não os possuem. Os autores propõem atividades pedagógicas a 28 professores do 1º semestre de um curso de pós-graduação, visando o desenvolvimento de modelos de condução de calor e mudança de estado, e verificam implicações no procedimento dos professores em suas atividades de sala de aula. Constatam, ainda, que proporcionar aos professores atividades de modelagem permite que eles possam utilizá-las em suas salas de aula, gerando mudanças significativas na abordagem ensino/aprendizagem. A familiaridade com ferramentas pedagógicas envolvendo modelagem proporcionou aos professores perceber a importância dos modelos em

Física. Dizem que, para a transferência de conhecimento, é necessário um bom conhecimento dos modelos físicos e habilidade no planejamento de atividades.

2.4 Comentários finais sobre a revisão de literatura

Uma das causas das grandes deficiências nos conceitos da Termodinâmica tem origem nas dificuldades que os alunos apresentam no conceito de energia, como discutem Doménech et al. (2003). Por outro lado, outra causa da procedência de tais dificuldades está relacionada a abordagens inadequadas apresentadas nos livros didáticos, conforme comentam Alomá et al. (2003), Silva et al. (2008) e Christiansen e Rump (2008). Assim, muitas das origens das concepções dos estudantes não estão relacionadas às suas vivências, mas são procedentes dos bancos escolares através dos livros didáticos e concepções apresentadas por professores.

O que pode ser observado nos trabalhos de Lindsey et al. (2009), Cochran e Heron (2006), Kautz et al. (2005), Ogilvie (2009) e outros, é que as estratégias utilizadas eram, na maioria, constituídas de um guia de atividades, visando sanar as dificuldades constatadas, aplicadas geralmente a grupo de estudantes. Nas investigações, predominaram as questões abertas seguidas de entrevistas, mas houve também questões de múltipla escolha. Para caracterizar as metodologias utilizadas, listamos alguns de seus componentes:

- guia de atividades;
- simulações computacionais;
- hierarquização dos conteúdos e reorganização curricular;
- introdução do ensino através da história e filosofia das ciências;
- utilização do modelo piagetiano, que usa níveis progressivos de entendimentos;
- sequências didáticas constituídas de desenvolvimento de modelos, explicações e previsão de eventos;
- discussão preliminar sobre o assunto, trabalhos em pequenos grupos e discussões envolvendo também o professor;
- problematização inicial, organização e aplicação do conhecimento;

- introdução dos conceitos através de situações.

Os artigos analisados mostram uma lista extensa de dificuldades apresentadas pelos estudantes nos conceitos da Termodinâmica. Na relação abaixo, tentamos agrupá-las por conceito, embora algumas estejam relacionadas a mais de um conceito.

Temperatura:

- acreditam que a temperatura não varia num processo adiabático;
- acreditam que a temperatura é diretamente proporcional ao volume;
- pensam que em corpos de mesma temperatura a energia interna é igual, independente do estado físico;
- acreditam que é necessária uma fonte de calor para aumentar a temperatura de um corpo;
- relacionam a temperatura ao número de partículas ou às massas das partículas;
- acreditam que o número de partículas implica numa variação de temperatura;
- não consideram a temperatura constante durante a mudança de estado;
- consideram a temperatura proporcional à massa;
- acreditam que a velocidade quadrática média é a mesma para moléculas de massas diferentes à mesma temperatura;
- não percebem que moléculas de massas diferentes à mesma temperatura possuem a mesma energia cinética média;
- não tem claro o que seja equilíbrio térmico.

Calor:

- o calor é uma forma de energia;
- o calor é algo material;
- confundem calor e temperatura;
- ocorre transferência de calor somente quando os corpos estão encostados.

Energia interna:

- não relacionam a variação da energia interna de um sistema com a realização de trabalho;

- não entendem que a energia interna é inalterada num ciclo, ou seja, não sabem o que é uma variável de estado;

- pensam que calor, trabalho e energia interna são sinônimos por terem a mesma unidade;

- pensam que a energia cinética média das moléculas diminui em qualquer expansão;

- desconsideram a interferência da energia nas mudanças de estado;

- consideram a energia interna nula num corpo a 0°C .

Trabalho:

- supõem que o trabalho e o calor realizado num ciclo são iguais a zero;

- consideram calor e trabalho uma variável de estado;

- não diferenciam o sinal do trabalho, quando o sistema cede ou recebe energia;

- relacionam trabalho com esforço físico;

- acreditam que na realização de trabalho há liberação de calor.

Entropia:

- consideram a entropia uma grandeza que se conserva;

- não compreendem que a eficiência de qualquer máquina está limitada ao ciclo de Carnot.

Gases ideais:

- não sabem o significado dos conceitos equilíbrio e sistema;

- confundem a transformação adiabática e isotérmica;

- confundem as variações das grandezas pressão, volume e temperatura numa transformação adiabática;

- não reconhecem a independência da substância na aplicação dos gases ideais;

- atribuem volume a uma partícula de um gás ideal;

- confundem massa e volume nos gases ideais;

- pensam que as partículas aumentam de volume durante a expansão;

- desconsideram a existência de um espaço vazio entre as partículas;
- não entendem o movimento aleatório das partículas;
- confundem o número de mols e massa molar;
- acreditam que gases diferentes nas mesmas condições apresentam diferentes números de mols.

Quando falamos de Termodinâmica, estamos estudando o Princípio mais geral de Conservação de Energia, por isso muitas das dificuldades dos alunos estão relacionadas a este conceito. Outras dificuldades apresentadas estão relacionadas à conceitos subjacentes, como de sistema e variável de estado. A Termodinâmica envolve também as transformações gasosas, e muitas das dificuldades têm origem nesses processos, razão por que tais dificuldades foram reunidas numa categoria denominada gases ideais.

Na categoria resolução de problemas, foi encontrado somente um trabalho que discute problemas iguais com apresentação de enunciados diferentes, e esta diferença na apresentação dos enunciados faz com que os alunos os interpretem como problemas distintos. Os artigos sobre novas tecnologias eram compostos de simulação e aquisição automática de dados. Para o Centro de Ciências, um trabalho foi apresentado propondo uma intervenção junto aos visitantes. A proposta para formação de professores visa instrumentalizá-los a utilizar modelos.

Como pode ser constatado, o maior número de trabalhos apresentados em Termodinâmica está na categoria pesquisa em ensino, evidenciando a tendência que tem se apresentado nos últimos anos. Esta categoria, subdividida em subtemas, mostra que a estratégia didática tem sido a maior preocupação nesta área, seguida das dificuldades, que já foram objeto de pesquisa importante no período das concepções alternativas.

Dentre as dificuldades dos estudantes, muitas delas se caracterizam ainda como concepções alternativas. Quanto às estratégias didáticas, elas visam sanar essas dificuldades geralmente através de um conjunto de atividades, e predominam os trabalhos realizados em grupos. Com relação à análise de livros didáticos, observamos que muitos conceitos são apresentados com significados diferentes, o

que mostra que não existe consenso entre os autores de livros e levaria a supor que também não existe consenso a respeito dos significados dos conceitos entre a comunidade científica. Os autores Silva et al. (2008), Alomá e Malvares (2007), Christiansen e Rump (2008) e Kaper e Goedhart fazem uma análise de livros didáticos e concluem que os conceitos são apresentados com distintos significados pelos diversos livros e, como consequência, essa diversidade de significados para o mesmo conceito geraria nos alunos e professores concepções errôneas. Assim, muitas das concepções apresentadas por alunos e professores são adquiridas na utilização de livros-texto. A própria pesquisadora sentiu dificuldade em expressar o conceito calor para que, no texto, não tivesse significado duvidoso. Como expressar adequadamente o conceito calor, bastante discutido na literatura pelas suas concepções errôneas? A própria literatura fala, por exemplo, de capacidade térmica, que poderia dar a entender que um corpo tem a capacidade de reter calor. Para alguns casos, é difícil a utilização adequada de um conceito. Ousaríamos dizer que, para alguns conceitos, não existe consenso, inclusive na comunidade científica, e, por isso, tais conceitos aparecem na literatura com diferentes significados.

Uma contribuição importante para esta tese apresentada pela revisão de literatura e para a sala de aula em geral é a constatação de que muitas concepções podem ser adquiridas nos bancos escolares, alertando o professor para que desenvolva uma abordagem que não dê margem a tais concepções. As dificuldades diagnosticadas também serviram para direcionar a metodologia didática no intuito de minimizar possíveis concepções que poderiam ser adquiridas no âmbito da sala de aula. A estratégia didática utilizada nesta pesquisa que introduz os problemas através de situações e trabalhos em grupo está subsidiada pela problematização e utilização de situações apresentadas pelos autores pesquisados.

3 PRESSUPOSTOS TEÓRICOS

3.1 Introdução

A década de 80 se consagrou por pesquisas em concepções espontâneas, tratando, principalmente, da divergência entre os conceitos formais transmitidos no Ensino de Física e os conceitos intuitivos apresentados por estudantes. Dados de Neto e Pacheco (2001, p.19) mostram que o tema mais pesquisado, no Brasil, nessa área, são estudos de identificação e análise dessas concepções, com 26% das pesquisas, seguidos pelos projetos de ensino, com 16%, pelo ensino experimental, com 12%, e pelo desenvolvimento intelectual, também com 12%. Outras temáticas, tais como currículo, material didático, caracterização da situação educacional, métodos de ensino, cursos específicos e vestibulares apresentam percentuais inferiores a 10%.

Inicialmente, acreditava-se que uma estratégia de conflito resultaria em desequilíbrio cognitivo e que isto implicaria em uma mudança conceitual, no sentido de que haveria uma substituição da concepção espontânea pela concepção científica. Já na década de noventa, muitos autores propõem outra visão de mudança conceitual, não no sentido de substituições de conceitos, mas entendida como parte de um enriquecimento, um desenvolvimento ou uma evolução dos conceitos já existentes na estrutura cognitiva do estudante (Greca e Moreira, 2000, p. 78). As concepções alternativas significativas jamais são apagadas ou substituídas. Elas podem agregar novos significados, resultando em resíduos das concepções que o estudante já possuía, acrescidas de concepções adicionais que foram assimiladas. Aquelas concepções espontâneas significativas ficam para sempre armazenadas na estrutura cognitiva do estudante, somente mais elaboradas ou evoluídas, somando-se aos conceitos científicos. Estas concepções permanecem arraigadas no pensamento de estudantes até mesmo de nível universitário, muitas vezes coexistindo com o conceito científico.

Nesse sentido, as pesquisas caracterizadas pela contribuição da Psicologia Cognitiva tiveram lugar a partir da década de 90, com investigações em representações e modelos mentais, cujo objetivo visava compreender melhor os processos cognitivos utilizados pelos estudantes, a fim de propor estratégias didáticas que proporcionassem uma melhor aprendizagem (Vosniadou, 1995; Tiberghien, 2001; Johnson-Laird, 1993).

Portanto, as estruturas cognitivas podem ser interpretadas como estruturas de concepções cheias de significado, aceitas ou não em certo contexto. Quando uma pessoa aprende pela primeira vez uma concepção científica, seus significados alternativos são mais estáveis e dominantes. À medida que ocorre a aprendizagem significativa, a concepção científica se desenvolve. No entanto, os significados já estabelecidos não são apagados ou substituídos; eles passam a ser cada vez menos utilizados, ou não utilizados, mas continuam presentes na concepção mais rica, talvez escondida em algum significado residual (Greca e Moreira, 2000, p. 74).

Assim, mudança conceitual pode ser entendida como coexistência de concepções alternativas e científicas. Ou, pode apresentar padrão evolutivo no qual o estudante mantém elementos substanciais da velha concepção e gradualmente incorpora elementos da nova concepção. Outra alternativa instrucional seria o enriquecimento da compreensão conceitual junto com a metacognição. A concepção alternativa e a mudança conceitual podem ser consideradas como passos normais no processo de aprendizagem, o qual deve ser considerado como um contínuo que vai desde um estado de organização conceitual até outro de maior hierarquia. (Soloman, 1984; Nussbaum, 1989; Schuster, 1993; Bhaghiroli, 1993 apud Greca e Moreira, 2003, p. 16-17). Ainda é proposto um modelo de evolução conceitual baseado na noção de perfil conceitual. Ele se difere de modelos usuais no sentido de admitir a possibilidade de utilizar diferentes modos de pensar em distintos domínios. Neste caso, o ensino permite ao estudante tomar consciência das concepções alternativas e científicas e das diferentes zonas de perfil, sem que seja necessário apagar ou substituir as concepções alternativas pelas científicas (Mortimer, 1994, p. 309). Também é proposto que, do ponto de vista conceitual, os conceitos científicos são mais potentes. Eles podem reescrever ou explicar os conceitos que os alunos trazem, sem que os anulem, desde um ponto de vista

representacional ou cognitivo, já que os últimos seguirão sendo eficazes nos contextos informais do cotidiano. Sendo assim, é necessário que o aluno estabeleça diferenças para os contextos de aplicação dos diferentes conceitos (Pozo e Crespo, 1999 apud Pozo, 1999, p. 517). A mudança conceitual também pode ser vista sob um enfoque de campo semântico, que corresponde à possibilidade de produzir justificativas. A aprendizagem de ciências, neste caso, implicaria em apoderar-se de campos semânticos científicos e produzir neles os significados dos conceitos científicos, o que, por sua vez, não implicaria em apagar ou substituir outros campos semânticos (Lins, 1994 apud Greca e Moreira, 2000, p. 76).

Vosniadou e Brewer (1994 apud Greca e Moreira, 2000, p. 71) utilizam o referencial dos modelos mentais para explicar as dificuldades dos estudantes em compreender os conceitos científicos. Gutiérrez propõe que as mudanças nos modelos mentais coerentes, robustos e consistentes, que permitem uma concordância entre seu pensamento e dos dados do mundo, seriam o agente responsável pelo processo de mudança conceitual no caso de sistemas físicos dinâmicos (Gutiérrez, 2000 apud Greca e Moreira, 2000, p. 77).

Na linha da Pesquisa Cognitiva, tentamos aprofundar o tema aprendizagem de conceitos agregando a proposta de Greca e Moreira (2004), que articulam os modelos mentais com os esquemas de pensamento propostos por Vergnaud (1993). Assim, neste trabalho, pesquisamos a aprendizagem de alguns conceitos do campo conceitual da Termodinâmica, apresentados em cinco estudos experimentais envolvendo a aprendizagem dos conceitos temperatura, calor, energia interna, trabalho e entropia.

Inicialmente, fazemos uma abordagem histórica sobre o tema formação de conceitos na visão de diferentes teorias: clássica, probabilística, de enfoques teórico e essencialista, neoclássica e de atomismo conceitual. Na sequência, trazemos a visão epistemológica da evolução conceitual de Stephen Toulmin, pois entendemos, como ele, que a aprendizagem de conceitos passa por uma evolução conceitual, e os conceitos estão inter-relacionados por populações conceituais. Nesta investigação, associamos a epistemologia evolucionista de Toulmin com as teorias de aprendizagem de Vygotsky, Ausubel, Vergnaud, Greca e Moreira, uma vez que

estes teóricos também compreendem a aprendizagem de conceitos como um processo gradual e evolutivo. Assim, tais teorias são utilizadas como aporte teórico para a investigação do Campo Conceitual da Termodinâmica que, na visão epistemológica, poderia ser entendida como uma população conceitual.

Dando continuidade, desenvolvemos o tema aquisição de conceitos na visão dos teóricos Vygotsky, Ausubel, Vergnaud, Greca e Moreira. Na construção do conhecimento, Ausubel e Piaget propõem construtos teóricos, como os subsunçores e os esquemas de assimilação que foram posteriormente incorporados pela teoria de Vergnaud. É importante salientar que estes construtos poderiam não ser iguais, mas equivalentes nas suas funções cognitivas. Já para Vygotsky o conhecimento é socialmente construído e reconstruído internamente pelo indivíduo em sua mente. A teoria dos campos conceituais de Vergnaud supõe que o âmago do desenvolvimento cognitivo é a conceitualização. Os conceitos são a chave da teoria dos campos conceituais. Por outro lado, tal teoria está também vinculada a Piaget e Vygotsky, herdando de Piaget o conceito de esquema e o papel mediador do professor de Vygotsky. Greca e Moreira (2003, p.18) apresentam uma proposta que articula os modelos mentais de Johnson-Laird com a proposta de campos conceituais de Vergnaud, e esse seria o processo pelo qual ocorreria o enriquecimento conceitual ou a evolução conceitual. É através desta investigação que analisamos a aprendizagem conceitual dos estudantes da terceira série do ensino médio.

3.2 Visões da formação de conceitos

Para abordar o tema conceitos é importante analisar o significado atribuído à palavra conceito a partir do processo de formação dos primeiros conceitos até a elaboração de conceitos mais abstratos. O processo de construção dos primeiros conceitos de uma criança é denominado formação de conceitos e ocorre por meio da regularidade de eventos. Por exemplo, uma criança encontra uma cadeira e alguém lhe diz: isto é uma cadeira. A criança vê outras cadeiras altas, baixas, menores, maiores e todas são cadeiras. Depois do encontro com muitas cadeiras, a palavra cadeira passa a representar uma classe de cadeiras. Assim, pelo processo de indução, de generalização, de abstração e descobrimento, a criança vai formando o conceito de cadeira. Ela terá formado o conceito quando a palavra cadeira passar a

representar uma classe distinta de cadeiras com algumas características comuns. Nessa perspectiva, Novak (1984, p. 20) define conceito como uma regularidade nos acontecimentos que é designada por um termo.

Por outro lado, o significado do conceito não está na palavra cadeira, o significado está nas pessoas. São as pessoas e a sua cultura que dão significado ao conceito. A palavra rato, por exemplo, tem dois significados diferentes: para a língua portuguesa, significa um animal; já na língua espanhola, tem o significado de instante. Para estas duas culturas, a palavra (símbolo) rato tem significados diferentes e, portanto, representa dois conceitos distintos.

Através dos conceitos, são formadas proposições, e com as proposições são organizadas as ideias. Vem daí a natureza atomística dos conceitos. Assim, a visão atomística significa uma unidade ou um componente. Usando várias destas unidades, pode-se construir uma frase. Novak (Ibid., p. 21) explica que quando as crianças começam a ir à escola já adquiriram uma rede de conceitos e de regras de linguagem que desempenha um papel crucial na aprendizagem escolar posterior. As crianças também aprendem métodos para organizarem novos acontecimentos ou objetos que lhes permitem ver novas regularidades e, por conseguinte, reconhecer os termos que representam essas regularidades. Este processo continua até a morte.

Para começarmos a falar sobre as teorias a respeito da formação de conceitos é importante termos uma ideia das funções cognitivas que estas possibilitam. Segundo os autores Mc Shane e Thagard (apud Greca e Moreira, 2000, p. 5-6):

- Categorização: denomina-se categorização o processo mediante o qual objetos que possuem as mesmas características são colocados no mesmo grupo.
- Percepção: quando o conceito de um determinado objeto é adquirido, um conjunto de estímulos é usado para perceber que outro objeto é representativo do primeiro.
- Memória: um objeto, ao ser visto repetidas vezes, faz com que o sujeito lembre de aspectos gerais e particulares a seu respeito.

- Inferência dedutiva: o conceito de um objeto permite fazer deduções a partir do seu conceito, ou seja, como o conceito de objeto já foi adquirido pode-se inferir que ele tem determinadas características e deduzir que outros objetos da mesma espécie que o primeiro sejam capazes de representar coisas parecidas ao primeiro.

- Generalização: o conceito de um determinado objeto é adquirido, então é possível reconhecer outros através de exemplos, ou chegar a conclusões a respeito de objetos levando-se em consideração o primeiro.

- Raciocínio analógico: a aquisição do conceito de um objeto permite que através de raciocínio analógico ou por analogia outros objetos sejam reconhecidos.

- Explicação: quando o conceito de objeto já foi adquirido, é possível dar explicações sobre este objeto, ou seja, é possível dizer como ele é.

- Compreensão da linguagem: através do conceito de um determinado objeto é possível compreender uma expressão linguística a seu respeito.

- Produção de discurso: como o conceito de um determinado objeto já foi apropriado é possível produzir um discurso a respeito deste objeto.

- Aprendizagem: todos os conceitos que um sujeito possui devem ser apreendidos.

Na sequência, serão apresentadas várias teorias que explicam a formação dos conceitos, bem como suas limitações.

3.2.1 Teoria clássica

Na teoria clássica, os conceitos são definidos a partir de um conjunto de elementos comuns. Eles também podem ser definidos a partir de um conjunto de condições necessárias e suficientes. A teoria clássica leva em consideração regras lógicas de classificação e é caracterizada pela presença ou ausência de traços definidores. O modelo de categorização, utilizado na teoria clássica, está na base dos modelos de representações mentais e da memória que utilizam as redes semânticas (Collins e Quillian, 1969; Greca, 1999 apud Greca e Moreira, 2000, p.7).

A teoria clássica permite descrever a aquisição de conceitos através de um modelo simples e convincente. Quando o conceito é mais complexo, a sua aprendizagem ocorre através do agrupamento de suas características. A

aprendizagem dos modelos iniciais ocorre através de experiências empíricas, por meio da percepção. Este conceito inclui um determinado conjunto de características sensoriais, e outro conceito que se apresente similar é considerado representante dos mesmos. Todos os conceitos se formam a partir de um conjunto pequeno de conceitos sensoriais, ou seja, todos os conceitos mais simples são sensoriais (Larence e Margolis, 1999 apud Greca e Moreira, 2000, p. 8).

A principal característica da teoria clássica é a pressuposição da existência de atributos ou traços necessariamente comuns a todos os membros da categoria. Através da abstração desses atributos comuns, o sujeito vem a formar uma representação mental que resume os aspectos partilhados por todos os subconjuntos de uma classe. É a esta representação que damos o nome de conceito (Lomônaco et al., 2001, p. 161). Assim, a teoria clássica poderia ser descrita como uma lista de traços necessários e suficientes.

No entanto, podemos listar as seguintes críticas à teoria clássica:

A maioria dos conceitos não tem definição, muito menos uma definição sensorial (Ibid., p. 8). Uma expressão linguística complexa não tem, necessariamente, sua estrutura formada por definições mais complexas (Fodor, 1998 apud Greca e Moreira, 2000, p. 10). Este problema está relacionado à realidade psicológica da estrutura da definição dos conceitos, porque mesmo sendo possível definir certos conceitos, pode não ser possível explicar certas características do raciocínio das pessoas.

As pessoas têm dificuldade para encontrar características necessárias e suficientes que definam as palavras usuais, ainda quando creem que os conceitos podem ser definidos. De acordo com a teoria clássica, todas as instâncias de um conceito estão em pé de igualdade. No entanto, investigações já mostraram que alguns exemplos são mais representativos que outros. Qualquer propriedade cujos valores variam de forma contínua depende do juízo de valor do observador, e assim não se pode estabelecer uma definição (Ibid.).

Um estágio de desenvolvimento mais primitivo, em que os conceitos aparecessem como uma compilação de traços para depois serem definidos, era o que se esperava encontrar no desenvolvimento das crianças. Porém, não se detectou um estágio de desenvolvimento em que os conceitos primitivos apareçam não compilados (Fodor, 1998 apud Greca e Moreira, 2000, p. 11). Existem algumas situações em que não é possível categorizar de forma clara, portanto estes casos não seriam conceituados (Ibid.).

3.2.2 Visão probabilística dos conceitos

Na visão probabilística, os conceitos são representações complexas, e a estrutura destas representações codifica certas relações estatísticas das propriedades que tendem a possuir as entidades representantes destes membros de uma categoria, embora possam existir membros que não tenham estas propriedades. Nesta visão, só algumas condições devem ser satisfeitas, inclusive pode diferir o peso que cada uma tem para caracterizar as entidades de uma dada categoria. Assim, temos categorias mal definidas, caracterizadas por uma tendência central e fronteiras difusas. Imagine que um conceito seria um representante ideal com todas as características da categoria, ou melhor, todos os traços da tendência central da categoria. Este representante se denominaria protótipo. O protótipo não representaria um exemplo em particular de uma categoria, mas é uma representação resumida dos traços característicos da categoria (Ibid., p. 13). Outra versão da teoria probabilística nega a existência de uma representação resumida, considerando que as categorias são representadas por meio de exemplos concretos. Para ambas, a categorização consiste na comparação dos representantes: uma da entidade que vai categorizar e a outra na representação resumida do exemplar. Se ambas as representações são suficientemente similares, a entidade passa a ser considerada como instância da categoria (Medin, 1989 apud Greca e Moreira, 2000, p. 14).

Em substituição à existência de características necessárias e suficientes, como previa a teoria clássica para a formação de conceitos, a teoria probabilística com a noção de protótipo introduz a noção de que os atributos estão altamente

correlacionados. Isto quer dizer que se um representante possuir um determinado traço é possível prever que outros traços devem ocorrer também (op. cit.).

Os membros mais prototípicos de uma categoria têm mais atributos desta categoria, e os menos prototípicos têm menos atributos em comum que os representantes de outras categorias. Assim, os membros mais prototípicos de uma categoria são os mais representativos desta categoria, e os menos representativos são de outras categorias. A teoria probabilística introduz também a noção de nível básico de categorização, isto é, os conceitos estariam também organizados pelo seu grau de generalidade. Esta noção permite distinguir, em uma dimensão vertical, qual conceito é o mais geral (op. cit., p. 15).

A diferença mais importante entre a teoria clássica e a probabilística está na forma como os conceitos estão relacionados. Na primeira, a relação deveria ser necessária e suficiente, e na teoria probabilística a relação é menos contundente e pode se prescindir de algumas características (op. cit., p. 16).

Para aprender com a teoria probabilística, de forma semelhante à teoria clássica, a partir de uma série de exemplos, as pessoas abstraem certos traços da tendência central, montando o protótipo para o conceito em questão, que pode ser mais bem representado a partir de exemplos específicos guardados na memória de longo prazo. A diferença entre a teoria clássica e a probabilística, portanto, é que na teoria probabilística as características dos conceitos representam propriedades estatísticas importantes (op. cit.).

A visão probabilística pressupõe que o conceito é formado pela abstração dos atributos que ocorrem com maior frequência entre os membros de uma categoria. Nega a existência de atributos definidores de conceitos naturais e acredita que, a partir desses atributos característicos ou mais frequentes, o indivíduo forma uma representação mental denominada protótipo. Uma vez formado, o protótipo será utilizado como critério para decidir a inclusão de itens na categoria. Se o item for suficientemente similar ao protótipo, ele será incluído; se não o for, será excluído (Lomônaco et al., 2001, p. 162). Assim, a teoria probabilística poderia ser descrita

como uma lista de traços mais característicos relacionados de maneira simples ou probabilística.

Em relação à visão probabilística, podemos enunciar as críticas a seguir:

Uma simples lista de traços característicos certamente é uma representação extremamente pobre para representar a estrutura dos conceitos que as pessoas possuem. Os protótipos descartam também informações acerca do tamanho da variabilidade dos exemplos e das relações entre os atributos. A lista de atributos não contém informações acerca do contexto, que influi quando se emite juízos de tipicidade (Medin, 1998 apud Greca e Moreira, 2000, p. 19).

Os protótipos sofrem também do problema de circularidade. Muitas vezes, para definir uma categoria, fazemos uso de outras, que, por sua vez, necessitam da primeira para serem categorizadas (Ibid., p. 20).

A tipicidade não pode ser uma evidência de protótipos. A tipicidade é alguma coisa que tem a ver com os traços mais evidentes de uma categoria, mas não é necessariamente uma categorização fundamental dos conceitos (Ibid.). Existem conceitos para os quais não é possível encontrar uma estrutura prototípica – em alguns casos, não se pode detectar os efeitos de tipicidade, e para outros é impossível encontrar uma tendência central que seja a base do protótipo de alguns exemplares interessantes. A tipicidade dos conceitos complexos não pode ser determinada a partir dos conceitos constituintes (Íbid, p. 21).

3.2.3 Enfoques teórico e essencialista

A teoria dos enfoques teórico e essencialista pressupõe que para compreender os conceitos seja necessário mais do que uma simples correlação entre traços característicos; são relações causais que determinam as correlações e a possibilidade de explicá-las (Greca e Moreira, 2000, p. 21). Os conceitos são representações mentais estruturadas a partir das relações que têm com outros conceitos que se ajustam à teoria à qual estão interligados, e não simplesmente a partir de um conjunto de propriedades (Laurence e Margolis, 1999 apud Greca e

Moreira, 2000, p. 23). Assim, nesta teoria, os conceitos devem servir para compreender e explicar as coisas do mundo.

Esta teoria supõe que as mudanças existentes entre as distintas teorias científicas são similares às diferenças que existem entre os conceitos das crianças e dos adultos. Alguns autores afirmam que os mesmos mecanismos cognitivos estão por trás das mudanças, tanto nos casos das teorias científicas como nos casos das teorias mentais (Greca e Moreira, 2000, p. 25).

Ainda existe uma linha que se denomina essencialista e afirma que as pessoas atuam como se as coisas tivessem essência. Desta forma, as pessoas têm intuições a respeito das coisas. Algumas classes de coisas, como as naturais, as pessoas consideram que sua categorização concreta não depende tanto de um conjunto de características observáveis, senão de certas estruturas internas ou propriedades ocultas que as fazem ser o que são. As decisões para determinar se uma coisa pertence a uma categoria, a partir de sua semelhança, não correspondem simplesmente a uma verificação de característica que é percebida e compartilhada; na verdade, as pessoas se perguntam se compartilhem da mesma propriedade oculta, da mesma essência. As pessoas raciocinam como se as categorias tivessem essências, e estas essências podem jamais ser conhecidas (Ibid., p. 26-27). Desta forma, é como se as pessoas tivessem uma intuição interior a respeito das categorias e, por isso, elas não são definidas somente através de características.

Os conceitos parecem formar parte de estruturas cognitivas mais complexas, e seu significado passa a ser determinado pelas relações que têm com outros conceitos dentro desta estrutura; deixam de ser listas de características para estar inter-relacionados em conjuntos teóricos, que permitem dar explicações mais realistas das categorizações, em particular na tendência das pessoas em pensar em essências (Ibid., p. 28).

Esta teoria apresenta os problemas que serão listados a seguir:

O primeiro problema é o fato de sobre-estimar a profundidade da nossa compreensão conceitual. O segundo se refere à estabilidade dos conceitos, pois não

há como comparar se uma mesma pessoa está se referindo ao mesmo conceito em momentos distintos de sua vida (op. cit., p. 29). Não há como provar que ao longo da vida o significado de um conceito permanece o mesmo.

O último está relacionado ao mecanismo que oportuniza a mudança conceitual. Assim como não se sabe, na ciência, qual é o fator que é acionado para que haja uma mudança de paradigma, também não se sabe o que interfere para que haja uma mudança conceitual (op. cit., p. 30). Esta teoria levanta uma questão a mais na formação de conceitos em relação às anteriores, que é o fato de considerar a organização de categorias através de propriedades ocultas, ou seja, através de sua essência, o que a difere das demais teorias que consideravam importante uma série de características.

3.2.4 Teoria neoclássica

A visão da teoria neoclássica a respeito de conceitos é que eles são formados por estruturas, cujas partes são condições necessárias. Ou seja, os conceitos apresentam definições parciais que codificam um conjunto de condições necessárias (Laurence e Margolis, 1999 apud Greca e Moreira, 2000, p. 31). Na teoria clássica, já aparecia este aspecto de que os conceitos teriam que ter estruturas e condições necessárias. Só que, no caso da teoria clássica, as condições para a formação de um conceito deveriam ser necessárias e suficientes.

Outro pressuposto da teoria neoclássica é que uma base inata deve consistir de um conjunto de princípios gerativos, ou seja, deve existir um grupo de primitivos e princípios de combinação que coletivamente determinam o conjunto de conceitos léxicos. Isto significa que a maioria dos conceitos é composta, podendo assim ser decomposta em primitivos e princípios de combinação desta gramática inata de conceitos léxicos (Jackendoff, 1983 apud Greca e Moreira, 2000, p. 29). É importante salientar que a teoria neoclássica prevê que há uma base inata na formação de conceitos, e esta base é formada por conceitos primitivos que podem ser combinados e recombinaados. Isto implica que há a possibilidade da formação de infinitos conceitos sem necessidade de uma mente ilimitada.

Assim, a aprendizagem de conceitos será resultado da construção de uma expressão composta, proveniente da aplicação dessas regras associadas a suas estruturas fonéticas e sintáticas e a certas estruturas conceituais não linguísticas, como a informação espacial, cada uma das quais com seu próprio sistema de regras de formação. A representação mental resultante é armazenada na memória de longo prazo como uma unidade de uso. Este complexo mecanismo permite explicar a capacidade humana de compreender a linguagem e construir novos conceitos léxicos à medida que são necessários (op. cit.). À proporção de sua imprescindibilidade, o ser humano busca esses primitivos armazenados para formar novos conceitos.

Greca e Moreira (2000, p. 32) explicam que a aceitação de condições necessárias pela teoria neoclássica tem um objetivo diferente da teoria clássica, pois tem por finalidade explicar as regularidades da linguagem, do ponto de vista léxico. É claro que esta teoria, como as demais, também apresenta alguns problemas. Um deles é como as definições parciais vão se completar. Uma das possibilidades é que se convertam em definições completas, como ocorria na teoria clássica, com uma visão neoclássica. Assim, todos os problemas que já foram discutidos para a teoria clássica apareceriam na teoria neoclássica.

Para que as informações adicionais dos conceitos sejam diferenciadas é necessário que se faça uso de conhecimento espacial a respeito dos mesmos, que se encontra armazenado na memória de longo prazo (Jackendoff, 1983 apud Greca e Moreira, 2000, p. 33). É claro que isto não resolveria totalmente o problema. Esta teoria explica uma ampla variedade de fenômenos vinculados à produção e aquisição de linguagem, mas não parece plausível para dar uma explicação completa a respeito da natureza dos conceitos (Greca e Moreira, 2000, p. 33).

Esta teoria propõe conceitos sem estrutura. O atomismo conceitual não é comparado ao átomo como uma coisa muito elementar, mas como composto de várias partes, cada uma como unidade ou pacote. Seu pressuposto básico é que o conteúdo de um conceito primitivo é determinado pela posição do conceito em relação causal adequada com as coisas do mundo. O que se requer é que exista um mecanismo que assegure as relações mente-mundo adequadas. Esta teoria se

restringe aos conceitos léxicos, sem a preocupação de atacar a questão dos conceitos compostos (Fodor, 1998 apud Greca e Moreira, 2003, p. 35). Uma característica importante desta teoria e que a difere das demais é o fato de não apresentar estrutura, enquanto todas as outras apresentam. Sua vantagem em relação às anteriores é que ela garante que o conceito está apropriadamente ligado a sua propriedade; assim, não há problema que na crença do sujeito o conceito seja outra coisa. Como esta teoria não apresenta estrutura, não tem também problema de estabilidade, e as variações sobre as crenças que as pessoas têm a respeito do mesmo não modificam o seu conteúdo.

Alguns problemas apresentados por essa teoria:

Aqui se apresenta um inatismo radical, pois como os conceitos não são compostos, possuem primitivos. Se o atomismo conceitual é uma teoria que explica os conceitos, faltaria explicar como se estabelecem as relações entre mente-mundo que constitui o conteúdo dos conceitos (Ibid., p. 34). A saída para esta questão seria a existência de um mecanismo de apoio. Os mecanismos de apoio seriam os responsáveis pelo estabelecimento das relações mente-mundo, que para alguns conceitos podem estar vinculados a tradutores neurológicos específicos, mas a maioria deve tomar a forma de processos de inferência. A aprendizagem de conceitos procede da acumulação de informação contingente, basicamente perceptual, sobre uma classe. Esta informação, junto com algum dispositivo de processamento mais geral, estabelece um mecanismo de inferência que faz com que a pessoa relacione esta informação com o conceito em questão (Margolis, 1998 apud Greca e Moreira, 2003, p. 36). Este mecanismo contorna também o fato do cérebro ser finito. Sendo assim, pode existir somente um número finito de conceitos (Jackendoff, 1995, apud Greca e Moreira, 2000, p. 36).

Esta teoria não apresenta explicação para fenômenos associados à categorização dos conceitos (Ibid.). Uma alternativa seria associar os conceitos atômicos a qualquer estrutura que se deseje para efeitos de explicação (Fodor, 1998 apud Greca e Moreira, 2000, p. 36). Outro problema está ligado à dificuldade que se tem de relacionar de uma forma dependente as propriedades de alguns tipos de conceitos. Também não está claro como estabelecer estas relações com verbos,

advérbios ou preposições (op. cit., p. 37). Este tipo de problema só é apresentado por esta teoria. Não está claro como diferenciar conceitos que se referem à mesma coisa. Uma possível solução seria complementar a teoria com listas de inferências (op. cit.). Assim, o atomismo conceitual resolve uma série de problemas apresentados pelas teorias anteriores, mas apresenta outros.

3.2.5 Conclusão

Para concluir o tema, é importante acentuar que a teoria clássica apresenta o pressuposto de que os conceitos eram formados por listas de condições necessárias e suficientes; a teoria probabilística, por listas de traços mais característicos, ou seja, por protótipos; na teoria enfoques teórico e essencialista os conceitos são definidos a partir do fato de eles compartilharem da mesma propriedade oculta, da mesma essência; e a teoria neoclássica requer que a formação de conceito apresente condições necessárias mais conhecimento do mundo. Estas quatro teorias exigiam que os conceitos fossem formados através de estruturas complexas, de tal forma que na formação de um conceito ele apresente, em seu conteúdo semântico e seu significado, uma herança do conceito que o constituiu. Na teoria do atomismo conceitual, além de ser considerado que os conceitos não apresentam estruturas, é pressuposto que o conceito primitivo é determinado pela posição do conceito em relação causal adequada com as coisas do mundo.

É necessário compreender que o pensamento é organizado por meio de conceitos. As pessoas pensam utilizando conceitos. O conhecimento é construído através de conceitos. Inicialmente, os conceitos são regularidades percebidas e, depois, os significados dos conceitos são aprendidos por meio da composição de proposições em que se inclui o conceito a ser adquirido. É importante lembrar que o significado do conceito não está na palavra, mas no contexto no qual as pessoas estão inseridas ou na cultura. A palavra trabalho, por exemplo, pode representar conceitos distintos: a profissão exercida por uma pessoa ou, no contexto científico, um processo de transferência de energia. A mesma palavra tem diferentes significados e, portanto, representa conceitos distintos.

3.3 Visão epistemológica da construção de conceitos – Stephen Toulmin

Acreditamos que a construção de um conceito passa por um processo evolucionista. Por isso, discutimos a teoria Epistemológica Stephen Toulmin, pois a mesma poderia fornecer subsídios para a metodologia didática proposta por esta pesquisa. Assim, abordamos conceitos importantes nesta visão epistemológica.

3.3.1 Conceitos

Toulmin (1977, p. 23) reflete a respeito dos amplos questionamentos que a humanidade tem feito ao longo do tempo (por exemplo, do que seja conhecimento) e diz que se está longe de obter uma solução definitiva, uma vez que a chave da compreensão humana está nos conceitos, e complementa: “o termo conceito é um termo que todo mundo usa, e ninguém explica, e menos ainda define”. Toulmin comenta que os conceitos circulam familiarmente, no entanto, raramente são explicitados os seus significados e, com frequência eles ficam em total obscuridade (Ibid., p. 24).

Como os conceitos são a chave para a compreensão humana, inicialmente Toulmin considera a evolução histórica do conhecimento e da compreensão humana articulada ao desenvolvimento dos conceitos; em segundo lugar, a compreensão humana e o lapso da vida dos indivíduos estão relacionados à captação dos conceitos; e, por último, os fundamentos em que repousa a autoridade intelectual e os padrões sobre os quais deve ser feito um julgamento estão no valor dos conceitos (Ibid., p. 27-28).

Toulmin explica os conceitos como integrando os agregados, sistemas ou populações conceituais que empregam coletivamente as comunidades de usuários. Considera as habilidades e capacidades mediante as quais um indivíduo despreza sua capacidade pessoal, bem como os esquemas de sucesso através dos quais se adquirem, exercem e perdem capacidades conceituais. Analisa os temas subjacentes de juízo e de avaliação e se questiona se a autoridade intelectual ou crítica racional é compatível com a imagem individual ou coletiva dos conceitos (Ibid., p. 28-29). A compreensão de um conceito só pode ser feita com clareza se os

processos sócio históricos pelos quais os conceitos se desenvolveram dentro de uma cultura ou comunidade forem levados em consideração (op. cit., p. 23).

Cada um de nós pensa com seus próprios pensamentos; mas os conceitos são compartilhados com nossos semelhantes. Em efeito, do que cremos somos responsáveis como indivíduos; mas a linguagem em que se articulam nossas crenças é propriedade pública. Para compreender o que são conceitos e que papel desempenham em nossas vidas devemos considerar a relação central entre nossos pensamentos e crenças, que são pessoais ou individuais, e nossa herança linguística e conceitual, que é coletiva (op. cit., p. 49).

No entanto, as crenças pessoais só serão expressivas mediante o uso de conceitos comuns. Os novos moldes que plasmam os pensamentos pessoais adquirem uma forma definida só quando se converte em instrumento intelectual coletivo de uma determinada comunidade.

3.3.2 Mudança conceitual

A explicação de desenvolvimento conceitual deve dar conta das mudanças em certa profundidade, mas também explicar igualmente as mudanças graduais e as mudanças drásticas como resultados alternativos dos mesmos fatores que operam de diferentes maneiras. No lugar de uma explicação revolucionária da mudança intelectual que se proponha a mostrar como se sucedem uns e outros sistemas conceituais inteiros, necessita-se construir uma explicação evolutiva que mostre como se transformam progressivamente as populações conceituais (op. cit., p. 131).

Na ciência, os diferentes conceitos de uma disciplina científica estão mais flexivelmente relacionados. Tais conceitos não foram introduzidos todos juntos e ao mesmo tempo, como um sistema lógico com um único fim científico; os diferentes conceitos e teorias foram introduzidos em uma ciência independentemente, em momentos diferentes e para propósitos diferentes. Se sobrevivem hoje, talvez seja porque ainda servem a suas funções intelectuais originais ou porque adquiriram, desde então, outras funções diferentes; e há liberdade para substituir, modificar ou complementar esses conceitos independentemente, no futuro, segundo o exijam as legítimas circunstâncias científicas. Isto significa reconhecer que uma ciência compreende uma população histórica de conceitos e teorias logicamente independentes, cada uma das quais tem sua história, sua estrutura e suas

implicações próprias. Assim, não haverá maneira de modificar parcialmente ou um por vez: a única possibilidade de uma mudança radical reside em um rechaço do sistema como um todo e um começar de novo (op. cit., p. 139).

Para Toulmin, o conhecimento cotidiano é resistente à mudança porque está protegido contra os efeitos da inovação e seleção crítica, ao mesmo tempo em que circula sem restrições, já que sua função é não especializada. Já os conceitos científicos seriam representações explicativas, cujo conteúdo intelectual se mediria por seu âmbito, seu alcance e pela exatidão dos seus modelos e técnicas. A mudança conceitual presta atenção aos fatos empíricos com a intenção de construir uma representação melhor, com nomenclaturas melhores e procedimentos explicativos melhores para dar conta de aspectos importantes da natureza e da explicação do mundo tal como o encontramos (Toulmin, 1972 apud Ariza e Harres, 2002, p. 78). As mudanças conceituais podem ser muito complexas, uma vez que os descobrimentos empíricos concernem a fatos relacionados com a aplicabilidade dos procedimentos explicativos e não a fatos enunciáveis em termos dos conceitos científicos aludidos. Às vezes, as mudanças conceituais supõem a explicação mais exata de certos fenômenos, e outras a primeira explicação de fenômenos novos. Em qualquer caso, exigem normalmente modificações em três níveis: terminológico, representacional e nos critérios empíricos de aplicação (Ibid., p. 79). A mudança conceitual, para Toulmin, ocorre através de uma perspectiva gradualista. Ele propõe que um tipo de graduação com um sentido em qualquer transformação, seja lenta ou rápida, sempre é parcial e está submetida à seleção crítica da comunidade intelectual (Ibid., p. 77). Assim, a mudança conceitual dentro desta perspectiva é evolutiva e não revolucionária.

3.3.3 Populações conceituais

Toulmin abandona a suposição de que o conhecimento se organiza em sistemas proposicionais estáticos e passa a reconhecer que as ideias de qualquer tipo constituem populações conceituais em desenvolvimento histórico, tanto no plano coletivo como no plano individual. O aspecto racional das atividades intelectuais não estaria associado à coerência interna dos conceitos e crenças habituais de um indivíduo, mas com a maneira com que cada pessoa é capaz de modificar sua

posição intelectual frente a experiências novas e imprevistas (op. cit., p. 76). Sempre existe quantidade suficiente de pessoas criativas e curiosas para manter um contínuo de inovações ou variantes conceituais que entram em competição intelectual com outras já estabelecidas e aceitas. Algumas variantes serão eleitas para sua incorporação; outras, a maioria, será descartada ou ignorada, segundo satisfaçam com mais ou menos vantagem as variantes conceituais pré-existentes, a juízo dos foros de competição intelectual das exigências específicas do meio intelectual local (op. cit., p. 77).

Assim, Toulmin supõe que as disciplinas científicas contêm populações conceituais logicamente independentes, e tais conceitos conservam seus lugares na ciência reafirmando continuamente seu valor, ao passo que a fronteira entre conceitos próximos é um equilíbrio dinâmico, passível de ser alterado por qualquer mudança na balança do poder explicativo (apud Moreira, 2004, p. 93). Por exemplo, conceitos importantes do Campo Conceitual da Termodinâmica, investigados nesta pesquisa – temperatura, calor, energia interna, trabalho e entropia – historicamente não tiveram o mesmo significado e, assim, não estavam relacionados como o são hoje. Calor era entendido como uma substância denominada calórico e assim era organizado em outra população conceitual de acordo com aquele momento histórico, cultural e científico.

3.3.4 Disciplina

As disciplinas científicas, como as espécies orgânicas, são “entidades históricas em evolução” e não “seres eternos” (Toulmin, 1977, p. 151). Dentro de uma determinada época particular, as atividades intelectuais dos homens se organizam em disciplinas. As disciplinas são bem definidas e caracterizadas por seu próprio corpo de conceitos, métodos e objetivos fundamentais. Para um período grande, os conteúdos de tais disciplinas podem mudar drasticamente, e também seus métodos e objetivos intelectuais, ainda que mais lentamente. Embora mutável, a disciplina normalmente exibe uma continuidade reconhecível, particularmente nos fatores seletivos que governam as mudanças em seus conteúdos. Uma explicação evolutiva do desenvolvimento intelectual tem que explicar duas características separadas: por um lado, a coerência e a continuidade que identificam as disciplinas

como distintas e, por outro, as profundas mudanças ao longo do tempo pelas quais se transformam ou são superadas (Ibid., p. 149). A Física, por exemplo, continua com o mesmo propósito de explicar os fenômenos naturais, no entanto, os conteúdos desta disciplina evoluem cada vez com maior velocidade na tentativa de explicar os fenômenos microscópicos utilizados nas tecnologias atuais.

Em toda disciplina, sempre há novidades que entram em discussão junto com suas ideias e técnicas, mas somente poucas conquistam um lugar de destaque e são transmitidas para as gerações seguintes. A contínua emergência de inovações intelectuais se equilibra assim como um contínuo processo de seleção crítica. Algumas variantes intelectuais são eleitas para sua incorporação, outras são descartadas e ignoradas; mas, em circunstâncias adequadas, este mesmo processo pode explicar a contínua estabilidade de uma disciplina bem definida ou sua rápida transformação em algo novo e diferente (Ibid., p. 150). Este processo desencadeia uma mudança conceitual. As questões problemáticas se relacionam com as condições em que tais novidades podem trazer vantagens e conquistar um lugar no conjunto pertinente de ideias. Deve haver adequado foro de competência dentro do qual as novidades intelectuais podem sobreviver durante um tempo suficiente para mostrar seus méritos ou seus defeitos, criticados com suficiente severidade para manter a coerência das disciplinas (Ibid.).

Uma análise evolutiva do desenvolvimento intelectual supõe novamente um conjunto de noções interdependentes, que define entre elas a ecologia intelectual de qualquer situação histórica e cultural particular. Em toda situação problemática, o processo de seleção disciplinar elege aquelas que melhor satisfaçam as exigências do meio intelectual. Assim, o que vincula o desenvolvimento histórico das disciplinas intelectuais com os processos populacionais de outros tipos não é nenhuma analogia especificamente biológica, mas simplesmente o padrão geral de desenvolvimento por inovação e seleção (Ibid., p. 150-151).

Se as populações compreendem populações em desenvolvimento histórico de conceitos, como as espécies orgânicas compreendem organismos, podemos considerar como a interação de fatores de inovação e de seleção mantém sua unidade e sua continuidade característica. O equilíbrio entre a inovação intelectual e

a seleção crítica divide todo nosso repertório de conceitos em conjuntos reconhecíveis representativos de distintas disciplinas, apesar da contínua aparição de novidades intelectuais dentro de qualquer conjunto particular (op. cit., p. 151). Resumindo, uma disciplina é uma entidade histórica em constante evolução que possui um objetivo que permite identificar os problemas comuns principais.

3.3.5 Ciência

Uma ciência não é um compêndio de ideias e argumentos, nem uma população de cientistas e nem um sistema de instituições e procedimentos; é considerada uma empresa humana total. A história intelectual de uma disciplina científica, a história institucional de uma profissão científica e as bibliografias individuais dos cientistas, evidentemente, tocam-se, interacionam-se e se fundem. Os cientistas captam, desenvolvem, aplicam e modificam seus métodos intelectuais a serviço das exigências intelectuais de sua ciência, e suas atividades institucionalizadas adotam as formas que adotam para operar efetivamente em nome dessa ciência. O aspecto disciplinar e o profissional de uma ciência devem estar vinculados por estreitos laços, mas nenhum deles pode ser totalmente prioritário ou subordinado ao outro. Assim, uma ciência é, em primeiro lugar, uma empresa racional integrada, e os caracteres intelectuais e institucionais da ciência são aspectos complementares desta única empresa (op. cit., p. 311-312).

O desenvolvimento da ciência, de um ponto de vista profissional ou humano, interessa, uma vez que um conjunto representativo de indivíduos, instituições e atividades explicativas sofre mudanças dentro de um processo histórico. Devemos considerar como o último conjunto chegou a suplantá-lo, quem foi o responsável pela iniciação da mudança, quando e onde teve lugar e como fizeram sentir sua influência os diversos homens envolvidos (op. cit., p. 313).

A transmissão de característica de uma ciência consiste, necessariamente, nos aspectos comuns ou públicos de seus conceitos. As imagens mentais e os processos neurofisiológicos individuais dos cientistas podem, em casos particulares, adquirir um papel conceitual, mas ele não se converte em conceitos. O conteúdo de uma ciência se transmite de uma geração de cientistas a outra por um processo de

enculturação. Este processo supõe uma aprendizagem pela qual certas habilidades explicativas se transferem, com ou sem modificação da geração mais velha a mais nova. Nesta aprendizagem, o núcleo da transmissão – o elemento primário que deve ser aprendido, provado, aplicado, criticado e mudado – é o repertório de técnicas, procedimentos e habilidades intelectuais e métodos representacionais que se empregam para dar explicações de sucessos e fenômenos dentro do âmbito da ciência envolvida. Para tornar pública – e provar – sua compreensão dos poderes explicativos de sua ciência, o recém-chegado deve, antes de tudo, aprender como e quando aplicar essas técnicas e procedimentos, de modo a explicar fenômenos que caem dentro do âmbito da ciência corrente (op. cit., p. 168-169).

Como não é possível reconstruir as opções científicas reais com que se enfrentaram os homens de outras épocas, não há condições de discernir que considerações podiam eles julgar apropriadamente como atinentes a suas decisões. Assim, a busca de um critério de demarcação permanente é incompatível com o feito de que os objetivos intelectuais de nossas disciplinas estão sujeitos ao desenvolvimento histórico, junto com todas as suas teorias e conceitos específicos (op. cit., p. 260-261). Em geral, a busca de um critério de demarcação permanente e universal entre as considerações científicas e não científicas parece um esforço em vão. Para Toulmin, 1972 (apud Ariza, Harres, 2002, p. 77), é através da avaliação conceitual que a ciência procede: determinando o que se constitui em problema para a disciplina; que hipóteses serão testadas; quais experimentos serão conduzidos; quais dados serão analisados; como a observação será organizada e classificada, e, por extensão, quais percepções serão selecionadas como relevantes. Considera o trabalho do cientista, ao mesmo tempo, normal e potencialmente revolucionário.

3.3.6 Racionalidade

Toulmin considera que sempre foi um erro identificar a racionalidade com a logicidade, isto é, supor que a ambição racional de toda a atividade intelectual historicamente em desenvolvimento pode ser compreendida totalmente em termos dos sistemas proposicionais ou conceituais nos quais seu conteúdo intelectual pode ser expresso em uma ou outra época. As questões de racionalidade concernem precisamente não às doutrinas intelectuais particulares que um homem, ou um grupo

profissional, adota em qualquer momento dado, senão às condições e às maneiras em que está disposto a criticar e modificar essas doutrinas à medida que passa o tempo (Toulmin, 1977, p. 95). A racionalidade de uma ciência não está encarnada nos sistemas teóricos correntes em momentos determinados, senão em seus procedimentos para levar a cabo descobrimentos e mudanças intelectuais através do tempo. O conteúdo intelectual de qualquer atividade racional não forma um só sistema lógico nem uma sequência temporal de tais sistemas. É uma empresa intelectual cuja racionalidade reside nos procedimentos que governam seu desenvolvimento e sua evolução histórica (Ibid., p. 95-96).

Para ilustrar a teoria epistemológica de Stephen Toulmin mostramos na Figura 1, um mapa conceitual.

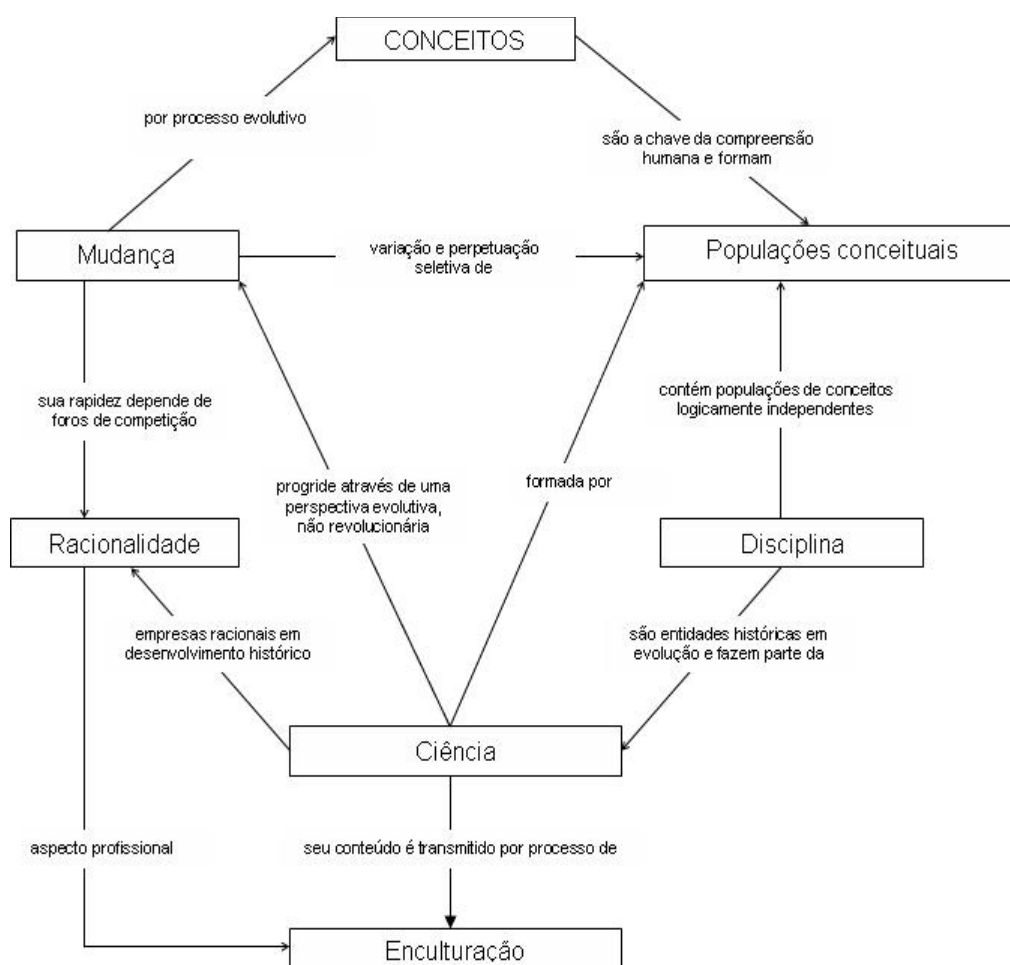


Figura 1. Mapa conceitual para a epistemologia de Toulmin (Grings, 2008).

Resumindo, Toulmin considera os conceitos integrantes de populações conceituais em desenvolvimento histórico tanto no plano coletivo como individual. A mudança conceitual é concebida através de uma perspectiva gradual. Em qualquer transformação, seja ela lenta ou rápida, sempre é parcial e está submetida à seleção crítica da comunidade intelectual. Um critério de demarcação permanente e universal entre as considerações científicas e as não científicas é incompatível. A ciência é uma empresa racional em desenvolvimento histórico, que progride através de uma perspectiva evolutiva, não revolucionária. E a chave da compreensão humana está nos conceitos.

Por isso, esta investigação busca analisar a aprendizagem dos conceitos que poderíamos, do ponto de vista teórico, considerar como constituintes de um Campo Conceitual e, do ponto de vista epistemológico, enquanto componentes de uma população conceitual que evoluem num processo de avanços e retrocessos ao longo da aprendizagem e ao longo da história da construção e reconstrução dos conceitos científicos e da ciência, pois nenhum processo é linear, nem a aprendizagem e nem a construção do conhecimento científico

3.4 Aquisição de conceitos

3.4.1 Introdução

Há aproximadamente cinquenta anos, começou a surgir uma linha de pesquisa denominada Psicologia Cognitiva. Ela surgiu como consequência do desgaste do condutivismo – que não conseguia explicar de forma razoável os comportamentos complexos – e do abandono da visão tradicional de ciência, o positivismo lógico, que foi substituído pelos filósofos da ciência representados por Popper, Khun, Lakatos e outros.

A Psicologia Cognitiva surge para explicar a conduta de entidades mentais, processos e disposições de natureza mental, que formam uma estrutura mediadora entre os antigos estímulos e respostas condutivistas (Rivière, 1987 apud Greca, 2005, p.8-9). A Psicologia Cognitiva introduz a ideia de que os indivíduos percebem, pensam e atuam sobre o mundo com base nas representações mentais. Assim, a

mente é vista como um sistema simbólico que processa informações, de forma análoga a um computador. De acordo com esta metáfora, a mente, para realizar suas operações cognitivas, como a percepção, o raciocínio, a memória, a linguagem, o pensamento, deve ser capaz de representar e utilizar adequadamente a informação que recebe de forma simbólica. Em outras palavras, temos que ser capazes de representar essas informações de maneira análoga a um computador, ou seja, sermos capazes de criar novos símbolos, operar e computar sobre eles, podendo relacioná-los a algum aspecto do mundo externo ou a outros símbolos internos.

A variedade de representações mentais é potencialmente infinita, mas deve ser gerada a partir de um número finito de elementos. O sistema cognitivo deve incluir uma série de símbolos primitivos e um conjunto de regras para sua utilização, definindo uma linguagem da mente. Esta linguagem é uma linguagem operacional de máquina, portanto universal e independente das linguagens naturais. A hipótese central da Psicologia Cognitiva é que quaisquer aspectos do pensamento – percepção, raciocínio, imaginação, recordação – podem ser explicados à medida que podem ser expressos por um conjunto de pares de representações mentais e processos que operam sobre essas representações, codificando-as, decodificando-as e transformando-as (Ibid., p. 12).

Os cientistas cognitivos propuseram vários tipos de representações mentais, tais como: "scripts", regras de produção, redes semânticas e imagens. As representações mentais são formas de representar internamente o mundo exterior, pois as pessoas não captam diretamente o mundo, elas constroem representações internas. Inicialmente, as representações mentais foram divididas em representações analógicas e proposicionais: as analógicas seriam aquelas captadas pelos sentidos, como as imagens visuais, as auditivas, as táteis e as olfativas; as proposicionais constituiriam uma linguagem própria da mente, não consciente (é uma linguagem denominada "mentalês" e seria o código de máquina da mente). Há divergência no pensamento dos psicólogos cognitivos, pois alguns defendem, inclusive, que as imagens são processadas através dessa linguagem de máquina mental, portanto seriam representações proposicionais.

Uma nova abordagem de representação mental surgiu com os modelos mentais de Johnson-Laird (1983). Os modelos mentais são representações internas que correspondem, em termos de estrutura, àquilo que estão representando e podem conter proposições. Estas, por sua vez, podem ser interpretadas do ponto de vista dos modelos mentais, ou seja, uma proposição é verdadeira ou falsa em relação a um modelo mental. Os modelos mentais também incluem as imagens, de modo que ambos seriam representações de alto nível, essenciais para o entendimento da cognição humana. Num nível mais elementar, as imagens e os modelos mentais são computados pela mente, num código proposicional, numa linguagem de máquina, não consciente. A compreensão implica, necessariamente, a construção de modelos mentais. Quando o modelo mental é construído, o sujeito é capaz de explicar um funcionamento, fazer inferências, descrever ou interpretar um texto.

As teorias de Piaget, de Vygotsky, de Vergnaud e de Ausubel discutem o tema aquisição de conceitos. Essas teorias, na verdade, podem ser vistas como teorias de aprendizagem cognitivistas e construtivistas. São cognitivistas porque se preocupam com os processos mentais, de como o indivíduo constrói sua estrutura cognitiva. Uma vez que essas teorias admitem que a cognição é construída, elas são também construtivistas. Como a aquisição dos conceitos se dá por um processo de evolução da estrutura cognitiva, cada um dos autores propõe um construto teórico importante. Assim, Piaget propõe os esquemas de assimilação; Vygotsky estabelece construções sociais, signos e instrumentos; Vergnaud herda os esquemas de assimilação de Piaget, que são constituídos de invariantes operatórios; e Ausubel traz os subsunçores.

O trabalho de Greca e Moreira (2004) integra os esquemas de assimilação de Piaget na forma como são definidos pela teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud com os modelos mentais de Johnson-Laird. Os pesquisadores acreditam que os invariantes operatórios são componentes dos esquemas de assimilação, assim como dos modelos mentais. Consideram os esquemas como estruturas representacionais com um determinado grau de estabilidade na memória de longo prazo, enquanto os modelos mentais são construções da memória de trabalho, instáveis e funcionais. Quando a situação é nova, o sujeito constrói modelos mentais

para dar conta da situação; quando esta já é conhecida, o sujeito utiliza um dos esquemas de assimilação armazenado. Assim, frente a uma situação nova, o sujeito constrói um modelo mental, mas à medida que situações similares ocorrem, ele construirá um modelo mental semelhante ao que construiu para a nova situação. Quando esse processo se repete, o sujeito passa a buscar esquemas de assimilação, construídos a partir de modelos mentais instáveis.

Salientamos a importância da aprendizagem de conceitos na construção do conhecimento, uma vez que para aprender significados é necessário que o homem seja capaz de relacionar os conhecimentos com os conceitos conhecidos, pois as pessoas utilizam os conceitos para pensar. Por outro lado, um conceito só tem significado num determinado contexto ou por meio de uma cultura. Assim, entendemos que a aprendizagem de conceitos é fundamental para o processo de desenvolvimento cognitivo. Os conceitos não devem ser definidos só por sua estrutura, é necessário considerar também as propriedades, as situações nas quais são usados e as representações simbólicas que as pessoas empregam para pensar e escrever acerca de um conceito. A conceitualização está regulada pela interação entre a informação contida nas situações e a estrutura cognitiva da pessoa. Por isto, nesta tese, estudamos a trajetória da evolução conceitual a partir de situações que abrangem conceitos importantes do campo conceitual da Termodinâmica, pois acreditamos que os conceitos só adquirem significados para o aluno dentro de um determinado contexto.

Este trabalho utiliza como aporte teórico a teoria epistemológica de Toulmin (1977) e as teorias da aprendizagem significativa de Ausubel (1968, 2003), da mediação de Vygotsky (2001); e a dos campos conceituais de Vergnaud (1993), adicionando a visão de Greca e Moreira (2004), uma vez que estas teorias são complementares e trazem a conceitualização como fundamento ao processo de desenvolvimento cognitivo. Por outro lado, tais teorias enfatizam que o novo conhecimento é construído a partir de conhecimentos anteriores. Vergnaud (2003, p. 58) salienta que quando aprendemos alguma coisa nova, temos de nos apoiar em conhecimentos anteriores; Vygotsky (2001, p. 289-290) explica que o desenvolvimento do conhecimento científico deve, sem falta, apoiar-se sobre certo nível de maturação dos conceitos espontâneos; Ausubel, 1968 (apud Moreira, 1999,

p. 163) diz que o fator isolado mais importante que influencia na aprendizagem é aquilo que o aprendiz já sabe. Por outro lado, este trabalho busca, na teoria de Vygotsky (Ibid.), a explicação para a construção de conceitos através da interação social, ou mediação entre os estudantes, por isso a metodologia didática propõe a integração entre os estudantes para concretizar a troca de significados no início da aprendizagem de novos conceitos. Esta pesquisa se apropria da aprendizagem significativa de Ausubel (2003) por entender que o processo de construção de conceitos acontece quando uma nova informação ancora-se em conceitos relevantes já existentes na estrutura cognitiva do estudante e a introdução de novos conceitos através de situações problemas permite detectar conhecimentos prévios e, assim, relacioná-los aos novos conhecimentos. Utiliza a teoria dos campos conceituais de Vergnaud para tentar averiguar a aprendizagem dos conceitos da Termodinâmica. Usa a proposta de Greca e Moreira (2004) por acreditar que os esquemas de assimilação como os modelos mentais seriam constituídos de invariantes operatórios altamente implícitos, e a evolução de tais invariantes operatórios implicaria num desenvolvimento conceitual e num consequente avanço cognitivo dos estudantes. Articula estas teorias de aprendizagem com a epistemologia de Toulmin (1977) por compreender que a construção de conceitos científicos pelos estudantes é um processo evolutivo não linear, como a Ciência.

3.4.2 Aprendizagem de conceitos segundo Vygotsky

Na teoria de Vygotsky, a formação de conceitos ocupa um lugar central (Greca e Moreira, 2003, p. 40). Essa formação, por sua vez, não seria inata, mas construída nas relações sociais. Na sua visão, a estrutura de pensamento também seria construída nestas relações. Neste sentido, o processo de formação de conceitos seria importante para estruturar o pensamento do ser humano. Para Vygotsky, o homem não tem acesso direto à realidade, esse acesso é mediado a partir de sistemas simbólicos. O conhecimento a respeito do mundo é apropriado a partir de instrumentos da atividade psicológica, que são os sistemas simbólicos disponíveis (1987). Neste sentido, o homem não se apropria diretamente do mundo, mas o faz através deste sistema simbólico, que podem ser as palavras.

A conversão de relações sociais em processos mentais superiores não é direta, é mediada por instrumentos e signos – construções sócio históricas e culturais. Existem três tipos de signos: indicadores – são aqueles que têm uma relação de causa e efeito com aquilo que significam; icônicos – são desenhos ou imagens; simbólicos – são os que têm uma relação abstrata com o seu significado. (Moreira, 1999, p. 90).

As sociedades criam, ao longo da história, não só instrumentos, mas também sistemas de signos, modificados neste processo produzindo seu desenvolvimento social e cultural. É com a interiorização de instrumentos e sistemas de signos, criados culturalmente, que se dá o desenvolvimento cognitivo (Vygotsky, 1988 apud Moreira, 1999, p. 111). Vygotsky propõe uma visão de formação das funções psíquicas superiores, como a interiorização mediada pela cultura. O desenvolvimento cognitivo é produzido pelo processo de interiorização da interação social com materiais fornecidos pela cultura, sendo que o processo se constrói de fora para dentro (Ibid.).

No caso da formação de conceito, o signo que permite essa mediação é a palavra, ou seja, a palavra se constitui em ferramenta mediante a qual podemos formar o conceito que ela representa (Íbid). Todas as funções psíquicas superiores são mediadas, e os signos são o meio básico de mediação. O signo mediador é incorporado à estrutura psíquica como indispensável. Na formação de conceitos, esse signo é a palavra, que tem papel de mediador e, posteriormente, torna-se seu símbolo (Vygotsky, 1987 apud Greca e Moreira, 2003, p. 40). Assim, a palavra é este signo mediador na formação de conceito, que passa a fazer parte da estrutura psíquica do sujeito.

A criança, ao adquirir a linguagem, não aprende somente um repertório de palavras, mas principalmente uma estrutura de pensamento. Esse processo de internalização da palavra, que conduz a formação de conceitos, começa na primeira infância, mas se estabelece na adolescência (Ibid., p. 41). Os conceitos para as crianças são contextuais e vinculados a experiências imediatas, estando restritos a aspectos mais sensoriais ou a aparências externas mais salientes. Os conceitos dos adultos têm estruturas de definição, ou seja, o significado dos mesmos poderia ser

descrito a partir de um conjunto de características necessárias e suficientes (Ibid.). A passagem da formação dos conceitos é realizada através da palavra. A linguagem internalizada libera as crianças das instâncias específicas e lhes permite usar representações mentais mais abstratas.

O processo de formação dos conceitos pode ser dividido em três etapas:

a) A primeira é caracterizada pelo agrupamento de objetos, de maneira desorganizada, para resolver um problema que os adultos resolveriam com a formação de um novo conceito (Vygotzky, 1987 apud Moreira, 1999, p. 118). Lomônaco et al. (2001, p. 163) explicam que esta primeira etapa é caracterizada pela formação de imagens de diferentes objetos agrupados na base de alguma impressão causal, subjetiva e idiossincrática.

b) A segunda etapa é caracterizada através de pensamentos por complexos, em que os objetos são agrupados por associações que realmente existem entre eles, em grande parte determinadas pelo campo visual ou pela posição espacial dos objetos. Esta etapa é caracterizada por uma sequência de estágios: i) associativa: está relacionada a atributos comuns de coleções ligadas a atributos complementares; ii) em cadeia: as associações são feitas através de sequência de atributos; iii) pseudoconceito: nesta fase, a generalização formada na mente da criança é semelhante a um conceito, mas não tem todas as suas características. O pseudoconceito é uma ponte entre o pensamento por complexos da criança e o pensamento do adulto (Vygotzky apud Moreira, 1999, p. 118). Esta fase faz com que a pessoa não sinta uma ruptura entre a etapa anterior aos conceitos e os conceitos propriamente ditos. Esta forma de pensamento ocorre nas crianças na fase escolar (Greca e Moreira, 2003, p. 43). Lomônaco et al. (op. cit.) esclarecem que nesta fase as ligações entre seus elementos são mais de natureza concreta e factual do que abstrata e lógica, sendo esta a principal diferença entre um complexo e um conceito verdadeiro.

c) A terceira etapa é a dos conceitos potenciais, em que os objetos são agrupados por atributos abstratos. Os conjuntos são caracterizados por conjuntos coerentes de propriedades (op. cit., p. 44). Para Gaspar (apud Moreira, 2003, p.

119), os processos que levam à formação de conceitos desenvolvem-se a partir de duas raízes genéticas distintas: uma que se origina dos agrupamentos e vai até os pseudoconceitos, e outra que é paralela, contemporânea dos conceitos potenciais. A fusão destas raízes dá origem a um processo qualitativo diferente à formação dos conceitos. Essa transição é gradual e não atinge simultaneamente todas as áreas do pensamento, onde predomina por muito tempo o pensamento por complexos, que é uma característica da adolescência. Para Lomônaco et al. (op. cit.), a última etapa caracteriza-se pela utilização de princípios logicamente coerentes para o agrupamento de elementos dentro de uma categoria.

A formação de conceitos, nessa visão, passa por um processo de construção que vai de etapas mais concretas a etapas mais abstratas, em que as duas etapas podem ocorrer simultaneamente de tal forma que a passagem de uma para outra não é sentida pelo sujeito. Ela é, ao mesmo tempo, gradual e concomitante, o que faz com que a passagem de uma para outra não signifique uma ruptura. Dessa forma, a formação conceitual de Vygotsky (1987 apud Greca e Moreira, 2003, p. 43) é resultante de categorias baseadas no máximo de características semelhantes para a formação de categorias com base em poucos atributos abstratos.). Assim, parece que a teoria de Vygotsky apresenta características tanto da teoria clássica como da teoria probabilística.

Vygotsky distingue outro caminho para a formação dos conceitos científicos, que são aqueles conceitos aprendidos a partir da instrução formal. A estes conceitos, a criança não tem, muitas vezes, acesso visual, uma vez que são apresentados, inicialmente, em termos de definições verbais e aplicados a situações artificiais. O acesso a esses conceitos é mediado por outros conceitos, e só são consolidados à medida que podem ser aplicados a situações concretas (Íbid). Aprender conceitos científicos possibilita à criança adquirir estruturas que lhe permitem dar consistência a seus conceitos espontâneos, tendo importância fundamental no desenvolvimento intelectual (Gaspar, 1994 apud Greca e Moreira, 2003, p. 40). O processo de formação dos conceitos espontâneos parte de casos particulares em direção à abstração; enquanto os conceitos científicos partem da abstração em direção a níveis mais elementares e concretos (Vygotsky, 2001, p. 349).

Assim, há dois tipos de conceitos a serem formados, os do cotidiano e os científicos. O acesso aos conceitos científicos ou formais é mediado por conceitos do cotidiano ou conceitos científicos adquiridos anteriormente. A formação dos conceitos do cotidiano passa por um processo, constituído de várias etapas, que vai de um conjunto caracterizado por objetos desordenados a uma etapa onde já estão ordenados, sendo esta caracterizada, ao mesmo tempo, por apresentar componentes concretos e abstratos, até uma última etapa mais abstrata onde o conceito por assim dizer já está formado. Os conceitos científicos pressupõem certo nível de elevação dos conceitos espontâneos, concretizando-se na zona de desenvolvimento proximal. As curvas de desenvolvimento dos conceitos espontâneos e dos conceitos científicos não são coincidentes. No entanto, revelam as mais complexas relações de reciprocidade. A apreensão de um conceito científico antecipa o caminho do desenvolvimento, desempenhando um papel importante no desenvolvimento intelectual (op. cit., p. 351-152). Segundo Vygotsky (op. cit.), os conceitos cotidianos são formados no dia a dia no convívio com familiares ou amigos e, de certa forma são implícitos, a exemplo do conceito de irmão; por outro lado, os conceitos científicos são adquiridos através da comunicação verbal, são explícitos e integram um sistema. Segundo ele (op. cit., p. 246), o conceito é, em termos psicológicos, um ato de generalização, e tais conceitos evoluem com os significados das palavras. Estas evoluem e, no início, trata-se de uma generalização elementar, que se desenvolve por generalizações mais elevadas, culminando no processo de formação dos verdadeiros conceitos.

Vygotsky (op. cit.) entende que a interação social que provoca a aprendizagem deve ocorrer dentro da zona de desenvolvimento proximal, mas, ao mesmo tempo, tem papel importante na determinação dos limites dessa zona. O limite inferior é fixado pelo nível real do desenvolvimento do aprendiz; e o superior é determinado pelos processos instrucionais. A zona de desenvolvimento proximal é definida como a distância entre o nível de desenvolvimento cognitivo real do indivíduo, medido por sua capacidade de resolver problemas independentemente, e o seu nível de desenvolvimento potencial, medido através da solução de problemas sob orientação. A zona de desenvolvimento proximal define as funções que estão em processo de maturação. O papel de mediador do professor e dos colegas é fundamental na zona de desenvolvimento proximal, por isso conduzimos a

metodologia didática analisada nesta pesquisa através da resolução de situações, pois permite a mediação com o colega através de trabalhos realizados em duplas. A aprendizagem e o desenvolvimento não coincidem, mas são dois processos que estão relacionados. A aprendizagem só é boa quando está à frente do desenvolvimento e se desencadeia quando se encontra na zona de desenvolvimento proximal (op. cit., p. 334).

O desenvolvimento dos conceitos científicos segue o caminho inverso do desenvolvimento do conceito espontâneo, mas ambos estão relacionados. Para que a criança possa aprender o conceito científico e tomar consciência dele, o desenvolvimento do conceito espontâneo deve atingir um determinado nível. Da mesma forma que o conceito espontâneo abre caminho para o desenvolvimento do conceito científico, este abre caminho para o desenvolvimento de conceitos espontâneos, mas em sentido inverso. Os conceitos científicos preparam uma série de formações estruturais indispensáveis à apreensão das propriedades superiores do conceito (op. cit., p. 349). A criança forma uma nova estrutura de generalização, primeiro com uns poucos conceitos, habitualmente readquiridos no processo de aprendizagem, e, quando já domina esta estrutura, reconstrói e transforma os conceitos anteriores. Ao serem incorporados às operações de pensamento de tipo superior em comparação com a anterior, os velhos conceitos modificam sua estrutura. A comparação, discriminação e as relações lógicas entre os conceitos se realizam por linhas que se vinculam entre si (op. cit., p. 374-375).

Resumidamente, a teoria de Vygotsky considera os signos e, em particular, a linguagem, fundamentais no desenvolvimento dos processos mentais superiores, porque este desenvolvimento é feito a partir desses signos. É importante lembrar que esses signos são construídos a partir de um contexto social, histórico e cultural. A internalização desses signos, que é uma construção interna, possibilita ao sujeito libertar-se das representações concretas e passar a representações abstratas. A instrução formal tem um papel fundamental no processo de internalização. Os conceitos e as palavras evoluem para Vygotsky.

Nesta pesquisa tomamos de Vygotsky a importância da mediação na zona de desenvolvimento proximal, que permitirá ao estudante resolver, com a ajuda dos

colegas e do professor, aquilo que ainda não tem condições de resolver sozinho. Estamos de acordo com Vygotsky quando ele diz que a aprendizagem acontece se os conceitos aparecem num problema a ser resolvido, e com Vergnaud, pois para ele um conceito só é construído a partir de situações. Compactuamos também com estes teóricos quando afirmam que a aprendizagem de conceitos é mediada por signos ou símbolos. Os conceitos são, por outro lado, construídos a partir de conceitos anteriores. O processo de construção de conceitos é evolutivo e não é assimilado na primeira vez em que o estudante depara-se com o conceito. O processo de desenvolvimento conceitual tem importância fundamental no desenvolvimento cognitivo através da estruturação e da reestruturação dos conceitos que, por sua vez, estão relacionados por campos conceituais (Vergnaud, 1993), sistemas (Vygotsky, 2001) ou populações conceituais (Toulmin, 1977) e não têm significado isolado. Por outro lado, os significados dos conceitos são contextuais, o desenvolvimento cognitivo está associado ao contexto social, histórico e cultural e evoluem também como a Ciência.

3.4.2.1 Aquisição de conceito na visão de Ausubel

Os conceitos são definidos como objetos, acontecimentos, situações ou propriedades que possuem atributos de critérios comuns e se designam pelo mesmo signo ou símbolo. Existem, essencialmente, dois métodos de aprendizagem conceitual: (1) formação de conceitos que ocorre, fundamentalmente, em crianças pequenas, e (2) assimilação de conceitos, que é a forma predominante de aprendizagem conceitual nas crianças em idade escolar e nos adultos (Ausubel, 2003, p. 92).

A teoria de Ausubel traz como principal pressuposto que os novos significados são adquiridos através de uma interação entre novos conhecimentos potencialmente significativos e conhecimentos já existentes na estrutura cognitiva do aprendiz. Os conceitos constituem um aspecto fundamental da teoria de Ausubel, pois a compreensão de novos conhecimentos e a resolução não mecânica de problemas dependem essencialmente da disponibilidade de conceitos superordenados e subordinados na estrutura cognitiva do sujeito. Conceitos

superordenados permitem a aquisição subordinada de novos conceitos, e os conceitos subordinados, a aquisição superordenada (Greca e Moreira, 2003, p. 49).

A formação de conceitos é caracterizada pela aquisição de conceitos, relacionando seus atributos de critérios com a estrutura cognitiva, depois de tê-los relacionado a muitos exemplares particulares dos quais se derivam. Esta etapa ocorre nos anos pré-escolares e nos primeiros anos de escola primária. Na assimilação de conceitos, são necessários apoios concretos e empíricos na escola primária. Este processo ocorre quando os atributos de critério dos conceitos são apresentados por definição ou com base no contexto e logo se relacionam diretamente com a estrutura cognitiva do aluno, ou seja, com conceitos secundários. Esta etapa começa durante os últimos anos da escola primária e já no início da escola secundária; o aluno pode ir abandonando estes apoios e relacionar diretamente os atributos dos critérios apresentados com sua estrutura cognitiva (Ibid., p. 50).

3.4.2.2 Formação de conceitos

Na criança pré-escolar, a formação de conceitos é caracterizada pela aquisição espontânea e indutiva de ideias genéricas, baseadas em experiências empírico-concretas. É um tipo de aprendizagem por descobrimento ao qual intervêm pelo menos de forma primitiva, processos psicológicos subjacentes como a análise discriminativa, a abstração, a diferenciação, a generalização, a comprovação de hipóteses e a generalização da vida real e de laboratório (Ibid., p. 51). Na formação de conceitos, os atributos de critérios são adquiridos como uma consequência da experiência direta ao longo de fases sucessivas de formulação, experimentação e generalização de hipóteses. Deste modo, a criança pequena conhece o conceito cão ao longo de encontros sucessivos com cães, gatos, vacas, etc., até conseguir generalizar esses atributos de critérios que constituem o conceito cultural de cão. Neste caso, o signo (palavra) cão é adquirido, geralmente, antes do próprio conceito. No entanto, pode acontecer o contrário para outros conceitos, tais como argumento ou mamífero (Ausubel, 2003, p. 89).

A formação de conceitos consiste essencialmente em um processo de abstrair as características comuns e essenciais de uma classe de objetos ou acontecimentos que variam contextualmente. Essas características comuns não são elementos discretos compartilhados por um número de padrões de estímulo, são configurações comparáveis ao conjunto de relações (Greca e Moreira, 2003, p. 49). Para uma criança que recém aprendeu a andar, a palavra cão pode simplesmente significar uma imagem cognitiva do próprio animal; no entanto, para crianças mais velhas, em idade pré-escolar, refere-se aos atributos de critérios de uma imagem compósita de um cão, que descobriu por si só, de forma indutiva, a partir das próprias experiências concretas com cães. Este último processo é denominado formação de conceitos (Ibid.).

Ausubel considera que a formação de conceitos envolve os seguintes processos:

- análise discriminativa de diferentes padrões de estímulo;
- formulação de hipóteses em relação a elementos abstraídos comuns;
- testagem subsequente dessas hipóteses em relação a elementos abstraídos comuns;
- seleção dentre elas de uma categoria geral ou conjunto de atributos comuns sob os quais todas as variações possam ser assimiladas;
- relacionamento desse conjunto de atributos a elementos relevantes que sirvam de ancoradouro;
- diferenciação do novo conceito em relação a outros conceitos previamente aprendidos;
- generalização dos atributos criteriais do novo conceito a todos os membros da classe;
- representação do novo conteúdo categórico por um símbolo de linguagem congruente com o uso convencional.

Ao propor a formação de conceitos como um dos mecanismos de aprendizagem de conceitos, Ausubel se aproxima da teoria clássica (Ibid., p. 51).

3.4.2.3 Assimilação de conceitos

As crianças em idade escolar, os adolescentes e adultos adquirem conceitos novos através do processo de assimilação conceitual. A assimilação de conceitos se caracteriza por um processo ativo de relação, diferenciação e integração com os conceitos pertinentes que já existem. Esta interação pode ocorrer de três maneiras diferentes: aprendizagem subordinada, superordenada e combinatória. Quando os novos significados são adquiridos por um processo de ancoragem em conceitos subsumidores já existentes na estrutura cognitiva do sujeito, a aprendizagem se denomina subordinada. Quando o sujeito aprende um novo conceito mais geral e inclusivo do que as ideias e conceitos já estabelecidos na estrutura cognitiva e passa a assimilá-los ou estes podem ser subsumidos, a aprendizagem é superordenada. Ainda há casos em que a aprendizagem significativa de novos conceitos não guarda uma relação de subordinação nem superordenação com os conceitos preexistentes na estrutura cognitiva, mas se relaciona de maneira ampla e apresenta uma congruência geral, com a organização cognitiva conceitual do aprendiz. Esta aprendizagem é chamada combinatória (op. cit.).

À medida que o vocabulário da criança aumenta, existe uma tendência para uma aquisição mais frequente de novos conceitos, através do processo de assimilação de conceitos, considerando que os atributos de critérios dos novos conceitos podem ser descobertos através da utilização de novas combinações, de referentes existentes (palavras, bem como imagens), disponíveis na estrutura cognitiva da criança. Embora seja necessário utilizar auxiliares empíricos concretos para facilitar a assimilação de conceitos nas crianças na sua aprendizagem inicial, também é possível, com crianças mais velhas, utilizar outros conceitos relevantes existentes nas estruturas cognitivas das mesmas para acelerar o processo de definição dos atributos de critérios dos novos conceitos. As crianças mais velhas e os adultos aprendem muito poucos conceitos novos através do processo de formação de conceitos. Geralmente, apenas os adultos dotados ou criativos da nossa cultura descobrem novos conceitos de forma indutiva, ou até mesmo dedutiva, mediante a análise e a síntese (Ausubel, 2003, p. 89).

Na aprendizagem subordinada, a nova informação adquire significado por meio da interação com subsunçores. Assim, é estabelecida uma relação de subordinação do novo material com a estrutura cognitiva preexistente (Moreira, 1999, p. 31). As informações novas e potencialmente significativas ancoram-se, mais frequentemente, a ideias relevantes mais gerais e inclusivas da estrutura cognitiva do aprendiz. Este processo de relacionamento de novas informações com subsunçores relevantes e preexistentes na estrutura cognitiva é denominado aprendizagem subordinada. Uma vez que a própria estrutura cognitiva tem tendência a ser organizada, em termos hierárquicos, no que toca ao nível de abstração, generalidade e inclusão de ideias, a inclusão de novos significados reflete, de um modo geral, uma relação de subordinação do novo material a ideias mais abrangentes existentes na estrutura cognitiva (Ausubel, 2003, p. 93).

A aprendizagem superordenada se dá quando um conceito mais geral e inclusivo do que as ideias ou conceitos já estabelecidos na estrutura cognitiva é adquirido e, a partir destes, passa a assimilar estes conceitos já estabelecidos (Moreira, 1999, p. 33). A nova aprendizagem gera uma relação de subordinação com a estrutura cognitiva. A aprendizagem superordenada ocorre no decurso do raciocínio indutivo, quando se organiza o material apresentado de forma indutiva e se dá a síntese de ideias componentes; e na aprendizagem de abstrações de ordem superior. A aquisição de significados por este processo ocorre de um modo mais frequente na aprendizagem conceitual do que na proposicional, tal como quando as crianças aprendem que os conceitos familiares cenouras, ervilhas, feijões, beterrabas e espinafres estão subordinados ao novo conceito vegetal, embora sejam diferentes em termos perceptivos (Ausubel, 2003, p. 94-95).

A aprendizagem combinatória, por sua vez, é a aprendizagem de conceitos que não guardam uma relação de subordinação ou superordenação com conceitos específicos, e sim com um conteúdo amplo, relevante de uma maneira geral, existente na estrutura cognitiva, isto é, a nova proposição não pode ser assimilada por outras já estabelecidas na estrutura cognitiva, nem é capaz de assimilá-las. É como se a nova informação fosse potencialmente significativa por ser relacionável à estrutura cognitiva como um todo, de uma maneira bem geral, e não com aspectos específicos dessa estrutura (Moreira, 2003, p. 159).

A aprendizagem significativa de novas proposições que não gera nem uma relação subordinada, nem superordenada, com ideias relevantes particulares na estrutura cognitiva, dá origem a significados combinatórios. Estes são potencialmente significativos porque consistem em novas combinações sensíveis de ideias anteriormente apreendidas, que podem ser relacionadas, de forma não arbitrária, a um vasto conjunto anterior de conteúdo geralmente relevante na estrutura cognitiva, em virtude da congruência geral dos mesmos em relação a tal conteúdo como um todo. Ao contrário das proposições subordinadas ou superordenadas, não são relacionais para com ideias relevantes particulares dentro da estrutura cognitiva. Neste caso, a disponibilidade de ideias ancoradas na estrutura cognitiva, relevantes apenas de modo geral e não específico, faz com que, presumivelmente, as proposições combinatórias sejam menos relacionais ou ancoráveis a conhecimentos anteriormente adquiridos.

Por isso, pelo menos no início, as proposições combinatórias são mais difíceis de apreender e de lembrar, do que as proposições subordinadas ou superordenadas. Esta última inferência resulta diretamente de indícios que indicam que a disponibilidade de conteúdo específico adequadamente relevante na estrutura cognitiva é uma variável crucial na aprendizagem significativa. Muitas das novas generalizações inclusivas e amplamente explicativas, que os estudantes aprendem em ciências e matemática, são exemplos de aprendizagens combinatórias, por exemplo, relações entre temperatura e volume, etc. Embora adquiridas com maior dificuldade do que as proposições subordinadas ou superordenadas, apresentam assim que estabelecidas de forma adequada, a mesma estabilidade inerente a qualquer ideia inclusiva ou superordenada (de subsunção) na estrutura cognitiva. Visto que, presumivelmente, pode-se aprender e reter proposições mais facilmente quando são subordináveis a ideias especificamente relevantes na estrutura cognitiva, e uma vez que a organização hierárquica da estrutura cognitiva é um amplo reflexo do processo de subsunção prevalecente na aprendizagem e na retenção significativas, parece razoável sugerir a utilização do modo de subsunção da aprendizagem significativa, sempre que possível, para fins de aprendizagem formal. Assim, as aprendizagens subordinada, superordenada e combinatória trazem a interação entre os conceitos e a estrutura cognitiva do aprendiz (Ausubel, 2003, p. 95).

3.4.3 Aprendizagem significativa

O conceito central da teoria de Ausubel é o de aprendizagem significativa. A aprendizagem significativa ocorre quando a nova informação ancora-se em conceitos ou proposições relevantes, preexistentes na estrutura cognitiva do aprendiz. O resultado da interação que ocorre na aprendizagem significativa entre o novo material a ser apreendido e a estrutura cognitiva existente é uma assimilação de antigos e novos significados, a qual contribui para a diferenciação dessa estrutura. A interação entre novos significados potenciais e ideias relevantes na estrutura cognitiva do aprendiz dá origem a significados verdadeiros ou psicológicos (Ibid., p. 1). No processo de assimilação, mesmo após o aparecimento dos novos significados, a relação entre as ideias âncoras e as assimiladas permanece na estrutura cognitiva. (Moreira, 1999, p. 24).

A essência do processo de aprendizagem significativa, tal como já se verificou, consiste no fato de que novas ideias expressas de forma simbólica (a tarefa de aprendizagem) se relacionam àquilo que o aprendiz já sabe (a estrutura cognitiva deste numa determinada área de matérias), de forma não arbitrária e não literal, e que o produto desta interação ativa e integradora é o surgimento de um novo significado, que reflete a natureza substantiva e denotativa deste produto interativo (Ausubel, Ibid.).

O armazenamento de informações no cérebro humano é organizado, formando uma hierarquia conceitual, onde elementos mais específicos de conhecimentos são ligados a conceitos mais gerais, mais inclusivos. Estrutura cognitiva significa uma estrutura hierárquica de conceitos que são representações de experiências sensoriais do indivíduo (Moreira, Ibid., p.153).

Quando o indivíduo adquire informações em uma área de conhecimento completamente nova, ocorre a aprendizagem mecânica, até que alguns elementos de conhecimentos relevantes às novas informações na mesma área existam na estrutura cognitiva e possam servir de subsunçores, ainda pouco elaborados. Os subsunçores podem ser formados através do processo de formação de conceitos, o qual envolve generalizações de instâncias específicas. A partir daí, os conceitos são formados através de assimilação, reconciliação progressiva e reconciliação integrativa (Ibid., p. 155).

A aprendizagem significativa pode ser representacional, conceitual ou proposicional. A aprendizagem representacional é o tipo mais básico e é a aprendizagem do significado de símbolos individuais (tipicamente palavras) ou aprendizagem do que eles representam. A aprendizagem de conceitos, ou aprendizagem conceitual, é um caso especial de aprendizagem representacional, pois conceitos também são representados por símbolos individuais. A aprendizagem proposicional, por sua vez, refere-se aos significados de ideias expressas por grupos de palavras (geralmente representando conceitos) combinadas em proposições ou sentenças (op. cit., p. 157).

Para Ausubel, a programação eficiente do conteúdo depende dos princípios da diferenciação progressiva, reconciliação integrativa, organização sequencial e consolidação. A organização sequencial depende de ideias âncoras relevantes para uso na aprendizagem significativa e na retenção que pode ser maximizada a partir da sequência natural da disciplina. A consolidação garante o domínio do que está sendo estudado; antes que novos materiais sejam introduzidos, assegura-se contínua prontidão na matéria de ensino e alta probabilidade de êxito na aprendizagem sequencialmente organizada (op. cit, p. 160-162).

Quando um novo conceito ou proposição é aprendido por subordinação ou por processos de interação e ancoragem em um conceito subsunçor, este também se modifica. A ocorrência desse processo, uma ou mais vezes, leva à diferenciação progressiva do conceito subsunçor. Já na aprendizagem superordenada ou na combinatória, ideias estabelecidas na estrutura cognitiva podem, no curso de novas aprendizagens, ser reconhecidas como relacionadas. Novas informações são adquiridas, e elementos existentes na estrutura cognitiva podem reorganizar-se e adquirir novos significados. Essa recombinação de elementos previamente existentes na estrutura cognitiva é denominada reconciliação integrativa. Esses são princípios programáticos instrucionais facilitadores da aprendizagem significativa.

Resumindo, para Ausubel, a aprendizagem de conceitos ocorre de duas maneiras. A primeira, a formação de conceitos, ocorre quando as crianças são pequenas e, eventualmente, em adultos. Este processo ocorre pela regularidade de encontros com o objeto até a formação do conceito. O outro, a assimilação de

conceitos, ocorre em crianças em idade escolar, adolescentes e adultos. Este processo pode ocorrer de três maneiras: quando os novos conceitos são subordinados aos conceitos já existentes (subordinados); quando os conceitos já existentes ficam subordinados aos novos conceitos (superordenados); e por combinação, quando os conceitos novos são potencialmente significativos – neste caso, nem os conceitos preexistentes são subordinados aos novos e nem os novos são subordinados aos preexistentes, ou seja, a ideia nova e a ideia já estabelecida não estão relacionadas hierarquicamente. A nova informação não se relaciona nem a ideias subordinadas nem a ideias superordenadas específicas, mas com antecedentes amplos, gerais, de um conteúdo relevante existente na estrutura cognitiva (Gutierrez, 2002, p. 4). Quando o sujeito já tem o conceito de energia bem estabelecido na sua estrutura cognitiva e aprende o conceito de calor, este novo conceito assume uma relação de subordinação em relação ao primeiro, e também o primeiro conceito sofre modificações e adquire mais estabilidade na estrutura cognitiva. Este é um exemplo de aprendizagem subordinada. Já, se os alunos aprendem o conceito trabalho e o conceito calor e podem subordinar estes dois conceitos ao novo conceito energia, este seria um exemplo de aprendizagem superordenada. Por fim, a relação entre massa e energia seria um exemplo de aprendizagem combinatória.

No que se refere à estrutura cognitiva do aluno, a condição para a aprendizagem significativa é a disponibilidade de subsunçores. Caso não existam subsunçores ou estejam obliterados, a principal estratégia para que ocorra a aprendizagem significativa é a dos organizadores prévios. Quanto à programação eficiente da aprendizagem significativa, Ausubel propõe quatro princípios: diferenciação progressiva (apresentação das ideias mais gerais e inclusivas de uma disciplina para depois entrar nas especificidades); reconciliação integrativa (indicação de semelhanças e diferenças e reconciliação das inconsistências e combinação de ideias semelhantes que sejam logicamente relacionadas umas com as outras); organização sequencial (os conhecimentos anteriores são geralmente mais inclusivos, assim é necessária uma dependência sequencial de forma que a aprendizagem de cada unidade se torne relevante para o item seguinte); e consolidação (antes de se introduzir novo material de aprendizagem, deve-se

assegurar uma prontidão para a aprendizagem posterior) (Ausubel, 2003, p. 166-172).

3.4.4 Aquisição de conceitos na visão de Vergnaud

Para Vergnaud, o conhecimento está organizado em campos conceituais. O sujeito se apropria destes campos conceituais ao longo de muito tempo, através de experiência, maturidade e aprendizagem. Ele define campo conceitual como um conjunto informal e heterogêneo de problemas, situações, conceitos, relações, estruturas, conteúdos e operações de pensamento, conectados uns aos outros e provavelmente relacionados durante o processo de aquisição. A teoria dos campos conceituais considera a conceitualização a essência do desenvolvimento cognitivo. Trata-se de uma teoria cognitivista neopiagetiana que pretende oferecer um referencial mais frutífero do que o piagetiano ao estudo do desenvolvimento cognitivo e da aprendizagem de competências complexas (apud Moreira, 2002, p. 2-3). Os conceitos de campo conceitual, conceito, situações, esquema, invariante operatório (teorema-em-ação ou conceito-em-ação) são a espinha dorsal da teoria de Vergnaud.

3.4.4.1 Campos conceituais

Os campos conceituais são definidos como um conjunto de situações cujo domínio requer o manejo simultâneo de conceitos, procedimentos e representações de natureza distinta (Vergnaud, 1993, apud Escudero e Moreira, 2002, p. 7). Um campo conceitual pode ser uma unidade de estudo, cujas situações, conceitos e procedimentos podem ser tratados de forma independente de outros conjuntos (Vergnaud, 1987 apud Greca e Moreira, 2002, p. 5). Um campo conceitual é um conjunto de conteúdos, mas não somente de conteúdos, que estão fortemente interligados entre si e podem estar relacionados com outros campos conceituais.

Nesta pesquisa, consideramos o campo conceitual da Termodinâmica, onde estudamos a construção dos conceitos temperatura, calor, energia interna, trabalho e entropia, pelos estudantes.

3.4.4.2 Conceitos

Vergnaud define os conceitos a partir de três conjuntos: i) um conjunto de situações que constitui o referente do conceito (S); ii) um conjunto de invariantes operatórios (teoremas-em-ação e conceitos-em-ação) (I); iii) um conjunto de representações simbólicas que compõem seu significante (R) (op. cit.). Assim, conceito só pode ser definido a partir de situações que estão relacionadas com as representações simbólicas através do conjunto de invariantes operatórios.

Para abranger todo o significado de um conceito, segundo a teoria de Vergnaud, introduzimos nesta pesquisa os conceitos através de situações problemas para que os alunos construam os significados dos conceitos dentro de um contexto. Por outro lado, ao resolverem as situações, os estudantes podem acionar invariantes operatórios constituídos de conceitos-em-ação e teoremas-em-ação ou podem construir novos invariantes operatórios, possibilitando uma evolução no seu desenvolvimento cognitivo. Ao mesmo tempo, os alunos utilizam diferentes representações simbólicas ou gráficas para representar os conceitos estudados.

Por exemplo, o conceito trabalho pode ser definido através de uma situação que envolve um sistema gasoso que recebe energia (calor) e varia seu volume. O aluno, ao estudar esta situação, busca conceitos anteriores envolvendo o trabalho em processos mecânicos e poderá relacionar o vetor força e o vetor deslocamento envolvidos nesses processos com a pressão e a variação do volume, relacionados aos processos termodinâmicos. O estudante poderá buscar invariantes operatórios anteriormente estudados e aplicar a esta nova situação, como por exemplo, o trabalho é um processo que envolve transferência de energia tanto nas situações mecânicas como nas situações termodinâmicas. Por outro lado, para representar graficamente o trabalho realizado, nas situações mecânicas utilizamos a área do gráfico da força em função do deslocamento, e nas situações termodinâmicas utilizamos a área do gráfico da pressão em função do volume. Assim, é possível definir o conceito de trabalho através de uma situação que permite buscar invariantes operatórios anteriormente construídos, construir novos e representar tais conceitos.

3.4.4.3 Situações

O conceito de situação não é uma situação didática, mas sim o de tarefa, de tal forma que toda situação complexa pode ser vista como um conjunto de tarefas, as quais apresentam dificuldades próprias, que são importantes conhecer. Apesar do desempenho em cada subtarefa interferir na tarefa, a dificuldade nesta não é, necessariamente, o resultado das dificuldades em todas as subtarefas. A ideia de campo conceitual levou à visão de conceito como sendo definido através do referente, significado e significante, mas são às situações que dão sentido ao conceito. Assim, foi necessário definir também o conceito de situação e esquema. Os esquemas evocados é que dão sentido a uma dada situação. O conceito de esquema levará ao conceito de invariante operatório (Vergnaud apud Moreira, 2002, p. 5-6).

Para Vergnaud e também para Vygotsky, são as situações ou o contexto que dão sentido aos conceitos. Por isso, a abordagem didática proposta nesta tese parte da resolução de situações problemas, pois acreditamos que, só assim, os conceitos vão adquirindo aos poucos significado para os estudantes.

Por exemplo, para introduzir o conceito temperatura, partimos de uma situação conhecida dos alunos envolvendo uma pessoa febril, que possibilitava a eles inferir que era necessário obter a medida de temperatura para ter certeza se, de fato, a pessoa se encontrava com febre; em seguida, avançamos para outras situações que relacionavam a temperatura ao movimento de átomos ou moléculas, até a última situação que envolvia o equilíbrio térmico. As diferentes situações apresentadas tiveram a finalidade de fazer os alunos evidenciarem teoremas e conceitos-em-ação, já inseridos na estrutura cognitiva dos estudantes, e também a construção de novos significados e representações para o conceito temperatura relacionados a outros conceitos, como o de equilíbrio térmico. Assim, poderíamos dizer que a pedra angular desta tese está na resolução de situações problemáticas.

3.4.4.4 Esquemas

Para Vergnaud, esquema é uma organização invariante do comportamento de uma determinada classe de situações. É nos esquemas que estão os conhecimentos-em-ação (conceitos-em-ação e teoremas-em-ação) do sujeito. Os esquemas são os elementos cognitivos que fazem com que a ação do sujeito seja operatória. Um esquema deve ser eficiente para uma gama de situações e pode gerar diferentes sequências de ação, de coletas de informações e de controle, dependendo das características de cada situação em particular. Esquema é um conceito introduzido por Piaget para dar conta de formas de organização tanto das habilidades sensório-motoras como das habilidades intelectuais. Os esquemas se referem a situações em que o sujeito tem condições de dar conta imediatamente ou a situações em que o sujeito necessita de um tempo para reflexão, para solucionar ou não a situação. O desenvolvimento cognitivo consiste no desenvolvimento de um vasto repertório de esquemas. Quando o sujeito usa um esquema ineficaz para uma situação, a experiência o leva a mudar de esquema ou a modificar o esquema. As expressões conceito-em-ação e teorema-em-ação são também denominadas pela expressão mais global, invariantes operatórios (Ibid.). Teorema-em-ação é uma proposição que pode ser verdadeira ou falsa, mas é considerada verdadeira sobre o real, e o conceito-em-ação é uma categoria de pensamento considerada como pertinente. O conhecimento é precisamente implícito, e o aprendiz tem dificuldade em explicá-lo ou expressá-lo, mas isto não significa que tal conhecimento não possa ser explicitado. É através do processo de explicitação do conhecimento implícito que os teoremas e conceitos-em-ação podem se converter em verdadeiros teoremas e conceitos científicos (Escudero e Moreira, 2002, p. 7).

Para Vergnaud (1993, p. 78), os esquemas estão no centro do processo de adaptação. E é no interior dos esquemas que se encontram os invariantes operatórios que permitem ao esquema funcionar em situações diversas. O teórico propõe quatro componentes dos esquemas, que para ele são indispensáveis: os invariantes operatórios, que são constituídos de teoremas-em-ação e conceitos-em-ação e que são os instrumentos de conceitualização das situações; as inferências, que permitem inferir resultados a partir das informações fornecidas pelas situações e a partir dos invariantes acionados; as regras de ação, que permitem decidir sobre as

ações que se quer pôr em prática. São as regras de ação que determinam as ações, a partir das inferências; e as antecipações ou objetivos a alcançar, que determinam os efeitos que se deseja obter e que resultam das inferências.

Por exemplo, se tomarmos uma situação representada por um gráfico da pressão em função do volume, onde um gás ideal monoatômico sofre um processo termodinâmico AB, as antecipações ou objetivos a alcançar determinam o que o estudante quer saber a respeito deste sistema termodinâmico, como quando deseja saber a temperatura final do sistema, a variação da energia interna, o calor envolvido no processo. Para isso, é necessário que o estudante busque invariantes operatórios (conceitos-em-ação e teoremas-em-ação) que sejam eficazes mediante esta situação. Por exemplo, o estudante poderá utilizar os conceitos-em-ação calor, variação da energia interna, temperatura, pressão, volume e, como teorema-em-ação, a equação de estado do gás ideal ($pV = nRT$) e a Primeira Lei da Termodinâmica. Para solucionar a situação, o estudante necessita de uma sequência de ações determinadas por regras de ação. Tais regras poderiam ser: se o volume do sistema aumenta, então o trabalho é realizado pelo sistema; se a temperatura do sistema aumenta, então a energia interna do sistema também aumenta. E os estudantes poderiam inferir que a energia interna do sistema aumenta, uma vez que a temperatura aumenta e que o sistema recebe mais energia como calor, pois perde energia na realização de trabalho.

Por outro lado, o estudante poderia resolver a situação para ele se utilizasse uma regra de ação: se a temperatura do sistema diminui, a energia interna do sistema aumenta. Ele estaria, neste caso, utilizando teoremas-em-ação cientificamente incorretos, mas que para ele resolveriam a situação. Assim, o esquema utilizado pelo aluno seria eficaz, mas não eficiente do ponto de vista científico.

Neste trabalho, analisamos as soluções das situações propostas na introdução de novos conceitos pelas duplas de estudantes, tentando buscar os componentes dos esquemas utilizados pelos alunos para resolver determinada situação; para diagnosticar como os esquemas de pensamento e os conhecimentos implícitos contidos nos invariantes operatórios são utilizados; para poder possibilitar

uma evolução de tais invariantes e, conseqüentemente, os esquemas de pensamento.

Acreditamos que as inferências fazem parte dos modelos mentais, assim como propõe Greca e Moreira (2004), que são compostos também de invariantes operatórios. Tais modelos mentais são acionados quando o aluno encontra uma situação nova. Se o aluno resolver a situação, estes modelos evoluem para esquemas de pensamento e passam a fazer parte da memória de longo prazo.

3.4.4.5 Invariantes operatórios

Os conhecimentos contidos num esquema são denominados conceito-em-ação e teorema-em-ação. Também podem ser chamados pela expressão mais abrangente, invariantes operatórios. Esquema é a organização da conduta de certa classe de situações; teoremas-em-ação e conceitos-em-ação são invariantes operacionais, logo são componentes essenciais dos esquemas e determinam as diferenças entre eles. Teorema-em-ação é uma proposição tida como verdadeira sobre o real. Conceito-em-ação é um objeto, um predicado, ou uma categoria de pensamento tida como pertinente, relevante. Há uma relação dialética entre conceito-em-ação e teorema-em-ação, uma vez que os conceitos são ingredientes de teoremas, e teoremas são propriedades que dão aos conceitos seus conteúdos. Conceitos e teoremas explícitos são uma pequena parte da conceitualização; sem a parte implícita formada pelos invariantes operatórios, a parte explícita não teria significado. Da mesma forma, não há como falar dos invariantes operatórios sem a contribuição do conhecimento explícito. O conceito-em-ação e teoremas-em-ação podem, progressivamente, tornar-se conceitos verdadeiros e teoremas científicos. O conhecimento explícito pode ser comunicado a outros e discutido, o conhecimento implícito não (Moreira, 2002, p. 8-11). Os invariantes operatórios são conhecimentos altamente implícitos, e é necessário que os alunos explicitem tais invariantes para que possam ser negociados e adquiram significado científico.

Em resumo, a teoria dos campos conceituais de Gerard Vergnaud é uma teoria psicológica e cognitivista, neopiagetiana, que supõe a conceitualização da realidade como um núcleo de desenvolvimento cognitivo. É uma teoria psicológica de conceitos, na qual a conceitualização é considerada a pedra angular da cognição. Para ele, o conhecimento está organizado em campos conceituais

cujo domínio, por parte do aprendiz ocorre ao largo de um longo período de tempo, através da experiência, maturidade e aprendizagem. Os campos conceituais são, sobretudo, conjuntos situações cujo domínio requer, por sua vez, o domínio de vários conceitos, procedimentos e representações de naturezas diferentes. Os conceitos são definidos por três conjuntos: o primeiro é um conjunto de situações que constituem o referente do conceito, o segundo é um conjunto de invariantes operatórios (teoremas e conceitos-em-ação) que dão o significado ao conceito, e o terceiro é um conjunto de representações simbólicas que compõe seu significado. Como são as situações que dão sentido aos conceitos, é natural definir os campos conceituais como conjuntos de situações. Um conceito se torna significativo através de uma variedade de situações, mas seu sentido não está nas situações em si mesmas. Assim, como não está nos significantes. Precisamente, são os esquemas, ou seja, as ações e sua organização, evocados pelo sujeito por uma situação ou por um significante que constituem o sentido dessa situação ou deste significante para este sujeito (Greca e Moreira, 2004, p. 48).

Assim, para este teórico, o conhecimento está organizado em campos conceituais – grandes conjuntos de situações, cujo domínio requer o conhecimento de vários conceitos. Por sua vez, conceitos são constituídos por conjuntos de situações, conjuntos de invariantes operatórios e um conjunto de representações simbólicas. Um conceito só tem significado através de uma variedade de situações. Os esquemas ou as ações e sua organização quando acionados pelo sujeito é que dão significado a uma situação para este indivíduo.

A teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud é o principal referencial teórico desta tese. Buscamos, nesta teoria, a fundamentação para a nossa abordagem didática, que propõe a introdução de novos conceitos através da resolução de um conjunto de situações, pois entendemos, como Vergnaud (1993), que os conceitos adquirem significados para os estudantes à medida que estes conseguem utilizá-los em situações. Adicionamos a esta teoria a de Vigotsky (2001), pois acreditamos que os conceitos são socialmente construídos e devem ser mediados por um colega ou professor na zona de desenvolvimento proximal. Por isso, propomos que as situações sejam resolvidas em duplas de alunos auxiliados pelo professor, para proporcionar a mediação entre eles e a possibilidade de seus desenvolvimentos intelectuais. Buscamos, na teoria de Ausubel (1968), a aprendizagem significativa, por acreditarmos que uma abordagem didática que introduz os novos conceitos através de situações permite ao estudante relacionar as ideias novas com aquilo que o estudante já sabe e é significativo para ele, ou vice-versa. Por último,

acrescentamos a proposta de Greca e Moreira (2004), pois admitimos, como eles, que os invariantes operatórios fazem parte dos modelos mentais, assim como os esquemas de pensamento de Vergnaud (1993), e quando a situação é nova para o aluno, ele inicialmente constrói um modelo mental que poderá evoluir para esquema de pensamento. Do ponto de vista epistemológico, apoiamos-nos na teoria de Stephen Toulmin, pois aceitamos que as populações conceituais que podemos relacionar com os campos conceituais são constituídas de conceitos que evoluem ao longo de muito tempo.

3.4.4.6 A teoria dos campos conceituais

O desenvolvimento cognitivo é uma consequência do desenvolvimento dos esquemas mentais. Logo, a atividade de sala de aula tem importância no desenvolvimento de esquemas e no acionamento de seus componentes (objetivos e antecipações, regras de ação, invariantes operatórios e inferências). Vergnaud (2004, p.36) busca em Vygotsky (2001) o papel do professor, no que diz respeito à zona do desenvolvimento proximal, que trata de um espaço de atividade conjunta do professor e dos alunos entre si; neste espaço, o professor auxilia o aluno a fazer alguma coisa que ele sozinho não poderá fazer, e atua como mediador.

Para Vergnaud (2004, p. 37-38), o primeiro ato de mediação do professor é a escolha de situações para seus alunos. Consiste em propor situações que vão desestabilizá-los cognitivamente, mas, com a ajuda do professor e dos colegas, essas situações desestabilizadoras permitirão um avanço no desenvolvimento dos esquemas dos alunos. Desse modo, na verdade, é necessário que o professor proponha situações que possibilitem o desenvolvimento de esquemas. É preciso trazer para a escola situações coletadas na vida cotidiana e, ao mesmo tempo, trazer o saber científico e os chamados saberes profissionais. Ele (Ibid., p. 44) diz que não somente as situações são importantes para o ensino, mas também o acionamento de todos os componentes dos esquemas (invariantes operatórios, inferências, objetivos e antecipações e regras de ação). Assim, não é suficiente a escolha de uma situação, mas também é necessário que o estudante reconheça, nesta situação, algo que lhe faça sentido.

Para Vergnaud, a avaliação no sentido de subsidiar a ação do professor com os alunos é outro fator importante (op. cit., p. 47). O autor alerta sobre a forma operatória do conhecimento (o fazer) e a forma predicativa (o explicar, o dizer), reforçando a importância de propor situações que permitam avaliar as competências do fazer e do dizer.

A escolha de situações, o auxílio oferecido ao aluno quando ele desenvolve situações e a avaliação no sentido de que o professor tenha condições de controlar o desenvolvimento das competências que ele objetiva são, para Vergnaud (op. cit., p. 50), três atos importantes para o professor. Afirma que o desenvolvimento didático consiste no interesse pelo conteúdo conceitual dos conhecimentos (op. cit., p. 38). Dessa forma, ele dá grande importância aos processos de conceitualização, uma vez que envolvem todos os registros da atividade.

Outro fator importante no ensino é o sistema de representações que o professor usa. Normalmente, são usadas muitas palavras e representações simbólicas, então é necessária uma epistemologia dos sistemas de representação para cada domínio de conteúdo (op. cit., p. 40). A pesquisa em sala de aula é importante, pois abrange a riqueza e a diversidade das atividades tanto da parte dos alunos quanto do professor. É necessário que os professores pensem em equipes de pesquisa no ensino para que possam dar conta da dimensão dos problemas didáticos (op. cit., p.41).

3.4.5 Proposta de Greca e Moreira

Greca e Moreira (2004) articulam as propostas da teoria dos campos conceituais de Vergnaud com a teoria dos modelos mentais de Jonhson-Laird. Sugerem que o conhecimento-em-ação contido nos esquemas de assimilação da teoria de Vergnaud participa da formação dos modelos mentais. O conhecimento-em-ação já estabelecido na estrutura cognitiva do sujeito, portanto, influencia a construção dos modelos mentais. O processo de comparação entre os modelos mentais, explicações e previsões e o resultado efetivo da situação, pode determinar mudanças nos invariantes operatórios do sujeito, por causa da inconsistência entre modelo mental e a situação nova. Os modelos mentais podem ser modificados

recursivamente a partir destes resultados entre si e os acontecimentos do mundo. Se essas modificações ocorrerem de forma sistemática em relação a uma determinada classe de situações, os próprios esquemas podem ser mudados. Isto significa que o modelo mental pode se converter num construto mais estável do sistema cognitivo, transformando-se em um esquema-em-ação. Em resumo, os pesquisadores propõem a existência de dois grandes tipos de representações necessárias para a apreensão do mundo por parte do sujeito: os modelos mentais e os esquemas de assimilação.

Greca e Moreira (2002, p.15) resumem sua proposta.

Em resumo, o conhecimento encontra-se organizado em campos conceituais, cujo domínio, por parte de quem aprende, é demorado. Este domínio está vinculado em parte ao repertório de esquemas operatórios que o sujeito pode construir para resolver distintas situações; estas situações formam o campo conceitual. A explicitação dos invariantes operatórios do sujeito, em alguma linguagem simbólica, determina o que se define como conceito, sendo que o conceito adquire significação a partir das situações que o sujeito enfrenta e que lhe permitem perceber os invariantes. Este processo de descoberta e mudança dos invariantes acontece no âmbito dos modelos mentais, que são o espaço em que os esquemas operatórios dos indivíduos manipulam as representações da realidade com o objetivo de agir sobre ela.

O construto modelo mental, como definido por Jonhson-Laird, parece não dar conta de muito mais do que acontece de imediato. A ideia de modelo mental é a de uma construção interna recursivamente construída na memória de trabalho, cujo único compromisso é o da funcionalidade. O modelo mental é descartado depois de cumprido o seu objetivo. Os esquemas são estruturas representacionais com um grau de estabilidade na memória de longo prazo. Os modelos mentais são análogos estruturais do estado de coisas do mundo construídos na memória de trabalho, instáveis e funcionais. Quando a situação é nova, o sujeito constrói modelos mentais na memória de trabalho, para fazer inferências, previsões e dominar a situação. Já nas situações conhecidas, o sujeito busca esquemas de assimilação na memória de longo prazo. Se a situação for similar a uma situação anteriormente nova, o sujeito construirá um modelo mental similar ao construído para a situação nova. No entanto, à medida que esta situação for se repetindo, o sujeito não mais construirá modelos mentais, mas sim utilizará um esquema de assimilação estável construído a partir de modelos mentais inicialmente instáveis.

3.5 Conclusão

A primeira parte deste referencial teórico abordou a caracterização de conceitos do ponto de vista de sua formação, isto é, como as pessoas adquirem seus primeiros conceitos na visão da teoria clássica, probabilística, enfoques teóricos e essencialista, neoclássica e atomismo conceitual.

Os conceitos começam a ser definidos, na teoria clássica, como uma lista de condições necessárias e suficientes, evoluindo, na probabilística, para um conjunto de características mais frequentes; para uma rede de relações da qual deriva seu significado nos enfoques teórico e essencialista; para condições necessárias mais conhecimento do mundo na neoclássica; e, por fim, o conteúdo de um conceito primitivo é determinado pela posição do conceito em relação causal adequada com as coisas do mundo na teoria atomística conceitual. Para a classe de conceitos caracterizada por listas de atributos, certamente, o ensino por meio da repetição de exercícios será eficaz; mas, se os conceitos estão fundamentados em teorias mentais, acreditamos que uma forma de se obter aprendizagem significativa é através de resolução de situações.

Do ponto de vista epistemológico, apoiamo-nos na Teoria de Stephen Toulmin, uma vez que concordamos que os conceitos formam populações conceituais que podemos articular com os Campos Conceituais de Vergnaud, também constituídos de conceitos. Para Toulmin, a chave da compreensão humana está nos conceitos; e para Vergnaud isto representa a essência do desenvolvimento cognitivo. Também podemos fazer um paralelo entre a epistemologia de Toulmin e a teoria de Vergnaud no que se refere ao desenvolvimento conceitual que é gerado mediante a resolução de problemas ou situações. Como os conceitos evoluem, não ocorre uma mudança conceitual brusca, mas os conceitos vão adquirindo significado ao longo de muito tempo. Esses conceitos evoluem para as pessoas assim como para uma comunidade científica, através da interação social, sofrendo influência de valores e crenças do mundo que as cerca. Toulmin considera os conceitos integrantes de populações conceituais em desenvolvimento histórico tanto no plano coletivo como individual. E qualquer transformação, seja ela lenta ou rápida, sempre é parcial e está submetida à seleção crítica da comunidade intelectual. Um critério

de demarcação permanente e universal entre as considerações científicas e as não científicas é incompatível. A ciência é uma empresa racional em desenvolvimento histórico, que progride através de uma perspectiva evolutiva, não revolucionária. E a chave da compreensão humana está nos conceitos, da mesma forma que para Vergnaud a pedra angular do desenvolvimento cognitivo está na conceitualização.

As teorias que tratam do tema aquisição de conceitos, na visão de Vygotsky, Ausubel e Vergnaud, podem ser vistas como teorias de aprendizagem cognitivistas e construtivistas. São cognitivistas porque se preocupam com os processos mentais, de como o indivíduo constrói sua estrutura cognitiva. E uma vez que essas teorias admitem que a cognição é construída, elas são também construtivistas. Como a aquisição dos conceitos se dá por um processo de evolução da estrutura cognitiva, cada um dos autores propõe um construto teórico importante. Assim, Vygotsky estabelece construções sociais, signos e instrumentos; Ausubel propõe os subsunçores; e Vergnaud herda os esquemas de assimilação de Piaget, que são constituídos de invariantes operatórios.

Se por um lado as teorias de Vygotsky e Vergnaud são contraditórias, uma vez que Vygotsky considera os conceitos científicos explícitos e Vergnaud os considera formados de invariantes operatórios altamente implícitos, de outro lado, Vygotsky acredita que, para que o processo de formação de conceito se inicie, é necessário surgir um problema que só possa ser resolvido com tais conceitos (Vygotsky, 2001, p. 156); de maneira similar; Vergnaud entende que um conceito só pode ser construído a partir de situações. Compartilhando dos pensamentos de Vygotsky e de Vergnaud, propomos a aprendizagem de conceitos através de situações problema. Outro ponto de convergência entre as teorias de Vergnaud e Vygotsky é a mediação de símbolos na aprendizagem de conceitos. Os teóricos defendem também que o processo de construção de conceitos é evolutivo, pois, como afirma Vygotsky (2001, p. 265), a formação dos conceitos científicos e espontâneos não termina no momento em que o sujeito assimila pela primeira vez um significado, apenas começa. Nisto, estes teóricos concordam com o epistemólogo Stephen Toulmin, pois também para ele a construção de conceitos é um processo evolutivo.

Na sequência, é apresentado o trabalho de Greca e Moreira (2002), que integra os esquemas de assimilação de Piaget na forma como são definidos pela teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud com os modelos mentais de Johnson-Laird. Os pesquisadores acreditam que os invariantes operatórios são componentes dos esquemas de assimilação, assim como dos modelos mentais. Consideram os esquemas estruturas representacionais com um grau de estabilidade na memória de longo prazo, enquanto os modelos mentais são construções da memória de trabalho, instáveis e funcionais. Quando a situação é nova, o sujeito constrói modelos mentais para dar conta da situação, e, quando a situação já é conhecida, o sujeito utiliza um dos esquemas de assimilação armazenado. Assim, frente a uma situação nova, o sujeito constrói um modelo mental, mas à medida que situações assimilares ocorrem, o sujeito construirá um modelo mental semelhante ao que construiu para a nova situação. Quando esse processo se repete, o sujeito passa a buscar esquemas de assimilação, construídos a partir de modelos mentais instáveis. Assim, mostramos o papel crucial do conceito na construção do conhecimento, pois para aprender significados é necessário que o homem seja capaz de relacionar os conhecimentos com os conceitos conhecidos. Por outro lado, um conceito só tem significado, num determinado contexto, por meio de uma enculturação ou de situações.

Por fim, usamos um mapa conceitual, apresentado na Figura 2, para evidenciar a importância da conceitualização no desenvolvimento cognitivo. A conceitualização é um processo longo no qual os estudantes atribuem significados aos conceitos. Tais conceitos, de um ponto de vista epistemológico, são constituintes de populações conceituais e, ao mesmo tempo, fazem parte de campos conceituais que evoluem através da enculturação ou de processos sociais. Na construção de conceitos, o conhecimento prévio atua como subsunçor para resolver problemas e situações que geram modelos mentais constituídos de invariantes operatórios passíveis de evoluir para esquemas de assimilação. O processo de construção de conceitos é mediado por instrumentos e signos, que adquirem significado para os estudantes mediante a resolução de situações problemas. À medida que tais conceitos adquirem significado para os estudantes, consolida-se a aprendizagem significativa, que ocorre quando os novos conhecimentos ancoram-se em conhecimentos preexistentes na estrutura cognitiva dos estudantes.

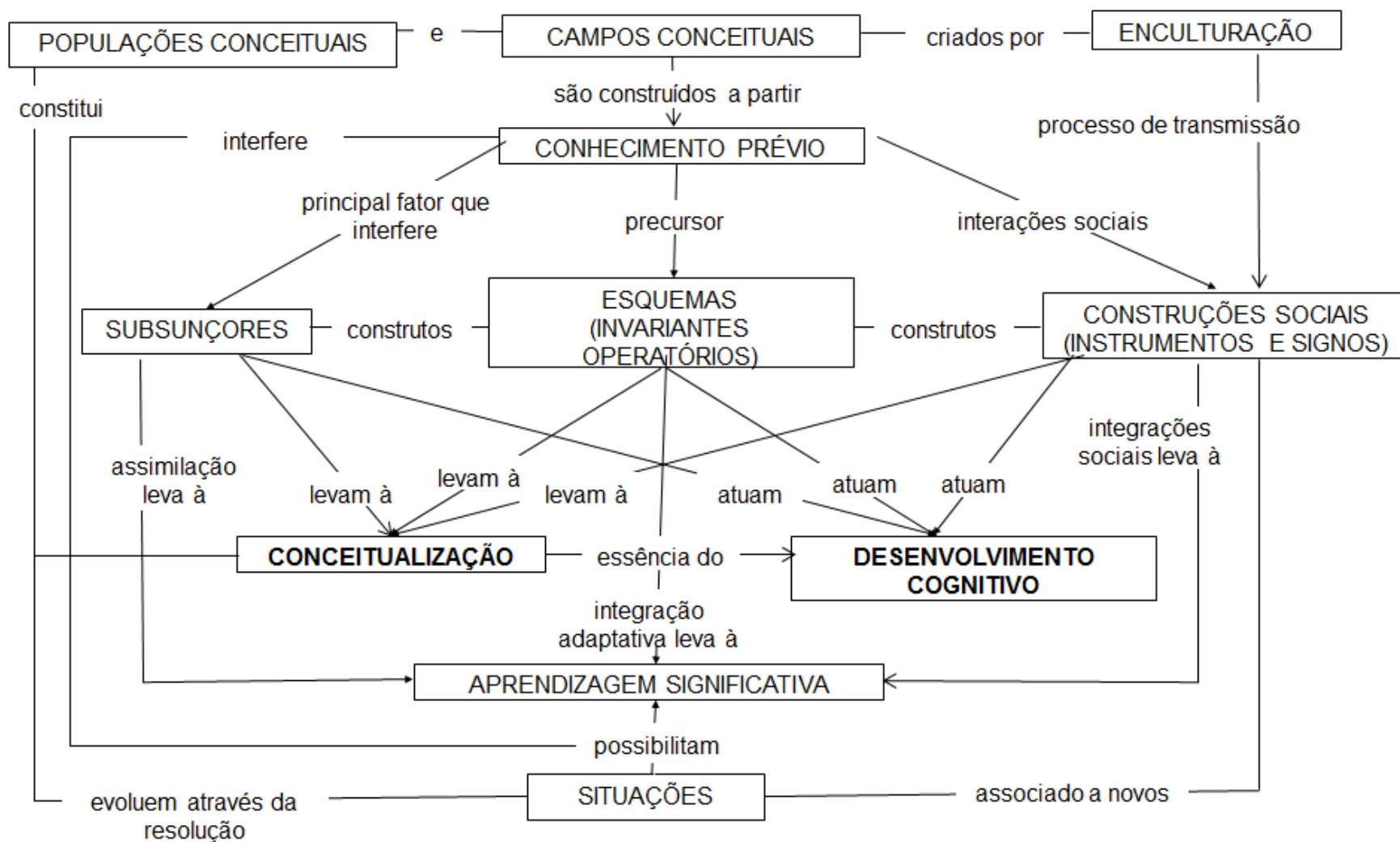


Figura 2. Mapa conceitual sobre as teorias que fundamentam esta tese (Grings, 2008).

4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA - CAMPO CONCEITUAL DA TERMODINÂMICA – CCT

4.1 Introdução

Esta seção visa discutir os conceitos analisados nesta tese do ponto de vista científico. Historicamente, o desenvolvimento da Termodinâmica caminhou com a teoria atômica da matéria. No século XIX, havia indícios de que a teoria sobre calor e temperatura estava relacionada à estrutura da matéria. O botânico Robert Brown, em 1827, observou que grãos de pólen suspensos em um líquido tinham movimento caótico. Albert Einstein, em 1905, desenvolveu uma teoria explicativa para o movimento dos grãos de pólen. Para ele, tais grãos colidiam constantemente com moléculas invisíveis do líquido. As moléculas, segundo esta teoria, também realizavam um movimento caótico. A experiência de Brown e as explicações de Einstein deram suporte à teoria da matéria e servem para explicar os conceitos da Termodinâmica, tais como calor, temperatura, energia interna, etc.

No estudo da Termodinâmica, é necessário delimitar um sistema termodinâmico que pode ser uma máquina ou parte dela, cuja fronteira deve ser bem definida. O sistema termodinâmico mais o seu entorno é denominado de universo. Por outro lado, os sistemas podem ser abertos (podem trocar massa e energia com o seu entorno), fechados (possuem massa constante, mas podem trocar energia com o seu entorno) ou isolados (não trocam nem massa, nem energia com o seu entorno).

Para caracterizar um sistema termodinâmico necessitamos conhecer as grandezas termodinâmicas, tais como pressão, temperatura, volume, energia interna e entropia. As grandezas termodinâmicas podem ser extensivas – aquelas que dependem do tamanho do sistema, tais como massa, volume ou energia interna; ou intensivas – aquelas que não dependem do tamanho do sistema, tais como temperatura ou pressão.

O estado de um sistema termodinâmico é caracterizado pelas grandezas termodinâmicas. Enquanto tais grandezas permanecem constantes, o sistema não muda de estado. Quando alguma das grandezas varia, dizemos que o sistema sofreu um processo termodinâmico. Assim, um sistema termodinâmico pode evoluir de um estado inicial até um estado final. Os processos termodinâmicos que vão do estado inicial até o estado final mediante uma sucessão de estados de equilíbrio são denominados de processos quase estáticos. Os processos que podem retornar ao estado inicial sem modificar o sistema ou seu entorno são denominados processos reversíveis. Por outro lado, os processos que produzem modificações permanentes no seu entorno são denominados processos irreversíveis.

4.2 Temperatura

As leis da Termodinâmica permitem relacionar os conceitos calor, temperatura e energia interna do ponto de vista macroscópico. Por outro lado, os fenômenos térmicos podem ser descritos também através de uma abordagem microscópica, que caracteriza os fenômenos em escala molecular.

Para explicar o conceito temperatura do ponto de vista macroscópico, geralmente é utilizada a definição de equilíbrio térmico. Este é caracterizado por dois corpos que não trocam energia interna (calor) devido à diferença de temperatura entre os mesmos.

A Lei Zero da Termodinâmica define o equilíbrio térmico, e poder ser descrita como:

Se dois corpos, A e B, estão em equilíbrio térmico com um terceiro corpo, C, A e B também estão em equilíbrio térmico entre si.

Para a medida macroscópica da temperatura são utilizados instrumentos denominados termômetros. Na verdade, o termômetro entra em equilíbrio térmico com o sistema ao qual se pretende determinar a temperatura. Tal temperatura é igual à do termômetro, obtida relacionando uma escala com a propriedade física da substância termométrica utilizada na construção do termômetro. No entanto, a

utilização de tais termômetros está limitada às características da substância termométrica que permite sua utilização em um determinado intervalo de temperatura. Assim, foi desenvolvido o termômetro a gás a volume constante, cujas leituras praticamente independem da substância termométrica, quando a pressão do gás utilizado é baixa e a temperatura esteja bem acima do ponto de liquefação do gás. Tal termômetro utiliza a variação da pressão com a temperatura para um determinado volume constante. Este termômetro usa um ponto fixo único, o ponto triplo da água, que corresponde à única pressão e temperatura em que a água, o gelo e o vapor coexistem em equilíbrio. O ponto triplo da água ocorre à temperatura de $0,01\text{ }^{\circ}\text{C}$ e à pressão de $0,61\text{ kPa}$; na escala Kelvin, a temperatura do ponto triplo da água foi fixada em $273,16\text{ K}$.

4.3 Estudo dos Gases

Os gases são as substâncias que têm o comportamento termodinâmico mais simples. Para qualquer fluido termodinâmico, um estado de equilíbrio é caracterizado por qualquer conjunto das três variáveis (p, V, T) , pressão, volume e temperatura. Inicialmente, será feita uma análise da relação entre estas grandezas do ponto de vista macroscópico e, posteriormente, será visto como estas grandezas se relacionam com grandezas microscópicas como a energia cinética dos átomos ou moléculas, velocidade das moléculas, energia interna, etc.

Em primeiro plano, descreve-se como foi obtida a equação de estado de um gás ideal que relaciona as grandezas pressão, volume e temperatura. Um gás ideal é uma idealização, que descreve satisfatoriamente o comportamento do gás real quando a temperatura do gás se distancia do seu ponto de liquefação e quando a pressão for bastante baixa.

O físico inglês Robert Boyle realizou uma experiência para relacionar a pressão com o volume de um gás. Tal experiência foi efetivada a temperatura constante (temperatura ambiente) e a uma quantidade fixa de gás aprisionado. Foi usado um tubo manométrico em U, esquematizado na Figura 3, aberto em uma extremidade à pressão atmosférica, p_{atm} e fechado na outra, onde a coluna de

mercúrio aprisionava um volume V de ar (lido diretamente na escala graduada do tubo). A pressão exercida sobre o volume V é $p = p_{atm} + \rho gh$, onde h é o desnível do mercúrio entre os dois ramos do tubo, e ρ é a densidade do mercúrio. A pressão p pode ser variada despejando mais mercúrio no ramo aberto e, nessas condições, o volume V é inversamente proporcional à pressão p , assim $pV = k$. A constante k depende da temperatura e da quantidade de gás. A conclusão desta experiência foi denominada lei de Boyle e assim enunciada:

O volume de uma dada quantidade de gás, a temperatura constante, varia inversamente com a pressão.

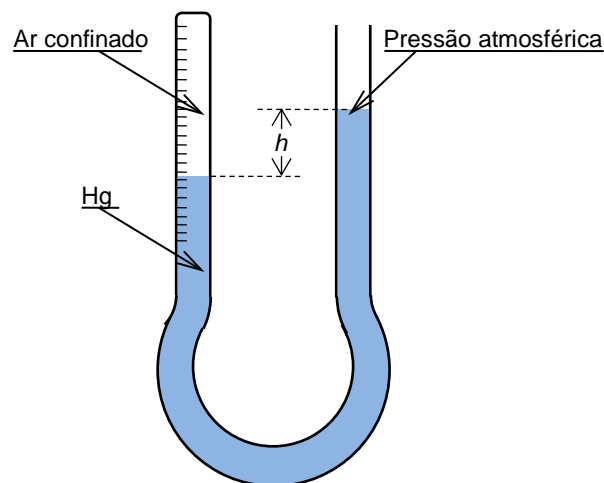


Figura 3. Representação da experiência de Boyle.

Era necessário também investigar a relação entre o volume V e a temperatura T , quando a pressão é mantida constante. Em 1787, o físico francês Jacques Charles constatou que todos os gases sofrem aproximadamente a mesma dilatação. Tal fato foi comprovado experimentalmente, com maior precisão, por Joseph Lous Gay_Lussac, em 1802. Isto significa dizer que o volume de qualquer gás é diretamente proporcional à temperatura absoluta, ou seja, $V/T = const.$, assim a lei de Charles pode ser escrita como:

A pressão constante, o volume de um gás é diretamente proporcional à temperatura absoluta.

Como consequência deste fato, obteve-se o coeficiente de dilatação volumétrica dos gases, $\beta = (1/273,15)^\circ\text{C}^{-1}$.

A lei dos gases perfeitos pode ser obtida combinando a lei de Boyle e a lei de Charles, quando se passa um gás de um estado inicial (p_0, V_0, T_0) , representado pelo ponto A no gráfico (p, V) da Figura 4, a outro estado final (p, V, T) representado pelo ponto B.

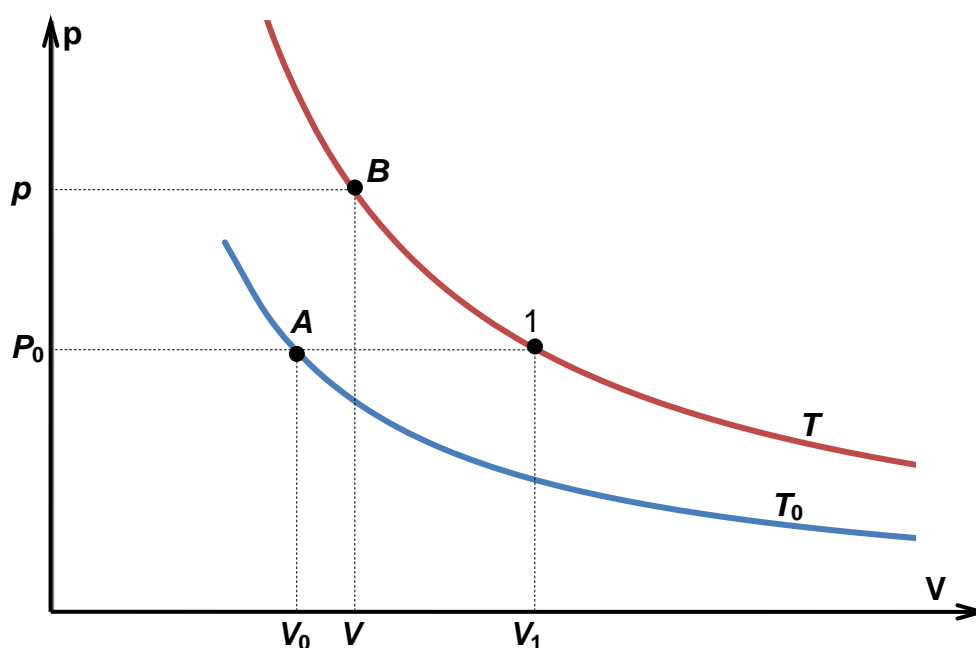


Figura 4. Estados inicial, A, e final, B, de uma transformação gasosa representados no gráfico (p, V)

Considerando a transformação isobárica do estado A (p_0, V_0, T_0) ao estado 1 (p_0, V_1, T) , e aplicando a lei de Charles obtém-se $(V_1/V_0) = (T/T_0)$ pois $p = p_0$. Em seguida, considera-se a passagem de estado 1 (p_0, V_1, T) para o estado B (p, V, T) e pela lei de Boyle se chega a $p_0V_1 = pV$, pois T é constante. Fazendo $V_1 = pV/p_0$ chega-se à lei dos gases perfeitos.

$$\frac{pV}{T} = \frac{p_0V_0}{T_0} = \text{const.} \quad \text{Equação (1)}$$

Nas condições NTP (normais de temperatura e pressão) que correspondem a $T = T_0 = 273,15K$ e $p = p_0 = 1,0atm = 101300Pa$, um mol de qualquer gás ocupa sempre o mesmo volume $V_0 = 22,415L = 0,022415m^3$. Aplicando estes valores a equação (1) para 1 mol de gás, o resultado será sempre o mesmo para qualquer gás, ou seja, será a constante universal dos gases R .

$$R = \frac{101300Pa \times 0,022415m^3}{273,15K} = 8,314 \frac{J}{mol.K} \quad \text{Equação (2)}$$

Logo, para 1,0 mol de gás $pV = RT$ e como o volume é proporcional à quantidade de gás, uma massa de n moles ocupa um volume n vezes maior, obtendo-se finalmente a equação de estado dos gases ideais:

$$pV = nRT \quad \text{Equação (3)}$$

A constante universal dos gases, R , representa a quantidade de energia interna que deve ser adquirida por 1,0 mol de gás, para que sua temperatura aumente em 1,0K. A equação (2) faz referencia à quantidade de moles, n , mas durante o desenvolvimento da teoria cinética dos gases a equação de estado dos gases ideais foi descrita em função do número de moléculas, N , adquirindo a forma:

$$pV = NkT \quad \text{Equação (4)}$$

onde $k = (R/N_A) = (8,314/6,02 \times 10^{23}) = 1,381 \times 10^{-23}J/K$ é a energia média que cada molécula deve absorver para que a temperatura do gás aumente em 1,0K, conhecida como constante de Boltzmann, e o número de moléculas é $N = nN_A = n \cdot 6,02 \times 10^{23}$.

4.4 Teoria Cinética dos Gases

Inicialmente, foi discutido a respeito das propriedades dos gases ideais do ponto de vista macroscópico, considerando as variáveis pressão, volume e temperatura. Agora, essas variáveis são descritas em escala microscópica, considerando-se a matéria como um conjunto de moléculas. Tal descrição restringe-

se aos gases monoatômicos, cuja energia é exclusivamente a cinética de translação. Nas moléculas diatômicas ou poliatômicas, deve-se incluir a energia interna associada às rotações e às vibrações das moléculas.

Para a descrição microscópica de um gás ideal, assume-se um modelo que admite as seguintes hipóteses:

- o gás é constituído de um número muito grande de moléculas, cujo volume de cada molécula é insignificante se comparado ao volume do recipiente;
- as moléculas estão em constante movimento aleatório e obedecem às Leis de Newton para o movimento;
- as moléculas colidem elasticamente, portanto, a energia cinética e o momento linear se conservam;
- as forças de interação entre as moléculas são desprezíveis, exceto durante as colisões;

A pressão de um gás ideal constituído de N moléculas que ocupam um cubo hipotético de aresta d e volume V é definida por meio deste modelo a partir da colisão de uma molécula que se move com velocidade v . Tomando-se somente a componente v_x da velocidade, quando a molécula colide com a parede do recipiente, a componente da velocidade é invertida, e a variação do momento linear da partícula é dado por $\Delta p_x = -mv_x - (mv_x) = -2mv_x$.

Pela conservação do momento linear, o momento transferido para a parede é $\Delta p_x = 2mv_x$. Para duas colisões sucessivas com uma parede é necessário que uma molécula percorra uma distância $2d$ na direção x , de tal modo que o intervalo de tempo Δt entre duas colisões sucessivas pode ser escrito como $\Delta t = 2d/v_x$. Desse modo, se F for o módulo médio da força exercida por uma molécula sobre uma parede, a variação do momento linear será $\Delta p = F\Delta t = 2mv_x$, e assim temos que a força exercida por uma molécula sobre a parede é:

$$F = \frac{2mv_x}{\Delta t} = \frac{2mv_x}{\frac{2d}{v_x}} = \frac{mv_x^2}{d} \quad \text{Equação (5)}$$

A força total sobre a parede é a soma das forças de todas as moléculas. A pressão sobre a parede é obtida dividindo-se a força total pela área d^2 , assim:

$$p = \frac{\sum F}{A} = \frac{m}{d^3} (v_{x1}^2 + v_{x2}^2 + \dots) \quad \text{Equação (6)}$$

onde v_{x1}, v_{x2}, \dots são as componentes x da velocidade das moléculas. O valor médio de v_x^2 é dado por $\bar{v}_x^2 = (v_{x1}^2 + v_{x2}^2 + \dots)/N$ e o volume $V = d^3$, logo, pode-se escrever a pressão como $p = (Nm\bar{v}_x^2)/V$.

O quadrado da velocidade de qualquer molécula pode ser escrito por $v^2 = v_x^2 + v_y^2 + v_z^2$, e os valores médios das velocidades nas direções x , y e z são iguais, portanto $\bar{v}_x^2 = \bar{v}_y^2 = \bar{v}_z^2 = \frac{1}{3}\bar{v}^2$, logo a pressão pode ser escrita por:

$$p = \frac{Nm}{3V} \bar{v}^2 \quad \text{Equação (7)}$$

que pode ser reescrita como:

$$p = \frac{2N}{3V} \left(\frac{1}{2} m \bar{v}^2 \right) \quad \text{Equação (8)}$$

Portanto, pode-se verificar que a pressão é proporcional ao número de moléculas por unidade de volume e à energia cinética média de translação por molécula.

Para encontrar uma expressão para a temperatura, pode-se tomar $pV = \frac{2}{3}N\left(\frac{1}{2}m\bar{v}^2\right)$ e a equação obtida experimentalmente a partir do comportamento macroscópico dos gases $pV = NkT$. Igualando os segundos membros das duas equações, obtém-se uma equação para a temperatura:

$$T = \frac{2}{3k} \left(\frac{1}{2} m \bar{v}^2 \right) \quad \text{Equação (9)}$$

Como $\frac{1}{2}m\bar{v}^2$ é a medida da energia cinética média, por molécula, pode-se dizer que a temperatura está relacionada com a energia cinética média das

moléculas. A energia cinética também pode ser escrita em função da temperatura $\frac{1}{2}m\bar{v}^2 = \frac{3}{2}kT$.

A energia cinética média total de translação de N moléculas do gás é obtida multiplicando-se N pela energia cinética por molécula que pode ser escrita em função da constante de Boltzmann, assim:

$$\bar{E}_c = N \left(\frac{1}{2} m \bar{v}^2 \right) = \frac{3}{2} N k T = \frac{3}{2} n R T \quad \text{Equação (10)}$$

A raiz quadrada de \bar{v}^2 é a velocidade quadrática média e é dada por $\bar{v} = \sqrt{3kT/m} = \sqrt{3RT/m}$. Tal equação mostra que para uma temperatura específica as moléculas mais leves se movem em média mais rapidamente que as moléculas mais pesadas.

4.5 Energia Interna

A temperatura, como já foi apresentada, depende da energia cinética média de translação das moléculas ou átomos. Para partículas pontuais, essa é a única componente da energia interna, U . Neste caso, não existe energia potencial molecular ou energia interna associada à rotação ou à vibração das moléculas ou átomos. Assim, para um gás ideal, a energia interna só é constituída da energia cinética média de translação das moléculas. Para n moles de um gás ideal à temperatura T , a energia interna é dada por $U = n \left(\frac{1}{2} M \bar{v}^2 \right) = \frac{1}{2} n R T$, e a variação da energia interna é dada por

$$\Delta U = \frac{3}{2} n R \Delta T \quad \text{Equação (11)}$$

Representando, agora, uma molécula por duas partículas puntiformes e alterando a hipótese básica dos gases ideais, tal modelo poderia representar melhor os gases diatômicos. Estas moléculas podem, além do movimento de translação, girar em torno do seu eixo de rotação, contribuindo, neste caso, para a energia interna, a energia cinética de translação e rotação. Assim, a energia cinética total das moléculas diatômicas K é a soma das partes relativas à translação e à rotação e

é dada por $K = \frac{1}{2}mv_x^2 + \frac{1}{2}mv_y^2 + \frac{1}{2}mv_z^2 + \frac{1}{2}I\omega_x^2 + \frac{1}{2}I\omega_y^2 + \frac{1}{2}I\omega_z^2$, onde I é o momento de inércia da molécula para um determinado eixo de rotação. O sistema de coordenadas $x'y'z'$ está fixado no centro de massa da molécula, e não existe energia cinética associada à rotação em torno do eixo z' . A energia cinética K , neste caso, também representa toda a energia interna do gás por molécula. Para determinar a energia interna total do gás, deve-se somar a expressão anterior para as N moléculas. No entanto, é importante observar que somente a energia cinética média de translação de um gás contribui para a sua temperatura. Assim, dois gases com a mesma energia cinética média de translação têm a mesma temperatura, mesmo que um deles possua energia cinética de rotação maior e, conseqüentemente, maior energia interna.

4.6 Calor

Para dois corpos atingirem o equilíbrio térmico, foi descrito que estando em contato a temperaturas diferentes estão sujeitos a um processo de transferência de energia que flui do corpo de maior temperatura para o corpo de menor temperatura. Esse processo de transferência de energia é denominado calor. Historicamente, acreditava-se que o calor fosse uma substância invisível, denominada calórico, que se transferia de um corpo para o outro e não podia ser criado nem destruído. A teoria do calórico teve êxito na descrição da transferência de calor, mas experiências demonstraram que o calórico não se conservava. A primeira evidência experimental nesse sentido foi obtida no final do século XVIII, por Benjamin Thompson (1753 – 1814), ao observar a perfuração de canhões de artilharia. O cientista percebeu que a quantidade de água que fervia em consequência da ação de uma broca cega era comparável à quantidade que fervia pela ação de uma broca afiada. Inferiu que seria possível produzir uma quantidade infinita de calórico a partir de uma quantidade finita de material que estava sendo perfurado. Assim, concluiu que o calórico não poderia ser uma substância, uma vez que era infinitamente obtido de um material que deveria conter uma quantidade finita de calórico. Posteriormente, demonstrou que o calor gerado era proporcional ao trabalho mecânico efetuado pela ferramenta de furar. As experiências realizadas pelo inglês James Joule (1818 – 1889) e outros mostraram que os processos de transferência de calor num sistema são equivalentes às quantidades de trabalho mecânico realizado sobre o sistema.

É importante ressaltar que o conceito de calor só deve ser usado para descrever a energia transferida. Assim, calor é a transferência de energia que ocorre exclusivamente em virtude de uma diferença de temperatura.

4.6.1 Capacidade térmica, calor específico e calor latente

A quantidade de energia (calor) que deve ser transferida a um corpo para elevar a temperatura varia de substância para substância, resultado que foi obtido experimentalmente. A capacidade térmica, C , é definida como a quantidade de energia (calor), Q , que deve ser transferida para um corpo para elevar a temperatura de uma unidade.

$$C = \frac{Q}{\Delta T} \quad \text{Equação (12)}$$

A capacidade térmica por unidade de massa é denominada calor específico, c :

$$c = \frac{C}{m} \quad \text{Equação (13)}$$

A energia (calor), Q , que deve ser transferida a um corpo de massa, m , e calor específico, c , para aumentar sua temperatura de T_i até a temperatura final T_f , dividindo a variação de temperatura em N pequenos intervalos, ΔT_n , e supondo o calor específico, c_n , constante em cada pequeno intervalo de temperatura, a transferência total de calor em todos os intervalos infinitesimais de temperatura é dada por $Q = \sum_{n=1}^N mc_n \Delta T_n$, cujo limite pode ser escrito como $Q = m \int_{T_i}^{T_f} c dT$

Em muitas situações as variações de calor específico são desprezíveis e a energia transferida (calor) para uma substância de massa m pode ser definida através da capacidade térmica por unidade de massa, quando tal substância sofrer uma variação de temperatura $\Delta T = T_f - T_i$ como:

$$Q = mc\Delta T \quad \text{Equação (14)}$$

Nas situações em que uma característica física da substância se altera, não há variação de temperatura do corpo, mesmo ele tendo recebido energia (calor). Neste caso, ocorre uma mudança de fase. As mudanças de fase envolvem variação da energia interna, mas não variação de temperatura. A energia necessária (calor) para produzir uma mudança de fase de uma unidade de massa é denominada calor latente, L . O calor latente da substância depende da natureza da mudança de fase e das propriedades da substância.

$$L = \frac{Q}{m} \quad \text{Equação (15)}$$

4.7 Trabalho

Da mesma forma que o calor, o trabalho feito por um sistema ou sobre ele é a transferência de energia entre o sistema e sua vizinhança. Igual ao calor, trabalho só tem sentido quando as variáveis termodinâmicas do sistema tiverem sofrido alguma variação durante o processo. Através da realização de trabalho, a energia pode ser transferida entre dois sistemas, mesmo que não haja transferência de calor entre eles. Quando dois corpos são atritados um contra o outro, a sua energia interna aumenta, uma vez que é realizado um trabalho mecânico sobre eles. Fisicamente, existem dois processos de transferência de energia de um sistema para o outro: o primeiro, denominado calor e, neste caso, é necessária diferença de temperaturas entre os dois sistemas; o segundo, denominado trabalho, quando o processo ocorre mesmo que as temperaturas dos dois sistemas sejam iguais. Portanto, trabalho é um processo de transferência de energia de um sistema para o outro, sem a exigência inicial de diferença de temperaturas entre os dois sistemas.

4.7.1 Trabalho e calor nos processos termodinâmicos

O estado de um sistema pode ser descrito por variáveis como pressão, volume, temperatura e energia interna dependendo da sua natureza. No entanto, para caracterizar o estado macroscópico de um gás é necessário que ele esteja em equilíbrio térmico e, para isto, é necessário que todo o gás contido num recipiente esteja à mesma pressão e temperatura.

Um gás contido num cilindro com um pistão móvel pode ser considerado em equilíbrio termodinâmico quando o gás se expande quase estaticamente (se expande lentamente). O volume ocupado pelo gás é V , e o pistão de área da seção reta A exerce uma pressão uniforme p sobre as paredes do cilindro. A força exercida pelo gás sobre o pistão é $F = pA$, e o trabalho num deslocamento dy ou num volume dV é $dW = Fdy = pAdy = pdV$.

O trabalho será considerado positivo quando o gás se expandir, e negativo quando ele for comprimido. No primeiro caso, o trabalho é realizado sobre o sistema (gás contido num cilindro provido de um pistão); no segundo, o trabalho é realizado pelo sistema. O sistema recebe energia quando o trabalho é realizado sobre ele (trabalho negativo) e cede energia para a vizinhança quando o trabalho é realizado pelo gás (trabalho positivo), e o trabalho total realizado pelo gás quando o seu volume varia de V_i para V_f é definido pela integral:

$$W = \int_{V_i}^{V_f} pdV \quad \text{Equação (16)}$$

Tal integral somente pode ser calculada a partir do conhecimento da variação da pressão durante o processo de transformação gasosa. Assim, o trabalho realizado por um sistema depende do processo realizado pelo sistema para ir do estado inicial até o estado final, de tal forma que o trabalho realizado pelo gás depende do estado inicial, do estado final e dos estados intermediários do sistema. Da mesma forma que o trabalho, o calor também depende do estado inicial, estado final e estados intermediários do sistema.

4.7.2 Primeira Lei da Termodinâmica

Existem dois processos que permitem a transferência de energia entre um sistema e sua vizinhança, trabalho, W , e calor, Q . Quando $Q - W$ for medido em diferentes processos que ligam o estado inicial ao estado final de equilíbrio termodinâmico, percebe-se que o resultado obtido é o mesmo independente do percurso. Assim, a grandeza termodinâmica, $Q - W$, sempre tem o mesmo valor, independente do processo realizado entre o estado inicial e o estado final de equilíbrio termodinâmico, ficando definida somente pelo estado inicial e final do

sistema. Tal grandeza é denominada variação da energia interna, simbolizada por $\Delta U = U_f - U_i$. A relação entre a variação da energia interna e os processos de transferência de energia, calor e trabalho definem a Primeira Lei da Termodinâmica, que é dada por:

$$\Delta U = Q - W \quad \text{Equação (17)}$$

A energia interna fica completamente definida pelo estado do sistema, por isso, ela é uma função de estado.

Num processo infinitesimal, quando um sistema sofre uma variação infinitesimal de seu estado, em que há uma transferência pequena de energia (calor), dQ , e uma pequena quantidade de trabalho é realizada, dW , a energia interna também sofre uma pequena variação, dU , de tal forma que num processo infinitesimal a Primeira Lei da Termodinâmica pode ser descrita como:

$$dU = dQ - dW \quad \text{Equação (18)}$$

4.8 Processos termodinâmicos e capacidade térmica molar

4.8.1 Capacidade térmica molar de um gás ideal

Já foram definidas a capacidade térmica e a capacidade térmica por unidade de massa. Agora, define-se para os gases a capacidade térmica por mol a volume constante e a pressão constante.

4.8.1.1 Capacidade térmica molar a volume constante

Toma-se um cilindro provido de pistão com gás no seu interior, e transferindo energia (calor) para este sistema, quando o pistão está fixo, de modo que o volume do gás permaneça constante, a energia transferida (calor) para o gás aumentará a temperatura do gás e, conseqüentemente, a sua energia interna, ΔU , uma vez que não há expansão do gás. Anteriormente, foi visto o calor específico (capacidade

térmica por unidade de massa), agora é apresentada a capacidade térmica molar a volume constante, C_v . A capacidade térmica por mol a volume constante, é:

$$C_v = \frac{Q}{n\Delta T} \quad \text{Equação (19)}$$

Como o volume do gás permanece constante, o calor transferido para o sistema contribui para a variação da sua energia interna ΔU , que pode ser escrita como $\Delta U = C_v n \Delta T$, ou em termos de um gás ideal monoatômico, $\Delta U = \frac{3}{2} n R \Delta T$, onde R é a constante universal dos gases perfeitos.

$$\text{Assim, } C_v = \frac{3}{2} R.$$

4.8.1.2 Capacidade térmica molar a pressão constante

Toma-se novamente um cilindro provido de pistão, com gás, e transferindo-se energia (calor) para este sistema, mas mantendo-se a pressão constante. Neste caso, a energia recebida aumentará a temperatura do gás e, conseqüentemente, a sua energia interna, ΔU , mas o sistema também realizará trabalho, W , pois o gás sofrerá uma expansão; uma vez que a temperatura do gás aumenta, num processo isobárico, o seu volume também aumenta. Assim, a energia recebida pelo sistema como calor é utilizada para aumentar a energia interna do sistema e para realizar trabalho. A capacidade térmica molar a pressão constante C_p pode ser escrita pela equação:

$$C_p = \frac{Q}{n\Delta T} \quad \text{Equação (20)}$$

O trabalho, como foi definido, é $W = p\Delta V$, e reescrito em termos da lei dos gases ideais $W = nR\Delta T$; e a energia interna $\Delta U = nC_v\Delta T$. Desse modo, pode-se escrever que a variação da energia interna do sistema, ΔU , é igual à energia recebida através de calor, Q , menos o trabalho realizado pelo sistema, W . Portanto, $\Delta U = Q - W$ ou $nC_v\Delta T = nC_p\Delta T - nR\Delta T$. Assim, $C_p = C_v + R$, ou para um gás monoatômico $C_p = \frac{3}{2}R + R = \frac{5}{2}R$.

A razão entre as capacidades térmicas molares é dada por $\gamma = C_p/C_v$, e para os gases monoatômicos assume o valor $\gamma = \frac{5}{3}$.

4.8.2 Processo adiabático

No processo adiabático, considera-se que não há transferência de energia (calor) do sistema ou para o sistema, assim $Q = 0$, e aplicando a Primeira Lei da Termodinâmica nesses processos obtém-se $\Delta U = -W$. O processo adiabático pode ser caracterizado tanto pelo isolamento térmico como pela realização muito rápida da transformação, em que se desconsidera a transferência de energia como calor. Neste processo, pode haver transferência de energia através de trabalho, aumento da energia interna e, conseqüentemente, da temperatura sem transferência de calor para o sistema. Tal fato ocorre nas compressões adiabáticas. Também é possível obter-se a diminuição da temperatura do sistema sem transferência de calor do sistema para a vizinhança, somente através da realização do trabalho pelo sistema. Isto ocorre nas expansões adiabáticas.

Na forma diferencial, a energia transferida para um sistema como calor é dada por $dQ = 0$, de modo que a Primeira Lei da Termodinâmica pode ser escrita como $dU = -pdV$. Para n moles de um gás ideal, a variação da energia interna é escrita como $dU = nC_v dT$. A equação de estado dos gases ideais diferenciada é $pdV + Vdp = nRdT$ ou $Vdp = -pdV + nRdT = n(C_v + R)dT$.

Como $Cdp = nC_p dT$ e $-pcV = nC_v dT$, pode-se escrever como $Vdp = \frac{C_p}{C_v} nC_v dT$ ou $Vdp = \frac{C_p}{C_v} pdV$, ou ainda:

$$\frac{dp}{p} = -\gamma \frac{dV}{V} \quad \text{Equação (21)}$$

onde $\gamma = (C_p/C_v)$, que é a razão entre as capacidades térmicas molares.

Integrando ambos os membros da equação (17) entre os estados inicial (p_o, V_o) e o final (p, V) , obtém-se:

$$\int_{p_0}^p \frac{dp'}{p'} = \ln p' = \ln \left(\frac{p}{p_0} \right) = -\gamma \int_{V_0}^V \frac{dV'}{V'} = -\gamma \ln \left(\frac{V}{V_0} \right) = \ln \left[\left(\frac{V_0}{V} \right)^\gamma \right] \quad \text{Equação (22)}$$

que resulta:

$$\frac{p}{p_0} = \left(\frac{V_0}{V} \right)^\gamma \quad \text{Equação (23)}$$

e pode ser escrita através da equação:

$$pV^\gamma = p_0V_0^\gamma \quad \text{Equação (24)}$$

O trabalho realizado por um gás num processo reversível em que o volume passa de V_i a V_f é:

$$W_{i \rightarrow f} = \int_{V_i}^{V_f} d'W = \int_{V_i}^{V_f} p dV \quad \text{Equação (25)}$$

onde $pV^\gamma = p_iV_i^\gamma = p_fV_f^\gamma$, assim:

$$W_{i \rightarrow f} = \int_{V_i}^{V_f} p dV = C \int_{V_i}^{V_f} V^{-\gamma} dV = \left[C \frac{V^{1-\gamma}}{(1-\gamma)} \right]_{V_i}^{V_f} = \frac{C}{(1-\gamma)} (V_f^{1-\gamma} - V_i^{1-\gamma}) \quad \text{Equação (26)}$$

e substituindo C encontramos a expressão para o trabalho num processo adiabático e observamos que ele depende do volume inicial e final, pressão inicial e final e das capacidades térmicas molares.

$$W_{i \rightarrow f} = -\frac{(p_f V_f - p_i V_i)}{(\gamma - 1)} \quad \text{Equação (27)}$$

A equação (17) pode ser reescrita usando a equação dos gases ideais como:

$$W_{i \rightarrow f} = -\frac{nR(T_f - T_i)}{(\gamma - 1)} = -\frac{nR(T_f - T_i)}{\left(\frac{C_p}{C_v} - 1\right)} = -\frac{nR(T_f - T_i)}{(C_p - C_v)} \quad \text{Equação (28)}$$

que chega na expressão para a energia interna:

$$W_{i \rightarrow f} = -\frac{nRC_v(T_f - T_i)}{R} = -nC_v(T_f - T_i) = -\Delta U \quad \text{Equação (29)}$$

Portanto, $W_{i \rightarrow f} = -(U_f - U_i)$, a relação entre o trabalho realizado pelo sistema ou sobre o sistema e a variação da energia interna é mostrada nos processos adiabáticos.

4.8.3 Processo Isobárico

No processo isobárico, a pressão constante, tanto a energia trocada através de calor como o trabalho são diferentes de zero. Na expansão isobárica, o volume aumenta e o calor transferido para o sistema contendo gás de massa m , calor específico à pressão constante c_p , que sofre uma variação de temperatura ΔT é dado por $Q = mc_p\Delta T$.

Como numa expansão isobárica o volume é diretamente proporcional à temperatura, resulta que o volume aumenta, a temperatura aumenta e, conseqüentemente, a energia interna aumenta. Logo, a energia transferida para o sistema através de calor deve ser maior do que o trabalho realizado pelo sistema para que a energia interna possa aumentar.

Já na compressão isobárica, a temperatura diminui junto com o volume, produzindo uma diminuição da energia interna. Para que isto ocorra, é necessário que a energia transferida para o sistema através de trabalho seja menor do que a energia cedida pelo sistema através do calor.

4.8.4 Processo isocórico

No processo isocórico, o volume se mantém constante e não há realização de trabalho. Dessa forma, toda a energia recebida ou cedida através do processo denominado calor serve para variar a energia interna, de tal modo que a energia interna aumenta quando o sistema recebe energia como calor e diminui quando o sistema cede energia como calor. Assim, $\Delta U = Q$.

4.8.5 Processo isotérmico

No processo isotérmico, a temperatura se mantém constante e, conseqüentemente, não há variação da energia interna do sistema, uma vez que nos sistemas gasosos a energia interna depende somente da temperatura.

Na expansão isotérmica de um gás ideal que se expande quase estaticamente de um estado i até um estado f , pode-se usar $pV = nRT$ para cada ponto da curva do processo, assim o trabalho efetuado pelo gás é dado por:

$$W_{i \rightarrow f} = \int_{V_i}^{V_f} p dV = \int_{V_i}^{V_f} \frac{nRT}{V} dV \quad \text{Equação (30)}$$

que resulta:

$$W_{i \rightarrow f} = nRT \ln\left(\frac{V_f}{V_i}\right) \quad \text{Equação (31)}$$

Como a energia interna de um gás ideal depende somente da temperatura, nos processos isotérmicos a quantidade de calor transferida para o gás ou do gás para a vizinhança é igual ao trabalho realizado. Na expansão, a energia é transferida do gás para a vizinhança através de trabalho e, como não há variação de energia interna, esta energia utilizada para realização de trabalho é recebida pelo sistema através do calor. Já na compressão isotérmica, o sistema recebe energia através da realização de trabalho sobre o gás, tal energia é liberada pelo sistema para a vizinhança através de calor, de tal forma que a energia interna se mantém constante.

4.9 Entropia e Segunda Lei da Termodinâmica

Como resultado dos trabalhos de Carnot, Clausius (1850) e Kelvin (1851), sabe-se que não é possível obter um ciclo que transforme calor completamente em trabalho. Para se obter uma máquina térmica, dispositivo que transforma calor em trabalho, é necessário um processo que possa ser repetido indefinidamente, enquanto se mantenha o fornecimento de calor, ou seja, o sistema precisa voltar ao

estado inicial, descrevendo um ciclo. É possível um ciclo que converte trabalho em calor, a experiência de Joule é um exemplo, uma vez que basta suspender cada vez os pesos, recolocando-os na posição inicial, e assim converter trabalho totalmente em calor. No entanto, não é possível ter um ciclo em que o calor se transforma completamente em trabalho. Assim, Kelvin enuncia a Segunda Lei da Termodinâmica:

É impossível realizar um processo cujo único efeito seja remover calor de um reservatório térmico e produzir uma quantidade equivalente de trabalho.

O significado do termo único no enunciado de Kelvin quer dizer que o sistema deve voltar ao estado inicial efetuando um processo cíclico. A geração de calor por atrito a partir de trabalho mecânico e a expansão de um gás são processos irreversíveis, consequências do enunciado de Kelvin.

Por outro lado, a condução do calor ocorre sempre no sentido de um corpo de maior temperatura para o de menor temperatura. Baseado neste fato experimental, Clausius enuncia também a Segunda Lei da Termodinâmica:

É impossível realizar um processo cujo único efeito seja transferir calor de um corpo mais frio para um corpo mais quente.

Novamente, o termo único tem o significado de que o processo deve ser cíclico. Se não fosse necessário que o sistema voltasse ao estado inicial, o processo seria perfeitamente possível.

4.9.1 Máquina Térmica

Uma máquina térmica produz trabalho a partir de calor, operando em ciclos. Pelo enunciado de Kelvin, isto só seria possível com pelo menos dois reservatórios térmicos a temperaturas diferentes, $T_1 > T_2$. A temperatura T_1 da fonte quente é maior do que a temperatura T_2 da fonte fria.

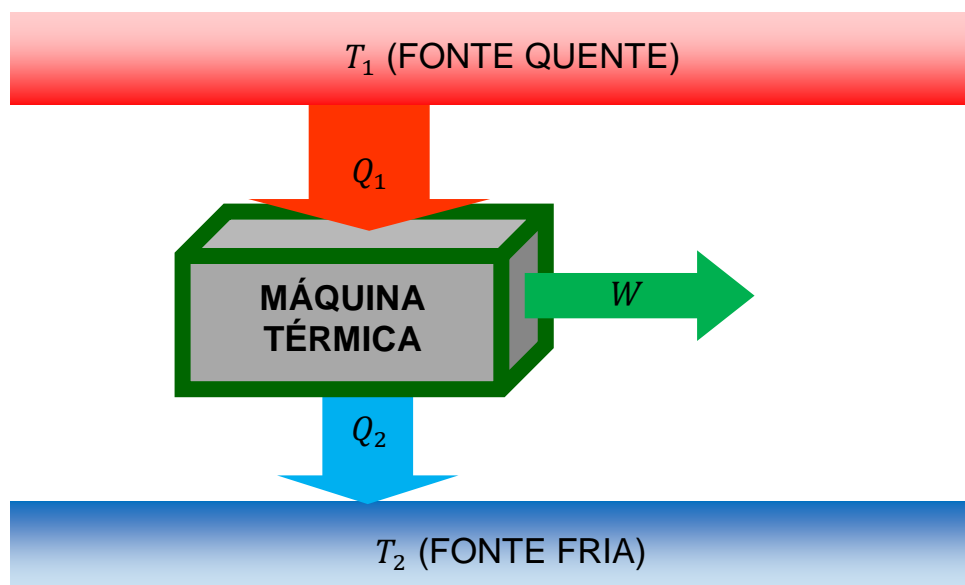


Figura 5. Esquema do fluxo de energia em uma máquina térmica.

O trabalho realizado pelo motor num ciclo pode ser escrito a partir do calor Q_1 transferido da fonte quente para o sistema e do calor Q_2 transferido do sistema para a fonte fria, assim: $W = Q_1 - Q_2$.

Um esquema representando uma máquina térmica pode ser visto na Figura 5, que mostra que o calor Q_1 transferido pela fonte quente é utilizado para realização de trabalho W e o restante é transferido para a fonte fria Q_2 , de tal forma que a energia total se conserva, mas nem toda é utilizada para a realização de trabalho, corroborando com os enunciados da Primeira e da Segunda Lei da Termodinâmica.

O rendimento da máquina térmica η pode ser definido como a razão entre a energia aproveitada W e a energia consumida Q_1 , assim:

$$\eta = \frac{W}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} \quad \text{Equação (32)}$$

Como $Q_2 > 0$, o rendimento de uma máquina térmica é inferior a 100%, $\eta < 1$.

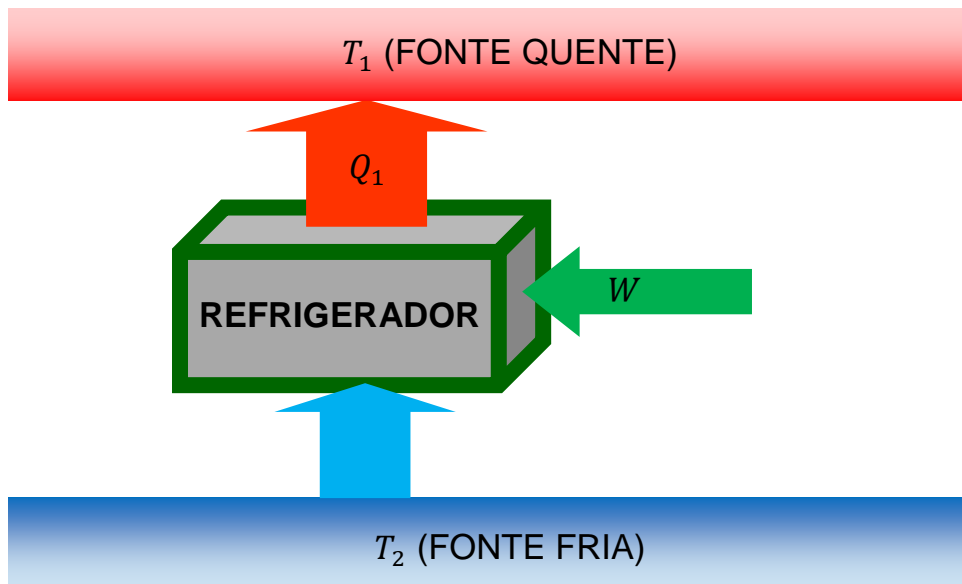


Figura 6. Esquema do fluxo de energia em um refrigerador

Num refrigerador, Figura 6, o objetivo é transferir calor Q_2 de um reservatório térmico (fonte fria) a uma temperatura mais baixa T_2 para uma fonte quente à temperatura T_1 . Para que isto seja possível, é necessário realizar um trabalho W , de tal forma que o calor transferido para a fonte quente não é igual ao proveniente da fonte fria, mas sim a sua soma com o trabalho fornecido para realizar tal processo, $Q_1 = W + Q_2$.

4.9.2 Ciclo de Carnot

O ciclo de Carnot, representado no diagrama (p, V) , mostrado na Figura 7, foi desenvolvido com o propósito de se verificar qual era o máximo rendimento que poderia ser obtido por uma máquina térmica. Era sabido que processos irreversíveis limitam a eficiência de uma máquina térmica, assim Carnot idealizou uma máquina que operasse utilizando processos reversíveis. Assim, a transferência de calor Q_1 da fonte quente deveria ser feita isotermicamente à temperatura T_1 dessa fonte, e a transferência de calor Q_2 da máquina térmica para a fonte fria também deveria ser feita isotermicamente à temperatura T_2 da fonte fria. Nas parcelas do ciclo em que ocorre variação de temperatura do sistema (máquina térmica), estas devem ocorrer sem trocas de calor, ou seja, em processos adiabáticos reversíveis. Assim, um ciclo

reversível entre duas fontes térmicas é formado por duas isotermas ligadas por duas adiabáticas. Este ciclo é chamado ciclo de Carnot e compõe uma máquina térmica reversível denominada máquina de Carnot.

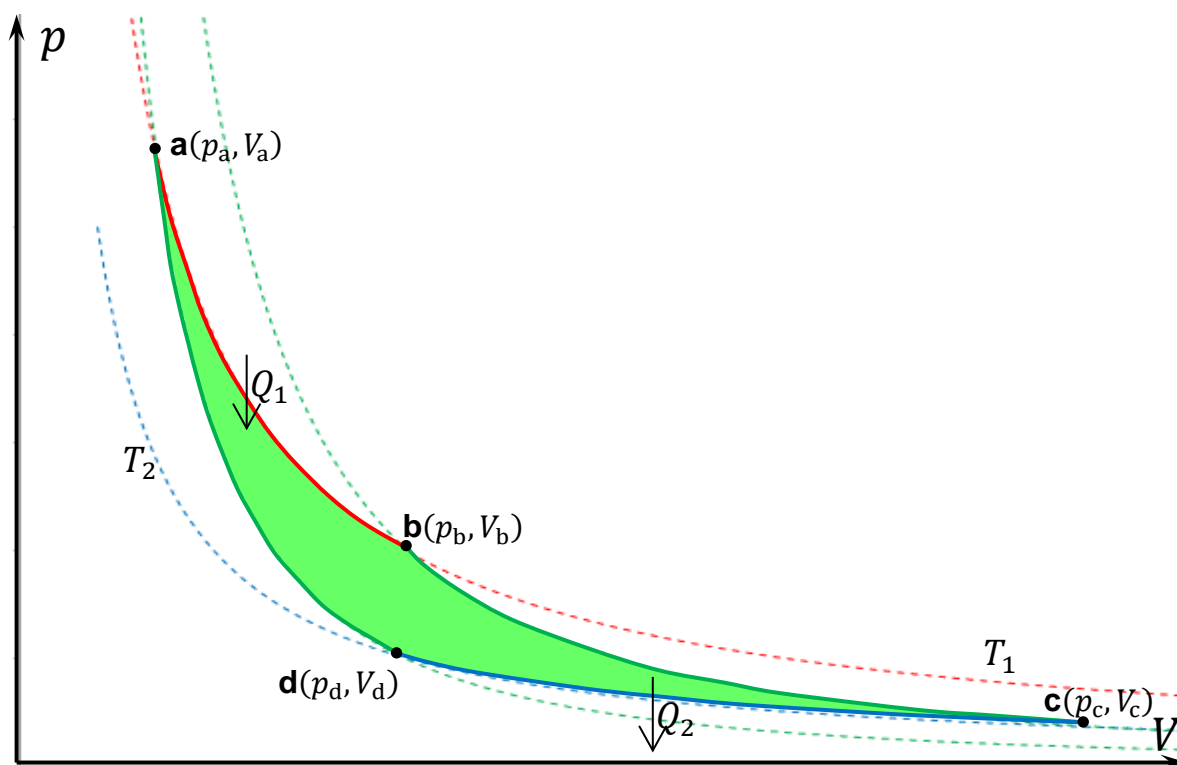


Figura 7. Ciclo de Carnot representado no diagrama (p, V) .

Considera-se um gás contido num recipiente provido de um pistão (sistema) de paredes adiabáticas com exceção de sua base. A partir do ponto **a**, é feita uma expansão isotérmica reversível à temperatura T_1 , da fonte quente, até o ponto **b**. Calor Q_1 é transferido da fonte quente para o sistema, e o gás realiza o trabalho $W_{a \rightarrow b}$. A partir de **b**, o gás também realiza trabalho $W_{b \rightarrow c}$, numa expansão adiabática reversível; uma vez que o sistema é colocado sobre uma base isolante, a energia interna do gás diminui, e também sua temperatura diminui de T_1 para T_2 , no deslocamento de **b** para **c**. Em **c**, o recipiente é colocado em contato térmico com a fonte fria de temperatura T_2 e é submetido a uma compressão isotérmica reversível a esta temperatura. Neste caso, o trabalho é realizado sobre o gás, e calor Q_2 é transferido para a fonte fria, até chegar ao ponto **d**. No ponto **d**, o recipiente é recolocado sobre uma base isolante e submetido a uma compressão adiabática reversível; novamente, trabalho $W_{d \rightarrow a}$ é realizado sobre o gás, aquecendo-o da temperatura T_2 da fonte fria para a temperatura T_1 da fonte quente, aumentando sua

energia interna e fechando o ciclo. O trabalho total $W = Q_1 - Q_2$ realizado pelo sistema (máquina térmica) é representado pela área interna do gráfico (p, V) . Como o ciclo de Carnot é reversível, leva ao seguinte teorema:

Nenhuma máquina térmica que opere entre uma fonte quente e uma fonte fria pode ter rendimento superior ao de uma máquina de Carnot.

O rendimento da máquina de Carnot pode ser obtido através das temperaturas da fonte quente T_1 e da fonte fria T_2 . Durante a expansão isotérmica, de **a**→**b**, a temperatura não se altera, e a energia interna se mantém constante. O trabalho realizado pelo gás é igual a $W_{a \rightarrow b} = nRT_1 \ln(V_b/V_a)$, como não há variação da energia interna, $Q_1 = W_{a \rightarrow b}$. Da mesma forma, o calor transferido para a fonte fria, durante a compressão isotérmica **c**→**d**, é $Q_2 = W_{c \rightarrow d} = nRT_2 \ln(V_d/V_c)$. Dividindo as duas equações, obtém-se:

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{T_2 \ln\left(\frac{V_c}{V_d}\right)}{T_1 \ln\left(\frac{V_b}{V_a}\right)} \quad \text{Equação (33)}$$

Nos processos adiabáticos entre **b**→**c** e **d**→**a** têm-se $T_1 V_b^{\gamma-1} = T_2 V_c^{\gamma-1}$ e $T_1 V_a^{\gamma-1} = T_2 V_d^{\gamma-1}$. Dividindo essas equações, obtém-se:

$$\left(\frac{V_c}{V_d}\right)^{\gamma-1} = \left(\frac{V_b}{V_a}\right)^{\gamma-1} \quad \text{Equação (34)}$$

que resulta em $(V_b/V_a) = (V_c/V_d)$, logo $\ln(V_b/V_a)/\ln(V_c/V_d) = 1$ é igual a um, e podemos simplificar a equação 22 para $(Q_2/Q_1) = (T_2/T_1)$. Assim, o rendimento de uma máquina térmica de Carnot pode ser escrito como

$$\eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1} \quad \text{Equação (35)}$$

4.9.3 Escala termodinâmica de temperatura

Como foi mostrado na obtenção da equação 35, $(Q_2/Q_1) = (T_2/T_1)$, assim Kelvin propôs uma nova escala de temperatura, ou seja, a razão entre as temperaturas é igual à razão dos calores transferidos do sistema para a fonte fria e

da fonte quente para o sistema. Essa escala de temperatura foi denominada escala termodinâmica ou escala Kelvin.

Nesta escala, faz-se corresponder ao ponto tríplice da água o valor padrão 273,16 K, temperatura da fonte quente. Para uma máquina térmica de Carnot que opere entre as temperaturas T e $T_{(v)}$ (temperatura do ponto tríplice da água), tem-se $(T/T_{(v)}) = (Q/Q_{(v)})$ ou:

$$T = 273,16K \frac{Q}{Q_{(v)}} \quad \text{Equação (36)}$$

Neste caso, Q funciona como propriedade termométrica; no entanto, não depende das características de qualquer substância, uma vez que o rendimento de uma máquina de Carnot independe da natureza da substância operante.

A equação $(T/T_{(v)}) = (Q/Q_{(v)})$ se aplica a temperaturas abaixo de $T_{(v)} = 273,16$ K, e Q é o calor transferido isotermicamente à temperatura T da fonte fria ($T < T_{(v)}$). Para se obter o menor valor possível de T , temperatura do zero absoluto, faz-se $Q \rightarrow 0$. Então, um sistema estaria na temperatura zero absoluto se um processo isotérmico reversível nesta temperatura ocorresse sem transferência de calor, de tal forma que, nesta temperatura, as curvas isotérmica e adiabática se confundiriam. Como isto não é possível, a questão leva à formulação da Terceira Lei da Termodinâmica:

Não é possível, por qualquer série finita de processos, atingir a temperatura do zero absoluto.

4.9.4 Entropia

Num processo reversível, a variação da entropia dS de um sistema entre dois estados de equilíbrio é dada pelo calor transferido do sistema ou para o sistema dQ dividido pela sua temperatura absoluta T , logo:

$$dS = \frac{dQ}{T} \quad \text{Equação (37)}$$

Em situações em que energia (calor) é transferida para o sistema, dQ é positivo, e a entropia do sistema aumenta; quando o sistema transfere energia (calor) para a sua vizinhança, dQ é negativo, e a entropia do sistema diminui.

As variações de entropia numa máquina de Carnot que opera entre as temperaturas T_2 (fonte fria) e T_1 (fonte quente), num ciclo onde o calor Q_1 é transferido da fonte quente para a máquina térmica, e o calor Q_2 é transferido desta para o reservatório frio, por ciclo, podem ser escritas como:

$$\Delta S = \frac{Q_1}{T_1} - \frac{Q_2}{T_2} \quad \text{Equação (38)}$$

onde o sinal negativo indica que o calor é rejeitado pelo sistema.

Como já foi visto, $(T_2/T_1) = (Q_2/Q_1)$, e usando este resultado na equação (26), obtém-se $\Delta S = 0$. Logo, pode-se generalizar que a variação total da entropia de uma máquina que opera num ciclo de Carnot é nula.

A função entropia é uma função de estado e só depende das propriedades de cada estado de equilíbrio, o que permite concluir que $\Delta S = 0$ para qualquer ciclo reversível; pode ser escrita como $\oint(dQ/T) = 0$, e o símbolo, \oint , indica que a integral é calculada num ciclo completo, de tal forma que começa e termina no mesmo ponto arbitrário. Assim, chega-se a uma propriedade importante da entropia:

A entropia do universo permanece constante num processo reversível.

No entanto, na natureza, não há processos reversíveis, mas como a entropia só depende do estado do sistema, pode-se calcular a variação de entropia nos processos irreversíveis, imaginando um processo reversível entre tais estados. A variação de entropia nos processos reversíveis e irreversíveis é coincidente desde que ocorra entre os mesmos estados de equilíbrio.

A condução de calor é um exemplo de processo irreversível que pode ser calculado a partir de um processo reversível. Na condução de calor, dois corpos de massas e calores específicos, m_1, c_1 e m_2, c_2 , a diferentes temperaturas T_1 e T_2 , são

colocados em contato no interior de um recipiente de paredes adiabáticas. O calor Q_1 flui do corpo de maior temperatura, T_1 . O calor Q_2 flui para o corpo de menor temperatura, T_2 . Para determinar a variação total da entropia do sistema, inicialmente é calculada a temperatura final de equilíbrio térmico T_f . Pelo princípio da Conservação da Energia, o calor transferido por um corpo é igual ao recebido pelo outro. Assim, $Q_1 + Q_2 = 0$, ou $m_1 c_1 (T_f - T_1) = -m_2 c_2 (T_f - T_2)$. Resolvendo temos que $T_f = (m_1 c_1 T_1 + m_2 c_2 T_2) / (m_1 c_1 + m_2 c_2)$, em que $T_1 > T_f > T_2$. Esse é um processo irreversível; no entanto, pode-se assumir um processo em que o corpo quente seja resfriado lentamente através do contato com vários reservatórios, onde as temperaturas diminuem infinitesimalmente, sendo T_1 a temperatura do primeiro e T_f a temperatura do último. Uma sequência de variações muito pequenas de temperatura se aproxima de um processo reversível, de tal modo que a entropia pode ser calculada como se fosse um processo reversível, assim:

$$\Delta S = \int \frac{dQ_1}{T} + \int \frac{dQ_2}{T} = m_1 c_1 \int_{T_1}^{T_f} \frac{dT}{T} + m_2 c_2 \int_{T_2}^{T_f} \frac{dT}{T} \quad \text{Equação (39)}$$

onde os calores específicos são considerados constantes. Calculando a integral, obtém-se:

$$\Delta S = m_1 c_1 \ln \left(\frac{T_f}{T_1} \right) + m_2 c_2 \ln \left(\frac{T_f}{T_2} \right) \quad \text{Equação (40)}$$

Um dos termos da equação será sempre positivo, e o outro sempre negativo. No entanto, a parcela positiva será sempre maior que a negativa, de modo que ΔS é positivo, e a entropia do universo aumenta neste processo irreversível. Neste caso específico, não há variação da entropia da vizinhança, pois as trocas de calor ocorreram no sistema.

A partir deste exemplo, pode-se reescrever a Segunda Lei da Termodinâmica em termos da entropia:

Em qualquer processo termodinâmico que ocorra de um estado de equilíbrio para outro, a entropia do universo (sistema + vizinhança) permanece constante ou aumenta. Assim, $\Delta S \geq 0$.

A entropia do sistema pode decrescer, mas a entropia da vizinhança sofre sempre um aumento maior que a diminuição da entropia do sistema, de modo que a variação total da entropia é sempre positiva, trazendo como consequência o fato de que nenhum processo natural possa resultar em decréscimo da entropia total (sistema + vizinhança).

Em Termodinâmica, as grandezas macroscópicas são relacionadas com as grandezas microscópicas. Por exemplo, a temperatura de um gás é uma grandeza macroscópica relacionada à grandeza microscópica energia cinética molecular média. No caso da entropia, a grandeza microscópica relacionada à entropia é a probabilidade relativa das diferentes maneiras de distribuir as moléculas do sistema.

Considerando novamente a condução de calor entre dois corpos de temperaturas T_1 e T_2 , que colocadas em contato atingem uma temperatura intermediária T_f , na situação inicial, as moléculas que se movem mais rapidamente estão posicionadas de um lado (corpo a temperatura mais alta), e as moléculas que se movem mais lentamente (corpo com temperatura menor), de outro. Depois de um tempo, os corpos atingem o equilíbrio térmico, e a distribuição de velocidade entre os dois corpos é uniforme. A situação inicial, com moléculas rápidas de um lado e lentas de outro, é uma situação de baixa probabilidade; já a distribuição uniforme configura uma situação de alta probabilidade. O sistema evolui de uma situação de baixa probabilidade para uma situação de alta probabilidade.

A condução de calor é um processo irreversível caracterizado por um aumento de entropia, onde o sistema passa espontaneamente de um estado de baixa probabilidade para um de alta probabilidade. Existe uma relação quantitativa, proposta por Boltzmann, entre probabilidade e entropia, dada por:

$$S = k \ln P \qquad \text{Equação (41)}$$

k é a constante de Boltzmann, S , a entropia do sistema, e P pode ser definida de maneira aproximada como o número de diferentes arranjos moleculares que correspondem ao mesmo estado macroscópico. Os valores mais altos de P

correspondem à distribuição mais uniforme de moléculas que levam a valores mais altos de entropia.

O princípio do aumento da entropia mostra uma diferença entre processos reversíveis e irreversíveis. No caso irreversível, há um aumento da entropia no universo, isso corresponde a um desperdício de energia que poderia ser utilizada para realizar trabalho, ou seja, o aumento de entropia no processo irreversível reflete uma degradação da energia. Na condução do calor, quando dois corpos entram em equilíbrio térmico está havendo uma degradação da energia, pois a diferença de temperatura poderia ser utilizada para acionar um motor térmico. Para encerrar esta abordagem científica, apresentamos na Figura 8 um mapa conceitual abordando os conceitos objetos desta tese.

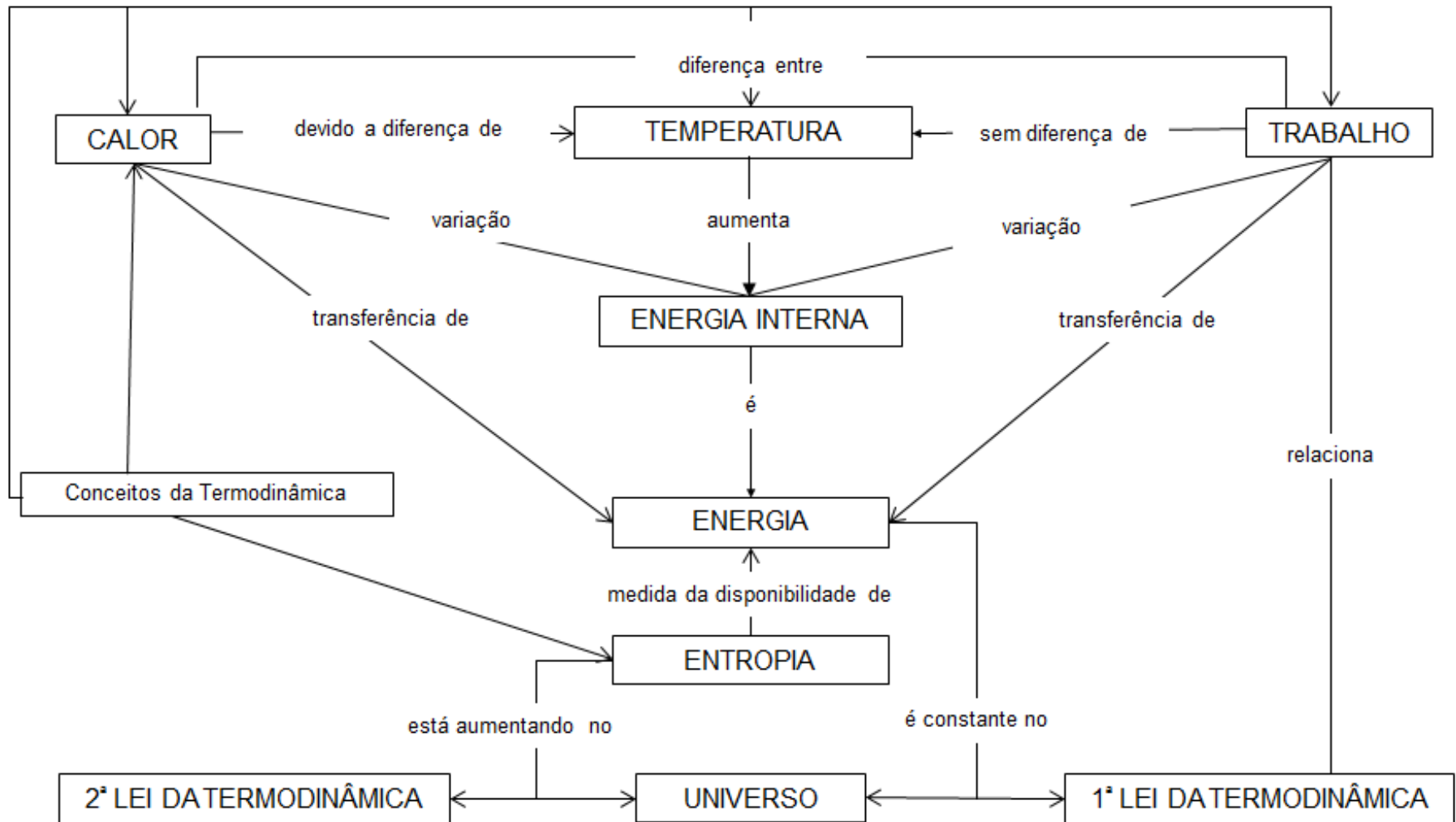


Figura 8. Mapa conceitual - Conceitos da Termodinâmica (adaptado de Moreira, 1999).

5 METODOLOGIAS

5.1 Metodologia da Pesquisa

O domínio metodológico corresponde ao que deve ser feito para responder ao problema de investigação. Neste trabalho, pretendemos agregar alguns aspectos da metodologia qualitativa com a metodologia quantitativa. Assim, ao mesmo tempo em que utilizamos uma observação participativa, também nos valem de testes para a coleta de dados. Da mesma forma, na análise dos dados fazemos uso de tabelas e gráficos junto com descrições e comentários interpretativos.

Esta investigação está ancorada nos pressupostos teóricos da Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel, na Teoria Epistemológica de Toulmin, na Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud, na Teoria da mediação de Vigotsky e na proposta de Greca e Moreira. Para a Teoria de Ausubel, no ensino, deve ser considerada a estrutura cognitiva do estudante no início da instrução, uma vez que o fator isolado mais importante que influencia a aprendizagem é aquilo que o aluno já sabe (Ausubel, 1968, p. 78). Assim, o conhecimento prévio é fundamental no desenho de uma metodologia de ensino. Por outro lado, para Vigotsky, 2001, a aprendizagem é um processo social mediado pelo professor ou pelos colegas.

A Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud utiliza tanto os conhecimentos prévios da teoria de Ausubel como a mediação de Vigotsky e traz os conceitos sendo constituídos de três conjuntos: situações, invariantes operatórios e representações simbólicas. Mas, Moreira (2004, p. 11) argumenta que os conceitos tornam-se significativos através das situações, e são as situações e não os conceitos que constituem a principal entrada de um campo conceitual. Para Vergnaud a conceitualização é o núcleo do desenvolvimento cognitivo corroborando com Toulmin que afirma que os conceitos são a chave para a compreensão humana. Por isso, essa investigação busca a conceitualização, visando contribuir com o desenvolvimento cognitivo dos estudantes.

Este trabalho traz uma metodologia de ensino que tem como objetivo introduzir os conceitos através de situações. Esta abordagem foi definida a partir do referencial teórico, do estudo exploratório e de estudos anteriores. Diagnosticamos os significados atribuídos pelos estudantes que já haviam estudado Termodinâmica de os conceitos temperatura, calor, energia interna, trabalho e entropia (Grings et al., 2007); investigamos invariantes operatórios apresentados em tais conceitos (Grings et al., 2006) e os avanços e retrocessos que podem ocorrer no campo conceitual da Termodinâmica (Ibid.). Assim, esta investigação propõe uma metodologia de ensino que privilegia os conhecimentos prévios, a mediação e a introdução de conceitos a partir de situações-problema.

Inicialmente, foi realizado um estudo exploratório visando buscar os significados, dificuldades e indicadores de invariantes operatórios. Seguido de um estudo experimental que visa avaliar o uso dos constituintes de conceitos, desenvolver uma metodologia didática e avaliar possíveis melhorias no uso dos constituintes de conceitos. Os objetivos de cada etapa da pesquisa são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Objetivos de cada etapa da pesquisa

| Atividade | Objetivos |
|--|--|
| Desenvolvimento do estudo exploratório | <p>Identificar os significados atribuídos pelos estudantes aos conceitos da Termodinâmica.</p> <p>Inferir possíveis indicadores de invariantes operatórios que podem se apresentar como dificuldades e obstáculos à nova aprendizagem.</p> <p>Analisar como é o avanço dos estudantes no campo conceitual da Termodinâmica.</p> |
| Desenvolvimento do estudo experimental | <p>Através da aplicação de um pré-teste, identificar se os estudantes utilizam adequadamente os constituintes de um conceito, assim como define Vergnaud (1993, p.9), invariantes operatórios, representações simbólicas e utilização dos conceitos em situações-problema (Ibid.).</p> <p>Preparar uma metodologia de ensino que introduza os conceitos através de situações e através de uma avaliação final, verificar se estes estudantes utilizam adequadamente os três componentes de um conceito (Ibid.).</p> <p>Através da aplicação de um pós-teste, averiguar se houve melhoria na utilização dos invariantes operatórios, representações e utilização dos conceitos envolvendo seus três aspectos (Ibid.).</p> |

Para a aplicação da metodologia de ensino, foi elaborado um pré-teste (também utilizado como pós-teste), com o objetivo de verificar a utilização dos conceitos abordando os aspectos que os constituem, invariantes operatórios, representações e resolução de situações. Após a aplicação do pré-teste, os estudantes de uma turma foram submetidos à abordagem metodológica (descrita mais detalhadamente na metodologia de ensino).

O pré-teste (Apêndice I, página 375) foi elaborado com 30 questões de múltipla escolha, 6 sobre temperatura, 6 sobre calor, 6 sobre energia interna, 6 sobre trabalho e 6 sobre entropia. O critério utilizado para elaborar as questões foram os conhecimentos prévios investigados anteriormente (Grings et al., 2006), e cada conjunto de questões sobre cada conceito abordou explicações constituídas de conceitos-em-ação e teoremas-em-ação, representações simbólicas e aplicação dos conceitos em situações-problema. A avaliação do pré e pós-teste foi feita utilizando como critério o que Vergnaud (1993, p. 9) define como constituintes de um conceito.

5.1.1 Descrição da metodologia:

A metodologia desta tese foi constituída inicialmente de um estudo exploratório aplicado em 2006. No ano de 2007, após a realização de um pré-teste, a metodologia de ensino, chamada de estudo experimental foi aplicada. Esta metodologia é descrita mais detalhadamente no item seguinte, Metodologia de Ensino. Ela foi aplicada em cinco estudos, visando introduzir os conceitos através de situações. Cada estudo tinha o objetivo de possibilitar ao aluno construir significados a respeito dos conceitos temperatura, calor, energia interna, trabalho e entropia e permitir a sua utilização num sentido mais amplo, envolvendo o que Vergnaud define como conceito (Ibid.).

5.1.2 Instrumentos de coleta de dado

Além do pré-teste descrito anteriormente, que foi aplicado antes e depois da metodologia de ensino, foram coletados dados durante o desenvolvimento da proposta (ver Tabela 5).

A introdução de novos conceitos partia da discussão em duplas de alunos a respeito de situações com o objetivo de atribuir os primeiros significados aos conceitos, identificar os conhecimentos prévios e fazer com que os alunos trocassem significados. No primeiro estudo sobre temperatura, uma dupla foi gravada durante as suas discussões, e nos demais estudos três duplas foram gravadas. No final da discussão, as situações com as respostas compartilhadas pelos alunos eram entregues ao professor.

Durante as aulas, o professor fazia registros no diário de bordo a respeito de observações que considerava importantes para mediar a aprendizagem dos alunos. No decorrer dos cinco estudos, os alunos construíram mapas conceituais a respeito dos conceitos desenvolvidos no CCT. Foi aplicado um questionário escrito e um questionário de atitudes, tipo escala Likert, para analisar as respostas dos estudantes frente à metodologia de ensino. No final de cada estudo, foi feita uma avaliação para verificar se os estudantes utilizavam adequadamente os invariantes operatórios, as representações simbólicas e resolviam situações relacionadas aos conceitos estudados.

Tabela 5. Instrumentos utilizados para coleta de dados

| |
|---|
| Pré-teste envolvendo os conceitos temperatura, calor, energia interna, trabalho e entropia. |
| Gravação das discussões dos alunos durante a resolução de situações. |
| Respostas escritas das discussões dos alunos durante a resolução das situações. |
| Diário de bordo com observações coletadas em sala de aula. |
| Questionário de atitudes. |
| Avaliação realizada ao final de cada estudo. |
| Pós-teste. |

Os instrumentos nesta pesquisa foram submetidos a três especialistas, pesquisadores em Ensino de Física e Física, para garantir a validade de conteúdo (Silveira, 1993, p.8). Para determinar a exatidão e a estabilidade dos dados, como coeficiente de fidedignidade foi utilizado o coeficiente alfa de Cronbach (Siveira, 1993, p.12-13). A forma de depurar um instrumento, identificando itens ruins, pode ser conduzida a partir do coeficiente de correlação de Pearson. Os itens que apresentam correlações mais baixas ou negativas devem ser eliminados ou revisados (Silveira, 1993, p.14). Toda a análise estatística descrita foi realizada através da planilha Excel. A análise estatística é apresentada no decorrer de cada estudo.

5.1.3 Contexto em que foi realizada a pesquisa

Esta pesquisa foi realizada com os alunos da Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha, RS, Brasil. Esta instituição é uma escola técnica que, desde 1967, forma técnicos industriais absorvidos pelo mercado de trabalho do RS. Atualmente, oferece cursos técnicos de Química, Mecânica, Eletrotécnica, Eletrônica, Segurança do Trabalho, Automotivo, Design e Informática.

A instituição possui cerca de 3.000 alunos matriculados. Os cursos de educação tecnológica, articulados com o ensino médio, dirigidos para alunos provenientes do ensino fundamental, têm duração de 4 anos mais 720 horas de estágio supervisionado na empresa, agenciado pela própria Instituição, sendo oferecido nas áreas de Química, Mecânica, Eletrotécnica e Eletrônica.

A disciplina de Física é oferecida com uma carga horária de quatro horas semanais na primeira série e três horas na segunda e terceira séries. Na primeira série, o conteúdo desenvolvido é a mecânica e é comum para os diferentes cursos. O conteúdo programático de Física, na segunda e terceira séries, é definido conforme a necessidade do curso de atuação. A Termodinâmica é desenvolvida em todos os cursos diurnos, no curso de Química na 2ª série e nos demais na 3ª série.

O grupo investigado foi a turma 2311 (3ª série), do turno da manhã, do Curso de Eletrotécnica, escolhida aleatoriamente e composta de 32 alunos, com idades entre 16 e 18 anos, 4 repetentes, 19 de sexo masculino e 13 do sexo feminino.

A Figura 9 mostra um mapa conceitual para a metodologia da pesquisa. O mapa conceitual apresenta, no centro, a metodologia de ensino desenvolvida a partir do referencial teórico de Vergnaud, Ausubel, Vygotsky, Toulmin e Greca e Moreira. A metodologia de ensino considera também as pesquisas realizadas anteriormente e é elaborada a partir de um estudo exploratório e através de cinco estudos experimentais realizados para estudar os conceitos do CCT. Além de outros instrumentos, utiliza uma avaliação no final de cada estudo para verificar se os estudantes utilizam adequadamente os constituintes de um conceito, assim como é definido por Vergnaud (1993, p. 9).

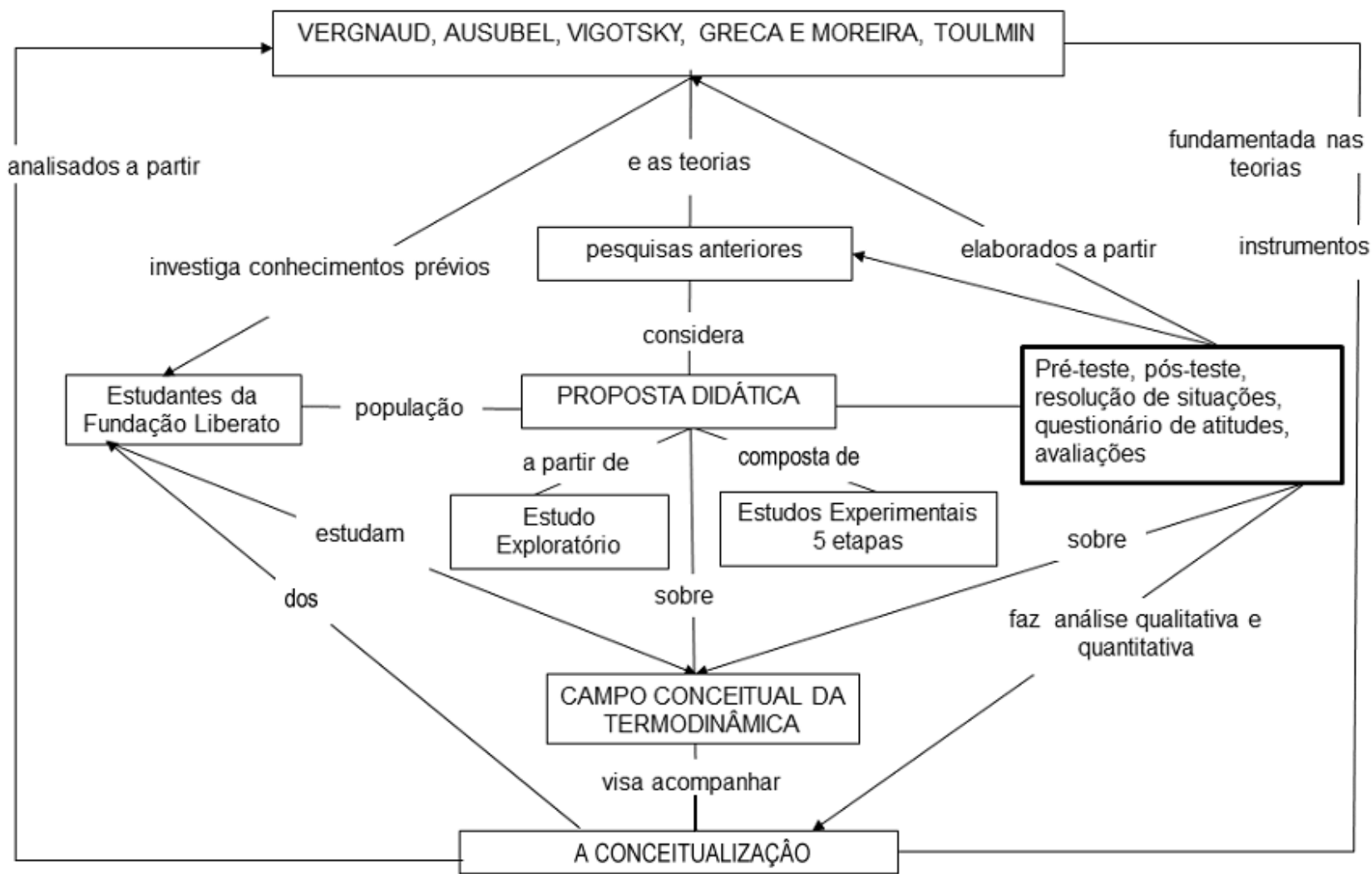


Figura 9. Mapa conceitual sobre a metodologia da investigação (Grings, 2008)

5.2 Metodologia de Ensino

5.2.1 Introdução

Os pressupostos teóricos que deram suporte à presente metodologia de ensino são os conhecimentos prévios dos estudantes, que poderão ancorar os novos conceitos ou se tornar obstáculos às novas aprendizagens; a importância da mediação social na aprendizagem (Moreira, p. 120) e o fato de os alunos resolverem situações que permitem atribuir sentido aos novos conceitos (Vergnaud, 1993, p. 18). Também para Vigotsky (2001, p. 157) a formação do conceito deve surgir de um problema que só possa ser resolvido pela formação dos novos conceitos. Para compreender a conceitualização, é necessário o par situação e esquema de pensamento (Vergnaud, 2008, p. 43), pois é no desenvolvimento de situações que os alunos vão atribuindo significado aos conceitos, de acordo com os esquemas de pensamento disponíveis. Para avançar na conceitualização, é necessário que os estudantes resolvam situações de diversos graus de complexidade para irem aos poucos adaptando seus esquemas e evoluindo os invariantes operatórios contidos nesses esquemas, a fim de se aproximarem cada vez mais dos conhecimentos científicos. Greca e Moreira (2004, p. 46-46) propõem que os esquemas se mantêm como estrutura na memória de longo prazo e que, no momento de enfrentar uma situação nova, os alunos geram representações na memória de curto prazo, os modelos mentais da situação em questão. Quando um aluno enfrenta uma situação nova, a discordância entre as inferências decorrentes dos modelos mentais construídos a partir dos invariantes operatórios existentes em seus esquemas pode levá-lo à modificação dos modelos e à construção de esquemas apropriados para a resolução dessas situações que já não serão novas. Assim, a evolução dos esquemas de pensamento passa pela construção de modelos mentais que vão se transformando em novos esquemas. Desta forma, acredita-se que o desenvolvimento cognitivo dos estudantes ocorre a partir dos seus conhecimentos prévios, mediante a mediação dos colegas ou do professor (social) e através da resolução de situações.

Acredita-se, também, que este desenvolvimento cognitivo evolui à medida que os estudantes vão construindo novos significados, que aos poucos vão se desenvolvendo e adquirindo um significado para o aluno que coincide com o significado científico. Na verdade, o conhecimento é uma adaptação dos esquemas de pensamento às situações, e é neste sentido que se forma um conceito, que acreditamos, como Vergnaud (2008, p. 39), ser composto de três conjuntos (o conjunto das situações que dão sentido ao conceito; o conjunto dos invariantes operatórios que estruturam os esquemas de pensamento associados a estas situações; e o conjunto de representações linguísticas e simbólicas que permitem representá-los). Assim, neste trabalho, consideramos um avanço na aprendizagem conceitual quando os três aspectos que compõem um conceito evoluírem. Portanto, não é suficiente que o estudante saiba uma proposição a respeito do conceito, mas é necessário que utilize representações relacionadas ao conceito e resolva situações onde o aplique, pois assim podemos tentar inferir a respeito dos conceitos-em-ação e dos teoremas-em-ação que o aluno está utilizando, uma vez que, como comenta Vigotsky (2001, p. 157), a memorização de palavras e a sua associação com os objetos não leva, por si só, à formação de conceitos. Em tese, inicialmente, o conceito não é formado, mas é construído um significado inicial que evolui com os esquemas de pensamento e o desenvolvimento cognitivo dos alunos. Esse processo não é homogêneo, e cada estudante tem um tempo diferente de construção, de modo que tal processo de formação dos conceitos científicos pode levar muito tempo.

Por outro lado, um campo conceitual é constituído de diversos conceitos que adquirem significados mediante a resolução de um conjunto de situações. Os conceitos dentro de um campo conceitual estão relacionados. Na verdade, um conjunto de situações exige um conjunto de conceitos e teoremas que permita analisar tais situações invocando os conhecimentos contidos nos invariantes operatórios – na maioria das vezes, implícitos, mas que permitem acionar um modelo mental ou um esquema de pensamento, que pode ou não resolver satisfatoriamente a situação. Assim, neste trabalho, pesquisamos o que foi chamado de CCT, dando ênfase ao estudo dos conceitos temperatura, calor, energia interna, trabalho e entropia.

Moreira (2004, p. 11) argumenta que se os conceitos tornam-se significativos através das situações, então são as situações e não os conceitos a principal entrada para um campo conceitual. Neste sentido, foi proposta uma metodologia de ensino a partir de situações-problema elaboradas com base em estudos anteriores realizados com alunos que já haviam estudado os conceitos da Termodinâmica (Grings et. al, 2006a; Grings et. al, 2006b; Grings et. al, 2007; Grings et. al, 2008a; Grings et. al, 2008b) e no estudo exploratório. Nesses trabalhos, constatou-se que alguns alunos apresentam uma concepção substancialista de calor, outros relacionam calor a energia, e outros ainda relacionam temperatura a calor; energia interna ao que está no interior do corpo e trabalho a esforço físico ou energia. Ou seja, alguns estudantes pesquisados apresentam uma concepção aproximada da concepção científica, mas outros apresentam concepções alternativas, que já foram amplamente discutidas em pesquisas (Driver e Russel, 1982; Summers, 1983; Cervantes, 1986). Constatamos também evidências de invariantes operatórios, tais como: “ocorre transferência de energia (calor) somente quando os corpos estão encostados” e “é necessária uma fonte de calor para aumentar a temperatura de um corpo”.

Nesta metodologia de ensino, pretendemos que os estudantes construam seus conceitos, no sentido definido por Vergnaud (1993, p. 9), ou seja, desejamos uma evolução nas proposições que poderíamos inferir como constituídas de invariantes operatórios, nas representações e na resolução de situações-problema. Só com o avanço dos três componentes de um conceito poderíamos conceber uma construção conceitual por parte dos alunos. Na utilização de representações e resolução de situações, os estudantes também utilizam os conhecimentos contidos nos invariantes operatórios. No entanto, como eles são amplamente implícitos, nem sempre é possível identificar os conceitos-em-ação e teoremas-em-ação que estão sendo utilizados.

É na tentativa de dar sentido aos conceitos para os alunos que propomos uma metodologia de ensino que introduz os conceitos através de situações, pois, reforçando o pensamento de Vergnaud (2008, p. 28), uma situação, um objeto, um enunciado ou uma palavra têm sentido para um aluno na medida em que este consegue evocar um ou vários esquemas de pensamento, quer sejam oportunos ou

não. Assim, inicialmente os alunos resolvem situações em duplas, para que compartilhem os significados iniciais; trocam significados também com o professor, quando a dupla de alunos acha necessária a sua intervenção. Esta metodologia, ao mesmo tempo, em que permite detectar as ideias prévias dos alunos, torna-lhes possível atribuir os primeiros significados aos conceitos e possibilita aos alunos e professor trocarem significados.

Na fase seguinte da metodologia, os novos conceitos são expostos pelo professor através de multimídia, e as situações resolvidas inicialmente são discutidas à medida que o professor expõe os novos conceitos. Os alunos recebem um texto a respeito do assunto. Para complementar o estudo sobre os novos conceitos, os alunos realizam atividades práticas de laboratório ou simulações computacionais, além de resolução de outras situações-problema e mapas conceituais. A resolução de situações iniciais é complementada pela exposição do conteúdo e outras atividades, pois se acredita que a complementação da discussão dos conceitos com o desenvolvimento de atividades de laboratório, a resolução de problemas e o desenvolvimento de mapas conceituais contribuiria para uma melhoria da construção dos significados dos conceitos pelos alunos. Vergnaud (1993, p. 12) esclarece que os processos cognitivos e as respostas dos sujeitos são funções da variedade de situações com que ele se confronta. No final do estudo de cada conceito, é feita uma avaliação.

Com base no que foi apresentado anteriormente, apresentamos um mapa conceitual para a metodologia de ensino, cuja porta de entrada no CCT é a resolução de um conjunto de situações por duplas de estudantes. A resolução destas situações, como mostra o mapa conceitual, permite ao mesmo tempo diagnosticar os conhecimentos prévios, trocar ou mediar significados e atribuir sentido ao novo conceito estudado.

Tanto as representações como os invariantes operatórios, que são os conhecimentos contidos nos esquemas, fazem parte do significado do conceito, ou seja, o conceito é constituído, simultaneamente, das situações que estão sendo resolvidas, dos invariantes operatórios e de representações acionadas durante a resolução da situação.

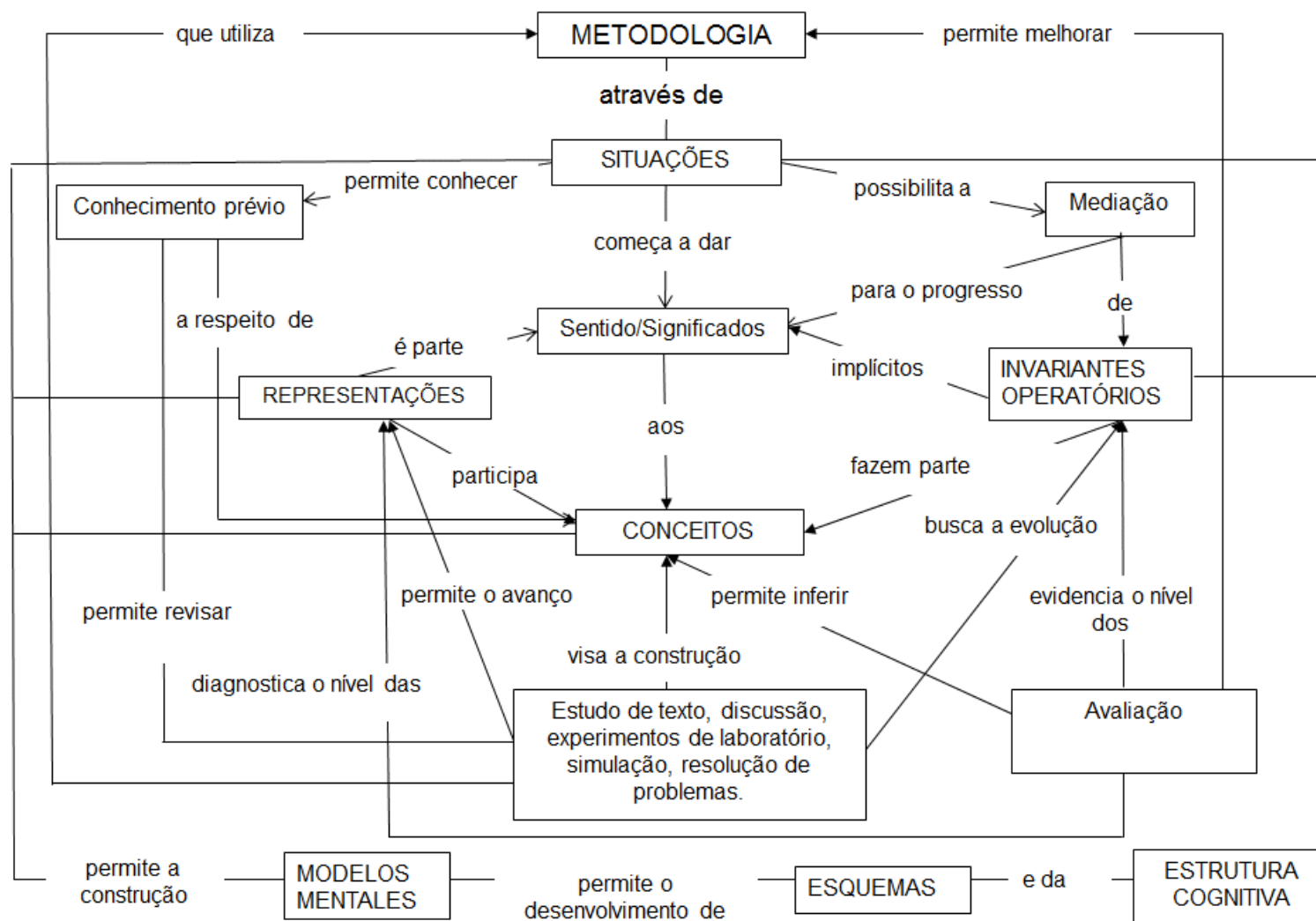


Figura 10. Mapa conceitual sobre a metodologia de ensino (Grings, 2008).

Na maioria das vezes, os invariantes, ou seja, os conhecimentos contidos nos esquemas, não estão de acordo com a concepção científica aceita naquele momento, mas é funcional, pois resolve a situação para o aluno. Na continuação da metodologia didática, as atividades foram diversificadas e esperamos, que haja um avanço nas representações, nos invariantes operatórios e na resolução de situações, pois só assim haverá também um avanço na conceitualização. Por isso, no mapa conceitual, conectamos a avaliação aos três componentes do conceito. A conceitualização será diagnosticado através de uma avaliação para cada estudo que será constituído da mesma metodologia, e adotaremos como critério o fato de os estudantes avançarem nos três elementos constituintes de um conceito: invariantes operatórios, representações e resolução de situações. A conceitualização terá como consequência o desenvolvimento dos modelos mentais que se transformarão em novos esquemas e proporcionarão um avanço na estrutura cognitiva dos estudantes. Por isso, fizemos um laço em todo o mapa conceitual que leva ao desenvolvimento dos esquemas e da estrutura cognitiva, pois todos os componentes da metodologia de ensino contribuiriam para este desenvolvimento.

5.2.2 Objetivos da disciplina de física no desenvolvimento dos conceitos do CCT.

As tabelas 6 e 7 mostram os objetivos gerais e específicos da disciplina de Física.

Tabela 6. Objetivos gerais da disciplina de Física - CCT

| | |
|--------------------------------|---|
| <p>Objetivos Gerais</p> | <p>Conhecer e utilizar conceitos físicos, leis, teorias e compreender fenômenos relacionados aos conceitos temperatura, calor, energia interna e entropia e enunciados que envolvam símbolos físicos e proposições.</p> <p>Interpretar, utilizar e construir gráficos, tabelas e relações matemáticas relativas aos conceitos temperatura, calor, energia interna e entropia e conceitos relacionados.</p> <p>Resolver e investigar situações-problema, identificar a situação física e as grandezas envolvidas, utilizar modelos físicos e fazer generalizações.</p> |
|--------------------------------|---|

Tabela 7. Objetivos específicos da disciplina de Física – CCT

| | |
|-------------------------------------|---|
| <p>Objetivos Específicos</p> | <p>Compreender o conceito de temperatura utilizando o modelo microscópico e macroscópico, o equilíbrio térmico, Lei Zero da Termodinâmica e aplicá-lo em diversas situações, tais como dilatação.</p> <p>Relacionar o conceito calor com a variação de temperatura, mudança de estado, processos de transferência de energia e determinar o equivalente mecânico do calor.</p> <p>Interpretar o conceito de energia interna a partir da teoria cinética dos gases, estudar as diferentes transformações gasosas envolvendo as grandezas temperatura, volume e pressão nos gases ideais e aplicar a equação de estado.</p> <p>Compreender o conceito de trabalho e relacioná-lo aos conceitos de energia interna e calor através da Primeira Lei da Termodinâmica.</p> <p>Entender o conceito de entropia e relacioná-lo à Segunda Lei da Termodinâmica compreendendo a equivalência entre os enunciados de Kelvin e Clausius, o ciclo de Carnot e os processos reversíveis e irreversíveis.</p> <p>Relacionar os conceitos do CCT ao princípio de funcionamento das máquinas térmicas, ampliando o conceito de conservação de energia e mostrando a sua degradação.</p> <p>Compreender, interpretar e utilizar adequadamente representações simbólicas, gráficas ou tabelas para representar os conceitos trabalhados na Termodinâmica.</p> <p>Resolver situações-problema envolvendo os diversos conceitos da Termodinâmica.</p> |
|-------------------------------------|---|

5.2.3 - Descrição da metodologia de ensino utilizada no desenvolvimento do Campo Conceitual da Termodinâmica

O que denominamos de CCT faz parte da disciplina de Física desenvolvida na terceira série do Curso Técnico em Eletrotécnica da Fundação Liberato. O ano

escolar é organizado em três trimestres, e o CCT é desenvolvido a partir do segundo trimestre, que tem início em junho. Este trabalho foi realizado em dois trimestres com início em junho e finalizado em dezembro de 2007. No segundo trimestre, foram desenvolvidos os conceitos temperatura e calor e, no terceiro trimestre, energia interna, trabalho e entropia.

Antes da aplicação da metodologia de ensino, os estudantes responderam um pré-teste que visava diagnosticar o nível inicial de conceitualização segundo Vergnaud (1993, p. 9). Dessa forma, foi definido um nível de acordo com os componentes de um conceito e atribuído valor zero ou um aos três componentes de um conceito (invariantes operatórios, representações e resolução de situações). Após, foi discutido um texto, organizador prévio, que dava uma ideia geral de todos os conceitos estudados. A metodologia de ensino (estudo experimental) foi organizada em cinco estudos: no primeiro, foram desenvolvidos os conceitos de temperatura e dilatação; no segundo, foram trabalhados o conceito de calor, mudanças de estado e processos de transferência de calor; no terceiro, foi feito o estudo da teoria cinética dos gases e das transformações gasosas; no quarto, foi feito o estudo do conceito trabalho relacionado aos conceitos calor e energia interna através da Primeira Lei da Termodinâmica associada à conservação da energia; e o quinto estudo abordou o conceito de entropia relacionado à Segunda Lei da Termodinâmica e a degradação da energia.

O estudo um começou no dia 14/06/2007, com a discussão de situações pelos alunos. Em virtude da revisão de literatura realizada, do trabalho que fizemos (Grings et. al, 2006b) e da pesquisa do significado dos conceitos da Termodinâmica já tínhamos uma ideia dos conhecimentos prévios dos alunos a respeito de temperatura. Portanto, o início do estudo dos conceitos a partir de situações permite identificar, nos alunos, seus conhecimentos prévios. Por outro lado, as situações foram discutidas em dupla com a mediação do professor para que os novos conceitos fossem aos poucos fazendo sentido para os alunos, e estes pudessem trocar significados com os colegas. Após a discussão em dupla, o estudo do conceito de temperatura foi feito através de um texto e projeção em multimídia, quando foi discutido o conceito de temperatura a partir do modelo molecular, o conceito de equilíbrio térmico, o estudo da construção de termômetros, as escalas

termométricas, o zero absoluto e o termômetro a gás a volume constante. Foi feita também pelos alunos a observação de diversos termômetros e sensores de temperatura. Para a melhor compreensão do conceito de temperatura e também das escalas termométricas, foram utilizadas simulações computacionais para, no caso da temperatura, os alunos observarem o comportamento dos átomos ou moléculas com o aumento da temperatura. Nas escalas termométricas, os alunos tiveram oportunidade de observar a relação entre as temperaturas em diferentes escalas. Como atividade prática, os alunos fizeram a calibração de um termômetro a álcool e um sensor do tipo NTC (Negative Temperature Coefficient), para que pudessem compreender que hoje em dia existem diversas formas de medir temperaturas, dependendo de novas tecnologias. Dando continuidade ao estudo da temperatura, os estudantes resolveram diversas situações-problema.

No dia 29 de junho, começamos o estudo da dilatação, novamente introduzida através de situações. Na continuidade, foram discutidas as dilatações linear, superficial e volumétrica e o comportamento dos átomos ou moléculas na dilatação. Foi estudada também a dilatação dos líquidos, dando ênfase à dilatação anômala da água. Os estudantes resolveram situações-problema sobre dilatação e realizaram uma atividade de laboratório para determinar o coeficiente de dilatação linear do alumínio e observar a dilatação de um aro. Além disso, elaboraram um mapa conceitual envolvendo os conceitos temperatura e dilatação. No dia 20/07, foi feita uma avaliação para analisar o desenvolvimento na aprendizagem dos conceitos temperatura e dilatação, usando como critério para avaliar a conceitualização, os invariantes operatórios, as representações e a resolução de situações, pois como já foi comentado, entendemos que o aluno se desenvolve conceitualmente somente quando estes três aspectos avançam.

No dia 03/08/2007, começamos o estudo dois, introduzindo o conceito calor através de situações que foram discutidas em dupla pelos alunos. Foi feito o estudo de uma pesquisa que aborda as concepções alternativas sobre calor e temperatura. Em seguida, foi feito o estudo do conceito calor, calor específico e capacidade térmica através de um texto distribuído para os alunos, o qual foi discutido usando projeção em multimídia. Os estudantes manipularam simulações sobre capacidade térmica, calor específico e processos de transferência de calor. Durante o estudo

desses conceitos, foram novamente discutidas as situações iniciais. As relações simbólicas e matemáticas também foram discutidas. Os alunos resolveram situações-problema sobre os conceitos desenvolvidos.

No dia 10/08/2007, foram discutidas situações sobre mudanças de fase e processos de transferência de calor. O estudo dos processos de transferência de calor foi feito de forma qualitativa através do estudo de um texto e resolução de situações. Foi feito também o estudo do texto sobre mudança de fase, usando o projetor multimídia. Coube ênfase ao fato de os corpos recebem energia (calor) durante o processo de mudança de fase e não sofrerem variação de temperatura, mas variarem a sua energia interna. A influência da pressão na mudança de fase também foi estudada. A seguir, os estudantes resolveram diferentes situações-problema envolvendo as trocas de energia entre os corpos (calor), com e sem mudança de estado físico. A conservação da energia foi salientada durante suas trocas. Os estudantes também realizaram uma atividade de laboratório para determinar a capacidade térmica de um calorímetro. No dia 30/08, foi feita uma avaliação envolvendo o conceito calor e mudança de estado, para averiguar os invariantes operatórios, as representações verbais e simbólicas, e se os estudantes resolviam situações envolvendo tais conceitos. No dia 31/08, os alunos fizeram e apresentaram um mapa conceitual envolvendo os conceitos temperatura e calor.

No dia 21/09/2007, começamos o estudo três através da resolução de situações sobre energia interna. Na aula seguinte, discutimos um texto sobre energia interna, sempre abordando as situações discutidas anteriormente. No dia 27/09/2007, foram discutidas situações sobre as transformações gasosas. Foi feito o estudo de um texto sobre as transformações gasosas e suas representações usando o projetor multimídia. Os estudantes manipularam simulações envolvendo as transformações gasosas. Foi feita a discussão sobre o texto teoria cinética dos gases e a relação entre energia cinética média dos átomos ou moléculas, energia interna e temperatura, além de resolução de situações-problema e desenvolvimento de uma atividade prática de laboratório sobre a transformação isotérmica. No final deste estudo, realizamos uma avaliação sobre energia interna e o estudo dos gases, envolvendo os conceitos calor e temperatura. Mais uma vez, buscamos com essa

avaliação diagnosticar se os alunos utilizavam corretamente os três componentes de um conceito.

No estudo quatro (18/10/2007), visamos associar os conceitos anteriormente estudados através do Princípio da Conservação da Energia. Assim, começamos introduzindo, através de situações, o conceito trabalho, que já havia sido estudado em Mecânica. Em seguida, discutimos o conceito trabalho relacionado às equações matemáticas para o seu cálculo e suas representações gráficas. Após, os alunos resolveram situações problemas envolvendo o conceito trabalho. No dia 26/10/2007, os estudantes discutiram sobre situações envolvendo a Primeira Lei da Termodinâmica. Foi feito um estudo e discussão da Primeira Lei da Termodinâmica, como um Princípio de Conservação da Energia envolvendo as transformações termodinâmicas e o papel do trabalho, calor e energia interna em cada transformação. Os alunos resolveram situações-problema envolvendo a Primeira Lei da Termodinâmica. No dia 22/11/2007, foi realizada uma avaliação para identificar os avanços dos alunos no estudo dos conceitos envolvendo a Primeira Lei da Termodinâmica, sempre considerando os três componentes de um conceito.

Para finalizar a aplicação da metodologia de ensino proposta realizamos o estudo cinco com início no dia 23/11/2007, quando os estudantes começaram discutindo, em dupla, situações a respeito de entropia. Na aula seguinte, discutimos o texto sobre a Segunda Lei da Termodinâmica, envolvendo máquinas térmicas e as equações matemáticas relacionadas. Foi feito ainda o estudo do ciclo de Carnot. Os alunos também resolveram situações-problema e analisaram a simulação do ciclo de um motor e um refrigerador. Discutimos o texto sobre entropia dando ênfase à degradação da energia. No dia 05/12/2007, foi feita uma avaliação para observar a utilização do conceito entropia e da Segunda Lei da Termodinâmica. Para finalizar os estudantes apresentaram um mapa conceitual envolvendo todos os conceitos estudados.

Mostramos, na Tabela 8, um resumo dos cinco estudos realizados durante a abordagem dos conceitos temperatura, calor, energia interna, trabalho e entropia, que consideramos constituintes do CCT.

Tabela 8. Resumo dos cinco estudos realizados

| Conceitos desenvolvidos | Período |
|--|--------------------|
| Temperatura e dilatação | 14/06 a 20/07/2007 |
| Calor e Mudança de Fase | 03/08 a 31/08/2007 |
| Energia Interna e Estudo dos Gases | 21/09 a 11/10/2007 |
| Trabalho e Primeira Lei da Termodinâmica | 18/10 a 22/11/2007 |
| Entropia e Segunda Lei da Termodinâmica | 23/11 a 06/12/2007 |

5.2.4 Avaliação da utilização dos componentes de um conceito pelos estudantes

Nesta tese, fizemos a opção por analisar somente o pré-teste comparado com o pós-teste, as situações utilizadas para introduzir os conceitos temperatura, calor energia interna e entropia e a avaliação realizada no final de cada estudo, pois estes instrumentos permitiriam avaliar como os alunos utilizavam, inicialmente, os três componentes de um conceito e comparar com a utilização final através da avaliação e do pós-teste.

A análise inicial foi feita a partir do pré-teste, avaliado a partir de três categorias as quais denominamos de categorias a priori (Moraes e Galliazi, 2007), uma vez que foram definidas a partir do referencial teórico utilizado. Para avaliar o pré-teste, foi definido score 1 para as questões corretas e score 0 para as incorretas, pois o pré-teste era objetivo e não era possível diagnosticar questões parcialmente corretas ou não respondidas uma vez que o estudante podia marcar uma alternativa mesmo sem resolver a questão. Como já foi comentada, a avaliação foi feita a partir do que Vergnaud (1993, p.9) define como conceito, logo, os três componentes de um conceito devem ser computados. Assim, foram definidas três categorias para o processo de avaliação, envolvendo os invariantes operatórios, representações simbólicas e resolução de situações. Denominamos a primeira categoria de evidências de invariantes operatórios proposicionais, pois quando os alunos descrevem ou explicam um conceito, eles podem estar utilizando invariantes operatórios, que normalmente estão implícitos. A segunda categoria, chamada de utilização de representações, envolve as diferentes representações simbólicas e gráficas amplamente utilizadas em Física, a exemplo da expressão que representa a Primeira Lei da Termodinâmica ou a representação gráfica de uma transformação isotérmica. Quando os alunos acionam tais representações, eles buscam os conhecimentos contidos nos esquemas e podem colocar em ação invariantes operatórios, que são os conhecimentos contidos nos esquemas. Na terceira

categoria, resolução de situações, os estudantes buscam tanto as representações simbólicas ou gráficas como podem acionar invariantes operatórios para resolver tal situação. Ao resolver uma situação, os invariantes podem evoluir, permitindo que o estudante tenha mais condições de expressar verbalmente um invariante operatório através de uma proposição que esteja de acordo com o significado científico do conceito. Da mesma forma, resolvendo as situações, os estudantes passam a dominar mais adequadamente as representações. Desta maneira, as três categorias utilizadas estão relacionadas, e não poderia ser diferente, uma vez que tais categorias em conjunto é que definem um conceito. Como explica Moreira (2004, p.11), para estudar um conceito ao longo da aprendizagem é necessário considerar os três conjuntos componentes de um conceito simultaneamente. Para Caballero (2003, p.147), a teoria dos campos conceituais permite explorar vínculos entre a estrutura cognitiva humana e a estrutura de um determinado conceito. A evolução da estrutura cognitiva se manifesta no uso das representações simbólicas, na explicitação de seus significados, que são as expressões parciais dos invariantes operatórios usados para enfrentar situações. Dessa forma, entendemos ser adequado utilizar as categorias definidas a partir do que Vergnaud (1993, p.9) entende ser um conceito. A Tabela 9 mostra as categorias definidas e suas características.

Tabela 9. Categorias definidas para avaliar a conceitualização dos estudantes

| Categorias | Descrição |
|--|--|
| Evidências de invariantes operatórios proposicionais | Compreensão ou utilização de expressão escrita, explicações, descrição teórica, proposições ou características dos conceitos utilizados ou relacionados a eles, possibilidade de compreender o seu significado e suscetibilidade ao uso, evidência da utilização de invariantes operatórios. |
| Utilização de representações | Interpretação, utilização e construção de gráficos e representações simbólicas, possibilidade de usar os conceitos e as suas relações e inferir os invariantes operatórios acionados, uma vez que tais invariantes são os conhecimentos contidos nos esquemas. |
| Resolução de situações | Resolução de situações problemas qualitativas e quantitativas que permite inferir a respeito dos invariantes operatórios utilizados e das representações simbólicas ou gráficas necessárias à resolução das situações. |

Ao final de cada estudo, foi feita uma avaliação com questões de respostas abertas e resolução de problemas. Estas avaliações foram usadas para avaliar o conteúdo de Física nos dois trimestres em que se realizou a pesquisa. A análise feita nas avaliações utilizou como critério as categorias definidas na Tabela 9. Cada categoria foi subdividida em subcategorias de acordo com as questões

desenvolvidas em cada avaliação. Estas categorias estão descritas junto à análise de cada estudo.

Além disso, na conclusão de cada estudo, é mostrado um gráfico com o resultado do pré-teste comparado à avaliação daquele estudo, para analisar-se quantitativamente a utilização dos componentes de um conceito. Por exemplo, no final do estudo um é feita a análise do conceito temperatura e da sua aplicação nos fenômenos de dilatação. E a análise qualitativa é feita através da interpretação das respostas dos estudantes a cada conceito.

6 ESTUDO EXPLORATÓRIO

6.1 Introdução e métodos utilizados

Este capítulo apresenta um estudo exploratório para investigar os significados atribuídos pelos estudantes aos conceitos da Termodinâmica e também buscar as dificuldades e possíveis indicadores de invariantes operatórios.

A partir de questionários (Apêndice II, p. 387) respondidos pelos professores de Física da Fundação Liberato sobre as dificuldades já identificadas por eles, foi elaborado um instrumento (Apêndice II, p. 388) para detectar os significados, dificuldades e possíveis invariantes operatórios apresentados no CCT, nos conceitos de temperatura, calor, trabalho, energia interna e entropia, por estudantes do nível médio e técnico.

O instrumento elaborado consta de quatro questões, cada uma com um número variável de itens de resposta aberta, totalizando 22 itens. A questão um foi subdividida em cinco itens e interroga os estudantes sobre os significados atribuídos aos conceitos de calor, temperatura, trabalho, energia interna e temperatura. A questão dois, subdividida em quatro itens, indaga as relações existentes entre tais conceitos.

A questão três engloba sete situações que visam buscar dificuldades apresentadas pelos estudantes e inferir indicadores de possíveis invariantes operatórios envolvidos. O item 3.1, mostra através de um gráfico, as temperaturas registradas por dois termômetros ($^{\circ}\text{C}$ e $^{\circ}\text{X}$) e pergunta a temperatura da ebulição da água em $^{\circ}\text{X}$. Os itens de 3.2 a 3.7 indagam, respectivamente, sobre: o aumento de temperatura sofrido, quando um volume maior de água é submetido à mesma fonte; os processos de transferência de calor em corpos de diferentes temperaturas; a energia interna da água no estado sólido e líquido na temperatura de 0°C ; as trocas de energia ocorridas entre um sistema e sua vizinhança; a entropia num processo

irreversível; e a possibilidade de um gás receber calor sem sofrer variação de temperatura.

A questão quatro, subdividida em seis itens, é representada pelo resfriamento e aquecimento de uma xícara de café e questiona sobre os processos, as causas e as leis que explicam tais acontecimentos. Ela procura identificar os conceitos que os estudantes usam para solucioná-la e verificar se os mesmos fazem referência ao conceito de entropia, uma vez que a maioria dos professores comenta que esse conteúdo não é trabalhado no ensino médio.

Um instrumento (teste, questionário, etc.) possui validade de conteúdo se os itens que o constituem são representativos do universo que ele pretende representar. A validade de conteúdo é estabelecida através de uma análise de instrumento e do confronto dos itens com os pressupostos (teoria) que lhe deram origem. Muitas vezes, recorre-se ao julgamento de diversos juízes (especialistas no conteúdo do instrumento), à procura de um consenso intersubjetivo (Silveira, 1993, p. 8). O instrumento desta pesquisa foi elaborado pelo autor e submetido ao orientador, que atuou como juiz; além disso, dois especialistas externos foram também consultados. Assim, pode-se dizer que o questionário foi validado por três especialistas.

O instrumento elaborado para este estudo exploratório possui 22 itens, que podem assumir 4 valores (1, 2, 3, 4). Portanto, o escore total pode ser no máximo 88 e no mínimo 22. O escore um significa que não respondeu; o dois, questão incorreta; o três, parcialmente correta; e o quatro, correta. Inicialmente, o instrumento foi aplicado a uma amostra de 28 estudantes, e o coeficiente de fidedignidade foi estimado através do coeficiente alfa de Cronbach (apud Silveira, 1993).

A forma de depurar um instrumento, identificando os itens "ruins", pode ser conduzida a partir do cálculo dos coeficientes de correlação de cada item com o escore total (coeficiente de correlação item total). Os itens que apresentam correlações mais baixas ou negativas com o escore total deverão ser eliminados ou revisados. (Silveira, 1993, p.14).

A Tabela 10 mostra os coeficientes de correlação de cada item com o escore total (coeficiente de correlação item total) do instrumento aplicado. Pode-se observar que na situação inicial, com todas as questões, os itens 2.1 e 3.7 apresentam coeficiente de correlação item total zero e negativo, de tal forma que estes itens foram eliminados do instrumento, obtendo-se a situação final, do instrumento a ser aplicado.

Tabela 10. Coeficiente de correlação item total dos testes inicial e final

| Item | 1.1 | 1.2 | 1.3 | 1.4 | 1.5 | 2.1 | 2.2 | 2.3 | 2.4 | 3.1 | 3.2 | 3.3 | 3.4 | 3.5 | 3.6 | 3.7 | 4.1 | 4.2 | 4.3 | 4.4 | 4.5 | 4.6 |
|----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Inicial | 0,33 | 0,51 | 0,43 | 0,26 | 0,49 | 0,00 | 0,31 | 0,54 | 0,63 | 0,33 | 0,23 | 0,27 | 0,51 | 0,30 | 0,30 | -0,1 | 0,58 | 0,42 | 0,69 | 0,63 | 0,46 | 0,43 |
| Final | 0,20 | 0,53 | 0,17 | 0,22 | 0,27 | -x- | 0,59 | 0,36 | 0,44 | 0,28 | 0,31 | 0,51 | 0,47 | 0,42 | 0,33 | -x- | 0,74 | 0,72 | 0,67 | 0,75 | 0,65 | 0,60 |

Inicialmente, o coeficiente de fidedignidade foi estimado em 0,71. Com a eliminação dos itens 2.1 e 3.7, houve um incremento na estimativa da fidedignidade, passando a 0,75.

Finalmente, o instrumento foi aplicado num universo de 99 estudantes da Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha, da 4^a série dos cursos de Eletrotécnica (27 estudantes), Eletrônica (21 estudantes), Mecânica (24 estudantes) e 3^a do curso de Química (27 estudantes). Todos já estudaram os conteúdos da Termodinâmica com diferentes professores. Foi escolhida, aleatoriamente, uma das quatro turmas de cada curso para responder ao questionário, aplicado a todos os alunos presentes. Para a escolha da série, utilizou-se como critério o fato de os alunos terem estudado Termodinâmica no ano anterior, na 3^a série dos cursos de Eletrotécnica, Mecânica e Eletrônica e na 2^a série do Curso de Química. Assim, a pesquisa foi feita numa turma do último ano do ensino médio e nas demais que já haviam concluído esse grau de ensino e estavam cursando somente o ensino técnico. A idade dos estudantes variava de 16 a 20 anos, sendo 18 do sexo feminino e 81 do sexo masculino.

A Tabela 10 mostra os coeficientes de correlação item total do teste final, sendo que houve mais um incremento no coeficiente de fidedignidade, cujo valor passou a ser 0,82. Quando o coeficiente de fidedignidade é próximo da unidade, significa que o instrumento está sendo capaz de detectar muito bem as diferenças interindividuais no grupo investigado, portanto, o resultado encontrado é aceitável.

As respostas dos estudantes foram organizadas em tabelas, utilizadas para análise.

A investigação do estudo exploratório foi organizada em três partes:

- na primeira, foi utilizada a questão um do instrumento e foram organizados os significados de cada conceito (temperatura, calor, energia interna, trabalho e entropia) em categorias, de acordo com a semelhança entre seus significados;
- na segunda, foi feita uma análise das questões e foram buscados indicadores de possíveis invariantes operatórios;
- na terceira, foi feita uma entrevista, seguindo o modelo clínico (Apêndice II, p. 392), com um novo instrumento, aplicada a quatro estudantes do ensino médio e técnico, para reavaliar os possíveis indicadores de invariantes operatórios encontrados na segunda parte;

Na primeira parte, as categorias foram construídas por questões, sendo que, em cada uma delas, à exceção da questão 1.5, as respostas foram organizadas em seis categorias. Na questão 1.1 – o que você entende por temperatura? – a primeira categoria consta de respostas relacionadas à energia; a segunda de respostas relacionadas a calor; a terceira de respostas relacionadas à agitação dos átomos e moléculas; a quarta de respostas relacionadas a calor, frio e sensação térmica; a quinta de outros significados; e a sexta corresponde às questões não respondidas.

Na questão 1.2 – o que significa fisicamente calor? – a primeira categoria apresenta-se com respostas relacionadas à energia; a segunda com respostas relacionadas à temperatura; a terceira com respostas relacionadas a calor; a quarta com respostas relacionadas a movimento das moléculas; a quinta com demais significados; e a sexta corresponde às questões não respondidas.

Na questão 1.3 – o que você entende por energia interna? –, a primeira categoria de respostas refere-se à energia que os corpos possuem; a segunda, a calor; a terceira, a movimento de moléculas; a quarta, a temperatura; a quinta, a outras respostas; e a sexta, às questões não respondidas.

Na questão 1.4 – o que significa fisicamente trabalho para você? –, a primeira categoria apresenta respostas a respeito de energia; a segunda, a respeito de força ou esforço físico; a terceira, a respeito de movimento; a quarta, a respeito de força e deslocamento; a quinta, a outras respostas; e a sexta corresponde às questões a que os alunos não responderam.

A questão 1.5 – o que você entende por entropia? – foi organizada somente em duas categorias: a primeira relacionada a respostas sem um significado lógico, e a segunda a questões não respondidas.

Na segunda parte da pesquisa, foram identificados o que chamamos de possíveis indicadores de invariantes operatórios. Por julgarmos insuficiente a investigação realizada para podermos avaliá-los adequadamente, uma vez que tais invariantes são conhecimentos implícitos constituintes dos esquemas, foram novamente pesquisados através de entrevista.

Na segunda parte da investigação, 99 estudantes dos cursos de Química, Eletrotécnica, Mecânica e Eletrônica foram submetidos a um questionário, de onde foram inferidos indicadores de invariantes operatórios, a maioria ainda está muito distante do conhecimento aceito pela comunidade científica.

Para reavaliar tais indicadores, um instrumento (Apêndice II, p. 392) foi elaborado e submetido ao orientador e a dois pesquisadores externos para garantir a sua validade de conteúdo. Quatro alunos foram escolhidos aleatoriamente e entrevistados (um do curso de Eletrotécnica, um do curso de Mecânica, um do curso de Eletrônica e um do curso de Química). Todos já haviam estudado Termodinâmica no ano anterior. Em um primeiro momento, responderam às questões do instrumento e, após, comentaram suas respostas com uma intervenção mínima da entrevistadora.

O novo instrumento foi organizado com três conjuntos de questões (cada um com quatro itens) com o objetivo de analisar os seguintes indicadores de invariantes operatórios: primeiro: ocorre transferência de calor quando os corpos estão encostados; segundo: quando a energia interna aumenta, o trabalho será positivo;

ou, quando a energia interna diminui, o trabalho será negativo; terceiro: é necessária uma fonte de calor para aumentar a temperatura de um corpo. Vergnaud (1993, p. 5) explica a importância na identificação de invariantes, pois para ele o reconhecimento de invariantes é a chave da generalização do esquema. Este instrumento também teve por objetivo analisar a aprendizagem no campo conceitual da Termodinâmica.

6.2 Resultado da parte um

Para fazer uma análise dos significados atribuídos pelos estudantes aos conceitos da Termodinâmica, inicialmente apresentamos, em tabelas, as categorias criadas e mostradas na metodologia. A Tabela 11 mostra as categorias e os significados detectados nas respostas da questão 1.1 (do questionário para alunos, apêndice II, p. 388), significados de temperatura, bem como os percentuais de respostas dos alunos em cada categoria.

Tabela 11. Categorização dos significados de temperatura detectados no questionário para alunos.

| Categoria 1 | Categoria 2 | Categoria 3 | Categoria 4 | Categoria 5 | Categoria 6 |
|--------------------------------------|-------------------------------------|--|--|----------------------|--------------------|
| Significados relacionados à energia. | Significados relacionados ao calor. | Significados relacionados à agitação dos átomos e moléculas. | Significados relacionados a quente, frio e sensação térmica. | Outros significados. | Não responderam. |
| 7,1% | 44,4% | 15,1%. | 16,2% | 11,1% | 6,1% |

Na categoria um, em que as respostas estão relacionadas à energia, os alunos entendem a temperatura como uma grandeza que envolve transferência de energia, como energia interna ou quantidade de energia de um corpo. A temperatura entendida como energia ou quantidade de energia já foi detectada no trabalho de Kesidou e Duit (1993). Para exemplificar, transcrevemos as respostas dos alunos A26 e A92.

A26 - É a energia interna de um corpo.

A92 - É a quantidade de energia.

Na categoria dois, os significados estão relacionados a calor, conforme exemplificamos com as respostas dos alunos A10 e A74.

A10 - É a quantidade de calor presente num corpo.

A74 - Temperatura é a medida da quantidade de energia que um corpo possui na forma de calor.

Ao mesmo tempo em que os alunos atribuem à temperatura uma propriedade do corpo, utilizam-na como sinônimo de calor, corroborando com a concepção alternativa detectada (Köhnlein e Peduzzi, 2002; Kesidou e Duit, 1993; Macedo e Soussan, 1985). Podemos observar também que a maior incidência de respostas a esta questão recai sobre este significado, mostrando que os estudantes apresentam de forma muito arraigada tal concepção. O fato de os estudantes já terem estudado, anteriormente, os conceitos da Termodinâmica não foi suficiente para superar tais significados, questão que já foi discutida por Solomon (1984), Nussbaum (1989), Greca e Moreira (2004), uma vez que a mudança conceitual é entendida por esses autores como desenvolvimento e enriquecimento conceitual que ocorre ao longo do tempo. Assim, essa mudança de significado não é imediata, por isso mesmo, depois de terem estudado os conceitos da Termodinâmica, esses estudantes não apresentam significados coerentes com os significados aceitos pela comunidade científica. Tanto as concepções alternativas como os invariantes operatórios podem servir como obstáculo epistemológico à aprendizagem de conceitos.

A categoria três, relacionada à agitação dos átomos e moléculas, é a categoria de respostas cujo significado mais se aproxima do conceito aceito pela comunidade científica e corresponde somente a 15,1% das respostas dos estudantes. Cabe salientar que, embora esta resposta seja a mais próxima das concepções aceitas cientificamente, ela ainda não está de acordo com uma conceitualização adequada. Para exemplificar tomamos as respostas dos alunos A59 e A81.

A59 - Temperatura é a medida da agitação molecular de um objeto qualquer e é proporcional a energia cinética das partículas.

A81 - Temperatura é uma medida referente à vibração das partículas de um corpo.

A resposta do aluno A59 é a que mais se aproxima de uma resposta correta.

A categoria quatro, cujos significados estão relacionados a quente, frio e sensação térmica é, inadequada. Esta resposta é uma concepção alternativa já identificada (Erickson, 1979; Bacas, 1997). Para exemplificar, citamos as respostas dos alunos A25 e A27.

A25 - Temperatura é a sensação térmica sentida por nós. Dependendo dela sentimos frio ou calor.

A27 - Uma sensação térmica.

A categoria cinco corresponde a uma conceitualização sem sentido. Por exemplo:

A16: É um fenômeno.

A68: Temperatura é um valor que representa a quantidade de alguma substância ou elemento.

Analisando a Tabela 11 de respostas, pode-se observar que um percentual muito pequeno (6,1%) dos estudantes deixou de responder esta questão. No entanto o maior percentual (44,4%) recaiu sobre uma concepção alternativa já detectada por diversos autores, como já foi citado. A resposta mais aproximada do significado científico corresponde somente a 15,1%.

A Tabela 12 mostra as seis categorias do significado de calor com os percentuais de repostas dos alunos por categoria.

Tabela 12. Categorização dos significados de calor detectados no questionário para alunos.

| Categoria 1 | Categoria 2 | Categoria 3 | Categoria 4 | Categoria 5 | Categoria 6 |
|--------------------------------------|--|------------------------------------|--|----------------------|--------------------|
| Significados relacionados à energia. | Significados relacionados à temperatura. | Significados relacionados a calor. | Significados relacionados a movimento das moléculas. | Outros significados. | Não responderam. |
| 57,6% | 10,1% | 2,0%. | 11,1% | 15,2% | 4,0% |

Para exemplificar a categoria um, transcrevemos as seguintes respostas dos alunos A17 e A62.

A17 - É a quantidade de energia que o corpo tem.

A62 - É a troca de energia que se dá entre dois corpos de temperaturas médias diferentes.

Esta categoria apresenta as respostas mais aproximadas da conceitualização aceita cientificamente. Os alunos afirmam adequadamente que calor é a troca (transferência) de energia. Nos exemplos, a resposta de A62 pode ser considerada correta, e não está incorreto A17 ao dizer que calor é energia, mas não é a energia que o corpo possui. É um processo de transferência de energia em virtude de uma diferença de temperatura. A concepção de que calor é energia transferida de um corpo para outro já foi anteriormente detectada por distintos pesquisadores (Erikson e Tiberghien, 1985; Erikson, 1979; Kesidou e Duit, 1993; Summers, 1983). A concepção de que calor é a energia que os corpos possuem também já foi identificada (Kesidou e Duit, 1993; Bacas, 1997; Ritchie, 2001; Hewson, 1984; Summers, 1983; Harrison, Grayson e Treagust, 1999).

A categoria dois relaciona o significado de calor à temperatura, que é uma concepção inadequada anteriormente identificada (Kesidou e Duit, 1993; Erikson e Tiberghien, 1985; Ritchie, 2001; Macedo e Soussan, 1985). Por exemplo, os alunos A3 e A31 dizem que calor:

A3 - É o aumento da temperatura.

A31 - É uma temperatura elevada.

A categoria três não tem muito sentido, pois relaciona o significado de calor ao próprio calor. Para exemplificar, mostramos as respostas dos alunos A8 e A14.

A8 - É a quantidade de calor de um determinado corpo.

A14 - Fisicamente calor é quando o calor está sendo trocado entre o meu corpo e o ambiente.

A categoria quatro está relacionada ao movimento das moléculas, e exemplificamos com as respostas dos alunos A21 e A32.

A21 - O calor é produzido pelas moléculas de um determinado corpo.

A32 - É quando a agitação das moléculas é alta.

Esta concepção também já foi detectada (Erikson, 1979; Kesidou e Duit, 1993).

A categoria cinco representa outros significados, e exemplifica-se com as respostas dos alunos A37 e A30.

A30 - Quando os corpos estão sujeitos a trabalho adquirem essa propriedade.

A37 - Quando está quente.

Pode-se observar através da Tabela 12 que a categoria 1 apresenta o maior percentual de respostas (57,6%) e é também aquela cujo significado melhor se adequa a concepção científica aceita. A categoria três apresenta o menor percentual de respostas (2,0%), o que se justifica pelo fato de relacionar o significado de calor ao próprio calor, sendo respostas desprovidas de sentido lógico. O item 1.2 apresentou um índice pequeno (4,0%) de questões não respondidas (categoria seis).

A Tabela 13 apresenta a categorização dos significados de energia interna com os respectivos percentuais de respostas dos alunos em cada categoria.

Tabela 13. Categorização dos significados de energia interna detectados no questionário para alunos..

| Categoria 1 | Categoria 2 | Categoria 3 | Categoria 4 | Categoria 5 | Categoria 6 |
|---|------------------------------------|--|--|----------------------|--------------------|
| Significados relacionados à energia que o corpo possui. | Significados relacionados a calor. | Significados relacionados ao movimento de moléculas. | Significados relacionados à temperatura. | Outros significados. | Não responderam. |
| 46,5% | 9,1% | 12,1%. | 1,0% | 10,1% | 21,2% |

Não encontramos trabalhos que já tenham identificado os significados atribuídos pelos estudantes ao conceito de energia interna, nas categorias 1 e 4. A categoria 1 apresenta os significados mais próximos dos conceitos científicos. Por exemplo, os alunos A3 e A54 respondem:

A3 - É a energia que o corpo tem internamente.

A54 - É a quantidade de energia presente em um corpo.

Exemplificamos a categoria dois com as respostas dos alunos A5 e A86:

A5 - É um calor armazenado dentro do corpo.

A86 - É o calor que um corpo possui sem nenhuma influência de fontes externas de calor.

Para exemplificar a categoria quatro usamos a resposta do aluno A70:

A70 - Deve ser a temperatura que o seu corpo (organismo) está. Essa energia interna deve mudar de acordo com a atividade do ser.

A categoria três já foi identificada por Summers (1983) através da concepção: A energia interna de um sólido é a energia cinética de vibração de seus átomos ao redor de sua posição média. A concepção identificada por Summers relaciona energia interna à vibração dos átomos, e as repostas dos alunos A80 e A98 relacionam energia interna ao movimento de moléculas e partículas. Silva (1986) constata que os estudantes universitários confundem os conceitos de calor e energia interna, assim como os alunos da categoria dois.

A80 - É a agitação das moléculas de um corpo.

A98 - É o movimento das partículas, em sua velocidade e agitação. A energia interna aumenta com o aumento de movimentação das partículas de um corpo.

A categoria cinco apresenta outros significados, como podemos ver através das respostas dos alunos A18 e A52.

A18 - É a capacidade de um corpo fazer trabalho.

A52 - A "força" com que os átomos de uma substância se encontram.

A categoria um apresenta 46,5% das respostas e é também a que mais se aproxima do significado aceito pela comunidade científica. Somente um aluno relaciona energia interna à temperatura (1,0%). O percentual de questões não respondidas aumenta para 21,2%, o que está de acordo com o trabalho de Silva

(1986) que constata que a maioria dos alunos não apresenta concepção sobre o conceito de energia interna.

A Tabela 14 apresenta os significados do conceito de trabalho, mostrando o percentual por categoria.

Tabela 14. Categorização dos significados de trabalho detectados no questionário para alunos.

| Categoria 1 | Categoria 2 | Categoria 3 | Categoria 4 | Categoria 5 | Categoria 6 |
|--------------------------------------|---|--|---|----------------------|--------------------|
| Significados relacionados à energia. | Significados relacionados à força e a esforço físico. | Significados relacionados a movimento. | Significados relacionados à força e a deslocamento. | Outros significados. | Não responderam. |
| 41,4% | 17,2% | 11,1%. | 10,1% | 15,2% | 5,0% |

A categoria um entende trabalho como energia. É uma explicação incompleta, pois omite como ocorre esse processo. As respostas A51 e A89 exemplificam essa categoria:

A51 - É a manifestação de troca de energia entre dois corpos.

A89 - É a transformação de energia.

A categoria dois apresenta um significado completamente desprovido de conceitualização física, pois entende o trabalho como força ou esforço físico, como se exemplifica através das respostas dos alunos A3 e A26.

A3 - É um esforço que um corpo realiza.

A26 - É a força realizada por alguma coisa para exercer algo.

A categoria três relaciona trabalho a movimento, provavelmente relacionando trabalho à energia cinética.

A13 - É a capacidade de um corpo de danificar ou movimentar outro corpo.

A91 - É o movimento realizado por um corpo.

A categoria quatro relaciona trabalho à força e ao deslocamento, como pode ser visto nas respostas de A41 e A92. Embora as respostas ainda não representem

uma conceitualização científica, elas relacionam força e deslocamento provavelmente conectando o conceito à equação matemática.

A41 - É quanto de energia é gasta para o corpo realizar um deslocamento usando uma determinada força.

A92 - É a quantidade de força exercida em um corpo para realizar um determinado deslocamento.

A categoria cinco pode ser exemplificada pelas respostas dos alunos A32 e A88.

A32 - É quando alguma coisa perde ou ganha calor.

A88 - É a capacidade de realizar algo.

Enquanto a categoria um faz referência a trabalho como energia (41,4%), a categoria quatro (10,1%) relaciona força e deslocamento evidenciando uma relação à equação matemática utilizada no cálculo de trabalho. Essas respostas apresentam um significado científico incompleto. A categoria seis corresponde às questões não respondidas com 5% das respostas. Ogborn (1986) já havia observado que os estudantes apresentam dificuldade com a definição de trabalho no seu sentido conceitual.

A Tabela 15 foi reduzida a duas categorias, uma vez que os estudantes não apresentam o significado de tal conceito.

Tabela 15. Categorização dos significados de entropia detectados no questionário para alunos.

| Categoria 1 | Categoria 2 |
|-----------------------------------|--------------------|
| Respostas sem significado lógico. | Não responderam. |
| 81% | 19% |

Pode-se observar através da Tabela 15 que mais de 80% dos alunos não responderam esta questão, o que está de acordo com as respostas dos professores que, num questionário anterior, dizem que o conceito de entropia não é desenvolvido no ensino médio. Exemplifica-se a categoria um com as respostas dos alunos A7 e A9 que, como podem ser vistas, não tem coerência.

A7 - É a parte da Física que estuda os fenômenos ópticos.

A9 - É a capacidade de destruir alguma coisa.

6.3 Resultado da parte dois

Para análise das situações propostas aos estudantes, optou-se por transcrever aquelas questões onde se acredita que indicadores de possíveis invariantes operatórios estavam presentes. Na sequência, estão transcritas as respostas de diferentes estudantes. Salientaram-se indicadores de possíveis invariantes operatórios que a partir das respostas dos estudantes, foram inferidos. Alguns já se aproximam do conhecimento científico e outros não, e podem estar servindo como obstáculo à aprendizagem de conceitos.

Questão 1.1: O que você entende por temperatura? Resposta 1: *variação do quente para o frio e vice-versa*. Aqui podemos inferir o seguinte indicador de possível teorema-em-ato: "a temperatura é a variação de um estado quente para um estado frio". Resposta 2: *temperatura é a variação de calor no tempo*. Indicador de teorema-em-ato: "a temperatura é a variação do calor", ou " $T = \Delta Q$ ".

As respostas destes alunos mostram que eles relacionam a temperatura a uma variação de "calor", que pode estar servindo como obstáculo à nova aprendizagem. As palavras de Vergnaud (2003, p. 58) salientam que "quando aprendemos alguma coisa nova, temos de nos apoiar em conhecimentos anteriores, embora, às vezes, eles se tornem obstáculos para novos conhecimentos" (Ausubel, 1978, p. 4). Moreira (1999) diz o mesmo em relação à aprendizagem subordinada. O fato de os estudantes eventualmente apresentarem o teorema-em-ato a temperatura é a variação do calor, "conduziria a erros" se estes fossem submetidos a situações que envolvem temperatura e calor.

Questão 2.1 sobre os conceitos de calor, energia interna e trabalho: Explique de que forma você relacionaria os conceitos calor, energia interna e trabalho. Resposta 1: *quando alguém realiza algum trabalho, este corpo libera energia interna através de calor*. Possível indicador de teorema-em-ato: "na realização de trabalho

há liberação de calor". A resposta 2 pode também levar a outro possível indicador de teorema-em-ato: $Calor \Rightarrow energia\ interna \Rightarrow trabalho$ ¹. Possível indicador de teorema-em-ato: "o calor implica ou é igual à energia interna, que implica ou é igual ao trabalho".

Os possíveis indicadores de teoremas-em-ato apresentados pelos estudantes sugerem que eles entendem que há relação entre os conceitos, mas essa relação é incompleta, pois desconsideram outras situações como, por exemplo, um sistema poder receber calor e realizar trabalho, ou seja, há muitas formas de relacionar calor, energia interna e trabalho. O estudante tem pouco domínio desta parte do campo conceitual da Termodinâmica. Tal fato também está de acordo com a teoria dos campos conceituais de Vergnaud, pois, para ele, o domínio de um campo conceitual leva muito tempo; aprender e desenvolver competências, no sentido de dar conta de situações-problema, é progressivo e demorado.

Questão 3.1: o gráfico mostra a relação entre as temperaturas que são registradas por dois termômetros, um em escala °C (Celsius) e outro em °X, quando a pressão é 1 atm. Essa relação mantém-se para temperaturas entre -50°C e 200°C. Para que temperatura °X ocorre a ebulição da água a 1 atm (Buchweitz e Axt, 1996)?

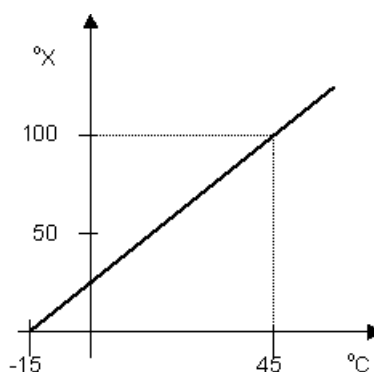


Gráfico da temperatura em dois termômetros: em °X e °C

¹O sinal \Rightarrow foi utilizado pelo aluno na resposta da questão 2.2.

Resposta: *Usando uma "regra de 3" simples.*

$$\begin{array}{rcl} X_{eb} & - & 100^{\circ}\text{C} \\ 100^{\circ}\text{X} & - & 45^{\circ}\text{C} \end{array}$$

Indicador de teorema-em-ato: a temperatura X° está para 100°C , assim como a temperatura de 100°X está para 45°C .

Os estudantes entendem que as temperaturas na escala X são diretamente proporcionais à escala Celsius. O invariante operatório também nesta situação serviria como obstáculo à aprendizagem.

Vergnaud (1993, p. 16) chama a atenção para os procedimentos utilizados pelos alunos: mais de vinte categorias de tentativas, sucessos ou fracassos para a pesquisa da quarta proporcional. O autor destaca os conceitos de fração, quociente, número racional, produto e quociente de dimensões, escalar, função linear e não-linear, combinação e aplicação linear assumem sentido, primitivamente, nos problemas de proporção e se desenvolvem como instrumento do raciocínio através do progressivo domínio dessas situações. O problema anterior é interpretado como uma proporção direta que, apesar de apresentar dificuldades, é mais evidente para o estudante do que a situação apresentada.

Por isso, insiste-se que, neste estudo, busca-se apenas identificar possíveis indicadores de invariantes operatórios. Para identificar tais invariantes, seriam necessárias muitas situações envolvendo cada conceito pesquisado e relações entre eles.

Questão 3.2: suponha que você aqueça 2 *litros* de água no fogo por um certo tempo e que sua temperatura se eleve de 4°C . Se você colocar 4 *litros* de água no mesmo fogo pelo mesmo tempo, em quanto se elevará a temperatura (Hewit, 2002)?
Resposta: *a temperatura elevará o dobro, ou seja, 8°C .* Possível indicador de teorema-em-ato: "a temperatura é diretamente proporcional ao volume".

A proporção direta é mais evidente para o estudante do que a proporção inversa, de forma que o estudante resolve o problema como uma proporção direta.

Questão 3.3: Ocorre transferência de calor na seguinte situação (entre corpos à temperatura de -10°C e à temperatura de 20°C)? Explique:



Nesta questão aparecem diversas respostas que sugerem possíveis indicadores de distintos invariantes operatórios (teoremas-em-ato). Resposta 1: *ocorre, pois há um diferencial de temperatura, que irá fazer com que a temperatura do bloco 20°C baixe e a de -10°C levante*. Da resposta do estudante pode-se inferir o seguinte indicador de invariante operatório: "a diferença de temperatura leva à diminuição da temperatura do bloco de maior temperatura e ao aumento da temperatura do bloco de menor temperatura". Outro estudante responde para a mesma questão. Resposta 2: *sim, porque predomina a temperatura de 20°C* . Neste caso aparece outro possível indicador de teorema-em-ato: "ocorre transferência de calor, pois predomina uma das temperaturas".

As duas respostas seguintes conduzem a outro indicador de teorema-em-ato. Resposta 3: *sim, o corpo A recebe calor de B até que ambos cheguem a uma temperatura de equilíbrio* (o aluno coloca A no corpo de menor temperatura). Resposta 4: *a transferência de calor ocorre entre esses dois corpos para manter um equilíbrio térmico*. O teorema-em-ato seria: "o corpo de menor temperatura recebe calor até que os corpos atinjam o equilíbrio térmico".

Nesta questão, aparece outro indicador de invariante operatório bastante evidente, pois pode ser inferido a partir de muitas respostas as quais exemplificamos a seguir. Resposta 5: *o corpo com 20°C passará calor para o de -10°C , de modo que no final temos um equilíbrio térmico* (se os corpos forem colocados um ao lado do outro). Resposta 6: *se os corpos forem unidos, sim. O corpo de -10°C transfere seu calor para o de 20°C até que ocorra a estabilização da temperatura, isto é, até que as moléculas dos dois corpos estejam à mesma velocidade. Se os corpos estiverem isolados, não*. Resposta 7: *sim, sempre há trocas de calor entre dois corpos com energias internas diferentes. Os corpos têm tendência de realizar trocas de calor entre si, até que ambos fiquem com a mesma quantidade de energia, ou seja, mesma temperatura. Na figura, eu não tenho certeza se eles trocam calor,*

porque não estão encostados. Resposta 8: *quando eles se encostam, o corpo de maior temperatura está com maior energia interna. Este então transfere uma determinada energia para o outro, e ambos atingem a mesma temperatura.* Resposta 9: *não, pois eles não estão encostados.* Possível indicador de teorema-em-ato: "ocorre transferência de calor quando os corpos estão encostados".

Através do teorema-em-ato apareceria implícito que o aluno consideraria um único processo de transferência de calor, o processo por condução. Na resposta 6, o estudante entende que a transferência de calor ocorre do corpo de menor temperatura para o de maior temperatura, a tendência é colocá-los em sequência.

Questão 3.4 refere-se à energia interna em corpos em estados físicos diferentes: o que se poderia afirmar a respeito da energia interna na água a 0°C resultante da fusão de um cubo de gelo também a 0°C ? Explique (adaptado de Ostermann e Moreira, 1999). Resposta 1: *a energia interna é muito baixa, já que a temperatura do corpo é baixa.* Resposta 2: *a energia interna é nula.* Resposta 3: *um corpo com 0° não tem energia interna.* Um possível indicador de invariante operatório: "a energia interna é baixa quando a temperatura é baixa" ou "a energia interna é nula num corpo a 0°C ".

As seguintes respostas levam ao mesmo indicador de invariante operatório: Resposta 4: *a energia interna de ambos será a mesma.* Resposta 5: *a mesma energia interna é para ambos, pois somente estão em estados físicos diferentes.* Possível indicador de teorema-em-ato: "em corpos de mesma temperatura, a energia interna é igual, independente do estado físico".

Esse possível teorema-em-ação proporia a conservação, tão discutida por Vergnaud. Se a temperatura se conserva, como a energia interna poderia ser diferente?

Na questão 3.5 que relaciona o trabalho com a energia interna, muitos estudantes dão o mesmo tipo de resposta que pode estar vinculada à dificuldade que eles têm com valores negativos. Quando um sistema troca energia com a sua vizinhança, se for realizado trabalho pelo sistema o que acontecerá com a energia

interna do sistema? Este trabalho realizado será positivo ou negativo? Justifique sua resposta (adaptado de Máximo e Alvarenga, 1998). Muitos estudantes apresentam respostas semelhantes. Resposta 1: *perde energia interna, e conseqüentemente seu trabalho será negativo*. Resposta 2: *a energia interna diminuirá. Se este trabalho realizado for espontâneo será negativo, pois o corpo perderá energia interna*. Resposta 3: *Aumentará. Será positivo*. Um indicador de teorema-em-ato mais amplo estaria relacionado às respostas dos distintos estudantes: "quando a energia interna aumenta, o trabalho será positivo ou quando a energia interna diminui o trabalho será negativo".

Vergnaud esclarece que a experiência mostra que tanto os adolescentes de treze a dezesseis anos como os adultos têm bastante dificuldade com as combinações de relações envolvendo grandezas positivas e negativas. (Vergnaud, 2003, p. 28). A fala de Vergnaud também diz: "isto compete com a ideia de que quando se perde alguma coisa é preciso fazer uma subtração". Ainda em Vergnaud (1990, p. 25) temos que "a adição é entendida como um incremento, e a subtração como um decréscimo".

Questão 4: A figura representa o aquecimento de uma xícara de café. A partir da figura, descreva uma maneira de ir de B para A (Ferracioli e Castro, 2002):



Resposta 1: *para aquecer é necessário um corpo com maior temperatura ou uma fonte de calor*. Resposta 2: *aquecendo no fogão*. O possível indicador de teorema-em-ato que pode ser inferido desta resposta é o seguinte: "é necessário uma fonte de calor para aumentar a temperatura de um corpo".

É interessante notar que nesta questão aparece o mesmo indicador de invariante operatório que apareceu na questão 3.3. Resposta 3: *A pode ir para B deixando-os mais próximos*. Possível indicador de teorema-em-ato: "ocorre transferência de calor quando os corpos estão próximos".

6.4 Resultado da parte três

A análise das entrevistas da parte três da metodologia é mostrada. São analisadas as dificuldades dos alunos e como eles progredem no campo conceitual da Termodinâmica. São discutidos também indicadores de invariantes operatórios.

Primeiro conjunto de questões:

1.1 Ocorre transferência de calor na seguinte situação (entre corpos à temperatura de -10°C e à temperatura de 20°C)? Explique:

-10°C

20°C

1.2 Ocorre transferência de calor na seguinte situação (entre corpos à temperatura de -40°C e à temperatura de -10°C)? Explique:

-40°C

-10°C

1.3 Ocorre transferência de calor na seguinte situação (entre corpos à temperatura de 10°C e à temperatura de 40°C)? Explique:

-40°C

-10°C

1.4 Ocorre transferência de calor na seguinte situação (entre corpos à temperatura de -20°C e à temperatura de 30°C)? Explique:

-20°C 30°C

Inicialmente mostram-se três situações de corpos a temperaturas diferentes a uma determinada distância um do outro, e a última situação onde os corpos com temperaturas diferentes estão encostados:

O aluno A, 18 anos, sexo masculino, 4^a série, Curso Eletrotécnica responde que não há transferência de calor entre os corpos nas três primeiras situações, pois não há superfície de contato entre eles. No último há transferência de calor até ocorrer o equilíbrio térmico. Este aluno explica através da entrevista.

Aluno A: Na questão 1.1, está perguntando se ocorre transferência de calor entre os corpos e como o desenho mostra, eles não estão em contato então não há transferência de calor entre os corpos. Há com o meio, mas como a pergunta é entre os corpos, eu coloquei que não há. A mesma coisa na 1.2 e a mesma coisa na 1.3. Não têm transferência de calor na 1.1, 1.2 e 1.3, porque eles não estão em contato. Na 1.4 há transferência de calor, eles estão com temperaturas diferentes e eles têm uma superfície de contato em comum e, por isso, haverá transferência de calor até o momento em que eles entrarem em equilíbrio térmico.

O aluno acredita que o fato de os corpos não estarem encostados impede a transferência de calor entre eles. Há regularidades nas suas respostas, pois afirma que nos itens 1.1, 1.2 e 1.3, onde os corpos não estão encostados não há transferência de calor, mas no item 1.4, onde os corpos estão encostados, ele acredita, por essa razão, que há transferência de calor. Para Vergnaud (1993, p.18), *podem-se delimitar impressionantes regularidades entre crianças, no modo pelo qual abordam e tratam uma mesma situação nas concepções primitivas que fazem dos objetos, suas propriedades e relações, e nas etapas por que passam. As regularidades envolvem distribuições de procedimentos e não são univocamente determinadas. Seu conjunto forma um todo coerente para um dado campo conceitual.* Nas respostas do estudante, observam-se regularidades coerentes para o aluno. Na sua lógica, o aluno desconsidera, por exemplo, as trocas de calor por radiação. Assim, para ele, é necessário que os corpos estejam encostados para que ocorra transferência de calor.

O aluno B, 19 anos, sexo masculino, 4^a série, Curso de Mecânica diz que há transferência de calor entre os corpos nas quatro situações e explica.

Aluno B: Há transferência de calor entre os corpos, nas quatro situações, pois existe diferença de temperatura entre os corpos.

O aluno B dá uma explicação sucinta, mas de acordo com a conceitualização aceita pela comunidade científica.

A aluna C, 21 anos, sexo feminino, 4ª série, Curso de Eletrônica responde que há transferência de calor entre os corpos nas quatro situações e explica:

Aluna C: No item 1.1, este vai fornecer para este (a aluna mostra primeiro o corpo de -10°C e depois o corpo de 20°C) até que ambos fiquem iguais (a aluna quer dizer com a mesma temperatura).

Embora a aluna não utilize a linguagem científica adequadamente, pois ao tentar dizer que os corpos atingem a mesma temperatura, ela diz que ambos ficam iguais. Pode-se perceber que a aluna possui esse conhecimento científico, mas de forma implícita, e a mesma não conseguiu explicitá-lo adequadamente. Como diz Vergnaud (1993, p. 4): *explicitar é difícil. Sempre há muito de implícito nos esquemas*. Por outro lado, Moreira (2004, p. 17) explica que *um conceito-em-ação não é um verdadeiro conceito científico, nem um teorema é um verdadeiro teorema a menos que se tornem explícitos*. Mas, Vergnaud (2004, p. 103) diz que *nem sempre é necessário, para se raciocinar corretamente, explicitar os teoremas sobre os quais se apoia o raciocínio*.

Aluna C: No segundo caso (item 1.2), como esta temperatura é menor que esta (a aluna mostra primeiro o corpo de temperatura -10°C e depois o de temperatura -40°C), a tendência acredito eu do sistema, havendo troca, um vai, vamos ver este aqui vai (a aluna mostra o corpo com temperatura de -10°C) influenciar este de maior temperatura negativa (a aluna mostra o corpo com temperatura de -40°C). Vai influenciar na temperatura do segundo corpo.

No item 1.2, novamente a aluna não consegue explicitar adequadamente seu pensamento. Pode-se inferir pela resposta, que ela entende que há uma transferência de calor do corpo de temperatura -10°C para o de temperatura -40°C , muito embora a aluna utilize "vai influenciar", ao invés de vai transferir calor. Outro problema evidenciado na resposta da aluna está relacionado às temperaturas negativas, pois a aluna se refere ao corpo de temperatura -40°C como o corpo de maior temperatura negativa. Vergnaud (1990, p. 26) *fala do problema com os números negativos, como os estudantes têm dificuldade em trabalhar com eles e interpretá-los, quando encontram tais números como solução de equações e inequações. Explica, ainda, que os números negativos não foram aceitos pelos matemáticos por um longo período da história*. Esta dificuldade, já observada por Vergnaud, aparece também na entrevista com esta aluna. Outra dificuldade que

também aparece é com a própria representação da temperatura negativa. Vergnaud (2004, p. 103) mostra que as palavras e os signos desempenham um papel importante na conceitualização. A representação de temperaturas negativas não está clara para a aluna, uma vez que pensa que a temperatura de -40°C é uma temperatura negativa maior do que -10°C .

Aluna C: Este caso (item 1.3) é parecido com o primeiro, onde um vai influenciar a temperatura do outro, e a troca de calor seria desse corpo que tem maior temperatura (a aluna mostra o corpo com temperatura de 40°C) para o de menor (a aluna mostra o corpo de temperatura de 10°C).

No item 1.3, a aluna explica corretamente que há transferência de calor do corpo de maior temperatura para o de menor temperatura. Moreira (2004, p. 21) explica que a construção do conhecimento pelo aprendiz não é um processo linear, facilmente identificável. Ao contrário, é complexo, tortuoso, demorado, com avanços e retrocessos, continuidades e rupturas. O domínio de um campo conceitual leva muito tempo, com avanços e retrocessos. Avanços e retrocessos podem ser observados nas respostas da aluna. Por exemplo, no item 1.3, ela responde de acordo com a conceitualização aceita cientificamente, enquanto que nos itens 1.1 e 1.2 observamos dificuldade na explicitação dos esquemas da aluna.

Aluna C: Eu só não entendi este quarto (item 1.4), se tem alguma ligação com o fato de eles estarem próximos, porque daí a transferência de calor é direta, então um estaria influenciando a temperatura do outro corpo muito mais diretamente que nos outros casos.

A aluna observa que há diferença nos processos de transferência de calor, pelo fato de os corpos estarem encostados, mas também não consegue explicitar que tipo de processo de transferência de calor pode ocorrer neste caso. Moreira (Ibid., p. 17) mostra que, em geral, *os alunos não são capazes de explicar ou mesmo expressar em linguagem natural seus teoremas e conceitos-em-ação. A maioria desses conceitos e teoremas-em-ação permanecem totalmente implícitos, mas eles também podem ser explícitos ou tornarem-se explícitos e aí entra o ensino para ajudar o aluno a construir conceitos e teoremas explícitos, cientificamente aceitos, a partir do conhecimento implícito. É nesse sentido que conceitos-em-ação e teoremas-em-ação podem, progressivamente, tornarem-se verdadeiros conceitos e teoremas científicos, mas isso pode levar muito tempo. Por isso, mesmo tendo*

estudado Termodinâmica no ano anterior, a aluna evidencia avanços e retrocessos, pois os conceitos-em-ação e teoremas-em-ação que os alunos trazem levam muito tempo para transformarem-se em verdadeiros teoremas e conceitos científicos.

O aluno D, 18 anos, sexo masculino, 3ª série, Curso de Química, responde dizendo que há transferência de calor com o ar nos três primeiros casos (itens 1.1, 1.2 e 1.3) e que, no último (item 1.4), há transferência direta de calor. Então, questiona-se:

Pesquisadora: Tu colocas que ocorre transferência de calor com o ar. Não ocorre transferência de calor, por exemplo, de um corpo para o outro?

Aluno D: Mas, eles não estão em contato. A única coisa que está em contato com eles é o ar. O ar está com temperatura diferente, havendo transferência de calor, pode ser do ar para o corpo ou do corpo para o ar, para que se igualem. Só há transferência de calor quando eles estão em contato. Exceto com o ar, e daí, vai haver transferência de um corpo para o ar e do ar para o outro corpo. E na última questão, (item 1.4) como eles estão juntos a tendência é os dois se igualarem porque eles estão em contato um com o outro.

Assim como o aluno A, o aluno D diz que há transferência de calor de um corpo para o outro se os corpos estiverem encostados. Nos itens 1.1, 1.2 e 1.3, o aluno desconsidera a transferência de calor por radiação, pois pensa que só pode haver transferência de calor de um dos corpos para o ar e do ar para o outro corpo. Este aluno também não consegue expressar adequadamente o seu esquema mental, pois diz "para que se iguale" no lugar de "para que as temperaturas se igualem" ou "para que os corpos atinjam o equilíbrio térmico".

Nos alunos A e D, aparece novamente o que chamamos de indicador de invariante operatório "ocorre transferência de calor quando os corpos estão encostados", já detectado na parte dois da metodologia. Tal invariante não é universal, pois não é detectado nos alunos B e C, mas provavelmente deve aparecer em muitos alunos, uma vez que já foi identificado no questionário anterior e, nesta entrevista, dos quatro alunos entrevistados dois apresentaram tal invariante.

No conjunto de questões dois:

2.1 Quando um sistema troca energia com a sua vizinhança, se for realizado trabalho pelo sistema, o que acontecerá com a energia interna do sistema? Este

trabalho realizado será positivo ou negativo? Justifique sua resposta (adaptado de Máximo e Alvarenga, 1998):

2.2 Um sistema sofre uma transformação na qual ele absorve 210 J de calor e se expande, realizando um trabalho de 320 J.

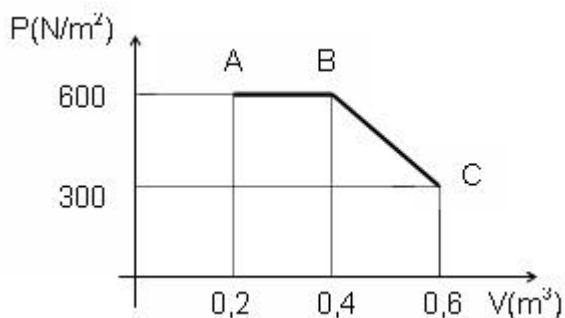
Calcule a variação da energia interna que o sistema experimentou.

Interprete o significado desta resposta (houve aumento ou diminuição da energia interna) (Máximo; Alvarenga, 1998).

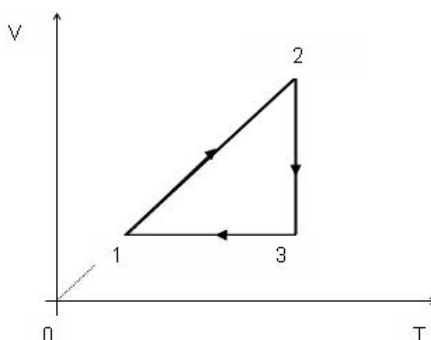
2.3 Certa quantidade de gás ideal sofre a transformação ABC indicada no gráfico. Durante o processo, o gás recebe 500J de calor de uma fonte térmica.

O trabalho realizado é positivo ou negativo?

A variação da energia interna é positiva ou negativa? Há um aumento ou diminuição de energia interna?



2.4 É positivo ou negativo o trabalho realizado pelo gás durante os processos 1-2, 2-3 e 3-1 representados no gráfico? Determine se o gás recebe ou cede calor em cada um desses processos. O que acontece com a energia interna? (adaptado de Bukhovtsev, Klimontovitch e Miakichev, 1982, p. 65-91).



Entrevista com o aluno A:

Aluno A: Na questão 2.1 eu respondi que a energia interna diminuirá, onde diz que o trabalho será realizado pelo sistema, então ele está gastando energia para isto, e eu coloquei que o trabalho é positivo, porque não é descontado o valor, é somado, então é positivo.

O aluno responde corretamente. De fato, como o sistema está realizando trabalho, há um consumo de energia do sistema, assim a energia interna diminuirá, pois se considera que não há trocas de calor, uma vez que o problema não faz referências a respeito de trocas de calor. O aluno responde também corretamente que o trabalho é positivo, embora ele não explique que, quando o trabalho é realizado pelo sistema, há um aumento de volume e, conseqüentemente, o trabalho será positivo. O aluno não consegue explicitar adequadamente seu pensamento, ele considera que a energia gasta pelo sistema para realizar trabalho é adicionada ao próprio trabalho, portanto, para ele, o trabalho é positivo.

Vergnaud (apud Greca e Moreira, 2004, p. 43) compara os conhecimentos explícitos com a ponta de um iceberg da conceitualização: sem a parte oculta dos invariantes operatórios, estes nada seriam. Por outra parte, sem a ajuda do conhecimento explícito, demonstrado no uso de proposições, funções proposicionais, não se poderia conhecer os invariantes operatórios associados aos esquemas. Em geral, os alunos não são capazes de explicar ou mesmo expressar em linguagem natural, os teoremas e conceitos-em-ação que utilizam para a identificação dos elementos pertinentes e para o estabelecimento de seqüências de cálculos que devem ser efetuados. O papel do ensino é a construção de conceitos e teoremas explícitos para que possam ser negociados e transformados em verdadeiros conceitos científicos. Vergnaud (Ibid.) explica que a transformação de invariantes operatórios em palavras e textos ou em qualquer outro sistema semiótico (gráficos, diagramas, notação algébrica...) não é direta, pois existem importantes lacunas entre aquilo que é representado na mente do indivíduo e o significado usual das palavras.

Aluno A: Na questão 2.2, o item a) eu não fiz, por que eu não lembro a fórmula, e no item b) eu respondi que aumentou seguindo a lógica da questão 2.1. Na questão 2.3, eu respondi que a energia interna aumentou, eu usei a mesma análise, respondi a letra b) usando a mesma lógica da questão 2.1. E a a) eu não calculei, porque eu não sei como é o cálculo.

Como não foi compreendida a lógica do aluno, foi pedido que explicasse:

Pesquisadora: Por que tu achas que a energia interna aumenta?

Aluno A: Na questão 2.2, porque eu utilizei a mesma lógica, o trabalho é realizado pelo sistema, e aqui o trabalho também é realizado pelo sistema. Eu me lembro que é preciso calcular a área do gráfico. Não lembro exatamente para quê. E aqui na 2.4 é a mais difícil, não tenho a mínima ideia de como se faz.

Nas questões 2.2 e 2.3, o aluno não responde aos itens que envolvem cálculos matemáticos. O fato de o aluno não ter respondido ao item a das questões 2.2 e 2.3 compromete as respostas da letra b. Ele explica que usou a mesma lógica da questão 2.1, mas ele se equivoca, pois na questão 2.1 o sistema realiza trabalho, e a energia interna diminui; na questão 2.2 o sistema também realiza trabalho, e o aluno diz que a energia interna aumenta. O aluno não faz uma análise adequada, pois não faz referências às trocas de calor. No item 2.2, a energia interna diminui, e no item 2.3, de fato a energia interna aumenta, mas não pela mesma razão da questão 2.1. O sistema recebe uma quantidade de energia na forma de calor superior à quantidade de energia que é gasta na realização de trabalho, assim há um aumento na energia interna do sistema. Na questão 2.1, o estudante mostra ter uma compreensão do significado da energia interna, já nas questões 2.2 e 2.3, há um retrocesso, e as explicações não têm coerência. O aluno lembra que a área do gráfico interfere, mas não lembra que está relacionada ao trabalho. Greca e Moreira (2004, p.38) explicam que o domínio de um campo conceitual ocorre durante longos períodos de tempo, de forma que novos problemas e novas propriedades relacionados a ele devem ser estudados ao longo de vários anos se quisermos que os estudantes o dominem progressivamente. Ou seja, as dificuldades conceituais enfrentadas pelos estudantes em relação a um determinado campo conceitual não podem ser contornadas de uma vez, mas superadas progressiva e lentamente.

O aluno A explica que não sabe responder a questão 2.4.

Entrevista com o aluno B:

Aluno B: A 2.1 e a 2.2 eu não sei, e na 2.3 acho que há um aumento de energia interna, porque recebe 500 J, então eu acho que aumenta a energia interna. Ele está recebendo energia e ela é positiva porque há um aumento. Está recebendo energia, então é uma energia positiva.

O aluno B não responde as questões 2.1 e 2.2. À questão 2.3, ele responde corretamente a letra b, dizendo que há um aumento na energia interna, só que raciocina em termos do ganho de energia na forma de calor e não faz referência ao trabalho realizado. Ele está, de fato, correto ao analisar que o ganho de calor representa um aumento de energia interna. O aluno mostra ter pouco domínio no campo conceitual da Termodinâmica, mas mostra compreender que, se o sistema recebe calor, a representação dessa energia é positiva, e isto conduz a um aumento da energia interna. As representações e os signos são importantes, e mais do que isto, para Vergnaud (2004, p. 93), os signos são instrumentos psicológicos. Mas para que essa afirmação seja verdadeira é necessário que os conceitos que eles representam sejam operatórios. O campo conceitual da Termodinâmica é difícil de ser dominado, uma vez que envolve distintos conceitos e sinais (por exemplo, calor positivo significa que o sistema está recebendo energia, calor negativo significa que o sistema está perdendo energia; trabalho positivo significa que o sistema está perdendo energia, trabalho negativo significa que o sistema está recebendo energia; quando a energia interna aumenta, ela é positiva, e quando diminui, ela é negativa) que têm significados dentro deste campo conceitual. Segundo esclarecimentos de Moreira (2004, p. 21) temos que:

as dificuldades enfrentadas pelo sujeito estão no fato de que os modelos científicos fazem uso de entidades que geralmente não são acessíveis sensorialmente. Em Física, por exemplo, os estudantes enfrentam uma dificuldade que também existe na Álgebra: a verificação do significado de representações simbólicas depende não só da habilidade que o sujeito tenha para representar as entidades e as relações entre elas, mas principalmente dos elementos conceituais que devem ser levados em conta.

Aluno B: E na 2.4 acho que o trabalho é positivo, mas no processo 1-2, aumenta a temperatura, no processo 2-3 ela não altera (o aluno quer dizer não varia a temperatura) e no 3-1 volta ao seu estado inicial (volta à temperatura inicial), mas, no todo, acho que o processo é positivo.

Ao insistir numa explicação do aluno a respeito da resposta, o aluno B simplesmente responde que o trabalho é positivo.

Pesquisadora - Por que o trabalho realizado é positivo?

Aluno B: O trabalho realizado é positivo, não sei explicar.

Na questão 2.4, o aluno interpreta corretamente as variações de temperatura no gráfico, mas não faz nenhuma referência ao volume e nem relaciona o volume com o trabalho. Ele simplesmente responde que o trabalho é positivo, não diz em que trecho. De fato, se fosse analisado o trecho 1-2, onde há aumento de volume, o trabalho é positivo, já no trecho 2-3, onde há diminuição de volume, o trabalho é negativo, e, no trecho 3-1, não há realização de trabalho. A resposta do aluno é incompleta, ele demonstra não ter domínio, pois não explica mesmo solicitado pela pesquisadora. Moreira (2004, p. 8) *esclarece que a teoria dos campos conceituais é uma teoria complexa, pois envolve a complexidade decorrente da necessidade de abarcar em uma única perspectiva teórica todo o desenvolvimento de situações progressivamente dominadas*. Então, é normal que o aluno não domine completamente o campo conceitual da Termodinâmica, pois as situações são dominadas progressivamente ao longo de muito tempo.

Entrevista com a aluna C:

Aluna C: Na questão 2.1, eu deduzo da seguinte forma, se um sistema está realizando um trabalho e, nesse mesmo instante, ele tem que realizar troca com o meio externo, ele vai acabar realizando trabalho negativo, porque ele vai estar fazendo o trabalho e, ainda, tem que desperdiçar e mandar energia para outra (quando a aluna se refere a outra, ele quer dizer para a sua vizinhança), ele estará realizando um trabalho negativo.

A aluna C não responde o que acontece com a energia interna do sistema. Não interpreta as trocas de energia com a vizinhança como trabalho. Ela supõe outra forma de energia que deve ser transferida para a vizinhança e, quando interpreta, supõe o trabalho negativo, uma vez que há transferência de energia para a vizinhança do sistema. Ela não percebe que a energia que está sendo transferida é o próprio trabalho que, neste caso, é positivo, e a energia interna, sim, é negativa, uma vez que há uma diminuição da energia interna, pois parte dela foi utilizada na realização de trabalho. O funcionalismo cognitivo do sujeito em situação depende do estado de seus conhecimentos, implícitos ou explícitos. Vergnaud (1993, p.25) chama a atenção, pois *deve-se dar grande atenção ao desenvolvimento cognitivo, às suas continuidades, rupturas e passagens forçadas, à complexidade relativa das classes de problemas, aos procedimentos e representações simbólicas, à análise*

dos erros e insucessos principais. É importante, para o avanço num campo conceitual, analisar os erros e insucessos para ajudar o estudante a evoluir em tal campo conceitual.

Aluna C: Na questão 2.2, houve uma variação de 210 J para 320 J, então houve uma variação de 110 J nesta transformação, e o significado desta resposta é o aumento da energia interna, porque se ele expandiu, aumentou o volume, acredito que tenha relação com este aumento da energia interna. Então, acho que teve aumento da energia interna.

Pesquisadora: Você acha então que o volume está relacionado ao aumento de energia interna?

Aluna C: Acho que sim, porque se ele se expande, acho que deve ter tido algum aumento de energia. Eu não tenho plena convicção, mas acho que sim.

A aluna calcula a variação da energia interna, mas esquece o sinal. Tal esquecimento pode estar relacionado às dificuldades que a aluna já apresentou na questão 1, em relação a valores negativos, conseqüentemente, ela responde de maneira incorreta, pois na verdade há uma diminuição da energia interna do sistema. Como sinalizam Souza e Fávero (2004, p. 65), *a linguagem e os símbolos são importantes.* É importante salientar que, nesta questão, o aumento ou a diminuição da energia interna estão relacionados ao sinal da variação de energia interna, então é necessário que a aluna, além de calcular adequadamente tal variação, saiba o seu significado, o que representa o sinal positivo e negativo em termos de aumento e diminuição de energia interna. Para a aluna, a variação da energia interna está relacionada ao volume do sistema.

Aluna C: A questão 2.3, tem o gráfico para analisar, mostra que a pressão se mantém constante de A para B, de B para C ela cai pela metade (a aluna quer dizer que a pressão diminui para a metade do valor anterior). Pergunta se o trabalho realizado é positivo ou negativo. Eu acho que é positivo, porque recebe 500 J de calor. Então, se ele só está recebendo calor, acredito que seja positivo. Não diz que tem perdas.

Pesquisadora: Porque o trabalho é positivo?

Aluna C: Aqui, o trabalho realizado é positivo ou negativo, eu acredito que seja positivo, porque não menciona a existência de algum outro trabalho envolvido. Se ele está recebendo calor, acho que é positivo.

Aluna C: No item b, a variação da energia interna é positiva ou negativa? De acordo com o gráfico, se o trabalho é positivo, a variação da energia interna é negativa, pois se a pressão está caindo para a metade, então, eu acho que é negativa. Mas eu não saberia relacionar esta questão com a primeira, talvez tenha mais coerência entre as duas.

O trabalho é de fato positivo, mas não pela razão mencionada pela aluna. Ela relaciona o trabalho positivo ao fato de o sistema estar recebendo calor; na verdade, o trabalho é positivo porque há um aumento do volume do sistema representado no gráfico. No item b, a aluna explica que a energia interna é negativa, porque a pressão está diminuindo, na verdade, a variação da energia interna pode ser determinada através da Primeira Lei da Termodinâmica, a que a aluna não faz referência. Greca e Moreira (2003, p. 44-45) explicam que, para Vergnaud, o conhecimento está organizado em campos conceituais, cujo domínio, por parte do aprendiz, ocorre ao longo de muito tempo, através de experiência, maturidade e aprendizagem. A aluna mostra que ainda não tem o domínio do campo conceitual da Termodinâmica, ela não consegue relacionar, dentro deste campo conceitual, os conceitos de calor, trabalho e energia interna; como afirma Vergnaud, tal domínio é demorado.

A aluna C: A 2.4 analisando aqui o digrama (a aluna mostra o gráfico) que tem, do processo de um para dois, o sistema recebeu energia, porque o volume expandiu, aumentou. No segundo, o sistema perde energia porque o volume diminui. E do terceiro para o primeiro, a temperatura reduz e o volume se mantém constante. O que acontece com a energia interna, não sei, acredito que varia de acordo com o volume.

A aluna, assim como na questão 2.1, relaciona o aumento ou diminuição do volume ao ganho ou perda de energia do sistema. Aqui, novamente, aparece um problema na compreensão do que representam os signos. O esquema utilizado pela aluna é falho. Palmero e Moreira (2004, p. 22) explicam que:

os esquemas contêm elementos conceituais e procedimentais, dado seu caráter mediador entre o sujeito e a ação. Estes elementos são representados na mente. O conhecimento não é essencialmente simbólico, representa-se mentalmente através de símbolos, signos e outros modos.

Para Vergnaud (1997, p. 28),

a representação através de palavras e sentenças muda o status dos conceitos e teoremas. O processo de explicitação é difícil, mas os conceitos explícitos e teoremas capacitam os estudantes a objetivar seus conhecimentos e a discutir sua idoneidade e validade. A ciência é feita de textos explícitos, os esquemas não.

A aluna diz que não sabe o que acontece com a energia interna. O esquema da aluna falha porque ela utiliza uma representação inadequada e também não consegue explicitar seus esquemas, então diz que não sabe o que acontece com a energia interna.

Entrevista com o aluno D:

Aluno D: Na questão 2.1, o trabalho é positivo e a energia interna diminui. Eu não tenho o que explicar muito, eu só lembro que tinha uma relação entre o positivo e a energia interna.

Pesquisadora: Porque que o trabalho é positivo?

Aluno D: Eu sei que tinha uma relação, quando o sistema realiza trabalho e quando é realizado trabalho pelo sistema. Tenho uma vaga lembrança que quando o sistema realiza trabalho, o trabalho é positivo.

O aluno responde corretamente que o trabalho é positivo, e a energia interna diminui, mas não consegue explicar. Diz que lembra vagamente. Vergnaud (2004, p. 103) explica que *nem sempre é necessário, para se raciocinar corretamente, explicitar os teoremas sobre os quais se apoia o raciocínio*. Há evidências de que o aluno raciocina adequadamente, mas não consegue explicitar seus esquemas.

Aluno D: Na questão 2.2, $E = W - Q$, então $E = 320J - 210J = 110J$. De acordo com a fórmula que eu não tenho certeza que está certa, quando o trabalho é positivo a energia interna diminui. Acho que é isso, é isso que eu lembro.

Não lembrando da Primeira Lei da Termodinâmica, escreve uma relação incorreta entre energia, trabalho e calor. A Primeira Lei fala da variação da energia interna e não da energia interna. Assim, mesmo o aluno respondendo corretamente que há uma diminuição da energia interna e que o trabalho é positivo, ele não consegue explicitar seus esquemas. O aluno não responde às questões 2.3 e 2.4.

O conjunto de questões dois permitiu observar as dificuldades que os alunos apresentam nas representações, nos símbolos e nos significados atribuídos aos conceitos da Termodinâmica. Outro problema bastante evidente é a dificuldade de os alunos explicitarem seus esquemas. Os pesquisadores (Ibid., p. 20) esclarecem que:

o conhecimento-em-ação determina a ativação de nossos esquemas e, por isso, a resposta sempre tem uma parte de decisão consciente e uma parte de automatismo, é este automatismo que constrói os invariantes operatórios dos esquemas. Com eles enfrentamos determinadas situações e nelas estabelecemos vários registros das atividades que estamos realizando. As formas de organização dessas atividades são o que constituem os invariantes operatórios. Falamos, então, de um conhecimento que está na mente, que não é explícito, um conhecimento que, ainda que tenha muitos elementos simbólicos, não o é. Um conceito que forma parte desta estrutura cognitiva não evolui se o sujeito não for capaz de explicitá-lo, e desde esta perspectiva, a ajuda e a análise da explicitação permitirão determinar quais são os invariantes colocados em jogo no processo, assim como construir progressivamente objetos e predicados mais explicativos e de maior nível. O conhecimento-em-ação é o que permite a adaptação e, portanto, a capacidade de enfrentar novos problemas, novas situações, novas tarefas, novos desafios.

As dificuldades que os alunos apresentaram no campo conceitual da Termodinâmica evidenciaram avanços e retrocessos, continuidades e rupturas na relação entre os conceitos de temperatura, energia interna, calor e trabalho, mas é assim que se avança num campo conceitual. É necessário que os estudantes sejam capazes de explicitar seus conhecimentos-em-ação para poderem evoluir no campo conceitual da Termodinâmica.

Conjunto de questões três:

3.1 A figura representa o aquecimento de uma xícara de café. A partir da figura, descreva uma maneira de ir de B para A (Ferracioli e Castro, 2002):



3.2 É possível ceder calor a um gás e sua temperatura não sofrer variação? Explique. (Máximo e Alvarenga, 1998).

3.3 É possível fornecer calor a um gás e, apesar disto, sua temperatura diminuir? Explique. (Ibid.).

3.4 Assinale as afirmativas seguintes dizendo se cada uma delas está certa ou errada. Justifique sua resposta.

() I - Sempre que um gás recebe calor, sua temperatura sofre um acréscimo.

() II - Se um gás recebe calor, e sua energia interna não varia, seu volume aumenta obrigatoriamente. (op. cit.).

Entrevista com o aluno A:

Aluno A: A questão 3.1 está pedindo um modo de ir de B para A, na B a figura mostra que está frio e na A mostra que está quente, então eu respondi, utilizando uma fonte de calor ele pode esquentar.

Pesquisadora: É a única maneira?

Aluno A: Não, acho que não, ele pode entrar em contato com um corpo quente, ou pode colocar dentro do café um ferro quente que vai esquentar, através de um ebulidor, por exemplo, poderia esquentar.

O aluno responde, inicialmente, utilizando uma fonte de calor e, questionado, dá outras respostas com o mesmo significado, pois em todas as respostas o aluno sugere um objeto de maior temperatura. Fisicamente, não há diferença entre as respostas, uma vez que sempre vai haver transferência de calor do corpo ou fonte de maior temperatura para o café. O estudante não percebe que haveria outras formas, sem dispor de um objeto de maior temperatura. Vergnaud (2004, p. 89) explica que:

um dos problemas da aprendizagem é que, para quem ensina, já é evidente um certo número de coisas, e a questão central que se coloca é como se conquista e se adquire esse sentimento de evidência na sua atividade. É preciso prestar a Piaget uma justa homenagem, porque ele foi o primeiro a mostrar que o desenvolvimento da criança se dá através de atividades, de situações, e que, nelas, a evidência muda de campo.

Para o estudante, também é evidente que, para aquecer o café, é necessário um corpo de maior temperatura; só quando essa evidência mudar de campo ele vai compreender que há outras formas de aumentar a temperatura do café.

Aluno A: A questão 3.2, é possível ceder calor a um gás e sua temperatura não sofrer variação. Pelo que eu me lembro sim, aquela questão da energia interna e volume, só que eu não me lembro muito bem.

Não questão 3.2, o aluno já responde corretamente que é possível para um gás receber calor e não sofrer variação de temperatura, ele só não consegue explicar. De fato, um gás pode receber calor e utilizá-lo na realização de trabalho de tal forma que não haja variação da energia interna e, conseqüentemente, não haja variação de temperatura. O aluno não consegue explicitar seus esquemas. Para Vergnaud (1990, p. 145), *a ação operatória não é o todo da conceitualização do real. Não se debate a verdade ou falsidade de um enunciado totalmente implícito, e não se identifica os aspectos do real sem a ajuda de palavras, de enunciados, de símbolos e signos. O uso de significantes explícitos é indispensável para a conceitualização. É sempre necessário conseguir expressar o conhecimento implícito para que o mesmo possa ser negociado e aproximado do verdadeiro conhecimento científico.*

Aluno A: A 3.3, eu não me lembro.

O aluno A não consegue responder à questão 3.3. Tal fato também está de acordo com a Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud, pois o desenvolvimento de um campo conceitual não é imediato, faz-se com avanços e retrocessos, continuidades e rupturas.

Aluno A: Na questão 3.4, eu acho que se um gás recebe calor, e sua energia interna não varia, seu volume não aumenta obrigatoriamente. Acho que está errada, porque eu acho que para o volume variar ou qualquer coisa variar, a energia interna tem que variar também. Não me lembro exatamente do conceito.

Na questão 3.4, o aluno retrocede mais uma vez no campo conceitual, pois se um gás receber calor, e não houver variação da energia interna, necessariamente o volume do gás deve aumentar, pois a energia recebida através de calor deve ser utilizada na realização de trabalho pelo sistema, aumentando assim seu volume. O aluno responde de forma incorreta que o volume não aumenta obrigatoriamente. Ele acredita que existe uma relação entre a variação do volume e a variação da energia

interna. Aqui aparece também um problema de representação, o aluno não compreende o significado da variação do volume do sistema. Por isso, para Vergnaud (1993, p. 9), *um conceito é formado também por um conjunto de formas de linguagem que permite representar simbolicamente o conceito, suas propriedades, as situações e os procedimentos de tratamento (significante)*. O aluno não domina os significantes do campo conceitual da Termodinâmica.

Entrevista com o aluno B:

Aluno B: Na questão 3.1, acho que uma maneira do aquecimento do café é a troca de calor com uma substância com uma temperatura mais elevada que ele. Através de uma troca de calor poderia se chegar ao aquecimento.

Assim como o aluno A, o aluno B também acredita que para aquecer o café é necessário outro corpo com maior temperatura. Esta crença está dentro do campo de evidências do estudante, o que ele percebe no cotidiano é o aumento de temperatura através de um corpo com temperatura mais elevada.

Aluno B: Nas questões 3.2, 3.3 e 3.4 eu não posso falar, porque eu não conheço os princípios básicos dos gases.

As questões 3.2, 3.3 e 3.4 não foram respondidas pelo estudante, mostrando o que já foi comentado, que o desenvolvimento de um campo conceitual não é linear, há avanços e retrocessos.

Entrevista com a aluna C:

Aluna C: Na questão 3.1, a figura representa o aquecimento de uma xícara de café, a partir da figura 8 pede uma maneira de ir de B para A (aquecer o café). Acho que através da troca de calor. Ou colocando água quente no café frio vai alterar a temperatura e vai aquecer o café ou através da transferência de calor através do fogo. O fogo vai transferir calor para o café e o café vai aquecer, então as duas vão dar no mesmo. Todos os modos de aquecer o café seriam assim.

A aluna C também acredita que para aquecer o café é necessário um corpo de maior temperatura ou uma fonte de calor. Não há nada de recurso intuitivo que permite tratar esta situação. É o que Vergnaud (2005, p. 93) chama em algumas

situações de adição, *de contra-intuitivo*. Supor outra forma de aquecimento do café é contra-intuitivo para os estudantes.

Aluna C: A questão 3.2 pergunta se eu acho possível ceder calor a um gás, e a sua temperatura não sofrer variação. Não acho possível, mas eu não sei se teria como trocar ou ceder calor a um gás, e ele não alterar sua temperatura. Acho que não.

Na resposta da questão 3.2, embora a aluna demonstre dúvida, ela afirma que não é possível para um gás receber calor e não sofrer variação de temperatura. Esta resposta está coerente com a resposta da questão 3.1, pois a aluna acredita que para aumentar a temperatura de um corpo é necessária uma fonte de calor; logo, para ela, se houver fornecimento de calor a um gás, vai haver um aumento de temperatura. Como diz Vergnaud (Ibid.), *existem situações relativamente simples que vão ser compreendidas por extensão de um invariante operatório, e existem outras que vão resistir por muito tempo*. Há evidências de que um invariante operatório resistente faz parte dos esquemas da estudante e, por conta deste invariante, ela acredita que só é possível variar a temperatura de um corpo através de uma fonte de calor.

Aluna C: A questão 3.3, é possível fornecer calor a um gás e, apesar disto, sua temperatura diminuir? Também acho difícil porque está havendo troca de calor entre eles. Acho que não tem como fornecer calor e não aumentar a temperatura.

Há regularidades nas respostas da estudante e coerência entre elas, o invariante operatório que faz parte de seus esquemas atua em todas as questões. Ela responde de forma incorreta, mas há coerência entre suas respostas.

Aluna C: A questão 3.4: sempre que um gás recebe calor, a sua temperatura sofre um acréscimo. Acho que sim, porque está havendo troca de calor, e a tendência é que o gás vai se expandir, vai aumentar o volume. E, se um gás recebe calor, a sua energia interna não varia, seu volume aumenta obrigatoriamente. Quando o gás recebe calor, não sei se a energia interna vai variar, talvez sim, mas o volume aumenta. Acho que sim, tem uma fonte, trocando calor com ele, na temperatura ideal vai estar ocupando um certo espaço e, se aumentar, colocar energia, acho que vai expandir o gás.

Novamente, a aluna responde que sempre que um gás recebe calor, a sua temperatura sofre um acréscimo; logo, responde incorretamente, mas em coerência

com as respostas anteriores. Podemos observar que a aluna utiliza o mesmo esquema, então o invariante operatório atua em todos os itens da questão três. A aluna relaciona o recebimento de calor com o aumento de volume. Ela não comenta, porque provavelmente não se dá conta de que a não variação da energia interna implica em uma não variação de temperatura. Os conceitos do campo conceitual da Termodinâmica, para ela, não estão conectados. Ela acerta quando diz que, obrigatoriamente, há um aumento de volume, mas a explicação não é adequada, o que evidencia a falta de domínio do campo conceitual da Termodinâmica. Para Vergnaud (2003, p. 30),

campo conceitual é um conjunto vasto, porém organizado, a partir de um conjunto de situações. Para fazer face a essas situações, é preciso um conjunto de esquemas de conceitualizações e representações simbólicas. É também corrente tomar-se campo conceitual apenas como o conjunto de conceitos que permitem dar conta de uma situação ou de um conjunto de situações.

Os conceitos desse campo conceitual são conectados uns aos outros, e tal campo envolve uma série de competências que permite ao estudante reorganizar seus esquemas de acordo com a situação que está enfrentando.

Entrevista com o aluno D:

Aluno D: Na questão 3.1, posso aquecer o café fornecendo calor.

Pesquisadora: Fornecendo calor é o que você responde, seria a única forma?

Aluno D: Acho que sim. Lembro que tinha os três: pressão, volume e temperatura. Quando o volume não varia, variam os outros dois; o volume não varia, então tem pressão e temperatura. Para aumentar a pressão, diminui o volume. Pode diminuir o volume, além de fornecer calor. De acordo com o que eu lembro da teoria, as moléculas, elas iam se atritar e gerar calor. Perguntou uma maneira, a maneira mais fácil é fornecendo calor.

O aluno inicialmente responde que fornecendo calor, mas questionado pela pesquisadora, ele busca seus esquemas, relaciona os conceitos dentro desses esquemas e responde que pode diminuir o volume para aumentar a temperatura, além de fornecer calor. O aluno relaciona a situação com o estudo dos gases. O problema é que para os líquidos, embora teoricamente possível, não seria, na prática, possível variar a pressão e obter um aumento ou diminuição de temperatura.

O aluno buscou seus esquemas e, neles, encontrou a situação referente aos gases, então utilizou este esquema também para os líquidos.

Na questão 3.2: é possível fornecer calor a um gás e, apesar disso a sua temperatura não sofrer variação? O aluno responde que não, a variação da temperatura sempre ocorre quando um corpo recebe ou cede calor, mas quando explica através da entrevista, ele se contradiz:

Aluno D: A questão 3.2 foi um pouco mais difícil de lembrar, quer dizer, eu não lembrei. É possível ceder calor sem sofrer mudança (o aluno quer dizer variação de temperatura)? Para ceder calor. A temperatura é igual. Até teria, só que teria que variar ou a pressão ou o volume, ou os dois.

O aluno não lembra exatamente, mas admite que seria possível receber calor e não variar a temperatura do corpo. Isso seria possível, se o sistema realizasse trabalho, uma vez que o sistema consumiria, na realização de trabalho, a energia fornecida através de calor. Vergnaud (Ibid., p. 39) esclarece que *grande parte do procedimento de resolução de um problema não é explicitada. Isso tem a ver com toda a ideia de conhecimentos implícitos, com os conceitos de teorema-em-ação ou de conhecimentos-em-ação*. O estudante, ao responder por escrito as questões, responde de forma incorreta, mas, ao ser entrevistado, ele busca seus esquemas, tenta explicitá-los e admite outras possibilidades. O aluno avança e retrocede no campo conceitual.

Na questão 3.3, quando o aluno é questionado se é possível fornecer calor a um gás e, apesar disso, a sua temperatura diminuir, ele responde que não, que quando um corpo recebe calor, a sua temperatura aumenta. Mas, ao ser entrevistado, ele responde que é igual à anterior. Como no item anterior, ele admite que é possível receber calor sem variar a temperatura, e nesta ele admite receber calor e diminuir a temperatura do corpo.

Aluno D: Na questão 3.3, recebendo calor, diminui a temperatura. É igual à anterior.

Na questão 3.4a: sempre que um gás recebe calor, sua temperatura sofre um acréscimo, o estudante D responde que sim, quando entrevistado, mas a pesquisadora continua questionando o estudante.

Pesquisadora: Tu achas que sempre que um gás recebe calor a sua temperatura aumenta?

Aluno D: Acho que não, pois poderia variar a pressão ou o volume.

Na questão 3.4b: se um gás recebe calor e sua energia interna não varia, seu volume aumenta obrigatoriamente, o estudante D responde corretamente que sim, pois é uma maneira de realizar trabalho, e explica através da entrevista.

Aluno D: Temperatura igual, só que, ao invés da temperatura, varia a pressão ou o volume.

O aluno percebe que a não variação da energia interna implica numa não variação de temperatura. É interessante observar as idas e vindas deste aluno dentro do campo conceitual da Termodinâmica, porque exceto à questão 3.4b, ele responde às questões, por escrito, de forma incorreta, mas ao explicitar seus esquemas através da entrevista, acaba percebendo que existem outras relações entre os conceitos do campo conceitual da Termodinâmica, então ele admite que o gás possa receber calor e a sua temperatura diminuir ou não variar. Basta lembrar Vergnaud (Ibid., p. 40): *se o desenvolvimento do conhecimento não é linear, a organização das situações também não é estritamente linear*. Não há linearidade também nas respostas do aluno; parece que, inicialmente, ele busca esquemas mais evidentes, mas, posteriormente, quando tem que verbalizar suas respostas, busca outros esquemas ou reorganiza-os.

6.5 Conclusão sobre o estudo exploratório

A primeira parte dos resultados deste estudo exploratório apresenta uma análise dos significados dos conceitos da Termodinâmica (temperatura, calor, energia interna, trabalho e entropia) apresentados por 99 estudantes do ensino médio e técnico. A maioria dos significados atribuídos aos conceitos de temperatura e calor já foi catalogada como ideias prévias detectadas por diferentes autores.

Embora essas ideias prévias possam servir como obstáculo epistemológico, Vygotsky (apud Vergnaud, 2004, p. 22) salienta que o desenvolvimento dos conceitos científicos deve, sem falta, apoiar-se sobre um nível de maturação dos conceitos espontâneos que não podem ser desprovidos de interesse para a formação dos conceitos científicos. Também nos significados de energia interna e trabalho encontramos respostas relacionadas aos conceitos cotidianos como: energia interna associada à energia contida dentro do corpo ou trabalho associado a esforço físico. Esses conceitos já foram desenvolvidos no ensino formal para esses estudantes, mas

um conceito é mais do que a soma de certos vínculos associativos formados pela memória, é mais do que um simples hábito mental; é um ato real e complexo de pensamento que não pode ser aprendido por simples memorização, só podendo ser realizado quando o próprio desenvolvimento mental houver atingido o seu nível mais elevado. Os conceitos psicologicamente construídos evoluem como significados das palavras. No início, é uma generalização do tipo mais elementar que é substituída por generalizações de um tipo cada vez mais elevado, culminando o processo na formação dos verdadeiros conceitos. (Vygostky, 2001, p. 246).

A aprendizagem de conceitos é um processo em evolução que ocorre ao longo do tempo, assim, é normal que a primeira conceitualização esteja mais relacionada aos conceitos cotidianos.

O conceito de entropia é totalmente desprovido de significado para os estudantes, uma vez que não faz parte de conceitos cotidianos e também não foi desenvolvido no ensino formal.

Os resultados apresentados na segunda parte da metodologia referem-se a possíveis indicadores de invariantes operatórios que apareceram nas situações propostas a estudantes do ensino médio envolvendo conceitos do campo conceitual da Termodinâmica. Nesta parte da pesquisa, tivemos o cuidado de trabalhar com o que chamamos de “possíveis indicadores de invariantes operatórios”, porque temos consciência de que a identificação de invariantes operatórios (regras que o sujeito considera verdadeiras sobre a realidade e categorias de pensamento tidas como

pertinentes), segundo Vergnaud, não tem nada de trivial. É pouco provável que sejam identificados através de um único instrumento, por melhor que seja sua validade e fidedignidade. Os invariantes operatórios são componentes dos esquemas, e estes se aplicam a classes de situações. Seria, então, necessário propor ao sujeito várias situações de uma mesma classe para tentar perceber alguma regularidade em suas respostas que pudesse ser identificada como invariante operatório.

Na terceira parte dos resultados, onde foi empregada a entrevista, evidenciamos como é tortuoso o caminho para o desenvolvimento de um campo conceitual. Ele não é linear, possui avanços e retrocessos, filiações e rupturas. O desenvolvimento do campo conceitual é diferente para os diferentes alunos. Enquanto um avança corretamente no campo conceitual, o outro avança e retrocede, e outro ainda dá suas respostas incorretas, mas com coerência entre elas. Cada aluno se desenvolve de maneira distinta dentro do campo conceitual. O que se pode observar em todos é a não linearidade e os avanços e retrocessos. Vergnaud (op. cit., p. 50) também chama a atenção para uma flagrante complexidade didática que deriva do fato de que os alunos não se desenvolvem todos da mesma maneira. Há alunos que compreendem bem umas coisas, e outros não.

E para concluir este capítulo apresentamos uma relação de publicações originadas pelo Estudo Exploratório:

2006 - Possíveis indicadores de invariantes operatórios apresentados por estudantes em conceitos da termodinâmica. Artigo publicado na Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 28, n. 4, p. 463-471.

2007 - Significados atribuídos pelos estudantes aos conceitos da termodinâmica. Artigo publicado Indivisa: Boletín de estudios e investigación, ISSN 1579-3141, Nº. Extra 8, 2007, p. 239-252.

2007 - Significados dos conceitos da termodinâmica e possíveis indicadores de invariantes operatórios apresentados por estudantes do ensino médio e técnico. Artigo publicado na Revista Liberato, v. 9, n. 2, p. 7-12.

7 ESTUDOS EXPERIMENTAIS

Cada estudo experimental introduz através de situações um conceito da Termodinâmica. Os estudos experimentais são constituídos de uma análise da discussão oral dos estudantes durante a resolução das situações em dupla, uma análise das respostas escritas e uma análise das avaliações realizadas ao final de cada estudo, cujo objetivo era verificar o desenvolvimento da conceitualização durante a aplicação da proposta didática.

7.1 Estudo Experimental I – Introdução do Conceito Temperatura

Este é o primeiro de cinco estudos experimentais sobre os conceitos da Termodinâmica. Ele apresenta a metodologia que visa introduzir tais conceitos por meio de situações, uma vez que, conforme o referencial teórico utilizado, é na experiência de situações-problema que os conceitos adquirem sentido para os estudantes e, ainda, o enfrentamento inicial de situações possibilita diagnosticar os conhecimentos prévios dos alunos a respeito destes conceitos.

No final do estudo, foi realizada uma avaliação que visou verificar se os estudantes utilizam adequadamente o conceito temperatura abrangendo seus três aspectos (Vergnaud, 1993, p. 9).

7.1.1 Metodologia

No delineamento desta investigação, foi sorteada uma turma de terceira série do Curso Técnico em Eletrotécnica da Fundação Liberato, localizada em Novo Hamburgo, Brasil. A metodologia não introduziu os conceitos através de aula expositiva, mas através da resolução de situações sobre os novos conceitos pelos alunos, distribuídos em quinze duplas. Essa distribuição busca garantir a participação de todos nas discussões, facilita a mediação do professor e a troca de significados entre os estudantes.

Durante a operacionalização do trabalho, uma dupla de alunas prontificou-se a ter suas discussões gravadas para posterior análise. Assim, este trabalho apresenta as discussões destas alunas analisadas à luz da Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud. A exposição dos alunos às situações deste estudo visou introduzir o conceito temperatura. Esta foi a primeira aplicação da proposta didática que tem continuidade com a introdução de outros conceitos importantes do CCT. As situações discutidas estão apresentadas no Apêndice III, p. 399 (Exemplo de discussão escrita de situações sobre temperatura).

A proposta didática foi aplicada na turma 2311 (31 alunos mais um aluno de recuperação prolongada), estudantes do turno da manhã, cujas aulas para o estudo da temperatura e conceitos relacionados foram distribuídas na Tabela 16.

Tabela 16. Caracterização das aulas durante o desenvolvimento do conceito temperatura

| Data | Tempo | Aula | Gravação de uma dupla | Atividade |
|-------|---------|------|-----------------------|---|
| 14/06 | 50 min | 1 | ARI e SOL | Situações sobre temperatura |
| 15/06 | 50 min | 2 | ARI e SOL 20 min | Situações sobre temperatura (término) Discussão de um texto sobre mudanças de estado e temperatura (Apêndice V, p. 453 e 457) e observação de termômetros. |
| 21/06 | 50 min | 3 | | Discussão sobre temperatura (escalas termométricas) |
| 21/06 | 50 min | 4 | | Simulação computacional sobre movimento de átomos e moléculas (temperatura) e escalas termométricas |
| 22/06 | 50 min | 5 | | Atividade prática – Calibração de um termômetro a álcool e um sensor do tipo NTC |
| 28/06 | 100 min | 6-7 | | Resolução de problemas |
| 29/06 | 50 min | 1 | | Introdução do tema dilatação |
| 05/07 | 100 min | 2-3 | | Discussão sobre o texto dilatação (Apêndice V, p. 457) |
| 06/07 | 50 min | 4 | | Continuação da discussão sobre o texto dilatação |
| 12/07 | 100 min | 5-6 | | Resolução de problemas |
| 13/07 | 50 min | 7 | | Confecção de um mapa conceitual sobre os conceitos de temperatura e dilatação |
| 19/07 | 100 min | 8-9 | | Avaliação sobre temperatura e dilatação (Apêndice III, p. 433) |
| 20/07 | 50 min | 10 | | Atividade prática – dilatação linear e dilatação de um aro |

7.1.2 Apresentação e Discussão dos Resultados

Inicialmente, foi feita a análise da gravação da discussão de uma dupla de alunas na introdução do conceito temperatura, transcrita no Apêndice III, p. 401 -

Exemplo de transcrição de discussões das situações sobre temperatura, de acordo com os componentes dos esquemas ou esquemas definidos e descritos a seguir. Em seguida, foi feita uma análise das respostas escritas pelos estudantes, buscando categorizar as respostas das duplas e interpretar o sentido que eles foram atribuindo aos conceitos estudados. Após a discussão das situações pelas duplas de estudantes, foi feita uma discussão no grande grupo com a mediação do professor.

7.1.2.1 Análise da discussão oral das situações sobre temperatura

Para fazer a análise interpretativa das gravações obtidas, quando a dupla de estudantes foi submetida à confrontação com as situações a respeito de temperatura, utilizaram-se os componentes dos esquemas, a fim de diagnosticar como os estudantes acionam seus esquemas durante a exposição a situações que os desestabilizam e permitir que eles dessem sentido aos novos conceitos.

Vergnaud (1993, p. 2) distingue duas classes de situações: uma em que o estudante já dispõe de esquema que lhe permita enfrentar tal situação; e outra em que o estudante não dispõe ainda de um esquema. Neste caso, ele experimenta vários esquemas que entram em competição ou podem ser agregados para resolver o problema. O trabalho de Greca e Moreira (2002) integra os esquemas de assimilação de Piaget, na forma como são definidos pela Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud, com os modelos mentais de Johnson-Laird. Os pesquisadores acreditam que os invariantes operatórios são componentes dos esquemas de assimilação, assim como dos modelos mentais. Consideram os esquemas estruturas representacionais com certo grau de estabilidade na memória de longo prazo, enquanto os modelos mentais são construções da memória de trabalho, instáveis e funcionais. Quando a situação é nova o sujeito constrói modelos mentais para dar conta da situação, e, quando a situação já é conhecida, o sujeito utiliza um dos esquemas de assimilação armazenado. Os modelos mentais podem ser abandonados ou transformados em esquemas.

Assim, definimos dois tipos de construtos (esquemas ou modelos mentais que podem se transformar num esquema) na interpretação das falas das estudantes, conforme mostra a Tabela 17.

Tabela 17. Definição de construtos para a análise da discussão das alunas

| | |
|-----|--|
| EPR | Buscamos entender, pela fala dos estudantes, se os esquemas que eles estão utilizando são esquemas prontos (EPR) a serem acionados. Neste caso, o comportamento é amplamente automatizado e acionado por um só esquema que dá conta da situação proposta. São estruturas representacionais com certo grau de estabilidade. |
| ECO | Incluimos os esquemas que estavam sendo construídos (ECO) durante a ação dos estudantes ao enfrentar as situações. Eles fazem uso de vários esquemas, que vão sendo combinados e recombinados até a obtenção do esquema adequado ou modelos mentais que podem se transformar em esquemas ou serem abandonados. |

Na análise interpretativa, visamos evidenciar, também, os componentes dos esquemas que são postos em ação mediante a realização das situações. Quando o estudante enfrenta uma situação de uma classe, ele aciona um conjunto de ações organizadas que permite gerar uma classe de comportamentos distintos característicos, porém organizados, para cada situação a enfrentar nessa classe. Vergnaud (1993, p.19) explica que a organização invariante do comportamento frente a uma classe de situações é possível porque o esquema abrange quatro componentes: os invariantes operatórios, as antecipações, as regras de ação e as inferências. Assim, a Tabela 18 define os quatro componentes postos em evidência durante o desenvolvimento das situações.

Tabela 18. Definição dos componentes dos esquemas para a análise da discussão das alunas

| | |
|-----|---|
| IOP | Invariantes operatórios são conceitos-em-ação e teoremas-em-ação que indicam o reconhecimento pelo estudante dos componentes da situação; são conceitos e teoremas acionados no ato do desenvolvimento da situação. |
| ANT | Antecipações são efeitos esperados e eventuais etapas intermediárias que são postas em evidência mediante a situação a tratar; são os objetivos a alcançar. |
| REA | Regras de ação do tipo "se...então..." são regras que determinam a sequência das ações do aluno. |
| INF | Inferências são operações intelectuais que permitem determinar as regras e as antecipações a partir das informações e dos invariantes operatórios de que o estudante dispõe. |

Além de tentar diagnosticar os tipos de esquemas e seus componentes acionados durante o desenvolvimento das situações, para o ensino, é importante constatar em que momento da situação são necessárias filiações e rupturas. Quando Vergnaud (2003, p. 58) fala de filiações e rupturas, ele explica que, quando aprendemos alguma coisa nova, algumas vezes temos de nos apoiar em conhecimentos anteriores, e, outras vezes, esses conhecimentos anteriores podem tornar-se obstáculos para o novo conhecimento. Entende-se, como filiações, o apoio dos novos conhecimentos em conhecimentos anteriores e, como rupturas, quando é necessário romper com o conhecimento anterior para aquisição do novo

conhecimento. A Tabela 19 mostra como reconhecer, na fala dos estudantes, a necessidade de filiações e rupturas.

Tabela 19. Definição do diagnóstico de filiações e rupturas para a análise da discussão das alunas

| | |
|-----|--|
| FIL | Nas filiações, buscamos delimitar, no discurso dos estudantes, a necessidade de buscar, em conhecimentos anteriores, apoio para o desenvolvimento do novo conhecimento. |
| RUP | Nas rupturas, diagnosticamos na fala dos estudantes, a necessidade de romper com algum conhecimento anterior, uma vez que este conhecimento poderia tornar-se obstáculo à nova conceitualização. |

Nas aulas do dia 13/06/2007, 50 min, e do dia 14/06/2007, 25 min, totalizando um período e meio, foi solicitada aos alunos a discussão de seis situações a respeito de temperatura. Foram feitos recortes da discussão de uma dupla de estudantes, enquanto resolviam tais situações, e foram analisados de acordo com as definições explicitadas anteriormente. Na escolha das discussões a serem analisadas foi selecionado o núcleo da discussão eliminando aspectos secundários. Na transcrição das falas das estudantes, a professora está indicada como PRO, as alunas por ARI e SOL, e as falas grifadas correspondem àquelas que na nossa percepção poderiam dar pistas sobre a utilização de conhecimentos anteriores (FIL), rupturas com conhecimentos prévios (RUP), acionamento de esquemas automatizados (EPR), utilização de modelos mentais ou esquemas em construção (ECO), uso de invariantes operatórios (IOP), regras de ação (REA) e possibilidades de inferência (INF), ou ainda antecipações (ANT).

(A aluna ARI faz a leitura da situação 1):

1. ARI: Uma pessoa encontra-se com febre. a) Como é possível perceber a febre desta pessoa?

2. ARI: Através do aumento da temperatura.

3. SOL: Não, mas depois, como tu vais ver o aumento da temperatura? **Como tu vais ver que aumentou a temperatura? (ANT).**

4. ARI: Tu vais perceber a febre.

5. SOL: Não, através do termômetro. Vai ter o aumento. **Já que está com febre, vai ter aumento de temperatura (REA).**

6. ARI: **Mas será que é pelo instrumento? Ou é para dizer, pelo aquecimento? Porque aqui é para diagnosticar o estado febril e não febril (ECO).** Aqui é para dizer a temperatura que é febril e não febril.

7. SOL: Ah! Tá.

8. ARI: Eu acho.

9. SOL: Certo. A temperatura do corpo, eu acho que é 35°.

10. ARI: 36° , acima de 36° é febre.

11. ARI: Professora, aqui na um é para falar através das alterações do corpo ou do instrumento?

12. PRO: Pode explicar das duas maneiras. Com a alteração observada no corpo, qual é a alteração observada no instrumento?

13. ARI: **A temperatura do corpo normal é 35 ou 36 (IOP).**

14. PRO: $36,5^{\circ}$.

15. ARI: Acima de $36,5^{\circ}$ é febre.

16. PRO: É.

17. ARI: **Uma pessoa encontrando-se com febre, como é possível perceber a febre desta pessoa? (ANT)** É possível perceber a febre desta pessoa através de um aparelho. Através do termômetro. É possível perceber a febre através do termômetro.

18. SOL: **Quando marcar (INF).**

19. ARI: Quando marcar acima de 36° .

20. SOL: Espera aí, talvez ele tenha...

21. ARI: $36,5^{\circ}$ C. Como tu diagnosticarias o estado febril e o não febril? O estado febril é quando a temperatura do corpo é maior do que $36,5^{\circ}$. E o estado não febril é inferior ou igual a $36,5^{\circ}$.

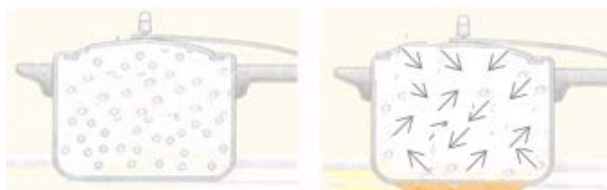
Através das respostas à primeira situação (turno 1 ao 21), podemos acreditar que as estudantes acionam um conjunto de esquemas (**ECO**), que vão compondo e recompondo para resolver a situação. Podemos, também, pensar que as respostas das estudantes, sugerem o funcionamento dos componentes do esquema. Quando a aluna SOL, no turno 3, questiona sobre como se vai observar o aumento de temperatura, ela parece estar fazendo referência ao objetivo que se quer alcançar (**ANT**), ou seja, como saber o estado febril ou não febril de uma pessoa.

Ao comentar “já que tem febre vai ter um aumento de temperatura”, turno 5, a aluna SOL provavelmente aciona uma regra de ação (**REA**), argumentando que o aumento de temperatura é uma consequência da febre. Quando a estudante ARI relaciona a temperatura do corpo com um valor numérico (turno 13), supomos que ela está invocando um invariante operatório (**IOP**), que está implícito, mas que evidencia uma relação entre a temperatura do corpo e um valor numérico. Quando a aluna ARI (turno 17) questiona-se sobre como é possível perceber a febre de uma pessoa, provavelmente usa uma antecipação (**ANT**). A aluna SOL, ao falar em quando marcar uma determinada temperatura (turno 18), através das antecipações, de regras de ação e de invariantes operatórios, infere (**INF**) sobre o estado febril ou não febril de uma pessoa.

A seguir é transcrita a discussão das alunas durante a realização da segunda situação.

(A aluna ARI lê a situação 2):

22. ARI: A figura abaixo mostra duas panelas com uma determinada substância. A segunda mostra uma maior energia cinética média do movimento de agitação de seus átomos e moléculas. Como você relacionaria a energia cinética média do movimento de agitação de seus átomos e moléculas com a sensação térmica das panelas? Por quê?



23. ARI: Tá, a figura abaixo mostra duas panelas com uma determinada substância.

24. SOL: As duas são iguais, a segunda mostra uma maior energia cinética média do movimento de agitação dos seus átomos e moléculas. **Como você relacionaria a energia cinética média do movimento de agitação de seus átomos e moléculas com a sensação térmica das panelas? (ANT)** Por quê?

25. SOL: Ah! **Esta está com uma temperatura maior que esta.**

26. ARI: **Por causa do movimento das moléculas (REA).**

27. SOL: Porque elas são a mesma, então quando a água ferve, as moléculas se movimentam mais.

28. ARI: Então é com o aumento da energia cinética. **A segunda panela tem um movimento maior (ECO)**, porque a temperatura inicial é maior que a primeira. Como você relacionaria a energia cinética média do movimento de agitação de seus átomos e moléculas com a sensação térmica das panelas? Bom, **a sensação térmica da segunda é maior que ...**

29. SOL: **a da primeira.**

30. ARI: **A sensação térmica da segunda é maior que a da primeira (IOP).**

31. SOL: Segunda panela.

32. ARI: Segunda panela é maior que a sensação térmica da primeira.

33. SOL: Da primeira panela.

34. ARI: da primeira panela.

35. SOL: panela.

26. ARI: Por quê?

37. SOL: Por quê?

38. ARI: **Porque com o aumento do movimento das moléculas, há um aumento de temperatura (IOP).**

Inicialmente, as alunas buscam os objetivos a alcançar (ANT) (turno 24), através do diálogo elas procuram se inteirar desses objetivos. Em seguida, em conjunto, elas parecem acionar uma regra de ação (REA), “se está com uma temperatura maior, há um movimento maior das moléculas” (turnos 25 e 26). Esta regra permite imaginar a presença de um invariante operatório (IOP) que relaciona “maior sensação térmica com maior agitação das moléculas e aumento de

temperatura” (turnos 30 e 38). Nesta situação, também é possível supor uma concorrência entre esquemas (ECO), uma vez que as alunas constroem e reconstróem sua resposta, dando evidência do acionamento de mais de um esquema (turnos 22 a 38).

A discussão durante a resolução da situação três é transcrita a seguir:

(A aluna ARI lê a situação 3):

39. ARI: Vamos supor que, na situação 2, a segunda panela tivesse o dobro do volume, com o mesmo comportamento dos átomos e moléculas. Você observaria diferença na temperatura? O dobro do volume, se tivesse mais.

40. SOL: **Acho que sim, porque tem aquela fórmula, da quantidade (FIL).**

41. ARI: **Mas é a quantidade de calor, o volume, aumentaria a massa, aumentaria a quantidade de calor, mas aquele ΔU é a diferença de outra coisa, não é a temperatura (RUP).**

42. SOL: **A temperatura então está relacionada ao movimento das moléculas (IOP).**

43. ARI: Essa aqui tipo água, se colocar fogo na água vai demorar menos para ferver.

44. SOL: Porque, na situação 2, se a segunda panela tivesse o dobro do volume com o mesmo comportamento dos átomos, aumenta.

45. ARI: É, mas é o mesmo comportamento dos átomos e moléculas.

46. SOL: Observaríamos diferença na temperatura.

47. ARI: **Não, pois o movimento dos átomos continua igual (INF).**

48. SOL: É porque o movimento seria proporcional ao, seria igual ao que tivesse menos, porque eles se comportam igual.

49. ARI: das moléculas.

50. SOL: Não, o movimento dos átomos e moléculas.

51. ARI: Dos átomos e moléculas.

52. SOL: Não teria alteração de comportamento.

53. ARI: Então vamos colocar assim, porque o movimento dos átomos e moléculas... eu tinha pensado a palavra, daí tu falaste... os átomos e moléculas. Os átomos e moléculas, eles têm o mesmo comportamento, né? Os átomos e moléculas continuam movimentando.

54. SOL: **Apesar de o volume ser o dobro, eles têm o mesmo comportamento (IOP).**

55. ARI: **Não, porque os movimentos dos átomos e moléculas têm a mesma intensidade após o aumento do volume (ECO).** Têm o mesmo comportamento.

56. SOL: Têm a mesma intensidade.

57. ARI: Têm a mesma intensidade, o comportamento dos átomos e moléculas.

58. SOL: É que eu tenho receio de colocar palavras diferentes.

59. ARI: Têm o mesmo comportamento, mesmo após o aumento de volume, mesmo após o aumento do volume da panela. O volume da panela.

Ao tentar responder a situação três (turno 40), a estudante SOL faz referência a uma fórmula, um conhecimento anterior (FIL) para resolver a situação. Mas a estudante ARI (turno 41) argumenta que aquele ΔU não é diferença de temperatura,

sendo necessária aí uma ruptura (**RUP**) com o conhecimento anterior. Em seguida, (turno 42), há evidência do acionamento de um invariante operatório (**IOP**), conceito-em-ação, quando a aluna relaciona a temperatura ao movimento de moléculas. E finalmente ambas parecem fazer uso da inferência (**INF**), quando concluem que não há diferença de temperatura, pois o comportamento dos átomos e moléculas é o mesmo (turno 47 e 48). Quando a aluna SOL (turno 54) diz que, apesar de o volume ser o dobro, os átomos e moléculas têm o mesmo comportamento, não está explícito, mas se pode deduzir a existência do teorema-em-ação (**IOP**): “o aumento do volume não interfere no movimento dos átomos e moléculas”. E, finalmente (turnos 39 a 59), pela fala das estudantes, acreditamos que novamente vários esquemas (**ECO**) entram em ação sem que nenhum dê conta sozinho da situação, o que levaria à acomodação cognitiva através da construção (**ECO**) de novo(s) esquema(s) para temperatura e energia cinética de átomos e moléculas.

A seguir, apresentamos a discussão das alunas durante a resolução da quarta situação.

(A aluna ARI lê a situação 4):

60. ARI: A água de uma chaleira a temperatura ambiente apresenta determinada energia cinética média de movimento de seus átomos e moléculas. Quando a chaleira é colocada sobre uma chama, há um aumento da energia cinética média de seus átomos e moléculas. Por quê?

61. ARI: **A chaleira será submetida a um aumento de temperatura (INF).**

62. SOL: Há uma troca de energia com a energia do fogão mais a energia da panela, causando um aumento de temperatura.

63. ARI: A água da chaleira tinha a temperatura ambiente e se equilibra com a temperatura submetida.

64. SOL: Não, porque ela não vai se equilibrar, ela vai chegar no máximo até 100° e vai ferver.

65. ARI: **A chaleira será submetida a um aumento de temperatura, então a temperatura ambiente da água da chaleira aumentará com o tempo até chegar a 100° (REA).**

66. ARI: Por que vai aumentar a temperatura?

67. SOL: Porque vai haver uma maior movimentação dos átomos e moléculas.

68. ARI: Sim, mas é isto que ela está perguntando, **porque vai haver uma movimentação de átomos e moléculas (ANT)**. A água da chaleira será submetida a um aumento de temperatura que impulsionará o movimento dos átomos.

69. SOL: Impulsionará o movimento dos átomos e moléculas, porque...

70. ARI: **Porque a água da chaleira será submetida a um aumento de temperatura, que aumentará o movimento dos átomos e moléculas e, conseqüentemente, a energia cinética (INF/ECO).**

71. SOL: Está.

72. ARI: Conseqüentemente, a energia cinética.

Inicialmente, as alunas parecem fazer uma inferência (**INF**) (turno 61) quando, a partir do enunciado, concluem que há um aumento de temperatura. Então, aparentemente, as alunas acionam uma regra de ação (**REA**): se a chaleira for submetida a um aumento de temperatura, então necessariamente a água chegará a 100°C (turno 65). Observamos, também, um retorno ao objetivo da situação anterior (**ANT**) (turno 68), quando a aluna ARI volta a se perguntar por que vai haver uma movimentação dos átomos e moléculas. Podemos supor, ainda, que as estudantes fazem novamente uso da inferência (**INF**) quando, a partir das informações apresentadas, supõem um aumento do movimento dos átomos e moléculas e da energia cinética como consequência do aumento de temperatura (turno 70). Nesta situação, também podemos pensar que vários esquemas são acionados para a resolução da situação (**ECO**).

As falas seguintes mostram a discussão da situação cinco pelas alunas:

(A aluna ARI lê a situação 5):

73. ARI: Vamos supor uma situação em que a energia cinética média dos átomos e moléculas que constituem um corpo seja praticamente nula, ou seja, os átomos e moléculas estão praticamente em repouso. Poder-se-ia relacionar esta situação com uma temperatura? Poder-se-ia fazer leituras de temperaturas inferiores a esta? Por quê?

74. SOL: **Acho que sim, sim poderia, eles estão a 0°C, eles estão congelados (RUP).**

75. ARI: Poderia se relacionar com alguma temperatura, sim, é que a gente não sabe qual é a situação, porque ela não explicou, quando está a 0°, se realmente estão parados ou não.

76. SOL: Inferior, ela está dizendo que é baixa.

77. ARI: Mas está perguntando.

78. SOL: Sim, eu sei, praticamente nula. Quando for nula a energia cinética.

79. ARI: A energia cinética, bem, mas não mede a temperatura.

80. SOL: Não, **mas quando a temperatura é baixa, eles não se movimentam (REA).** Poder-se-ia relacionar esta situação com alguma temperatura. Relaciona-se com uma temperatura muito baixa, quase chegando a 0°.

81. ARI: **Poder-se-ia fazer leituras de temperaturas inferiores a esta (ANT)?** Sim, porque, tem que ver o porquê da primeira. Sim, porque apesar de ela estar praticamente nula, tem uma certa temperatura. Ela está pedindo para relacionar... movimento com a temperatura.

82. SOL: Pode, né? Tem que dizer por que, por que ela é alta ou ela é baixa.

83. ARI: Porque ela é baixa. Poder-se-ia relacionar esta situação com alguma temperatura?

84. SOL: Não lembra do que ocorreu ontem? Quando a água estava fervendo, elas estavam muito movimentadas.

85. ARI: Está, eu sei, mas...

86. SOL: Tu achas que no gelo elas se movimentam? **Provavelmente, a temperatura não vai ser alta (ECO).**

87. ARI: Relaciona-se com uma temperatura muito baixa. Deve ser zero ou não.

88. SOL: Mas, só pelo movimento de moléculas dá para dizer.

89. ARI: **Mas, tu não sabes se é zero ou abaixo de zero (ECO)?**
90. SOL: Pois é.
91. ARI: Então, só responde muito baixa.
92. SOL: Praticamente nula, ela vai estar nula abaixo de zero.
93. ARI: Bom, daí eu não sei.
94. SOL: A gente pode responder, apenas, que ela se relaciona a uma temperatura muito baixa.
95. ARI: Poder-se-ia fazer leituras de temperaturas inferiores a esta?
96. SOL: Professora, aqui praticamente nula, é como se ela estivesse parada.
97. PRO: É aquela situação de mínima energia possível.
98. ARI: **Mínima, então não pode ter temperaturas inferiores (INF).**
99. PRO: Como é a situação mínima possível, não poderia ter temperaturas inferiores a esta.
100. ARI: Até porque elas já estão paradas, elas já estão paradas, pois já estão na situação...
101. SOL: ... mínima que pode chegar.

Na situação cinco (turno 74), as alunas relacionam a situação de mínima energia com a temperatura de 0°C, que é uma temperatura conhecida para elas. Neste caso, são necessárias uma ruptura (**RUP**) e a compreensão de que há uma escala de temperatura específica que relaciona o movimento dos átomos e moléculas com a temperatura, e que esta escala não é a escala Celsius. As alunas parecem estar construindo regras de ação (**REA**) quando dizem que, se a temperatura é baixa, os átomos não se movimentam (turno 80). Elas, a todo o momento, voltam aos objetivos a serem alcançados, ou seja, às antecipações (**ANT**), pois retornam ao questionamento feito por meio da situação (81). Quando as estudantes chegam ao impasse, elas solicitam a mediação da professora, pois, como sabem que existem temperaturas negativas, e estão relacionando a situação de energia mínima à temperatura de 0°C, elas se desestruturam. Após a intervenção da professora, as estudantes inferem (**INF**) que não podem existir temperaturas inferiores (turno 98), mas não concluem que temperatura é esta. Durante o desenvolvimento desta situação, podemos supor que houve o acionamento de vários esquemas (**ECO**) e a possível construção de outro para dar conta de situações envolvendo temperaturas muito baixas.

A seguir, mostramos a discussão das alunas a respeito da situação seis:

(A aluna ARI lê a situação 6a):

102. ARI: Um corpo A, a uma temperatura de 60°C , é colocado em contato com um corpo B, cuja temperatura é 20°C , sendo ambos isolados de influências externas. a) O que vai acontecer com a temperatura do corpo A e com a temperatura do corpo B?

103. ARI: A temperatura do corpo A irá diminuir e a do B aumentar.

(A aluna ARI lê a situação 6b):

104. ARI: O que acontece com os átomos e moléculas de A e de B? Por quê?

105. ARI: **Os átomos e moléculas de A irão diminuir a movimentação, e as moléculas de B irão aumentar a movimentação para, então, um corpo entrar em equilíbrio com a temperatura do outro (REA).**

106. SOL: Porque a temperatura de A tentará entrar em equilíbrio com a temperatura de B.

107. ARI: As moléculas de A vão diminuir, e as de B vão aumentar.

108. SOL: A gente já falou que vão aumentar e diminuir. **Porque a temperatura de uma vai equilibrar com a outra, por isso mesmo a movimentação é a mesma (EPR).**

Na situação seis, parece que as estudantes fazem uso de um esquema que dá conta da situação (**EPR**). Parece também que utilizam uma regra de ação (**REA**), pois, como consequência do aumento e da diminuição do movimento dos átomos e moléculas, as alunas chegam à conclusão de que as temperaturas dos corpos atingem um equilíbrio, ou seja, “há equilíbrio térmico quando a movimentação das moléculas é a mesma”. Este seria um teorema-em-ação.

Introduzimos o conceito de temperatura a partir de situações propostas com o objetivo de dar sentido ao conceito de temperatura. Assim, mediante cada uma das situações, as estudantes viram-se confrontadas com o fato de a temperatura estar relacionada ao movimento de átomos e moléculas. As situações devem também desestabilizar cognitivamente os estudantes sem levá-los a abandonar a tarefa. A situação quatro mostrou desestabilizar as estudantes, pois elas tentaram relacionar a situação de energia mínima à temperatura de 0°C , ficando a dúvida se poderiam existir temperaturas inferiores à situação em que a energia é mínima, uma vez que desconheciam ainda a escala Kelvin de temperatura. Fica claro para as estudantes que existe uma relação entre a temperatura e o movimento de átomos e moléculas, e finalmente inferem que existe um limite inferior para a temperatura, que está relacionada ao movimento mínimo de átomos e moléculas, embora demonstrem não saber que temperatura é esta. Também percebem que dois corpos a temperaturas diferentes, isolados de influências externas, atingem a mesma temperatura, pois o movimento dos átomos e moléculas é o mesmo. Assim, parece que o conceito temperatura passa a fazer sentido para as alunas através da resolução das situações, uma vez que conseguem relacionar a temperatura ao movimento de

átomos e moléculas e constatam que corpos a diferentes temperaturas atingem o equilíbrio térmico.

7.1.2.2 Análise da discussão escrita das situações sobre temperatura

As situações sobre temperatura discutidas em duplas de estudantes foram analisadas e categorizadas. Inicialmente, cada conjunto de situações foi numerado de 1 a 15, pois, no dia 14/06, 15 duplas de estudantes compareceram à aula. Para definir as categorias, foi feita uma primeira leitura de todas as duplas para descobrir as tendências das explicações. Posteriormente, foi feita uma nova leitura e, ao mesmo tempo, uma categorização preliminar. Ao concluir esta primeira categorização, foi realizada uma leitura das categorias relacionadas e uma recategorização na tentativa de agrupar categorias semelhantes. Assim, as categorias foram definidas em relação às ideias gerais, indo além das categorias que apareceram à primeira vista. Como explica Delval (2002, p. 167), é necessário buscar, por detrás das palavras empregadas, formas de organizar a realidade, o que pode levar-nos a considerar que algumas categorias que aparecem com distintas formulações podem ser tomadas como uma só. Nesse sentido, feito os ajustes necessários, foram encontradas as seguintes categorias para cada situação.

7.1.2.3 Análise por situação:

Situação 1a) Uma pessoa encontra-se com febre. Como é possível perceber a febre desta pessoa?

Na situação 1a foram encontradas duas categorias relacionadas a como cada estudante infere que percebe a febre. Assim, temos as seguintes categorias:

Respostas relacionadas ao tato (FC). São respostas que dizem que a febre é percebida através do tato ou de uma parte do corpo. Exemplo: *“Podemos perceber a febre através do contato físico com a outra pessoa (tato)”* (R15).

Respostas relacionadas à medida (FT). A febre é percebida através da medida da temperatura ou através de um termômetro. Exemplo: *“É possível perceber a febre medindo a temperatura através de um instrumento chamado*

termômetro. E também porque a temperatura da pessoa fica mais elevada em relação à pessoa não febril” (R3).

Alguns estudantes entendem que a febre pode ser percebida através do tato, mas outros explicam que a febre pode ser percebida através da medida de temperatura. De fato, somente a medida da temperatura poderá garantir se uma pessoa está com febre ou não. No caso do tato, se a mão estiver gelada, poderá dar a impressão de que a pessoa está com febre. Portanto, somente a categoria FT está de acordo com a concepção científica, e somente a medida da temperatura poderá garantir um estado febril ou não febril.

Situação 1b) Como você diagnosticaria o estado febril e o não febril?

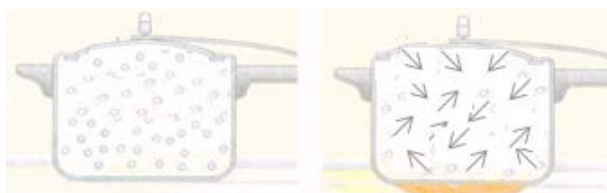
Respostas relacionadas ao diagnóstico através do tato (DC). Os alunos explicam que a febre pode ser diagnosticada pelo tato. Estas respostas incluem comparação entre duas pessoas ou através do contato. Exemplo: *“Pode-se diagnosticar a febre quando há contato entre os corpos e, assim, detectar a temperatura através do calor” (R15).*

Respostas relacionadas ao diagnóstico medido (DM). Estas respostas explicam que a febre pode ser diagnosticada por um valor numérico de temperatura ou por um termômetro. Exemplo: *“Se o termômetro medir uma temperatura maior que a temperatura normal do corpo, que é de 36,5 °C, então o corpo está febril” (R5).*

As categorias da situação 1b estão associadas às categorias da situação 1a, pois tanto para perceber a febre como para diagnosticá-la os estudantes usam duas formas, através do contato com o corpo ou através de um valor numérico, ou seja, uma medida de temperatura.

Situação 2) A figura abaixo mostra duas painéis com uma determinada substância. A segunda mostra uma maior energia cinética média do movimento de agitação de seus átomos e moléculas. Como você relacionaria a energia cinética

média do movimento de agitação de seus átomos e moléculas com a sensação térmica das panelas? Por quê?



Respostas que relacionam sensação térmica com calor (SC). São explicações que relacionam uma maior sensação térmica com maior calor. Inclui também respostas que falam sobre sensação térmica relacionada à maior agitação de átomos e moléculas e a um maior calor do corpo. Exemplo: “A *sensação térmica será maior na panela B, devido ao aumento do calor, que aumenta a agitação dos seus átomos*” (R14).

Respostas que relacionam sensação térmica com movimento de átomos e moléculas (SM). São explicações que associam uma maior sensação térmica com maior movimento de átomos e moléculas. Exemplo: “A *sensação térmica da segunda panela é maior do que a sensação térmica da primeira, porque as moléculas daquela se movimentam mais do que as da primeira panela*” (R1).

Respostas que relacionam sensação térmica com energia (SE). São explicações onde os estudantes já relacionam maior sensação térmica com maior energia cinética média ou maior energia interna. Exemplo: “A *panela que tem maior energia cinética média de movimento de agitação de seus átomos e moléculas tem uma maior sensação térmica, pois sua energia interna é maior*” (R2).

Respostas que relacionam sensação térmica com movimento de átomos e moléculas e temperatura (ST). São explicações que associam maior sensação térmica com maior movimento de átomos e moléculas ou maior energia interna e, conseqüentemente, maior temperatura. Exemplo: “A *panela A possui menos energia cinética média, por isso o movimento de agitação dos átomos é menor, e também a sensação térmica é menor em relação a B, pois, quanto maior a energia cinética, maior será o movimento de agitação dos átomos e moléculas e maior a temperatura*” (R3).

Na categoria SC, podemos perceber que os estudantes apresentam uma concepção errônea sobre calor, pois estão associando a maior sensação térmica com o calor, donde podemos inferir que para estes estudantes calor é algo que o corpo possui, ou seja, apresentam a concepção de que o calor é um fluido que pode estar contido no corpo.

Na categoria SM, os alunos já associam a sensação térmica com o movimento de átomos e moléculas, e supomos que já relacionam esse movimento com a temperatura.

Na categoria SE, os estudantes associam a sensação térmica com alguma forma de energia (energia cinética média ou maior energia interna, ou ambas). Alguns estudantes desta categoria evidenciam compreender que a maior energia cinética média corresponde à maior energia interna.

Por outro lado, na categoria ST, os alunos já relacionam a sensação térmica com o movimento de átomos e moléculas ou alguma forma de energia (energia cinética média ou energia interna) e temperatura. Esta categoria apresenta o nível de maior aproximação à concepção científica, pois evidencia uma associação entre todos os fatores descritos anteriormente. Assim, podemos perceber níveis diferentes de repostas em cada categoria. Na categoria SC, os alunos relacionam a sensação térmica com uma concepção errônea de calor; na SM, já associam a sensação térmica com movimento de átomos e moléculas; na SI, associam sensação térmica com energia cinética média ou energia interna, evidenciando uma ligação entre energia cinética média e energia interna; e, por fim, na ST, há uma relação entre sensação térmica com movimento de átomos e moléculas ou energia interna e temperatura.

As categorias SM, SI e ST estão de acordo com as concepções científicas, mas a ST está mais completa, uma vez que há evidências de que os estudantes associam a temperatura com o movimento de átomos e moléculas e com energia (interna ou cinética média de átomos e moléculas).

Situação 3) Vamos supor que, na situação 2, a segunda panela tivesse o dobro do volume, com o mesmo comportamento dos átomos e moléculas. Você observaria diferença na temperatura? Explique:

Respostas que relacionam temperatura com volume (TV). São as explicações dos estudantes que associam aumento de temperatura com aumento do volume do corpo e aumento do volume de átomos e moléculas. Exemplo: *“Sim, pois, devido ao volume maior, existirão mais átomos e moléculas se movimentando; portanto, a temperatura será maior”* (R13).

Respostas que consideram a temperatura independente do volume (TIV). São explicações que relacionam a temperatura à agitação de átomos e moléculas, mas o maior volume e o conseqüente aumento do número de átomos e moléculas não interferem na temperatura. Exemplo: *“Não, pois o comportamento dos átomos e moléculas é o mesmo, então não varia a energia cinética, não variando a temperatura.”* (R11)

A categoria TV apresenta concepções errôneas, pois os estudantes associam o aumento de temperatura com o aumento de volume. Além disso, alguns consideram um aumento do volume dos átomos e moléculas quando há aumento do volume do corpo, o que, do ponto de vista científico, não está correto, pois, mesmo quando há dilatação, há um aumento do distanciamento entre átomos e moléculas e não o aumento do seu volume.

Somente a categoria TIV, que considera que um aumento do volume do corpo não interfere na temperatura, está de acordo com a visão científica.

Situação 4) A água de uma chaleira a temperatura ambiente apresenta determinada energia cinética média de movimento de seus átomos e moléculas. Quando a chaleira é colocada sobre uma chama, há um aumento da energia cinética média de seus átomos e moléculas. Por quê?

Respostas que relacionam a chama com o movimento de átomos e moléculas (CM). Estas respostas não fazem referência à temperatura, dando evidências de que

esses alunos ainda não relacionam a temperatura à energia cinética média de átomos e moléculas. Exemplo: *“A chama altera o sistema, fazendo com que os átomos se movam mais agitadamente, aumentando a energia cinética média de seus átomos e moléculas”* (R2).

Respostas que relacionam a transferência de energia (calor) devido à diferença de temperatura (TET). As explicações dos alunos associam o aumento da energia cinética média dos átomos e moléculas à transferência de energia (calor) e à diferença de temperatura. Exemplo: *“Pela diferença de temperatura entre a chama e a chaleira temos a energia transferida de um corpo a outro (calor)”* (R15).

Respostas que associam a energia cinética média dos átomos e moléculas com a temperatura (CMT). As explicações dos estudantes evidenciam que eles compreendem que, quando aumenta a energia cinética média dos átomos e moléculas, também aumenta a temperatura como consequência. Exemplo: *“A temperatura está associada à energia cinética média das moléculas e átomos de um corpo. Um aumento da energia cinética média dos átomos e moléculas conduz a um aumento da temperatura. A temperatura é a medida da energia cinética média das moléculas e átomos de um corpo”* (R6).

Nesta situação, percebemos somente uma categoria CM, em que não há evidência explícita da relação entre temperatura e energia cinética média dos átomos e moléculas. Já a categoria CMT evidencia uma clara relação entre temperatura e energia cinética média de átomos e moléculas. É possível inferir que houve um avanço à medida que os estudantes respondiam às situações: quanto mais situações os estudantes foram enfrentando, mais eles associaram a temperatura à energia cinética média de átomos e moléculas. Assim, à proporção que os estudantes resolvem as situações, o conceito de temperatura adquire sentido para eles.

Situação 5) Vamos supor uma situação em que a energia cinética média dos átomos e moléculas que constituem um corpo seja praticamente nula, ou seja, os átomos e moléculas estão praticamente em repouso. Poder-se-ia relacionar esta

situação com uma temperatura? Poder-se-ia fazer leituras de temperaturas inferiores a esta? Por quê?

Respostas que relacionam a energia cinética praticamente nula com uma temperatura, mas apresentam justificativa confusa (ETE). Nesta categoria, as respostas apresentam-se incoerentes, uma vez que a justificativa não é coerente com a resposta. As respostas também não explicam a possibilidade ou não de se obter temperaturas inferiores àquela em que a energia cinética é praticamente nula. Exemplo: “*Sim, pode relacionar-se com a temperatura, devido à falta de energia cinética, não haverá temperatura*” (R14).

Respostas que não relacionam a energia cinética média praticamente nula com uma temperatura (NEN). Estas respostas não associam a energia cinética praticamente nula com um valor de temperatura, mas consideram que não é possível fazer leituras de temperaturas em situações inferiores a esta. Exemplo: “*Não, pois sem energia cinética média não há temperatura*” (R8).

Respostas que relacionam a energia cinética média com uma temperatura (EMN). Essas respostas explicam que é possível fazer a leitura de uma temperatura onde a energia cinética é praticamente nula, mas consideram que não é possível fazer leituras de temperaturas inferiores a esta. Exemplo: “*Sim. Estaria com 0 Kelvin, ou seja, a temperatura mínima possível. Sendo assim, não poderia ter uma temperatura inferior, porque as moléculas estão em repouso (energia cinética nula)*” (R15).

As respostas da categoria ETE não respondem nem explicam o que foi perguntado, pois dizem que é possível fazer a leitura de uma temperatura associada à energia cinética praticamente nula, mas não respondem se é possível fazer leituras inferiores a esta. Muitos alunos estão nesta categoria, o que sugere que os estudantes apresentam dificuldade na compreensão do limite inferior para a temperatura e da temperatura do zero absoluto.

As repostas da categoria NEN não relacionam a energia cinética praticamente nula a uma temperatura. As repostas destes alunos sugerem que eles desconhecem o zero absoluto.

Somente na categoria EMN as repostas estão de acordo com as concepções científicas aceitas, pois, ao mesmo tempo em que os alunos relacionam a energia cinética média praticamente nula com uma temperatura mínima, eles percebem a impossibilidade de haver temperaturas inferiores a esta.

Situação 6) Um corpo A, a uma temperatura de 60°C , é colocado em contato com um corpo B, cuja temperatura é de 20°C , sendo ambos isolados de influências externas. a) O que vai acontecer com a temperatura do corpo A? E com a temperatura do corpo B? b) O que acontece com os átomos e moléculas de A e de B? Por quê?

Respostas que relacionam o aumento de temperatura de um corpo com a passagem de átomos e moléculas para o corpo (TP). Estas repostas explicam que a temperatura do corpo A irá diminuir, e a do corpo B irá aumentar, e os átomos e moléculas de A passam para o corpo B até ficarem em equilíbrio térmico. Exemplo: *“a) As temperaturas do corpo A e do corpo B irão se igualar. b) As moléculas irão se misturar porque haverá troca de temperatura entre os dois corpos”* (R9).

Respostas que dizem que a temperatura do corpo A e a sua energia cinética irão diminuir (TE). Estas repostas explicam que a temperatura do corpo A irá diminuir e a do corpo B irá aumentar, assim como o movimento dos átomos e moléculas de A irá diminuir, e de B irá aumentar. Explicam também que os corpos entram em equilíbrio térmico. Exemplo: *“a) A temperatura no corpo A irá diminuir, e no corpo B irá aumentar, até os dois atingirem a mesma temperatura. b) Os átomos e moléculas no corpo A irão sofrer uma diminuição de energia cinética, e no corpo B irá ocorrer um aumento de energia cinética”* (R7).

Na categoria TP, as repostas dos estudantes sugerem que eles entendem que algo (calor) é transferido através dos átomos e moléculas. Assim, esses alunos apresentam uma concepção de calor como uma substância que está sendo

transferida, pois para aumentar a temperatura do corpo B é necessário transferir átomos e moléculas.

A categoria TE apresenta respostas coerentes com a concepção científica, pois evidencia associação da temperatura ao movimento de átomos e moléculas.

À medida que os estudantes respondem às situações, constroem significado ao conceito temperatura, atribuindo aos poucos uma relação da temperatura com o movimento de átomos e moléculas, embora, na situação seis, os estudantes não façam referência à energia cinética média dos átomos e moléculas. Isso nos faz inferir que a associação da temperatura para eles está relacionada ao movimento dos átomos e moléculas, mas não está claro para eles que a temperatura está associada a uma média, ou seja, à energia cinética média de átomos ou moléculas.

Assim, acreditamos que, aos poucos, após a exposição dos estudantes a situações e com a mediação do professor, eles passam a dar sentido ao conceito de temperatura. Como acentua Vergnaud (1993, p. 1), é através das situações e dos problemas a resolver que um conceito adquire sentido.

Através do enfrentamento de situações sobre temperatura foi possível diagnosticar conhecimentos prévios que servem de obstáculo à nova aprendizagem, tais como a ideia de que não existe um limite inferior para a temperatura e a atribuição de características macroscópicas para átomos e moléculas, como seu aumento de volume. Por outro lado, as situações serviram, também, para que o conceito de temperatura fosse adquirindo significado para os estudantes, de modo que eles foram, gradativamente, relacionando a temperatura ao movimento de átomos e moléculas.

7.1.3 Análise dos resultados da avaliação sobre o conceito de temperatura

Do dia 14/06/2007 até o dia 20/07/2007 foi desenvolvido o conceito de temperatura aplicado em dilatação. No final desta unidade, uma avaliação foi realizada, e analisada a conceitualização de temperatura que está sendo construída, considerando que uma conceitualização adequada deveria estar constituída da

tríade que faz parte de um conceito (op. cit., p. 9). Assim, a Tabela 20 mostra os critérios utilizados na análise do conceito de temperatura. Cada categoria recebeu pontuação um se estava de acordo com a concepção aceita cientificamente e zero se estava em desacordo. Como os estudantes foram submetidos a quatro situações subdivididas em três categorias, a pontuação máxima possível é de doze pontos.

Tabela 20. Categorias utilizadas para análise da avaliação sobre temperatura

| Constituintes de um conceito | Características consideradas em cada componente | Situação |
|---|---|-----------------|
| A - Evidências de invariantes operatórios | A1 - Explícita, nas respostas, relações entre o conceito de temperatura e o movimento de átomos e moléculas. | 1 |
| | A2 - Evidencia compreender que a lâmina de maior coeficiente de dilatação sofre uma dilatação maior. | 2 |
| | A3 - Infere que o ponto do gelo e o ponto de vapor correspondem a 0°C e a 100°C. | 3 |
| | A4 - Evidencia compreender que as duas barras devem ter o mesmo comprimento após o aumento de temperatura. | 4 |
| B - Utilização de representação | B1 - Utiliza uma representação adequada da temperatura do zero absoluto. | 1 |
| | B2 - Evidencia compreensão da representação, relacionando os desenhos com os coeficientes de dilatação. | 2 |
| | B3 - Representa, adequadamente, a equação termométrica para as temperaturas marcadas pelos dois termômetros. | 3 |
| | B4 - Representa, adequadamente, a relação entre os comprimentos das duas barras, associando-a ao conceito de temperatura. | 4 |
| C - Resolução de situações | C1 - Resolve a situação, relacionando o zero absoluto com uma situação de energia mínima. | 1 |
| | C2 - Resolve a situação descrita, discriminando, adequadamente, cada lâmina. | 2 |
| | C3 - Resolve a situação, determinando o valor da temperatura solicitada. | 3 |
| | C4 - Resolve, adequadamente, a situação, aplicando o conceito de temperatura. | 4 |

Vergnaud (op. cit.) define um conceito por meio de três componentes inseparáveis: situações, invariantes operatórios e representações simbólicas. Por isso, consideramos que o aluno constrói um conceito quando der conta destes três aspectos. As situações seriam os contextos em que os conceitos são utilizados; os invariantes operatórios dão significado ao conceito, ou seja, são as propriedades e atributos que o definem; e as representações simbólicas são os significantes ou as muitas formas de representar um conceito, através de uma palavra, um símbolo, um gráfico, etc.

Quando se fala em utilização de invariantes operatórios pelos alunos, não há certeza se, de fato, tais invariantes foram acionados, uma vez que são componentes cognitivos essenciais dos esquemas altamente implícitos. No entanto, o próprio

Vergnaud (1987, p. 6) argumenta que, embora os invariantes sejam implícitos, podem ser descritos em termos de objetos, propriedades e relações. Diz, ainda, que os invariantes são a conexão a concepções e, por isso, podem ser expressos por palavras e outras representações simbólicas. Assim, as respostas dos estudantes foram interpretadas como evidências de invariantes operatórios.

Quando o estudante se apropria, verdadeiramente, de um conceito, ele precisa saber representá-lo através de distintos símbolos em diferentes contextos, a exemplo das temperaturas, que podem ser representadas em diferentes escalas. E cada representação está relacionada a um significado físico, por exemplo, a temperatura de 0K representa uma situação de energia mínima em que átomos e moléculas estão praticamente em repouso.

a aprendizagem das palavras e sua conexão com os objetos, por si só, não ocasionam a formação de um conceito; é preciso que o sujeito da experiência encontre um problema que só possa ser resolvido com a ajuda da formação de conceitos para que apareça este processo.

A avaliação e as categorias definidas foram submetidas a uma análise de consistência interna, cujos resultados são mostrados na Tabela 21

Tabela 21. Resultado da análise de consistência interna dos resultados do estudo experimental I – introdução do conceito de temperatura

| Pontuação total | Média | Desvio padrão | Coefficiente α de Crombach |
|------------------------|--------------|----------------------|---|
| 12 | 7,3 | 2,6 | 0,82 |

Foi utilizado o coeficiente de correlação de Pearson (Tabela 22) para determinar a pontuação entre cada categoria e a pontuação total, obtendo-se valores superiores a 0,7, o que indica que o coeficiente α de Crombach permite inferir que as pontuações são estatisticamente confiáveis.

Tabela 22. Coeficiente de correlação de Pearson dos resultados dos estudos experimental I – introdução do conceito de temperatura

| Categoria | Evidências de invariantes operatórios | Utilização de representação | Resolução de situações |
|--------------------------------|--|------------------------------------|-------------------------------|
| Coefficiente de Pearson | 0,78 | 0,91 | 0,86 |

A Tabela 23 mostra o desempenho médio dos alunos em cada categoria apresentada na Tabela 20.

Tabela 23. Desempenho médio dos alunos em cada categoria do estudo experimental I – conceito de temperatura

| Categoria | A1 | A2 | A3 | A4 | B1 | B2 | B3 | B4 | C1 | C2 | C3 | C4 |
|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Desempenho | 0,28 | 0,75 | 0,94 | 0,75 | 0,47 | 0,63 | 0,75 | 0,69 | 0,13 | 0,66 | 0,72 | 0,53 |

A Tabela 24 mostra o desempenho médio dos alunos após o estudo do conceito de temperatura comparado ao seu desempenho inicial.

Tabela 24. Desempenho da turma 2311 nos instrumentos do estudo experimental I – conceito de temperatura

| Critério | Desempenho médio inicial | Desempenho após o estudo do conceito de temperatura |
|---------------------------------------|---------------------------------|--|
| Total | 0,29 | 0,61 |
| Evidências de invariantes operatórios | 0,31 | 0,68 |
| Utilização de representação | 0,29 | 0,63 |
| Resolução de situações | 0,26 | 0,51 |

Embora a categoria A (evidências de invariantes operatórios) apresente o maior desempenho (0,68), a categoria A1, que relaciona o conceito de temperatura com o movimento de átomos e moléculas, apresenta baixo desempenho (0,28). A situação colocada aos estudantes pedia que explicassem o significado do zero absoluto, na expectativa de que eles fizessem relação entre temperatura e energia cinética média de átomos e moléculas (movimento de átomos e moléculas), mas as explicações dos estudantes omitiram essa relação, o que determinou um índice de desempenho muito baixo na categoria A1. Nas demais situações, em que os estudantes deveriam relacionar o coeficiente de dilatação com a dilatação, a temperatura com os pontos de fusão do gelo e de ebulição da água e o aumento de temperatura com os comprimentos finais de barras, os estudantes mostraram um bom desempenho (0,75; 0,94 e 0,75), contribuindo para o melhor desempenho na categoria A.

Na categoria B, sobre representações, os estudantes também obtiveram baixo desempenho na situação 1 (categoria B1), que avaliava a representação do zero absoluto (0,47). Nas demais representações que relacionam uma figura com o coeficiente de dilatação, as equações termométricas e a representação simbólica

entre os comprimentos de duas barras, os estudantes obtiveram bom desempenho, obtendo na categoria B, utilização de representação, desempenho 0,63.

A categoria C, resolução de situações, obteve o pior desempenho (0,51), sendo que, também nesta categoria, o desempenho mais baixo foi na situação 1 (0,13), pois os alunos não conseguiram solucionar a situação, relacionando o zero absoluto à situação de energia mínima. Os desempenhos nas demais situações foram 0,66; 0,72 e 0,53.

No gráfico da Figura 11 é possível observar uma evolução nas três categorias que definem um conceito, comparadas com o desempenho inicial obtido através do pré-teste. A evolução maior foi obtida na categoria A, evidências de invariantes operatórios, que representa o significado do conceito, e a menor evolução foi obtida na categoria C, resolução de situações.

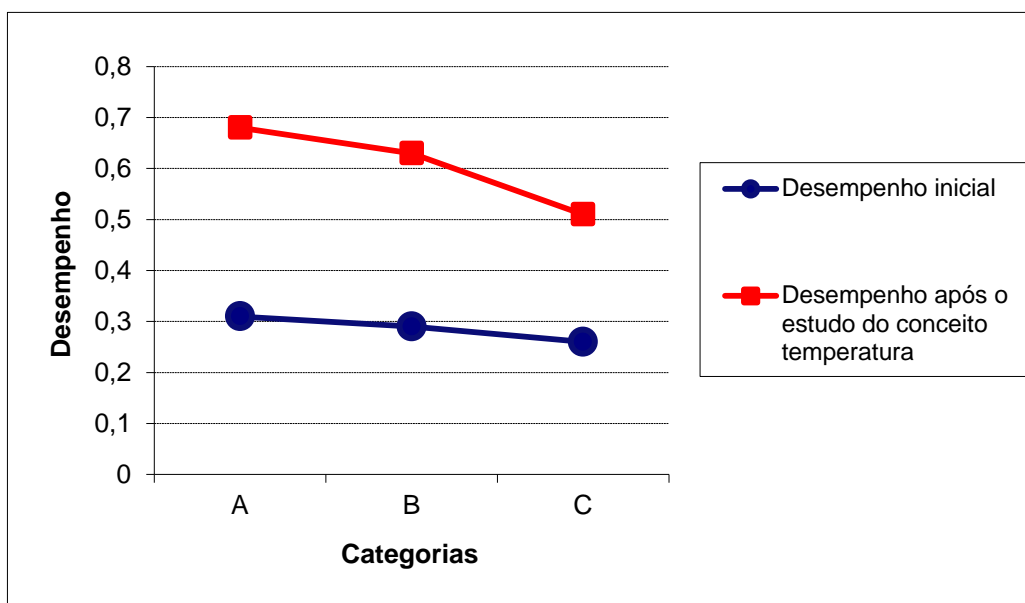


Figura 11. Gráfico de comparação entre o desempenho inicial e o desempenho após o estudo do conceito temperatura

7.1.4 Conclusão

O objetivo deste estudo foi introduzir o conceito de temperatura, tendo em vista que um conceito é constituído de significado, invariantes operatórios que inicialmente não são compartilhados, por sua representação simbólica (significante) e sua aplicação em situações.

Inicialmente, portanto, foi introduzido o conceito de temperatura através de situações e analisado o enfrentamento destas situações no discurso oral dos estudantes (por meio das gravações das discussões) e os resultados indicam o acionamento de esquemas automatizados e a construção de novos esquemas. Observamos, também, evidências da utilização dos componentes dos esquemas e detectamos os pontos onde são necessárias rupturas com os conhecimentos anteriores ou continuidades.

Na análise do material escrito pelos estudantes, em que categorizamos suas respostas, observamos que, aos poucos, eles iam dando sentido aos conceitos estudados.

Finalmente, na análise da avaliação, interpretamos qualitativa e quantitativamente os resultados obtidos, comparando-os aos resultados do pré-teste, e observamos um crescimento na conceitualização nas três categorias que envolvem a construção de um conceito.

No conceito temperatura, constatamos, após a avaliação, que muitos alunos ainda não o relacionam com o movimento de átomos ou moléculas. Compreendem que a dilatação está relacionada ao aumento de temperatura, coeficiente de dilatação e comprimento inicial de uma barra. Conhecem o ponto de fusão e ebulição da água. Mas, não utilizam uma representação adequada para o zero absoluto, evidenciando novamente a falta de conexão da temperatura com o movimento de átomos e moléculas. Representam adequadamente a equação termométrica em diferentes situações e a dilatação de uma barra com o aumento de temperatura, mas ainda acreditam que os átomos ou moléculas se dilatam. Não percebem que o que ocorre na dilatação é o aumento do distanciamento entre átomos e moléculas.

Muitos alunos não resolvem situações que relacionam a temperatura do zero absoluto com uma energia mínima de átomos ou moléculas. Resolvem situações relacionando temperatura e dilatação. Resolvem também situações visando determinar temperaturas em diversas escalas.

Assim, parece que os alunos dão conta adequadamente do conceito de temperatura quando este está relacionado à fenômenos macroscópicos; mas, quando necessitam resolver situações que exigem a utilização do conceito de temperatura do ponto de vista microscópico, ainda apresentam dificuldades.

O conceito de temperatura foi introduzido através de situações, permitindo que os primeiros significados do conceito fossem adquiridos, mas tais situações não garantiram que os estudantes dessem conta totalmente do conceito.

Percebemos, também, que os alunos utilizam os três componentes de um conceito ao construírem o conceito de temperatura, mas não em todas as situações. Portanto, podemos concluir que os estudantes constroem os conceitos utilizando seus três componentes: invariantes operatórios, representações simbólicas e resolução de situações, mas não em qualquer situação, evidenciando o que já foi discutido no estudo exploratório, que a aprendizagem se faz com avanços e retrocessos. Para confirmação, basta lembrarmos Vergnaud (2003, p. 40), que explica que o desenvolvimento do conhecimento não é linear.

Este estudo experimental originou a publicação:

2008 - Uma proposta didática para abordar o conceito de temperatura a partir de situações, à luz da teoria dos campos conceituais de Vergnaud. Artigo publicado na Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia (de 2008 a 2009), v. 1, n. 1, p. 1-21.

7.2 Estudo Experimental II – Introdução do Conceito Calor

Este é o segundo estudo sobre os conceitos da Termodinâmica e visa fazer com que os estudantes atribuam sentido ao conceito calor, a seus processos de transferência e mudança de estado. É importante que os estudantes compreendam que para o processo de calor se realizar é necessária uma diferença de temperatura inicial, por isso as situações apresentadas também é relevante que superem a concepção de que o calor é uma substância ou fluido que os corpos possuem e que se transmite.

7.2.1 Metodologia

Na introdução do conceito calor, os alunos foram submetidos a um conjunto de situações (Apêndice III, p. 407) e duas duplas que se dispuseram tiveram seus diálogos gravados. Na aula do dia 03/08/07, 25 alunos compareceram e trabalharam em 11 duplas e um trio. As aulas de estudo do calor, de processos de calor e de mudanças de estado estão distribuídas na Tabela 25. No estudo do conceito calor, processos de transferência de calor, calor específico, capacidade térmica e mudança de estado foi dada ênfase a discussão junto com o estudo de textos para que os estudantes continuassem negociando os significados dos conceitos.

Tabela 25. Caracterização das aulas durante o desenvolvimento do conceito calor, processos de calor e mudanças de estado.

| Data | Tempo | Aula | Gravação das duplas | Atividade |
|-------|---------|------|-------------------------------------|--|
| 03/08 | 50 min | 1 | ARI eSOL; ROB eNIC | Situações sobre calor |
| 09/08 | 100 min | 2-3 | | Discussão sobre o texto Calor (Apêndice V, p. 463) e resolução de problemas. |
| 10/08 | 50 min | 4 | ARI eSOL; JUL eNIC; DIO e LUA | Situações sobre processos de calor e mudança de fase. |
| 16/08 | 50 min | 5 | | Simulação sobre capacidade térmica, calor específico e processos de calor. |
| 16/08 | 50 min | 6 | | Estudo do texto Processos de Calor (Apêndice V, p. 470) |
| 17/08 | 50 min | 7 | | Estudo do texto Mudança de Fase (Apêndice V, p. 465) |
| 23/08 | 100 min | 7-8 | | Resolução de problemas |
| 24/08 | 50 min | 9 | | Atividade prática – Determinação da capacidade térmica de um calorímetro |
| 30/08 | 100min | 10 | | Avaliação sobre os conceitos calor, processos de calor e mudança de fase (Apêndice IV, p. 435) |
| 31/08 | 50min | 11 | | Apresentação e discussão a respeito do mapa conceitual sobre calor e temperatura |
| 06/09 | 100min | 12 | | Avaliação sobre os conceitos temperatura e calor |

7.2.2 Apresentação e discussão dos resultados

Inicialmente, como no estudo experimental I, foi feita a análise da discussão oral das alunas ARI e SOL. Esta dupla foi escolhida porque a gravação da conversa da outra dupla ficou inaudível, comprometendo a análise. Como as gravações foram feitas em sala de aula com muitas duplas discutindo em voz alta, ficou bastante difícil fazer a transcrição das gravações, uma vez que se ouviam múltiplas vozes interferindo no foco da gravação.

7.2.2.1 Análise da discussão oral das situações sobre calor

A análise da discussão oral foi feita da mesma forma que no estudo experimental I, na tentativa de buscar, na fala das estudantes, os componentes dos esquemas (IOP, ANT, REA e INF), esquemas prontos ou em construção (EPR e ECO) e ainda diagnosticar filiações e rupturas (FIL e RUP).

Assim, no dia 02/08/2007, os estudantes enfrentaram cinco situações-problema a respeito de calor. As falas gravadas são transcritas (Apêndice III, p. 409 - Exemplo de transcrição de discussões das situações sobre calor) parcialmente, e algumas poderiam dar indícios de conhecimentos anteriores (FIL), rupturas com conhecimentos prévios (RUP), indicadores de invariantes operatórios (IOP), regras de ação (REA), possibilidades de inferências (INF), antecipações (ANT), esquemas prontos a serem acionados (EPR) ou esquemas que estão sendo construídos e reconstruídos (ECO). Na transcrição das falas das estudantes, a professora está indicada como PRO, e as alunas por ARI e SOL.

(A aluna ARI lê a situação um):

1. ARI: Suponha dois copos com 100ml de H₂O. No primeiro, a água está à temperatura de 80°C e, no segundo, à 20°C. As águas são misturadas, o que acontece com a temperatura da mistura? Por que isso acontece?

2. SOL: **Entra em equilíbrio, porque dois corpos com temperaturas diferentes tendem a entrar em equilíbrio (EPR).**

(A aluna SOL lê a situação 2a):

3. ARI: Suponha dois copos, um com 100ml de H₂O e outro com 200ml de H₂O, ambos à temperatura de 60°C, as águas são misturadas. a) O que acontece com a temperatura da mistura?

4. SOL: **Continua a mesma (EPR).**

5. ARI: A diferença de quantidade de água não vai interferir, continua em 60°C.

(A aluna ARI lê a situação 2b):

6. ARI: b) Para que haja alteração da temperatura da água da mistura, como devem ser as temperaturas das águas antes da mistura?

7. ARI: Diferentes, porque os dois corpos com temperaturas diferentes entram em equilíbrio quando misturados.

Nos turnos 2 e 4, quando as estudantes respondem às situações 1 e 2, parece que elas estão evocando um esquema que dá conta da situação (**EPR**), pois prontamente resolvem as situações. A aluna SOL diz que a temperatura é a mesma, e a aluna ARI concorda.

(A aluna ARI lê a situação 3a):

8. ARI: Têm-se dois copos, um com 100 ml de H₂O e outro com 200 ml de H₂O. No primeiro, a água está com temperatura de 80°C e, no segundo, com temperatura de 20°C. a) O que acontece com a temperatura da água da mistura?

9. ARI: Entra em equilíbrio.

10. SOL: Mas a primeira é mais quente e tem mais quantidade, já a segunda é pouca e mais fria (ECO).

11. ARI: Mas se for comparar, o teu corpo entra em equilíbrio com o termômetro, e eles têm pesos bem diferentes.

12. SOL: Então eles entram em equilíbrio (REA).

No turno 10, situação 3, a aluna SOL tem dúvida, assim parece que o esquema não dá conta da situação (**ECO**), e se equivoca dizendo que o primeiro copo tem uma maior quantidade de água, mas a aluna ARI contesta (turno 11), e SOL conclui parecendo evocar, no turno 12, uma regra de ação (**REA**). “Se...então eles entram em equilíbrio térmico”.

(A aluna ARI lê a situação 3b):

13. ARI: Olha a pergunta B, qual é a condição necessária para que haja alteração na temperatura da água da mistura?

14. SOL: É para explicar que precisa ter temperaturas diferentes (ANT).

(A aluna ARI pergunta à professora).

15. ARI: Um corpo, por exemplo, no caso do copo, que tem uma temperatura de 80°C, mas tem 100 ml de água, e o outro tem 200ml com temperatura de 20°C. A quantidade de água de um para o outro vai interferir no equilíbrio da temperatura?

16. PRO: De qualquer forma eles vão entrar em equilíbrio depois de um determinado tempo, mas o que vai acontecer com a temperatura da água? Na verdade, tu tens uma quantidade menor de água com uma temperatura maior e uma maior quantidade de água com uma temperatura menor. O que vai acontecer com a temperatura da água da mistura?

17. SOL: Vai ser mais fria do que quente?

18. PRO: Como assim?

19. SOL: A que tem mais água tem menor temperatura.

20. PRO: Tu achas, por exemplo, que a temperatura não vai ser a média?

21. ARI: Mas elas não vão entrar em equilíbrio?

22. SOL: Mas não bem na metade das duas (INF).

23. PRO: Exatamente, elas vão entrar em equilíbrio. O que significa entrar em equilíbrio?

24. SOL: Ficar com a mesma temperatura.

25. PRO: As duas, ou seja, na verdade a mistura vai entrar em equilíbrio térmico, que é a mesma temperatura. Agora que temperatura é esta? Fica um pouco difícil para nós sabermos o valor, porque vocês têm quantidades de água diferentes com temperaturas diferentes. Até dá para fazer uma avaliação.

26. SOL: Não é bem na metade, é mais próxima da temperatura mais baixa porque tem mais água na temperatura de 20°C.

No turno 14, a aluna SOL parece estar inferindo sobre os objetivos a alcançar (**ANT**), pois prediz o que deve ser explicado. Já no turno 22, a aluna SOL infere

(**INF**) que a temperatura de equilíbrio não é bem na metade das temperaturas iniciais.

(A aluna ARI lê a situação 4):

27. ARI: Um cilindro de alumínio de 200g à temperatura de 40°C é colocado em água à temperatura de 20°C, no interior de um calorímetro. O que acontece com a temperatura da água e do cilindro? Explique:

28. ARI: Também entrarão em equilíbrio térmico.

29. SOL: **Tudo entra em equilíbrio térmico (EPR).**

(A aluna ARI lê a situação 5):

30. ARI: Um cilindro de alumínio de 200g à temperatura de 20°C é colocado em água, também à temperatura de 20°C, no interior de um calorímetro. O que acontece com a temperatura da água e do cilindro de alumínio?

31. SOL: **Permanecem ambos com a mesma temperatura (EPR).**

Nos turnos 29 e 31, a aluna SOL parece utilizar o mesmo esquema utilizado anteriormente (**EPR**). Aparentemente, as alunas usam esquemas que dão conta da situação do equilíbrio térmico.

(A aluna ARI lê a situação 5a):

32. ARI: a) Em todas as situações apresentadas, qual é a condição necessária para que haja uma variação na temperatura inicial?

33. SOL: **Que os dois corpos tenham temperaturas diferentes (REA).**

Quando a estudante SOL (turno 33) conclui que a condição necessária para que haja uma variação de temperatura é a de que as temperaturas iniciais dos dois corpos sejam diferentes, parece estar utilizando uma regra de ação (**REA**). Se as temperaturas iniciais dos dois corpos forem diferentes, então haverá uma variação de temperatura.

(A aluna ARI lê a situação 5b):

34. ARI: b) O que você acha que acontece quando há essa variação de temperatura?

35. SOL: Partículas e moléculas têm movimentos, e seu movimento depende da variação de temperatura. **Isso ocorre através da transferência de calor de um corpo para outro**, quando ambos têm temperaturas diferentes (**RUP**).

No turno 35, a aluna SOL utiliza a concepção de que o calor é um fluido que um corpo contém e transmite, sendo então necessária uma ruptura (**RUP**) com esses conhecimentos prévios, pois estão em desacordo com a concepção científica.

Na fala das alunas, elas parecem acionar esquemas automatizados e em construção, assim como parecem pôr em jogo também os componentes dos

esquemas. Há evidências de que as alunas compreendem que a condição necessária para que ocorra o mecanismo de troca de calor é a diferença de temperatura, que tem como consequência o equilíbrio térmico, mas não compreendem ainda o calor como um processo de transferência de energia, e sim como uma substância que um corpo contém e que pode ser transmitida. O objetivo das situações propostas era fazer com que os alunos percebessem que o mecanismo de transferência de energia denominado calor só é possível quando há uma diferença de temperatura.

7.2.2.2 Análise da discussão escrita das situações sobre calor

Da mesma forma que no estudo I, as situações sobre calor foram discutidas em duplas em sala de aula no dia 03/08/07. A partir da discussão oral, as duplas de estudantes escreviam suas conclusões no material fornecido pelo professor. Nesta aula, compareceram 25 alunos, de forma que a turma foi distribuída em 11 duplas e um trio.

As categorias foram redefinidas, a partir das iniciais, após várias leituras das respostas dos estudantes, reagrupando-as. Após a definição final das categorias, as mesmas foram transcritas e analisadas. Assim, na sequência deste trabalho, apresentamos as categorias identificadas em cada situação, ou seja, as categorias que emergem das respostas dos estudantes.

Situação 1) Suponha dois copos com 100 ml de H_2O . No primeiro, a água está à temperatura de $80^{\circ}C$ e, no segundo, à $20^{\circ}C$. As águas são misturadas. O que acontece com a temperatura da mistura? Explique por que isto acontece.

Respostas relacionadas ao calor e ao equilíbrio térmico (CEQ). Os alunos explicam que há transferência de calor, pois o líquido entra em equilíbrio térmico. Todas as duplas de alunos se enquadram em uma categoria: embora eles compreendam que os corpos vão atingir o equilíbrio térmico, eles utilizam uma concepção alternativa de calor, pois entendem o calor como uma substância que está num corpo e pode ser transferida. Exemplo: *“A temperatura se equilibra. O corpo de $80^{\circ}C$ transfere calor para o de $20^{\circ}C$ até que alcancem o equilíbrio térmico.*

O corpo de temperatura maior transfere calor para o corpo de temperatura menor” (R8). Os estudantes utilizam o conceito calor como sinônimo de energia.

Situação 2) Suponha dois copos, um com 100 ml de H₂O e outro com 200 ml de H₂O, ambos à temperatura de 60°C. As águas são misturadas. a) O que acontece com a temperatura da mistura? b) Para que haja alteração da temperatura da água da mistura, como devem ser as temperaturas das águas antes da mistura? Explique.

Respostas que dizem que a temperatura permanecerá a mesma (TPM). Os estudantes explicam que a temperatura permanecerá a mesma, pois são necessários dois corpos a temperaturas diferentes. Exemplo: *“A temperatura se manterá igual. Para que haja uma alteração na temperatura da mistura é necessária uma diferença de temperatura entre os corpos do sistema”* (R3).

Os alunos percebem que, com as águas à mesma temperatura, não ocorre o mecanismo de transferência de energia (calor) de uma porção de água para a outra. Eles percebem que, para ocorrer este mecanismo, é preciso que as duas porções de água tenham temperaturas diferentes. Ou seja, temperaturas diferentes é uma condição necessária. Enquanto as temperaturas forem diferentes, haverá transferência de energia de um corpo para o outro até o equilíbrio térmico. No entanto, novamente alguns alunos se referem ao calor como algo que está armazenado e pode ser transmitido (evidenciando apresentar a concepção de que o calor é um fluido).

Situação 3) Têm-se dois copos, um com 100 ml de H₂O e outro com 200 ml de H₂O. No primeiro, a água está à temperatura de 80°C e, no segundo, está à temperatura de 20°C? a) O que acontece com a temperatura da água da mistura? b) Qual é a condição necessária para que haja alteração na temperatura da água da mistura? Explique.

Respostas que dizem que as águas entram em equilíbrio térmico porque as temperaturas e os volumes são diferentes (TVD). Esses alunos explicam que, para que ocorra o equilíbrio térmico, são necessários, além de temperaturas diferentes,

volumes diferentes. Exemplo: “*Entra em equilíbrio térmico, porque as temperaturas e os volumes são diferentes*” (R5).

Respostas que dizem que as águas entram em equilíbrio térmico porque as temperaturas são diferentes (ETD). Os estudantes explicam que há transferência de energia (calor) da água de maior temperatura para a de menor temperatura, para isso é necessário que as temperaturas iniciais sejam diferentes. “*A água de maior temperatura transfere energia para a de menor temperatura e, para que isto ocorra, é necessário somente que as temperaturas iniciais sejam diferentes*” (R8).

A maioria dos alunos compreende que, mesmo o volume sendo diferente, a condição para que haja transferência de energia de uma quantidade de água para a outra é que as temperaturas iniciais sejam diferentes. No entanto duas duplas se equivocam e dizem que para haver transferência de energia são necessários, também, volumes diferentes.

Nas respostas dos alunos é possível perceber a concepção de que calor é uma substância e, muitas vezes, é entendido como sinônimo de energia; não fica claro quando os alunos de fato entendem que o calor não é a energia, mas o mecanismo de transferência de energia, ou seja, ele só existe enquanto esta energia está sendo transferida.

Situação 4) Um cilindro de alumínio de 200g, à temperatura de 40°C, é colocado em água, à temperatura de 20°C, no interior de um calorímetro. O que acontece com as temperaturas da água e do cilindro? Explique.

Respostas que dizem que a temperatura do cilindro diminui e a da água aumenta, mas não fazem referência ao equilíbrio térmico (OET). Os alunos compreendem que a temperatura do corpo de menor temperatura irá aumentar, e a do corpo de maior temperatura irá diminuir, mas eles não explicam qual a condição final dos corpos, ou seja, não explicam que os corpos atingem o equilíbrio térmico. Exemplo: “*A temperatura da água vai se elevar, e a do cilindro vai diminuir, pois haverá transferência de energia de um para o outro*” (R3).

Respostas que dizem que o cilindro e a água entram em equilíbrio térmico (EET). Os alunos explicam que a temperatura do cilindro, que é maior, irá diminuir, e a temperatura da água, que é menor, irá aumentar. Exemplo: “*O cilindro está com uma temperatura superior à da água, então, quando entra em contato com a água, ele tende a aumentar sua temperatura. E, assim, irão entrar em equilíbrio*” (R12).

Na categoria OET, os alunos omitem o fato de a água e o alumínio entrarem em equilíbrio térmico, só fazem referência ao fato de um deles aumentar a temperatura e o outro diminuir. No entanto, na resposta (R3), há evidências de que os alunos já compreendem que, quando há diferença de temperatura entre dois corpos, há transferência de energia de um corpo para o outro; parece que o conceito de calor começa a adquirir sentido como energia que está sendo transferida em virtude de uma diferença de temperatura.

Na categoria EET, os alunos já percebem que os corpos entram em equilíbrio térmico, mas alguns continuam falando de calor como algo que está no corpo e pode ser transferido. Assim, alguns alunos ainda evidenciam uma concepção forte de que o calor é um fluido, mas já começam a aparecer indícios, como a dupla (R3), de que a transferência é de energia denominada calor enquanto está sendo transferida.

Situação 5a) Um cilindro de alumínio de 200g, à temperatura de 20°C, é colocado em água, também à temperatura de 20°C, no interior de um calorímetro. O que acontece com a temperatura da água e do cilindro de alumínio? a) Em todas as situações apresentadas, qual é a condição necessária para que haja uma variação na temperatura inicial?

Respostas que dizem que o volume deve ser diferente ou respostas sem coerência (CNV). Os alunos explicam que a condição necessária para que haja uma variação na temperatura inicial é a de que os volumes sejam diferentes ou outras respostas sem coerência. Exemplo: “*Os volumes devem ser diferentes*” (R5).

Respostas que dizem que a condição necessária é a diferença de temperatura (CDT). A maioria dos estudantes explica que a condição necessária para que haja uma variação nas temperaturas iniciais é a de que os corpos tenham

temperaturas diferentes. Exemplo: *“Para que haja uma variação de temperatura, é necessário que as temperaturas sejam diferentes”* (R11).

Este conjunto de situações tinha o objetivo de fazer os alunos perceberem que, para que haja troca de calor de um corpo para outro, a condição necessária é a de que os corpos, inicialmente, tenham temperaturas diferentes, mas alguns alunos ainda acreditam que os volumes devem ser diferentes.

Situação 5b) O que você acha que acontece quando há esta variação de temperatura?

Respostas que dizem que ocorre transferência de energia interna ou transferência de calor (OEC). Alguns alunos ainda explicam o calor como algo que é transferido de um corpo para o outro como se houvesse um fluido, por exemplo, para ser transferido. No entanto, outros já fazem referência à energia que está sendo transferida de um corpo para o outro ou de energia interna, dando evidências de que, aos poucos, o calor vai adquirindo sentido para os alunos. Exemplo 1: *“Há troca de energia entre os corpos. Essa energia é transferida ou retirada na forma de calor”* (R8). Exemplo2: *“Acontece uma troca de energia interna”* (R12).

Respostas que dizem que acontece o equilíbrio térmico (OET). Os alunos explicam que somente ocorre o equilíbrio térmico. Exemplo: *“A temperatura da água e a do cilindro se estabilizam. equilíbrio térmico”* (R10).

Na categoria OEC, percebemos alunos que ainda utilizam calor como se fosse algo que um corpo possui, podendo apresentar a concepção de que o calor é um fluido. No entanto, outros alunos já fazem referência à transferência de energia de um corpo para outro – uma dupla, inclusive, fala sobre a troca de energia interna, dando evidências de que já percebem o calor como um mecanismo de transferência de energia.

Há evidências, portanto, de que a maioria dos alunos percebeu que, para que haja transferência de energia de um corpo para o outro, é necessária uma diferença

inicial de temperatura, mas não está claro para muitos que o calor é um mecanismo de transferência de energia, e não uma substância ou energia.

7.2.3 Análise dos resultados da avaliação sobre o conceito calor

Do dia 03/08/2007 até 06/09/2007, foi desenvolvido o conceito calor, sempre buscando resgatar conceitos trabalhados anteriormente, como o de temperatura. Na tentativa de entender a conceitualização, os alunos tiveram que resolver situações que envolviam a tríade invariantes operatórias, representações e situações-problema. Foi feita uma análise desta construção através de uma avaliação escrita, seguindo os critérios descritos na Tabela 26.

Tabela 26. Categorias utilizadas para análise dos resultados do estudo experimental II – introdução do conceito de calor

| Constituintes de um conceito | Características consideradas em cada componente | Situação |
|--|--|-----------------|
| A - Evidências de invariantes operatórias (teoremas-em-ação e conceitos-em-ação) | A1 - Evidencia relacionar a maior temperatura do ar com uma densidade menor. | 1 |
| | A2 - Evidencia utilizar adequadamente o conceito calor como um processo de transferência de energia. | 2 |
| | A3 - Evidencia compreender que, durante a mudança de fase, não há variação de temperatura. | 3 |
| | A4 - Evidencia relacionar o calor específico maior a uma menor variação de temperatura. | 4 |
| | A5 - Evidencia compreender que, durante a mudança de fase, não há variação de temperatura e que, quando não há mudança de fase, a temperatura varia. | 5 |
| | A6 - Evidencia compreender que, durante a mudança de fase (vapor para líquido), o calor latente de fusão é negativo. | 6 |
| B - Utilização de representação | B5 - Representa graficamente a variação de temperatura (eixo vertical) e o calor (eixo horizontal). | 5 |
| | B6 - Representa o calor através da sua soma algébrica, percebendo que a soma é zero. | 6 |
| C - Resolução de situações | C1 - Resolve a situação percebendo que a posição mais adequada para o condicionador de ar é no alto da parede. | 1 |
| | C2 - Resolve a situação percebendo que a maior sensação de frio será no pé que está sobre o ladrilho e dando uma explicação adequada. | 2 |
| | C3 - Resolve a situação percebendo que a temperatura final do gelo será 0°C. | 3 |
| | C4 - Resolve a situação explicando que o calor específico da areia é baixo. | 4 |
| | C5 - Resolve a situação encontrando o calor total. | 5 |
| | C6 - Resolve a situação determinando a temperatura de equilíbrio térmico. | 6 |

Os alunos foram submetidos a um conjunto de seis questões, que foram avaliadas segundo as categorias definidas na tabela supracitada. Foi atribuído

escore 3 às respostas que estão de acordo com as concepções aceitas cientificamente, escore 2 às que estão parcialmente corretas e 1 se estão em desacordo com a concepção científica.

Para a definição das categorias, foram criadas categorias a priori, de acordo com a TCC utilizada, buscando abranger todos os componentes de um conceito. Posteriormente, essas categorias foram recategorizadas, buscando outras que emergiram das próprias questões da avaliação. Definidas as categorias, cada avaliação foi numerada e foram definidos seus escores. Foi utilizada uma planilha Excel para fazer a análise de consistência interna, cujos resultados são mostrados na Tabela 27.

Tabela 27. Resultado da análise de consistência interna dos resultados do estudo experimental II – introdução do conceito de calor

| Pontuação total | Média | Desvio padrão | Coefficiente α de Crombach |
|-----------------|-------|---------------|-----------------------------------|
| 42 | 31,6 | 4,9 | 0,66 |

Foi utilizado o coeficiente de correlação de Pearson (Tabela 28) para determinar a pontuação entre cada categoria e a pontuação total.

Tabela 28. Coeficiente de correlação de Pearson dos resultados do estudo experimental II – introdução do conceito de calor

| Categoria | Evidências de invariantes operatórios | Utilização de representação | Resolução de situações |
|-------------------------|---------------------------------------|-----------------------------|------------------------|
| Coefficiente de Pearson | 0,86 | 0,60 | 0,83 |

A Tabela 29 mostra o desempenho médio dos alunos em cada categoria apresentada na Tabela 26.

Tabela 29. Desempenho médio dos alunos em cada categoria do estudo experimental II – introdução do conceito de calor

| Categoria | A1 | A2 | A3 | A4 | A5 | A6 | B5 | B6 | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 | C6 |
|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Desempenho | 0,70 | 0,59 | 0,81 | 0,56 | 0,68 | 0,64 | 0,69 | 0,72 | 0,98 | 0,74 | 0,90 | 0,81 | 0,80 | 0,47 |

A Tabela 30 mostra o desempenho médio em cada categoria após o estudo do conceito calor comparado ao seu desempenho inicial. O desempenho inicial foi obtido através do pré-teste cuja análise é apresentada no Capítulo oito.

Tabela 30. Desempenho da turma 2311 nos instrumentos do estudo experimental II – introdução do conceito de calor

| Critério | Desempenho médio inicial | Desempenho médio após o estudo do conceito de temperatura |
|--|---------------------------------|--|
| Total | 0,29 | 0,72 |
| Evidências de invariantes operatórios (teoremas-em-ação e conceitos-em-ação) | 0,31 | 0,66 |
| Utilização de representação | 0,29 | 0,71 |
| Resolução de situações | 0,26 | 0,78 |

A categoria que obteve menor evolução foi a categoria A (evidências de invariantes operatórios), seguida das categorias A2 e A4, pois, na categoria A2, os alunos ainda entendem o calor como uma substância ou fluido que pode estar contido num corpo. Não só os estudantes, mas muitos livros-texto, como mostra o estudo de Alomá e Malaver (2007), utilizam frases que confundem o conceito calor. Estes autores citam vários exemplos, como “se adiciona calor ou se dissipa calor”, de uso comum nos textos de Termodinâmica, que reforçam a ideia de que o calor é uma propriedade que os objetos possuem, e que os sistemas podem ter calor. Assim, a ideia do calórico persiste tanto nos alunos como em algumas expressões utilizadas em muitos livros-texto.

Na categoria A4, os alunos não relacionam o calor específico maior com uma menor variação de temperatura. Na verdade, não entendem o significado do calor específico e o confundem com a condutividade térmica.

Na resolução de situações sobre mudança de fase, em sala de aula, muitos alunos evidenciaram não saber que a temperatura permanece constante; mas, na avaliação, categoria A3, obtiveram desempenho 0,81, evidenciando a compreensão de que, durante a mudança de fase, a temperatura permanece constante.

Quanto à categoria B, utilização de representações, houve evolução, indicando que muitos alunos representam graficamente a temperatura em função do calor e representam também o calor através de uma soma algébrica, percebendo que essa soma é nula.

Embora na categoria C (resolução de situações) os estudantes tenham obtido o melhor desempenho, principalmente nas situações que não envolvem resolução

matemática, a categoria C6 é a que obtém o menor desempenho, pois muitos alunos, embora compreendam que a energia transferida (calor) de um corpo deva ser recebida pelo outro até o equilíbrio térmico, não conseguem determinar matematicamente tal temperatura.

O gráfico da Figura 12 mostra os resultados do desempenho inicial e os resultados após o estudo do conceito calor, nas categorias A, indicadores de invariantes operatórios (teoremas-em-ação e conceitos-em-ação), categoria B, utilização de representações simbólicas e gráficas e categoria C, resolução de situações. A categoria que apresenta uma evolução menor é a que busca indicadores de invariantes operatórios, seguida da categoria utilização de representações simbólicas e resolução de situações.

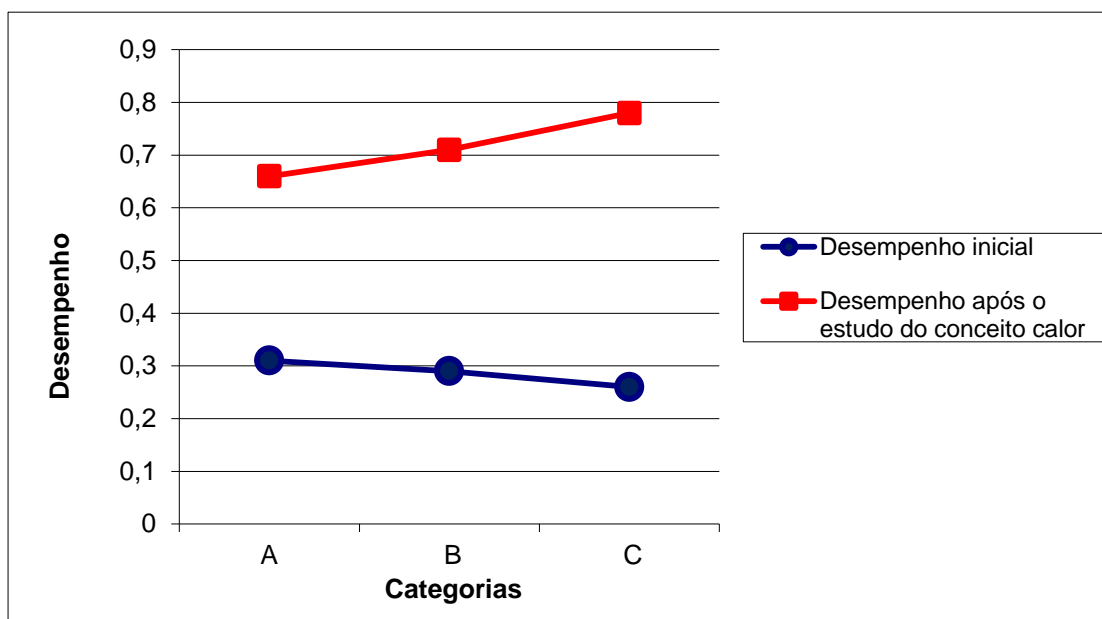


Figura 12. Gráfico de comparação entre o desempenho inicial e o desempenho após o estudo do conceito calor em cada categoria

7.2.4 Conclusão sobre o estudo do conceito calor

As discussões orais e escritas das duplas de estudantes evidenciaram que os alunos, em geral, compreendem que corpos, inicialmente, a temperaturas diferentes, atingirão o equilíbrio térmico, embora alguns, como mostra a categoria TVD, acreditem que, para ocorrer transferência de energia (calor), são necessários, além de temperaturas diferentes, volumes diferentes. Nessa mesma perspectiva, apesar

de os alunos evidenciarem a compreensão de que existe uma temperatura de equilíbrio térmico, muitos, na avaliação final, não conseguiram determinar esta temperatura.

Por outro lado, na discussão oral e nas conclusões escritas, muitos alunos evidenciaram utilizar o conceito calor como uma substância contida num corpo e, outras vezes, como sinônimo de energia, como já foi detectado por outros autores (Erickson, 1979; Erickson, 1980; Tiberghien, 1983; Brook, 1984; Garcia Hourcade e Rodriguez De Ávila, 1985; Macedo e Soussan, 1986). Esta concepção de calor persiste, sendo ainda detectada na avaliação final através da categoria A2, pois, nesta categoria, os alunos ainda atingem um índice baixo de desempenho. O estudo mostra como a concepção de calor como substância é de difícil evolução.

A avaliação final evidencia que os alunos não construíram significados para o conceito calor específico, pois confundem o calor específico com o coeficiente de condutividade térmica. Acreditam também que um calor específico maior é responsável por uma maior variação de temperatura. Como os resultados mostram os estudantes apresentam muitas dificuldades.

Em relação à mudança de fase, inicialmente, os alunos evidenciaram desconhecer que a temperatura permanece constante; mas, na avaliação final, categorias A3 e A5, os estudantes apresentaram um bom desempenho, indicando evolução durante o estudo das mudanças de fase.

Embora os estudantes ainda apresentem dificuldades conceituais diagnosticadas, após a avaliação final, podemos observar o gráfico da Figura 12 que houve uma evolução significativa no seu desempenho no estudo do conceito calor em relação ao desempenho inicial. A mudança conceitual era entendida como a substituição de uma ideia prévia, não científica, por uma científica (Hewson, 1981; Posner et al., 1982; Hewson & Thorley, 1989). No entanto, hoje acreditamos assim como Toulmin (1977, p. 131), que ocorre um processo de evolução conceitual. Assim, mesmo após o estudo do conceito calor, muitos estudantes explicam muitas situações com ideias não científicas, que podem coexistir com os conceitos científicos.

A maioria dos estudantes evidencia relacionar o conceito de calor com um mecanismo de transferência de energia. Percebem que, durante o processo de mudança de fase, uma substância pode receber calor e a sua temperatura se mantém constante; da mesma forma a substância pode ceder calor e a sua temperatura também se mantém constante. Entendem que, no processo de convecção, o fluido, ao receber calor, aumenta sua temperatura, enquanto a densidade diminui. Percebem ainda que as substâncias de maior calor específico e maior capacidade térmica, ao receberem a mesma quantidade de calor que outra de menor calor específico ou capacidade térmica, sofrem uma menor variação de temperatura.

Representam, adequadamente, através de gráficos, a relação entre o mecanismo de transferência de calor e a variação de temperatura, bem como o mecanismo de transferência de calor com a temperatura constante, durante os processos de mudança de estado. Resolvem situações envolvendo os processos de convecção, condução e radiação, além de situações envolvendo transferência de calor com variação de temperatura ou mudança de estado.

E, por fim, apresentam dificuldades na resolução de situações que exigem a determinação da temperatura de equilíbrio térmico e o balanço energético, mas mesmo assim os estudantes obtiveram o melhor desempenho na categoria resolução de situações.

7.3 Estudo Experimental III – Introdução do Conceito Energia Interna

No terceiro estudo sobre os conceitos da Termodinâmica, o conceito chave estudado é a energia interna e as transformações gasosas. O objetivo deste estudo é fazer com que os estudantes construam significados do conceito energia interna e das transformações gasosas. Estudos anteriores mostram que muitos estudantes universitários não apresentam concepções sobre energia interna ou só fazem referência à energia interna se questionados (Silva, 1986; Martinez, 1998). No estudo exploratório foi constatado que também no ensino médio, os estudantes não apresentam significados para o conceito energia interna.

7.3.1 Metodologia

Na introdução do conceito energia interna, os alunos foram submetidos a um conjunto de cinco situações (Apêndice III, p. 413), e duas duplas e um trio que se dispuseram foram gravados. Na aula do dia 21/09/07, 20 alunos compareceram na aula e trabalharam em 7 duplas e 2 trios. A Tabela 31 mostra a distribuição das aulas durante o estudo da energia interna e transformações gasosas. Durante o desenvolvimento da aula a pesquisadora percebeu que o conceito energia interna não era familiar para os alunos. Além da discussão entre os estudantes foi necessária uma discussão geral, como nas outras aulas. Na introdução dos demais conceitos, foi utilizado textos, mas sempre dando ênfase às discussões mediada pelo professor.

Tabela 31. Caracterização das aulas durante o desenvolvimento do conceito energia interna e transformações gasosas.

| Data | Tempo | Aula | Gravação das duplas | Atividade |
|-------|---------|------|--|--|
| 21/09 | 50 min | 1 | ARI, SOL e NIC; DIO e REN; ROB e ART | Situações sobre energia interna e discussão das situações (Apêndice III, p. 415) |
| 27/09 | 50 min | 2 | | Discussão sobre o texto energia interna (Apêndice V, p. 472) |
| 27/09 | 50 min | 3 | | Introdução ao Estudo de Gases |
| 28/09 | 50 min | 4 | | Discussão sobre o texto Estudo de Gases (Apêndice V, p. 480) e simulação computacional sobre as transformações gasosas |
| 04/10 | 100 min | 5-6 | | Simulação computacional sobre as transformações gasosas. Discussão sobre o texto Teoria Cinética dos Gases (Apêndice V, p.475). Resolução de Problemas |
| 05/10 | 50 min | 7 | | Atividade prática: transformação isotérmica |
| 11/10 | 100 min | 8-9 | | Avaliação sobre energia interna e estudo de gases envolvendo os conceitos de calor e temperatura (Apêndice IV, p. 437) |

7.3.2 Apresentação e discussão dos resultados

Dando continuidade à proposta metodológica, o conceito energia interna, no dia 21/09/07, foi introduzido a partir de situações-problema que foram discutidas oralmente e gravadas. A gravação dos alunos DIO e REN foi escolhida para análise, uma vez que se apresentava mais audível.

7.3.2.1 Análise da discussão oral das situações sobre energia interna

Para Jean Brun (2008, p. 44, apud Vergnaud), o par conceitual “esquema-situação” é a chave da abóboda, isto é, da sustentação da psicologia cognitiva e da teoria da atividade: por esta simples razão que o conhecimento, sendo adaptação, são os esquemas que se adaptam, e eles se adaptam às situações. Por outro lado, Brun (2008, p. 44) esclarece que a evolução do conhecimento se mede a partir da reorganização progressiva do esquema à medida do avanço da atividade em situação. Por isso, a análise da discussão dos alunos em situação é feita a partir dos esquemas ou esquemas em construção (modelos mentais) (EPR e ECO), dos componentes dos esquemas (IOP, ANT, ANT, REA e INF) e das necessidades de filiações e rupturas com conhecimentos anteriores (FIL e RUP).

(O aluno DIO lê a situação 1a):

1. DIO: Um preguinho de ferro e um bloco grande também de ferro são retirados de um forno quente depois de permanecer ali por certo tempo. a) O que se pode afirmar a respeito das temperaturas do preguinho e do bloco de ferro?

2. REN: **Estão à mesma temperatura (EPR).**

3. DIO: Por quê?

4. REN: Porque estão dentro de um forno. A massa não interfere.

5. DIO: Ta, nós sabemos que eles estão submetidos à mesma temperatura, ambos são de ferro e o calor específico deles é o mesmo.

6. REN: **Mas a massa é diferente, então o calor específico é diferente (REA).**

7. DIO: **O calor específico não muda. Acho que eles estarão em equilíbrio térmico, porque eles estão isolados (INF).**

Inicialmente, a aluna REN (turno 2) parece utilizar um esquema que dá conta da situação (**EPR**), pois conclui de imediato que, se o preguinho e o bloco estão no forno, eles devem ter a mesma temperatura por estarem em equilíbrio térmico com a temperatura do forno e, na sequência da discussão, como DIO explica, os corpos estão à mesma temperatura, pois estão dentro de um forno, e a massa não interfere. Quando o aluno DIO concorda e faz referência ao calor específico, a aluna REN (turno 6) utiliza uma regra de ação (**REA**) inadequada: “se a massa é diferente, então o calor específico é diferente”. O aluno DIO explica que o calor específico não muda e infere (**INF**) (turno 7) que os corpos estão em equilíbrio térmico porque estão isolados. Uma observação que podemos fazer a respeito das discussões dos alunos

é que são breves, e isto se deve, provavelmente, ao fato de não estarem acostumados a discutir sobre situações-problema. Os alunos estão habituados a mais de dez anos de ensino formal com uma metodologia que não os leva a discussões, assim, quando são solicitados a discutir, parece que as suas discussões não são totalmente exploradas, ou seja, são bastante resumidas.

(O aluno DIO lê a situação 1b):

8. DIO: b) Quando forem mergulhados em recipientes idênticos, com água na mesma temperatura, 20°C, qual deles elevará mais a temperatura da água? Explique:

9. DIO: **O que vai elevar mais a temperatura da água será o bloco, porque contém maior massa, então transfere maior quantidade de calor (EPR).**

Ao responder a situação 1b, o aluno DIO (turno 9) parece fazer uso de um esquema automatizado que dá conta imediatamente da situação. De fato há uma maior transferência de energia do bloco (calor) para a água do que do preguinho para a água. No entanto, os alunos não fazem referência ao conceito energia interna, que é o fator que determina a diferença de temperatura entre as duas porções de água.

(O aluno DIO lê a situação 1c):

10. DIO: c) Qual é a diferença entre os dois corpos que determina uma maior temperatura em uma das quantidades de água? Explique:

11. REN: **A massa (EPR).**

12. DIO: Por quê?

13. REN: Porque quanto maior a massa, maior a capacidade térmica.

A aluna REN (turno 11) parece responder a situação 1c com um esquema automatizado (**EPR**). Mesmo que os alunos não façam referência à energia interna, que é maior no bloco do que no preguinho, eles explicam a situação em termos de capacidade térmica. Embora o conceito capacidade térmica não deva ser interpretado como a quantidade de calor que um corpo pode reter, mas simplesmente a energia fornecida a um corpo (calor) para elevar de uma unidade sua temperatura, tal conceito pode sugerir que um corpo possui a capacidade de receber calor. Assim, o termo capacidade térmica reforça a ideia errônea dos estudantes de que os corpos possuem calor.

(O aluno DIO lê a situação 2a):

14. DIO: Suponha dois recipientes contendo a mesma quantidade de água, à mesma temperatura, 20°C. E é colocado, no primeiro, um bloco de ferro à temperatura de 50°C e, no segundo, um bloco de ferro de mesma massa que o anterior, mas a temperatura de 80°C. a) Em qual das situações a água aquecerá mais? Justifique sua resposta:

15. DIO: No segundo, pois o calor transferido é maior. Por exemplo, quando pergunta em qual água vai aquecer mais, quer saber em qual **a quantidade de calor será maior (RUP)**. Aqui a temperatura será 80°C menos 20°C, **a diferença de temperatura será 60°C, e no primeiro bloco a diferença de temperatura será 30°C (EPR)**.

16. REN: **Então eu respondo que a água aquecerá mais com o segundo bloco, pois a variação de temperatura será maior do que no primeiro bloco (INF)**.

Novamente, os estudantes utilizam um esquema que parece dar conta da situação **(EPR)** (turno 15), uma vez que o estudante DIO resolve de imediato a situação. No entanto, ele utiliza calor como algo que está contido na água, no sentido de uma substância e não de um mecanismo de transferência de energia, o que indica a necessidade de uma ruptura **(RUP)**. A aluna REN (turno 16) infere **(INF)** que a água aquecerá mais com o segundo bloco, uma vez que a variação de temperatura será maior.

(O aluno DIO lê a situação 2b):

17. DIO: b) Compare o preguinho e o bloco de ferro da situação 1a com os blocos de ferro desta situação dois. Nas duas situações, o que determina o aumento da temperatura da água?

18. REN: **Na situação um é a massa do bloco que é maior que a do preguinho, e na situação dois é a temperatura (EPR)**.

19. DIO: **Nós podemos colocar que nos dois é a capacidade térmica (RUP)**.

A estudante, no turno 18, utiliza um esquema que dá conta da situação **(EPR)**, mas o aluno DIO explica em termos de capacidade térmica. No entanto, na segunda situação, a capacidade térmica é a mesma, uma vez que o calor específico e a massa são idênticos. Assim, é necessária uma ruptura **(RUP)**, pois os alunos explicam a situação em termos de capacidade térmica e não fazem referência à energia interna. Os alunos parecem desconhecer que, nas duas situações, o que determina o aumento da temperatura da água é a variação da energia interna.

(O aluno DIO lê a situação 2c):

20. DIO: c) O que os corpos apresentam de similar nas duas situações? **O material de todos é o ferro.**

21. REN: **Então o calor específico deles é o mesmo (REA).**

De fato, nas situações um e dois, os corpos apresentam o mesmo calor específico, mas não é o que determina a diferença de temperatura da água nos dois casos. O que os corpos apresentam de similar e que determina a diferença de temperatura da água é que, nas duas situações, um corpo possui maior energia interna do que o outro. A aluna REN (turno 21) utiliza uma regra de ação (**REA**) quando explica que, “se o material é o mesmo, então o calor específico é o mesmo”.

(O aluno DIO lê a situação 3):

22. DIO: 3) Um cubo de gelo pequeno a 0°C e um cubo de gelo grande também a 0°C são colocados em dois recipientes contendo a mesma quantidade de água. Qual dos dois esfriará mais a quantidade de água? Justifique:

23. REN: É o mesmo caso dos blocos, só que agora vai esfriar mais.

24. DIO: Só que eles estão à mesma temperatura

25. REN: A massa interfere na capacidade térmica. Então o bloco grande vai esfriar mais a água.

26. DIO: **O cubo maior, pois sua capacidade térmica é maior (RUP).**

Como já foi mencionado, o conceito capacidade térmica não deve ser relacionada com o calor que um corpo possui, mas com a energia que pode ser fornecida para variar a temperatura de outro corpo. Assim, um corpo não possui capacidade térmica, mas uma quantidade maior de energia interna que é possível ser transferida. No turno 26, quando o aluno DIO diz que o cubo maior possui capacidade térmica maior, é necessário uma ruptura (**RUP**), no sentido de que o bloco não possui maior capacidade térmica, mas permite variar mais a temperatura de outro corpo. Como já foi mencionado, a ideia de que um corpo possui capacidade térmica reforça a ideia errônea de que o calor é uma substância que pode estar contida num corpo.

(O aluno DIO lê a situação 4):

27. DIO: 4) Um barril cheio de água quente transfere mais energia (calor) para uma substância mais fria do que uma xícara de água à mesma temperatura. Se as temperaturas são as mesmas, porque o barril transfere mais energia (calor) do que a xícara de água?

28. REN: Por causa da massa.

29. DIO: Porque a massa do barril é bem superior à massa da xícara, **fazendo com que sua capacidade térmica também seja maior (RUP).**

Da mesma forma que na situação 3, na situação 4, os estudantes também atribuem aos corpos uma capacidade térmica (turno 29), interpretada como a quantidade de calor que um corpo pode reter. Logo, também nesta situação, é necessária uma ruptura (**RUP**) com os conhecimentos anteriores. Novamente, os estudantes não fazem referência à diferença de energia interna das duas porções de água.

(O aluno DIO lê a situação 5):

30. DIO: Em alguns casos, como no derretimento do gelo, o calor absorvido realmente não aumenta a temperatura. Neste caso, a substância sofre uma mudança de fase. O que acontece com o calor absorvido, uma vez que não há aumento da temperatura do corpo? Explique.

31. DIO: O calor absorvido vai fazer com que mude de fase.

32. REN: A energia é utilizada para causar **a mudança molecular da substância**, passando do estado sólido para o líquido (IOP).

No turno 31, o aluno DIO simplesmente repete o que foi exposto na situação, e a aluna REN não consegue expor adequadamente suas ideias, pois podemos inferir que aluna percebe que há um rearranjo molecular na mudança de fase (turno 32). Com isso, consideramos que a aluna usa um invariante operatório, mas não consegue expressá-lo, pois os teoremas-em-ação são, muitas vezes, utilizados na ação e não são explicitados. Por outro lado, os alunos não mencionam que, apesar da temperatura não variar, há uma variação da energia interna.

Este conjunto de situações tinha o objetivo de detectar o significado que os estudantes atribuem ao conceito energia interna. No entanto, os alunos, ao tentarem resolver as situações, não mencionam tal conceito, evidenciando o que foi constatado por outros pesquisadores (Silva, 1986; Martinez, 1998), que os alunos não apresentam concepção sobre energia interna. Por outro lado, foi possível constatar que os estudantes ainda utilizam o conceito de calor como uma substância que pode estar contida num corpo. Da mesma forma, o conceito capacidade térmica é interpretado como a quantidade de calor que um corpo pode reter e não como a energia fornecida a um corpo para elevar de uma unidade a sua temperatura.

7.3.2.2 Análise da discussão escrita das situações sobre energia interna

As respostas das cinco situações discutidas em dupla ou trio foram organizadas em categorias de acordo com os significados emergentes (Moraes e

Galliazzi, 2007). Trata-se de um modo de chegar a um conjunto de categorias indo das informações e dados para classes de elementos que têm algo em comum. Assim, buscamos, nas respostas dos estudantes, aquelas que apresentavam significados comuns, para agrupá-las numa mesma categoria. Tais categorias foram definidas a partir das respostas dos estudantes, assim, dependendo das respostas a cada situação, o número de categorias foi definido.

Situação 1a) Um preguinho de ferro e um bloco grande também de ferro são retirados de um forno quente, depois de permanecer ali por certo tempo. a) O que se pode afirmar a respeito das temperaturas do preguinho e do bloco de ferro? Explique.

Respostas que dizem que as temperaturas entrarão em equilíbrio térmico (TET). Os alunos explicam que o preguinho e o bloco atingirão a mesma temperatura ou entrarão em equilíbrio térmico. Exemplo: “*Os corpos entrarão em equilíbrio térmico, pois estarão submetidos à mesma temperatura e isolados do meio ambiente*” (R5).

Respostas que não apresentam coerência (NAC). Uma dupla de estudantes dá uma resposta que não explica o que foi perguntado. Exemplo: “*O prego, devido a ele ter menos massa e menos moléculas para se movimentar*” (R6). Esta resposta indica que os alunos não interpretaram adequadamente a questão, por isso sua resposta está sem nexos.

Situação 1b) Quando forem mergulhados em recipientes idênticos, com água na mesma temperatura (20°C), qual deles elevará mais a temperatura da água? Explique.

Respostas que dizem que o bloco elevará mais a temperatura devido à maior massa (TMM). Os estudantes explicam que o bloco aquece mais a água porque sua massa ou volume é maior. Exemplo: “*O bloco de ferro elevará mais a temperatura da água, pois possui uma massa maior*” (R8). De fato, o corpo que possui maior massa elevará mais a temperatura do corpo. Os alunos respondem referenciando somente

o conceito de massa; não fazem referência à energia interna, provavelmente, porque este conceito ainda não lhes faz sentido.

Respostas que dizem que o bloco elevará mais a temperatura, porque tem mais calor (TMC). Aqui, os estudantes respondem utilizando calor como algo ou uma substância que o corpo possui. Poderíamos considerar que os estudantes dão o sentido de energia ao calor, pois o bloco possui maior energia interna. Outros pesquisadores (Martínez e Pérez, 1997) já haviam detectado que os estudantes utilizam o conceito calor com sentido de energia. Exemplo: “*O bloco, pois tem uma quantidade de calor concentrado maior*” (R1).

Situação 1c) Qual é a diferença entre os dois corpos que determina uma maior temperatura em uma das quantidades de água? Explique.

Respostas que explicam que o volume determina a maior temperatura e relacionam a energia interna. Somente uma dupla faz referência à energia interna do corpo. Exemplo: “*A diferença é o volume, pois quanto maior ele é, maior a sua energia interna*” (R9).

Respostas que explicam que a massa ou volume determina a maior temperatura numa das quantidades de água. Os alunos explicam que a massa ou volume determina a maior variação de temperatura de uma das quantidades de água e relacionam com uma maior quantidade de calor do corpo. Exemplo: “*O volume, já que tem mais calor a fornecer que o outro*” (R1).

No estudo destas situações, cujo objetivo era introduzir o conceito energia interna, podemos perceber que os estudantes ainda apresentam a concepção de que o calor está contido num corpo. Outros utilizam calor com o significado de energia interna, como mostram também os estudos de outros pesquisadores (Ibid.), para quem os alunos apresentam a concepção de que o calor é a energia que os corpos possuem.

Situação 2) Suponha dois recipientes contendo a mesma quantidade de água à mesma temperatura (20°C); é colocado, no primeiro, um bloco de ferro à

temperatura de 50°C e, no segundo, um bloco de ferro de mesma massa que o anterior, mas à temperatura de 80°C . a) Em qual das situações a água aquecerá mais? Justifique sua resposta.

Respostas que dizem que o bloco de temperatura maior aquecerá mais a água, pois tem mais energia interna (TEI). Esses estudantes relacionam a maior temperatura com a maior energia interna que os corpos possuem, fator que torna possível transferir mais energia (calor) para a água e, conseqüentemente, aumentar mais a sua temperatura. Exemplo: *“No bloco de temperatura maior, pois este tem mais energia interna a transferir”* (R1).

Respostas que dizem que na segunda situação a água aquecerá mais, pois o bloco tem mais calor (MBC). Estes estudantes continuam atribuindo ao calor um sentido de algo que está contido no corpo. Exemplo: *“A segunda, porque o bloco a 80°C tem mais calor a liberar”*(R7).

Respostas que dizem que na segunda situação haverá maior aquecimento, pois o bloco possui maior temperatura (SBT). De fato, o bloco que tem maior temperatura tem também maior energia interna, aumentando mais a temperatura da água. Os alunos explicam em termos de temperatura, mas não mencionam o conceito energia interna. Exemplo: *“No segundo bloco, pois tem maior temperatura”* (R3).

Embora as categorias MBC e SBC não mencionem o conceito energia interna, a categoria TEI já explica o maior aumento de temperatura em termos de maior energia interna que é possível ser transferida. Parece que estes alunos começam a dar significado ao conceito de energia interna.

Situação 2b) Compare o preguinho e o bloco de ferro da situação um com os blocos de ferro desta situação dois. Nas duas situações, o que determina o aumento da temperatura da água.

Respostas que dizem que o que determina o aumento de temperatura da água é o volume, massa ou temperatura (TVT). Os alunos explicam que o que

determina a maior variação de temperatura depende da massa ou volume ou das temperaturas. Exemplo: *“Na situação um, os corpos têm temperaturas iguais e massas diferentes; e, na situação dois, os corpos têm massas iguais e temperaturas diferentes. Por isso, a variação da temperatura da água depende da massa do corpo ou da temperatura do corpo. Isto significa que o corpo de maior massa possui maior energia interna, mas não é uma condição necessária, pois, mesmo quando as massas são iguais, se as temperaturas forem diferentes, a energia interna será diferente para os dois corpos”* (R8).

Respostas que dizem que o que determina o aumento da temperatura da água é a quantidade de calor (ATC). Os alunos justificam o aumento de temperatura através da quantidade de calor. Exemplo: *“A quantidade de calor contida nos corpos”* (R1). Novamente, os alunos atribuem ao calor a ideia de propriedade da substância que pode estar contida em um corpo.

Respostas que dizem que o que determina o aumento da temperatura da água é a capacidade térmica (ACT). Somente uma dupla responde que a capacidade térmica determina o aumento da temperatura da água. Exemplo: *“A capacidade térmica”* (R5). Os alunos simplesmente respondem capacidade térmica, mas não dão maiores explicações.

Na categoria TVT, embora os alunos percebam que a massa e a temperatura estão relacionadas com a maior variação da temperatura da água, não conseguem ainda fazer essa relação com a energia interna, que é o que determina a maior variação. Embora não fazendo referência à energia interna, parece que os alunos passam a relacioná-la à massa e à temperatura e que começam a dar sentido ao conceito de energia interna. No entanto, eles não percebem que massas diferentes ou temperaturas diferentes não determinam a maior energia interna, pois, mesmo quando as massas são iguais, se as temperaturas são diferentes, um corpo possui maior energia interna do que o outro; da mesma forma, se as temperaturas são iguais, mas as massas diferentes, os corpos apresentam energia interna diferente.

Situação 2c) O que os corpos apresentam de similar nas duas situações?

Respostas que dizem que o que há de similar é o mesmo material ou o calor específico (SCE). Os estudantes explicam adequadamente que o material e o calor específico são iguais, mas não relacionam com o que foi perguntado anteriormente, ou seja, com a maior variação de temperatura como consequência da energia interna. Exemplo: “*O mesmo calor específico*” (R9).

Respostas diversas e inadequadas (RDI). Os estudantes dão diversas respostas incorretas, utilizando relações inadequadas. Exemplo: “*Os corpos possuem o mesmo coeficiente de temperatura*” (R3). Aqui, os alunos inventam um coeficiente que não existe.

Nas situações um e dois, embora as condições iniciais fossem diferentes, houve em ambas uma variação de temperatura que está relacionada à variação da energia interna. A energia interna, na situação um, era maior no corpo de maior massa; e, na situação dois, era maior no corpo de maior temperatura. Nos dois casos, como não há mudança de fase, a parcela de energia interna que é transferida como calor é a energia cinética média dos átomos ou moléculas.

Situação 3) Um cubo de gelo pequeno a 0°C e um cubo de gelo grande também a 0°C são colocados em dois recipientes contendo a mesma quantidade de água. Qual dos dois esfriará mais a quantidade de água? Justifique.

Respostas que dizem que o cubo de gelo maior resfriará mais a água devido à sua energia interna (MEI). Esta dupla de alunos justifica o maior resfriamento em termos de energia interna. De fato, como o gelo tem maior massa, a sua energia interna será maior, provocando maior variação de energia interna e, conseqüentemente, maior variação de temperatura da água. Como as temperaturas dos cubos de gelo são iguais, as energias cinéticas médias são iguais, e a parcela da energia interna que difere é a energia potencial de interação entre átomos e moléculas. Na resposta desta situação, novamente, uma pequena parcela de estudantes atribui algum sentido ao conceito energia interna. Exemplo: “*O que esfriará mais a água é o gelo maior, porque seu volume é maior, o que causa uma maior energia interna*” (R9).

Respostas que dizem que o cubo de gelo maior resfriará mais a quantidade da água, pois retira uma quantidade maior de energia da água (RME). Os alunos explicam que o cubo de gelo maior resfriará mais a quantidade de água por retirar mais energia da água, resfriando-a mais. Exemplo: *“O cubo maior, pois tem uma quantidade maior de energia a retirar da água”* (R1).

Respostas que dizem que o cubo maior resfriará mais a água, pois tem maior massa ou volume (RMV). Os alunos explicam que o cubo de maior massa ou maior volume resfria mais a água. De fato, a água resfriará mais em contato com o bloco de maior massa, mas os alunos não explicam em termos de energia. Exemplo: *“O cubo maior, pois contém maior massa”* (R3).

Respostas que dizem que o cubo maior resfriará mais, pois a sua capacidade térmica é maior. Os alunos relacionam o maior resfriamento da água à capacidade térmica do gelo. Exemplo: *“O cubo maior, pois sua capacidade térmica será maior devido à sua massa”* (R5). Não se pode justificar o maior resfriamento em termos da capacidade térmica que o gelo possui, uma vez sugere a quantidade de calor que o corpo pode conter, enquanto que a capacidade térmica significa a energia que se transfere como calor por grau de variação de temperatura.

Situação 4) Um barril cheio de água quente transfere mais energia (calor) para uma substância mais fria do que uma xícara de água à mesma temperatura. Se as temperaturas são as mesmas, por que o barril transfere mais energia (calor) do que a xícara de água?

Respostas que dizem que a massa ou volume do barril é maior, logo possui maior quantidade de calor a transferir (BMC). Os alunos explicam que, como o barril possui maior massa ou volume, possui também mais calor. Exemplo: *“Pois o seu volume é maior, conseqüentemente, tem mais quantidade de calor a transferir”* (R1).

Respostas que dizem que o barril possui maior massa ou maior quantidade de água (MMA). Os alunos não justificam porque a maior massa possibilita transferir mais energia. Exemplo: *“Porque o barril tem uma massa maior do que a da xícara”* (R9).

Respostas que explicam que a massa do barril é maior e também a capacidade térmica (MCT). Os alunos justificam que o barril possui maior capacidade térmica devido à sua maior massa. Exemplo: *“Porque o barril de água quente possui maior massa do que a xícara, tendo uma capacidade térmica maior”* (R8). O conceito de capacidade térmica está relacionado à quantidade de calor transferida por unidade de temperatura. Quando os alunos dizem que o barril com água possui maior capacidade térmica, subentendemos que eles entendem capacidade térmica como a quantidade de calor que um corpo pode conter. No entanto, significa a energia por grau de variação de temperatura que se transfere como calor quando a temperatura do corpo varia.

Situação 5) Em alguns casos, como no derretimento do gelo, o calor absorvido realmente não aumenta a temperatura. Neste caso, a substância sofre uma mudança de fase. O que acontece com o calor absorvido, uma vez que não há aumento da temperatura do corpo? Explique.

Respostas que dizem que o calor é utilizado para desorganizar a estrutura cristalina do gelo (DEC). Os alunos explicam que o calor é utilizado para romper a estrutura cristalina do gelo, fazendo a substância mudar de estado. Exemplo: *“Ele é utilizado para “desorganizar” a estrutura cristalina do gelo, que ocorre durante a fusão”* (R9).

Respostas que dizem que o gelo se transforma em líquido, liberando energia cinética (GLC). Os alunos explicam que o gelo se transforma em líquido, liberando energia cinética, e, assim, a temperatura se mantém constante. Exemplo: *“No caso da fusão do gelo, ele se transforma em líquido, liberando energia cinética. Por isso que a temperatura permanece constante”* (R3).

Respostas que dizem que o calor se mantém constante, logo, a temperatura se mantém constante (CTC). Os alunos explicam que o calor é utilizado para manter a temperatura do corpo constante ou que não há transferência de energia (calor), pois não há variação de temperatura. Exemplo: *“O calor absorvido se mantém constante, pois, mesmo havendo uma mudança de fase, a temperatura se mantém*

constante” (R1). Das respostas destes alunos, podemos inferir que acreditam não ser necessário receber ou liberar calor na mudança de fase.

Respostas que relacionam o calor à agitação de átomos e moléculas (CAM). Os alunos explicam que o calor é utilizado para causar a agitação molecular. Exemplo: “*O calor absorvido serve para causar a agitação molecular para a mudança de fase*” (R8). Estes alunos ainda não relacionam o aumento do movimento de átomos e moléculas com a temperatura; isto significa que, para eles, não está claro o conceito temperatura.

Na situação 5, a categoria DEC é a que mais se aproxima de uma resposta aceita cientificamente. A energia transferida (calor) realmente é utilizada para romper a estrutura cristalina do sólido e, como o sólido recebeu energia, ele passa a ter maior energia interna, ou seja, a água proveniente do gelo à mesma temperatura (0° C) possui maior energia interna que o gelo nesta temperatura. Assim, a temperatura não aumenta, mas aumenta sua energia potencial e, conseqüentemente, a sua energia interna. Como os alunos não chegaram ao significado do conceito de energia interna, a professora explicou que este conceito está relacionado com a interação entre átomos e moléculas e com a energia cinética média de átomos e moléculas. Assim, ao conjunto das energias de movimento e de interação das partículas de um corpo dá-se o nome de energia interna (Moreira, 1999). Como conseqüência, mesmo corpos de mesma massa e mesma temperatura, como é o caso do gelo e da água, possuem energias internas diferentes.

O objetivo deste conjunto de situações era dar sentido ao conceito energia interna. Embora os alunos tenham iniciado o estudo da Termodinâmica com um organizador prévio que fala sobre a energia interna, fica evidente o que já foi constatado por outros pesquisadores (Silva, 1986): a maioria dos alunos não apresenta significado para o conceito energia interna, uma vez que poucos fazem referência a tal conceito.

Por outro lado, os alunos ainda entendem calor como um fluido ou substância contida num corpo, o que também já foi constatado por outros pesquisadores

(Garcia Hourcade e Rodriguez de Ávila, 1985; Brook et al., 1984), ou enquanto sinônimo de energia (Mártinez e Pérez, 1997; Dominguez Castiñeras et al., 1998).

Uma análise de textos universitários (Alomá e Malaver, 2007) conclui que tais textos apresentam frases que confundem o conceito calor com a ideia de uma forma de energia, e essa concepção acaba sendo incorporada pelos estudantes.

Outro conceito utilizado pelos alunos na resolução de situações de forma inadequada é o conceito de capacidade térmica, pois o utilizam como a quantidade de calor que um corpo pode conter, e não como a energia por grau de variação de temperatura que se transfere como calor quando a temperatura do corpo varia.

Por outro lado, alguns alunos entendem que, na mudança de estado, como a temperatura permanece constante, não há transferência de energia. Neste caso, podemos inferir a utilização de um invariante operatório: “quando a temperatura permanece constante, não é necessário o mecanismo de transferência de energia chamado calor”. Assim, neste estudo, podemos constatar que os alunos utilizam a concepção de calor como substância ou energia; a capacidade térmica como algo que o corpo pode conter; na mudança de estado, consideram que não é necessário transferência de energia; e poucos alunos começam a dar sentido ao conceito de energia interna.

7.3.3 Análise dos resultados da avaliação sobre o conceito energia interna

No dia 21/09/2007, foi introduzido o conceito de energia interna através de situações problema. Os estudantes evidenciaram desconhecer o conceito energia interna, e poucos fizeram referência a tal conceito demonstrando dar sentido a ele. No dia 27/09/2007, foi introduzido o estudo dos gases, quando alguns alunos evidenciaram dar sentido às relações entre as grandezas físicas temperatura, volume e pressão nas transformações gasosas apresentadas; alguns analisaram também adequadamente as representações gráficas, relacionando significados e significantes. Após a resolução das situações iniciais, que visava fazer os alunos atribuírem sentido ao conceito de energia interna, foi feito o estudo da energia

interna e das transformações gasosas através da análise e discussão de textos, simulações computacionais e realização de atividade prática de laboratório.

Tabela 32. Categorias utilizadas para análise da avaliação sobre energia interna e transformações gasosas

| Constituintes de um conceito | Características consideradas em cada componente | Situação |
|--|--|----------|
| A - Evidências de invariantes operatórios (teoremas-embrição e conceitos-embrição) | A1 - Evidenciam compreender que um corpo constituído do mesmo material que outro com menor número de moléculas possui maior energia interna. | 1 |
| | A2 – Mostram compreender que na transformação isotérmica não há variação de energia interna. | 2 |
| | A3 - Evidenciam compreender que a pressão e o volume são inversamente proporcionais numa transformação isotérmica. | 3 |
| | A4 - Evidenciam compreender a relação entre as grandezas físicas nas transformações isobárica, isotérmica e isovolumétrica. | 4 |
| | A5 - Relacionam adequadamente as grandezas pressão, volume e temperatura nas transformações gasosas. | 5 |
| | A6 - Relacionam adequadamente a variação da energia interna com a variação de temperatura nos gases monoatômicos. | 6 |
| | A7 - Relacionam adequadamente as grandezas pressão, volume e temperatura com as respectivas transformações gasosas. | 7 |
| B - Utilização de representação | B3 – Relacionam adequadamente a representação simbólica com a representação gráfica de uma transformação isotérmica. | 3 |
| | B4 - Reconhecem e representam graficamente as grandezas pressão, volume e temperatura nas transformações gasosas. | 4 |
| | B5 – Representam adequadamente as transformações isotérmica e isobárica. | 5 |
| | B6 - Relacionam simbolicamente a variação da energia interna com a variação de temperatura. | 6 |
| | B7 – Relacionam a representação gráfica com as transformações isobárica, isotérmica e isocórica. | 7 |
| C - Resolução de situações | C1 - Resolvem situações que relacionam um corpo de maior massa com uma maior variação de temperatura, devido à sua maior energia interna. | 1 |
| | C2 - Resolvem situações que envolvem transformações isotérmicas, percebendo a não variação da energia interna. | 2 |
| | C3 - Resolvem situações que determinam a grandeza física pressão numa transformação isotérmica. | 3 |
| | C4 - Resolvem situações que exigem representar as grandezas físicas pressão, volume e temperatura nas transformações isobárica, isotérmica e isovolumétrica. | 4 |
| | C5 - Determinam o volume final em situações que envolvem duas transformações consecutivas (isotérmica e isobárica). | 5 |
| | C6 - Resolvem situações que determinam a variação da energia interna através da variação de temperatura. | 6 |
| | C7 - Resolvem situação que relaciona as grandezas pressão, volume e temperatura com as transformações isobárica, isotérmica e isovolumétrica. | 7 |

Ao final do estudo, foi feita uma avaliação com o objetivo de verificar como os alunos utilizam os novos conceitos. Os estudantes foram submetidos a um conjunto de sete questões, que foram avaliadas segundo os componentes de um conceito, ou seja, foram categorizadas a priori de acordo com as evidências de invariantes

operatórios, utilização de representações e resolução de situações, e, posteriormente, recategorizadas de acordo com categorias que emergiam de cada questão, como mostra a Tabela 32. Buscamos evidências destes componentes nas respostas dos alunos e atribuímos escore 3 às respostas aceitas cientificamente, 2 às parcialmente corretas e 1 se estivessem incorretas.

Foi aplicado um tratamento estatístico aos resultados obtidos, através de uma planilha Excel, e o resultado da análise de consistência interna é apresentado na Tabela 33.

Tabela 33. Resultado da análise de consistência interna dos resultados dos estudo experimental III – introdução do conceito de energia interna

| Pontuação total | Média | Desvio padrão | Coefficiente α de Crombach |
|-----------------|-------|---------------|-----------------------------------|
| 57 | 44,7 | 4,6 | 0,62 |

Foi utilizado o coeficiente de correlação de Pearson (Tabela 34) para determinar a correlação entre cada categoria e a pontuação total.

Tabela 34. Coeficiente de correlação de Pearson dos resultados do estudo experimental III – introdução do conceito de energia interna

| Categoria | Evidências de invariantes operatórios | Utilização de representação | Resolução de situações |
|--------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------|------------------------|
| Coefficiente de Pearson | 0,90 | 0,71 | 0,86 |

A Tabela 35 mostra o desempenho médio dos alunos em cada uma das categorias apresentadas na Tabela 32.

Tabela 35. Desempenho médio dos alunos em cada categoria do estudo experimental III – introdução do conceito de energia interna

| | | | | | | | |
|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| Categoria | A1 | A2 | A3 | A4 | A5 | A6 | A7 |
| Desempenho | 0,83 | 0,57 | 0,99 | 0,46 | 0,93 | 0,86 | 0,98 |
| Categoria | B3 | B4 | B5 | B6 | B7 | XXX | XXX |
| Desempenho | 0,90 | 0,47 | 0,49 | 0,90 | 0,98 | XXX | XXX |
| Categoria | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 | C6 | C7 |
| Desempenho | 0,85 | 0,67 | 0,88 | 0,39 | 0,94 | 0,84 | 0,98 |

A Tabela 36 mostra o desempenho médio dos alunos após o estudo do conceito energia interna e transformações gasosas, em comparação com seu desempenho inicial.

Tabela 36. Desempenho da turma nos instrumentos do estudo experimental III – introdução do conceito de energia interna

| Critério | Desempenho médio inicial | Desempenho médio após o estudo do conceito energia interna |
|---|--------------------------|--|
| Total | 0,29 | 0,76 |
| A- Evidências de invariantes operatórios (teoremas-em-ação e conceitos-em-ação) | 0,31 | 0,78 |
| B- Utilização de representação | 0,29 | 0,70 |
| C- Resolução de situações | 0,26 | 0,77 |

A evolução dos alunos nas três categorias está representada no gráfico da Figura 13. A menor evolução na categoria A ocorre nas categorias A2 e A4, evidenciando que parte dos alunos não percebe que na transformação isotérmica não há variação de energia interna, e também parece não haver reconhecimento, na categoria A4, das relações entre as grandezas físicas nas transformações isobáricas, isotérmicas e isovolumétrica, embora sejam capazes de relacionar as três grandezas físicas, como fica evidente através da categoria A5.

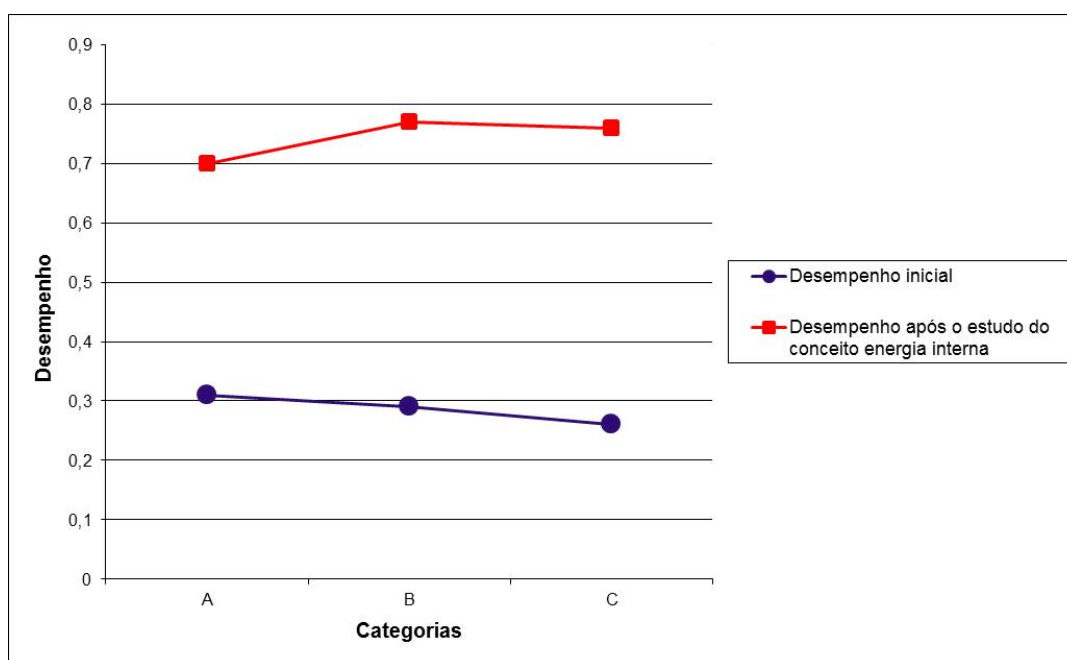


Figura 13. Gráfico de comparação entre o desempenho médio inicial e o desempenho médio após o estudo do conceito energia interna.

Na categoria B, utilização de representações, os alunos apresentam um desempenho médio final de 0,70, o que evidencia que a maioria dos alunos reconhece as representações gráficas e simbólicas utilizadas no conceito de energia interna e nas transformações gasosas. Parece que muitos alunos passam a dominar

esquemas que dão conta de problemas que envolvem situações simbólicas e gráficas. Entretanto, embora os alunos reconheçam as representações gráficas, parece não disporem de esquemas que lhes permitam representar todas as transformações gasosas, como mostram as categoria B4 e B5. Assim, apesar de muitos alunos reconhecerem ou saberem identificar as transformações gasosas, muitos deles não são capazes de representá-las graficamente.

A categoria C, resolução de situações, é a que apresenta maior evolução, embora na categoria C4, que exige a resolução da situação e a representação das grandezas físicas pressão, volume e temperatura, os estudantes apresentem menor desempenho, o que já ficou evidente na categoria B, pois, ainda que os estudantes reconheçam as representações, apresentam dificuldade na hora de fazê-las. Nas demais categorias de resolução de situações, a maioria dos estudantes apresenta um bom desempenho.

7.3.4 Conclusão sobre o estudo do conceito energia interna

Como já mencionamos, a introdução do conceito de energia interna foi realizado através da resolução de situações que buscava dar sentido ao conceito e também diagnosticar os conhecimentos prévios dos alunos.

No estudo inicial, poucos estudantes atribuíram à energia interna as razões de um corpo de maior massa (mas mesma temperatura) ou de maior temperatura (mas de mesma massa) variar mais a temperatura da água, evidenciando que o conceito de energia interna fazia parte dos conhecimentos prévios de poucos estudantes. Por outro lado, muitos estudantes utilizaram o conceito de capacidade térmica para explicar as distintas situações apresentadas. Tal conceito foi utilizado como a capacidade de um corpo conter calor, e não como a energia transferida por grau de variação de temperatura. Assim, além de os estudantes praticamente não atribuírem, inicialmente, sentido ao conceito energia interna, usam concepções errôneas para os conceitos calor (como substância ou sinônimo de energia interna) e capacidade térmica (como algo que o corpo pode conter). Alguns estudantes também acreditam que, na mudança de estado, como a temperatura permanece constante, não é necessária transferência de energia.

Após a avaliação, os estudantes não utilizaram mais o conceito capacidade térmica para explicar as situações apresentadas, mas o conceito energia interna, o que evidencia um avanço após o estudo de tal conceito. As categorias A1, A6, B6 e C6 indicam que houve um avanço na conceitualização da energia interna..

Nas situações iniciais sobre transformações gasosas, alguns alunos atribuíram sentido às transformações isocóricas e isotérmicas. No entanto, inferimos que os estudantes acreditam que um gás não ocupa todo o volume disponível pelo recipiente. É possível perceber também que não interpretam adequadamente o enunciado das situações. Nas representações gráficas, os estudantes mostraram, principalmente, não atribuir sentido à transformação isotérmica.

Através da avaliação, também podemos verificar um bom desempenho nas transformações gasosas, embora constatem, por meio das categorias B4, B5 e C4, que os estudantes ainda apresentam dificuldade nas situações que exigem que eles representem as transformações gasosas. Entretanto, embora os estudantes consigam identificar as transformações, como já haviam demonstrado alguns alunos no início do estudo, eles não conseguem resolver situações e representá-las, principalmente quando tais situações envolvem transformações sucessivas, tais como uma isotérmica sucedida de uma isobárica.

Os alunos compreendem que corpos de maior volume possuem maior energia interna. Entendem também que a energia interna varia com a temperatura, mas têm dificuldades em entender que, nas transformações isotérmicas, não há variação da energia interna. Relacionam adequadamente a pressão, o volume e a temperatura nas transformações isotérmica, isovolumétrica, isobárica e adiabática. Usam, adequadamente, a representação simbólica nas transformações isobárica, isovolumétrica, isocórica e adiabática. Não representam, corretamente, através de gráficos, as grandezas pressão, volume e temperatura nas transformações gasosas. Relacionam as representações gráficas com as transformações isobárica, isovolumétrica e isotérmica.

Além disso, resolvem situações que relacionam o volume à temperatura e à energia interna; situações envolvendo a isotérmica e a invariância da energia

interna; situações que determinam uma grandeza física numa transformação isotérmica; e relacionam as grandezas físicas pressão, volume e temperatura das diferentes transformações. Também resolvem situações que determinam a variação da energia interna através da variação de temperatura.

Apresentam dificuldades em resolver situações que exigem a representação das grandezas físicas pressão, volume e temperatura nas transformações.

O conceito de energia interna se apresenta difícil para os alunos, pois, para os gases ideais, a variação da energia interna depende somente da temperatura. Já numa mudança de estado, a mesma massa de substância no estado sólido e líquido apresenta energias internas diferentes, ainda que as temperaturas sejam iguais.

7.4 Estudo Experimental IV – Introdução do Conceito Trabalho

No quarto estudo sobre os conceitos da Termodinâmica, foram abordados o conceito trabalho e a Primeira Lei da Termodinâmica. Assim, este estudo relaciona os conceitos trabalho, calor e energia interna através da Primeira Lei da Termodinâmica. O objetivo é ampliar o significado do conceito trabalho, apreendido anteriormente em fenômenos mecânicos, para fenômenos térmicos e relacioná-lo com outros conceitos através da lei mencionada.

A pesquisa de Doménech et al. (2003) discute as dificuldades na abordagem dos conceitos trabalho e calor relacionadas à energia, enquanto Alomá e Malaver (2007) fazem um estudo de textos universitários e chamam a atenção de que muitos destes textos poderiam levar os estudantes a terem uma concepção errônea a respeito de tais conceitos. Num trabalho realizado por Grings et al. (2006), a maioria dos estudantes relaciona o significado de trabalho à energia, e agora pretendemos analisar como os alunos constroem o conceito trabalho em fenômenos térmicos, introduzindo tal conceito através de situações-problema. No final do estudo, analisamos o desempenho dos alunos através de uma avaliação utilizando como critério os constituintes de um conceito (evidências de invariantes operatórios, utilização de representações e realização de situações).

7.4.1 Metodologia

Na introdução do conceito trabalho, no dia 18/10/2008, os alunos foram submetidos a um conjunto de cinco situações (Apêndice III, p. 420 - Exemplo de discussão escrita de situações sobre trabalho); trabalharam em 14 duplas e um trio, sendo que três duplas que se dispuseram foram gravadas. A Tabela 37 mostra a distribuição das aulas durante o estudo do conceito de trabalho e da Primeira Lei da Termodinâmica.

Tabela 37. Caracterização das aulas durante o desenvolvimento do conceito trabalho e da primeira Lei da Termodinâmica

| Data | Tempo | Aula | Gravação de três duplas | Atividade |
|-------|---------|-------|-------------------------------------|--|
| 18/10 | 100 min | 1-2 | ARI e SOL JUL e NIC REN e DIO | Situações sobre trabalho (Apêndice III, p. 420). Discussão na turma. |
| 19/10 | 50 min | 3 | | Discussão sobre o texto Trabalho (Apêndice VI, p. 487) |
| 25/10 | 50 min | 4 | | Resolução de problemas |
| 26/10 | 100 min | 5-6 | | Introdução da Primeira Lei da Termodinâmica |
| 01/11 | 100 min | 7-8 | | Estudo do texto Primeira Lei da Termodinâmica (Apêndice V, p. 491) |
| 16/11 | 50 min | 9 | | Resolução de problemas |
| 22/11 | 100 min | 10-11 | | Avaliação sobre trabalho e a Primeira Lei da Termodinâmica (Apêndice IV, p. 441) |

7.4.2 Apresentação e discussão dos resultados

Continuando com a proposta metodológica no dia 18/10/2007, os alunos, por meio de discussão em duplas, enfrentaram cinco situações-problemas sobre trabalho. Como já foi dito, três duplas foram gravadas, e a gravação de uma dupla foi escolhida para análise. A discussão que pareceu mais rica no sentido de mostrar dificuldades foi escolhida para análise.

7.4.2.1 Análise da discussão oral das situações sobre trabalho

Durante a discussão dos alunos, tentamos reconhecer os componentes dos esquemas de Vergnaud (1993, p. 19), invariantes operatórios (IOP), antecipações (ANT), regras de ação (REA) e inferências (INF), bem como buscamos identificar se os estudantes, em suas discussões, acionam esquemas que dão um tratamento relativamente imediato da situação (EPR) ou esquemas que não dão conta da

situação (ECO). Neste caso, acreditamos, como propõem Greca e Moreira (2004, p.47), que os estudantes acionam modelos mentais que poderão tornar-se esquemas de assimilação. Reconhecendo, em concordância com Vergnaud (2003, p.58), Ausubel (1978, p.4) e Moreira (2003, p. 152), a importância dos conhecimentos anteriores, tentamos também reconhecer, na discussão dos estudantes, noções que podem ajudar na construção de novos conhecimentos (FIL) e aquelas que podem apresentar-se como obstáculo (RUP), necessitando, neste caso, de uma ruptura. Optamos por buscar os componentes dos esquemas ou os esquemas, pois, para Vergnaud (2008, p.28), uma situação, um objeto, um enunciado ou uma palavra têm sentido para um aluno na medida em que este consegue evocar um ou vários esquemas de pensamento, quer sejam oportunos ou não. Durante a discussão, os alunos são identificados por REN e DIO.

(O aluno DIO lê a situação 1a):

1. DIO: Discuta em dupla e responda às seguintes situações:
2. DIO: 1a) O que acontece com a temperatura das mãos quando uma pessoa esfrega uma na outra?
3. REN: **Aumenta (EPR)**.
4. DIO: 1b) Foi necessário um corpo com maior temperatura para aumentar a temperatura das mãos?
5. REN: **Não (ECO)**.
6. DIO: 1c) Então é possível aumentar a temperatura de um corpo sem outro corpo a temperatura mais alta?
7. REN: **Não (IOP) (RUP)**.
9. DIO: 1d) Neste caso, o que é necessário?
10. DIO: Fricção, o atrito entre as moléculas.
11. REN: Neste caso foi necessário o movimento de fricção entre as mãos, para que houvesse transferência de calor entre elas.

Inicialmente, a aluna REN (turno 3) parece acionar um esquema que dá conta de imediato da situação (**EPR**), pois percebe que, quando as mãos são esfregadas uma na outra, há um aumento de temperatura. No turno 5, portanto, parece que ela aciona um modelo mental que resolve a situação, mas não a resolve no turno 7. Mesmo respondendo que não é necessário um corpo de maior temperatura para aumentar a temperatura das mãos, em seguida, ela se contradiz e diz que não é possível aumentar a temperatura de um corpo sem outro corpo de temperatura mais alta (**ECO**). Assim, o modelo mental acionado pela estudante não dá conta da

situação e, provavelmente, em seu conhecimento está inserido um teorema-em-ato, não explícito: “só é possível aumentar a temperatura de um corpo através de outro corpo de maior temperatura”. O aluno DIO não contesta, o que significa que ele concorda com a colega. Neste caso, foi necessária uma ruptura com o conhecimento anterior (**RUP**).

(O aluno DIO lê a situação 2a):

12. DIO: 2a) Suponha que uma pessoa agite, vigorosamente, durante algum tempo, uma garrafa térmica contendo água. O que acontece com a temperatura da água?
13. REN: Vai aumentar a agitação das moléculas.
14. DIO: **Mas não vai esquentar (IOP)**.
15. REN: Maior agitação das moléculas, maior energia interna.
16. DIO: **Mantém-se a mesma temperatura (IOP)**.
17. REN: **Tu não podes negar que aumenta a energia interna (EPR)**.
18. DIO: **Então, responde que a temperatura aumenta um pouco (REA)**.
19. REN: 2b) Houve transferência de calor para a água da garrafa?
20. REN: Não.
21. REN: 2c) Que forma de energia você acha que foi transferida para a água da garrafa?
22. DIO: Energia interna.
23. REN: **Não houve troca de energia, apenas aumento de energia interna (ECO)**.
24. REN: 2d) Neste caso, foi necessário um corpo com temperatura mais alta?
25. REN: Não.

O aluno DIO aciona um teorema-em-ato no turno 14 (**IOP**), confirmado por ele no turno 16 (**IOP**). Ele acredita que, após a agitação da água, não há aumento de temperatura. Contestado pela aluna REN, ele concorda, mas não com convicção de que a temperatura aumenta. Na verdade, esta situação desestabiliza o aluno, ou seja, é problemática para ele. Por outro lado, a aluna REN parece acionar um esquema que dá conta da situação (**EPR**), quando discute que o aluno DIO não pode negar que há um aumento da energia interna. No turno 18, o aluno DIO aparenta usar uma regra de ação (**REA**): “se a energia interna aumenta, então a temperatura aumenta”. No turno 16, a aluna REN parece usar um esquema que não dá conta da situação, ou seja, ela usa um modelo mental, que é construído e reconstruído (**ECO**). Ao mesmo tempo em que ela percebe que não foi necessário um corpo de temperatura mais alta para aumentar a temperatura da água da garrafa,

ela acredita que não houve transferência de energia, mas não esclarece como é possível aumentar a energia interna sem transferência de energia.

(A aluna REN lê a situação 3):

26. REN: 3) É possível aumentar a temperatura de um gás sem que, necessariamente, ele se encontre com uma fonte de calor? De que forma?

25. DIO: **Acho que aumentando a pressão, aumenta a temperatura (ECO).**

No turno 25, ao responder a situação 3, o aluno DIO parece acionar um esquema que não dá conta da situação (**ECO**), pois para a temperatura aumentar sem que o gás se encontre com uma fonte de calor, ou sem que seja transferida energia para o gás, como calor, é necessário que haja uma realização de trabalho sobre o gás e uma diminuição de volume. No caso, teríamos uma compressão adiabática. E, conseqüentemente, a temperatura e a pressão aumentariam. Por outro lado, o aluno DIO, agora, sinaliza admitir a possibilidade do aumento de temperatura sem o mecanismo de transferência de calor.

(A aluna REN lê a situação 4):

26. REN: 4) Quando se infla o pneu de uma bicicleta com uma bomba, rapidamente, observa-se que esta se aquece. Por quê?

27. REN: Porque está aumentando a pressão?

28. DIO: **Estão aumentando a pressão e o volume, então aumenta a temperatura (RUP).**

Na situação 4, temos uma compressão adiabática. Assim, o volume diminui, e a pressão aumenta com a temperatura. Logo, no turno 8, é necessária uma ruptura (**RUP**), uma vez que há uma diminuição do volume do gás no interior da bomba. Os alunos não percebem que a situação é idêntica à anterior.

(A aluna REN lê a situação 5a):

29. REN: 5a) O que acontece com a temperatura do ar no interior de uma seringa ao se comprimir rapidamente o êmbolo?

30. DIO: **Aumenta a pressão e diminui o volume, então a temperatura aumenta (REA).**

31. REN: 5b) Foi transferido calor para o interior da seringa?

32. DIO: **Não (EPR).**

33. REN: 5c) Então, como aumentou a temperatura do ar?

34. DIO: Porque aumentamos a pressão.

35. REN: 5d) Cite, então, dois processos que permitem aumentar a temperatura de um corpo. **Aumentando a pressão e diminuindo o volume (RUP).**

No turno 30, o aluno DIO parece usar uma regra de ação (**REA**): “se aumenta a pressão e diminui o volume, então a temperatura aumenta. Na continuidade, no turno 32, parece que DIO usa um esquema que dá conta da situação (**EPR**), uma vez que constata, de imediato, que não houve transferência de energia como calor para o ar no interior da seringa. Parece que os estudantes passam a perceber que é possível para um gás, água ou outro corpo, aumentar sua temperatura sem que seja necessário o mecanismo de transferência de calor. No entanto, as justificativas são incompletas ou incorretas, pois os estudantes não percebem, ainda, que é através da realização de trabalho que é possível aumentar a temperatura de um corpo sem que haja transferência de calor. Por outro lado, no turno 35, é necessária uma ruptura, pois os alunos entendem a diminuição de volume e o aumento de pressão como dois processos capazes de aumentar a temperatura de um corpo. Os alunos observaram que, no caso dos gases, diminuindo o volume e aumentando a pressão é possível aumentar a temperatura de um corpo e consideram estes processos aptos a aumentar a temperatura de um corpo, ou seja, não percebem ainda que os mecanismos capazes desse aumento são o calor e o trabalho.

Assim, é possível inferir que os alunos percebem que um corpo é capaz de receber energia sem que o processo seja calor. No entanto, falta-lhes perceber que este outro processo de transferência de energia, capaz de aumentar a temperatura de um corpo, é o trabalho realizado. Portanto, o conjunto de situações foi inicialmente problemático para os alunos, mas, à medida que foram resolvendo as situações, deram sentido a um novo conceito, ainda que sem nomeá-lo, pois perceberam que é possível aumentar a temperatura de um corpo por outro mecanismo, diferente do calor.

7.4.2.2 Análise da discussão escrita das situações sobre trabalho

Inicialmente, foi analisada a discussão oral de uma dupla de alunos a respeito de cinco situações que visavam atribuir sentido ao conceito trabalho, apresentado anteriormente. A partir de dados empíricos escritos, coletados por meio da resolução

de situações, foram construídas categorias que denominamos emergentes por terem sido criadas a partir dos dados disponíveis. As respostas dos estudantes de cada situação foram categorizadas, buscando atributos comuns nas repostas para defini-las numa mesma categoria. Assim, o número de categorias, em cada situação, depende da diversidade de respostas dos estudantes.

Situação 1: **a)** O que acontece com a temperatura das mãos quando uma pessoa esfrega uma na outra? **b)** Foi necessário um corpo com maior temperatura para aumentar a temperatura das mãos? **c)** Então, é possível aumentar a temperatura de um corpo sem um corpo a temperatura mais alta? **d)** Neste caso, o que é necessário?

Respostas que dizem que a temperatura das mãos aumenta, sem ser necessário um corpo de maior temperatura (TAST). Os alunos explicam que, atritando uma mão com a outra, aumenta a temperatura e, assim, não é necessário um corpo de maior temperatura para aquecer as mãos. Exemplo: “*a) A temperatura aumenta devido ao atrito entre as mãos. b) Não foi necessário um corpo de maior temperatura, pois atritando uma mão com a outra obtemos um aumento de temperatura. c) Então, é possível aumentar a temperatura de um corpo sem um corpo de temperatura mais alta. d) É necessário o atrito para aumentar a energia interna do corpo*” (R12).

Na primeira situação resolvida, os alunos percebem que é possível aumentar a temperatura de um corpo sem o mecanismo de transferência de calor, ou seja, através do atrito entre as mãos. Os alunos não mencionam a realização de trabalho, mas percebem a transferência de energia por outro processo, diferente do calor.

Situação 2) Suponha que uma pessoa agite, vigorosamente, durante algum tempo, uma garrafa térmica contendo água. **a)** O que acontece com a temperatura da água? **b)** Houve transferência de calor para a água da garrafa?

Respostas que dizem que a temperatura da água da garrafa permanece a mesma, assim, não houve transferência de calor (TMNC). Os alunos explicam que a temperatura da água da garrafa térmica permanece a mesma por estar

termicamente isolada; portanto, não houve transferência de calor. Exemplo: “a) *A temperatura da água permanece a mesma, pois ela está termicamente isolada.* b) *Não houve transferência de calor para a água*” (R2).

Respostas que dizem que a temperatura da água da garrafa aumenta e que foi transferido calor para a água (TATC). Os alunos explicam que a temperatura da água da garrafa aumenta, mas que é necessária transferência de calor para a água da garrafa. Exemplo: “a) *A temperatura da água tende a aumentar.* b) *Sim, houve transferência de calor*” (R1).

Respostas que dizem que a temperatura da água da garrafa térmica vai aumentar, mas não é necessário transferência de calor para a água (TANC). Os alunos explicam que a temperatura da água se eleva devido ao atrito entre as suas moléculas, e que não há transferência de calor. Exemplo: “a) *A temperatura da água se eleva graças ao atrito entre suas moléculas.* b) *Não há transferência de calor para a água da garrafa*” (R9).

Na segunda situação, nem todos os alunos percebem que é possível aumentar a temperatura da água da garrafa térmica por outro mecanismo que não seja o calor. Somente os alunos da categoria TANC percebem o aumento de temperatura por outro mecanismo diferente do calor. Estes estudantes já apresentam esquemas que permitem admitir o aumento de temperatura sem que haja transferência de calor.

Situação 2: c) Que forma de energia você acha que foi transferida para a água da garrafa? d) Neste caso, foi necessário um corpo com temperatura mais alta?

Respostas que dizem que não houve transferência de energia, mas aumento de energia interna (NTEI). Os estudantes acreditam que a temperatura possa aumentar sem que haja transferência de energia, pois explicam que não houve transferência de energia, mas aumento de energia interna. Exemplo: “a) *Não houve transferência de energia, mas aumento da energia interna devido à agitação das moléculas da água*” (R3).

Respostas que dizem que a energia transferida era cinética ou mecânica, e que não foi necessário um corpo com temperatura mais alta (TECM). Os alunos explicam que a energia que foi transferida para a água da garrafa foi cinética ou mecânica, devido ao movimento da garrafa. Exemplo: “*c) A energia transferida para a água da garrafa foi a energia mecânica. d) Não foi necessário um corpo com temperatura mais alta do que a água porque a energia mecânica fez com que aumentasse a energia cinética das moléculas da água*” (R10).

Os alunos da categoria NTEI acreditam que a temperatura e conseqüentemente, a energia interna possam aumentar sem transferência de energia. Como eles não sabem explicar de onde vem a energia que aumenta a temperatura, eles acreditam que não é necessária transferência de energia. Neste caso, é necessária uma ruptura na crença dos alunos. Já na categoria TECM, os alunos relacionam o aumento de temperatura com a energia mecânica, mostrando que seus esquemas já dão conta da situação.

Situação 3: **a)** É possível aumentar a temperatura de um gás sem que, necessariamente, ele se encontre com uma fonte de calor? **b)** De que forma?

Respostas que dizem que não é possível aumentar a temperatura de um gás sem que ele se encontre com uma fonte de calor (NTSC). Os alunos acreditam que só é possível aumentar a temperatura de um gás através de uma fonte de calor. Exemplo: “*Não tem como aumentar a temperatura de um gás sem uma fonte de calor*” (R7).

Respostas que dizem que é possível aumentar a temperatura de um gás aumentando a pressão e mantendo o volume constante (ATPVC). Os alunos explicam, que para aumentar a temperatura, é necessário aumentar a pressão e manter o volume constante. Exemplo: “*Sim, é possível. A forma é aumentando a pressão, e o volume permanecendo constante, aumentando a temperatura*” (R14).

Respostas que dizem que é possível aumentar a temperatura de um gás através da compressão (ATC). Os alunos explicam que através da compressão é

possível aumentar a temperatura de um gás sem que necessariamente se encontre com uma fonte de calor. Exemplo: “a) *Sim.* b) *Pela compressão do gás*” (R2).

Respostas que dizem que é possível aumentar a temperatura de um gás sem que ele encontre com uma fonte de calor, aumentando sua pressão (ATAP). Os alunos explicam que é possível aumentar a temperatura do gás aumentando também a pressão. Exemplo: “a) *Sim, é possível aumentar a temperatura do gás.* b) *Aumentando sua pressão*” (R12).

Respostas que dizem que é possível aumentar a temperatura de um gás sem que ele encontre com uma fonte de calor, diminuindo a pressão (ATDP). Os alunos explicam que, para aumentar a temperatura, é necessário diminuir a pressão. Exemplo: “a) *Sim.* b) *É possível aumentar a temperatura do gás diminuindo sua pressão*” (R4).

Respostas que dizem que é possível aumentar a temperatura de um gás diminuindo o volume e aumentando a pressão (DVAP). Os alunos explicam que, diminuindo o volume e aumentando a pressão, aumenta também a temperatura. Exemplo: “a) *Sim.* b) *Diminuindo o volume do recipiente no qual o gás está contido, conseqüentemente, irá aumentar a pressão, aumentando a temperatura*” (R8).

De todas as respostas à situação 3, somente os alunos da categoria DVAP dão uma resposta adequada, pois, para aumentar a temperatura de um corpo sem o mecanismo de transferência de calor, necessariamente, deverá ser através de um trabalho realizado sobre o gás, que diminuirá o seu volume e aumentará a sua pressão. Embora muitos alunos acreditem que é possível aumentar a temperatura de um gás sem o mecanismo calor, eles não dão uma explicação adequada.

Situação 4) Quando inflas o pneu de uma bicicleta com uma bomba, rapidamente, observa-se que esta se aquece. Por quê?

Respostas que dizem que a bomba se aquece devido ao aumento de pressão (BAP). Os estudantes explicam que ocorre o aquecimento devido ao aumento da pressão do gás. Exemplo: “*Sim, há um aquecimento, porque aumenta a pressão do*

gás” (R11). De fato, poderíamos considerar que, ao movimentar a bomba rapidamente, há uma transformação adiabática. Neste caso, não haveria transferência de energia como calor, ao que a bomba receberia energia através do trabalho realizado sobre si, havendo um aumento de temperatura com a pressão e uma diminuição de volume. No entanto, os alunos não percebem que é necessária uma diminuição de volume para que haja realização de trabalho, e uma consequente transferência de energia para que haja o aquecimento da bomba.

Situação 5) a) O que acontece com a temperatura do ar no interior de uma seringa ao se comprimir rapidamente o êmbolo? **b)** Foi transferido calor para o interior da seringa? **c)** Então, como aumentou a temperatura do ar?

Respostas que dizem que a temperatura do ar aumenta, mas é necessário calor (TAA). Os alunos explicam que a temperatura do ar no interior da seringa aumenta, mas é necessário calor; e a temperatura aumenta devido à compressão do êmbolo. Exemplo: “*a) A temperatura aumenta. b) Foi transferido calor para a seringa. c) A temperatura aumentou pela pressão, comprimindo-se; aumentou a temperatura com o atrito*” (R11). Há uma contradição nas respostas dos alunos, pois, ao mesmo tempo em que dizem que a temperatura aumentou devido ao calor, dizem também que a temperatura aumentou devido à pressão.

Respostas que dizem que a temperatura aumenta sem calor, através da energia mecânica (TASC). Os estudantes explicam que a temperatura aumenta sem calor, mas através da realização da energia mecânica. Exemplo: “*A temperatura do ar aumenta. b) Não é necessário calor. c) A temperatura aumenta através de uma energia mecânica*” (R11). Esses alunos já compreendem que a temperatura pode aumentar, mesmo sem calor, através de um trabalho mecânico, que no caso é realizado sobre o êmbolo da seringa.

Respostas que dizem que a temperatura aumenta sem calor, através do aumento da pressão e da diminuição do volume (TPAVD). Os estudantes explicam que a temperatura do gás aumenta sem calor, através do aumento da pressão e da diminuição do volume. Exemplo: “*A temperatura do gás aumenta. b) Não é*

necessário calor. c) A temperatura do ar aumenta porque aumentou a pressão e diminuiu o volume” (R6).

Podemos observar através da categoria TAA, que ainda há alunos que não admitem o aumento da temperatura sem o mecanismo de transferência de calor. Por outro lado, os alunos das categorias TASC e TPAVD já percebem que isso é possível. Mesmo não comentando que o mecanismo que ocorre é o trabalho, os alunos da categoria TPAVD percebem que é através do aumento da pressão e da diminuição do volume que ocorre o aumento da temperatura do gás.

Situação 5: d) Cite, então, dois processos que permitam aumentar a temperatura de um corpo?

As respostas dos alunos não estão de acordo com a questão colocada (RNAQ). Eles explicam que poderiam diminuir o volume e aumentar a pressão. Exemplo: *“Diminuindo o volume e aumentando a pressão”* R(6). Os alunos respondem à situação 5d) como uma sequência das demais situações. Assim, consideram a diminuição de volume e o aumento de pressão responsáveis pelo aumento da temperatura. Na verdade, diminuindo o volume e aumentando a pressão está sendo realizado um trabalho, e esta seria uma forma de aumentar a temperatura de um corpo.

Embora os alunos não tenham conseguido responder adequadamente à situação 5d, durante o desenvolvimento das demais situações, foi possível perceber que alguns entendem ser possível aumentar a temperatura de um corpo sem calor. Apesar de não terem citado o conceito trabalho, alguns comentaram que é possível aumentar a temperatura de um corpo através da energia mecânica que foi realizada – por exemplo, no caso da garrafa térmica, ou através do aumento da pressão e da diminuição do volume que conduz à realização de trabalho nos processos adiabáticos.

Assim, embora os alunos não mencionem a palavra trabalho, parecem dar significado a ele como sendo um processo possível de transferência de energia que possibilita o aumento da temperatura de um corpo sem que haja calor. Através das

situações, os estudantes dão sentido ao trabalho sem, no entanto, nomeá-lo. Doménech et al., (2003, p. 296, apud Beynon, 1990; Chisholm, 1992; Prideaux, 1995) dizem que o calor, como o trabalho, não é forma de energia, mas um mecanismo de transferência de energia; assim, um objeto não pode ter calor, do mesmo modo que não pode ter trabalho.

7.4.3 Análise dos resultados da avaliação sobre o conceito trabalho e Primeira Lei da Termodinâmica

No dia 18/10/2007, os alunos resolveram cinco situações (Apêndice VI, p. 420 - Exemplo de discussão escrita de situações sobre trabalho) com o objetivo de dar significado ao conceito trabalho nos processos termodinâmicos. Embora os alunos já tenham estudado tal conceito nos processos mecânicos, eles não perceberam que tal mecanismo era o responsável pelo aumento de temperatura nas situações onde não ocorria transferência de calor. É importante salientar também que, para alguns, não é possível o aumento de temperatura sem que ocorra calor.

No dia 26/10/2007, foi introduzida a Primeira Lei da Termodinâmica, que permitiu, ao mesmo tempo, revisar os conceitos trabalho, calor e energia interna e relacionar tais conceitos através dessa lei, situação em que percebeu-se que alguns alunos ainda não entendem o calor e o trabalho como mecanismos de transferência de energia. Terminado a resolução das situações iniciais, que visava dar sentido ao novo conceito e identificar dificuldades nos conhecimentos prévios, foi feito o estudo do conceito trabalho e da relação entre os conceitos trabalho, energia interna e calor, através dos textos Trabalho (Apêndice V, p. 487) e Primeira Lei da Termodinâmica (Apêndice V, p. 491) e resolução de problemas.

Para analisar a construção dos conceitos estudados, foi aplicada uma avaliação final (Apêndice VI, p. 441 - Exemplo de instrumento de avaliação respondido sobre trabalho e primeira lei da termodinâmica), com oito situações que visavam diagnosticar se os estudantes dominavam invariantes operatórios, representações simbólicas e resolução de situações relacionadas ao conceito trabalho.

Tabela 38. Categorias utilizadas para análise da avaliação sobre trabalho e a primeira lei da termodinâmica

| Constituintes de um conceito | Características consideradas em cada componente | Situação |
|--|--|----------|
| A – Evidências de invariantes operatórios (teoremas-em-ação e conceitos-em-ação) | A1 – Evidenciam compreender que nem sempre é necessário um gás receber energia (calor) para sua temperatura aumentar. | 1 |
| | A2 – Evidenciam compreender que, quando não há variação da energia interna, a energia recebida como calor foi utilizada na realização de trabalho pelo sistema. | 2 |
| | A3 – Evidenciam compreender que, quando a expansão é rápida, não ocorre o mecanismo de troca de calor, e o trabalho realizado pelo gás consome parte da energia interna. | 3 |
| | A4 – Evidenciam compreender a relação entre pressão, volume e temperatura no estado inicial com a pressão, volume e temperatura no estado final. | 4 |
| | A5 – Evidenciam compreender a Primeira Lei da Termodinâmica, numa transformação isobárica. | 5 |
| | A6 – Evidenciam compreender o significado de um processo adiabático e o que ocorre com volume, pressão e temperatura neste processo. | 6 |
| | A7 – Evidenciam compreender o que ocorre com calor, trabalho e energia interna num ciclo. | 7 |
| | A8 – Evidenciam compreender o que acontece com o calor, trabalho e energia interna em cada fase de um ciclo. | 8 |
| B – Utilização de representação | B4 – Evidenciam compreender a representação do gráfico $p \times V$ e relacioná-la com a representação simbólica. | 4 |
| | B5 – Evidenciam compreender a representação gráfica $V \times T$ e retiram dados do gráfico. | 5 |
| | B6 – Representam adequadamente a relação entre trabalho e energia interna na situação apresentada. | 6 |
| | B7 – Evidenciam compreender a representação do trabalho num ciclo (diagrama $p \times V$). | 7 |
| | B8 – Evidenciam compreender partes da representação de um ciclo num diagrama $p \times V$, relacionando trabalho, calor e energia interna. | 8 |
| C – Resolução de situações | C3 – Resolvem a situação numa transformação adiabática, determinando a energia interna e percebendo que ela diminui, diminuindo também sua temperatura. | 3 |
| | C4 – Resolvem a situação determinando o volume final e o trabalho realizado. | 4 |
| | C5 – Resolvem a situação determinando a pressão, o calor, o trabalho e a variação da energia interna. | 5 |
| | C6 – Resolvem adequadamente o problema, percebendo que não há troca de calor e determinando a variação da energia interna. | 6 |
| | C7 – Resolvem a situação determinando o calor, o trabalho e a variação da energia interna no ciclo. | 7 |
| | C8 – Resolvem a situação determinando o trabalho, o calor e a energia interna em partes de um ciclo. | 8 |

Como já foi feito nos estudos anteriores, as questões são classificadas em três aspectos: evidência de invariantes operatórios, utilização de representações e resolução de situações-problema. O que nos motivou a analisar a avaliação dos alunos segundo estes critérios é o fato de acreditarmos que a conceitualização, para o aluno, só é completa se ele der conta destes três aspectos. Como diz Vergnaud (1993, p. 9), um conceito é uma trinca constituída de três conjuntos (conjunto de

situações, conjunto de invariantes, conjunto de formas de linguagem ou não que permitem representar), e estudar o desenvolvimento e o funcionamento de um conceito no decurso da aprendizagem é, necessariamente, considerar esses três aspectos. As oito questões foram recategorizadas em subcategorias que emergem das próprias questões, definidas na Tabela 38. Às respostas dos alunos que estão de acordo com a conceitualização científica foi atribuído escore 3, 2 às parcialmente corretas e 1 àquelas em desacordo com a conceitualização científica.

A análise de consistência interna mostrada na Tabela 39 foi obtida através de um tratamento estatístico obtido com o uso da planilha Excel. A correlação entre cada categoria – evidência de invariantes operatórios, utilização de representações e resolução de situações e a pontuação total – foi obtida através do coeficiente de Pearson e é apresentada na Tabela 40.

Tabela 39. Resultado da análise de consistência internados dos resultados do estudo experimental IV – introdução do conceito de trabalho e Primeira Lei da Termodinâmica

| Pontuação total | Média | Desvio padrão | Coefficiente α de Crombach |
|-----------------|-------|---------------|-----------------------------------|
| 57 | 37,8 | 5,7 | 0,71 |

Tabela 40. Coeficiente de correlação de Pearson dos resultados do estudo experimental IV – introdução do conceito trabalho e primeira lei da termodinâmica

| Categoria | Evidências de invariantes operatórios | Utilização de representação | Resolução de situações |
|-------------------------|---------------------------------------|-----------------------------|------------------------|
| Coefficiente de Pearson | 0,82 | 0,87 | 0,89 |

O desempenho médio em cada categoria é mostrado na Tabela 41.

Tabela 41. Desempenho da turma em cada categoria do estudo experimental IV – introdução do conceito de trabalho e primeira lei da termodinâmica

| | | | | | | | |
|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| Categoria | A1 | A2 | A3 | A4 | A5 | A6 | A7 |
| Desempenho | 0,62 | 0,83 | 0,40 | 0,95 | 0,70 | 0,53 | 0,51 |
| Categoria | B4 | B5 | B6 | B7 | B8 | XXX | XXX |
| Desempenho | 0,93 | 0,98 | 0,68 | 0,74 | 0,57 | XXX | XXX |
| Categoria | C3 | C4 | C5 | C6 | C7 | C8 | XXX |
| Desempenho | 0,34 | 0,76 | 0,78 | 0,68 | 0,45 | 0,55 | XXX |

A Tabela 42 mostra o desempenho médio após o estudo do conceito trabalho e da Primeira Lei da Termodinâmica.

Tabela 42. Desempenho médio da turma no estudo experimental IV – introdução do conceito de trabalho e primeira lei da termodinâmica

| Critério | Desempenho inicial | Desempenho após o estudo do conceito de trabalho e da Primeira Lei da Termodinâmica |
|--|---------------------------|--|
| Total | 0,29 | 0,60 |
| Evidências de invariantes operatórios (teoremas-em-ação e conceitos-em-ação) | 0,31 | 0,64 |
| Utilização de representação | 0,29 | 0,78 |
| Resolução de situações | 0,26 | 0,59 |

Em relação ao desempenho inicial, houve uma progressividade na trajetória dos alunos na categoria A (evidências de invariantes operatórios), embora o desempenho tenha sido de 0,64. Tanto a categoria A3 como a categoria A6 evidenciam que os estudantes ainda apresentam dificuldades com os processos adiabáticos; isto implica em processos onde não há o mecanismo de transferência de calor, e o aumento da energia interna e da temperatura estariam relacionados à realização de trabalho sobre o sistema, ou a diminuição da energia interna e da temperatura seriam consequência da realização do trabalho pelo sistema. Esta dificuldade dos alunos em relacionar o aumento de temperatura se dá apenas em situações em que não ocorre o mecanismo de transferência de calor.

A categoria A1 mostra um desempenho de somente 0,62, evidenciando também que, para muitos alunos, não é evidente que um gás não necessite receber energia (calor) para sua temperatura aumentar. Como salienta Vergnaud (2005, p.89), para quem ensina, já é evidente um certo número de coisas, e salienta que é através das atividades e das situações que a evidência muda de campo. Para os estudantes, não é evidente que um gás possa aumentar a temperatura sem calor, é necessário que enfrentem mais situações para que isto se evidencie também para eles.

A categoria A7 mostra um desenvolvimento de somente 0,51, indicando que, para os alunos, não está claro que numa transformação cíclica, como o estado inicial é igual ao final, não há variação de energia interna.

A categoria em que os alunos obtiveram melhor desempenho foi a B, utilização de representação, indicando que os alunos conseguem identificar as

grandezas físicas através das representações gráficas e compreender as representações simbólicas. A categoria B8 indica dificuldades em relacionar os conceitos de trabalho e energia interna em partes de uma representação cíclica, uma vez que, provavelmente, os alunos não analisam o tipo de transformação que ocorre em cada parte do ciclo, o que permitiria determinar o trabalho e verificar se há aumento ou diminuição da energia interna.

A categoria em que os alunos obtiveram o pior desempenho foi na resolução de situações (C), quando houve evolução na aprendizagem dos alunos, mas o desempenho foi baixo, principalmente na categoria C3. Isso mostra que nem todos os estudantes resolvem situações que envolvam transformações adiabáticas, logo, não percebem que, quando o sistema realiza trabalho, a energia interna diminui. A evolução da turma nas três categorias está representada no gráfico da Figura 14.

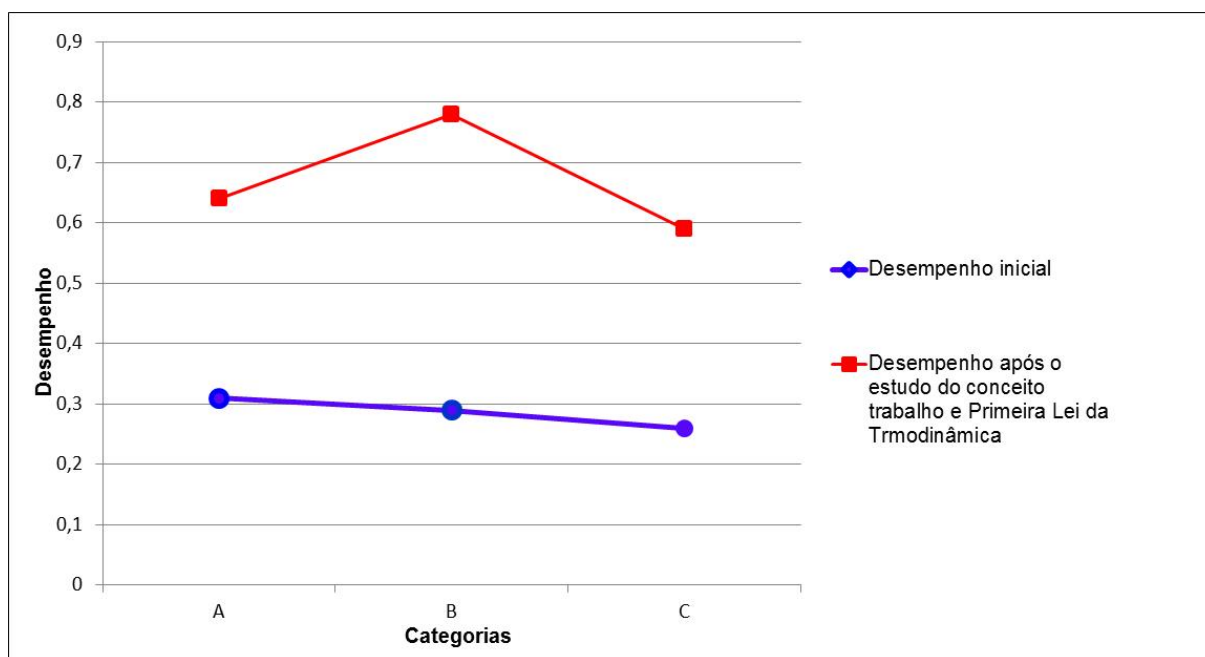


Figura 14. Gráfico de comparação entre o desempenho inicial e o desempenho após o estudo do conceito de trabalho e da Primeira Lei da Termodinâmica em cada categoria

7.4.4 Conclusão sobre o estudo do conceito trabalho

A metodologia usada que introduz os novos conceitos através da resolução de situações tem permitido dar um sentido inicial aos conceitos estudados. Tem possibilitado diagnosticar os conhecimentos prévios dos estudantes sobre os

conceitos estudados e também identificar dificuldades que continuam persistindo mesmo após o estudo dos conceitos, como, por exemplo, a persistência em acreditar que um corpo pode possuir calor ou trabalho.

No estudo do conceito trabalho e da Primeira Lei da Termodinâmica, há evidência de um invariante operatório: “não é possível aumentar a temperatura de um corpo sem uma fonte de calor”. Tal invariante manifesta-se implicitamente nas transformações adiabáticas, impedindo que muitos alunos resolvam situações que envolvam tais transformações, ancorado num teorema-em-ato cientificamente falso, mas que os alunos acreditam ser verdadeiro. Também poderíamos citar as transformações isotérmicas, que, mesmo recebendo energia como calor, ainda assim sua temperatura se mantém constante. Para os alunos, isto também é contra-intuitivo.

Entendem que, quando não há variação de energia interna (variação de temperatura), a energia recebida ou cedida como calor é utilizada na realização de trabalho pelo sistema ou sobre o sistema. Evidenciam compreender a relação entre pressão, volume e temperatura numa transformação, além das relações entre calor, trabalho e variação da energia interna numa transformação isobárica. Interpretam, adequadamente, os gráficos $P \times V$, deles retirando dados, percebendo as transformações cíclicas, identificando fases de um ciclo e relacionando com o trabalho, calor e energia interna. Resolvem situações envolvendo o cálculo da variação do volume e trabalho; outras a partir do cálculo da pressão envolvendo o cálculo do trabalho, energia interna e trabalho; e, ainda, situações envolvendo transformações isotérmicas e determinando a variação da energia interna.

Por outro lado, os alunos têm dificuldade em entender que, mesmo que o sistema não receba ou ceda calor, há variação de energia interna e de temperatura do sistema através de energia recebida com realização de trabalho pelo sistema ou sobre o sistema. Também apresentam dificuldades em compreender o que acontece com o trabalho, calor e variação de energia interna num ciclo e em cada uma de suas fases; além das dificuldades diante de variações de pressão, volume e temperatura num processo adiabático e para resolver situações envolvendo

transformações adiabáticas. Apresentam dificuldades, ainda, para resolver situações que envolvam transformações cíclicas ou partes de um ciclo.

Este estudo experimental deu origem a seguinte publicação:

2012 - Introduzindo o conceito de Trabalho através de situações-problema. Artigo publicado na revista [Aprendizagem Significativa em Revista](#). Agosto de 2012, v. 2, n. 2, p. 65-79.

7.5 Estudo Experimental V – Introdução do Conceito Entropia

Para que os alunos tenham a compreensão de que, apesar do princípio da conservação da energia, parte dela não pode ser aproveitada para realização de trabalho, no quinto e último estudo experimental, introduzimos o conceito de entropia. Num sistema isolado, a energia permanece constante, mas a entropia aumenta. Como assinala Doménech et al. (2003, p. 302), não há transformações sem crescimento de entropia, e este crescimento diminui a probabilidade de transformações. Assim, num sistema isolado, é possível transformar totalmente energia mecânica em calor, e o processo inverso sempre tem rendimento menor, pois não é possível a transformação completa de movimento desordenado de uma infinidade de partículas em movimento ordenado. O pesquisador esclarece também que a compreensão dos processos de degradação permite explicar a aparente contradição entre expressões como crise energética e conservação de energia, que trazem dificuldade para os alunos (Ibid.).

7.5.1 Metodologia

O conceito entropia foi introduzido no dia 23/11/2007, com a resolução de 5 situações (Apendice III, p. 424 - Exemplo de discussão escrita de situações sobre entropia). Os alunos trabalharam em 10 duplas e um trio, e duas duplas que se dispuseram espontaneamente tiveram suas discussões gravadas. A dupla que apresentou maiores dificuldades foi escolhida para análise. A Tabela 43 mostra a distribuição das aulas durante o desenvolvimento do conceito entropia.

Tabela 43. Caracterização das aulas durante o desenvolvimento do conceito entropia

| Data | Tempo | Aula | Gravação de duas duplas | Atividade |
|-------|---------|------|-------------------------|---|
| 23/11 | 50 min | 1 | ARI e MAN LET e DIO | Situações sobre entropia |
| 29/11 | 100 min | 2-3 | | Discussão sobre o texto Segunda Lei da Termodinâmica (Apêndice V, p. 498) e resolução de problemas. |
| 30/11 | 50 min | 4 | | Discussão sobre o texto Entropia (Apêndice VI, p. 506) |
| 05/12 | 100 min | 5-6 | | Avaliação sobre a Primeira e Segunda Leis da Termodinâmica (Apêndice VI, p. 445) |
| 06/12 | 50 min | 7 | | Apresentação do mapa conceitual sobre Termodinâmica. |

7.5.2 Apresentação e discussão dos resultados

Para encerrar esta proposta metodológica, foi desenvolvido o conceito de entropia, e os alunos discutiram as situações propostas na introdução do conceito no dia 23/11/2008. Na sequência, apresentamos a análise da discussão oral de uma dupla.

7.5.2.1 Análise da discussão oral das situações sobre entropia

Como foi feito com os demais conceitos, a análise apoiou-se na Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud, buscando interpretar o que poderia ser identificado como componente dos esquemas.

Durante a discussão dos alunos, tentamos reconhecer os componentes dos esquemas, que para Vergnaud (1993, p. 78) são os invariantes operatórios (IOP), instrumentos conceituais de situações de referência do domínio considerado; antecipações (ANT), que dizem respeito ao efeito que se deseja obter e que resultam igualmente em operações inferenciais; regras de ação (REA), que permitem decidir sobre as ações que se tem de por em prática e que, ao mesmo tempo, resultam das operações inferenciais e engendram o seguimento das ações e inferências (INF) que, por sua vez, tomam a forma de operações, a partir de informações fornecidas pelas situações e a partir das qualidades operatórias dos invariantes. Procuramos também reconhecer os esquemas, de acordo com o que propõe Vergnaud (Ibid., p. 2), em que o estudante possui competências para o tratamento imediato da situação, e que na visão de Greca e Moreira (2004, p. 46) se

mantêm como estruturas da memória de longo prazo (EPR) ou os estudantes acionam esquemas que não dão conta da situação (ECO). Para Vergnaud (Ibid.) e para Greca e Moreira (Ibid.), eles estão gerando representação na memória de curto prazo, os modelos mentais da situação em questão. Por último, buscamos o que denominamos de filiações (FIL) e rupturas (RUP), pois acreditamos que os conhecimentos anteriores são importantes tanto no sentido de apoiar os novos conceitos quanto no sentido de ser necessário um rompimento com os conhecimentos anteriores, e também porque, segundo Vergnaud (apud Brun, p.40), o quadro teórico dos campos conceituais nasceu da preocupação em ter meios de captar as filiações e rupturas no decorrer das aprendizagens escolares.

Durante a discussão dos estudantes estes são identificados por ARI e MAN.

(A aluna ARI lê a situação 1a):

1. ARI: Situação 1a) Suponha que você deixa uma xícara de café quente em uma sala. Depois de certo tempo você retorna à sala. O que acontece com o café? Há alguma mudança na temperatura do café?

2. MAN: **Ele esfria, há uma variação na sua temperatura (EPR/FIL).**

3. ARI: Situação 1 b) Agora, o café está com a temperatura da sala? É possível esperar certo tempo e observar o café aquecer novamente? Por quê?

4. MAN: O café está na temperatura da sala e é possível que a temperatura da sala aumente novamente (REA).

5. ARI: Se a sala aquecer? Por quê? Pela troca de calor?

6. MAN: Sim.

Como foi diagnosticado no estudo I, parece que os estudantes apresentam esquemas de pensamento que dão conta prontamente do equilíbrio térmico (**EPR**). Assim, no turno 2, MAN resolve de imediato a situação. Quando os alunos já possuem esquemas para resolver as situações, tais esquemas são importantes para apoiar a solução de outros problemas, ao que consideramos que houve uma filiação (**FIL**) também no turno 2, pois outros problemas podem ser resolvidos com o conceito de equilíbrio térmico.

No turno 4, o aluno MAN sugere que a sala possa aumentar sua temperatura, então o café também aumentaria (**REA**). Interpretamos que houve aí uma regra de ação. Se aumentar a temperatura da sala, aumentará também a temperatura do

café. No entanto, é importante esclarecer que houve uma interpretação inadequada, uma vez que a questão não diz que houve um aumento de temperatura da sala.

7. ARI: Situação 2a) Se você retira a tampa do vidro de um perfume, as moléculas escapam para a sala e acabam constituindo um estado mais desordenado. A ordem relativa converte-se em desordem. Você poderia esperar que as moléculas de perfume espontaneamente voltassem ao vidro?

8. MAN: **Acho que não, elas tendem a se espalhar cada vez mais (EPR).**

9. ARI: Situação 2b) Que semelhança existe entre esta situação e a situação anterior?

10. MAN: **Seria que as moléculas se dissipam (ECO).**

Novamente, no turno 8, o aluno MAN, parece utilizar um esquema de pensamento que resolve de imediato a situação (**EPR**). As situações vivenciadas no cotidiano permitiram-lhe resolver prontamente o problema. No turno 10, consideramos que o aluno MAN utiliza um esquema que não resolve totalmente a situação, ou, como definem Greca e Moreira (2004, p. 46), utiliza um modelo mental (**ECO**) que não resolve totalmente a situação. É verdade que, tanto as moléculas do perfume, como as moléculas do café, com mais energia se dissipam, mas os alunos não chegam à conclusão de que o processo inverso não é possível.

11. ARI: Situação 3a) Um cubo de gelo descongela ao ser colocado à temperatura ambiente (20°C). É possível obter o processo inverso, ou seja, congelar novamente a água à temperatura ambiente?

13. MAN: **Só se a temperatura diminuir a 0°C (ECO).**

14. ARI: **Está, mas se continuar à temperatura ambiente de 20°C (ANT)?**

15. MAN: **Então, não. Não é possível caso continue à temperatura ambiente (REA).**

16. ARI: Situação 3b) Aumentar a temperatura do café, recolocar moléculas de perfume num recipiente e congelar um cubo de gelo são processos possíveis? Por quê?

17. MAN: Não, porque as moléculas se dissipam. Se elas ficassem aglomeradas haveria uma possibilidade. Na verdade, **quando esquentam, as moléculas se separam e, quando esfria, elas se juntam (FIL).**

18. ARI: **Esses processos são possíveis (ANT)?**

19. MAN: **Acho que não, mas por quê (ANT)?**

20. ARI: Porque há uma desordem entre as moléculas.

21. ARI: Situação 3c) Os processos inversos são possíveis? Então, poderíamos dizer que estes processos ocorrem espontaneamente em um único sentido?

22. MAN: **Esquentar o café, colocar moléculas de perfume e congelar gelo (ANT)?**

23. ARI: É, esses que colocamos que não são possíveis.

24. MAN: **Se a temperatura for variada (RUP).**

Inicialmente, o aluno MAN, no turno 13, utiliza um esquema incompleto ou modelo mental (**ECO**) que não resolve aquela situação. A aluna ARI, turno 14, chama a atenção para os objetivos a alcançar (**ANT**) e parece usar um dos componentes dos esquemas, as antecipações, voltando ao que a situação está questionando. Então, parece que o aluno MAN, no turno 15, usa uma regra de ação (**REA**): se continuar a temperatura ambiente, não é possível congelar novamente o gelo.

Podemos considerar que o aluno MAN, no turno 17, poderia utilizar seus conhecimentos (**FIL**) para apoiar novas aprendizagens, pois ele percebe que num aquecimento há uma separação entre as moléculas. No turno 18, a aluna ARI retorna aos objetivos da situação (**ANT**), questionando o colega se tais processos são possíveis. No turno 19, ao mesmo tempo em que o aluno MAN responde negativamente, ele busca novamente os objetivos a alcançar (**ANT**). A aluna ARI, no turno 20, infere (**INF**) que há uma desordem entre as moléculas, mas não explica o significado desta desordem.

No turno 22, mais uma vez o aluno MAN busca compreender os objetivos a alcançar (**ANT**), e a aluna ARI explica. No turno 24, quando o aluno MAN responde se a temperatura for variada, consideramos necessária uma ruptura (**RUP**), pois nenhum dos processos inversos é possível espontaneamente.

25. ARI: Situação 4a) É possível a transferência de calor de um corpo frio para um corpo quente e a transferência de energia interna em energia mecânica espontaneamente?

26. MAN: **Acho que sim (RUP).**

27. ARI: **Calor de um corpo frio para um corpo quente (ANT)?**

28. MAN: **Acho que sim (RUP).**

29. ARI: E a transferência de energia interna em energia mecânica?

30. MAN: Não sei.

31. ARI: Situação 4b) Os processos inversos são possíveis?

32. MAN: **Sim (EPR).**

33. ARI: Situação 4 c) O que se pode dizer a respeito desses processos?

34. ARI: **Eles não ocorrem espontaneamente à mesma temperatura ou sem haver alguma mudança na temperatura (ECO).**

No turno 26, quando MAN diz que acha ser possível a transferência de calor de um corpo frio para um corpo quente e a transferência de energia interna em energia mecânica é necessário uma ruptura (RUP) com os conhecimentos anteriores do aluno. No turno 27, a aluna ARI se questiona, busca os objetivos e antecipações (**ANT**), e o aluno MAN continua reafirmando, no turno 28, que os processos descritos sejam possíveis. Já no turno 32, MAN utiliza um esquema que resolve imediatamente o problema (**EPR**), e, no turno 34, a aluna ARI interpreta adequadamente que a transferência de calor de um corpo frio para um corpo quente e a transferência de energia interna em energia mecânica não são processos espontâneos, mas não dá uma explicação adequada. Por isso, consideramos que a aluna está utilizando um esquema que ainda não resolve totalmente a situação ou um modelo mental (**ECO**).

35. ARI: Situação 5) A tendência de todos os processos naturais, tais como fluxo de calor, mistura, difusão etc. é de acarretar uma uniformidade de temperatura, pressão, composição etc. em todos os pontos dos sistemas que participam dos processos. Em cada um desses processos há um aumento da desordem do sistema, um aumento de entropia e um aumento da indisponibilidade de energia.

36. ARI: Situação 5a) Nas situações anteriores, o que se pode dizer a respeito da entropia e da disponibilidade de energia?

37. MAN: Pergunte à professora: O que é entropia?

38. PRO: Entropia é exatamente o que está falando aí. Por exemplo, quando no universo há um aumento de entropia, é porque existe um aumento na desordem, e o aumento de entropia indica indisponibilidade de energia para a realização de trabalho. Quanto maior a entropia, maior a indisponibilidade de energia para realização de trabalho.

39. ARI: Situação 5b) O aumento da entropia está relacionado com o aumento da desordem do sistema e com a perda da oportunidade de converter energia em trabalho. Então, o que ocorre num sistema mais desordenado, em relação à possibilidade de realizar trabalho?

40. ARI: **É que o trabalho é pouco (ECO).**

41. MAN: **O trabalho é pouco por causa da desordem do sistema (INF).**

Os alunos questionam a professora sobre a situação 5a, mas não discutem. Na situação 5b, eles interpretaram o aumento da entropia com a possibilidade de realizar pouco trabalho. Poderíamos dizer que, no turno 40, a aluna ARI formou um modelo inicial (**ECO**) a respeito de entropia, que era um termo novo para eles, e o aluno MAN concorda, inferindo que o trabalho é pouco por causa da desordem do sistema (**INF**).

As situações resolvidas pelos alunos foram importantes para detectar seus conhecimentos prévios; observamos que eles começam a perceber que alguns

processos na natureza ocorrem num único sentido e estariam relacionados com a disponibilidade de aproveitar energia na realização de trabalho. Assim, parece que os alunos passam a dar sentido ao conceito entropia. A solução das situações na introdução dos conceitos é importante, já que permite ao professor diagnosticar os conhecimentos prévios e, ao mesmo tempo, dar um sentido inicial aos novos conceitos apreendidos.

7.5.2.2 Análise da discussão escrita das situações sobre entropia

Dando continuidade à análise do estudo do conceito entropia, novamente foram criadas categorias a partir das respostas dos estudantes, as quais foram chamadas de categorias emergentes, uma vez que não foram definidas a priori. As categorias foram organizadas buscando regularidades nas respostas dos estudantes que permitissem agrupar um conjunto de respostas na mesma categoria. As categorias criadas têm a finalidade de perceber algum sentido inicial ao conceito de entropia. Como alguns processos irreversíveis fazem parte do cotidiano dos estudantes, tentamos diagnosticar se eles entendem tais processos como irreversíveis.

Situação 1a) Suponha que você deixa uma xícara de café quente em uma sala. Depois de certo tempo, você retorna à sala. O que acontece com o café? Há alguma mudança na temperatura do café?

Respostas que dizem que entrará em equilíbrio térmico com a temperatura da sala (ETS). Os alunos explicam que a temperatura do café diminui até igualar-se à temperatura da sala. Exemplo: *“O café irá se equilibrar com a temperatura da sala. Só haverá mudança na temperatura do café se a sala e o café estiverem com temperaturas diferentes”* (R1).

Respostas que dizem que a temperatura do café diminui (TCD). Os alunos explicam que a temperatura do café diminui, mas omitem a questão do equilíbrio térmico. Exemplo: *“O café perde calor para o ambiente, diminuindo sua temperatura”* (R2).

Nas duas categorias, os alunos percebem que há uma diminuição da temperatura do café; mas, na categoria TCD, os alunos não fazem referência ao equilíbrio térmico e, no exemplo R2, podemos perceber uma concepção substancialista de calor, pois a aluna diz que o café perde calor. Poderia ter explicado que o café perde energia que é transferida como calor ao ambiente.

Situação 2b) Agora, o café está com a temperatura da sala? É possível, esperar certo tempo e observar o café aquecer novamente? Por quê?

Respostas que dizem que o café não aumentará sua temperatura (CNT). Os alunos explicam que se o café já está com a temperatura da sala, não aumentará sua temperatura, pois o processo inverso não ocorre espontaneamente. Exemplo: *“Sim, o café tem a temperatura ambiente. Não é possível aumentar a temperatura do café, porque, após a xícara esfriar, não tem como ocorrer o processo inverso espontaneamente”* (R4).

Respostas que dizem que só é possível aumentar a temperatura do café se aumentar a temperatura da sala (ACS). Os alunos explicam que o café está com a temperatura da sala e que só é possível aumentar a temperatura do café se aumentar a temperatura da sala. Exemplo: *“Sim, está com a temperatura da sala. Só é possível que o café esquente se a temperatura da sala esquentar também”* (R1).

Na categoria CNT, os alunos já percebem o aumento de temperatura de um corpo frio para um corpo quente como um processo impossível. Eles percebem que a transferência de energia espontaneamente só tem um sentido, do corpo de maior temperatura para o corpo de menor temperatura. A categoria ACS não explica que o processo inverso é impossível e admite a possibilidade de a sala esquentar. Assim, parece que somente algumas duplas se dão conta de que existem processos na natureza que são irreversíveis.

Situação 2a) Se você retira a tampa do vidro de um perfume, as moléculas escapam para a sala e acabam constituindo um estado mais desordenado. A ordem relativa converte-se em desordem. Você poderia esperar que as moléculas de perfume, espontaneamente, voltassem ao vidro?

Respostas que dizem que o perfume não retorna ao frasco espontaneamente (NRE). Os alunos explicam que não há como o perfume retornar ao frasco espontaneamente. Exemplo: *“Não, porque após os gases se desordenarem, eles entram em contato com o meio ambiente até desaparecerem por completo formando outros gases”* (R5).

Na situação 2a os estudantes já percebem o retorno do perfume ao frasco como um processo irreversível, embora as suas explicações não sejam adequadas.

Situação 2b) Que semelhança existe entre esta situação e a situação anterior?

Respostas que dizem que nos dois processos o inverso não ocorre (PINO). Os alunos explicam que tanto o café não aquece espontaneamente como o perfume não retorna ao frasco, que são os processos inversos. Exemplo: *“Que o processo, uma vez ocorrido, não pode ser revertido espontaneamente”* (R11).

Respostas que dizem que é necessária uma intervenção para retornarem à situação inicial (IRI). Os alunos explicam que o processo inverso pode ocorrer mediante uma intervenção. Exemplo: *“A semelhança entre elas é que é necessária uma intervenção para que voltem à situação inicial”* (R8).

Na situação 2, os alunos já admitem as duas situações como processos irreversíveis, pois, na categoria IRI, os alunos admitem o processo inverso, mas mediante uma intervenção, o que significa que não seria um processo espontâneo. Assim, parece que, aos poucos, os estudantes vão dando sentido ao conceito entropia.

Situação 3a) Um cubo de gelo descongela ao ser colocado à temperatura ambiente (20°C). É possível obter o processo inverso, ou seja, congelar novamente a água à temperatura ambiente?

Respostas que dizem que o processo não é possível espontaneamente (PNPE). Os alunos explicam que o processo inverso não é possível

espontaneamente. Exemplo: “*Não é possível, pois é necessário uma temperatura de 0°C para a água congelar*” (R5).

Respostas que dizem que o processo é possível se a pressão aumentar (PPA). Os alunos explicam que o processo é possível se houver um aumento de pressão. Exemplo: “*Sim. Seria possível se a pressão do lugar aumentasse a ponto de fazer a água solidificar*” (R1).

Embora a maioria dos alunos entenda que o processo do congelamento do gelo não é possível à temperatura de 20°C, duas duplas consideram possível havendo um aumento de pressão. Os alunos já estudaram que a temperatura de fusão diminui com o aumento da pressão; mas, no caso, se aumentasse a pressão, a temperatura de fusão seria menor, e não 20°C. Assim, através das respostas dos estudantes, vamos percebendo lacunas nos conhecimentos anteriores.

Situação 3b) Aumentar a temperatura do café, recolocar moléculas de perfume num recipiente e congelar um cubo de gelo são processos possíveis? Por quê?

Respostas que dizem que não são processos possíveis, pois o processo ocorre somente num sentido (NPP). Os estudantes explicam que os processos só ocorrem num sentido, ou seja, esfriar a temperatura do café, espalhar moléculas de perfume ou derreter um cubo de gelo. Exemplo: “*Não, pois o processo só ocorre num sentido*” (R2).

Respostas que dizem que os processos são possíveis, mas não espontaneamente (PNE). Os estudantes explicam que os processos são possíveis, mas não são processos espontâneos. Exemplo: “*Sim, mas nada disso ocorre naturalmente, apenas com uma intervenção externa*” (R8).

Tanto na categoria NPP como na categoria PNF, podemos perceber que os estudantes compreendem que o aumento da temperatura do café, a recolocação de moléculas em um vidro de perfume e o congelamento de um bloco de gelo são processos irreversíveis, ou seja, podem ocorrer, mas não espontaneamente.

Situação 3c) Os processos inversos são possíveis? Então, poderíamos dizer que estes processos ocorrem espontaneamente em um único sentido?

Respostas que dizem que os processos inversos são possíveis, pois ocorrem num único sentido (PUS). Os alunos explicam que os processos inversos são possíveis, ou seja, a diminuição da temperatura do café, a distribuição de moléculas de perfume ou o derretimento do gelo. Exemplo: “*Os processos inversos são possíveis, pois ocorrem num único sentido*” (R2).

Respostas que dizem que os processos inversos são possíveis, mas com intervenção (PII). Os alunos explicam que os processos inversos são possíveis, mas é necessária uma intervenção externa. Exemplo: “*Os processos inversos são possíveis apenas com a intervenção humana. Sim, esses processos ocorrem espontaneamente em um único sentido*” (R?).

Tanto na categoria PUS como na PII, os estudantes percebem que existem processos possíveis num único sentido. No entanto, na categoria PIIN parece que não interpretaram adequadamente o que estava sendo questionado, pois consideraram que, por exemplo, o esfriamento do café só seria possível com a intervenção humana.

Situação 4a) É possível a transferência de calor de um corpo frio para um corpo quente e a transferência de energia interna em energia mecânica?

Respostas que dizem que os processos não são possíveis de ocorrer espontaneamente (IE). Os estudantes explicam que esses processos não ocorrem espontaneamente. Exemplo: “*Não é possível, pois tais processos só ocorrem espontaneamente no sentido inverso*” (R5).

Respostas que dizem que os processos são possíveis (PSP). Os alunos consideram que seja possível a transferência de calor de um corpo frio para um corpo quente e a transferência de energia interna em energia mecânica. Exemplo: “*Sim, na realização de trabalho*” (R11).

Somente a categoria IE explica que os alunos consideram os processos descritos impossíveis de ocorrerem espontaneamente. Os alunos da categoria PSP explicam brevemente que, realizando trabalho, os processos seriam possíveis.

Situação 4b) Os processos inversos são possíveis?

Respostas que dizem que ocorre transferência de calor de um corpo quente para o frio e transferência de energia mecânica em energia interna (POQE). Os estudantes explicam que tanto o processo de transferência de energia do corpo de maior temperatura para o de menor temperatura ocorre, como também a transferência de energia mecânica em energia interna. Exemplo: “*Sim. O corpo quente transfere calor para o corpo frio, e há transferência de energia mecânica em energia interna*” (R?).

Respostas que dizem que somente é possível a transferência de calor do corpo quente para o frio (SCF). Os estudantes consideram somente um processo possível, a transferência de energia (calor) do corpo quente para o frio, mas não consideram possível a transferência de energia mecânica em energia interna. Exemplo: “*Apenas entre o quente e o frio*” (R12).

Respostas que dizem que os processos não ocorrem espontaneamente (PNE). Uma dupla de estudantes considera que a transferência de calor de um corpo quente para um corpo frio e a transferência de energia mecânica em energia interna são processos que não ocorrem espontaneamente. Exemplo: “*Não, os processos não ocorrem espontaneamente*” (R4).

Situação 4c) O que se pode dizer a respeito desses processos?

Respostas que dizem que os processos ocorrem espontaneamente num único sentido (EUS). Os alunos explicam que existem processos que ocorrem num único sentido, ou seja, transferência de calor de um corpo quente para um corpo frio ou transferência de energia mecânica em energia interna. Exemplo: “*São processos que ocorrem espontaneamente em um único sentido*” (R8).

Respostas que dizem que eles não ocorrem espontaneamente, somente com intervenção externa (POIE). Os alunos explicam que tais processos só ocorrem com intervenção externa. Exemplo: “Os *processos não ocorrem espontaneamente, somente com intervenção externa*” (R1).

Respostas que dizem que é necessário um corpo com maior energia interna para transferir energia a outro com menor energia interna (MET). Uma dupla entende que é necessário que um corpo tenha maior energia interna para transferir energia a outro corpo de menor energia interna. Exemplo: “*É necessário sempre um corpo com maior energia interna para realizar transferência a outro com maior energia interna*” (R15).

Os alunos da categoria EUS percebem, adequadamente, que os processos ocorrem espontaneamente num único sentido. No entanto, os da categoria POIE acreditam ser necessária uma intervenção para ocorrerem os processos. Já na categoria MET, observamos uma lacuna na aprendizagem anterior dos estudantes, pois eles consideram ser possível a transferência de energia somente de um corpo com maior energia interna, sendo que uma xícara com água à temperatura de 80°C transfere energia para um balde de água a 20°C, que tem maior energia interna.

Situação 5a) A tendência de todos os processos naturais, tais como fluxo de calor, mistura, difusão etc. é de acarretar uma uniformidade de temperatura, pressão, composição etc. em todos os pontos dos sistemas que participam dos processos. Em cada um desses processos há um aumento da desordem do sistema, um aumento de entropia e um aumento da indisponibilidade de energia. Nas situações anteriores, o que se pode dizer a respeito da entropia e da disponibilidade de energia?

Respostas que dizem que a entropia aumenta e disponibilidade de energia diminui (EDA). Os alunos explicam que a entropia do sistema e a desordem aumentam e que, conseqüentemente, a disponibilidade de energia diminui. Exemplo: “*A entropia aumenta porque há um aumento na desordem do sistema; sendo assim, a disponibilidade de energia diminui*” (R1).

Respostas que dizem que não há disponibilidade de energia (NDE). Os alunos explicam que, em virtude da desordem do sistema, não há disponibilidade de energia. Exemplo: “*Não há disponibilidade de energia*” (R8).

Os estudantes da categoria EDA parecem começar a atribuir algum sentido ao conceito de entropia, pois o relacionam com a diminuição da disponibilidade de energia. Já os estudantes da categoria NDF não compreendem ainda o que seria entropia, pois interpretam o termo somente como a não disponibilidade de energia.

Situação 5b) O aumento da entropia está relacionado com o aumento da desordem do sistema e com a perda da oportunidade de converter energia em trabalho. Então, o que ocorre num sistema mais desordenado em relação à possibilidade de realizar trabalho?

Respostas que dizem que num sistema desordenado a possibilidade de realizar trabalho é menor (DTM). Os estudantes explicam que, onde aumenta a entropia, o sistema se torna mais desordenado, e diminui a possibilidade de realizar trabalho. Exemplo: “*Num sistema desordenado, há mais dificuldade de realizar trabalho*” (R8).

Respostas que dizem que um sistema mais desordenado gasta mais energia para realizar trabalho (SDE). Os alunos explicam que, num sistema desordenado, o consumo de energia é maior na realização de trabalho. Exemplo: “*Em um sistema mais desordenado, será gasto mais energia para se realizar o mesmo trabalho que em um sistema mais ordenado*” (R5).

Através da resolução das situações iniciais sobre entropia, podemos perceber que há diferenciação nas ideias prévias dos estudantes. Alguns já compreendem a existência de processos que ocorrem num único sentido. Outros surpreendem, pois acreditam que um processo de transferência de energia (calor) de um corpo frio para um corpo quente é possível. Alguns alunos também conseguem relacionar o aumento da entropia com a diminuição da disponibilidade de energia. Assim, podemos dizer que a resolução das situações iniciais atuou diferentemente nos distintos estudantes, fazendo com que alguns já atribuam sentido ao conceito de

entropia, enquanto outros atribuem um sentido inicial e outros ainda não conseguem compreender o seu significado.

7.5.3 Análise dos resultados da avaliação sobre o conceito entropia

Para finalizar o estudo do conceito entropia, que iniciou no dia 22/11/2007, através da discussão de situações em grupo, e continuou com o estudo de textos e a resolução de outras situações, constatamos que se tratava de um conceito completamente novo para os estudantes. Alguns alunos perceberam que o conceito está relacionado a alguns processos que ocorrem na natureza num sentido único, tendo como consequência a indisponibilidade de energia para realização de trabalho. No entanto, outros alunos consideram alguns processos irreversíveis como possíveis, mostrando a necessidade de discutir tais processos com maior profundidade. Juntamente com o estudo da entropia, foram discutidos a importância e o funcionamento das máquinas térmicas, além do Ciclo de Carnot e a sua representação gráfica.

Para a avaliação destes conceitos, os alunos resolveram quatro situações, a fim de que pudéssemos diagnosticar a construção do conceito entropia. Para Vergnaud (2008, p. 43), é preciso estudar a conceitualização para entender um único conceito. E a pedra angular, na análise deste processo, é o par situação e esquema de pensamento. Por isso, amparamo-nos na Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud para fazermos a análise deste trabalho. Assim, começamos a analisar a discussão oral dos alunos, utilizando os componentes dos esquemas, e analisamos a avaliação definindo categorias pertinentes ao que Vergnaud define como um conceito (Vergnaud, 1993, p. 9), ou seja, proposições que formam os invariantes operatórios; as representações simbólicas ou gráficas, que são fundamentais em Física; e a resolução de situações problemas. Por outro lado, segundo cita Vergnaud (Ibid.), ao estudar o desenvolvimento e o funcionamento de um conceito, no decurso da aprendizagem, é necessário considerar esses três planos ao mesmo tempo. Como foi feito nos estudos anteriores, dentro destas categorias, foram criadas categorias que denominamos de emergentes (Moraes e Galiuzzi, 2007, p. 155) por terem sido criadas a partir das questões da avaliação, e que estão diretamente relacionadas com os conteúdos de Física desenvolvidos.

Tabela 44. Categorias utilizadas para análise da avaliação sobre entropia

| Constituintes de um conceito | Características consideradas em cada componente | Situação |
|--|---|----------|
| A – Evidências de invariantes operatórios (teoremas-em-ação e conceitos-em-ação) | A1 – Evidenciam compreender que o rendimento máximo possível, para uma dada máquina térmica, é o rendimento da máquina de Carnot. | 1 |
| | A2 – Evidenciam compreender que o rendimento de uma máquina de Carnot depende da temperatura da fonte quente e da fonte fria. | 2 |
| | A3 – Evidenciam compreender que a variação da entropia depende do calor transferido e da temperatura. | 3 |
| | A4 – Evidenciam compreender que a variação total da entropia numa transformação irreversível (sistema + vizinhança) sempre aumenta, e que parte da energia se torna indisponível para a realização de trabalho. | 4 |
| B – Utilização de representação | B1 – Representam adequadamente a energia utilizada pela máquina térmica num ciclo. | 1 |
| | B2 – Representam adequadamente a expressão para determinar o rendimento numa máquina de Carnot. | 2 |
| | B3 – Representam adequadamente a expressão simbólica que relaciona a variação da entropia com o calor e a temperatura. | 3 |
| C – Resolução de situações | C1 – Resolvem adequadamente uma situação para encontrar o rendimento de uma máquina térmica. | 1 |
| | C2 – Resolvem a situações e encontram as diferenças entre as temperaturas das fontes quente e fria, sabendo de seu rendimento. | 2 |
| | C3 – Resolvem adequadamente situações envolvendo a variação da entropia. | 3 |

A análise de consistência interna mostrada na Tabela 45 foi obtida através de um tratamento estatístico obtido com o uso da planilha Excel (Silveira, 1993, p.14).

Tabela 45. Resultado da análise de consistência interna dos resultados do estudo experimental V – introdução do conceito de entropia

| Pontuação total | Média | Desvio padrão | Coefficiente α de Cronbach |
|-----------------|-------|---------------|-----------------------------------|
| 30 | 22,8 | 4,6 | 0,7 |

Na Tabela 46 é mostrada a correlação entre os três componentes de um conceito: evidência de invariantes operatórios, utilização de representação e resolução de situações e a pontuação total. Esta correlação foi obtida através do coeficiente de Pearson e calculada através da planilha Excel.

Tabela 46. Coeficiente de correlação de Pearson dos resultados do estudo experimental V – introdução do conceito de entropia

| Categoria | Evidências de invariantes operatórios | Utilização de representação | Resolução de situações |
|-------------------------|---------------------------------------|-----------------------------|------------------------|
| Coefficiente de Pearson | 0,91 | 0,89 | 0,70 |

Considerando que o desempenho máximo é um, a Tabela 47 mostra o desempenho médio em cada categoria.

Tabela 47. Desempenho médio da turma em cada categoria do estudo experimental V – introdução do conceito de entropia

| Categoria | A1 | A2 | A3 | A4 | B1 | B2 | B3 | C1 | C2 | C3 |
|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Desempenho | 0,81 | 0,84 | 0,79 | 0,66 | 0,82 | 0,76 | 0,79 | 0,90 | 0,65 | 0,56 |

A Tabela 48 mostra o desempenho médio após o estudo do conceito entropia.

Tabela 48. Desempenho médio da turma no estudo experimental V – introdução do conceito de entropia

| Critério | Desempenho médio inicial | Desempenho após o estudo do conceito entropia e da Segunda Lei da Termodinâmica. |
|--|---------------------------------|---|
| Total | 0,29 | 0,73 |
| Evidências de invariantes operatórios (teoremas-em-ação e conceitos-em-ação) | 0,31 | 0,75 |
| Utilização de representação | 0,29 | 0,80 |
| Resolução de situações | 0,26 | 0,68 |

Também no conceito entropia houve uma maior evolução na utilização de representações em relação às demais categorias. No entanto, podemos observar uma progressividade no conjunto dos alunos nas três categorias. Novamente, a categoria em que os alunos menos evoluíram foi a resolução de situações, mostrando que é difícil para eles utilizarem os conceitos em ação. A categoria evidências de invariantes operatórios ficou com um desempenho intermediário entre a resolução de situações e a utilização de representações. Como um conceito é constituído das três categorias, as dificuldades em uma categoria se refletem na outra. Os alunos obtiveram desempenho 0,75 na categoria A. Assim, parece que evidenciam compreender que o rendimento máximo de uma máquina térmica é inferior a 100%, como mostra a categoria A1. Por outro lado, a categoria A2 evidencia a compreensão da maioria dos alunos de que a máquina de Carnot possui o maior rendimento possível e depende das temperaturas das fontes quente e fria. Também na categoria A3, parece que os alunos relacionam a variação de entropia com o calor transferido e a temperatura do sistema. Já na categoria A4, os estudantes obtêm o pior desempenho da categoria A. Compreender que o aumento de entropia está relacionado com a disponibilidade de energia é de fundamental importância, uma vez que, a nível mundial, há uma preocupação com as fontes energéticas. O fato de a energia se conservar não garante disponibilidade de energia.

Com relação à categoria B, consideramos que os alunos obtiveram um bom desempenho, pois identificam as representações simbólicas das expressões utilizadas numa máquina térmica B1, também reconhecem as expressões utilizadas numa máquina de Carnot B2 e a expressão que relaciona a variação de entropia com transferência de calor e a temperatura B3. Além disso, evidenciam entender o significado de tais representações simbólicas.

A categoria onde os estudantes obtiveram pior desempenho é a resolução das situações C; isto mostra que o conceito de entropia e demais conceitos envolvidos não estão totalmente dominados, o que se justifica ao nos lembrarmos de Vergnaud (1993, p. 1), para quem é através das situações e dos problemas a resolver que um conceito adquire sentido. Assim, os três aspectos que compõem um conceito não estão totalmente dominados. Na categoria C1, os estudantes obtiveram um desempenho de 0,9, indicando que a maioria resolve situações para determinar o rendimento de uma máquina térmica. No entanto, na categoria C2, os estudantes já obtêm um menor desempenho na resolução de situações que envolvem a máquina de Carnot.

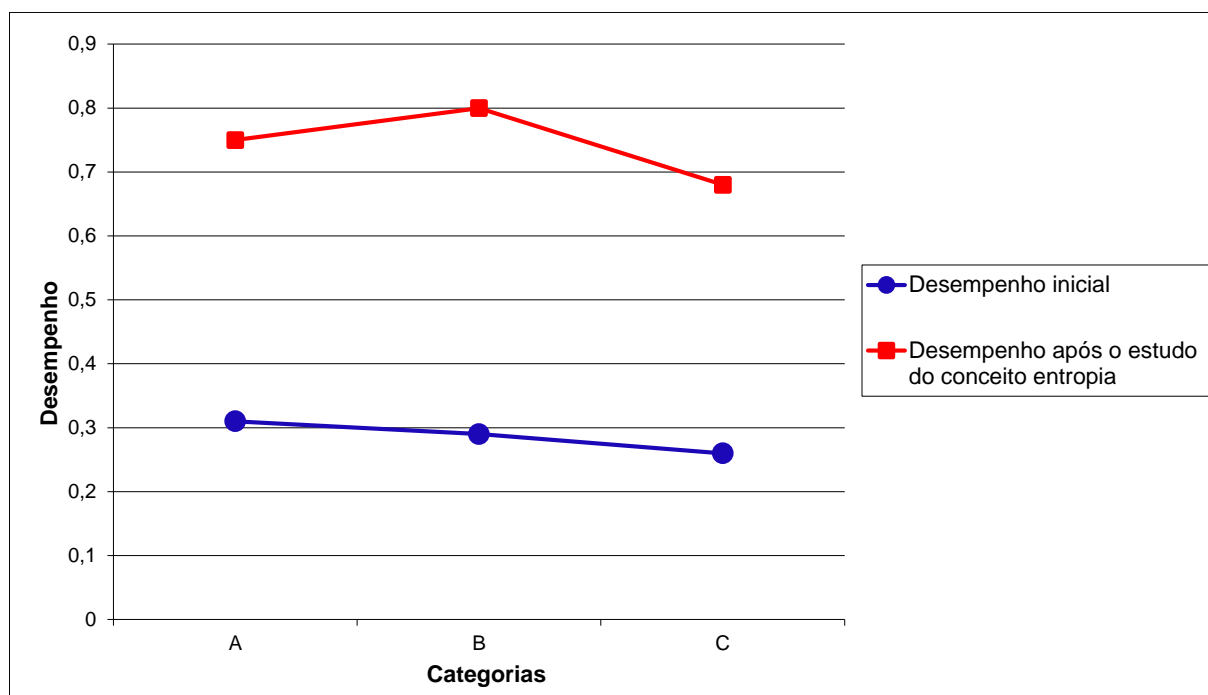


Figura 15. Gráfico de comparação entre o desempenho inicial e o desempenho após o estudo do conceito entropia

O pior desempenho se dá na categoria C3, na resolução de situações que envolvem a variação de entropia. Assim, percebemos que houve uma evolução na trajetória dos alunos durante a construção dos conceitos da Termodinâmica, mas ficaram lacunas em alguns alunos, o que indica o que já foi esclarecido por Greca e Moreira (2003, p. 44), que explicam que o domínio de um campo conceitual leva muito tempo. A evolução dos alunos nas três categorias está representada no gráfico da Figura 15.

7.5.4 Conclusão sobre o estudo do conceito entropia

Na resolução das situações iniciais, foi possível perceber que nem todos os alunos admitem processos na natureza que sejam irreversíveis, principalmente em se tratando da transformação da energia interna em energia mecânica. Os alunos acreditam ser possível transformar energia interna em energia mecânica. Quanto ao significado do conceito entropia, este era completamente novo para todos os alunos.

Durante a discussão sobre as situações iniciais, alguns alunos foram percebendo que na natureza existem processos irreversíveis. Neste sentido, começar a introdução de um novo conceito a partir da resolução de situações foi importante porque os alunos discutiram situações que, muitas vezes, eram novas para eles. Desta forma, evidenciaram seus conhecimentos prévios, que são importantes na construção de novos conhecimentos, e, através das discussões, construíram os primeiros significados para os novos conceitos. Conforme explica Moreira (2004, p. 21), as ideias de Vergnaud sobre o conhecimento prévio como precursor de novos conhecimentos científicos e sobre as continuidades e rupturas têm muito a ver com as ideias de Ausubel e do próprio Moreira.

Foi discutido também o fato de a energia sempre ser conservada e, no entanto, não estar disponível para a realização de trabalho. Sob esse aspecto, a segunda Lei da Termodinâmica é importante, pois não basta ter energia disponível, é necessário que ela possa ser utilizada, e isto deve ficar claro para os estudantes. Nas situações iniciais, não ficou completamente claro para todos os alunos que o fato de ter energia, significa que ela possa ser aproveitada. Como saliente

Doménech et al. (2003), é necessário discutir os processos de degradação de energia.

Houve um crescimento dos alunos após o estudo da Segunda Lei da Termodinâmica e do conceito de entropia, como mostra o gráfico da Figura 15. Entretanto, a Tabela 47 mostra, na categoria A4, o menor desempenho na categoria A, e esta está diretamente relacionada à compreensão dos alunos do conceito de entropia e sua consequência, que seria a indisponibilidade de energia útil. Assim, podemos concluir que, mesmo tendo um avanço na conceitualização dos alunos, existem lacunas, que devem ser sanadas com o tempo e novos estudos do mesmo conceito, pois, segundo acentuam Greca e Moreira (2004, p.38), o domínio de um campo conceitual leva muito tempo.

Parece que as representações simbólicas e seus significados que estão representados através da categoria B mostram um melhor desempenho e também um maior avanço no estudo da Segunda Lei da Termodinâmica e no estudo da entropia.

Mais uma vez, no estudo do conceito entropia, a categoria C, resolução de situações, mostra o pior desempenho. Este resultado já tem sido mostrado nos estudos anteriores e mostra a dificuldade dos estudantes na resolução de situações. Na verdade, na resolução de uma situação, é necessário que os estudantes acionem todos os componentes de um esquema. Assim, se utilizarem regras de ação ou invariantes que lhes sejam verdadeiros, mas não são corretos cientificamente, não obterão uma solução adequada na resolução de situações. Como, para dar conta do significado de um conceito é necessário, ao mesmo tempo, apropriar-se dos invariantes operatórios relativos a este conceito, saber utilizar representações simbólicas, gráficas ou escritas e ainda enfrentar situações envolvendo tais conceitos, entendemos que os conceitos desenvolvidos neste estudo não foram completamente dominados por todos os estudantes. No entanto, percebemos também que houve um avanço dos alunos na aprendizagem da Segunda Lei da Termodinâmica e do conceito de entropia.

7.6 Conclusão sobre os estudos experimentais

O objetivo dos cinco estudos experimentais foi introduzir os conceitos temperatura, calor, energia interna, trabalho e entropia através da implementação de uma metodologia de ensino que visa introduzir os conceitos através de situações e após a aplicação da metodologia, avaliar se os estudantes utilizam todos os componentes de um conceito, porque acreditamos que a aprendizagem de um conceito só ocorre adequadamente se seus três componentes forem levados em consideração.

Por isso, em cada estudo experimental as avaliações foram subdivididas e quantificadas dentro de três critérios: evidências de invariantes operatórios (teoremas-em- ação e conceitos-em-ação), utilização de representação e resolução de situações, que são os constituintes de um conceito.

O aproveitamento dos estudantes nos cinco estudos experimentais ocorreu com certa regularidade como pode ser observado na Tabela 49, variando de 0,51 a 0,80 nos três componentes de um conceito. A pesquisadora esperava um resultado melhor, mas resultados entre 0,51 e 0,8 podem ser considerados razoáveis.

Pode se constatar nos cinco estudos experimentais que na introdução dos conceitos através de situações os primeiros significados dos conceitos foram adquiridos pelos alunos, evidenciando o potencial da metodologia de ensino proposta.

Tabela 49. Desempenho médio da turma nos cinco estudos experimentais.

| Critério | Temperatura | Calor | Energia interna | Trabalho | Entropia |
|---|--------------------|--------------|------------------------|-----------------|-----------------|
| Evidências de invariantes operatórios (teoremas-em- ação e conceitos-em-ação) | 0,68 | 0,66 | 0,78 | 0,60 | 0,75 |
| Utilização de representação | 0,63 | 0,71 | 0,70 | 0,64 | 0,80 |
| Resolução de situações | 0,51 | 0,78 | 0,77 | 0,59 | 0,68 |

Outro potencial da metodologia de ensino é oportunizar aos estudantes a construção dos conceitos utilizando seus três componentes: invariantes operatórios, representações simbólicas e resolução de situações.

Como pode ser observado na Tabela 49, não há uma regularidade nos resultados, por exemplo, os estudantes obtiveram melhores resultados nos estudos um (temperatura) e três (energia interna) na categoria evidências de invariantes operatórios. Já na utilização de representações os melhores resultados foram obtidos no estudo quatro (trabalho) e cinco (entropia). Na categoria resolução de situações os estudantes só obtiveram o melhor resultado no estudo dois (calor). Esta não regularidade é explicada uma vez que em determinados conceitos as dificuldades podem ser maiores na categoria representações, já em outro pode ser maior em evidência de invariantes operatórios, mas conforme mostram os resultados a dificuldade maior é apresentada na resolução de situações-problema.

Após a aplicação da metodologia os estudantes apresentam dificuldade em relacionar a temperatura ao movimento de átomos e moléculas tendo conseqüentemente dificuldade na temperatura do zero absoluto, e no aspecto microscópico da temperatura.

Dificuldades envolvendo temperatura, também aparecem no estudo do calor quando o estudante tem que resolver situações que exigem a determinação da temperatura de equilíbrio térmico e o balanço energético. Usam concepções errôneas para os conceitos calor (como substância ou sinônimo de energia interna).

Queremos salientar a evidência de um invariante operatório: “não é possível aumentar a temperatura de um corpo sem uma fonte de calor”, que apareceu no estudo exploratório e se repetiu nos estudos experimentais.

Por outro lado, os alunos têm dificuldade em entender que, mesmo que o sistema não receba ou ceda calor, há variação de energia interna e de temperatura do sistema através de energia recebida com realização de trabalho pelo sistema ou sobre o sistema.

O conceito energia interna, entropia e a degradação da energia eram conceitos novos para os alunos, e os estudantes adquiriram seus primeiros significados para estes conceitos através desta metodologia de ensino. Após a aplicação da metodologia de ensino constatamos que muitas dificuldades persistem nos estudantes, mas o domínio de um campo conceitual leva muito tempo e está sujeito a avanços e retrocessos.

Como a metodologia proposta garante princípios importantes das teorias de aprendizagem como a mediação através dos trabalhos em grupo, busca de conhecimentos prévios enquanto os estudantes estão resolvendo as situações, a troca de significados e principalmente a possibilidade de aprendizagem de conceitos a partir de situações, ela foi aplicada em outras oportunidades e finalmente incorporada às aulas da pesquisadora, mas novos registros não foram realizados, pois acreditamos que os dados coletados foram suficientes para fundamentar a pesquisa realizada.

8 RESULTADOS DO PRÉ E PÓS-TESTE E OPINIÃO DOS ALUNOS A RESPEITO DA PROPOSTA DIDÁTICA

8.1 Resultados do pré e pós-teste

Esta etapa da investigação mostra, inicialmente, uma análise comparativa entre os resultados do pré-teste (realizado antes da abordagem metodológica) e do pós-teste (realizado após a abordagem metodológica). Uma análise mais detalhada é feita nos estudos experimentais, analisando como os alunos constroem os conceitos temperatura, calor, energia interna, trabalho e entropia.

No delineamento desta investigação, a turma 2311 do Curso Técnico em Eletrotécnica foi investigada. Trata-se de estudantes do turno da manhã. Inicialmente, foi aplicado um pré-teste e, após, aplicada a proposta metodológica construída. Por fim, foi aplicado um pós-teste, e a diferença entre o resultado do pré e pós-teste evidenciará o efeito da metodologia aplicada.

O que diferencia a abordagem metodológica utilizada é o enfrentamento de situações-problema na introdução de novos conteúdos e conceitos, pois acreditamos que é através das situações que os estudantes dão sentido aos conceitos. Moreira (2004, p. 11) salienta que, “*se os conceitos tornam-se significativos através de situações, naturalmente são as situações e não os conceitos a principal entrada de um campo conceitual*”, por isso decidimos por uma abordagem metodológica cuja porta de entrada abarcasse situações. Os demais aspectos da abordagem metodológica já eram aplicados normalmente pelo professor, mas nesta abordagem foi dada prioridade às discussões para dar oportunidade aos estudantes de trocar significados.

Foi elaborado um instrumento com 30 questões de múltipla escolha envolvendo os conceitos temperatura, calor, energia interna, trabalho e entropia. Para essa elaboração, foram utilizadas questões apresentadas pelos autores Silveira e Axt (1991), Burchweitz e Axt (1996), Alvarenga e Máximo (2006), além de outras

elaboradas pela pesquisadora. O instrumento foi organizado para analisar a tríade que forma um conceito, proposta por Vergnaud, ou seja, buscando evidências de invariantes operatórios, utilização de representações e a resolução de situações.

Todo instrumento deve apresentar validade de conteúdo, o que garante que é constituído de uma amostra representativa dos conhecimentos que se pretende medir. Assim, este instrumento foi submetido à análise de três pesquisadores em Ensino de Ciências.

A fidedignidade do instrumento está relacionada à estabilidade e a consistência interna de seus resultados, no sentido de receptividade ou precisão. Para determinar o coeficiente de fidedignidade, cada questão foi quantificada com escore 1 às questões corretas e escore zero às questões incorretas. Antes da aplicação do teste no grupo experimental, ele foi aplicado com a finalidade de determinar o coeficiente de fidedignidade. Os escores obtidos foram submetidos a uma análise de consistência interna, e obtivemos os seguintes resultados. Inicialmente, calculamos o coeficiente de fidedignidade, alfa de Cronbach (apud Silveira, 1993), obtendo 0,56. Para chegarmos a uma estimativa dos coeficientes de correlação item-total, utilizamos o coeficiente de correlação de Pearson, obtendo os resultados apresentados na Tabela 50.

Tabela 50. Coeficiente de correlação de Pearson

| | | | | | | | | | | |
|----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Questão | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Pearson | 0,32 | 0,37 | 0,33 | 0,5 | 0,46 | 0,45 | 0,31 | 0,47 | 0,53 | 0,49 |
| Questão | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| Pearson | 0,09 | 0,12 | 0,18 | 0,36 | 0,19 | 0,41 | 0,05 | 0,06 | 0,01 | 0,3 |
| Questão | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 |
| Pearson | 0,33 | 0,26 | 0,13 | 0,32 | 0,2 | 0,09 | 0,33 | 0,15 | 0,07 | 0,65 |

Para aumentar o coeficiente de fidedignidade, alfa de Cronbach, foram eliminadas as questões 11, 12, 17, 18, 19, 26, 28 e 29. O teste ficou constituído de 22 questões, e o coeficiente alfa de Cronbach passou a ser 0,70. As questões restantes envolvem temperatura, calor, energia interna, trabalho e entropia.

Finalmente, o pré-teste foi aplicado à turma. Como já foi explicado, a turma foi submetida à metodologia proposta, que introduz os conteúdos através da resolução de situações. Após a aplicação da metodologia, o pós-teste foi aplicado, e a Tabela

51 mostra os resultados do pré e pós-teste. No pré-teste, faltaram três alunos, e um aluno no pós-teste. Os alunos que faltaram nos dois testes não foram considerados nos resultados da Tabela 52. Houve um avanço após a aplicação da metodologia, mas os resultados mostram uma média um pouco superior a 50% (média do grupo: 11,8 no total de 22 questões), o que ainda indica muitas deficiências na aprendizagem dos conceitos estudados. O desvio em torno da média no pós teste foi inferior ao pré-teste, o que mostra um desvio menor nos resultados finais. A Tabela 51 mostra os resultados estatísticos apresentados.

Tabela 51. Análise estatística do pré-teste e do pós-teste

| Turma | Total | Média | | Desvio padrão | |
|-------|-------|-------|------|---------------|-----|
| | | Pré | Pós | Pré | Pós |
| 2311 | 22 | 6,4 | 11,8 | 2,5 | 0,7 |

O gráfico da Figura 16 mostra uma comparação entre os resultados do pré-teste e do pós-teste. Como podemos observar, os estudantes obtiveram um número de acertos maior no pós-teste comparado ao pré-teste.

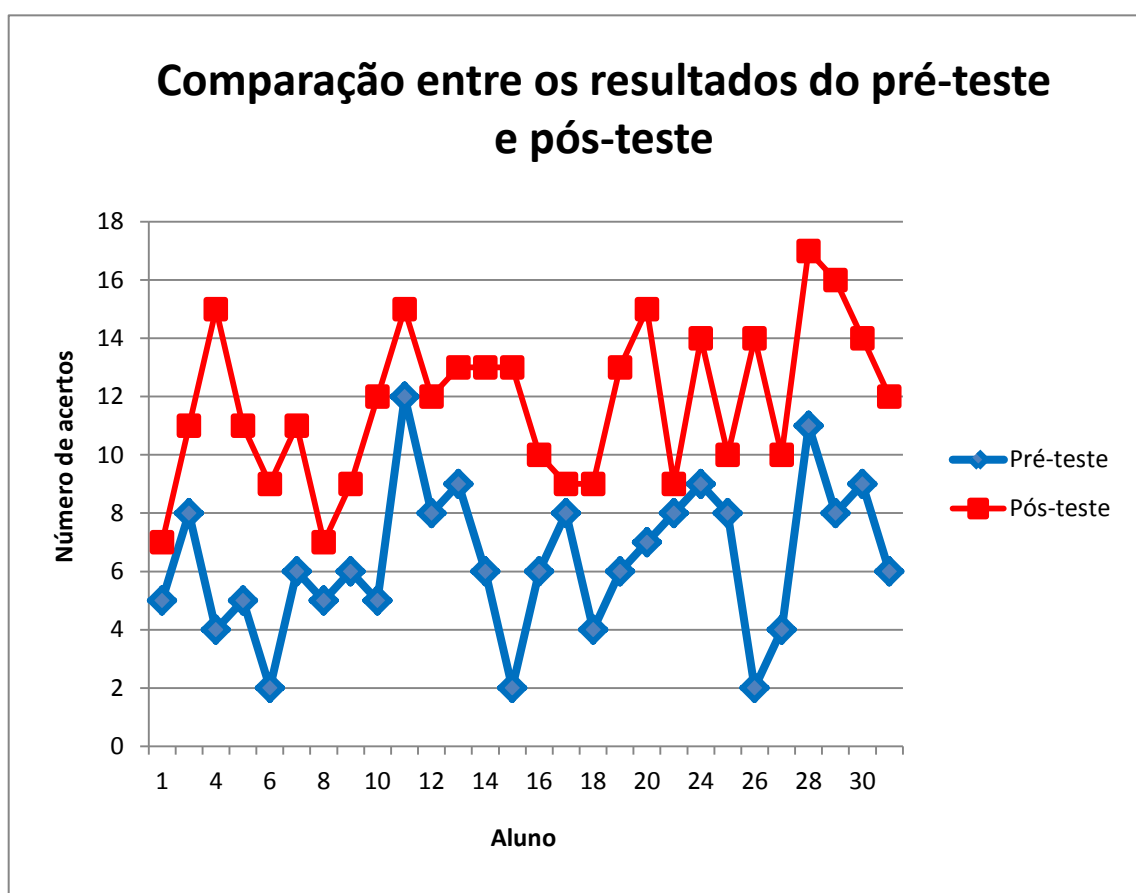


Figura 16. Comparação entre os resultados do pré e do pós-teste

Os resultados da Figura 16 referem-se aos alunos que compareceram tanto ao pré como no pós-teste. Fizemos uma análise do desempenho dos estudantes nos conceitos temperatura, calor, energia interna, trabalho e entropia. Analisamos também o desempenho dos estudantes nas explicações que envolvem conceitos-em-ação e teoremas-em-ação, nas suas representações e as aplicações dos conceitos em resolução de situações problemas.

Na sequência deste trabalho, analisamos o desempenho dos estudantes em cada conceito, Tabela 51. Inicialmente, o teste foi elaborado com seis questões sobre cada conceito, mas algumas foram eliminadas para garantir a fidedignidade do teste, restando 6 questões sobre temperatura, 4 sobre calor, 4 sobre energia interna, 5 sobre trabalho e 3 sobre entropia. O escore 1 indica que a resposta do estudante está de acordo com a comunidade científica, e o escore 0 indica discordância. Podemos observar, através do gráfico, um avanço na conceitualização após a aplicação da metodologia desenhada.

Na Tabela 52, o valor numérico ao lado do código que identifica os alunos indica a idade dos mesmos, e o asterisco indica aluno repetente.

Dos 28 estudantes analisados, podemos observar que 12 não avançaram na conceitualização de temperatura. A aluna JU foi a que mais evoluiu, pois avançou do escore 1 para o escore 5. Estes resultados indicam a dificuldade que os estudantes, em geral, ainda apresentam neste conceito. Nenhum atingiu escore máximo, 6. Os estudantes apresentam pré-concepções poderosas a respeito de temperatura, que, como nós sabemos, não são substituídas, mas coexistem com o significado científico. Por outro lado, o conceito de temperatura apresenta representações macroscópicas relacionadas a um significado microscópico. Por exemplo, uma temperatura de 20°C está relacionada a uma maior energia cinética média do que uma temperatura de 10°C. Esta compreensão nem sempre é fácil para os alunos. Os resultados indicam que a trajetória, através da abordagem metodológica, não foi suficiente para os estudantes superarem suas concepções. Os alunos continuam apresentando dificuldades em representação do zero absoluto e temperaturas negativas, como já foi observado num trabalho anterior (Grings et al, 2006, p. 470). As dificuldades com valores negativos também foram discutidas por Vegnaud (2003,

p. 28). Além disso, apareceram dificuldades na resolução de situações problemas envolvendo temperatura.

Tabela 52. Evolução apresentada pelos estudantes nos conceitos temperatura, calor, energia interna, trabalho e entropia

| Alunos | Temperatura | | Calor | | Energia interna | | Trabalho | | Entropia | |
|----------------|-------------|-----|-------|-----|-----------------|-----|----------|-----|----------|-----|
| | Pré | Pós | Pré | Pós | Pré | Pós | Pré | Pós | Pré | Pós |
| A1-ALE (18) | 1 | 1 | 0 | 1 | 3 | 1 | 1 | 3 | 0 | 1 |
| A3-ART (16) | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 0 | 2 | 2 | 2 |
| A4-BRC (18) | 1 | 3 | 2 | 3 | 0 | 3 | 1 | 3 | 0 | 3 |
| A5-BRU (17) | 0 | 1 | 1 | 4 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| A6-BRA (17) | 0 | 2 | 0 | 3 | 0 | 2 | 1 | 2 | 1 | 0 |
| A7-CAT (18)* | 0 | 2 | 3 | 4 | 0 | 1 | 2 | 3 | 1 | 1 |
| A8-CIC (16) | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 0 | 1 |
| A9-DAÍ (16) | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 |
| A10-DAN (16) | 1 | 2 | 1 | 4 | 1 | 2 | 1 | 3 | 1 | 1 |
| A11-DIO (16) | 3 | 2 | 3 | 4 | 1 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 |
| A12-EDS (17) | 1 | 2 | 4 | 2 | 1 | 3 | 1 | 2 | 1 | 3 |
| A13-JUL (16) | 1 | 1 | 2 | 4 | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 |
| A14-JU (17) | 1 | 5 | 1 | 2 | 1 | 3 | 1 | 2 | 2 | 1 |
| A15-LET (17) | 0 | 2 | 0 | 3 | 1 | 1 | 1 | 4 | 0 | 3 |
| A16-LUA (16) | 1 | 1 | 0 | 2 | 3 | 2 | 1 | 2 | 1 | 3 |
| A17-MAI (16) | 0 | 2 | 2 | 4 | 2 | 1 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| A18-MAN (16) | 0 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 1 | 2 | 0 | 1 |
| A19-MAR (17) | 0 | 3 | 2 | 3 | 1 | 3 | 2 | 2 | 1 | 2 |
| A20-MAT (18) | 3 | 3 | 3 | 4 | 0 | 3 | 1 | 3 | 0 | 2 |
| A21-MUR (16) | 3 | 1 | 0 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 2 | 2 |
| A24-REN (18) | 2 | 1 | 1 | 4 | 4 | 4 | 1 | 3 | 1 | 2 |
| A25-ROB (17) | 1 | 1 | 1 | 4 | 3 | 1 | 3 | 2 | 0 | 2 |
| A26-ROD (19)* | 0 | 2 | 1 | 4 | 0 | 2 | 1 | 4 | 0 | 2 |
| A27-SOL (18) | 0 | 2 | 2 | 1 | 0 | 1 | 0 | 3 | 2 | 3 |
| A28-THI (16) | 3 | 3 | 3 | 4 | 3 | 3 | 1 | 4 | 1 | 3 |
| A29-THIA (18)* | 3 | 4 | 1 | 4 | 1 | 2 | 2 | 3 | 1 | 3 |
| A30-WIL (17) | 2 | 4 | 2 | 4 | 3 | 3 | 1 | 1 | 1 | 2 |
| A32-ISA (16)* | 0 | 0 | 1 | 4 | 2 | 3 | 3 | 3 | 0 | 2 |
| Frequência | 32 | 56 | 45 | 86 | 43 | 63 | 39 | 72 | 27 | 53 |

No trabalho (Grings et al., 2006), encontramos aproximadamente 60% dos alunos do ensino médio que já haviam estudado Termodinâmica, relacionando o conceito de calor à energia (parcialmente correto do ponto de vista científico). Neste caso, há evidência de uma maior evolução dos alunos, uma vez que há indicadores da compreensão de equilíbrio térmico e do sentido da transferência da energia (calor) de corpos de maior temperatura para corpos de menor temperatura.

No conceito energia interna, muitos alunos não evoluíram após o tratamento didático, evidenciando o que já havia sido encontrado em trabalhos anteriores, que muitos não apresentam concepção sobre energia interna (Grings et al, 2006, p. 246 ;

Silva, 1986, p.132). Os alunos evidenciam também não compreenderem que a água no estado líquido a 0°C possui maior energia interna do que a água no estado sólido a 0°C , resultado também já encontrado em Silva (1986, p. 129). A única aluna, REN, que atingiu escore máximo, 4, já o havia atingido no pré-teste.

Em Grings et al. (2006, p. 247), muitos alunos já relacionavam o conceito de trabalho à energia. Nesta pesquisa, os alunos demonstram compreender que o trabalho está relacionado à variação de volume de um gás e também compreendem que a área de um gráfico $p \times V$ representa o trabalho realizado.

Ainda em Grings et al. (2006, p. 249), os alunos evidenciam desconhecer o conceito entropia. Aqui, os alunos evoluem, uma vez que compreendem bem que uma máquina térmica nunca restitui integralmente sob forma de trabalho a energia que lhe foi transferida como calor.

O gráfico da Figura 17 mostra o desempenho dos estudantes em cada conceito.

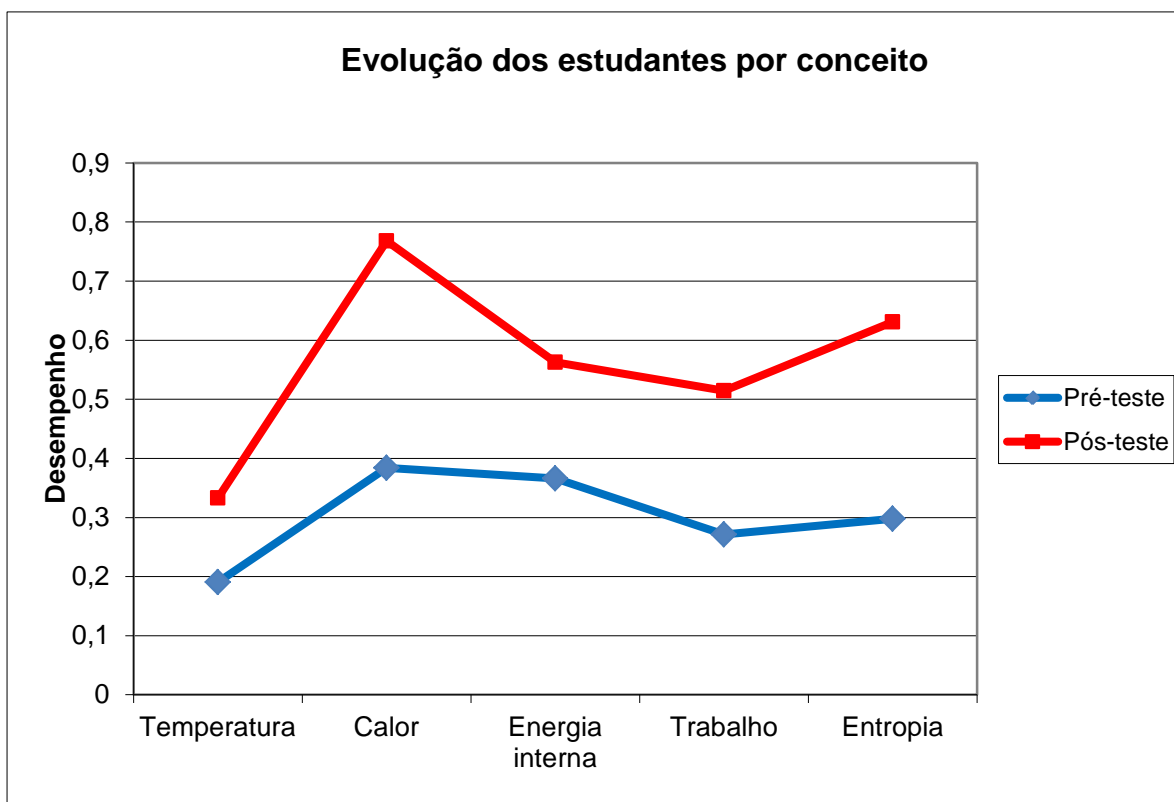


Figura 17. Evolução do desempenho dos estudantes em cada conceito

Como já foi discutido, a menor evolução deu-se no conceito temperatura, seguido de energia interna. A maior evolução ocorreu no conceito calor, seguido de entropia e trabalho. Os conceitos temperatura e calor foram amplamente estudados de 1970 a 1990, período intenso de pesquisas em concepções alternativas, principalmente nos ensinamentos fundamental e médio. Esses trabalhos (Albert, 1978; Driver e Russel, 1982; Erickson, 1979; Erickson, 1980; Fernandez Uria, 1986; Garcia Hourcade e Rodríguez De Ávila, 1986; Heath, 1976; Helsdon, 1982; Kesidou e Duit, 1993; Macedo e Soussan, 1985; Shaw, 1974; Shayer e Wylam, 1981; Stavy e Berkovitz, 1960; Summers, 1983; Warren, 1972; Warren, 1976) mostraram concepções poderosas a respeito de calor e temperatura, como, por exemplo, temperatura associada a um grau de calor e calor como uma propriedade interna do corpo, ou seja, algo que um corpo possui. Esses trabalhos analisaram as concepções apresentadas pelos estudantes. Na nossa pesquisa, a análise é mais ampla, pois analisamos não somente como o estudante explicita, através de proposições, as suas concepções a respeito dos conceitos estudados, mas, num sentido mais amplo, como os estudantes representam tais conceitos e os utilizam em situações, atribuindo à definição conceitual um sentido mais abrangente, como foi definido por Vergnaud (1993, p. 9), ou seja, um conceito é considerado como uma trinca que envolve um conjunto de situações, conjunto de invariantes operatórios e um conjunto de representações. Assim, no conceito de temperatura, os alunos evidenciam uma menor evolução, que pode estar relacionada às representações de temperatura do zero absoluto, acerca de que, como já foi discutido, os alunos mostraram muita dificuldade. Evidenciaram também dificuldades em atribuir um limite inferior para a temperatura, uma vez que consideraram possível representar temperaturas de $-15K$ ou temperaturas de $-327^{\circ}C$.

No conceito de calor, os alunos evidenciam compreender que a representação que mostra o sentido do calor ocorre do corpo de maior temperatura para o corpo de menor temperatura, mas muitos ainda consideram o calor como algo que o corpo possui. Assim, os alunos demonstraram compreender melhor as representações utilizadas no conceito calor do que em temperatura.

No conceito energia interna, o trabalho de Grings et al. (2006, p. 246) constata que 50% dos estudantes relacionam a energia interna com a energia que o

corpo possui. Este resultado está muito mais relacionado a uma concepção do cotidiano, que relaciona energia interna com aquilo que está no interior do corpo. Logo, o resultado deste trabalho não é contraditório, pois evidencia que os estudantes, embora entendam que a energia interna é aquela que o corpo possui, não relacionam esta energia com as energias atômicas moleculares, cinética mais potencial, que é como a energia interna se apresenta. Por outro lado, ainda que os alunos entendam que um corpo de maior volume e maior temperatura apresenta maior energia interna, apresentam dificuldade nas situações em que ocorre mudança de estado e o corpo permanece com a mesma temperatura, pois não identificam qual o corpo que possui maior energia interna.

No conceito trabalho, embora os alunos evidenciem compreender as representações gráficas, mostram dificuldade em enfrentar situações utilizando tal conceito.

O conceito de entropia evolui, pois, inicialmente, não haviam ouvido falar sobre o conceito e, no final, os alunos evidenciam compreender que a entropia está associada à degradação de energia.

As questões do pré e pós-teste foram classificadas em categorias que levam em consideração os componentes de um conceito segundo Vergnaud (1993, p. 9). Acreditamos que analisar a evolução dos estudantes em todos os aspectos dos constituintes de um conceito é importante, pois pensamos que a conceitualização somente é concretizada quando os estudantes têm condições de abarcar o conceito segundo a tríade representação, invariantes operatórios e situações. É necessário que os estudantes explicitem verbalmente os conceitos, representem-nos e operem com eles em situações problemas, só assim um conceito poderá, gradativamente, ser incorporado à estrutura cognitiva do estudante.

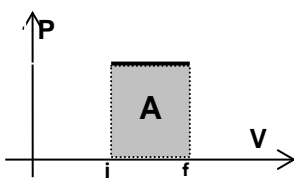
Para Vergnaud, os conceitos adquirem significados através das situações. Portanto, para avançar na conceitualização e, conseqüentemente, no desenvolvimento cognitivo, é necessário que o estudante seja submetido a situações de distinto grau de complexidade.

Caballero (2003, p. 143) salienta que a linguagem e os símbolos influenciam no desenvolvimento cognitivo, por isso é importante que os estudantes, no seu desenvolvimento conceitual, estejam sujeitos a diversas formas de representação (linguagem, simbólica, pictórica e outras).

A Teoria dos campos Conceituais permite descrever distintos níveis de conceitualização através do uso de representação simbólica e uma explicitação parcial de significados, que são expressões parciais dos invariantes operatórios usados para enfrentar situações-problema que demandam uma conceitualização aceitável do real. (Caballero, 2003, p. 147).

Também Moreira salienta que o núcleo do desenvolvimento cognitivo é a conceitualização (2004, p. 10) e que o estudo do desenvolvimento e o uso de um conceito devem considerar os três conjuntos simultaneamente: situações, invariantes operatórios e representações. Por isso, resolvemos categorizar a evolução conceitual dos estudantes, considerando tais conjuntos de componentes de um conceito.

Tabela 53. Definição das categorias usadas como critério de avaliação.

| Categorias | Descrição das categorias | Exemplos |
|---|---|---|
| EC – Explicações sobre os conceitos | São explicações escritas a respeito dos conceitos que evidenciam a utilização de conceitos-em-ação e teoremas-em-ação que podem ou não estar de acordo com as concepções científicas. | Energia interna é o total de todas as energias atômicas moleculares, cinética mais potencial. |
| ER – Evidências de utilização de representações | Utilização de representações simbólicas, pictóricas ou outras para representar os conceitos. Na utilização de representações, conceitos-em-ação e teoremas-em-ação podem ser acionados. | A área do gráfico representa o trabalho realizado.  |
| RP – Resolução de situações-problema | Aplicação dos conceitos na resolução de situações-problema. Na resolução de situações-problema, os estudantes podem utilizar representações e acionar conceitos-em-ação e teoremas-em-ação. | Medimos a temperatura de um corpo utilizando dois termômetros, um calibrado na escala Celsius e o outro na escala Fahrenheit. Para nossa surpresa, verificamos que os dois termômetros marcavam numericamente a mesma temperatura após a medida. Que temperatura os termômetros mediam? |

Vergnaud (1993, p. 9) diz que, ao estudarmos o desenvolvimento de um conceito, no decurso da aprendizagem ou quando de sua utilização, é necessário considerar esses três planos ao mesmo tempo, ou seja, o conjunto de situações, o conjunto de invariantes e o conjunto de formas de linguagem ou não que permitem representar simbolicamente o conceito.

Entendemos, como Vergnaud (Ibid.), que conceitualizar é mais do que uma definição, é também sua representação e sua aplicação em situações problemas. Assim, foram consideradas as categorias definidas na Tabela 53.

Tabela 54. Classificação das questões segundo os categorias definidas na Tabela 53.

| | |
|--|----------------------------------|
| EC – Explicações sobre os conceitos | 1, 2, 7, 8, 13, 14, 20, 25. |
| ER – Evidências de utilização de representações | 3, 4, 9, 10, 15, 16, 21, 22, 27. |
| RP – Resolução de situações-problema | 5, 6, 23, 24, 30. |

Como mostra a Figura 18, houve uma evolução praticamente igual nas categorias EC e ER, pois são categorias menos elaboradas do que a RP. A categoria RP envolve, além da resolução de situações-problema, a utilização de teoremas-em-ação e a utilização de representações, simultaneamente. O desempenho dos estudantes na categoria RP no pós-teste foi menor do que 40% e evidenciou uma evolução inferior a 10%. Este desempenho é muito inferior ao desejado. Nas categorias EC e ER, o desempenho foi de 60%, também abaixo da expectativa.

Assim, concluímos que o fato de usarmos uma abordagem didática que introduz os conceitos através de situações-problema não demonstrou um avanço significativo. Por outro lado, o grupo mostrou evolução em todos os conceitos. No entanto, esta evolução foi considerada, por nós, modesta.

Também não consideramos significativo o avanço conceitual obtido nas diferentes categorias, sendo que a evolução na resolução de situações foi insignificante. Uma das razões para que os resultados obtidos não tenham sido os esperados talvez deva-se à escolha das situações, que podem não ter sido suficientemente poderosas para conseguir que os estudantes obtivessem um avanço adequado. Por outro lado, para Vergnaud, o domínio de um campo conceitual não é imediato, leva muito tempo e acontece com avanços e retrocessos.

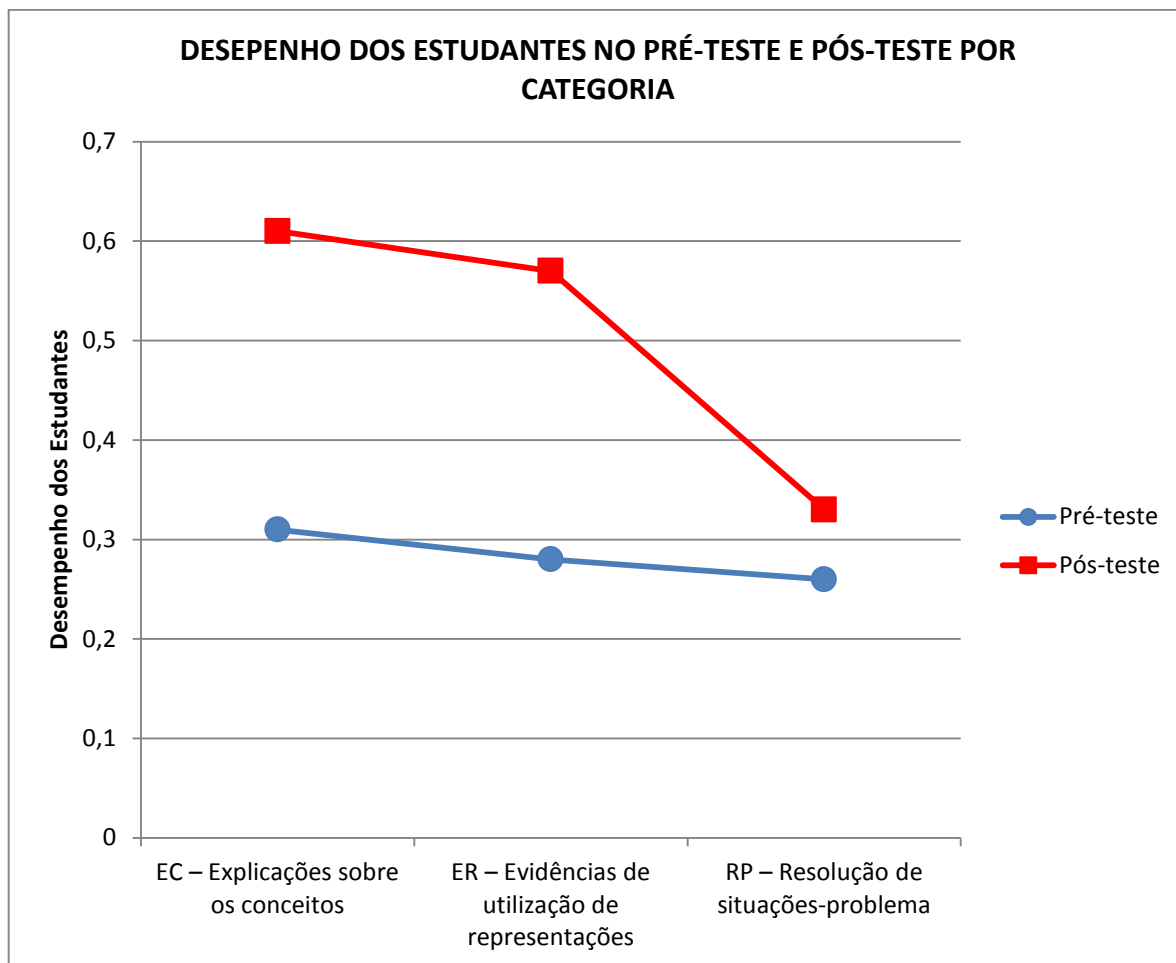


Figura 18. Comparação das categorias entre os resultados do pré e do pós-teste

8.2 Significados dos conceitos da Termodinâmica para os alunos após a aplicação da Metodologia Didática

Ao finalizarmos a aplicação da estratégia didática, os alunos responderam o mesmo questionário que foi aplicado no Estudo Exploratório. Agora, o objetivo de tal questionário é identificar o significado que os alunos apresentam após a aplicação da metodologia didática para os conceitos temperatura, calor, energia interna, trabalho e entropia.

As respostas dos alunos foram organizadas em categorias definidas a partir dos resultados dos questionários. Relacionamos, abaixo, a explicitação dada pelos alunos ao conceito temperatura. Em negrito, mostramos as respostas que mais se aproximam da conceitualização aceita cientificamente.

O que você entende por temperatura?

Respostas dos alunos para o conceito temperatura.

A1: Temperatura é uma medida cuja unidade é °C.

A2: Temperatura é a quantidade de energia interna de um corpo.

A3: É a quantidade calor que um corpo possui.

A4: Quantidade de energia de um corpo.

A5: É a energia cinética média das moléculas e átomos de um corpo.

A6: Diretamente proporcional à energia cinética média.

A8: É a soma de suas energias internas.

A9: Temperatura é a quantidade de calor que existe num corpo.

A10: A soma das potências e energia interna do corpo.

A11: É a quantidade de calor presente no corpo.

A12: Variação da quantidade de energia de um corpo.

A13: Ela depende do calor: quanto mais calor, maior a temperatura; quanto menor o calor, menor a temperatura.

A14: É a quantidade de calor contida em um corpo.

A15: Temperatura é a quantidade de energia encontrada em um corpo.

A16: É a quantidade de calor.

A17: A temperatura é originada de uma diferença de energia.

A19: É a presença de uma quantidade de calor.

A20: É a transferência de calor.

A21: É a soma das energias internas de um corpo.

A21: É a presença de uma quantidade de calor.

A22: A temperatura é a troca de calor entre duas substâncias ou objetos de temperaturas diferentes. Resultando numa transferência de calor.

A23: Unidade de medida que varia de acordo com a energia interna.

A24: Temperatura é a medida das moléculas de um corpo.

A25: A soma das potências e energia interna de um corpo.

A26: Temperatura é a quantidade de calor existente em um corpo.

A27: É a troca de calor entre dois corpos com temperaturas diferentes. Haverá transferência de calor.

A28: O total de todas as energias moleculares, cinética mais potencial, que são internas às substâncias.

A29: É a soma de todas as energias internas de um corpo.

A30: Uma medida da energia cinética translacional média por molécula em uma substância.

A31: É a energia provida por um corpo que pode ser transferida para realização de trabalho ou equilíbrio térmico.

A32: Temperatura é a variação da energia interna de um corpo.

O aluno A30 tem 17 anos, só estuda e apresenta um raciocínio lógico adequado. A sua resposta da questão 1.1 é mostrada na Figura 19.

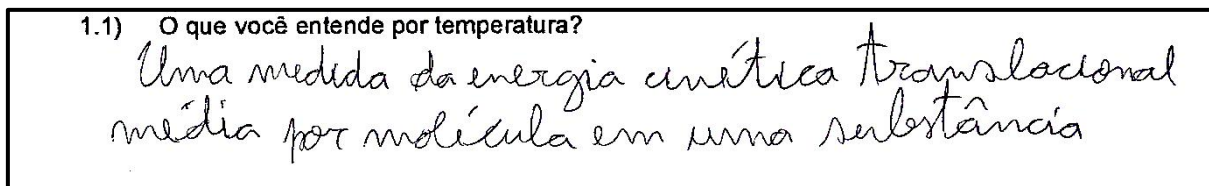


Figura 19. Resposta do aluno A30 para a pergunta “o que você entende por temperatura?”

A partir das respostas dos estudantes, foram criadas quatro categorias. Como sabemos, a temperatura é uma propriedade média do sistema como um todo, é uma medida da energia cinética média dos átomos ou moléculas de um corpo. Assim, consideramos as respostas A5, A6 e A30 as que se aproximam da conceitualização aceita cientificamente, e as demais categorias foram consideradas inadequadas do ponto de vista científico. O significado descrito em cada categoria é uma aproximação das respostas dos estudantes.

Tabela 55. Significados do conceito temperatura

| Categoria | Significado | Exemplo | Percentual |
|------------------|--|----------------|-------------------|
| 1 | É uma medida da energia cinética média dos átomos ou moléculas de um corpo | A30 | 10% |
| 2 | Sinônimo de calor | A9 | 37% |
| 3 | Sinônimo de energia ou energia interna | A4 | 40% |
| 4 | Outras respostas ou respostas sem coerência | A25 | 13% |

As categorias criadas foram idênticas às categorias enunciadas no estudo exploratório que foi realizado com outro grupo de estudantes dos quatro cursos oferecidos pela Escola. Tais estudantes também já haviam estudado os conceitos da Termodinâmica. Mesmo após a aplicação da metodologia didática, vemos que um percentual muito pequeno consegue explicitar o conceito temperatura com aproximação ao conceito científico. Muitos estudantes continuam mantendo suas concepções alternativas, identificando temperatura como sinônimo de energia, conforme já foi observado por Kesidou e Duit (1983), ou calor detectado por Köhnlein e Peduzzi (2002), Kesidou e Duit (1983) e Macedo e Soussan (1985).

O resultado vem corroborar o que já foi constatado no estudo exploratório e explicado por Vergnaud (2009, p. 15), que a aprendizagem de um conceito não é imediata e leva muito tempo. Conseqüentemente, o desenvolvimento cognitivo também, segundo mostra a fala de Vergnaud:

A primeira questão a que se dirige a Teoria dos Campos Conceituais é o desenvolvimento cognitivo da criança e do adolescente, que se produz tanto nas aprendizagens escolares como na vida cotidiana. Trata-se, por sua vez, a longa duração desses processos, que podem durar anos, e ao curto prazo da tomada de consciência que intervêm, tanto em uns como nos outros, no funcionamento cognitivo em situação. (Ibid.).

Cabe esclarecer que a expressão de uma representação proposicional como a que foi feita pelos estudantes não abrange o que Vergnaud define como conceito, pois para ele um conceito deve envolver o tripé situações, invariantes operatórios e representações.

Citamos, a seguir, os significados apresentados pelos estudantes ao conceito calor. As respostas em negrito apresentam as respostas que mais se aproximam da conceitualização aceita cientificamente.

O que significa fisicamente calor para você?

Respostas dos alunos para o conceito calor.

A1: Troca de calor ocorre do corpo com mais calor para o mais frio.

A2: Significa transferência de energia de dois corpos com temperaturas diferentes.

A3: É a energia que pode ser trocada com outra substância.

A4: Energia transferida de um corpo de maior temperatura para outro de temperatura menor.

A5: Calor é a transferência de energia de um corpo de temperatura mais alta para outro de temperatura mais baixa.

A6: Calor é uma energia transferida em virtude de uma diferença de temperatura.

A8: Quantidade de energia e temperaturas transferidas.

A9: Calor depende da energia interna que o corpo possui.

A10: Transferência de calor entre dois corpos de diferentes temperaturas.

A11: Calor é a transferência de energia entre corpos.

A12: Energia transferida de um corpo a outro.

A13: É a soma das médias das energias potencial e cinética entre corpos.

A14: Calor é a quantidade de energia entre corpos.

A15: Calor é o fluxo de energia entre dois corpos de temperaturas diferentes.

A16: Calor é o fluxo de energia.

A17: Calor é a energia transferida em virtude de uma diferença de temperatura.

A18: É a variação de temperatura.

A19: É a variação de energia.

A20: Transferência de energia de um corpo para outro.

A21: Variação de temperatura.

A22: É a energia interna transferida de um corpo para outro.

A23: Quantidade de calor presente em um corpo.

A24: Calor é o fluxo de energia de um corpo com maior temperatura para um corpo de menor temperatura.

A25: Transferência de calor entre corpos de diferentes temperaturas.

A26: Calor é a transferência de energia de um corpo para outro.

A27: A energia interna absorvida ou transferida de um corpo para outro.

A28: É a energia que flui de um corpo com temperatura mais alta para outro de menor temperatura.

A29: Não respondeu.

A31: É a transferência de energia interna de um corpo de maior temperatura para um corpo de menor temperatura.

A32: Calor é a energia interna de um corpo.

O aluno A17 tem 16 anos, trabalha 5 horas por dia, é muito respeitoso e sempre realiza as atividades propostas em aula e a Figura 20 mostra a sua resposta para a questão 1.2.

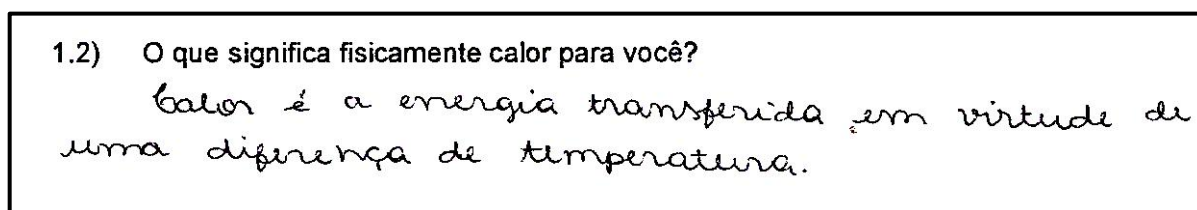


Figura 20. Resposta do aluno A17 para a pergunta “O que significa fisicamente calor para você?”

Assim, como para o conceito temperatura, o conceito calor foi distribuído em quatro categorias, apresentadas na próxima tabela.

Tabela 56. Significados do conceito calor

| Categoria | Significado | Exemplo | Percentual |
|------------------|---|----------------|-------------------|
| 1 | Calor é a energia transferida em virtude de uma diferença de temperatura. | A17 | 30% |
| 2 | Calor é a transferência de energia. | A27 | 40% |
| 3 | Respostas aproximadas à variação de temperatura. | A4 | 10% |
| 4 | Outras respostas, respostas sem coerência ou não respondeu. | A25 | 20% |

A primeira categoria mostrada é correta do ponto de vista científico, pois, como cita Moreira (1999, p.5), calor é a energia em trânsito entre um sistema e sua vizinhança, devido exclusivamente a uma diferença de temperatura entre os dois. As

respostas da categoria dois podem ser consideradas uma aproximação do conceito científico. Entender o calor como transferência de energia ou associá-lo à energia também foi a categoria com o maior percentual de respostas no estudo exploratório, ator amplamente detectado pelos pesquisadores (Erikson e Tiberghien, 1985; Erikson, 1979; Kesidou e Duit, 1993; Summers, 1983; Bacas, 1997; Ritchie, 2001; Hewson, 1984; Harrison, Grayson e Treagust, 1999). Como 30% dos estudantes entendem calor como a energia transferida em virtude de uma diferença de temperatura, e 40% relacionam calor com energia, parece que muitos estudantes começam a superar a ideia de que o calor é uma substância que está contida num corpo, que se constitui em uma forte concepção apresentada pelos estudantes em geral.

Como para o conceito calor, citamos, a seguir, os significados apresentados pelos estudantes para o conceito energia interna. Para mostrar as respostas que mais se aproximam da conceitualização aceita cientificamente, salientamos tais respostas colocando-as em negrito.

O que você entende por energia interna?

Respostas dos alunos para o conceito energia interna.

A1: É a energia que o gás tem em seu interior.

A2: Energia interna é o movimento dos átomos e moléculas de um corpo.

A3: É a energia que quanto maior for maior será o calor.

A4: Soma das energias do corpo.

A5: É a energia de um sistema que depende de uma temperatura T e, além disso, do volume V . É o conjunto das energias de movimento das partículas de um corpo.

A6: Aumenta quando recebe calor.

A8: Influencia na temperatura.

A9: Energia interna é a soma das energias cinéticas etc. que um corpo possui.

A10: A soma dos movimentos das moléculas.

A11: É a energia disponível para realizar trabalho.

A12: Soma das energias.

A13: É o movimento de átomos e moléculas.

A14: É o que está armazenado em um corpo e o seu potencial de realizar trabalho.

A15: Energia interna é a capacidade de transferir calor de um corpo.

A16: É a capacidade de um corpo de dar ou receber calor.

A17: Aumenta quando recebe calor.

A18: Energia que todo o corpo possui.

A19: É o total de energia de um corpo.

A20: A soma dos movimentos e energias de um corpo.

A21: Energia presente nos corpos.

A22: Energia que será transformada em trabalho.

A23: Energia presente no corpo que pode ser convertida em trabalho.

A24: Energia interna é a soma das energias cinética e energia potencial e as demais energias de um corpo.

A25: A soma dos movimentos das moléculas da substância.

A26: É o movimento das moléculas de um corpo.

A27: É a energia que um corpo possui sem contato com o meio ambiente.

A28: Medida da energia cinética translacional medida por molécula de uma substância.

A29: A medida da desordem dos átomos e moléculas de um corpo.

A31: É a energia que um corpo possui de acordo com a sua temperatura.

A32: Energia encontrada dentro de um corpo.

O aluno A24 tem 18 anos, faz as atividades em aula e questiona quando tem dúvidas e a sua resposta para a questão 1.3 é mostrada na Figura 21.

1.3) O que você entende por energia interna?
 Energia interna é a soma das energia cinética,
 energia potencial e as demais energias de um
 corpo.

Figura 21. Resposta do aluno A24 para a pergunta “O que você entende por energia interna”.

Os significados atribuídos pelos alunos ao conceito energia interna foram distribuídos em quatro categorias, relacionadas na tabela a seguir. Apenas a primeira apresenta significados adequados ou próximos dos significados compatíveis com o conceito científico. Somente 20% dos alunos se enquadram nesta categoria, o que mostra que, mesmo depois da metodologia didática, não conseguem, em geral, explicitar adequadamente o conceito energia interna. O aluno 24 explicita bem o conceito energia interna, pois, como diz Moreira (1999, p. 4), ao conjunto das energias de movimento e de interação das partículas de um corpo dá-se o nome de energia interna de um corpo. Como já foi dito, um conceito, para Vergnaud, não se restringe à sua explicitação. Por isso, os resultados não combinam com os

resultados obtidos através das avaliações, pois as mesmas abrangiam mais aspectos do significado de energia interna e não somente a explicitação.

Tabela 57. Significados do conceito energia interna

| Categoria | Significado | Exemplo | Percentual |
|-----------|--|---------|------------|
| 1 | Energia interna é a soma das energias cinética e energia potencial e as demais energias de um corpo. | A24 | 20% |
| 2 | A soma das energias dos movimentos das moléculas da substância. | A25 | 27% |
| 3 | É a energia que está relacionada ao calor. | A3 | 23% |
| 4 | Outras respostas e respostas relacionadas com a energia que está dentro do corpo. | A32 | 30% |

Como mostra a tabela, 80% não explicitam corretamente o conceito energia interna. Quando Vergnaud (1993, p. 6) comenta sobre os invariantes operatórios do tipo função proposicional e exemplifica, dando como exemplos os conceitos de cardinal, estado inicial e transformação, indispensáveis à conceitualização das estruturas aditivas, raramente são explicitados pelos alunos.

Na sequência, abordamos as respostas dos alunos sobre o conceito trabalho, e novamente as respostas em negrito correspondem às que mais se aproximam do conceito científico.

O que significa fisicamente trabalho para você?

Respostas dos alunos para o conceito trabalho.

A1: Trabalho é tudo aquilo que realiza movimento, energia interna, energia cinética.

A2: Trabalho significa a capacidade de transformar a energia interna em movimento mecânico.

A3: É a variação da energia interna.

A4: É a variação da energia interna.

A5: Trabalho é o processo de transferência de energia sem que haja diferenças de temperatura.

A6: Trabalho é uma transferência de energia.

A8: É a variação da energia interna.

A9: É a energia utilizada para realizar uma atividade.

A10: Transferência de calor para realizar trabalho.

A11: Trabalho, fisicamente, é o gasto de energia para realizar uma ação.

A12: É a quantidade de energia transferida de um corpo a outro, com uma diferença de temperatura.

A13: Trabalho é o calor passado de um corpo para outro, em virtude de uma diferença de temperatura.

A14: É algo realizado por um corpo que continha uma energia interna.

A15: Trabalho é a transferência de calor que um corpo exerce sobre o outro.

A16: É a transferência de calor.

A17: Transferência de energia entre corpos.

A 18: É a variação de energia interna.

A19: Depende de vários fatores.

A20: Transferência de temperatura entre corpos gera trabalho.

A21: É a variação da energia interna.

A22: O trabalho é realizado de uma ação de uma força de um móvel, sendo igual à energia interna.

A23: Força que pode ser exercida por ou sobre algum corpo ou gás.

A24: Trabalho é o processo no qual o corpo ou sistema utiliza energia, calor, para expansão ou compressão.

A25: Uma força originada para transferência de calor de fontes de diferentes temperaturas.

A26: É a quantidade de energia necessária para transformar uma energia.

A27: Trabalho é a energia cinética que um corpo produz.

A28: Quantidade de energia transferida de um corpo ao outro devido a uma diferença de temperatura.

A29: Troca de calor entre dois corpos.

A31: É a variação da energia interna de um corpo.

A32: É a força exercida sobre ou por um corpo.

Os significados dos estudantes para o conceito trabalho foram distribuídos em quatro categorias e concordam ou se aproximam na categoria um. Como já foi comentado, os resultados não concordam com aqueles apresentados nas avaliações, uma vez que, aqui, só averiguamos a explicitação do conceito e, nas avaliações, foram objetos de análise os invariantes operatórios, as representações simbólicas e aplicação de tal conceito em situações como mostra a 0.

A Figura 22 mostra a resposta do aluno A5 que tem 17 anos é bastante organizado e faz as atividades em aula.

1.4) O que significa fisicamente trabalho para você?

Trabalho é o processo de transferência de energia sem que haja diferenças de temperatura.

Figura 22. Resposta do aluno A5 para a pergunta “O que significa fisicamente trabalho para você?”

Segundo explica Vergnaud (1993, p. 1), um conceito não pode ser reduzido à sua definição, principalmente se nos interessamos por sua aprendizagem e seu ensino. É através das situações e dos problemas a resolver que um conceito adquire sentido.

Tabela 58. Significados do conceito trabalho

| Categoria | Significado | Exemplo | Percentual |
|------------------|---|----------------|-------------------|
| 1 | Respostas como: Trabalho é o processo de transferência de energia sem que haja diferenças de temperatura. | A5 | 1% |
| 2 | Respostas relacionadas à energia e à variação de energia. | A31 | 40% |
| 3 | Respostas envolvendo calor. | A17 | 17% |
| 4 | Outras respostas. | A32 | 42% |

Os alunos apresentam o pior desempenho no significado trabalho (1%), como mostra a categoria um. A categoria dois mostra que 40% dos alunos relacionam o trabalho com a energia, embora não comentem que trabalho é a energia transferida quando não há diferença de temperatura. Para Moreira (1999, p.6), o conceito de trabalho é usado para exprimir processos de transferência de energia que não sejam devidos a diferenças de temperatura.

Fazemos a análise da explicitação do conceito entropia, último dos conceitos a ser apresentado e analisado na metodologia didática. As repostas mais coerentes com o significado científico são evidenciadas em negrito.

O que você entende por entropia?

Respostas dos alunos para o conceito entropia.

A1: Na primeira lei da termodinâmica tem energia interna, na segunda lei tem entropia.

A2: Entendo que venha a ser a indisponibilidade de energia para realizar trabalho.

A3: Movimento desordenado das moléculas.

A4: A dificuldade de disponibilizar energia para trabalho.

A5: É a medida de energia que não pode ser transformada em trabalho.

A6: É a medida da indisponibilidade de entropia.

A8: Movimento desordenado das moléculas.

A9: É algo que sempre aumenta.

A10: A razão entre quantidade de calor e temperatura de um corpo.

A11: É a disponibilidade de energia para realizar trabalho.

A12: É a dificuldade de liberação de calor, para a produção de trabalho.

A13: Não respondeu.

A14: Representa a energia interna da segunda lei da Termodinâmica.

A15: Entropia é a desordem dos átomos de um corpo.

A16: É a desordem dos átomos e moléculas.

A17: Medida de indisponibilidade de energia.

A18: Movimento desordenado de elétrons.

A19: Quantidade de calor que não é transformada em trabalho.

A20: Disponibilidade de energia para realizar trabalho.

A21: Não respondeu.

A22: É um processo que quando aumenta no universo, diminui a probabilidade de energia para realização de trabalho.

A23: Energia interna universal.

A24: Entropia é a desordem das moléculas de um corpo ou sistema.

A25: Razão entre quantidade de calor e temperatura do corpo.

A26: É a desordem molecular dos corpos.

A27: Não respondeu.

A28: Quanto maior a entropia menor a quantidade de energia para realizar trabalho.

A29: Quantidade de calor que não é transformada em trabalho.

A31: É a quantidade de energia disponível para a realização de trabalho.

A32: Após haver transformação, o estado é irreversível.

O aluno A22 tem 17 anos, realiza as atividades em aula, mas como gosta de atividades extra classe e falta as aulas para participar de atividades desenvolvidas por exemplo, pelo Grêmio Estudantil. A Figura 23 mostra a resposta do aluno A22 para a questão 1.5.

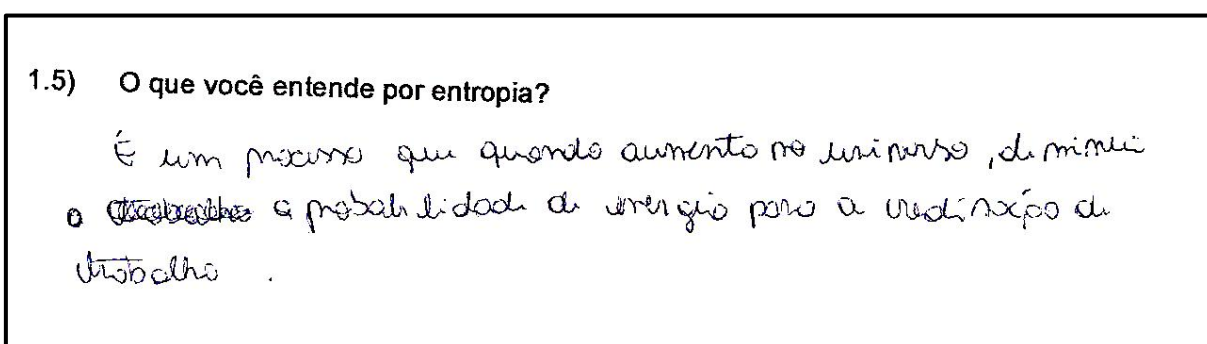


Figura 23. Resposta do aluno A22 para a pergunta “O que você entende por entropia?”

A tabela a seguir apresenta as quatro categorias definidas a partir das respostas dos estudantes para o conceito de entropia. Cabe esclarecer que, nesta análise, quando se fala em conceito, este está restrito a uma definição verbal, por isso não pode ser comparada com outras análises feitas nesta tese, como as

apresentadas nas avaliações dos alunos que procuraram abranger os três componentes do conceito segundo considera Vergnaud (1993, p. 8). Um abrange uma trinca de conjuntos: conjunto das situações, conjunto das invariantes e conjunto das formas de linguagem (ou não) que permitem representar simbolicamente o conceito.

Tabela 59. Significados do conceito entropia

| Categoria | Significado | Exemplo | Percentual |
|------------------|---|----------------|-------------------|
| 1 | Respostas como: É um processo que quando aumenta no universo, diminui a probabilidade de energia para realização de trabalho. | A22 | 33% |
| 2 | Respostas como movimento desordenado das moléculas. | A8 | 23% |
| 3 | Respostas envolvendo energia. | A1 | 13% |
| 4 | Outras respostas e questões sem respostas.. | A19 | 69% |

Embora entropia seja um conceito inicialmente desconhecido para os alunos, foi o que apresentou o melhor significado por eles. Isto pode ser explicado pelo fato de os alunos não terem concepções a respeito do conceito entropia e, assim, não apresentarem obstáculos epistemológicos como nos demais conceitos. As respostas da categoria um estão em acordo com o significado científico, pois, Moreira (1999, p. 10) diz que:

...quando a entropia aumenta passa-se a ter menos energia disponível para a conversão em trabalho. Logo, a entropia pode ser interpretada também como uma medida da indisponibilidade de energia. A uma diminuição da energia disponível corresponde um aumento da entropia.

As respostas da categoria dois também estão relacionadas ao significado científico, uma vez que a entropia está relacionada à ordem e à desordem, quando definidas em termos de probabilidade de ocorrência.

Por fim, cabe enfatizar que os baixos resultados encontrados para a definição de cada conceito são justificados por Vergnaud (2004, p. 31) quando diz que, para formar os conceitos, leva bastante tempo. Assim, não é no primeiro contato com os conceitos que os alunos vão dominá-los; é necessário tratar e analisar um grande número de situações.

8.3 Avaliação da estratégia didática pelos alunos

Ao finalizar a aplicação da estratégia didática, os alunos responderam um questionário que visava apontar a opinião deles sobre tal metodologia. Os objetivos das questões colocadas no questionário estão descritos na Tabela 60.

Tabela 60. Objetivos e questões sobre a avaliação da metodologia

| Questões | Objetivo |
|--|---|
| 1) Comentem a estratégia didática utilizada no primeiro, segundo e terceiro trimestres. | Avaliar a metodologia didática desenhada para o segundo e terceiro trimestres, comparados com o primeiro, em que foi utilizada a metodologia tradicional. |
| 2) O que vocês acharam de começar um conteúdo discutindo situações-problema sobre o assunto? | Analisar a opinião dos alunos sobre a introdução dos conteúdos utilizando situações. |
| 3) Comente a maneira como vocês trabalharam em dupla. Como foi a participação de cada um? A dupla solicitou a ajuda da professora? | Avaliar a opinião dos alunos em relação aos trabalhos em dupla. |
| 4) A discussão de situações-problema, em dupla de alunos, ajuda a compreender melhor os conceitos? Expliquem. | Verificar se os alunos acreditam que a troca de ideias com os colegas lhes permite compreender melhor os conceitos. |
| 5) A professora ajudou a elucidar algumas questões enquanto vocês trabalhavam em dupla? Expliquem. | Analisar a mediação da professora durante a realização das tarefas. |

O questionário foi respondido por duplas de alunos e, através da tabela 7.2, mostramos uma síntese das opiniões das duplas de alunos. As duplas estão indicadas por aluno 1 (A1), aluno2 (A2), etc.

1) Comentem a estratégia didática utilizada no primeiro, segundo e terceiro trimestres (no segundo e terceiro trimestres foi usada a metodologia proposta).

Opinião dos alunos quanto à estratégia didática:

A1-A14-A31: Aula boa e explicativa.

A3-A25: Gostamos, pois entendemos bem o conteúdo, conseguindo bons resultados.

A5-A2-A27: A estratégia usada no segundo e terceiro trimestres é melhor, pois as situações dadas como introdução do conteúdo fazem com que coloquemos em prática o conteúdo ainda não visto. As atividades do primeiro trimestre são mais cansativas em relação às dos outros trimestres.

A28-A30: No 1º trimestre, é a mesma de sempre, o que nos desinteressa um pouco. Já no 2º e 3º trimestres as situações-problema despertam a curiosidade e junto o interesse, facilitando o estudo.

A23-A26: É interessante essa maneira de apresentar um novo conteúdo, pois assim somos obrigados a tentar compreender o conteúdo, que, muitas vezes, é de nosso conhecimento prático e, a partir daí, receber o conteúdo teórico.

A13-A22: Tendo em vista ambos os trimestres, temos para nós que no 2º e 3º a didática foi mais aproveitada, pois neles o recurso situação-problema nos ajudou a entender melhor o conteúdo, e percebemos mais claramente a ligação que as questões têm com nosso dia-a-dia.

A18-A20: É uma maneira muito inteligente de avaliar quais são as concepções de cada aluno antes de “lançar” a matéria que será ensinada.

A10-A21: Foi bom, e os trabalhos ajudaram bastante.

A8-A29: Achamos que essa estratégia foi muito bem aplicada, a professora teve uma iniciativa muito importante de instigar o raciocínio dos alunos antes de introduzir a matéria. Isso valorizou as aulas e ampliou nossas atenções no conteúdo.

A6-A17: Foi muito boa, pois entendemos bem a matéria e tiramos notas boas.

A11-A24: No primeiro trimestre, a estratégia didática era o aprendizado através de material explicativo referente ao conteúdo estudado, aulas práticas no laboratório e aulas diferenciadas com lâminas e simulações no Laboratório de Informática. Nos segundo e terceiro trimestres, a estratégia didática foi revista, e o novo método se mostrou muito mais eficaz pelo fato de que o assunto que será abordado nos é demonstrado em situações do cotidiano, o que o torna mais esclarecedor.

A19-32: A única coisa que não gostamos muito no método são os mapas conceituais; em nosso modo de ver, é difícil compreendê-los. Mas exercícios são bons para fixação do assunto, e as atividades de laboratório tornam a aula menos cansativa e mostram melhor onde utilizarmos o conteúdo aprendido.

A2-A27: A estratégia didática a partir do segundo trimestre foi melhor do que a do primeiro trimestre, pois envolve nosso cotidiano com o assunto.

Observamos que a atitude dos alunos se mostrou bastante positiva em relação à metodologia didática utilizada, embora algumas duplas tenham sido bastante objetivas e não argumentaram sobre o seu posicionamento. A maioria das duplas argumenta que a utilização de situações-problema na introdução do conteúdo permite a eles fazerem relação como os conhecimentos do cotidiano. A dupla A18-A20 percebe que se pode avaliar as concepções dos alunos antes da introdução dos novos conceitos.

2) O que vocês acharam de começar um conteúdo discutindo situações-problema sobre o assunto?

Posicionamento dos alunos sobre a introdução de conceitos através de situações:

A1-A14-A31: Muito bom, assim podemos ter uma introdução ao assunto posto.

A3-A25: Bom, pois nos ajudou a relacionar melhor os assuntos da aula com o cotidiano.

A5-A2-A27: Achamos melhor discutir situações, pois a partir delas percebemos nossas dificuldades e esclarecemos as dúvidas, mesmo antes de ver o conteúdo.

A28-A30: Muito bom, pois elas trazem curiosidade e situações diárias com as quais é muito mais fácil o aprendizado.

A23-A26: Uma boa maneira de se pensar na matéria a nos ser apresentada.

A13-A22: Ótimo. Pois, dessa maneira, nos colocamos na situação apresentada, de forma nunca vista antes.

A18-A20: Como dito antes, é uma maneira inteligente de introduzir o conteúdo que será ensinado.

A10-A21: Foi bom, ajudou a compreender a matéria.

A8-A29: Achamos muito bom, pois desperta o raciocínio do aluno em cima daquela matéria, e também a curiosidade em relação à mesma.

A6-A17: Muito bom, porque, quando discutimos com o resto da turma e com a professora sobre a matéria, facilita o entendimento.

A11-A24: Por serem situações do dia-a-dia, estas favorecem o entendimento e dão uma certa liberdade para dúvidas, que são esclarecidas, depois, nos textos explicativos e eventuais experiências.

A19-32: Achamos uma boa ideia, pois desperta interesse sobre a matéria ainda não conhecida.

A2-A27: Ótimo.

A metodologia apresentada tem como diferencial a discussão de situações na introdução de novos conceitos; envolve também, como já foi explicado, estudo de textos, apresentação do conteúdo em multimídia, experiências de laboratório, resolução de problemas e a construção de mapas conceituais.

Ao serem questionados, na questão um, sobre a metodologia dos três trimestres, os alunos demonstram uma atitude positiva em relação ao segundo e ao terceiro trimestre, que usavam a nova metodologia comparados com o primeiro trimestre, em que foi utilizada a metodologia tradicional.

Ao responderem sobre a introdução de conceitos através de situações, todas as duplas demonstram uma atitude favorável, argumentando que as situações relacionam o conteúdo com o cotidiano, induzem a curiosidade e interesse, despertam o raciocínio, proporcionam a percepção pelo próprio aluno de suas dificuldades, e a discussão com os colegas e professor permite a melhor compreensão dos conceitos a serem estudados.

Assim, verificamos que os alunos aceitam bem a proposta metodológica apresentada nesta tese.

3) Comente a maneira como vocês trabalharam em dupla. Como foi a participação de cada um? A dupla solicitou a ajuda da professora?

Posicionamento sobre a participação dos alunos no trabalho em dupla:

- A1-A14-A31: Trabalhamos um dando ideia ao outro. Cada um ajuda no que sabe. Sim, muitas vezes.
- A3-A25: Trabalhamos igualmente, discutindo o assunto, solicitando a ajuda da professora quando necessário.
- A2-A27: Quando trabalhamos em dupla é sempre bem proveitoso, pois tiramos dúvidas uma com a outra e, quando é preciso, pedimos auxílio à professora.
- A28-A30: Cada um dava sua opinião, e chegamos a um ponto comum. Quando necessário, solicitamos a ajuda da professora.
- A23-A26: Respondíamos o que realmente sabíamos sobre o assunto em estudo, e solicitávamos a ajuda da professora quando não compreendíamos o que realmente deveria ser feito.
- A13-A22: Normalmente discutimos o problema e, se há algum impasse entre as opiniões, solicitamos a ajuda da professora.
- A18-A20: A participação de cada um foi que ambos discutimos até chegarmos a um consenso sobre qual seria a resposta mais adequada aos problemas. Por raras vezes, pedimos ajuda à professora, pois é um conteúdo que ela não ensinou, e está nos perguntando o que sabemos.
- A10-A21: Os dois trabalharam, e a dupla solicitou a ajuda da professora.
- A8-A29: Trabalhamos trocando nossos conhecimentos, no caso de discordância havia uma discussão para chegar a uma solução que fosse de consenso da dupla. Chegamos a solicitar ajuda a professora.
- A6-A17: Discutíamos cada situação, e solicitamos a ajuda da professora quando tínhamos dúvidas.
- A11-A24: Os trabalhos em dupla são muito úteis, pois podemos perceber uma opinião diferente sobre o assunto e, assim, formular uma resposta, baseada nas opiniões da dupla, que será, depois, escrita e entregue.
- A19-32: Professora, eu e o Isaías não éramos da mesma dupla na aula em que resolvemos as situações, mas em ambos os casos discutimos com o colega da dupla e resolvemos as questões pela lógica, por dedução, algumas vezes solicitando ajuda da professora.
- A2-A27: O trabalho em dupla foi bom, pois cada uma fazia a sua parte, e a professora era interrogada quando havia dúvida.

As duplas se posicionam argumentando que trocam ideias com o colega até chegarem a um consenso e, quando isto não ocorre ou há dificuldades, solicitam a intervenção do professor. As duplas A2-A27 e A11-A24 dizem que é proveitoso ou útil trabalhar em dupla, pois tiram dúvidas com os colegas e formulam suas respostas baseadas na opinião da dupla. Como podemos ver, os alunos percebem a importância do trabalho em dupla, pois aquelas que se posicionaram a este respeito dizem que esse tipo de trabalho é importante.

A importância do trabalho coletivo está naquilo que Vygotsky chama de desenvolvimento proximal, definido como aquilo que a criança sabe fazer com a

ajuda de alguém e não sabe fazer sozinha (apud Vergnaud, 2004, p.30). Em complemento, Vigostky (apud Vergnaud, 2004, p. 31) diz :

Cada função psíquica superior aparece duas vezes ao longo do desenvolvimento da criança: primeiramente como atividade coletiva, social e, portanto, como função intersíquica; depois, a segunda como atividade individual, como propriedade interior do pensamento da criança, como função intrapsíquica.

Por isso, defendemos a realização de atividades coletivas, pois acreditamos, assim como Vigotsky e Vergnaud, que os alunos podem aprender com os colegas e, assim, optamos por introduzir os novos conceitos com atividades realizadas em dupla. A mediação entre os alunos e também a do professor são importantes para a aprendizagem, pois permitem ao aluno fazer atividades que não teria condições de fazer sozinho, como explica Vigotsky através da zona de desenvolvimento proximal.

4) A discussão de situações-problema, em dupla de alunos, ajuda a compreender melhor os conceitos? Expliquem.

Posicionamento dos alunos sobre o trabalho realizado em dupla:

A1-A14-A31: Sim, porque em dupla podemos discutir sobre determinado assunto.

A3-A25: Sim, pois um ajuda o outro nas distintas dificuldades.

A2-A27: Sim, pois pensamos diferente, assim sempre chegamos a um “conceito” básico das coisas.

A28-A30: Sim, pois às vezes um não vê certos detalhes que o outro percebe, o que auxilia no entendimento.

A23-A26: Sim, pois em algumas situações, em que se tem o conhecimento de que existe o conteúdo, mas falta saber explicar o mesmo, discutindo em dupla fica mais fácil de definir a explicação para o problema.

A13-A22: Sim, pois na maioria das vezes há mais de uma opinião, assim gerando diversas formas de compreender o assunto.

A18-A20: Ajuda, pois discutimos até chegarmos a um consenso e, por fim, adotamos uma ideia que é o significado de cada conceito.

A10-A21: Sim, pois discutindo fica mais fácil compreender.

A8-A29: Sim, pois ajuda a ter uma ideia sobre aquela matéria antes mesmo da professora explicá-la. Então, quando começa, já temos uma breve noção.

A6-A17: Sim, porque facilita mais o entendimento quando a matéria é introduzida através de duplas.

A11-A24: Sim, pois podemos absorver uma outra opinião de um colega que se encontra na mesma situação de aluno, para assim poder formular um pensamento lógico baseado na opinião dos dois.

A19-32: Achamos que não muito, somente depois da correção.

A2-A27: Sim, pois há maior interesse sobre o assunto exposto.

A maioria das duplas manifesta a importância da discussão para a aprendizagem e, como consequência, a importância do trabalho em dupla. Como foi comentado na questão três, também Vergnaud e Vigotsky consideram importante a socialização no momento da aprendizagem, pois existem algumas coisas que o estudante só aprende com a ajuda de alguém.

A importância do trabalho coletivo é evidenciado por Plaisance e Vergnaud (2001, p. 70), quando comentam:

Vem-se desenvolvendo, há muito tempo, uma corrente de pesquisas, em Pedagogia e Psicologia, sobre o trabalho em grupo e sobre os efeitos da aprendizagem produzidos pela colaboração ou pelo desacordo entre pares. A psicologia desenvolveu principalmente toda uma série de pesquisas sobre o conflito sociocognitivo, isto é, sobre o desacordo entre pares, a respeito da solução de um problema ou de um julgamento de conveniência ou de verdade. [...] durante dez anos, um grande número de pesquisas experimentais, tendem a mostrar, sobretudo, que o conflito sociocognitivo, para ser fecundo, deve intervir entre sujeitos que têm competências desiguais, mas não em demasia. As observações feitas em classe mostram que, de qualquer maneira, é excepcional poder constituir díades ou grupos de alunos do mesmo nível, no campo em que se vai investir. Mostram também que, se aparecerem conflitos, eles são em geral superados bem depressa, a maioria das vezes por alinhamento com as posições daquele que propõe as melhores ações e respostas. As observações mostram ainda que a cooperação entre alunos é tão espontânea e tão fecunda quanto a competição, contanto que o professor se certifique, porém, de que nenhuma criança perca a possibilidade e a competência de fazer valer seu ponto de vista.

Além de acreditarmos que a mediação entre alunos e professor é fundamental para a aprendizagem, esta tese também é defendida por pesquisadores como Vergnaud e Vigotsky, e a manifestação dos estudantes sustenta o trabalho em grupo como um fator importante na aprendizagem.

5) A professora ajudou a elucidar algumas questões enquanto vocês trabalhavam em dupla? Expliquem.

Posicionamento dos alunos quanto à mediação da professora:

A1-A14-A31: Sim. Ensinando, falando sobre o assunto.

- A3-A25: Sim, dando-nos dicas para compreendermos melhor as questões, completando o nosso raciocínio.
- A2-A27: Sim, a professora explicou como ocorria aquele determinado assunto, então apenas construímos a resposta baseando-nos na explicação dada por ela.
- A28-A30: Sim, a professora foi fundamental para quando, nas ocasiões onde não nos entendíamos, ela nos mostrava um caminho de raciocínio correto para o entendimento.
- A23-A26: Sim, havia situações em que as perguntas, por serem de um conteúdo ainda não estudado, não ficavam bem claras, e a professora auxiliava dando a direção certa para a resposta.
- A13-A22: Sim, pois nos ajudava com outros exemplos, utilizando a mesma questão, assim abrangendo nosso conhecimento.
- A18-A20: Ajudou, ela esclareceu algumas dúvidas em diversas ocasiões.
- A10-A21: Sim, sempre quando tínhamos dúvidas.
- A8-A29: Sim, em algumas questões necessitamos esclarecimento sobre o assunto.
- A6-A17: Sim, pois, sempre que perguntávamos, ela nos explicava cada conceito, ajudando-nos a raciocinar. Fazendo perguntas e discutindo conosco.
- A11-A24: A professora ajudou, sempre que necessário, a esclarecer os problemas, bem como explicar também, quando a dupla tinha alguma dúvida ou não chegava a um consenso em relação às respostas de cada um.
- A19-32: Sim, quando solicitada, a professora discutia o assunto conosco, assim, tirando as dúvidas. No final da resolução das situações, a professora fazia uma discussão no grande grupo, isto melhorava ainda mais a nossa compreensão do assunto.
- A2-A27: Sim, quando surgiam dúvidas, a professora esclarecia para nosso entendimento.

Os estudantes afirmam que a intervenção do professor foi fundamental no esclarecimento de dúvidas, ao que Plaisance e Vergnaud (2003, p. 68-69) discutem o papel do mediador:

O mediador dá ao estagiário, como a mãe ao seu bebê, um suporte ativo para o desempenho, na situação a tratar; na tarefa a desempenhar, no problema a resolver; dá a sua ajuda na escolha da informação, na evocação dos conhecimentos adequados, no controle. Seu papel é também desenvolver a confiança ao sujeito que perdeu toda confiança em si mesmo, e dar-lhe a possibilidade de iniciar, assim, um processo de restauração narcísica.

O professor não dá para o aluno somente um suporte cognitivo, mas também psicológico, por isso é tão importante a mediação dos estudantes pelo professor, como afirmam os pesquisadores.

Neste capítulo apresentamos os resultados obtidos após a aplicação da metodologia de ensino. Assim, mostramos os resultados do pré e pós-teste, os significados atribuídos aos conceitos, temperatura, calor, energia interna, trabalho e entropia. E para finalizar foi mostrada a opinião dos estudantes a respeito da

metodologia de ensino. Embora os resultados na aprendizagem de conceitos não tenha sido o desejado, acreditamos na metodologia proposta que introduz os conceitos através de situações. Os alunos também mostram uma atitude positiva em relação à metodologia.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Teoria dos Campos Conceituais tem se mostrado um forte referencial teórico para apoiar o ensino em sala de aula, pois explica que os conceitos não podem ser apreendidos isoladamente e que só adquirem significado quando utilizados em situações. Além disso, os conceitos adquirem sentido para o aluno quando relacionados a outros conceitos e aplicados em um grande número de situações. Portanto, os conceitos desenvolvem-se nos alunos através da experiência. Os estudantes, ao enfrentarem uma nova situação, buscam conhecimentos anteriores e tentam adaptá-los à nova situação. Os invariantes operatórios dos alunos tanto podem ser explícitos, no sentido de que podem ser expressos através de representações, ou implícitos, no sentido de que podem ser utilizados na ação; neste caso, os estudantes escolhem as operações adequadas sem conseguirem expressar as razões desta utilização (Vergnaud, apud Magina et al., 2008, p. 5). Quando o professor compreende que um conceito não pode ser entendido somente através de uma definição ou uma representação verbal e sim através das situações e relacionados a outros conceitos, ele tem então melhores condições de organizar a sua atuação didática, e é por isso que a TCC é tão importante para o contexto da sala de aula.

Por isso, nesta tese, desenhamos uma metodologia didática com o objetivo de introduzir os conceitos através de situações e escolhemos mais do que um conceito para fazer parte do que denominamos de CCT, embora não sejam somente estes conceitos que fazem parte de tal campo conceitual. O primeiro conceito introduzido através de situações, temperatura, permeia todo o restante do estudo da Termodinâmica, pois ele vai adquirindo significado à medida que vai sendo utilizado em outros conceitos. Por exemplo, ele aparece no conceito calor, que é um mecanismo de transferência de energia em virtude de uma diferença de temperatura; aparece novamente no conceito de energia interna, quando, para os gases ideais, a variação da energia interna está relacionada a uma variação de temperatura. No último conceito introduzido através de situações, entropia, novamente aparece o conceito temperatura. Assim, o conceito temperatura vai

adquirindo significado para os alunos à proporção que for sendo utilizado ou relacionado a outros conceitos e aplicado em diversas situações.

Um dos objetivos da tese era diagnosticar dificuldades no CCT. Como resultados no conceito temperatura constatamos que os estudantes não relacionam o movimento de átomos e moléculas com a temperatura o que nos faz concluir que os alunos não dominam os fenômenos microscópicos relacionados a temperatura. Não representam adequadamente a temperatura do zero absoluto e acreditam que átomos ou moléculas se dilatam com o aumento de temperatura, o que vem confirmar a hipótese das dificuldades com os fenômenos microscópicos, pois desconsideram o fato dos átomos ou moléculas se distanciarem na dilatação. Os estudantes consideram o calor como uma substância ou como sinônimo de energia, como já foi detectado por outros autores (Erickson, 1979; Erickson, 1980; Tiberghien, 1983; Brook, 1984; Garcia Hourcade e Rodriguez De Ávila, 1985; Macedo e Soussan, 1986). Também confundem o conceito de calor específico e capacidade térmica com o coeficiente de condutividade térmica. Entendem o significado de equilíbrio térmico, mas tem dificuldade em resolver situações envolvendo o equilíbrio térmico e o balanço energético. No estudo inicial, foi diagnosticado através da resolução das situações que a maioria dos estudantes não apresentava significado para o conceito energia interna, pois não atribuíram à energia interna as razões de um corpo de maior massa (mas mesma temperatura) ou de maior temperatura (mas de mesma massa) variar mais a temperatura da água. Apresentam também dificuldade ao diferenciar o conceito energia interna nos gases ideais, pois a variação da energia interna depende somente da temperatura e numa mudança de estado, a mesma massa de substância no estado sólido e líquido apresenta energias internas diferentes, ainda que as temperaturas sejam iguais. Não admitem também o recebimento de energia através de calor, numa transformação isotérmica e a não variação de temperatura. Para o estudante, se o sistema recebe energia deve variar sua temperatura. No conceito trabalho, a dificuldade dos estudantes está na crença de que um corpo possui trabalho ou calor. Muitos estudantes não acreditam que a temperatura de um sistema possa aumentar sem o recebimento de calor, da mesma forma que não acreditam que a temperatura de um sistema possa se manter constante ao receber calor. As transformações que se mostram difíceis para os estudantes são as isotérmicas e as adiabáticas. O conceito

entropia era completamente novo para os estudantes e muitos deles não admitiam processos irreversíveis na natureza, no que se refere a transformação de energia interna em trabalho. Também pareceu estranho para os estudantes o fato de a energia sempre ser conservada e, no entanto, não estar disponível para a realização de trabalho.

Nesta tese, respondemos ao problema que aborda as dificuldades apresentadas pelos alunos no CCT, mas acreditamos ser importante entre estas dificuldades abordar o que poderíamos chamar de um poderoso indicador de invariante operatório, uma vez que apareceu ao longo dos estudos exploratório e experimental. Os alunos não acreditam que um corpo possa variar sua temperatura mesmo sem estar em contato com um corpo de maior temperatura ou através de uma fonte de calor; ou seja, como diz Vergnaud (2005, p. 90), há coisas que são evidentes para o professor, mas não para o aluno. Não é evidente para o aluno que um corpo possa aumentar sua temperatura sem receber calor. Vergnaud questiona (op. cit., p. 89) como se adquire este sentimento de evidência e responde que é através da atividade e de situações que a evidência muda de campo. Por isso, introduzimos os conceitos através de situações. Também não é evidente para os alunos que um corpo possa manter sua temperatura constante, mesmo recebendo calor. Poderíamos citar mais do que um exemplo abordado nesta tese e que indica esta crença dos alunos. Muitos alunos não acreditam que, na mudança de fase, a temperatura permaneça constante, já que a substância está recebendo calor. Também não acreditam que um gás possa receber calor numa transformação isotérmica, já que a temperatura permanece constante. O fato de variar a temperatura em transformações adiabáticas e o sistema não receber calor se apresenta contra-intuitivo para os alunos. Como cita Grings et al. (2006, p. 470), detectar um invariante operatório não é trivial, por isso preferimos aqui também denominá-lo de possível indicador de invariante operatório, que poderia ser enunciado como: “um corpo só aumenta sua temperatura se recebe calor, ou não é possível manter a temperatura de um corpo constante se ele receber calor”.

Um dos problemas desta tese era propor uma estratégia didática que introduzisse os cinco conceitos da Termodinâmica através de situações, superando o modo tradicional de introduzir o conceito através da utilização de exposição e

corroborando com o que diz Moreira (2004, p. 11), “as situações são a porta de entrada de um campo conceitual”. As situações criadas ou escolhidas em bibliografia permitiram que os alunos tivessem um primeiro contato formal com os conceitos. Isto foi possível, pois as situações eram simples, de modo a possibilitar que os estudantes respondessem às situações propostas. Os alunos mostraram uma atitude muito satisfatória em relação à metodologia utilizada, pois, como diz a dupla A23-A26: “é interessante essa maneira de apresentar um novo conteúdo, pois assim somos obrigados a tentar compreendê-lo e, muitas vezes, ele é de nosso conhecimento prático e, a partir daí, receber o conteúdo teórico”. A metodologia proposta está apoiada em referenciais teóricos importantes, principalmente na Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud. Os estudantes concordam com a proposta metodológica utilizada, e os resultados das avaliações nos permitem dizer que as dificuldades não foram completamente sanadas, mas foram minimizadas, conforme mostram os gráficos apresentados nos cinco estudos experimentais. Portanto, podemos afirmar que a metodologia de ensino utilizada, embora ainda deixe a desejar, conseguiu resultados importantes, tais como a possibilidade de diagnosticar conhecimentos prévios, a viabilidade de troca de conhecimentos entre os estudantes e a mediação do professor, a vantagem de estudar um conjunto de conceitos de um Campo Conceitual e a possibilidade de estudar um conceito envolvendo toda a sua dimensão, abrangendo os invariantes operatórios, representações e situações, mas principalmente possibilita a compreensão de que um conceito não é só o seu significado verbal.

Em cada um dos cinco estudos experimentais, foi feita uma análise das discussões realizadas durante a solução das situações que introduziam os conceitos. Através do discurso dos estudantes, houve evidência de que utilizam os componentes de um esquema: inferências (INF), invariantes operatórios (IOP), antecipações (ANT), regras de ação (REA). Índícios de filiações (FIL) e rupturas (RUP) foram encontrados nas discussões. Esquemas (EPR) e esquemas em construção (ECO) também foram utilizados. Assim, podemos dizer que durante a construção dos conceitos temperatura, calor, energia interna, trabalho e entropia existe evidência da utilização dos componentes de um esquema, esquemas, esquemas em construção e rupturas. Por outro lado, nas avaliações realizadas, os estudantes utilizam representações simbólicas, nem sempre adequadamente, e resolvem problemas

relacionados aos conceitos estudados, também nem sempre com sucesso. No entanto, poderíamos dizer que um primeiro passo na construção dos conceitos foi dado, pois essa real e completa construção leva muito tempo. Assim, podemos concluir que na conceitualização os estudantes evidenciam utilizar os componentes de um esquema, esquemas em construção ou modelos mentais, esquemas e também filiações e rupturas. É assim, então que os estudantes vão construindo e reconstruindo os conceitos. Como pode ser observado nos cinco estudos experimentais há evidências de que os estudantes utilizam invariantes operatórios, representação simbólica ou verbal e resolvem situações problemas relacionadas aos conceitos estudados. Acreditamos que a contribuição mais importante desta tese, apoiada a Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud é a compreensão de que o estudo de um conceito não constitui somente o seu significado verbal, mas a sua representação simbólica ou gráfica e aplicação de tal conceito em situações. Por exemplo, o conceito calor não é somente conceituado dizendo que calor é a transferência de energia em virtude de uma diferença de temperatura, mas é preciso representar o calor transferido através, por exemplo, de um gráfico de temperatura em função do calor transferido. É necessário também que o estudante aplique o conceito calor em uma situação-problema. Assim, o estudante deve dar conta destes três aspectos de um conceito. Por isso, as avaliações foram subdivididas nestas três categorias para verificar se os estudantes davam conta destes três aspectos. Verificou-se através dos estudos experimentais apresentados nos gráficos que os estudantes avançaram nestes aspectos.

Diante dos resultados desta tese gostaríamos de dar duas sugestões, no sentido de melhorar a metodologia proposta e sua reaplicação uma vez que entendemos que a metodologia obteve bons resultados amplamente divulgados no decorrer da tese, por outro lado estes resultados poderiam ser melhorados.

A defesa de uma tese em ensino sempre se propõe a deixar um legado para a educação. Considerando que a introdução de conceitos através de situações permitiu a mediação entre professor e alunos e entre estudantes. Possibilitou ainda o estudo de um conceito como um todo (envolvendo invariantes operatórios, representações e situações), o estudo de um campo conceitual e a identificação de conhecimentos prévios propomos ampliar a aplicação desta metodologia:

- utilizando situações para introduzir conceitos de outro campo conceitual, inclusive de outras disciplinas.

Como os resultados obtidos e mostrados através dos gráficos dos estudos experimentais, permite inferir que poderiam atingir melhores índices principalmente no que tange a resolução de situações propomos:

- melhorar a metodologia utilizada, ampliando o conjunto de situações para que possam ser aplicados por um tempo maior.

Para finalizar o trabalho apresenta-se um "V" de Gowin para esta pesquisa.

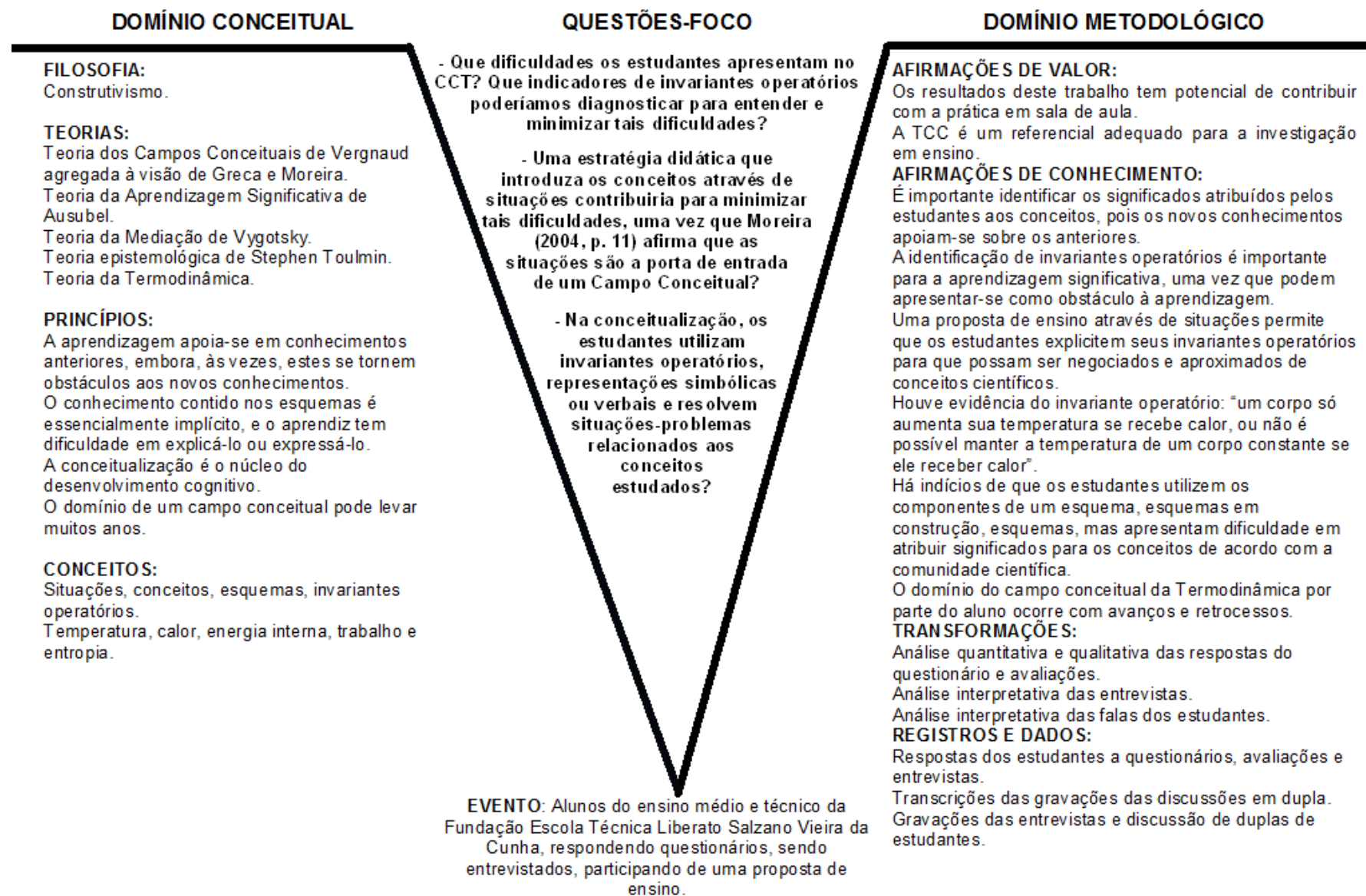


Figura 24. Vê epistemológico sobre a Tese.

REFERÊNCIAS

- Abreu, R. Guerra, V. (2012). Introducing thermodynamics through energy and entropy. *American Journal of Physics*, 80 (7), p. 627-637.
- Aguiar, JR, O. (2004). Um modelo piagetiano de ensino como ferramenta para o planejamento do ensino e a avaliação da aprendizagem, *Ensaio*, 6 (2), p. 81-106.
- Aguiar, JR, O. G. Mortimer, E. F. (2005). Tomada de consciência de conflitos: análise da atividade discursiva em uma aula de ciências. *Investigações em Ensino de Ciências*, 10 (2), p. 179-207.
- Albert, E. (1978). Development of the concept of heat in children. *Science Educacion*, 62, p. 389-399.
- Alomá, E. Malaver, M. (2007). Análisis de los conceptos de energía, calor, trabajo y el teorema de Carnot en textos universitarios de termodinámica. *Enseñanza de las Ciencias*. 25 (3), p. 387-400.
- Amaral, E. M. R. Y Mortimer, E.F. (2001). Uma proposta de perfil conceitual para o conceito de calor. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 1 (3), p. 5-18.
- Amin, T. G. Jeppsson, F. Haglund, J. Strömdahl, H. (2012). Arrow of time: Metaphorical construals of entropy and the second law of thermodynamics. *Science Education*, 96 (5), 818–848.
- Andrés, M. M. E. Pesa, M. A. (2004). Conceptos-en-acción y teoremas-en-acción en un trabajo de laboratorio de física. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 4 (1), p. 59-75.
- Andrés, M. M. E. Pesa, M. A. (2005). Desarrollo del pensamiento científico y el trabajo de laboratorio. *Enseñanza de las Ciencias*, número extra, p. 1-6.
- Appleton, K. (1985). Children's ideas about temperature. *Research in Science Education*, 15, p. 122-127.
- Ariza, R. P. Harres, J.B.S. (2002). A epistemologia evolucionista de Stephen Toulmin e o ensino de Ciências. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 19 (especial), p. 70-83.

- Ausubel, D. P. (2003). *Aquisição e Retenção de Conhecimentos: Uma Perspectiva Cognitiva*. Tradução para o português de Vitor Duarte Teodoro. Lisboa: Plátano Edições Técnicas.
- Ausubel, D. P. (1968). *Educational psychology – a cognitive view*. New York: Holt, Rinehart and Winston, Inc.
- Bacas, P. (1997). Detecção de las ideas del profesorado acerca de los conceptos de calor y temperatura. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 13, p.109-116.
- Bañas, C. Mellado, V. Ruiz, C. (2004). Los libros de texto y las ideas alternativa sobre la energía del alumnado de primer ciclo de educación secundaria obligatoria. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 21 (3), p. 296-312.
- Bardin, L. (2004). *Análise de Conteúdo*. Lisboa: Edições 70, 221p.
- Berg, K. C. (2008). The Concepts of Heat and Temperature: The Problem of Determining the Content for the Construction of an Historical Case Study which is Sensitive to Nature of Science Issues and Teaching–Learning Issues. *Science & Education*, 17 (1), p. 75-114.
- Besson, U. Ambrosis, A. (2013). Teaching Energy Concepts by Working on Themes of Cultural and Environmental Value. *Science & Education*, p. 1-30.
- Bordogna, C. Cotignola, M. I. Punte, G. (2001). La innovación como proceso: aplicación a la enseñanza de temas introductorios a la termodinámica. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 18 (1), p. 65-84.
- Buchweitz, B. Axt, R. (1996). *Física 1*. Porto Alegre: Sagra-D.C. Luzzatto.
- Bukhovtsev, B. Klimontovitch, I. Miakichev, G. (1982). *Física 3*. U.R.S.S: Editora Mir Moscovo.
- Buteler, L. Gangoso, Z. (2004). Diferentes enunciados del mismo problema: ¿Problemas diferentes? *Investigações em Ensino de Ciências*, 6 (3), p. 605-618.
- Caballero, M. C. (2003). La progresividad del aprendizaje significativo de conceptos. *Textos de Apoio do Programa Internacional de Doutorado em Ensino de Ciências da Universidade de Burgos/UFRGS*, 5, p.137-154.
- Callen, H. B. (1985). *Thermodynamics and an introduction to thermostatistics*. 2a edição. New York: John Wiley & Sons.

- Cárdenas, M. Ragout De Lozano, S. (1996.). Explicaciones de procesos termodinámicos a partir del modelo corpuscular: una propuesta didáctica. *Enseñanza de las Ciencias*, 14 (3), p. 343-349.
- Carrascosa, J. (2005). El problema de las concepciones alternativas en la actualidad (parte 1) análisis sobre las causas que la originan y/o mantienen. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 2 (2), p. 183-208.
- Cervantes, A. (1986). Los conceptos de calor y temperatura: una revisión bibliográfica. *Enseñanza de las Ciencias*, 4 (1), p. 3-15.
- Chaves, A. (2007). *Física básica: Gravitação, fluidos, ondas, termodinâmica*. Rio de Janeiro: LTC.
- Chiou, G. L. Anderson, O. R. (2010). A study of undergraduate physics students' understanding of heat conduction based on mental model theory and an ontology–process analysis. *Science Education*. p. 825–854.
- Christensen, W. M. Meltzer, D.E. Nguyen, N. L. (2011). Student understanding of calorimetry in introductory calculus-based physics. *American Journal of Physics*, 79 (11), p. 1168-1177.
- Christiansen, F. V. Rump, C. (2008). Three conceptions of thermodynamics: Technical matrices in science and engineering. *Research in Science Education*, 38 (5), p. 545-564.
- Clark, D. B. (2006). Longitudinal conceptual change in students' understanding of thermal equilibrium: An examination of the process of conceptual restructuring. *Cognition Instruction*, 24 (4), p.467-563.
- Clark, D. Jorde, D. (2004). Helping students revise disruptive experientially supported Ideas about thermodynamics: Computer visualizations and tactile models. *Journal of Research in Science Teaching*, 41 (1), p. 1-23.
- Cochran, M. J. Heron, P.R.L. (2006). Development and assessment of research-based tutorials on heat engines and the second law of thermodynamics, *American Journal of Physics*, 74 (8), p. 734-741.
- Costa, S. S. C. Moreira, M. A. (2005). Knowledge-in-action: an example with rigid body motion. *Research in Science & Technological Education*, 23 (1), p. 99-122.
- Cotignola, M. I. Bordogna, C. Graciela Punte, G. Cappannini, O.M. (2009). Difficulties in Learning Thermodynamic Concepts: Are They Linked to the Historical Development of this Field? *Science & Education*, 11, p. 279-291.

- Covaleda, R. Moreira, M. A. Caballero, M. C. (2005). Los significados de los conceptos de sistema y equilibrio en el aprendizaje de la mecánica. Estudio exploratorio con estudiantes universitarios. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 4 (1).
- Covaleda, R. Moreira, M. A. Caballero, M. C. (2009). Los conceptos de sistema y equilibrio en el proceso de enseñanza/aprendizaje de la Mecánica y Termodinámica. Posibles invariantes operat6rios. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*. 8 (2), p. 722-744.
- Doménech, J.L. Gil-Pérez, D. Gras, A. Guisasola, J. Martínez-Torregrosa, J. J. Salinas, J. R. Trumper, R. Valdés, P. (2003). La enseñanza de la energía: una propuesta de debate para un replanteamiento global. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 20 (3), p. 285-311.
- Doménech, J. L. Martínez-Torregrosa, J. (2010). ¿Disponen los estudiantes de secundaria de una comprensión adecuada de los conceptos de trabajo y calor y de su relación con la energía? *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 32 (1), p. 1308-1-308-9.
- Dominguez, J. De Pro, A. Garcia-Rodeja, F. (1998). Las partículas de la materia y su utilizacion en el campo conceptual de calor y temperatura: un estudio transversal. *Enseñanza de las Ciencias*, 16 (3), p. 461-475.
- Driver, R. Rusell, T. (1982). An investigation of the ideas of heat, temperature and change of state of Children aget between 8 and 14 years. *University of Leeds and Chelsea College*. London.
- Dumrauf, A. G. (2001). "Esas otras cosas que se enseñan que no son física": Imágenes de ciencia y prácticas docentes en una experiencia universitaria de enseñanza de física. *Investigaç6es em Ensino de Ciências*, 6 (1), p. 57-78.
- Dumrauf, A. G. Cordero, S. (2004). ¿Qué cosa es el calor? Interacciones discursivas en una clase de Física. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 3 (2), p. 75-76.
- Engel, C. Driver, R. (1985). Secondary students' conceptions of the conduction of heat: bringing together scientific and personal views. *Physics Education*, 20, p. 176-182.
- Erickson, G. (1979). Children's conceptions of heat and temperature. *Science Education*, 63 (2), p. 221-230.
- Erickson, G. (1980). Children's view point of heat. second look. *Science Education*, 64, p. 323-338.

- Erikson, G. Tiberghien, A. (1985). Calor y temperatura. In Driver, R. Guesne, E. Tiberghien, A. (Eds.), *Ideas Científicas en la Infancia y la Adolescencia*, p. 89-136.
- Escudero, C. Caballero, M. C. (2004). En busca de significado para la noción de aceleración en un aula de nivel medio: análisis del discurso de alumnos y profesor. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 4 (3), p. 86-89.
- Escudero, C. Moreira M.A. (2002). Resolución de problemas de cinemática en nivel medio: estudio de algunas representaciones. *Revista Brasileira de Investigación em Educação em Ciências*, 2 (3), p. 5-24.
- Escudero, C. Moreira, M.A. CABALLERO, M. C. (2003). Teoremas-en-ação y conceptos-en-acción en clases de física introductoria en secundaria. *Revista Eletrônica de Enseñanza de las Ciencias*, 2 (3).
- Ferracioli, L. Castro, R. (2002). Segunda lei da Termodinâmica: um estudo de seu entendimento por professores do ensino médio In: *VIII Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Física*. Águas de Lindóia.
- Feynman, R. P. (2008). Lições de física de Feynman. Porto Alegre: Bookman.
- Flores, C. F. et. al. UNAM.
- Disponível em: <http://ideaspvias.cinstrum.unam.mx:2048/preconceptos.htm>
Acesso em: 20 dez. 2005.
- Franchi, A. (1999). Considerações sobre a teoria dos campos conceituais. In Alcântara Machado, S. D. et al. *Educação Matemática: uma introdução*. São Paulo: EDUC, p. 155-195.
- Garcia Hourcade, J. L. Rodriguez De Avila, C. (1985). Preconcepciones sobre calor en 2º de BUP, *Enseñanza de las Ciencias*, 3, p. 188-193.
- Greca, I. M. (2005). Representações mentais. In: *Representações Mentais*. Porto Alegre: Instituto de Física da UFRGS, p. 7-45.
- Greca, I. Moreira, M. A. (1999) Psicogía Cognitiva, Representaciones Mentales e Investigación en Enseñanza de las Ciencias. *Investigações em Ensino de Ciências*, Porto Alegre, 4 (2), p.1-28.
- Greca, I. Moreira, M.A. (2000a). Conceptos: naturaleza y adquisición. *Textos de Apoio do Programa Internacional de Doutorado em Ensino de Ciências da Universidade de Burgos/UFRGS*. p. 2-39.

- Greca, I. Moreira, M.A. (2000b). Adquisición de conceptos y cambio conceptual. *Textos de Apoio do Programa Internacional de Doutorado em Ensino de Ciências da Universidade de Burgos/UFRGS*. p. 40-84.
- Greca, I. Moreira, M.A. (2003). Do saber fazer ao saber dizer: uma análise do papel da resolução de problemas na aprendizagem conceitual da Física. *Pesquisa em Educação em Ciências*, 5 (1), p. 1-15.
- Greca, I. Moreira, M.A. (2004). Além da detecção de modelos mentais dos estudantes: uma proposta representacional integradora. In: *A teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud, o Ensino de Ciências e a Investigação nesta Área*. Porto Alegre. Instituto de Física da UFRGS, p. 33-57.
- Grings, E. T. O. Caballero, C. Moreira, M.A. (2006). Possíveis indicadores de invariantes operatórios apresentados por estudantes em conceitos da termodinâmica. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 28 (4), p. 463-471.
- Grings, E. T. O. Caballero, C. Moreira, M.A. (2007). Significados atribuídos pelos estudantes aos conceitos da termodinâmica. Artigo publicado Indivisa: Boletín de estudios e investigación, ISSN 1579-3141, 8 (Extra), p. 239-252.
- Grings, E. T. O. Caballero, C. Moreira, M.A. (2007). Significados dos conceitos da termodinâmica e possíveis indicadores de invariantes operatórios apresentados por estudantes do ensino médio e técnico. *Revista Liberato*, 9 (2), p. 7-12.
- Grings, E. T. O. Caballero, C. Moreira, M.A. (2008). Avanços e retrocessos dos alunos no campo conceitual da Termodinâmica. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*. 7 (1), p. 23-46.
- Grings, E. T. O. Caballero, C. Moreira, M.A. (2008). Uma proposta didática para abordar o conceito de temperatura a partir de situações, à luz da teoria dos campos conceituais de Vergnaud. *Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia* (de 2008 a 2009), 1 (1), p. 1-21.
- Guo-Li, C. Roger, A.O. (2009) A study of undergraduate physics students' understanding of heat conduction based on mental model theory and an ontology-process analysis. *Science Education* (EUA), 9999 (9999), p. 1-30.
- Gutierrez, L. S. (2002). História da Matemática, Resolução de Equações do 2º Grau e uma Aprendizagem Significativa. In: *V Encontro Pernambucano de Educação Matemática*, 12 a 15 de outubro 2002, Pernambuco, p. 1-6.
- Haglund, J. Jeppsson, F. (2012). Using self-generated analogies in teaching of thermodynamics. *Journal of Research in Science Teaching*, 49 (7), p. 898–921.
- Halliday, D. Resnick, R. Krane, K. S. (2004). Física 2. 5a edição. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A.

- Harrison, A. G. Grayson, D. J. Treagust, D. F. (1999). Investigating a grade 11 student's evolving conceptions of heat and temperature. *Journal of Research in Science Teaching*, 36 (1), p. 55 - 87.
- Helsdon, R. M. (1972) A logical approach to the concept of temperature. *Physics Education*, v. 7, p. 388-389.
- Helsdon, R. M. (1982) The zeroth law of Thermodynamics. *Physics Education*, 7, p. 114-115.
- Hewitt, P. G. (2011). *Física Conceitual*. 11 ed. Porto Alegre: Bookman.
- Hewson, M. G. (1984). The influence of intellectual environment on conceptions of heat. *European Journal of Science Education*, 6 (3), p. 245-262.
- Jara, S. (1991). Calor y temperatura. Esquemas alternativos en estudiantes de preparatoria. *Revista Mexicana de Física*, 37 (4), p. 688-696.
- Jeppsson, F. Haglund, J. Strömdahl, H. J. (2012). Arrow of time: Metaphorical construals of entropy and the second law of thermodynamics. *Science Education*. 96 (5), p. 818–848.
- Johnson-Laird, P.N. (1983). *Mental models*. Cambridge, M.A: Harvard University Press.
- Kampen, P. Banahan, C. Kelly, M.: Mcloughlin, E. Leary, E. (2004.) Teaching a single physics module through Problem Based Learning in a lecture-based curriculum. *American Journal of Physics*, 72 (6), p. 829-834.
- Kanderakis, N. (2012). What is the Meaning of the Physical Magnitude 'Work'? *Science & Education*. p. 1-16.
- Kaper, W. H. Goedhart M. J. (2002). 'Forms of energy', an intermediary language on the road to thermodynamics? Part I. *International Journal of Science Education*. 24 (1), p. 81-95.
- Kaper, W. H. Goedhart M. J. (2002). 'Forms of energy', an intermediary language on the road to thermodynamics? Part II. *International Journal of Science Education*. 24 (2), p. 119-137.
- Kautz, C.H. Heron, P.R.L. Shaffer, P.S. Mcdermott, L.C. (2005). Student understanding of the ideal gas law, Part I: A macroscopic perspective. *American Journal of Physics*, 73 (11), p.1055-1063.

- Kautz, C.H. Heron, P.R.L. Shaffer, P.S. Mcdermott, L.C. (2005). Student understanding of the ideal gas law, Part II: Amicroscopic perspective. *American Journal of Physics*, 73 (11), p. 1064-1071.
- Kemmis, S. (1988). Action research. In: Keeves, J.P. (Ed). Educacional research, methodology, and measurement. An international handbook. Oxford: Pergamon Press, p. 173-179.
- Kesidou, S. Duit, R. (1983). Students' conceptions of the second law of thermodynamics. An interpretative study. *Journal of Research in Science Teaching*, 30 (1), p. 85-106.
- Knight, R. D. (2009). *Física 2: Uma Abordagem Estratégica*, 2 Ed. Porto Alegre: Bookman, 392 p.
- Köhnlein, J.F.K. Peduzzi, S.S. (2002). Um estudo a respeito das concepções alternativas sobre calor e temperatura. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, São Paulo, 2 (3), p. 84-96.
- Laburu, C.E. Silva, D. Carvalho, A.M.P. (2000). Analisando uma situação de aula de Termologia com o auxílio do vídeo. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 22 (1).
- Leinonen, R. Asikainen, M. A. Hirvonen, E. H. (2012). University Students Explaining Adiabatic Compression of an Ideal Gas - A New Phenomenon in Introductory Thermal Physics. *Research in Science Education*. 42 (6), p. 1165-1182.
- Lewis, L. Linn, M. (1994). Heat energy and temperature concepts of adolescents, adults, and experts: Implications for curricular improvements. *Journal of Research in Science Teaching*, 31 (6), p. 657-677.
- Lindsey, B. A. Heron, P.R.L. Shaffer, P. S. (2012). Student understanding of energy: Difficulties related to systems. *American Journal of Physics*, v. 80, n. 2, p. 154-163.
- Lindsey, B.A. Heron, P.R.L. Shaffer, P.S. (2009). Student ability to apply the concepts of work and energy to extended systems, *American Journal of Physics*, 77 (11), p. 999-1009.
- Llancaqueo, A. Caballero, M. C. Moreira, M. A. (2003). El aprendizaje del concepto de campo en Física: una investigación exploratória a luz de la teoría de Vergnaud. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 25 (4), p. 399-417.
- Lomônaco, J. F. B. Paula, F. Mello, C. B. Almeida., F. A. (2001). Desenvolvimento de conceitos: O paradigma das transformações. *Psicologia: Teoria e Pesquisa*, São Paulo. 17 (2), p. 61-168.

- Lopes, J.B. (2002). Desenvolver conceitos de Física a través do trabalho experimental: avaliação de auxiliares didáticos. *Enseñanza de las Ciencias*, 20 (1), p.115-132.
- Lovedure, M.E. Kautz, C.H. Heron, P. R. L. (2002). Student understanding of the first law of thermodynamics: Relating work to the adiabatic compression of an ideal gas. *American Journal of Physics*, 70 (2), p.137-148.
- Macedo, B. Soussan, G. (1985). Estudo de los conocimientos preadquiridos sobre las nociones de calor y temperatura en alumnos de 10 a 15 años. *Enseñanza de las Ciencias*, 3 (2), p.83-90.
- Magina, S. Campos, T. M. M. Nunes, T. Gitirana, V. (2008), *Repensando Adição e Subtração: Contribuições da Teoria dos Campos Conceituais*. 3 ed. São Paulo: PROEM Editora Ltda.
- Manthei, U. (1993). Zur genetischen Begriffsdifferenzierung und Begriffsprisierung. Ergebnisse einer Untersuchung am Beispiel warme-Temperatur. Physik in der Schule, v. 18, p. 284-251, 1980. In: Kesidou, S. Duit, R. Students' conceptions of the second law of thermodynamics. An interpretive study. *Journal of Research in Science Teaching*, 30 (1), p. 85-106.
- Martínez, J.M. Pérez, B. A. (1997) Estudo de propostas alternativas en la enseñanza de la termodinámica básica. *Enseñanza de Las Ciencias*, 15 (3), p. 287-300.
- Máximo, A. Alvarenga, B. (1998). *Curso de Física 2*. São Paulo: Editora Scipione.
- Máximo, A. Alvarenga, B. (2006). *Curso de Física 2*. São Paulo: Editora Scipione.
- Meheut, M. (2004). Designing and validating two teaching-learning sequences about particle models. *International Journal of Science Education*. 26 (5): p. 605-618.
- Meltzer, D.E. (2004). Investigation of students' reasoning regarding heat, work, and the first law of thermodynamics in an introductory calculus-based general physics course. *American Journal of Physics*. 72 (11), p. 1432-1446.
- Moraes, R. Galiazzi, M. C. (2007). *Análise textual discursiva*. Ijuí: Editora da UNIJUÍ.
- Moreira, M. A. (1999). *Aprendizagem significativa*. Brasília: Editora da UnB.
- Moreira, M. A. (1999). *Teorias de Aprendizagem*. São Paulo: Editora Pedagógica e Universitária.
- Moreira, M. A. (2004). A teoria dos campos conceituais de Vergnaud, o ensino de ciências e a pesquisa nesta área. In: *A Teoria dos Campos Conceituais de*

Vergnaud, o Ensino de Ciências e a Investigação nesta Área. Porto Alegre: Instituto de Física da UFRGS, p.7.

Moreira, M. A. (2005). Modelos mentales. In: *Representações Mentais*. Porto Alegre: Instituto de Física da UFRGS, p. 47-90.

Moreira, M. A. (1999). Modelos Mentales. *Programa Internacional de Doctorado en Enseñanza de las Ciencias: Universidad de Burgos, España, UFRGS, Brasil.* Texto de Apoyo n. 8.

Moreira, M. A. (1990) Pesquisa em Ensino: O Vê Epistemológico de Gowin. São Paulo: Editora Pedagógica e Universitária.

Moreira, M.A. (1999). *Energia entropia e irreversibilidade.* Grupo de Ensino de Física. Textos de Apoio ao Professor de Física, 9, UFRGS, Porto Alegre.

Moreira, M.A. (2002) *Investigación en Educación en Ciencias: Métodos Cualitativos.* Programa Internacional de Doctorado en Enseñanza de las Ciencias: Universidad de Burgos, España, UFRGS, Brasil. Texto de Apoyo n. 14.

Moreira, M.A. (2003). Cambio conceptual: análisis crítico y propuestas a la luz de la teoría del aprendizaje significativo. *Ciência e Educação.* São Paulo, 9 (2).

Moreira, M.A. E Ostermann, F. (1999). Teorias construtivistas. Grupo de Ensino de Física. Textos de Apoio ao Professor de Física, 10, UFRGS, Porto Alegre.

Moreira, M.A. Greca, I. M. (2004). Cambio conceptual: análisis crítico y propuestas a la luz de la teoría del aprendizaje significativo. In: *Sobre cambio conceptual, obstáculos representacionales, modelos mentales, esquemas de asimilación e campos conceptuales.* Porto Alegre: Instituto de Física da UFRGS, p. 7-25.

Moreira, M.A. Pinto, A. O. (2003). Dificuldade dos alunos na aprendizagem da lei de Ampère, à luz da teoria dos modelos mentais de Johnson-Laird. *Revista Brasileira de Ensino de Física,* 25 (3), p. 317-325.

Mortimer, E. F. (1994). Conceptual change or conceptual profile change? *Science & Education,* 4 (3), p. 2-20.

Nachmias, R. Stavy, R. Avrams, R. (1990). A microcomputer based diagnostic system for identifying students' conception of heat and temperature. *International Journal of Science Education,* 12 (2), p. 123-131.

Nussbaum, J. (1989). Classroom conceptual change: Philosophical perspectives. *Internacional Journal of Science Education,* 11 (special issue), p. 530-540.

- Nussenzveig, H. M. (1981). *Curso de física básica: Fluidos. Oscilações e Ondas. Calor*. 3a edição. São Paulo: Edgar Blücher.
- Ogborn, J. (1986). Energy and fuel: the meaning 'of the go of things. *The School Science Review*, p.31-35.
- Osteman, F. Moreira, M. A. (1999). *A Física na Formação de Professores do Ensino Fundamental*. Porto Alegre: Editora da Universidade, 1999.
- Ovando, M. M. Cudmani, L. (2004). Primeros resultados de una experiencia piloto sobre enseñanza de la física en carreras de ingeniería agronómica. *Investigações em Ensino de Ciências*, 9 (3), p. 223-242.
- Palmero, M. L. R. Moreira, M. A. (2004). La teoría dos campos conceptuales de Gérard Vergnaud. In: Moreira, M. A. *La Teoría dos Campos Conceptuales de Vergnaud, la Enseñanza de las Ciencias y la Investigación en el Área*. Porto Alegre: Instituto de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Perrota, et al. (2010). La energía y su conservación. Aplicación en una situación problemática, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 27 (3), p. 515-527.
- Pozo, J. I. (1999) Más allá del cambio conceptual: el aprendizaje de la ciencia como cambio representacional. *Enseñanza de las Ciencias*, 17 (3), p. 513-520.
- Resnick, R. Halliday, D. (2005). *Física 2*. 7.ed. São Paulo: Livros Técnicos e Científicos Editora S. A.
- Ritchie, M. (2001). Actions and discourses for transformative understanding in a middle school science class. *International Journal of Science Education*, 23, (3), p. 283-299.
- Robertson, A. D. Shaffer, P. S. (2013). University student and K-12 teacher reasoning about the basic tenets of kinetic-molecular theory, Part I: Volume of an ideal gas. *American Journal of Physics*, 81 (4), p. 303-312.
- Rozier, S. Viennot, L. (1991). Students' reasonings in thermodynamics. *International Journal of Science Education*, 13 (2), p. 159-170.
- Sciarretta, M, Stilli, M. Vicentini, M. (1990). On the thermal properties of materials: common-sense knowledge of italian students and teachers. *International Journal of Science Education*, 12 (4), p. 369-379.
- Sears, F. W. (2003). *Física: Calor, ondas, ótica*. 10 ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A.

- Serrano, G. P. (1998). *Investigación cualitativa: retos e interrogantes*. Madrid: La Moralla, p. 79-136
- Serway, R. A. (2006). *Física 2 para cientistas e engenheiros com física moderna*. 5 ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A.
- Serway, R. A. Jewett, J.W. (2004). *Física 1: Mecánica, oscilación y ondas, termodinámica*. 3a ed. Madrid: Internacional Thomson Editores Spain.
- Shaw, R. (1974). How do you teach heat in schools? *Physics Education*, 9, p. 73-74.
- Shayer, M. Wylam, H. (1981). The development of the concepts of heat and temperature in 10-13 year-olds. *Journal of Research in Science Teaching*, 18, p. 419-434.
- Sias, D. B. Teixeira, R. M. R. (2006). Resfriamento de um corpo: a aquisição automática de dados propiciando discussões conceituais no laboratório didático de física no ensino médio. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 23 (3), p. 360-381.
- Silva, L. E. F. (1986). *Concepções espontâneas em termodinâmica: um estudo em um curso universitário, utilizando entrevista clínica*. Porto Alegre: UFRGS, Dissertação de Mestrado em Física.
- Silva, O. H. M. Laburú, C. E. Nardi, R. (2008). Reflexões para subsidiar discussões sobre o conceito de calor na sala de aula. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 25 (3), p. 383-396.
- Silva, O. H. M. Nardi, R. Laburú, C. E. (2008). Um estudo da preparação dos estudantes para debates racionais entre teorias e/ou concepções rivais numa estratégia de ensino de física inspirada em Lakatos. *Ensaio*, 10 (2), p. 193-207.
- Silveira, F. L. (1993). Validação de Testes de Lápis e Papel. In. *II Escola Latino-Americana sobre Pesquisa em Ensino de Física*. Canela, Brasil.
- Silveira, F. L. Moreira, M.A. (1996). Validación de un test para verificar si el alumno posee concepciones científicas sobre calor, temperatura e energía interna. *Enseñanza de las Ciencias*, 14 (1), p. 75-86.
- Soloman, J. (1984). Prompts, cues and discrimination: the utilization of two separate knowledge systems. *European Journal of Science Education*, 6 (3), p. 277-284.
- Souza, V. C. A. Justi, R. (2011). Interloquções possíveis entre linguagem e apropriação de conceitos científicos na perspectiva de uma estratégia de modelagem para a energia envolvida nas transformações químicas. *Revista Ensaio*, 13 (2), p.31-46.

- Sousa, C. M. S. G. Lara, A. E. Moreira, M. A. (2004). A resolução de problemas em conteúdos de ondas na perspectiva dos campos conceituais: uma tentativa de inferir a construção de modelos mentais e identificar invariantes operatórios. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 4 (1), p. 101-113.
- Sousa, C.M.S.G. Fávero, M. H. (2002). Um estudo sobre resolução de problemas em Física em situação de interlocução entre um especialista e um novato. *Submetido ao VIII EPEF*.
- Sousa, C.M.S.G. Fávero, M.H. (2004). Análise de uma situação de resolução de problema de física, em situação de interlocução entre um especialista e um novato, à luz da teoria dos campos conceituais de Vergnaud. In: *A Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud, o Ensino de Ciências e a Investigação nesta Área*. Porto Alegre, p.79-81.
- Speltini, C, (2008). El concepto de entropía en el aula universitária. *Revista de Enseñanza de la Física*. 21 (2), p. 75-76.
- Sperandeo-Mineo, R.M. Fazio, C. Tarantino, G. (2005). Pedagogical content knowledge development and pre-service physics teacher education: A case study. *Research in Science Education*, 36 (3), p. 235-268.
- Stavy, R. Berkovitz, B. (1960). Cognitive conflict as a basis of teaching quantitative aspects of the concept of temperature. *Science Education*, 64, p. 679-692.
- Stipcich, M.S. Moreira, M.A. Caballero, C. (2004) Una interpretación de las opiniones de ingresantes a la universidad sobre la noción de interacción. *Revista Eletrônica de Enseñanza de las Ciencias*, 3 (1).
- Stuchi, A. M. Ferreira, N. C. (2003). Análise de uma exposição científica e proposta de intervenção. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 25 (2), p. 207-217.
- Summers, M. K. (1983). Teaching heat and analysis of misconceptions. *The School Science Review*, 64, p. 970-675.
- Swendsen, R. H. (2011). How physicists disagree on the meaning of entropy. *American Journal of Physics*, 79 (2), p. 342-348.
- Taft, R. (1988). Ethnographic research methods. In: Keeves, J.P. (Ed). *Educational research, methodology, and measurement. An international handbook*. Oxford, Pergamon Press, p. 48-54.
- Thomas, M. F. Malaquias, I. M. Valente, M. C. Antunes, M. J. (1985). An attempt to overcome alternative conceptions related to heat and temperature. *Physics Education*, 30 (1), p. 19-26.

- Tiberghien, A. (1980). Modes and conditions of learning. An exemple: the learning of some aspects of the concepts of heat. *Cognitive Development Research in Science and Mathematics*. Leeds: University of Leeds.
- Tipler, P. A. (2006). *Física 1: Mecânica, oscilações e ondas, termodinâmica*. 5. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A.
- Toulmin, S. (1977). *La comprensión humana – Volumen I: El uso colectivo y la evolución de los conceptos*. Madrid, Alianza Editorial. 523p.
- Vázquez Diaz, J. (1987). Algunos aspectos a considerar en la didáctica del calor. *Enseñanza de las Ciencias*, 5 (3), p. 235-238.
- Vergnaud, G. (1982). A classification of cognitive tasks and operations of thought involved in addition and subtraction problems. In: Carpenter, T., Moser, J. & Romberg, T. Addition and subtraction. A cognitive perspective. Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum, p. 39-59.
- Vergnaud, G. (1987). Problem solving and concept development in the learning of mathematics. E.A.R.L.I. Second Meeting. Tübingen.
- Vergnaud, G. (1988). Multiplicative structures. In: Hiebert, H. Behr, M. (Eds.). Research Agenda in Mathematics Education. *Number Concepts and Operations in the Middle Grades*. Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum, p. 141-161.
- Vergnaud, G. (1993). Teoria dos campos conceituais. In: Nasser, L. (Ed.) *Anais do 1º Seminário Internacional de Educação Matemática do Rio de Janeiro*, p. 1-26.
- Vergnaud, G. (1996a). Education: the best part of Piaget's heritage. *Swiss Journal of Psychology*, 55 (2 e 3), p. 112-118.
- Vergnaud, G. (1996b). A trama dos campos conceituais na construção dos conhecimentos. *Revista do GEMPA*, Porto Alegre, 4, p. 9-19.
- Vergnaud, G. (1996c). Algunas ideas fundamentales de Piaget en torno a la didáctica. *Perspectivas*, 26 (10), p. 195-207.
- Vergnaud, G. (1997). The nature of mathematical concepts. In: Nunes, T. Bryant, P. (Eds.) Learning and teaching mathematics, an international perspective. Hove (East Sussex), *Psychology Press Ltd*.
- Vergnaud, G. (1998). A comprehensive theory of representation for mathematics education. *Journal of Mathematical Behavior*, 17 (2), p.167-181.

- Vergnaud, G. (2003). *A gênese dos campos conceituais*. In: Grossi, E. P. Por que ainda há quem não aprende? 2.ed. Petrópolis: Editora Vozes, p. 21-60.
- Vergnaud, G. (2004). *Idéias Chave de Vergnaud*, Porto Alegre: GEMPA, 31 p.
- Vergnaud, G. (2004). *Lev Vygotski: pedagogo e pensador do nosso tempo*. Porto Alegre: GEEMPA.
- Vergnaud, G. et. al. (1990). Epistemology and psychology of mathematics education. In: Nesher, P. Kilpatrick, J. (Eds.) *Mathematics and cognition: A research synthesis by International Group for the Psychology of Mathematics Education*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Vergnaud, G. Grossi, E. P. (2005). *Esquemas operatórios de pensamento: uma conversa com Gérard Vergnaud*. In: Grossi, E. P. Ensinando que todos aprendem: fórum social pela aprendizagem. Porto Alegre: GEEMPA.
- Vygotsky, L. S. (2001). *Pensamento e linguagem*. São Paulo: Martins Fontes.
- Warren, J. W. (1972). The nature of Energy. *Energy Journal of Science Education*, 4, p. 295-297.
- Warren, J.W. (1972). The teaching of concept of heat. *Physics Education*, 11, p. 41-44.
- Wchristensen, W. M. Meltzer, D.E. Ogilvie, C.A. (2009), Student ideas regarding entropy and the second law of thermodynamics in an introductory physics course. *American Journal of Physics*, 77 (10), p. 907-917.
- Woody, A. I. (2013). How is the Ideal Gas Law Explanatory? *Science & Education*, 22 (7), p. 1563-1580.
- Zacharia, Z. C. Olympiou, G. Papaevripidou, M. (2008). Effects of Experimenting with Physical and Virtual Manipulatives on Students' Conceptual Understanding in Heat and Temperature. *Journal of Research in Science Teaching*, 45 (9), p. 1021-1035.

APÊNDICES

APÊNDICE I – PRÉ-TESTE PÓS-TESTE



UNIVERSIDADE
DE BURGOS

PROGRAMA INTERNACIONAL DE DOUTORADO EM ENSINO
DE CIÊNCIAS



UNIVERSIDAD
E FEDERAL DO
RIO GRANDE
DO SUL

Nome: _____

Turma: _____

Instruções: O teste a seguir apresenta 30 questões. Em cada uma, há somente uma alternativa correta. Assinale na grade a resposta que você considera correta. Este teste não é uma prova, os dados apresentados servirão para melhorar o ensino e aprendizagem de conceitos da Termodinâmica. Obrigada, pela colaboração.

Antes de responder o teste, responda às seguintes questões:

Sexo: Masculino () Feminino ()

Idade: _____

| | a | b | c | d | e |
|----|---|---|---|---|---|
| 1 | | | | | |
| 2 | | | | | |
| 3 | | | | | |
| 4 | | | | | |
| 5 | | | | | |
| 6 | | | | | |
| 7 | | | | | |
| 8 | | | | | |
| 9 | | | | | |
| 10 | | | | | |
| 11 | | | | | |
| 12 | | | | | |
| 13 | | | | | |
| 14 | | | | | |
| 15 | | | | | |
| 16 | | | | | |
| 17 | | | | | |
| 18 | | | | | |
| 19 | | | | | |
| 20 | | | | | |
| 21 | | | | | |
| 22 | | | | | |
| 23 | | | | | |
| 24 | | | | | |
| 25 | | | | | |
| 26 | | | | | |
| 27 | | | | | |
| 28 | | | | | |
| 29 | | | | | |
| 30 | | | | | |

1) A temperatura pode ser definida como:

- a) Uma medida da energia cinética translacional média por molécula em uma substância.
- b) O total de todas as energias moleculares, cinética mais potencial, que são internas à substância.
- c) A energia que flui de um corpo a uma temperatura mais alta para outro corpo a uma temperatura mais baixa.
- d) Todas as respostas estão corretas.
- e) Nenhuma resposta está correta.

2) No interior de um quarto que não tenha sido aquecido ou refrigerado durante vários dias:

- a) A temperatura dos objetos de metal é inferior à dos objetos de madeira.
- b) A temperatura dos objetos de metal, das cobertas e dos demais objetos é a mesma.
- c) Nenhum objeto apresenta temperatura.
- d) Todas as respostas estão corretas.
- e) Nenhuma resposta está correta.

3) Você obtém a informação de que a energia cinética dos átomos e moléculas de um corpo tende a zero. Como você representaria a temperatura deste corpo.

- a) $t = 0 \text{ K}$.
- b) $t = -273,15^\circ\text{C}$.
- c) $t = 0^\circ\text{C}$.
- d) a e b estão corretas.
- e) a e c estão corretas.

4) Em um laboratório de pesquisa, um cientista mediu a temperatura na qual certo gás se liquefez, encontrando um valor extremamente baixo. Qual dos valores abaixo você acha que poderia representar a temperatura encontrada por ele?

- a) -327°C .
- b) -15 K .
- c) -233°C .
- d) Todas as respostas estão corretas.
- e) Nenhuma resposta está correta.

5) Mediu-se a temperatura de um corpo, utilizando-se dois termômetros, um calibrado na escala Celsius e o outro calibrado na escala Fahrenheit. Para surpresa nossa, verificou-se que os dois termômetros marcavam numericamente a mesma temperatura, após a medida. Qual das opções abaixo é a correta?

- a) Os termômetros marcavam -40° .
- b) Os termômetros marcavam $+40^\circ$.
- c) Os termômetros marcavam -32° .
- d) Os termômetros marcavam $+32^\circ$.
- e) Os termômetros só podiam estar estragados, uma vez que a situação descrita no texto é fisicamente impossível.

6) Em uma escala termométrica X, a temperatura da água em ebulição à pressão normal é 60°X e a temperatura de fusão do gelo, à pressão normal é 20°X . Sabendo-se que uma liga metálica funde a 500°C , sua temperatura de fusão na escala X é:

- a) 200°X .
- b) 380°X .
- c) 400°X .
- d) 625°X .
- e) Nenhuma das anteriores.

7) Calor é:

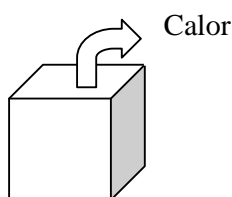
- a) Uma medida da energia cinética translacional média por molécula em uma substância.
- b) O total de todas as energias moleculares, cinética mais potencial, que são internas à substância.
- c) A energia que flui de um corpo a uma temperatura mais alta para outro corpo a uma temperatura mais baixa.
- d) Todas as respostas estão corretas.
- e) Nenhuma resposta está correta.

8) Dois corpos estão em contato. Qual a condição necessária para que haja fluxo de calor entre eles?

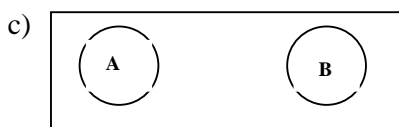
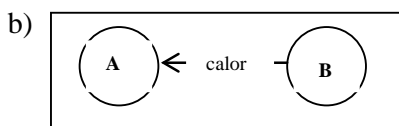
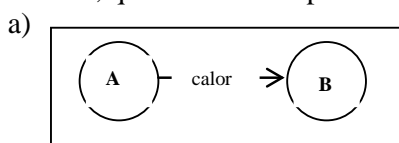
- a) Devem ter capacidades térmicas diferentes.
- b) Devem conter diferentes quantidades de calor.
- c) Devem ter o mesmo calor específico.
- d) Devem encontrar-se a temperaturas diferentes.
- e) Devem ser de substâncias diferentes.

9) Observando-se a figura abaixo e sem dispor de qualquer outra informação, pode-se dizer que o cubo A possui, em relação ao meio que o cerca:

- a) Temperatura mais elevada.
- b) Mais energia.
- c) Maior calor.
- d) Temperaturas iguais.
- e) Mesma energia cinética média das moléculas.



10) Considere duas esferas metálicas idênticas, uma em um forno quente (A) e a outra em uma geladeira (B). Ao serem retiradas do forno e da geladeira e colocadas num recipiente termicamente isolado, qual a melhor representação do que acontece com as esferas?



- d) Todas as respostas estão corretas.
- e) Nenhuma resposta está correta.

11) Mistura-se gelo a 0°C com água quente em um recipiente termicamente isolado. O balanço energético é o seguinte: 356 J/g são cedidos pela água quente, ao passo que 335 J/g são absorvidos para a fusão do gelo. Considerando o calor específico da água igual a $4,2 \text{ J/K}$, qual a temperatura de equilíbrio da mistura?

- a) 0°C .
- b) $0,5^{\circ}\text{C}$.
- c) 5°C .
- d) 21°C .
- e) $88,2^{\circ}\text{C}$.

12) Em um calorímetro ideal foram colocados 100g de água à temperatura t e 50 g de gelo a 0°C . Após algum tempo verificou-se que metade do gelo boiava na água. A temperatura final da mistura e a temperatura inicial da água eram respectivamente iguais a:

- a) 0°C e 40°C .
- b) 0°C e 20°C .
- c) 0°C e 0°C .
- d) 10°C e 40°C .
- e) 20°C e 40°C .

13) Energia interna é:

- a) Uma medida da energia cinética translacional média por molécula em uma substância.
- b) O total de todas as energias atômicas moleculares, cinética mais potencial.
- c) A energia que flui de um corpo a uma temperatura mais alta para outro corpo a uma temperatura mais baixa.
- d) Todas as respostas estão corretas.
- e) Nenhuma resposta está correta.

14) A água (a 0°C) que resulta da fusão de um cubo de gelo (a 0°C), contém, em relação a este:

- a) Maior energia interna.
- b) Menor energia interna.
- c) As energias internas são iguais.
- d) Todas as respostas estão corretas.
- e) Nenhuma resposta está correta.

15) Como você representaria a energia interna do corpo A em relação ao conjunto de corpos B.



- a) $U_A > U_B$
- b) $U_A = U_B$
- a) $U_A < U_B$
- d) os corpos não possuem energia interna.
- e) Nenhuma resposta está correta.

16) Como você representaria a energia interna do corpo A em relação ao corpo B.

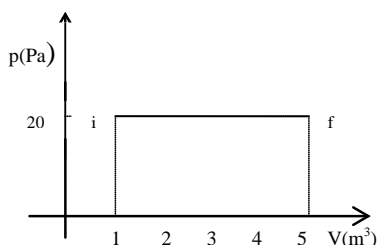


- a) $U_A > U_B$
- b) $U_A = U_B$
- a) $U_A < U_B$
- d) Os corpos não possuem energia interna.
- e) Nenhuma resposta está correta.

17) Considere as seguintes afirmações relativas a um gás perfeito:

- I. A energia interna de uma dada massa de gás ideal é função exclusiva de sua temperatura.
 - II. Numa expansão isobárica a quantidade de calor recebida é menor que o trabalho realizado.
 - III. Numa transformação isométrica, a variação da energia interna do gás é igual à quantidade de calor trocada com o meio exterior.
- a) I e II estão corretas.
 - b) II e III estão corretas.
 - c) I e III estão corretas.
 - d) todas estão corretas.
 - e) todas são incorretas.

18) Quando são transferidos 100J de calor a um gás ideal, esse gás realiza um trabalho conforme indicado no gráfico da pressão p em função do volume V .



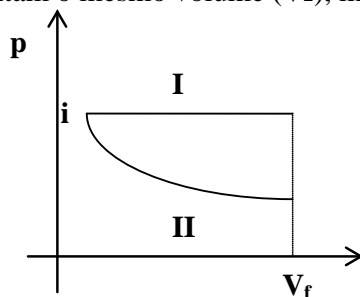
Qual a variação da energia interna do gás na transformação do estado inicial i ao estado final f ?

- (a) nula.
 - (b) 20 J.
 - (c) 80 J.
 - (d) 100J.
 - (e) 180J.
- 19) Trabalho é:
- a) um processo de transferência de energia que não seja devido à diferença de temperatura;
 - b) um processo de transferência de energia devido à diferença de temperatura;
 - c) um processo onde não ocorre transferência de energia;
 - d) nenhuma das respostas;
 - e) todas as respostas estão corretas.

20) Para calcular o trabalho mecânico feito por um gás, quando se expande sob pressão constante, é suficiente conhecer, além da pressão:

- a) a variação do volume do gás;
- b) a variação da temperatura do gás;
- c) o volume inicial do gás;
- d) a temperatura inicial do gás;
- e) a massa do gás.

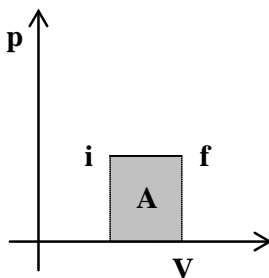
21) O gráfico da pressão p em função do volume V de um gás ideal representa duas transformações termodinâmicas, I e II, a partir do estado inicial i . Os estados finais das duas transformações apresentam o mesmo volume (V_f), mas pressões diferentes:



A partir da análise do gráfico é possível afirmar que:

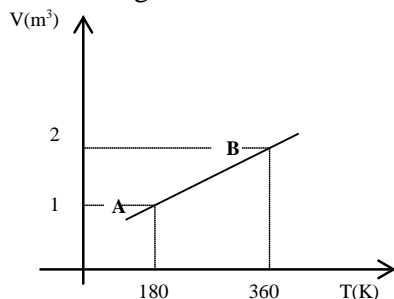
- o trabalho realizado na transformação I é maior do que o realizado na transformação II;
- na transformação II não há trabalho realizado;
- na transformação I não há variação de energia interna do gás;
- a transformação II é isobárica;
- a transformação I é adiabática.

22) O gráfico representa a pressão p em função do volume V de um gás ideal que sofreu uma transformação do estado inicial i ao estado final f . Qual o significado físico da área A indicada na figura:



- trabalho;
- calor;
- energia;
- pressão;
- temperatura.

23) A variação volumétrica de um gás em função da temperatura, à pressão constante de 3 N/m^2 , está indicada no gráfico:

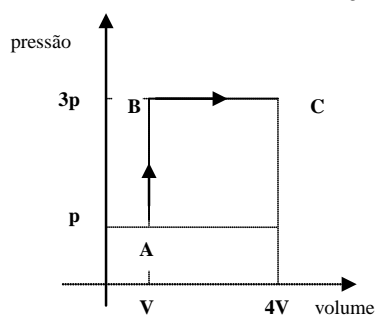


O trabalho realizado durante a transformação de A para B é aproximadamente igual, em joules, a:

- a) 3×10^{-2} ;
- b) 3;
- c) $1/8$;
- d) 8;
- e) nenhuma das respostas.

24) Uma dada massa de gás ideal sofreu a transformação A-B-C indicada no diagrama pressão x volume da figura:

O trabalho realizado na transformação A-B-C vale:



- a) 12 pV ;
- b) 4 pV ;
- c) 3 pV ;
- d) 9 pV ;
- e) 16 pV .

25) A Segunda Lei da Termodinâmica diz o seguinte:

- a) é impossível transformar calor em trabalho, operando com duas fontes de calor em temperaturas diferentes;
- b) uma máquina térmica possui rendimento 90%, no máximo;
- c) o rendimento máximo de uma máquina térmica depende da substância com que ela funciona;
- d) a máquina térmica nunca restitui integralmente, sob forma de trabalho, a energia que lhe foi cedida sob forma de calor;
- e) a energia total de um sistema isolado é constante.

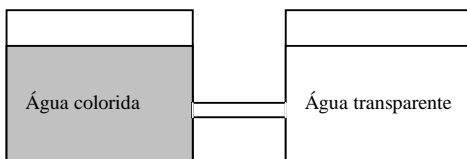
26) De acordo com a Segunda Lei da Termodinâmica, a entropia do Universo:

- a) não pode ser criada nem destruída;
- b) acabará transformada em energia;
- c) tende a aumentar com o tempo;
- d) tende a diminuir com o tempo;
- e) permanece sempre constante.

27) Para processos irreversíveis, sendo ΔS a variação da entropia do universo:

- a) $\Delta S > 0$;
- b) $\Delta S = 0$;
- c) $\Delta S < 0$;
- d) $\Delta S > 1$;
- e) nenhuma das respostas.

28) A figura abaixo representa dois tanques um com água colorida e outro com água transparente. Ao ser feita a conexão entre os dois tanques a água se mistura, então podemos afirmar que:



- a) a água não vai separar-se espontaneamente, pois temos um processo irreversível;
- b) a situação mostrada na figura é um sistema ordenado por isso tem baixa entropia;
- c) a água depois de misturada torna-se um sistema desordenado de maior entropia;
- d) quando um sistema mais ordenado como o da figura torna-se mais desordenado, há um aumento de entropia;
- e) todas as respostas estão corretas.

29) O rendimento de uma máquina térmica:

- a) depende apenas da temperatura da fonte quente;
- b) é tanto maior quanto maior a diferença de temperatura das fontes quente e fria;
- c) depende apenas da temperatura da fonte fria;
- d) não depende das temperaturas das fontes e sim das transformações envolvidas;
- e) nunca pode ultrapassar o da máquina térmica de Carnot.

30) Uma máquina térmica retira 100J de calor de uma fonte quente. A Segunda Lei da Termodinâmica diz que:

- a) ela produz exatamente 100J de trabalho;
- b) ela produzirá até mais de 100J de trabalho;
- c) ela produzirá menos de 100 J de trabalho;
- d) ela não produzirá trabalho;
- e) nenhuma das respostas anteriores.

**APÊNDICE II– MATERIAIS DO ESTUDO EXPLORATÓRIO
(QUESTIONÁRIO PARA PROFESSORES; QUESTIONÁRIO PARA
ALUNOS; ENTREVISTA CLINICA)**



UNIVERSIDADE DE
BURGOS

QUESTIONÁRIO PARA PROFESSORES
PROGRAMA INTERNACIONAL DE DOUTORADO EM
ENSINO DE CIÊNCIAS

Questionário para professores



UNIVERSIDADE
FEDERAL DO RIO
GRANDE DO SUL

Senhor professor:

Este instrumento tem o objetivo de identificar as dificuldades detectadas pelos professores de física ao longo dos anos da docência desta disciplina. Por isso, solicito a gentileza de responder as seguintes questões. Muito obrigada pela sua colaboração.

Idade: _____

Titulação: _____

Tempo de docência em ensino de física: _____

Quais foram as dificuldades constadas na disciplina de Física no ensino médio nos conceitos da Termodinâmica (temperatura, calor, energia interna, trabalho e entropia)?

1.1) Temperatura: _____

1.2) Calor: _____

1.3) Energia interna: _____

1.4) Trabalho: _____

1.5) Entropia: _____



UNIVERSIDADE DE
BURGOS

PROGRAMA INTERNACIONAL DE DOUTORADO EM
ENSINO DE CIÊNCIAS

QUESTIONÁRIO PARA ALUNOS



UNIVERSIDADE
FEDERAL DO RIO
GRANDE DO SUL

Prezado aluno:

Este instrumento tem o objetivo de identificar as dificuldades que continuam persistindo após o estudo da Termodinâmica. Para minimizar essas dificuldades, no processo ensino-aprendizagem, solicitamos a sua colaboração respondendo às seguintes questões. Muito obrigada pela sua colaboração.

Idade: _____ Sexo: _____
Série: _____ Curso: _____

Responda às seguintes questões. Pode usar desenho para respondê-las, se achar necessário:

1. Explique os conceitos que foram aprendidos em Termodinâmica (temperatura, calor, energia interna, trabalho e entropia):

1.1. O que você entende por temperatura? _____

1.2. O que significa fisicamente calor para você? _____

1.3. O que você entende por energia interna? _____

1.4. O que significa fisicamente trabalho para você? _____

1.5. O que você entende por entropia? _____

2. Procure explicar as relações que você percebe entre os conceitos. Use desenho, se necessário:

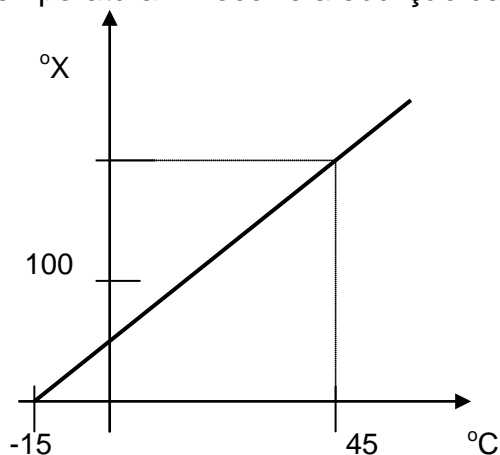
2.1. Explique de que forma você relacionaria os conceitos calor, energia interna e trabalho: _____

2.2. Explique de que forma você relacionaria os conceitos temperatura e entropia: _____

2.3. Explique de que forma você relacionaria os conceitos temperatura, calor, energia interna, trabalho e entropia: _____

3. Como você resolveria as seguintes situações? Use desenho, se necessário:

3.1) O gráfico mostra a relação entre as temperaturas que são registradas por dois termômetros, um em escala $^{\circ}\text{C}$ (Celsius) e outro em X° , quando a pressão é 1 atm. Essa relação mantém-se para temperaturas entre -50°C e 200°C . Para que temperatura X° ocorre a ebulição da água a 1 atm (Buchweitz e Axt, 1996)?



3.2) Suponha que você aqueça 2 L de água no fogo por um certo tempo, e que sua temperatura se eleve de 4°C . Se você colocar 2 L de água no mesmo fogo pelo mesmo tempo, em quanto se elevará a temperatura (Hewit, 2002)?

3.3) Ocorre transferência de calor na seguinte situação (entre corpos à temperatura de -10°C e à temperatura de 20°C ? Explique:

-10°C

20°C

3.4) O que se poderia afirmar a respeito da energia interna na água a 0°C resultante da fusão de um cubo de gelo também a 0°C ? Explique (adaptado de Ostermann e Moreira, 1999):

3.5) Quando um sistema troca energia com a sua vizinhança: Se for realizado trabalho pelo sistema o que acontecerá com a energia interna do sistema? Este trabalho realizado será positivo ou negativo? Justifique sua resposta (adaptado de Máximo e Alvarenga, 1998):

3.6) Um sistema sofre uma transformação irreversível na qual ele interage com sua vizinhança. O que acontece com a entropia deste sistema? Explique por quê (adaptado de Máximo e Alvarenga, 1998):

4. As figuras 1 e 2 representam o resfriamento e o aquecimento de uma xícara de café. A partir das figuras responda às seguintes questões (Castro e Ferracioli, 2002):

4.1) Descreva uma maneira de ir de A para B:



Figura 1 - Resfriamento do café.

4.2) Descreva uma maneira de ir de B para A:





Figura 2 - Aquecimento do café.

4.3) Descreva as possíveis razões que explicam os processos de A para B:

4.4) Descreva as possíveis razões que explicam os processos de B para A:

4.5) Existem leis da Física que explicam os processos A para B? Quais?

4.6) Existem leis da Física que explicam os processos B para A? Quais?

| | | |
|---|--|--|
|  <p>UNIVERSIDADE DE BURGOS</p> | <p>PROGRAMA INTERNACIONAL DE DOUTORADO EM ENSINO DE CIÊNCIAS</p> <p>ENTREVISTA</p> |  <p>UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL</p> |
|---|--|--|

Prezado aluno:

Este instrumento tem o objetivo de identificar as dificuldades que continuam persistindo após o estudo da Termodinâmica. Para minimizar essas dificuldades, no processo ensino-aprendizagem, solicitamos a sua colaboração respondendo às seguintes questões. Muito obrigada pela sua colaboração.

Idade: _____

Sexo: _____

Série: _____

Curso: _____

Responda às seguintes questões.

Conjunto de questões 1:

1.1) Ocorre transferência de calor na seguinte situação (entre corpos à temperatura de -10°C e à temperatura de 20°C)? Explique:

-10°C

20°C

1.2) Ocorre transferência de calor na seguinte situação (entre corpos à temperatura de -40°C e à temperatura de -10°C)? Explique:

-40°C

-10°C

1.3) Ocorre transferência de calor na seguinte situação (entre corpos à temperatura de 10°C e à temperatura de 40°C)? Explique:

| |
|----------------------|
| 10°C |
|----------------------|

| |
|----------------------|
| 40°C |
|----------------------|

1.4) Ocorre transferência de calor na seguinte situação (entre corpos à temperatura de -20°C e à temperatura de 30°C)? Explique:

| |
|-----------------------|
| -20°C |
|-----------------------|

| |
|----------------------|
| 30°C |
|----------------------|

Conjunto de questões 2:

2.1) Quando um sistema troca energia com a sua vizinhança: Se for realizado trabalho pelo sistema o que acontecerá com a energia interna do sistema? Este trabalho realizado será positivo ou negativo? Justifique sua resposta (adaptado de Máximo e Alvarenga, 1998):

2.2) Um sistema sofre uma transformação na qual ele absorve 210 J de calor e se expande, realizando um trabalho de 320 J.

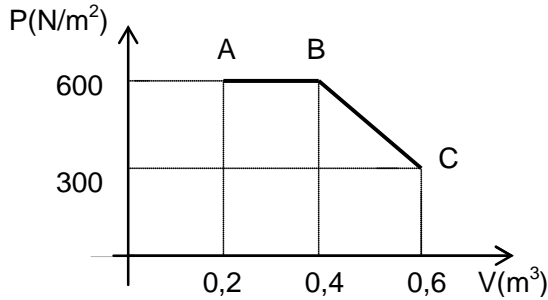
Calcule a variação da energia interna que o sistema experimentou?

Interprete o significado desta resposta (houve aumento ou diminuição da energia interna) (Máximo e Alvarenga, 1998):

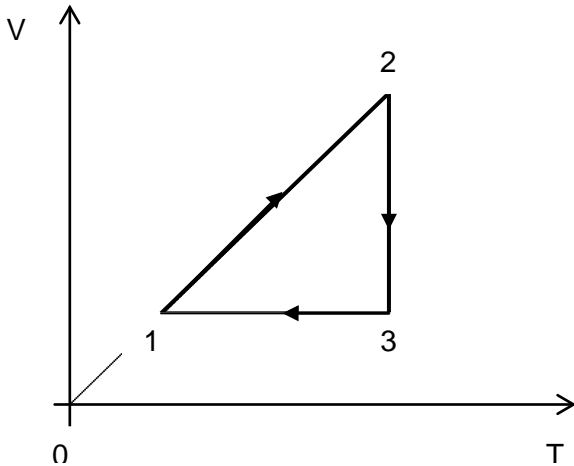
2.3) Certa quantidade de gás ideal sofre a transformação ABC indicada no gráfico. Durante o processo, o gás recebe 500J de calor de uma fonte térmica.

O trabalho realizado é positivo ou negativo?

A variação da energia interna é positiva ou negativa? Há um aumento ou diminuição de energia interna?



2.4) É positivo ou negativo o trabalho realizado pelo gás durante os processos 1-2, 2-3 e 3-1 representados na figura? Determine se o gás recebe ou cede calor em cada um desses processos? O que acontece com a energia interna? (Bukhovtsev, Klimontovitch e Miakichev, 1982, p.65)



Conjunto de questões três:

3.1) A figura representa o aquecimento de uma xícara de café. A partir da figura, descreva uma maneira de ir de B para A (Ferracioli e Castro, 2002):



3.2) É possível ceder calor a um gás e sua temperatura não sofrer variação? Explique (Máximo e Alvarenga, 1998).

3.3) É possível fornecer calor a um gás e, apesar disto, sua temperatura diminuir? Explique (Máximo e Alvarenga, 1998).

3.4) Assinale as afirmativas seguintes e diga se cada uma delas está certa ou errada. Justifique sua resposta.

I - Sempre que um gás recebe calor, sua temperatura sofre um acréscimo.

II - Se um gás recebe calor e sua energia interna não varia, seu volume aumenta obrigatoriamente (Máximo e Alvarenga, 1998).

**APÊNDICE III – MATERIAIS DOS ESTUDOS EXPERIMENTAIS
(EXEMPLOS DE DISCUSSÃO ESCRITA E TRANSCRIÇÃO DE
DISCUSSÕES DAS SITUAÇÕES SOBRE TEMPERATURA, CALOR,
ENERGIA INTERNA, TRABALHO E ENTROPIA)**

EXEMPLO DE DISCUSSÃO ESCRITA DE SITUAÇÕES SOBRE TEMPERATURA



FUNDAÇÃO LIBERATO

Aluno: Prison S.S ; George V.S N°: 09,21 Turma: 2311

Curso: Eletrotécnica

Professor: Edi Terezinha de Oliveira Grings

Data: 14/06/07

Disciplina: Física

Situações sobre temperatura:

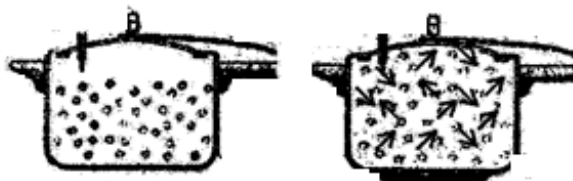
Discuta em dupla e responda as seguintes situações:

- 1) Uma pessoa encontra-se com febre.
 - a) Como é possível perceber a febre desta pessoa?
 - b) Como você diagnosticaria o estado febril e o não febril?

a) É possível perceber a febre através do termômetro quando marca acima $36,5^{\circ}\text{C}$.

b) O estado febril é quando a temperatura do corpo é maior que $36,5^{\circ}\text{C}$ e o estado não febril é quando é igual a $36,5^{\circ}\text{C}$.

- 2) A figura abaixo mostra duas panelas com uma determinada substância. A segunda mostra uma maior energia cinética média do movimento de agitação de seus átomos e moléculas. Como você relacionaria a energia cinética média do movimento de agitação de seus átomos e moléculas com a sensação térmica das panelas? Por quê?



A sensação térmica da segunda panela é maior que a sensação térmica da primeira panela, por que as moléculas da segunda panela se movimentam mais que as da primeira panela.

- 3) Vamos supor que na situação 2, a segunda panela tivesse o dobro do volume, com o mesmo comportamento dos átomos e moléculas. Você observaria diferença na temperatura? Explique:

Não, porque os movimentos dos átomos e moléculas tem o mesmo comportamento mesmo após o aumento do volume da panela.

- 4) A água de uma chaleira a temperatura ambiente apresenta determinada energia cinética média de movimento de seus átomos e moléculas. Quando a chaleira é colocada sobre uma chama há um aumento da energia cinética média de seus átomos e moléculas. Por quê?

Porque a água da chaleira será aquecida e a um aumento de temperatura que aumenta o movimento de seus átomos e moléculas e conseqüentemente a energia cinética.

- 5) Vamos supor uma situação em que a energia cinética média dos átomos e moléculas que constituem um corpo seja praticamente nula, ou seja, os átomos e moléculas estão praticamente em repouso. Poder-se-ia relacionar esta situação com uma temperatura? Poder-se-ia fazer leituras de temperaturas inferiores a esta? Por quê?

Sim, relaciona-se a uma temperatura muito baixa. Não se pode fazer leituras de temperaturas inferiores, pois já estão numa situação mínima que pode chegar

- 6) Um corpo A, a uma temperatura de 60°C , é colocado em contato com um corpo B, cuja temperatura é 20°C , sendo ambos isolados de influências externas.
- O que vai acontecer com a temperatura do corpo A? E com a temperatura do corpo B?
 - O que acontece com os átomos e moléculas de A e de B? Por quê?

a) A temperatura do corpo A irá diminuir e a temperatura B irá aumentar.

b) Os átomos e moléculas de A irão diminuir o movimento e os átomos e moléculas de B irão aumentar seu movimento. Porque suas temperaturas irão entrar em equilíbrio.

EXEMPLO DE TRANSCRIÇÃO DE DISCUSSÕES DAS SITUAÇÕES SOBRE TEMPERATURA

Dupla 1- Gravação Ari e Sol – dia 14/06

As alunas são muito dedicadas e estão sempre prontas a colaborar, embora apresentem dificuldades ao realizar as tarefas.

A aluna faz a leitura da situação:

A: Discuta em dupla e responda as seguintes situações:

1) Uma pessoa encontra-se com febre.

a) Como é possível perceber a febre desta pessoa?

Através do aumento da temperatura.

B: Não, mas depois, como tu vais ver o aumento da temperatura. Como tu vai ver que aumentou a temperatura?

A: Tu vai perceber a febre.

B: Não, através do termómetro. Vai ter o aumento. Já que está com febre vai ter o aumento.

A: Mas será que é pelo instrumento. Ou é para dizer, pelo aquecimento, porque aqui diagnóstico o estado febril não febril. Aqui é para dizer a temperatura que é febril e não febril.

B: Ah! Tá. A: Eu acho.

B: Certo. A temperatura do corpo, eu acho que é 35° . A: 36° , acima de 36° é febre.

A: O professora, aqui na um é para falar através das alterações do corpo ou do instrumento que usa para saber?

P: Pode falar das duas formas.

A: A temperatura do corpo normal é 35 ou 36. P: $36,5^{\circ}$. A: Acima de $36,5^{\circ}$ é febre.

P: É. A: Tá então tá. Uma pessoa encontrando-se com febre como é possível perceber a febre desta pessoa.

A: É Possível perceber a febre desta pessoa através de um aparelho. Através do termómetro. É possível perceber a febre através do termómetro.

B: Quando marcar.

A: Quando marcar acima de 36.

B: Espera aí, talvez ele tenha. A: $36,5^{\circ}\text{C}$.

(A aluna B escreve).

A: Como você diagnosticaria o estado febril e o não febril? O estado febril é quando a temperatura do corpo é maior do que $36,5^{\circ}$. E o estado não febril é inferior ou igual a $36,5^{\circ}$.

A aluna A lê a situação 2:

2)A figura abaixo mostra duas painelas com uma determinada substância. A segunda mostra uma maior energia cinética média do movimento de agitação de seus átomos e moléculas. Como você relacionaria a energia cinética média do movimento de agitação de seus átomos e moléculas com a sensação térmica das painelas? Por quê?

A: Tá, a figura abaixo mostra duas painelas com uma determinada substância.

B: As duas são iguais, a segunda mostra uma maior energia cinética média do movimento de agitação dos seus átomos e moléculas. Como você relacionaria a energia cinética média do movimento de agitação de seus átomos e moléculas com a sensação térmica das panelas? Por quê?

B: Há, esta está com uma temperatura maior que esta.

A: Por causa do movimento das moléculas.

B: Porque elas são a mesma, então quando a água ferve, as moléculas se movimentam mais.

A: Então bota, com o aumento da energia cinética. A segunda panela tem um movimento maior, porque a temperatura inicial é maior que a primeira. Como você relacionaria a energia cinética média do movimento de agitação de seus átomos e moléculas com a sensação térmica das panelas? Bom, a sensação térmica da segunda é maior que

B: a da primeira.

A: A sensação térmica da segunda é maior que a da primeira.

B: Segunda panela.

A: Segunda panela é maior que a sensação térmica da primeira.

B Da primeira panela.

A: da primeira panela.

B: panela.

A: Porque,

B: Porque:

A: Porque com o aumento, mais movimento das moléculas, há uma aumento de temperatura.

B: Porque a segunda tem mais movimento então que.

B: Porque as moléculas da segunda panela tem movimentação maior

A: que movimento mais que a da primeira.

B que a da primeira.

A: A sensação térmica da segunda panela é maior que a sensação térmica da primeira panela, porque as moléculas da segunda panela se movimentam mais que a da primeira panela.

B: Panela.

A: A aluna lê a situação 3:

3) Vamos supor que na situação 2, a segunda panela tivesse o dobro do volume, com o mesmo comportamento dos átomos e moléculas. Você observaria diferença na temperatura? O dobro do volume, se tivesse mais.

B: Acho que sim, porque tem aquela fórmula, da quantidade.

A: Mas é a quantidade de calor, o volume, aumentaria a massa, aumentaria a massa, aumentaria a quantidade de calor, mas aquele ΔU é a diferença de coisa, não é a temperatura.

B: A temperatura então está relacionada ao movimento das moléculas em diferentes seja mais.

A: Essa aqui tipo água, se colocar fogo na água vai demorar menos, para ferver.

B: Porque na situação 2 se a segunda panela tivesse o dobro do volume com o mesmo comportamento dos átomos, aumenta.

A: É mais é o mesmo comportamento dos átomos e moléculas.

B: se observaria diferença na temperatura. A: Não, pois o movimento dos átomos continua igual.

B: É porque o movimento seria proporcional ao, seria igual ao que tivesse menos porque eles se comportam igual.

A: das moléculas.

B: Não, o movimento dos átomos e moléculas.

A: Dos átomos e moléculas.

B: Não teria alteração de comportamento.

A: então vamos colocar assim, porque o movimento dos átomos e moléculas, eu tinha pensado a palavra daí tu falou. Os átomos e moléculas. Os átomos e moléculas, eles tem o mesmo comportamento, né. Os átomos e moléculas continuam movimentando.

B: Apesar de o volume ser o dobro, eles têm o mesmo comportamento. A: Então continuam com o mesmo comportamento.

B: Após o aumento de volume.

A: Não, porque o movimento dos átomos e moléculas significa que.

B: Eu entendi, que tu quer a mesma coisa. O que tu botar?

A: Não porque os movimentos dos átomos e moléculas tem a mesma intensidade após o aumento do volume. Tem o mesmo comportamento.

B: Tem a mesma intensidade.

A: Tem a mesma intensidade e comportamento dos átomos e moléculas.

B: É que eu tenho meio receio de colocar palavras diferentes.

A: Tem o mesmo comportamento, mesmo após o aumento de volume, mesmo após o aumento do volume da panela. O volume da panela.

A: A aluna lê a situação:

4) A água de uma chaleira a temperatura ambiente apresenta determinada energia cinética média de movimento de seus átomos e moléculas. Quando a chaleira é colocada sobre uma chama há um aumento da energia cinética média de seus átomos e moléculas. Por quê?

B: Porque ela foi submetida a uma temperatura no seu estado normal, a uma temperatura ambiente.

A: A chaleira será submetida a um aumento de temperatura.

B: Há uma troca de energia com a energia do fogão mais a energia da panela, causando um aumento de temperatura.

A: Uma temperatura elevada que vai tentar se equilibrar.

B: A temperatura que ela foi submetida no caso porque a chaleira aumenta a temperatura.

A: Aumento de temperatura...

B: Aumento de temperatura que é maior que sua temperatura.

B: Se há um aumento é porque é maior, né, Ariane.

B: Porque é maior do que a temperatura que estava. Certamente foi submetida a um aumento de temperatura.

B: Então, a temperatura que a água estava, ambiente, vai tentar se equilibrar com a temperatura a que ela foi submetida. Deixa eu colocar isto.

A: A água da chaleira com a temperatura ambiente tentará se equilibrar, com a temperatura...

B: A água da chaleira que estava com sua temperatura ambiente.

A: Não, que tinha a temperatura ambiente tentará se equilibrar com a temperatura submetida.

B: Que tinha a temperatura ambiente equilibra com a temperatura submetida formando uma temperatura diferente desta.

A: A água da chaleira que tinha a temperatura ambiente se equilibra a temperatura submetida.

B: Não, porque ela não vai se equilibra, ela vai chegar no máximo até 100° e vai ferver e vai evaporar, então ela vai.

A: Ah! Tá, tá. É que vai estar em constante aumento.

B: É. Ela não vai se equilibrar.

A: A chaleira será submetida a um aumento de temperatura, então a água da chaleira a temperatura ambiente aumentará com o tempo até chegar o estado de 100° .

B: E vai evaporar.

A: Não, não, não, isto daí é uma outra explicação, dentro da evaporação.

B: A gente pode botar assim, aumentou a temperatura porque.

A: Por que vai aumentar a temperatura?

B: Porque vai haver uma maior movimentação dos átomos e moléculas.

A: Sim, mas é isto que ela está perguntando, porque vai haver uma movimentação de átomos e moléculas.

B: Porque a chaleira será submetida a um aumento de temperatura que impulsionará os átomos e moléculas.

A: Será isto, a gente vai apagar ali, o que eu falei.

B: É.

A: A água da chaleira que tinha a temperatura ambiente, há um aumento de átomos e moléculas.

B: Não acho que a gente pode tirar este negócio de temperatura.

A: A água da chaleira será submetida a um aumento de temperatura que impulsionará o movimento dos átomos.

B: Impulsionará o movimento dos átomos e moléculas, porque.

A: Porque a água da chaleira será submetida a um aumento de temperatura, que aumentará o movimento dos átomos e moléculas e conseqüentemente a energia cinética.

B: Ta, pera aí.

A: Conseqüentemente a energia cinética.

5) Vamos supor uma situação em que a energia cinética média dos átomos e moléculas que constituem um corpo seja praticamente nula, ou seja, os átomos e moléculas estão praticamente em repouso. Poder-se-ia relacionar esta situação com uma temperatura? Poder-se-ia fazer leituras de temperaturas inferiores a esta? Por quê?

B: Acho que sim, sim poderia, eles estão a 0° , eles estão congelados.

A: Poderia colocar assim. Poderia se relacionar com alguma temperatura, sim é que a gente não sabe qual é a situação, porque ela não explicou, quando está a 0° , se realmente elas estão paradas ou não.

B: Isto não é para a gente ter certeza, é para falar o que a gente acha, então a gente poderia usar o polígrafo para ter certeza.

B: Inferior, ela está dizendo que é baixa.

A: Mas está perguntando.

B: Sim eu sei, praticamente ainda nula. Quando for nula a energia cinética.

A: A energia cinética, bem mas não mede a temperatura.

B: Não, mas quando a temperatura é baixa, eles não se movimentam.

A: ...

- B: Poder-se-ia relacionar esta situação com alguma temperatura. Relaciona-se com uma temperatura muito baixa. Quase chegando a 0° .
- A: Poder-se ia fazer leituras de temperaturas inferiores a esta? Tem porque, tem que ver o porquê da primeira. Sim ela porque apesar dela estar praticamente nula, tem uma certa temperatura. Ela está pedindo que é para relacionar ... movimento com a temperatura.
- B: Pode, né. Tem que dizer porque, porque ela é alta ou ela é baixa.
- A: Porque ela é baixa.
- A: Poder-se ia relacionar esta situação com alguma temperatura?
- B: Não lembra ontem quando a água está fervendo, elas estavam muito movimentadas.
- A: Está eu sei, mas
- B: Tu achas que no gelo elas se movimentam. Provavelmente a temperatura não vai ser alta.
- A: Relaciona-se com uma temperatura muito baixa. Deve ser zero ou não.
- B: É aleatório dizer porque a gente não tem a quantidade.
- B: Mas, só pelo movimento de moléculas dá para dizer.
- A: Mas tu não sabe se é a zero ou abaixo de zero, pode ser 1.
- B: Pois é.
- A: Então só põe muito baixa.
- B: Praticamente numa, ela vai estar nula abaixo de zero.
- A: Bom, daí eu não sei.
- B: A gente pode colocar, só que ela se relaciona a uma temperatura muito baixa.
- A: Poder-se ia fazer leituras de temperaturas inferiores a esta?
- B: Professora, aqui praticamente nula, é como ela estivesse parada.
- P: É aquela situação de energia mínima possível.
- A: Mínima, então não pode ter temperaturas inferiores.
- P: Não.
- A: Até porque elas já estão paradas, elas já estão paradas, pois já estão numa situação máxima. B: mínima que pode chegar.
- A: Mínima ou máxima.
- B: Não, máxima é ferver, quando chega a 100° , ela não ferve mais, só vai evaporar.
- A: Não, mas tem que ver o sentido da frase, estou querendo falar máxima ou mínima da temperatura da situação do corpo entendeu. Se é mínima ela ainda pode chegar a um máximo. Máximo ali é o limite dela, situação em que a energia cinética é praticamente nula, entendeu, tem que ver o sentido da frase. Pode botar uma situação máxima de comportamento.
- B: Está, mas daí tem que falar de comportamento de que.
- A: Da energia cinética de um corpo, ali.
- B: Está, não vamos colocar nem mínimo, nem máximo. Vou colocar máximo, mas tem que falar como.
- A: Que ela está numa situação máxima, quase parando.
- A: Pode se encontrar a situação da energia cinética deste corpo. Ele está numa situação. Se botar mínima, mínima a que pode chegar. Então põe mínima a que pode chegar. Se fosse máxima a gente teria que explicar.
- B: Quê? Se fosse máxima a gente teria que explicar.

6) Um corpo A, a uma temperatura de 60°C , é colocado em contato com um corpo B, cuja temperatura é 20°C , sendo ambos isolados de influências externas. a) O que vai acontecer com a temperatura do corpo A? E com a temperatura do corpo B?

A: A temperatura do corpo A irá diminuir e a do B aumentar.

b) O que acontece com os átomos e moléculas de A e de B? Por quê?

A: Os átomos e moléculas de A irão diminuir a movimentação. B: Os átomos e moléculas...

A: e as moléculas de B irão aumentar a movimentação para entrar em equilíbrio com a temperatura do outro. Ah, tem porque também. Porque então irão entrar em equilíbrio. Tu pode colocar porque as moléculas e átomos de A.

B: Porque a temperatura de A tentará entrar em equilíbrio com a temperatura de B.

A: As moléculas de A vão diminuir e as de B vão aumentar.

B: A gente já falou que vão aumentar e diminuir. Porque a temperatura de uma vai equilibrar com a outra por isso mesmo a movimentação é a mesma.

A: O que tu está escrevendo?

B: Porque irão tentar equilibrar as temperaturas.

A: Ah, tá.

A: Porque suas temperaturas tentarão entrar em equilíbrio.

B: Tentarão ou irão.

A: Irão.

EXEMPLO DE DISCUSSÃO ESCRITA DE SITUAÇÕES SOBRE CALOR



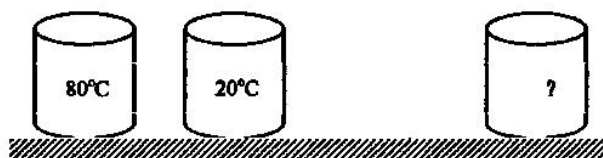
FUNDAÇÃO LIBERATO

Aluno: Nicole Procopinho J. Polzem KlimNº: 22125 Turma: 2311Curso: EletrotécnicaData: 03 / 08 / 07Professor: Edi Terezinha de Oliveira GringsDisciplina: Física

Situações:

Discuta em dupla e responda as seguintes situações:

- 1) Suponha dois copos com 100 ml de H₂O. No primeiro a água está à temperatura de 80°C e no segundo a 20°C. As águas são misturadas.
- a) O que acontece com a temperatura da mistura? Explique por que isto acontece.



a) O H₂O irá entrar em equilíbrio térmico não haverá nem quente nem frio, porque os líquidos estão em diferentes temperaturas.

- 2) Suponha dois copos um com 100 ml de H₂O e outro com 200 ml de H₂O, ambos à temperatura de 60°C. As águas são misturadas.
- a) O que acontece com a temperatura da mistura?
- b) Para que haja alteração da temperatura da água da mistura, como deve ser as temperaturas das águas antes da mistura? Explique.

a) A temperatura se mantém, já que o volume não irá mudar.

b) Deverá haver uma diferença de temperatura entre eles.

- 3) Têm-se dois copos um com 100 ml de H₂O e outro com 200 ml de H₂O. No primeiro a água está à temperatura de 80°C e no segundo está à temperatura de 20°C?
- a) O que acontece com a temperatura da água da mistura?
- b) Qual é a condição necessária para que haja alteração na temperatura da água da mistura? Explique.

a) Como temos volumes e temperaturas diferentes, após teremos um equilíbrio térmico, e assim tende a diminuir a temperatura do recipiente menor (90°C).

b) Deve haver uma diferença de temperatura.

- 4) Um cilindro de alumínio de 200g à temperatura de 40°C é colocado em água à temperatura de 20°C, no interior de um calorímetro. O que acontece com a temperatura da água e do cilindro? Explique.

O cilindro está com uma temperatura superior a da água, então quando ele entrar em contato com a água ele tende a diminuir a temperatura dele. E assim após algum tempo um equilíbrio.

- 5) Um cilindro de alumínio de 200g à temperatura de 20°C é colocado em água também à temperatura de 20°C, no interior de um calorímetro. O que acontece com a temperatura da água e do cilindro de alumínio?
- a) Em todas as situações apresentadas qual é a condição necessária para que haja uma variação na temperatura inicial?
- b) O que você acha que acontece quando há esta variação de temperatura?

5) permanecem iguais, pois possuem as mesmas temperaturas.

a) diferença de temperatura

b) acontece uma troca de energia interna.

EXEMPLO DE TRANSCRIÇÃO DE DISCUSSÕES DAS SITUAÇÕES SOBRE CALOR

Dupla 1- Gravação Ari e Sol – dia 03/08

As alunas são muito dedicadas e estão sempre prontas em colaborar, embora apresentem dificuldades ao realizar as tarefas.

Aluna 1: Discuta em duplas e responda as seguintes situações:

Número 1. Suponha dois copos com 100 ml de H₂O. No primeiro a água está a temperatura de 80°C e no segundo a 20°C. As águas são misturadas, o que acontece com a temperatura da mistura? Por que isso acontece?

Aluna 2: Entra em equilíbrio, porque dois corpos com temperaturas diferentes tendem a entrar em equilíbrio.

Aluna 1: Número 2. Suponha dois copos, um com 100 ml de H₂O e outro com 200 ml de H₂O, ambos a temperatura de 60°C, as águas são misturadas. A) O que acontece com a temperatura da mistura?

Aluna 2: Continua a mesma.

Aluna 1: A diferença de quantidade de água não vai interferir, continua em 60°.

Aluna 1: B) Para que haja alteração da temperatura da água da mistura como devem ser as temperaturas das águas antes da mistura? Diferentes, porque os dois corpos com temperaturas diferentes entram em equilíbrio quando misturados.

Aluna 1: Número 3. Têm-se dois copos, um com 100ml de H₂O e outro com 200ml de H₂O. No primeiro a água está com temperatura de 80°C e no segundo está com temperatura de 20°C. A) O que acontece com a temperatura da água da mistura? Entra em equilíbrio.

Aluna 2: Mas a primeira é mais quente e tem mais quantidade, já a segunda é pouca e mais fria.

Aluna 1: Mas se for comparar, o teu corpo entra em equilíbrio com o termômetro, e eles têm pesos bem diferentes.

Aluna 2: Então eles entram em equilíbrio.

Aluna 1: Olha a pergunta B, Qual é a condição necessária para que haja alteração na temperatura da água da mistura?

Aluna 2: É para explicar que precisam ter temperaturas diferentes.

Aluna 1 pergunta à professora: Um corpo, por exemplo no caso do copo, que tem uma temperatura de 80°C mas tem 100ml de água, e o outro tem 200ml com temperatura de 20°C. A quantidade de água de um para o outro vai interferir no equilíbrio da temperatura?

Professora: De qualquer forma eles vão entrar em equilíbrio depois de um determinado tempo, mas o que vai acontecer com a temperatura da água? Na verdade tu tens uma quantidade menor de água com uma temperatura maior e uma maior quantidade de água com uma temperatura menor. O que vai acontecer com a temperatura da água da mistura?

Aluna 2: Vai ser mais fria do que quente?

Professora: Como assim?

Aluna 2: A que tem mais água com menor temperatura.

Professora: Tu achas, por exemplo, que a temperatura não vai ser média?

Aluna 1: Mas elas não vão entrar em equilíbrio?

Aluna 2: Mas não bem na metade das duas.

Professora: Exatamente, elas vão entrar em equilíbrio. O que significa entrar em equilíbrio?

Aluna 2: Ficar com a mesma temperatura.

Professora: As duas, ou seja, na verdade a mistura vai entrar em equilíbrio térmico, que é a mesma temperatura. Agora que temperatura é esta? Fica um pouco difícil para nós sabermos, porque vocês têm quantidades de água diferentes com temperaturas diferentes. Até dá para fazer uma avaliação.

Aluna 1: Número 4. Um cilindro de alumínio de 200g à temperatura de 40°C é colocado em água à temperatura de 20°C, no interior de um calorímetro. O que acontece com a temperatura da água e do cilindro? Explique: Também entrarão em equilíbrio térmico.

Aluna 2: Tudo entra em equilíbrio térmico.

Aluna 1: Número 5. Um cilindro de alumínio de 200g à temperatura de 20°C é colocado em água, também à temperatura de 20°C, no interior de um calorímetro. O que acontece com a temperatura da água e do cilindro de alumínio?

Aluna 2: Permanecem ambos com a mesma temperatura.

Aluna 1: A) Em todas as situações apresentadas, qual é a condição necessária para que haja uma variação na temperatura inicial?

Aluna 2: Que os dois corpos tenham temperaturas diferentes.

Aluna 1: B) O que você acha que acontece quando há essa variação de temperatura?

Aluna 2: Partículas e moléculas têm momentos e constituição de seu movimento dependendo da variação de temperatura. Isso ocorre através da transferência de calor de um corpo para outro, quando ambos têm temperaturas diferentes.

Dupla 2- Gravação NIC e ROB – dia 03/08

Os alunos tem bastante facilidade em resolver as tarefas, mas são pouco dedicados na sua realização.

NIC: aqui tem dois corpos com cem metros de água no primeiro ele esta com uma temperatura de 80 graus no segundo de 20 graus. Nos dois corpos tem temperatura diferente. O que esta acontecendo? Se agente mistura os dois corpos, o 60 e os 20 também vão se misturar é que nem.

ROB: (inaudível)

NIC: Tá é que nem mistura 100 com 200 fica diferente. Assim que fica na temperatura (inaudível) é né a temperatura vai continuar 60 graus Celsius por que o volume não vai interferi ai se para alteração na temperatura o que tu vai fazer com essa água.

ROB: No objeto um essa água fica com diferentes temperaturas.

NIC: Ta tem dois corpos um com 100 ml e outro com 500 ml o volume também é diferente, no primeiro o volume é 80, no segundo está com 20. O que acontece com a temperatura no 1. No primeiro é 80 no segundo é 20, então suponhamos que no volume do ar tenha aumentado, no volume da água.

ROB: Ele muda de lugar?

NIC: Não ele fica no mesmo lugar.

ROB: Tá então tá bom.

NIC: Aí o que esta acontecendo quando temos um volume diferente não haverá dificuldade.

ROB: Deixa-me copiar.

NIC: Só um pouquinho. E tende a ficar mais fria a água esta a diminuir a temperatura desse o equivalente renova. Ó eu coloquei assim “como temos o volume de temperatura diferente a hora que sai tende a diminuir a temperatura do recipiente menor para a temperatura de 80 graus”.

ROB: (inaudível)

NIC: Se esvaziar no recipiente um vai estar mais quente a água.

ROB: Ele vai esvaziar?

NIC: Não ele não vai esvaziar (inaudível)

ROB: Respondeu?

NIC: Já. Haverá um número...

ROB: (inaudível)

NIC: Acho que sim por que ele tem a mesma temperatura. Vamos lá para próxima, um cilindro de alumínio com 200g tem a temperatura de 40 graus é colocado na água acima de 20 graus Celsius. Ele é colocado no interior de um calorímetro o que acontece com a temperatura da água e do cilindro. Bom, o cilindro esta mais quente que a água, quando eles entram em contato um com o outro indo para... Vamos lá vamos tentar um cilindro de alumínio com 200g tem a temperatura de 40 graus é colocado na água acima de 20 graus ele é colocado no interior de um calorímetro o que acontece com a temperatura da água e do cilindro? Explique. O cilindro esta mais...

ROB:...Quente.

NIC: Quente que a água então quando entra em contato com a água o cilindro esquenta.

ROB: Escreve aí.

NIC: O cilindro esta com...ele tende a aumentar a temperatura no caso o cilindro esta com uma temperatura inferior a da água. ROB!

ROB: O que?

NIC: Tem uma temperatura inferior à da água quando eles se tocam assim vai aumentar a temperatura dela e assim após ele aumentado a temperatura dela a temperatura dele diminui

(ela rele novamente a questão do trabalho).

ROB: (inaudível) o meu deixa.

NIC: Tá permanece igual à pergunta A em todas as situações apresentadas qual é a condição necessária para que haja uma variação de temperatura inicial?

ROB: A diferença de temperatura ele vai esfriar na água e derreter quem nem tu falou.

NIC: Tá e o volume.

ROB: (inaudível)

NIC: Aqui aconteceu a variação por que o volume estava diferente também.

ROB: Correto companheira.

NIC: O que você acha que acontece quando há esta variação de temperatura?

ROB: Uma troca de energia. Me alcança aquela folhinha de lá.

NIC: Acontece uma troca de energia entre dois corpos.

EXEMPLO DE DISCUSSÃO ESCRITA DE SITUAÇÕES SOBRE ENERGIA
INTERNA



FUNDAÇÃO LIBERATO
Aluno: Robson R. V. Artur
Curso: Eletrotécnica
Professor: Edi Terezinha de Oliveira Grings

Nº: 2508 Turma: 2311
Data: 1/1/
Disciplina: Física

Situações

Discuta em dupla e responda as seguintes situações:

- 1) Um preguinho de ferro e um bloco grande também de ferro são retirados de um forno quente, depois de permanecer ali por certo tempo.
- O que se pode afirmar a respeito das temperaturas do preguinho e do bloco de ferro? Explique.
 - Quando forem mergulhados em recipientes idênticos, com água na mesma temperatura (20°C), qual deles elevará mais a temperatura da água? Explique.
 - Qual é a diferença entre os dois corpos que determina uma maior temperatura em uma das quantidades de água? Explique.

a) As temperaturas ficarão em equilíbrio térmico, devido a fonte de aquecimento é a mesma.

b) O bloco, pois seu volume é maior.

c) O volume, pois a proporção de volume é diretamente proporcional a sua capacidade de conduzir calor.

- 2) Suponha dois recipientes contendo a mesma quantidade de água a mesma temperatura (20°C), é colocado no primeiro um bloco de ferro à temperatura de 50°C , e no segundo um bloco de ferro de mesma massa que o anterior, mas à temperatura de 80°C .

a) Em qual das situações a água aquecerá mais? Justifique sua resposta.

b) Compare o preguinho e o bloco de ferro da situação um com os blocos de ferro desta situação dois. Nas duas situações o que determina o aumento da temperatura da água.

b) O que os corpos apresentam de similar nas duas situações?

a) A segunda, porque o bloco a 80°C tem mais calor para liberar.

b) Na primeira a resposta é pela massa e na segunda a diferença de temperatura.

b) A massa específica.

- 3) Um cubo de gelo pequeno à 0°C e um cubo de gelo grande também a 0°C são colocados em dois recipientes contendo a mesma quantidade de água. Qual dos dois esfriará mais a quantidade de água? Justifique.

O gelo maior, devido sua massa ser maior, diretamente, sua capacidade de resfriar a água será maior.

- 4) Um barril cheio de água quente transfere mais calor para uma substância mais fria do que uma xícara de água a mesma temperatura. Se as temperaturas são as mesmas, por que o barril transfere mais calor do que a xícara de água?

Porque o barril comporta mais água do que a xícara, logo sua transferência de calor será maior.

- 5) Em alguns casos, como no derretimento do gelo, o calor absorvido realmente não aumenta a temperatura. Neste caso, a substância sofre uma mudança de fase. O que acontece com o calor absorvido, uma vez que não há aumento da temperatura do corpo? Explique.

* Não há mudança de temperatura, mas há transferência de calor.

EXEMPLO DE TRANSCRIÇÃO DE DISCUSSÕES DAS SITUAÇÕES SOBRE ENERGIA INTERNA

Trio 1- Gravação ARI, SOL E NIC – dia 21/09/2007 – 1 período.

As alunas são muito dedicadas e estão sempre prontas a colaborar, mas às vezes apresentam dificuldades ao realizar as tarefas.

Aluna 1: Situações.

Discuta em dupla e responda as seguintes situações:

Número 1. Um preguinho de ferro e um bloco grande também de ferro são retirados de um forno quente depois de permanecer ali por certo tempo:

A) O que se pode afirmar a respeito das temperaturas do preguinho e do bloco de ferro?

Aluna 2: Que eles estão na mesma temperatura do forno.

Aluna 1: Porque eles entram em equilíbrio.

B) Quando forem mergulhados em recipientes idênticos com água na mesma temperatura, 20°C, qual deles elevará mais a temperatura da água? Explique:

Aluna 2: O bloco, porque o preguinho tem menos temperatura.

Aluna 3: O bloco, porque a massa dele é maior.

Aluna 1: C) Qual é a diferença entre os dois corpos que determina uma maior temperatura em uma das quantidades de água? Explique: A diferença de massa entre eles.

Número 2. Suponha dois recipientes contendo a mesma quantidade de água, à mesma temperatura, 20°C. E é colocado no primeiro um bloco de ferro à temperatura de 50°C e no segundo um bloco de ferro de mesma massa que o anterior, mas a temperatura de 80°C:

A) Em qual das situações a água aquecerá mais? Justifique sua resposta:

Aluna 2: Na segunda, pois a massa é a mesma mas a temperatura é maior.

Aluna 1: B) Compare o preguinho e o bloco de ferro da situação um com os blocos de ferro desta situação dois. Nas duas situações, o que determina o aumento da temperatura da água?

Aluna 2: A massa?

Aluna 3: A temperatura. Na situação um eles estão na mesma temperatura, só que as massas são diferentes e na situação dois eles estão com a mesma massa só que as temperaturas são diferentes. Então, eu acho que, a temperatura e a massa podem influenciar.

Aluna 2: Na situação um a massa e na situação dois a temperatura.

Aluna 3: Quando as temperaturas são iguais, o que determina é a massa e quando suas massas são iguais, o que determina é a temperatura diferente.

Aluna 1: C) O que os corpos apresentam de similar nas duas situações?

Aluna 3: É porque colocamos os dois na água e deu diferença na temperatura da água.

Aluna 1: O aquecimento da água.

Número 3. Um cubo de gelo pequeno a 0°C e um cubo de gelo grande também a 0°C , são colocados em dois recipientes contendo a mesma quantidade de água. Qual dos dois esfriará mais a quantidade de água? Justifique:

Aluna 2: O maior. Não os dois, pois ambos estão a 0°C e não há como diminuir mais que 0°C .

Aluna 3: Então a massa talvez não influencia tanto.

Aluna 2: Nesse caso.

Aluna 1: Então a resposta é: não pois apesar de terem massas diferentes eles possuem a mesma temperatura.

Número 4. Um barril cheio de água quente transfere mais calor para uma substância mais fria, do que uma xícara de água a mesma temperatura. Se as temperaturas são as mesmas, porque o barril transfere mais calor do que a xícara de água?

Aluna 2: Por causa das massas diferentes.

Aluna 1: Porque o barril tem massa maior.

Número 5. Em alguns casos, como no derretimento do gelo, o calor absorvido realmente não aumenta a temperatura. Neste caso a substância sofre uma mudança de fase. O que acontece com o calor absorvido uma vez que não há aumento da temperatura do corpo? Explique:

Aluna 3: Aumenta a massa. Porque o gelo derreteu.

Dupla 2- Gravação ROB E ART. – dia 14/06 - dia 21/09/2007 – 1 período

Os alunos apresentam facilidade em realizar as tarefas, mas não apresentavam dedicação suficiente.

Aluno 1: Número 1. Um preguinho de ferro e um bloco grande também de ferro são retirados de um forno quente depois de permanecer ali por certo tempo:

A) O que se pode afirmar a respeito das temperaturas do preguinho e do bloco de ferro?

Aluno 2: Ambos sairão com temperatura mais elevada.

Aluno 1: Eles estarão em equilíbrio térmico, por terem a mesma fonte de calor.

B) Quando forem mergulhados em recipientes idênticos com água na mesma temperatura, 20°C, qual deles elevará mais a temperatura da água? Explique:

O maior, pois ele terá mais calor para liberar que o preguinho.

Aluno 2: C) Qual é a diferença entre os dois corpos que determina uma maior temperatura em uma das quantidades de água? Explique:

Aluno 1: O volume, pois como ele é maior tem mais calor para liberar.

Aluno 2: Número 2. Suponha dois recipientes contendo a mesma quantidade de água, à mesma temperatura, 20°C. E é colocado no primeiro um bloco de ferro à temperatura de 50°C e no segundo um bloco de ferro de mesma massa que o anterior, mas a temperatura de 80°C:

A) Em qual das situações a água aquecerá mais? Justifique sua resposta:

Na segunda, pois tem mais calor para liberar.

Aluno 1: Se a temperatura dele é mais alta que a do outro, ele tem mais calor para liberar. Fica mais quente a água em que for colocado o de 80°C.

B) Compare o preguinho e o bloco de ferro da situação um com os blocos de ferro desta situação dois. Nas duas situações, o que determina o aumento da temperatura da água?

No primeiro é o volume e no outro não, porque é a mesma massa.

Aluno 2: É o mesmo calor específico, pois é o mesmo material.

C) O que os corpos apresentam de similar nas duas situações?

Aluno 1: O material.

Número 3. Um cubo de gelo pequeno a 0°C e um cubo de gelo grande também a 0°C, são colocados em dois recipientes contendo a mesma quantidade de água. Qual dos dois esfriará mais a quantidade de água? Justifique:

O grande.

Aluno 2: Ele tem mais gelo para derreter. Sua capacidade de resfriar a água é maior.

Aluno 1: Número 4. Um barril cheio de água quente transfere mais calor para uma substância mais fria, do que uma xícara de água a mesma temperatura. Se as temperaturas são as mesmas, porque o barril transfere mais calor do que a xícara de água?

Porque o barril tem mais calor para ser transferido.

Aluno 2: Porque o barril comporta mais água que a xícara, logo sua transferência de calor será maior.

Aluno 1: Número 5. Em alguns casos, como no derretimento do gelo, o calor absorvido realmente não aumenta a temperatura. Neste caso a substância sofre uma mudança de fase. O que acontece com o calor absorvido uma vez que não há aumento da temperatura do corpo? Explique:

Acho que equilibra.

Aluno 2: Como não há mudança de temperatura, não há transferência de calor.

Dupla 3- Gravação GIO e REN. – dia 14/06 - dia 21/09/2007 – 1 período

As alunas apresentam facilidade em realizar as tarefas, e são muito dedicadas.

Aluno 1: Número 1. Um preguinho de ferro e um bloco grande também de ferro são retirados de um forno quente depois de permanecer ali por certo tempo:

A) O que se pode afirmar a respeito das temperaturas do preguinho e do bloco de ferro?

Aluno 2: Estão à mesma temperatura.

Aluno 1: Por quê?

Aluno 2: Porque estão dentro de um forno. A massa não interfere.

Aluno 1: Ta, nós sabemos que eles estão submetidos à mesma temperatura, ambos são de ferro e o calor específico deles é o mesmo.

Aluno 2: Mas a massa é diferente, então o calor específico é diferente.

Aluno 1: O calor específico não muda. Acho que eles estarão em equilíbrio térmico, porque eles estão isolados.

B) Quando forem mergulhados em recipientes idênticos com água na mesma temperatura, 20°C, qual deles elevará mais a temperatura da água? Explique:

O que vai elevar mais a temperatura da água será o bloco, porque contém maior massa então transfere maior quantidade de calor.

C) Qual é a diferença entre os dois corpos que determina uma maior temperatura em uma das quantidades de água? Explique:

Aluno 2: A massa.

Aluno 1: Por quê?

Aluno 2: Porque quanto maior a massa, maior a capacidade térmica.

Aluno 1: Número 2. Suponha dois recipientes contendo a mesma quantidade de água, à mesma temperatura, 20°C. E é colocado no primeiro um bloco de ferro à temperatura de 50°C e no segundo um bloco de ferro de mesma massa que o anterior, mas a temperatura de 80°C:

A) Em qual das situações a água aquecerá mais? Justifique sua resposta:

No segundo, pois o calor transferido é maior. Por exemplo, quando pergunta em qual água vai aquecer mais quer saber em qual a quantidade de calor será maior. Aqui a temperatura será 80°C menos 20°C, a diferença de temperatura será 60°C e no primeiro bloco a diferença de temperatura será 30°C.

Aluno 2: Então eu respondo que a água aquecerá mais com o segundo bloco, pois a variação de temperatura que no primeiro bloco.

Aluno 1: B) Compare o preguinho e o bloco de ferro da situação um com os blocos de ferro desta situação dois. Nas duas situações, o que determina o aumento da temperatura da água?

Aluno 2: Na situação um é a massa do bloco que é maior que a do preguinho e na situação dois é a temperatura.

Aluno 1: Nós podemos colocar que nos dois é a capacidade térmica.

C) O que os corpos apresentam de similar nas duas situações? O material de todos é o ferro.

Aluno 2: Então o calor específico deles é o mesmo.

Aluno 1: Número 3. Um cubo de gelo pequeno a 0°C e um cubo de gelo grande também a 0°C, são colocados em dois recipientes contendo a mesma quantidade de água. Qual dos dois esfriará mais a quantidade de água? Justifique:

Aluno 2: É o mesmo caso dos blocos, só que agora vai esfriar mais.

Aluno 1: Só que eles estão à mesma temperatura

Aluno 2: A massa interfere na capacidade térmica. Então o bloco grande vai esfriar mais a água.

Aluno 1: O cubo maior, pois sua capacidade térmica é maior.

Número 4. Um barril cheio de água quente transfere mais calor para uma substância mais fria, do que uma xícara de água a mesma temperatura. Se as temperaturas são as mesmas, porque o barril transfere mais calor do que a xícara de água?

Aluno 2: Por causa da massa.

Aluno 1: Porque a massa do barril é bem superior à massa da xícara, fazendo com que sua capacidade térmica também seja maior.

Número 5. Em alguns casos, como no derretimento do gelo, o calor absorvido realmente não aumenta a temperatura. Neste caso a substância sofre uma mudança de fase. O que acontece com o calor absorvido uma vez que não há aumento da temperatura do corpo? Explique:

O calor absorvido vai fazer com que mude de fase.

Aluno 2: A energia é utilizada para causar a mudança molecular da substância passando do estado sólido para o líquido.

EXEMPLO DE DISCUSSÃO ESCRITA DE SITUAÇÕES SOBRE TRABALHO



FUNDAÇÃO LIBERATO

Aluno: Julia Schuh e Nicole Braganholli 13 Turma: 2311
 Curso: Eletrônica 22 Data: 18/10/07
 Professor: Edi Terezinha de Oliveira Grings Disciplina: Física
 Situações

Discuta em dupla e responda as seguintes situações:

- 1) a) O que acontece com a temperatura das mãos quando uma pessoa esfrega uma na outra?
 b) Foi necessário um corpo com maior temperatura para aumentar a temperatura das mãos?
 c) Então, é possível aumentar a temperatura de um corpo sem um corpo a temperatura mais alta?
 d) Neste caso, o que é necessário?

a) A temperatura aumenta, assim as mãos vão aquecidas por um tempo sendo que as mãos uma vai a outra

b) Não, foi apenas movimento de fricção

c) Sim

d) O movimento de fricção.

- 2) Suponha que uma pessoa agite vigorosamente, durante algum tempo, uma garrafa térmica contendo água.
 - a) O que acontece com a temperatura da água?
 - b) Houve transferência de calor para a água da garrafa?
 - c) Que forma de energia você acha que foi transferida para a água da garrafa?
 - d) Neste caso foi necessário um corpo com temperatura mais alta?

a) Torna a aquecer

b) Sim

c) Energia cinética

d) Não, apenas o movimento feito pela pessoa sobre a garrafa

- 3) a) É possível aumentar a temperatura de um gás sem que necessariamente ele se encontre com uma fonte de calor?
b) De que forma?

a) Sim

b) Manterendo-o, comprimindo.

- 4) Quando inflas o pneu de uma bicicleta com uma bomba, observa-se que este se aquece? Por quê?

Sim, pois ao forçar o ar dentro dele, cria-se uma maior movimentação das moléculas de ar, aumentando a pressão.

- 5) a) O que acontece com a temperatura do ar no interior de uma seringa ao se comprimir rapidamente o êmbolo?
b) Foi transferido calor para o interior da seringa?
c) Então, como aumentou a temperatura do ar?
d) Cite, então, dois processos que permitem aumentar a temperatura de um corpo?

a) Aumenta

b) Não

c) Com o movimento de compressão rápida do êmbolo.

d) fricção e compressão.

pressão?

EXEMPLO DE TRANSCRIÇÃO DE DISCUÇÕES DAS SITUAÇÕES SOBRE TRABALHO

Dupla 3- Gravação Jul e Nic – dia 18/10/2007 – 1 período

As alunas apresentam um bom desempenho e realizam as atividades com dedicação.

Aluno A: Discuta em dupla e responda as seguintes situações:

Número 1.a) O que acontece com a temperatura das mãos quando uma pessoa esfrega uma na outra? A temperatura tende a aumentar, assim as mãos são aquecidas por estarem sendo friccionadas uma sobre a outra.

Aluno B: Letra b. Foi necessário um corpo com maior temperatura para aumentar a temperatura das mãos?

Aluno A: Não, apenas foi necessário o movimento de fricção entre as mãos.

Aluno B: Letra c. Então é possível aumentar a temperatura de um corpo, sem um corpo a temperatura mais alta?

Aluno A: Sim.

Aluno B: Letra d. Neste caso, o que é necessário? O movimento de fricção.

Aluno A: Número 2.a Suponha que uma pessoa agite vigorosamente, durante algum tempo, uma garrafa térmica contendo água. O que acontece com a temperatura da água? Tende a aquecer.

Aluno B: Aumentar.

Aluno A: Letra b. Houve transferência de calor para a água da garrafa? Sim.

Letra c. Que forma de energia você acha que foi transferida para a água da garrafa? Energia cinética.

Aluno B: Letra d. Neste caso foi necessário um corpo com temperatura mais alta?

Aluno A: Não, apenas o movimento feito pela pessoa sobre a garrafa.

Número 3.a É possível aumentar a temperatura de um gás sem que necessariamente ele se encontre com uma fonte de calor? Sim, movimentando-o.

Aluno B: Número 4. Quando se infla o pneu de uma bicicleta com uma bomba, observa-se que este se aquece? Por quê? Sim, pois estamos colocando ar dentro dele, fazendo que haja um movimento de moléculas e maior pressão.

Aluno A: Número 5.a O que acontece com a temperatura do ar no interior de uma seringa ao se comprimir rapidamente o êmbolo? Aumenta.

Letra b. Foi transferido calor para o interior da seringa? Não.

Letra c. Então como aumentou a temperatura do ar? Com o movimento de comprimir rapidamente o êmbolo.

Letra d. Cite então dois processos que permitem aumentar a temperatura de um corpo.

Aluno B: Fricção.

Aluno A: E pressão.

Alunos: Renata e Giovane

Aluno A: Discuta em dupla e responda as seguintes situações:

Número 1.a) O que acontece com a temperatura das mãos quando uma pessoa esfrega uma na outra?

Aluno B: Aumenta.

Aluno A: Letra b. Foi necessário um corpo com maior temperatura para aumentar a temperatura das mãos?

Aluno B: Não.

Aluno A: Letra c. Então é possível aumentar a temperatura de um corpo, sem um corpo a temperatura mais alta?

Aluno B: Não.

Aluno A: Letra d. Neste caso, o que é necessário? Fricção, o atrito entre as moléculas.

Aluno B: Neste caso foi necessário o movimento de fricção entre as mãos, para que houvesse transferência de calor entre elas.

Número 2.a Suponha que uma pessoa agite vigorosamente, durante algum tempo, uma garrafa térmica contendo água. O que acontece com a temperatura da água? Vai aumentar a agitação das moléculas.

Aluno A: Mas não vai esquentar.

Aluno B: Maior agitação das moléculas, maior energia interna.

Aluno A: Mantêm-se a mesma temperatura.

Aluno B: Tu não podes negar que aumenta a energia interna.

Aluno A: Então responde que a temperatura aumenta um pouco.

Aluno B: Letra b. Houve transferência de calor para a água da garrafa? Não.

Letra c. Que forma de energia você acha que foi transferida para a água da garrafa?

Aluno A: Energia interna.

Aluno B: Não houve troca de energia, apenas aumento de energia interna.

Letra d. Neste caso foi necessário um corpo com temperatura mais alta? Não.

Número 3.a É possível aumentar a temperatura de um gás sem que necessariamente ele se encontre com uma fonte de calor?

Aluno A: acho que aumentando a pressão, aumenta a temperatura.

Aluno B: Número 4. Quando se infla o pneu de uma bicicleta com uma bomba, observa-se que este se aquece? Por quê? Porque está aumentando a pressão?

Aluno A: Está aumentando pressão e volume, então aumenta a temperatura.

Aluno B: Número 5.a O que acontece com a temperatura do ar no interior de uma seringa ao se comprimir rapidamente o êmbolo?

Aluno A: Aumenta a pressão e diminui o volume, então a temperatura aumenta.

Aluno B: Letra b. Foi transferido calor para o interior da seringa?

Aluno A: Não.

Aluno B: Letra c. Então como aumentou a temperatura do ar?

Aluno A: Porque aumentamos a pressão.

Aluno B: Letra d. Cite então dois processos que permitem aumentar a temperatura de um corpo. Aumentando a pressão e diminuindo o volume.

EXEMPLO DE DISCUSSÃO ESCRITA DE SITUAÇÕES SOBRE ENTROPIA



FUNDAÇÃO LIBERATO

Aluno: Letícia e Diavane Nº: 15 11 Turma: 2311
 Curso: Eletrotécnica Data: 23/11/07
 Professor: Edi Terezinha de Oliveira Grings Disciplina: Física

Discuta em dupla e responda as seguintes situações:

- 1) Suponha que você deixa uma xícara de café quente em uma sala. Depois de certo tempo você retorna à sala.
 - a) O que acontece com o café? Há alguma mudança na temperatura do café?
 - b) Agora, o café está com a temperatura da sala? É possível, esperar certo tempo e observar o café aquecer novamente? Por quê?

a) O café irá se equilibrar com a temperatura da sala. Se haverá mudança na temperatura do café se a sala e o mesmo estiverem em temperaturas diferentes.

b) Sim. Se é possível que o café quente se a temperatura na sala esquentar também.
- 2) Se você retira a tampa do vidro de um perfume, as moléculas escapam, para a sala e acabam constituindo um estado mais desordenado. A ordem relativa converte-se em desordem.
 - a) Você poderia esperar que as moléculas de perfume espontaneamente voltassem ao vidro?
 - b) Que semelhança existe entre esta situação e a situação anterior?

a) Não!

b) Espontaneamente, o processo inverso não ocorre.
- 3) Um cubo de gelo descongela ao ser colocado a temperatura ambiente (20°C).
 - a) É possível obter o processo inverso, ou seja, congelar novamente a água a temperatura ambiente?
 - b) Aumentar a temperatura do café, recolocar moléculas de perfume num recipiente e congelar um cubo de gelo, são processos possíveis? Por quê?
 - c) Os processos inversos são possíveis? Então, poderíamos dizer que estes processos ocorrem espontaneamente em um único sentido?

a) Sim. Seria possível se a pressão do lugar aumentasse a ponto de fazer a água solidificar.

b) Sim. Pois esses processos são possíveis de acontecer, só não espontaneamente.

c) Processos inversos são possíveis mas com intervenção externa. Sim, espontaneamente e somente em um único sentido.

- 4) a) É possível a transferência de calor de um corpo frio para um corpo quente e a transferência de energia interna em energia mecânica?
 b) Os processos inversos são possíveis?
 c) O que se pode dizer a respeito desses processos?
- a) Não. Não
 b) Não espontaneamente
 c) Que eles não ocorrem espontaneamente, somente com intervenção externa

- 5) A tendência de todos os processos naturais, tais como fluxo de calor, mistura, difusão etc. é de acarretar uma uniformidade de temperatura, pressão, composição etc. em todos os pontos dos sistemas que participam dos processos. Em cada um desses processos há um aumento da desordem do sistema, um aumento de entropia e um aumento da indisponibilidade de energia.
- a) Nas situações anteriores o que se pode dizer a respeito da entropia e da disponibilidade de energia?
 b) O aumento da entropia está relacionado com o aumento da desordem do sistema e com a perda da oportunidade de converter energia em trabalho. Então, o que ocorre num sistema mais desordenado, em relação à possibilidade de realizar trabalho?
- a) A entropia aumenta porque há um aumento na desordem do sistema, sendo assim a disponibilidade de energia diminui.
 b) Com um sistema desordenado a possibilidade de realizar trabalho é menor.

Exemplo de transcrição de discussões das situações sobre entropia

Dupla 1- Gravação Ari, Man – dia 23/11/2007 – 1 período

Os alunos realizam as tarefas com dedicação.

Aluno A: Discuta em dupla e responda as seguintes situações:

Número 1. Suponha que você deixa uma xícara de café quente em uma sala. Depois de certo tempo você retorna à sala. O que acontece com o café? Há alguma mudança na temperatura do café?

Aluno B: Ele esfria, há uma variação na temperatura dele.

Aluno A: letra b) Agora, o café está com a temperatura da sala? É possível, esperar certo tempo e observar o café aquecer novamente? Por quê?

Aluno B: O café está na temperatura da sala e é possível que a temperatura da sala aumente novamente.

Aluno A: Se a sala aquecer? Por quê? Pela troca de calor?

Aluno B: Sim.

Aluno A: Número 2. Se você retira a tampa do vidro de um perfume, as moléculas escapam, para a sala e acabam constituindo um estado mais desordenado. A ordem relativa converte-se em desordem. Você poderia esperar que as moléculas de perfume espontaneamente voltassem ao vidro?

Aluno B: Acho que não, elas tendem a se espalhar cada vez mais.

Aluno A: letra b) Que semelhança existe entre esta situação e a situação anterior?

Aluno B: Seria que as moléculas se dissipam.

Aluno A: Número 3. Um cubo de gelo descongela ao ser colocado a temperatura ambiente (20°C). É possível obter o processo inverso, ou seja, congelar novamente a água a temperatura ambiente?

Aluno B: Só se a temperatura diminuir a 0°C.

Aluno A: Ta, mas se continuar à temperatura ambiente de 20°C?

Aluno B: Então não. Não é possível caso continue à temperatura ambiente.

Aluno A: letra b) Aumentar a temperatura do café, recolocar moléculas de perfume num recipiente e congelar um cubo de gelo, são processos possíveis? Por quê?

Aluno B: Não, porque as moléculas se dissipam. Se elas ficassem aglomeradas haveria uma possibilidade. Na verdade, quando esquenta, as moléculas se separam e, quando esfria, elas se juntam.

Aluno A: Esses processos são possíveis?

Aluno B: Acho que não, mas por quê?

Aluno A: Porque há uma desordem entre as moléculas.

Letra c) Os processos inversos são possíveis? Então, poderíamos dizer que estes processos ocorrem espontaneamente em um único sentido?

Aluno B: Esquentar o café, colocar moléculas de perfume e congelar gelo?

Aluno A: É, esses que colocamos que não são possíveis.

Aluno B: Se a temperatura for variada.

Aluna A: Número 4.a) É possível a transferência de calor de um corpo frio para um corpo quente e a transferência de energia interna em energia mecânica?

Aluno B: Acho que sim.

Aluno A: Calor de um corpo frio para um corpo quente?

Aluno B: Acho que sim.

Aluno A: E a transferência de energia interna em energia mecânica?

Aluno B: Não sei.

Aluno A: letra b) Os processos inversos são possíveis?

Aluno B: Sim.

Aluno A: letra c) O que se pode dizer a respeito desses processos?

Eles não ocorrem espontaneamente se à mesma temperatura ou haver alguma mudança na temperatura.

Número 5. A tendência de todos os processos naturais, tais como fluxo de calor, mistura, difusão etc. é de acarretar uma uniformidade de temperatura, pressão, composição etc. em todos os pontos dos sistemas que participam dos processos. Em cada um desses processos há um aumento da desordem do sistema, um aumento de entropia e um aumento da indisponibilidade de energia. Nas situações anteriores o que se pode dizer a respeito da entropia e da disponibilidade de energia?

Aluno B pergunta à professora: O que é entropia?

Professora: Entropia é exatamente o que está falando aí. Por exemplo, quando no universo há um aumento da entropia, é porque existe um aumento na desordem e o aumento de entropia indica indisponibilidade de energia na realização de trabalho. Quanto maior a entropia, maior a indisponibilidade de energia para realização de trabalho.

Aluno A: letra b) O aumento da entropia está relacionado com o aumento da desordem do sistema e com a perda da oportunidade de converter energia em trabalho. Então, o que ocorre num sistema mais desordenado, em relação à possibilidade de realizar trabalho? É que o trabalho é pouco.

Aluno B: O trabalho é pouco por causa da desordem do sistema.

Aluno A: Discuta em dupla e responda as seguintes situações:

Número 1. Suponha que você deixa uma xícara de café quente em uma sala. Depois de certo tempo você retorna à sala. O que acontece com o café? Há alguma mudança na temperatura do café? Ele vai equilibrar com a temperatura do lugar. Se o lugar estiver mais frio o café vai esfriar, se o lugar estiver mais quente o café vai esquentar. Mas nesse caso, provavelmente o café vai esfriar.

Aluno B: Isso depende, porque se a sala estiver na mesma temperatura do café não terá mudança. Por que não haverá troca de calor.

Aluno B: letra b) Agora, o café está com a temperatura da sala? É possível, esperar certo tempo e observar o café aquecer novamente? Por quê?

Aluno A: Depois de um certo tempo sim.

Aluno B: Se ele está na temperatura da sala, ele não vai aquecer sozinho.

Aluno A: Só se a sala aquecer, pois daí passa calor para ele.

Aluno B: Se você retira a tampa do vidro de um perfume, as moléculas escapam, para a sala e acabam constituindo um estado mais desordenado. A ordem relativa converte-se em desordem. Você poderia esperar que as moléculas de perfume espontaneamente voltassem ao vidro?

Aluno A: Acho que não.

Aluno B: letra b) Que semelhança existe entre esta situação e a situação anterior?

Aluno A: Não consigo ver nenhuma diferença. Número 3. Um cubo de gelo descongela ao ser colocado a temperatura ambiente (20°C). É possível obter o processo inverso, ou seja, congelar novamente a água a temperatura ambiente?

Aluno B: Se a temperatura ambiente for 20°C não.

Aluno A: Possível é, se variar a pressão.

Aluno B: letra b) Aumentar a temperatura do café, recolocar moléculas de perfume num recipiente e congelar um cubo de gelo, são processos possíveis? Por quê?

Aluno A: Sim.

Aluno B: Colocar moléculas de perfume no recipiente?

Aluno A: Mas aumentar a temperatura do café e congelar cubo de gelo sim. Responde que sim, que são possíveis de acontecer, mas não espontaneamente.

Aluno B: letra c) Os processos inversos são possíveis? Então, poderíamos dizer que estes processos ocorrem espontaneamente em um único sentido?

Aluno A: Os processos inversos são possíveis, mas não espontaneamente.

Alunos perguntam à professora, que responde: Por exemplo, quando vocês colocam a xícara de café quente em temperatura ambiente, o que acontece?

Aluno A: Ela vai equilibrar com a temperatura do ambiente.

Professora: Ela vai esfriar até ficar com a temperatura ambiente, mas o processo inverso ocorre? A temperatura da xícara esquentada de novo até a temperatura que ela estava anteriormente?

Aluno A: Não, se a temperatura da sala continuar a mesma, não.

Aluno B: A tendência de todos os processos naturais, tais como fluxo de calor, mistura, difusão etc. é de acarretar uma uniformidade de temperatura, pressão, composição etc. em todos os pontos dos sistemas que participam dos processos. Em cada um desses processos há um aumento da desordem do sistema, um aumento de entropia e um aumento da indisponibilidade de energia. Nas situações anteriores o que se pode dizer a respeito da entropia e da disponibilidade de energia? Acho que nas situações anteriores a entropia vai aumentar.

Aluno A letra b) O aumento

Aluno A: E a transferência de energia interna em energia mecânica?

Aluno B: Não sei.

Aluno A: letra b) Os processos inversos são possíveis?

Aluno B: Sim.

Aluno A: letra c) O que se pode dizer a respeito desses processos?

Eles não ocorrem espontaneamente se à mesma temperatura ou haver alguma mudança na temperatura.

Número 5. A tendência de todos os processos naturais, tais como fluxo de calor, mistura, difusão etc. é de acarretar uma uniformidade de temperatura, pressão, composição etc. em todos os pontos dos sistemas que participam dos processos. Em cada um desses processos há um aumento da desordem do sistema, um aumento de entropia e um aumento da indisponibilidade de energia. Nas situações anteriores o que se pode dizer a respeito da entropia e da disponibilidade de energia?

Aluno B pergunta à professora: O que é entropia?

Professora: Entropia é exatamente o que está falando aí. Por exemplo, quando no universo há um aumento da entropia, é porque existe um aumento na desordem e o aumento de entropia indica indisponibilidade de energia na realização de trabalho. Quanto maior a entropia, maior a indisponibilidade de energia para realização de trabalho.

Aluno A: letra b) O aumento da entropia está relacionado com o aumento da desordem do sistema e com a perda da oportunidade de converter energia em trabalho. Então, o que ocorre num sistema mais desordenado, em relação à possibilidade de realizar trabalho? É que o trabalho é pouco.

Aluno B: O trabalho é pouco por causa da desordem do sistema.

APÊNDICE IV– EXEMPLO DE INSTRUMENTO DE AVALIAÇÃO

EXEMPLO DE INSTRUMENTO DE AVALIAÇÃO RESPONDIDO SOBRE TEMPERATURA

Aluno: DIVANE Nº: 11 Turma: 2311
Curso: Eletrotécnica Data: 19 / 07 / 07
Professor: Edi Terezinha de Oliveira Grings Disciplina: Física

Siga as orientações: Se quiser ter direito a fazer reclamações faça a prova a caneta e sem rasuras. Só serão consideradas questões com o desenvolvimento completo e correto. Questões sem unidades ou com unidades erradas serão consideradas erradas.
Critério da prova: Cada questão vale 2 pontos.

Resolva os problemas:
Dê as respostas no Sistema Internacional de Unidades.

Qual o significado físico do zero absoluto da temperatura? Explique.

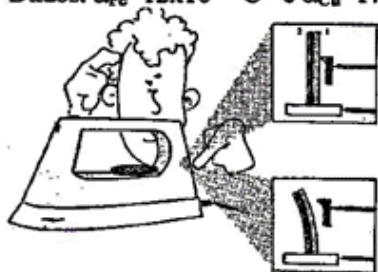
É A MENOR TEMPERATURA JÁ ENCONTRADA, E SE REFERE À MARCA DE -273 K .
(-546°C ou $-273,3^\circ\text{F}$)

É A MENOR TEMPERATURA JÁ ENCONTRADA, E SE REFERE À MARCA DE -273 K .
(-546°C ou $-273,3^\circ\text{F}$)

(Física 2-GREF) Um termostato é um dispositivo utilizado para controlar a temperatura em diversos aparelhos. Um dos tipos de termostato é construído com duas lâminas metálicas (bimetal) firmemente ligadas, conforme ilustra a figura. Quando a temperatura aumenta, a combinação de lâminas se curva em forma de arco, fazendo com que, a partir de certo valor de temperatura, o circuito seja aberto, interrompendo a passagem da corrente elétrica.

a) Para que se produza o efeito descrito, qual das lâminas metálicas deve ter maior coeficiente de dilatação? 1, pois é a que mais se dilata. 1, pois é a que mais dilata.

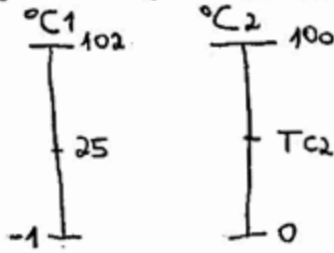
b) Se o bimetal fosse construído com ferro e cobre, qual das lâminas da figura seria a de cobre? Dados: $\alpha_{\text{Fe}} = 12 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ e $\alpha_{\text{Cu}} = 17 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$. 1, pois o coeficiente de dilatação é maior, então



A CHAPA SE DILATA MAIS DO QUE A 2.

1, pois é a chapa que mais se dilata, de acordo com um coeficiente de dilatação maior.

Um termômetro calibrado na escala Celsius acusa para o ponto do gelo -1°C e para o ponto do vapor 102°C . Qual o valor correto da temperatura quando esse termômetro marca 25°C ?



$$\frac{T_{C2} - 0}{100 - 0} = \frac{25 - (-1)}{102 - (-1)}$$

$$\frac{T_{C2}}{100} = \frac{26}{103}$$

$$T_{C2} = \frac{26 \cdot 100}{103} = \frac{2600}{103} = 25,25^{\circ}\text{C}$$

$$T_{C2} = 25,25^{\circ}\text{C}$$

4) Uma barra de aço tem comprimento de 2m a 0°C e uma de alumínio tem 1,99 m na mesma temperatura. Aquecem-se ambas até que as duas tenham o mesmo comprimento. Qual a temperatura para que isto ocorra? Dados: $\alpha_{\text{aço}} = 12 \times 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ e $\alpha_{\text{Al}} = 24 \times 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$.

$$\left. \begin{array}{l} L_0 = 2\text{m} \\ T_0 = 0^{\circ}\text{C} \end{array} \right\} \text{Aço}$$

$$\left. \begin{array}{l} L_0 = 1,99\text{m} \\ T_0 = 0^{\circ}\text{C} \end{array} \right\} \text{Al}$$

$$L_{\text{Aço}} = L_{\text{Alumínio}}$$

$$T_f = ??$$

EXEMPLO DE INSTRUMENTO DE AVALIAÇÃO RESPONDIDO SOBRE CALOR

Aluno: MANNUEL M. LACONDA Nº: 18 Turma: 2311
 Curso: Eletrotécnica Data: 6 / 09 / 07
 Professor: Edi Terezinha de Oliveira Grings Disciplina: Física

Siga as orientações: Se quiser ter direito a fazer reclamações faça a prova a caneta e sem rasuras. Só serão consideradas questões com o desenvolvimento completo e correto. Questões sem unidades ou com unidades erradas serão consideradas erradas.
 Critério da prova: Questões - 1 a 4 valem 1,5 - 5 a 6 valem 2,0.

Responda:

- 1) Se você fosse colocar um condicionador de ar em uma região de clima quente, em que altura da parede você o posicionaria? Explique.

Colocaria o mais alto possível, pois o ar condicionado iria resfriar o ar quente que está no alto, ~~desce~~, ~~para~~ ~~abaixo~~ tornando-o frio e fazendo com que o ar mais quente suba para que o ar condicionado repita o processo.

- 2) (Máximo e Alvarenga, 1998) Um menino descalço, em uma sala ladrilhada, coloca seu pé esquerdo diretamente sobre o ladrilho e seu pé direito sobre um tapete aí existente. O tapete e o ladrilho estão a mesma temperatura. Em qual dos dois pés o menino terá maior sensação de frio? Explique.

Sentirá mais frio com o pé esquerdo, que está no ladrilho pois a capacidade de condução de calor do tapete é menor e o ladrilho é maior, fazendo com que o calor do pé se espalhe mais rapidamente.

- 3) Um grama de água gelada a 0°C transfere 80 calorias até tornar-se gelo. Qual a temperatura do gelo obtido? Explique.

0°C , será de 0°C pois seria necessário outra quantidade de calor para alterar a temperatura do gelo p/ menos.

- 4) (Hewitt, 2002) A areia do deserto é muito quente durante o dia e muito fria durante a noite. O que isto lhe diz a respeito do calor específico da areia? Explique.

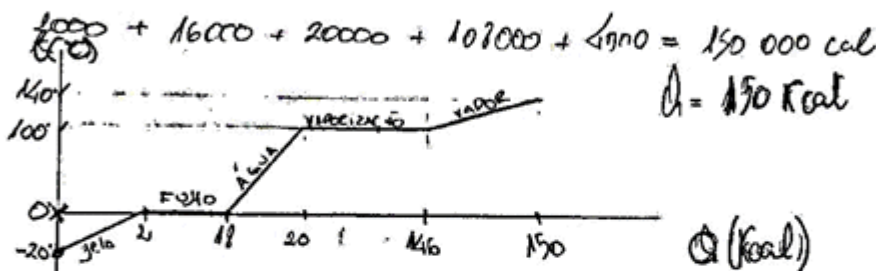
Me diz que o calor específico dela é alto, pois quando ~~existe um~~ o sol está no alto, a areia absorve ~~mais~~ rapidamente o calor, ficando quente. É durante a noite, sem a presença do sol, o calor se extingue, deixando a areia fria.

- 5) Determine a quantidade de calor que deve ser fornecida a 200g de gelo a -20°C para se obter vapor d'água a 140°C . Construa um gráfico que represente a variação de temperatura (eixo vertical) em função da quantidade de calor (eixo horizontal) recebida pelo gelo. Dados: $c_{\text{gelo}}=c_{\text{vapor}}=0,5 \text{ cal/g}^{\circ}\text{C}$, $L_f=80 \text{ cal/g}$ e $L_v=540 \text{ cal/g}$.

$Q = ?$

| m (g) | c (cal/g°C) | t_0 | t_f |
|--------------|-------------|-------|-------|
| gelo | 0,5 | -20 | 0 |
| FUSÃO | 80 | - | - |
| água | 1 | 0 | 100 |
| água → vapor | 540 | - | - |
| vapor | 0,5 | 100 | 140 |

$Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6$



- 6) Num calorímetro de capacidade térmica desprezível misturamos 200g de água a 32°C , 150 g de gelo a -25°C e 27 g de vapor d'água. Determine a temperatura final de equilíbrio térmico. Dados: $c_{\text{gelo}}=c_{\text{vapor}}=0,5 \text{ cal/g}^{\circ}\text{C}$, $L_f=80 \text{ cal/g}$ e $L_v=540 \text{ cal/g}$.

| g | c | t_0 | t_f |
|------------------|-----|-------|-------|
| H ₂ O | 200 | 32 | TF |
| gelo | 150 | -25 | TF |
| vapor | 27 | 140 | TF |

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 = 0$$

$$[200 \cdot (TF - 32)] + [75 \cdot (TF - 25)] + [13,5 \cdot (TF - 140)] = 0$$

$$200TF - 6400 + 75TF + 1875 + 13,5TF - 1890 = 0$$

$$288,5TF = 6415$$

$$TF = 22,23^{\circ}\text{C}$$

EXEMPLO DE INSTRUMENTO DE AVALIAÇÃO RESPONDIDO SOBRE ENERGIA
INTERNA

Aluno: Alon Rodrigues Nº: 01 Turma: 2311
Curso: Eletrotécnica Data: 11/10/07
Professor: Edi Terezinha de Oliveira Grings Disciplina: Física

Siga as orientações: Se quiser ter direito a fazer reclamações faça a prova a caneta e sem rasuras. Só serão consideradas questões com o desenvolvimento completo e correto. Questões sem unidades ou com unidades erradas serão consideradas erradas.
Critério da prova: Questões - 1 a 6 valem 1,5 - 7 vale 1,0.

Responda:

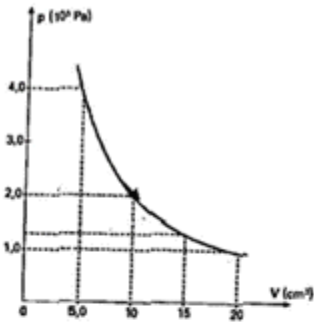
- 1) Uma tachinha de ferro e um grande parafuso também de ferro são retirados de um forno quente. Eles estão vermelhos de tão quentes e se encontram à mesma temperatura. Quando forem mergulhados em recipientes idênticos, com água nas mesmas temperaturas, qual deles elevará mais a temperatura da água? Explique.

O parafuso, porque tem mais número de moléculas, e com isso mais irá na a agitação dessas moléculas em relação ao número de moléculas da tachinha, então o parafuso tem mais energia cinética e também mais energia interna.

- 2) No estudo dos gases ideais, em qual transformação não há variação de energia interna? Explique.

Na Isotermica, porque não havendo diferença de temperatura, ou seja, temperatura constante, não haverá energia interna.

3) A figura mostra uma isoterna de uma massa de gás que é levada do estado inicial para um estado final.

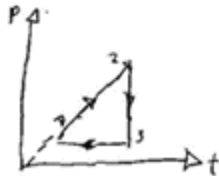
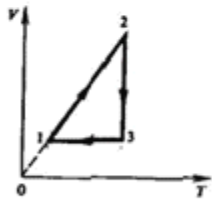


$$\begin{aligned}
 P_1 V_1 &= P_2 V_2 \\
 15 P_1 &= 5,4 \times 10^5 \\
 15 P_1 &= 20 \times 10^5 \\
 P_1 &= \frac{20 \times 10^5}{15} = 1,33 \times 10^5 \text{ Pa}
 \end{aligned}$$

Determine:

- a) a pressão do gás quando o volume é 15 cm^3 ;
- b) o tipo de transformação realizada. *Isotérmica*

4) Na figura abaixo está representado o gráfico de variação do estado do gás perfeito nas coordenadas V, T . Apresentar este mesmo processo em gráficos das coordenadas p, V e p, T .



- 5) Determine massa de gás está num estado inicial definido por $p_A = 4 \text{ atm}$, $V_A = 12 \text{ litros}$, e $T_A = 27^\circ\text{C}$. Comprime-se o gás isotermicamente até que a pressão se reduza à metade. Em seguida, a temperatura do gás é aumentada até 127°C , à pressão constante.
- a) Determine o volume final ocupado pela massa de gás;
 b) Faça o gráfico que representa as transformações num diagrama de pressão em função do volume.

$$\begin{aligned} V_A &= 12 \text{ L} \\ T_A &= 300 \text{ K} \\ p_A &= 4 \text{ atm} \\ p_B &= 2 \text{ atm} \\ V_B &? \\ T_B &= 400 \text{ K} \end{aligned}$$

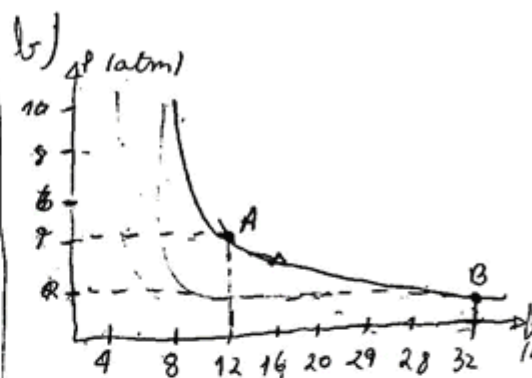
273 K

$$a) \frac{p_A \cdot V_A}{300} = \frac{p_B \cdot V_B}{400}$$

$$\frac{48}{300} = \frac{2V_B}{400}$$

$$19200 = 600V_B$$

$$V_B = \frac{19200}{600} = 32 \text{ L}$$



- 6) Têm-se 3 moles de moléculas de um gás monoatômico ideal inicialmente a -60°C . Sua temperatura, num dado processo termodinâmico, se eleva para 160°C . Sendo $R = 8,31 \text{ J/mol}\cdot\text{K}$, determine a variação sofrida pela energia interna do gás nessa transformação.

$$\Delta U = \frac{3}{2} n R \Delta T \quad 397 \text{ K}^{\circ}$$

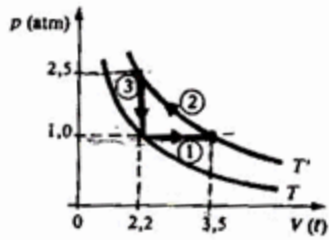
$$\Delta U = \frac{3}{2} \cdot 3 \cdot 8,31 \cdot (397 - 213)$$

$$\Delta U = 1,5 \cdot 24,93 (139)$$

$$\Delta U = 5090,93$$

7) Considere o gráfico abaixo onde se apresentam duas isotermas T e T' . As transformações gasosas 1, 2 e 3 são respectivamente:

- a) isobárica, isocórica e isotérmica;
- b) isobárica, isotérmica e isocórica;
- c) isotérmica, isocórica e isobárica;
- d) isocórica, isobárica e isotérmica;
- e) isotérmica, isobárica e isocórica.
- f)



$$f = p$$

EXEMPLO DE INSTRUMENTO DE AVALIAÇÃO RESPONDIDO SOBRE TRABALHO E PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA

Aluno: Yllia Schuch dos Reis Nº: 13 Turma: 2311
 Curso: Eletrotécnica Data: 22/11/07
 Professor: Edi Terezinha de Oliveira Grings Disciplina: Física

Siga as orientações: Tenha cuidado para fazer o desenvolvimento completo. Observe sempre as unidades.
 Critério da prova: Cada questão vale 2 pontos.

Resolva os problemas:

Dê as respostas no Sistema Internacional de Unidades.

1) Verifique se a seguinte afirmativa está correta. Justifique sua resposta.

Sempre que um gás recebe calor sua temperatura sofre um acréscimo.

Esta incorreta, pois este calor também pode ser transformado em trabalho.

2) Um gás, contido em um cilindro provido de um pistão, expande-se ao ser colocado em contato com uma fonte de calor. Verifica-se que a energia interna do gás não varia. O trabalho que o gás realizou é maior, menor ou igual ao calor que ele absorve? Explique.



$\Delta U = \text{constante}$

O trabalho que o gás realizou é igual ao calor que ele absorve, pois sua energia interna se mantém constante.

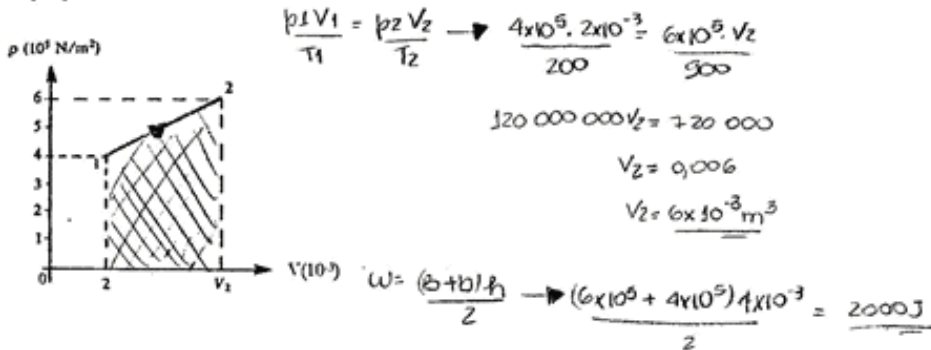
3) Considere um gás se expandindo rapidamente. Suponha que o trabalho realizado por ele tenha sido $W = 250 \text{ J}$.

- a) Se a expansão é muito rápida, o que se pode dizer sobre a quantidade de calor, Q , que o gás troca com a vizinhança? Explique.
- b) Então, como se denomina essa expansão?
- c) Qual a variação ΔU da energia interna do gás? Explique.
- d) Então, a energia interna do gás aumentou, diminuiu ou não se alterou? Explique.
- e) Logo, a temperatura do gás aumentou, diminuiu ou não se alterou? Explique.

- transmitindo energia para a vizinhança
 $w + v_1 \Delta U e \Delta T$ diminuem*
- d) A energia interna do gás diminuiu porque o trabalho é positivo
 - e) A temperatura do gás também diminuiu, pois ele está se expandindo
 - a) A quantidade de calor que o gás troca com a vizinhança é grande, pois é a soma da sua energia interna com o trabalho realizado ($Q = \Delta U + W$).
 - b) Expansão irreversível.
 - c) $\Delta U = 250 \text{ J}$

4) Certa massa de um gás ideal sofre o processo termodinâmico indicado no gráfico. Sendo $T_1 = 200 \text{ K}$ a temperatura inicial do gás no processo e $T_2 = 900 \text{ K}$ a temperatura final.

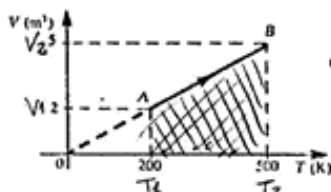
- a) Qual o volume final da massa gasosa? $6 \times 10^{-3} \text{ m}^3$
- b) Calcule o trabalho realizado no processo, indicando se ele é realizado pelo gás ou sobre o gás. Explique. 2000 J



O trabalho é realizado pelo gás, pois a variação de volume é positiva.

5) A quantidade de 3 moles de um gás monoatômico sofre a expansão isobárica AB representada no gráfico. Sendo o calor molar sob pressão constante desse gás $C_p = 5$ cal/mol.K e adotando $R = 8,31$ J/mol.K, determine:

- a) a pressão sob a qual o gás se expande; $0,16 \text{ Pa}$
 b) a quantidade de calor recebida pelo gás; 4500 cal ou 18840 J
 c) o trabalho que o gás realiza na expansão;
 d) a variação de energia interna sofrida pelo gás.
 (Considere $1 \text{ cal} = 4,18 \text{ J}$)



$$c) w = p \Delta V \rightarrow w = 0,16 \cdot 300 = 48 \text{ J}$$

$$b) Q_p = n C_p \Delta T \rightarrow Q_p = 3 \cdot 5 \cdot (500 - 200)$$

$$Q_p = 15 \cdot 300$$

$$Q_p = 4500 \text{ cal}$$

$$18840 \text{ J}$$

$$d) \Delta U = \frac{3}{2} n R \Delta T \rightarrow \Delta U = \frac{3}{2} \cdot 3 \cdot 8,31 \cdot 300$$

$$\Delta U = 31218,5 \text{ J}$$

- 6) Um gás perfeito é comprimido adiabaticamente, realizando-se sobre ele um trabalho de 500 J .
 a) Qual a quantidade de calor que o gás troca com o ambiente durante o processo? Explique.
 b) Qual a variação de energia interna sofrida pelo gás nessa transformação? Explique. 500 J
 c) Como se modificam o volume, a temperatura e a pressão do gás no processo adiabático em questão? Justifique.

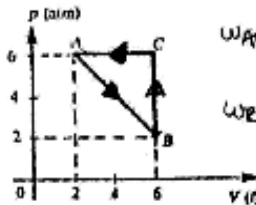
a) A quantidade de calor que o gás troca com o meio durante o processo é zero, pois é uma transformação adiabática onde não há troca térmica com o meio externo.

b) $\Delta U = -w \rightarrow \Delta U = -(-500)$
 $\Delta U = 500 \text{ J}$
 pois essa variação de energia interna é igual ao trabalho realizado, mudando apenas o sinal.

c) O volume e a temperatura diminuem pois o trabalho é realizado sobre o gás. E a pressão aumenta pelo mesmo motivo.

7) Um gás perfeito realiza o ciclo esquematizado no diagrama $p \times V$ no sentido ABCA. Determine o trabalho realizado, o calor trocado e a variação de energia interna no processo, indicando se há conversão de calor em trabalho ou vice-versa. Explique.

(Dados: $1 \text{ atm} = 10^5 \text{ Pa}$). $W=?$ $Q=?$ $\Delta U=?$



$W_{AB} = p \Delta V \rightarrow W_{AB} = 6 \times 10^5 \cdot 4 = 2.400.000 \text{ J}$

$W_{BC} = p \Delta V \rightarrow W_{BC} = 0 \text{ J}$ $W = 0 \text{ J}$

$W_{CA} = p \Delta V \rightarrow W_{CA} = 6 \times 10^5 \cdot -4 = -2.400.000 \text{ J}$

A conversão é de trabalho em calor pois os dois estão sentidos anti-horários.

Se a temperatura é constante, então a variação de energia interna é nula, e trabalho igual a quantidade de calor trocado, então

$Q = 0 \text{ cal}$

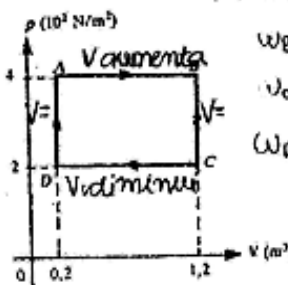
8) Uma certa quantidade de gás ideal realiza o ciclo esquematizado no gráfico

a) Calcule o trabalho realizado em cada uma das fases do ciclo (AB, BC, CD e DA), indicando se foi realizado pelo gás ou sobre o gás. Justifique. 200 J

b) Quais as transformações em que há aumento de energia interna e quais em que há diminuição? Justifique.

c) Ao completar cada ciclo, há conversão de calor em trabalho ou de trabalho em calor? Por quê? Calcule a quantidade de calor e de trabalho que se interconvertem em cada ciclo.

$W = p \Delta V$



a) $W_{AB} = 4 \times 10^2 \cdot 1 = 400 \text{ J}$

$W_{BC} = 0 \text{ J}$

$W_{CD} = 2 \times 10^2 \cdot -1 = -200 \text{ J}$


$W_{DA} = 0 \text{ J}$

O trabalho é realizado pelo gás, pois ele é positivo.
 $W = 400 - 200 = 200 \text{ J}$

b) Na transformação AB, ΔU aumenta, na transformação CD, ΔU diminui e nas demais transformações ΔU se mantém pois o volume é constante.

c) Ao completar cada ciclo há conversão de calor em trabalho, pois o ciclo está no sentido horário.

EXEMPLO DE INSTRUMENTO DE AVALIAÇÃO RESPONDIDO SOBRE PRIMEIRA
E SEGUNDA LEI DA TERMODINÂMICA

| | |
|--|----------------------------------|
|  FUNDAÇÃO LIBERATO | |
| Aluno: <u>Francisco Romão V. de A.</u> | Nº: <u>08</u> Turma: <u>2311</u> |
| Curso: <u>Eletrônica</u> | Data: <u>5 / 12 / 2008</u> |
| Professor: <u>Eli Terezinha de Oliveira Grings</u> | Disciplina: <u>Física</u> |
| Siga as orientações: Tenha cuidado para fazer o desenvolvimento completo. Observe sempre as unidades. Critério da prova: Cada questão vale 1,25 pontos. | |

Resolva os problemas

$w_{at} = 3/h$

1) Uma máquina térmica trabalha entre as temperaturas de 127°C e 327°C . Em cada ciclo, a substância trabalhante dessa máquina retira 200J de calor da fonte quente e rejeita 150J de calor para a fonte fria.

- Qual a energia útil obtida nessa máquina por ciclo?
- Determine o rendimento dessa máquina.
- Qual o máximo rendimento que essa máquina poderia ter com as temperaturas entre as quais opera?

$$a) e = \frac{150}{50} = 3\text{J}$$

$$T_C = T_K - 273$$

$$127 = T_K - 273$$

$$127 + 273 = T_K$$

$$T_K = 400\text{K}$$

$$T_K = 273 + 327$$

$$T_K = 600\text{K}$$

$$b) \eta = 1 - \frac{|Q_2|}{|Q_1|}$$

$$\eta = 1 - \frac{150}{200} = 0,25 \rightarrow 25\%$$

$$c) \eta = 1 - \frac{T_2}{T_1} \rightarrow 1 - \frac{600}{400} = 0,5 \rightarrow \text{max} = 50\%$$

$$w = Q_1 - Q_2$$

$$w = 200 - 150 = 50\text{J}$$

2) Uma máquina térmica de Carnot, cuja fonte fria está a 280K , tem um rendimento de 40% . Deseja-se elevar esse rendimento para 50% . Para isto:

- de quantos graus deve-se elevar a temperatura da fonte quente, mantendo-se constante a temperatura da fonte fria?
- De quantos graus deve-se abaixar a temperatura da fonte fria, mantendo-se constante a temperatura da fonte quente?

$$a) \eta = 1 - \frac{T_2}{T_1} \rightarrow 0,4 \cdot 280 = 1 - T_2$$

$$T_2 = 112\text{K}$$

$$0,5 \cdot 280 = 1 - T_2$$

$$T_2 = 138\text{K}$$

$$b) 0,5 \cdot T_1 = 1 - 138$$

$$T_1 = \frac{-138}{0,5} = -276\text{K}$$

3) Um cubo de gelo de 20 g a 0°C é colocado numa bacia com água a pressão atmosférica normal. Admita-se que o gelo absorve calor apenas da água da bacia, que se mantém a temperatura constante, e derrete completamente. Sabendo que a variação total de entropia no processo é de 4J/K , determine:

- a) a variação da entropia do gelo durante o processo de fusão;
- b) a variação da entropia da água nesse mesmo processo;
- c) a temperatura da água na bacia.

Dados: (calor latente de fusão do gelo: $L_f = 3,33 \times 10^5\text{J}$; temperatura de fusão do gelo a pressão normal: 273K .)

$$a) \Delta S_{\text{gelo}} = \frac{6660}{273} = 24,39\text{J/K}$$

$$\begin{aligned} a) \Delta Q &= m \cdot L_f \\ \Delta Q &= 20 \times 10^{-3} \cdot 3,33 \times 10^5 \\ \Delta Q &= 6660\text{KJ/s} \end{aligned}$$

$$b) \Delta S_{\text{água}} = 24,39 - 4 = 20,39\text{J/K}$$

$$c) \Delta S = \frac{\Delta Q}{T} \rightarrow 20,39 = \frac{6660}{T} = 326,6\text{K}$$

4) Um sistema sofre uma transformação irreversível na qual ele interage com sua vizinhança. Analise as afirmativas seguintes e responda se cada uma delas está certa ou errada e justifique.

- a) A entropia do sistema certamente aumentou.
- b) A variação total de entropia (do sistema e da vizinhança) certamente é positiva.
- c) Parte da energia envolvida no processo desaparece.
- d) Parte da energia envolvida no processo se torna indisponível para a realização de trabalho.
- e) A variação da entropia da vizinhança pode ter sido negativa.

3) Um cubo de gelo de 20 g a 0°C é colocado numa bacia com água a pressão atmosférica normal. Admite-se que o gelo absorve calor apenas da água da bacia, que se mantém a temperatura constante, e derrete completamente. Sabendo que a variação total de entropia no processo é de 4 J/K, determine:

- a) a variação da entropia do gelo durante o processo de fusão;
- b) a variação da entropia da água nesse mesmo processo;
- c) a temperatura da água na bacia.

Dados: (calor latente de fusão do gelo: $L_f = 3,33 \times 10^5 \text{ J}$; temperatura de fusão do gelo a pressão normal: 273 K.)

$$a) \Delta S_{\text{gelo}} = \frac{6660}{273} = 24,39 \text{ J/K}$$

$$a) \Delta S = m \cdot L_f$$

$$\Delta S = 20 \times 10^{-3} \cdot 3,33 \times 10^5$$

$$\Delta S = 6660 \text{ Kq/s}$$

$$b) \Delta S_{\text{água}} = 24,39 - 4 = 20,39 \text{ J/K}$$

$$c) \Delta S = \frac{\Delta S}{T} \rightarrow 20,39 = \frac{6660}{T} = 326,6 \text{ K}$$

4) Um sistema sofre uma transformação irreversível na qual ele interage com sua vizinhança. Analise as afirmativas seguintes e responda se cada uma delas está certa ou errada e justifique.

- a) A entropia do sistema certamente aumentou.
- b) A variação total de entropia (do sistema e da vizinhança) certamente é positiva.
- c) Parte da energia envolvida no processo desaparece.
- d) Parte da energia envolvida no processo se torna indisponível para a realização de trabalho.
- e) A variação da entropia da vizinhança pode ter sido negativa.

5) Um gás é comprimido sob pressão constante $p = 7,0 \times 10^4 \text{ N/m}^2$, desde um volume inicial $V_0 = 3,0 \times 10^{-3} \text{ dm}^3$, até um volume final $V = 1,5 \text{ dm}^3$.

- Houve trabalho realizado pelo gás ou sobre o gás?
- Calcule este trabalho;
- Se o gás liberou 105 J de calor, determine a variação de sua energia interna.
- A energia interna aumentou, diminuiu ou não variou?

$$\begin{aligned} b) w &= p(v_f - v_i) \\ w &= 7 \times 10^4 \times (0,0015 - 0,003) \\ w &= -105 \text{ J} \end{aligned}$$

a) O trabalho é realizado sobre o gás.

$$c) \Delta U = 105 - 105 = 0 //$$

d) Não variou.

6) Um sistema sofre uma transformação na qual ele absorve 50 cal de calor e se expande, realizando um trabalho de 360 J. Considere $1 \text{ cal} = 4,2 \text{ J}$.

- Calcule a variação de energia interna que o sistema experimentou;
- A energia interna do gás aumentou, diminuiu ou não variou?
- O trabalho é positivo, negativo ou nulo?
- E a quantidade de calor é positiva, negativa ou nula?

$$\begin{aligned} 1 \text{ cal} &= 4,2 \text{ J} \\ 50 \text{ cal} &= x \\ x &= 105 \end{aligned}$$

$$a) \Delta U = 360 + 105 = 370 \text{ J}$$

b) A energia interna do gás aumentou.

c) O trabalho é positivo

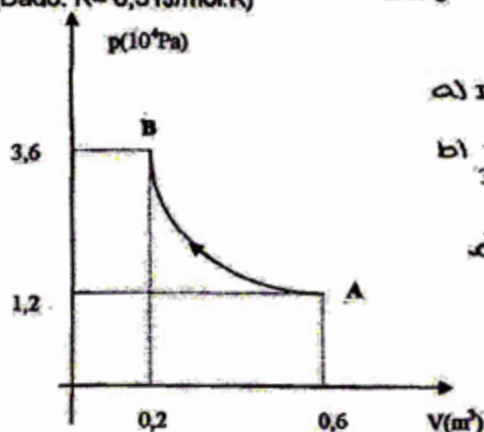
d) A quantidade de calor é positiva.

7) Três moles de um gás monoatômico sofrem um processo termodinâmico representado graficamente pela hipérbole eqüilátera AB indicada na figura. A área da região sombreada no gráfico vale, numericamente, $7,9 \times 10^3 \text{ J}$.

- Qual o processo que o gás está sofrendo? Explique o porquê de sua conclusão.
- Em que temperatura o processo se realiza?
- Qual a variação de energia interna do gás no processo? Por quê?
- Qual o trabalho realizado sobre o gás nesse processo AB?
- Durante o processo AB, o gás recebe ou perde calor? Por quê? Qual a quantidade de calor trocada pelo gás?

(Dado: $R = 8,31 \text{ J/mol.K}$)

$n = 3$



a) ISOTÉRMICO, pois a pressão e o volume variam

b) $pV = nRT$
 $3,6 \cdot 0,2 = 3 \cdot 8,31 \cdot T$ $\rightarrow 21600 = 24,93 \cdot T$
 $T = 866 \text{ K}$

c) $\Delta U = 0$

d) sobre o gás.

e) perde calor.

8) Estabeleça, em termos de trocas energéticas e de variação das variáveis de estado, as diferenças entre a expansão isobárica e a expansão adiabática.

Adiabática: a quantidade de energia interna é nula; a pressão, o volume e a temperatura variam em função do trabalho.

Isobárica: a pressão é constante, a temperatura e o volume variam.

APÊNDICE V – TEXTOS ELABORADOS PARA O ENSINO DO CCT

UNIDADE I

ESTADOS DA MATÉRIA

As substâncias podem se apresentar em três estados diferentes: estado sólido, líquido e gasoso. Estes estados podem ser facilmente observados, através de nossos sentidos (macroscopicamente). Do ponto de vista microscópico pode-se observar um estado com estrutura organizada e outro estado com estrutura desorganizada.

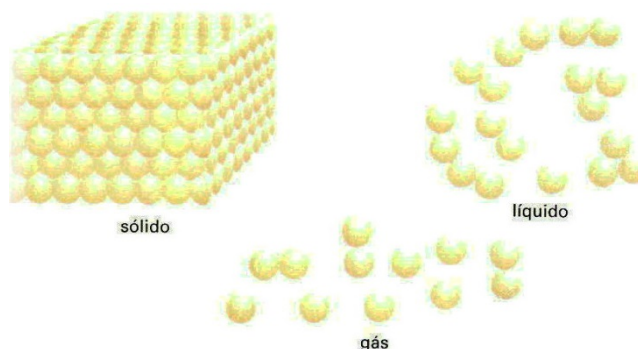


Figura 1 - Modelo da estrutura interna de um sólido, de um líquido e de um gás.

Estado sólido: Um corpo sólido apresenta volume e forma bem definidos e é resistente a deformações. Esta propriedade do ponto de vista microscópico é devida à estrutura atômica (molecular) do sólido: seus átomos encontram-se relativamente próximos uns dos outros, ligados por forças elétricas de grande intensidade, que os mantêm em posições definidas, dando ao sólido uma forma invariável e um volume bem definido.

A grande maioria dos sólidos apresenta-se sob forma de cristais. Em um cristal, os átomos estão dispostos de maneira ordenada, que se repete ao longo da estrutura do sólido. O sal de cozinha (cloreto de sódio), por exemplo, é constituído de átomos de sódio (Na) e cloro (Cl), que ocupam os vértices de cubos formando uma extensa estrutura denominada rede cristalina.

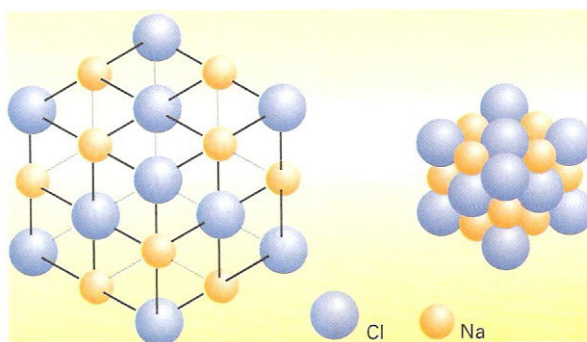


Figura 2 – Estrutura do cloreto de sódio.

Alguns materiais, apesar de se encontrarem no estado sólido (forma e volume bem definidos), não apresentam uma estrutura ordenada em seus átomos, sendo denominados sólidos amorfos. Exemplo: vidro, asfalto, borracha, plástico, etc.

Assim, os corpos sólidos podem se apresentar sob forma de sólidos cristalinos ou sólidos amorfos. Nos cristais, os átomos (ou moléculas) encontram-se distribuídos de

maneira organizada, e esta organização se repete ao longo de todo o cristal. Nos sólidos amorfos, não existe ordem na distribuição dos átomos ou moléculas (estrutura desorganizada).

Estado líquido: Um corpo no estado líquido não tem forma própria (toma a forma do recipiente onde está contido), mas tem um volume bem determinado. Outra característica do líquido que o distingue dos corpos sólidos é a ausência quase total de resistência à penetração.

Os átomos de um líquido estão mais afastados uns dos outros que se ele estivesse no estado sólido. Por isso, as forças entre os átomos tornam-se mais fracas, permitindo que eles se desloquem com alguma facilidade. Os átomos e moléculas se distribuem desordenadamente.

Estado gasoso: Uma massa gasosa não tem forma própria, tomando a forma do recipiente. Além disso, o gás tende a ocupar todo o volume que lhe for oferecido. Ele pode, também, ser comprimido e ter seu volume reduzido com relativa facilidade, passando a ocupar um espaço muito pequeno.

Os átomos ou moléculas de uma substância no estado gasoso encontram-se muito mais separados uns dos outros que nos estados sólido e líquido. Assim, a força de ligação entre essas partículas é quase nula.

Os átomos ou moléculas que constituem o corpo sólido, líquido ou gasoso, encontram-se em constante movimento. Nos sólidos, este movimento se faz com pequenas vibrações em torno de uma posição definida para cada átomo. Nos líquidos, o deslocamento de cada átomo é um pouco maior, havendo uma translação de pequeno alcance. Nos gases, porém, os átomos se movimentam livremente em todas as direções, pois a força entre eles é quase nula.

A estrutura atômica ou molecular de um gás é totalmente desorganizada, em completa oposição à estrutura cristalina dos sólidos, situando-se os líquidos em estados de organização intermediários entre eles.

Assim, os líquidos e os gases não apresentam uma estrutura atômica (ou molecular) organizada, ao contrário do que ocorre nos sólidos cristalinos. Nos gases há uma desorganização total; os líquidos situam-se em uma posição intermediária entre os sólidos e os gases. Em qualquer um dos três estados, os átomos (ou moléculas) encontram-se em constante movimento.

Referências: MÁXIMO, Antônio; ALVARENGA, Beatriz. Física. São Paulo: Spione, 2006.

UNIDADE 2

TEMPERATURA

Equilíbrio Térmico e a Lei Zero da Termodinâmica

Considere um sistema termicamente isolado. Em tal sistema foram colocados alguns corpos: uma pedra de gelo, uma chaleira fervendo, uma barra de ferro a temperatura ambiente. Haja ou não contato entre eles, como o sistema é termicamente isolado, depois de algum tempo todos os corpos vão atingir a mesma temperatura. Quando os corpos num sistema isolado atingem a mesma temperatura dizemos que eles estão em equilíbrio térmico. Assim, a Lei Zero da Termodinâmica pode ser enunciada como:

Se dois corpos estiverem em equilíbrio térmico com um terceiro, estarão em equilíbrio térmico um com o outro.

Dois sistemas em equilíbrio térmico tem a mesma temperatura. Vamos supor que um desses sistemas seja um termômetro. Quando medimos a temperatura, aguardamos até que o termômetro atinja a mesma temperatura do outro sistema. Na verdade, medimos a temperatura do termômetro e atribuímos esta temperatura ao sistema, uma vez que eles estão em equilíbrio térmico.

Um termômetro é um dispositivo que relaciona a variação de uma certa grandeza com uma variação de temperatura. Assim, temos termômetros que são construídos baseando-se nas variações que a temperatura provoca no comprimento de uma coluna de mercúrio, no volume de um gás, na resistência de um material, etc.

Como a medida de temperatura é um processo indireto é necessário o estabelecimento de um padrão, para que se possa construir um termômetro. O padrão atual adotado é o ponto tríplice da água, temperatura em que a água coexiste nos três estados: sólido, líquido e vapor. Esse ponto tríplice corresponde a uma temperatura de 0,01°C ou 273,16 K, pressão de 610 Pa ou 4,58 mm Hg.

Foi estabelecido um termômetro padrão, uma vez que os termômetros baseados em propriedades físicas diferentes, tendem a atribuir temperaturas ligeiramente diferentes a temperaturas iguais. O termômetro padrão é o termômetro de gás a volume constante. Se o volume do gás é mantido constante, sua pressão depende da temperatura e aumentará com o aumento dela. No termômetro a gás a volume constante, a concordância entre diversos termômetros é bastante boa quando a densidade do gás é pequena. Assim, a temperatura T em qualquer estado se define como proporcional à pressão do termômetro de gás a volume constante:

$$T = \frac{273,16K}{p_3} p$$

Onde, p é a pressão medida no termômetro a gás e p_3 , a pressão medida no mesmo termômetro em equilíbrio térmico com o banho de água, gelo e vapor no ponto tríplice.

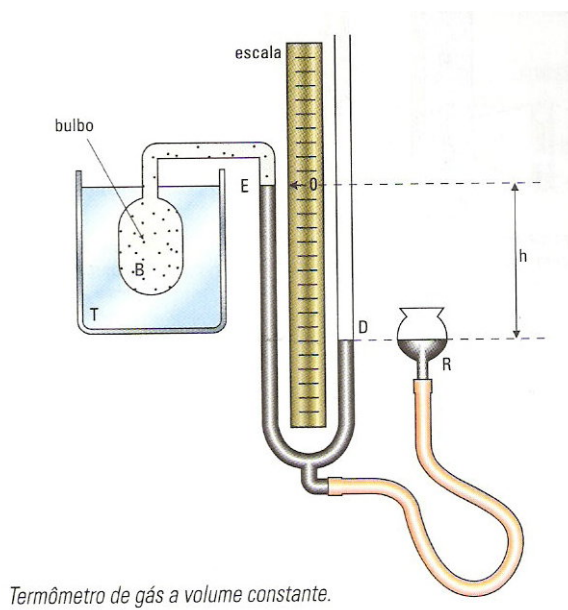


Figura 1 – Termômetro de gás a volume constante (Gaspar, 2004).

2.1 Escalas termométricas

As escalas termométricas adotadas pelo Sistema Internacional (SI), são as escalas Celsius, em que a temperatura é medida em °C (graus Celsius) e a escala Kelvin, denominada escala termodinâmica em que a temperatura é medida em K (kelvin). Outra escala termométrica, bastante utilizada nos países de língua inglesa é a escala Fahrenheit.

Para calibrar um termômetro na escala Celsius, introduz-se o termômetro inicialmente em uma mistura de gelo e água em equilíbrio térmico (gelo em fusão) à pressão de 1 atm. Quando o termômetro atinge o equilíbrio térmico com a mistura define-se o ponto zero da escala Celsius. Esta é a temperatura do gelo em fusão (à pressão de 1 atm), ou seja, 0 °C. Em seguida, introduz-se o termômetro em água em ebulição, à pressão de 1 atm. Quando o termômetro atinge o equilíbrio térmico com a água define-se o 100 graus da escala Celsius, 100 °C. Divide-se o intervalo em 100 partes iguais e cada intervalo entre duas divisões sucessivas corresponde a uma variação de temperatura de 1 °C.

A escala kelvin surgiu da impossibilidade de se obter temperaturas inferiores a - 273 °C. Esta temperatura é denominada **zero absoluto**. Na realidade, o zero absoluto é uma temperatura limite nunca alcançada, tendo-se conseguido valores muito próximos a ela. Kelvin propôs como zero de sua escala a temperatura do zero absoluto e um intervalo unitário igual a 1°C. Uma maneira correta de conceituar temperatura é dizer que a **temperatura** está associada à energia cinética média das moléculas e átomos de um corpo. Assim, o zero absoluto corresponderia a uma situação de energia cinética mínima dos átomos e moléculas de um corpo.

A escala Fahrenheit define a temperatura do ponto de fusão do gelo como 32 °F e o ponto de ebulição da água como 212 °F. Assim, o intervalo entre o ponto de fusão do gelo e ponto de ebulição da água corresponde a 180 °F.

Para converter a temperatura de uma escala (por exemplo, a escala x) em outra toma-se o número de divisões da temperatura a ser medida até o ponto de fusão do gelo e o número de divisões entre dois pontos fixos e escreve-se em forma de fração. Relaciona-se estes valores com os valores da outra escala (escala y) como mostra a figura 2.

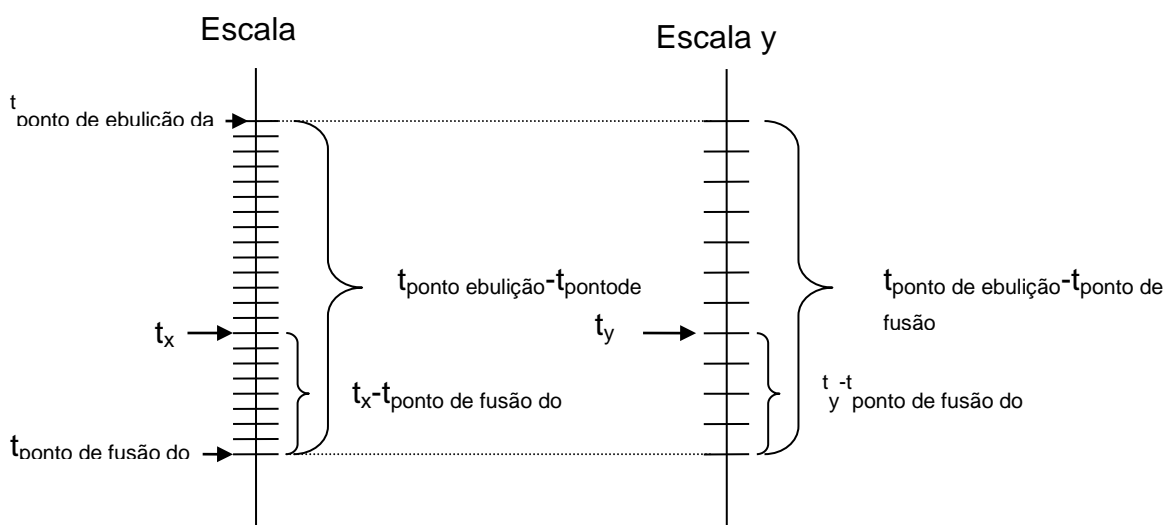


Figura 2 – Relação entre escalas termométricas.

Portanto:

$$\frac{t_x - t_{x \text{ do ponto de fusão}}}{t_{x \text{ do ponto de ebulição}} - t_{x \text{ do ponto de fusão}}} = \frac{t_y - t_{y \text{ do ponto de fusão}}}{t_{y \text{ do ponto de ebulição}} - t_{y \text{ do ponto de fusão}}}$$

Assim, se as escalas termométricas forem as escalas Celsius, Kelvin e Fahrenheit, teremos as seguintes relações:

$$t_C = t_K - 273 = \frac{5(t_F - 32)}{9}$$

No entanto, se quisermos calibrar um termômetro ou relacionar uma grandeza termométrica com uma escala, relacionamos os pontos fixos da escala com o comprimento de uma coluna de mercúrio em cada ponto fixo, por exemplo, se a grandeza termométrica utilizada for o comprimento da coluna de mercúrio (e a grandeza variar linearmente com o aumento de temperatura). Assim:

$$\frac{L_{t_x} - L_f}{L_e - L_f} = \frac{t_x - t_{x \text{ do ponto de fusão}}}{t_{x \text{ do ponto de ebulição}} - t_{x \text{ do ponto de fusão}}}$$

Onde: $L_{t_x} - L_f$ é o comprimento da coluna de mercúrio da temperatura ponto de fusão do gelo até a temperatura t_x e $L_e - L_f$ é o comprimento da coluna de mercúrio da temperatura de fusão do gelo até a temperatura de ebulição da água. De modo análogo, podemos relacionar outras grandezas com escalas termométricas.

UNIDADE III

DILATAÇÃO TÉRMICA

Quando aumenta a temperatura de uma substância suas moléculas ou átomos passam, em média, a oscilar mais rapidamente e tendem a se afastar uma das outras. O resultado é a dilatação da substância. Com poucas exceções, todas as formas de matéria (sólidas, líquidas e gasosas) se dilatam quando são aquecidas, e contraem-se quando resfriadas.

Os sólidos são formados por células unitárias de forma geométrica definida cujos vértices são ocupados por partículas (moléculas, átomos ou íons). Vamos imaginar um modelo onde as partículas se ligam umas às outras como se houvesse molas entre elas em permanente oscilação. Quando a temperatura aumenta a amplitude dessas oscilações também aumenta acarretando um aumento na distância média entre as partículas do sólido. Por isso, o sólido se dilata.

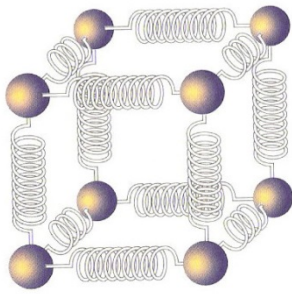


Figura 1 - Modelo de um sólido.

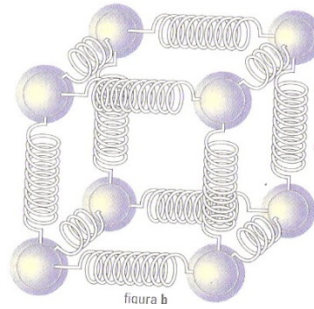


Figura 2 - Quando a temperatura aumenta, aumenta a distância média entre as partículas, mas não o tamanho das partículas.

1 Dilatação Linear

Tomando-se uma barra a certa temperatura haverá um aumento em todas as suas dimensões, isto é, aumentarão o seu comprimento, sua altura e sua largura.

No entanto, o estudo da dilatação linear leva em conta somente o comprimento. A expressão matemática da dilatação linear baseia-se em observações experimentais. Dentro de determinado intervalo de temperaturas, o acréscimo é diretamente proporcional ao seu comprimento inicial. Portanto, a dilatação linear é dada pela equação:

$$\Delta L = L_0 \alpha \Delta T \quad (1)$$

$$L = L_0 + L_0 \alpha \Delta T \quad (2)$$

Onde:

L é o comprimento da barra após o aumento da temperatura

L_0 é o comprimento inicial da barra

α é o coeficiente de dilatação linear

ΔL é a dilatação linear da barra

ΔT é a variação de temperatura

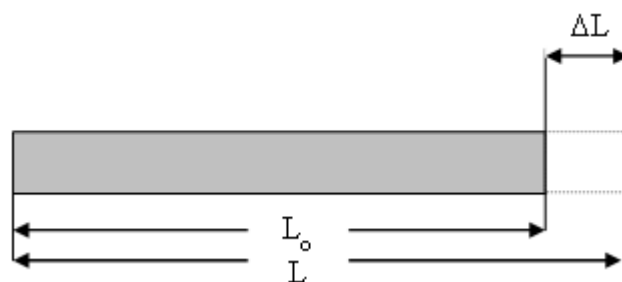


Figura 3 – Dilatação linear de uma barra.

O coeficiente de dilatação linear α , considerado constante, depende do material de que é feita a barra.

Pela expressão $\alpha = \frac{\Delta L}{L_0 \Delta T}$, constatamos que a unidade de medida do coeficiente de dilatação linear é o inverso da unidade de temperatura, ou seja: $^{\circ}\text{C}^{-1}$ ou K^{-1} .

Tabela 1 – Coeficiente de dilatação linear

| Coeficientes de dilatação linear | |
|---|---|
| Substância | α ($^{\circ}\text{C}^{-1}$) |
| Gelo | 51×10^{-6} |
| Chumbo | 29×10^{-6} |
| Zinco | 25×10^{-6} |
| Alumínio | 23×10^{-6} |
| Bronze | 17×10^{-6} |
| Cobre | 17×10^{-6} |
| Aço | 11×10^{-6} |
| Vidro comum | $9,0 \times 10^{-6}$ |
| Carbono, grafite | $7,9 \times 10^{-6}$ |
| Tungstênio | 4×10^{-6} |
| Vidro Pirex | $3,2 \times 10^{-6}$ |
| Diamante | $1,2 \times 10^{-6}$ |
| Invar | $0,7 \times 10^{-6}$ |
| Sílica | $0,4 \times 10^{-6}$ |

2 Dilatação Superficial

No estudo da dilatação superficial, isto é, o aumento da área de um objeto provocado por uma variação de temperatura, são observadas as mesmas leis da dilatação linear. Assim, se um corpo de área S_0 tem sua temperatura aumentada de Δt , sua área e seu aumento de área serão:

$$\Delta S = S_0 \beta \Delta T \quad (3)$$

$$S = S_o + S_o\beta\Delta T \quad (4)$$

Onde:

S é a área após o aumento da temperatura

S_o é a área inicial

β é o coeficiente de dilatação superficial

ΔS é a dilatação superficial

ΔT é a variação de temperatura

O coeficiente de dilatação superficial é dado pela relação: $\beta = 2\alpha$.

3 Dilatação Volumétrica

De maneira análoga, verificamos que a dilatação volumétrica, isto é, a variação do volume com a temperatura é dada por uma expressão:

$$\Delta V = V_o\gamma\Delta T \quad (5)$$

$$V = V_o + V_o\gamma\Delta T \quad (6)$$

Onde:

V é o volume após o aumento da temperatura

V_o é o volume inicial

γ é o coeficiente de dilatação volumétrica

ΔV é a dilatação volumétrica

ΔT é a variação de temperatura

O coeficiente de dilatação volumétrica é dado pela relação: $\gamma = 3\alpha$

4 Importância da dilatação em situações diárias

Para que uma ponte possa se dilatar ou se contrair sem causar danos a sua estrutura é deixado um vão entre a ponte e a pista. A extremidade da ponte é apoiada sobre rolos que permitem que a sua estrutura se movimente.

Um recipiente de vidro comum quando levado ao fogo se dilata e se quebra, por isso foi criado o vidro pirex com um coeficiente de dilatação muito menor do que o do vidro comum, isto permite que ele seja levado ao fogo sem se quebrar.

Quando um anel metálico é aquecido, o seu perímetro aumenta, assim a área interna limitada pelo anel aumenta. Da mesma forma uma placa com um orifício, tem a área desse orifício aumentada quando a placa se dilata.

Uma lâmina bimetálica é constituída de duas lâminas de materiais diferentes, unidas firmemente. Na temperatura ambiente as lâminas são planas e possuem as mesmas dimensões. Quando as lâminas são aquecidas, elas sofrem dilatações diferentes e para que se mantenham unidas elas se encurvam. Esta propriedade é utilizada para provocar aberturas e fechamentos de circuitos elétricos. No ferro elétrico uma lâmina bimetálica é utilizada como termostato.

5 Dilatação dos Líquidos

Os líquidos se dilatam obedecendo as mesmas leis dos sólidos. Como os líquidos, não têm forma própria, mas tomam a forma do recipiente, só interessa o estudo da dilatação volumétrica. Para se observar a dilatação de um líquido, este deve estar contido num recipiente que será aquecido juntamente com o líquido. Tanto o líquido como o recipiente se dilatarão, como o volume do recipiente aumenta, a dilatação observada, para o líquido, será apenas uma dilatação aparente. A dilatação real do líquido será uma dilatação maior do que a dilatação aparente. Assim, a dilatação real do líquido será igual à soma da dilatação aparente com a dilatação volumétrica do recipiente.

$$\Delta V_{REAL} = \Delta V_{APARENTE} + \Delta V_{RECIPIENTE} \quad (7)$$

Onde:

ΔV_{REAL} é a dilatação do líquido

$\Delta V_{APARENTE}$ é a dilatação aparente do líquido

$\Delta V_{RECIPIENTE}$ é a dilatação do recipiente

Tabela 2 – Coeficiente de dilatação volumétrica

| Coeficientes de dilatação volumétrica | |
|---------------------------------------|--------------------------------------|
| Substância | γ ($^{\circ}\text{C}^{-1}$) |
| Ar | $3,67 \times 10^{-3}$ |
| Acetona | $1,5 \times 10^{-3}$ |
| Dissulfeto de carbono | $1,2 \times 10^{-3}$ |
| Petróleo | $0,9 \times 10^{-3}$ |
| Álcool etílico | $0,75 \times 10^{-3}$ |
| Glicerina | $0,5 \times 10^{-3}$ |
| Água (por volta dos | $0,207 \times 10^{-3}$ |

| | |
|----------|-----------------------|
| 20°C) | |
| Mercúrio | $0,18 \times 10^{-3}$ |

Como o volume do líquido aumenta, a sua massa específica diminui. A massa específica do líquido após o aumento de temperatura é dada pela equação.

$$\mu = \frac{\mu_o}{1 + \gamma \Delta T} \quad (8)$$

Onde:

μ é a massa específica após o aumento da temperatura

μ_o é a massa específica antes do aumento de temperatura

γ é o coeficiente de dilatação volumétrica

ΔV é a dilatação volumétrica

ΔT é a variação de temperatura

6 Dilatação anômala da água

A água ao contrário da maioria das substâncias, sofre uma redução de seu volume, ao ser aquecida de 0°C até 4°C. Após 4°C, a água se dilata normalmente. Assim, aos 4°C, a água apresenta o menor volume possível e densidade máxima.



Figura 4 – Gráfico do volume e densidade da água a temperatura de 4°C.

O fato da água se contrair ao ser aquecida de 0°C para 4°C ocorre porque há uma diminuição na distância média entre suas moléculas. Na água no estado sólido (gelo), as moléculas se agrupam formando grandes espaços internos, maiores que nos demais sólidos. Com o processo de fusão a estrutura da rede cristalina se desfaz, de forma que as moléculas irão preencher os espaços vazios. Isso resulta numa diminuição de volume, quando a água aumenta sua temperatura de 0°C a 4°C.

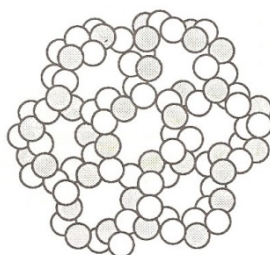


Figura 5 – Estrutura molecular do gelo.

O fato da densidade da água ser máxima aos 4°C, faz com que a água no fundo dos lagos em regiões muito frias, se mantenha a esta temperatura, não se congelando. Isto permite a sobrevivência de animais e plantas nos fundos dos lagos.

UNIDADE IV

CALOR

Quando dois corpos a temperaturas diferentes são colocados em contato, a temperatura atingida por ambos está compreendida entre as temperaturas iniciais. Até o início do século XIX, este fenômeno era explicado afirmando-se que todos os corpos possuíam uma substância material chamada calórico. Entretanto, o conceito de calor (calórico) como substância, não sobreviveu aos fatos experimentais. A primeira evidência conclusiva de que calor não poderia ser uma substância foi apresentada por Benjamin Thompson (1753-1814), quando supervisionava as operações de vazamento para tubos de canhão. Supunha-se que havia uma produção contínua de calórico quando uma substância era finamente subdivida, como ocorria no processo de perfuração, portanto o calórico liberado fazia a água que era colocada na perfuração, ferver. No entanto, Thompson observou, experimentalmente, que a água fervia mesmo depois que as ferramentas tinham perdido o corte e não eram mais capazes de perfurar e ou subdividir o metal do canhão.

Modernamente, considera-se que, quando a temperatura de um corpo é aumentada, a energia que ele possui em seu interior, denominada energia interna, também aumenta. Se este corpo é colocado em contato com outro, de temperatura mais baixa, haverá transferência de energia do primeiro para o segundo, energia esta que é denominada calor. Assim, **calor é definido como a energia transferida de um corpo para outro em virtude, de uma diferença de temperatura entre eles.**

Assim, as quantidades de calor Q recebidas ou cedidas por um corpo poder ser determinadas através da expressão:

$$Q = mc\Delta T \quad (1)$$

Onde:

Q é a quantidade de calor transferida

m é a massa

c é o calor específico

ΔT é a variação de temperatura.

Unidades de calor: Uma vez que foi estabelecido que o calor é energia que está sendo transferida, no S.I., ele é medido em J (Joules). Entretanto, é utilizada uma outra unidade da época do calórico, denominada caloria (1 cal). Por definição, 1 cal é a quantidade de calor

que deve ser transferida a 1 grama de água para que sua temperatura se eleve de 1°C. Joule estabeleceu a relação entre essas duas unidades: **1 cal = 4,18 J**.

Calor específico:

Observa-se que certos alimentos permanecem quentes por mais tempo do que outros. O fato, de algumas substâncias serem mais facilmente aquecidas ou resfriadas que outras foi associada a uma propriedade: calor específico definido como a quantidade de calor necessária para que 1 g de substância varie sua temperatura de 1°C. A unidade de calor específico é cal/g.°C ou J/kg.°C.

Para se interpretar o calor específico é preciso lembrar que as diferentes substâncias são formadas por moléculas de massas diferentes. Assim, para a mesma massa total, a substância constituída por moléculas de menor massa conterá um número maior de moléculas, se a compararmos com outra substância cujas moléculas têm massas maiores. Partindo da hipótese que à mesma temperatura todas as moléculas devem ter em média, a mesma energia cinética, é necessário fornecer no total uma quantidade maior de calor àquela substância cujas moléculas são de menor massa e portanto são em maior número, ou seja, àquela que possui maior calor específico.

O calor específico da água é bem maior do que os calores específicos de quase todas as demais substâncias. Isto significa, que cedendo-se a mesma quantidade de calor a massas iguais de água e de outra substância, observa-se que a massa de água aquece muito menos.

Tabela 1 – Calor específico de algumas substâncias

| substância | calor específico (cal/g°C) |
|--------------|----------------------------|
| água | 1,0 |
| álcool | 0,6 |
| alumínio | 0,22 |
| ar | 0,24 |
| chumbo | 0,031 |
| cobre | 0,093 |
| ferro | 0,11 |
| gelo | 0,55 |
| vapor d'água | 0,50 |

Capacidade térmica:

Para uma dada massa, a quantidade de calor necessária para produzir um determinado acréscimo de temperatura depende da substância. Chama-se capacidade térmica, C , de um corpo o quociente entre a quantidade de calor fornecida ao corpo e o correspondente acréscimo de temperatura.

$$C = \frac{Q}{\Delta T} \quad \text{ou} \quad C = m.c \quad (2)$$

A unidade de capacidade térmica é $\text{cal}/^{\circ}\text{C}$ ou $\text{J}/^{\circ}\text{C}$.

A palavra capacidade térmica não deve ser interpretada como a quantidade de calor que um corpo pode reter, uma vez que ela significa simplesmente, o calor fornecido a um corpo para elevar de uma unidade sua temperatura.

Se tomarmos três corpos de mesmo material, mas de massas diferentes, terá mais capacidade térmica o corpo de maior massa, isto significa, que ele pode receber uma maior quantidade de calor, para uma mesma variação de temperatura que o corpo de menor massa.

Princípio da Conservação da energia.

Se um sistema for isolado e houver apenas trocas de calor entre os seus constituintes, a soma algébrica das quantidades de calor cedidas e recebidas deve ser nula.

$$\sum Q_C + \sum Q_R = 0 \quad (3)$$

Referências:

MÁXIMO, Antônio; ALVARENGA, Beatriz. Física. São Paulo: Spione, 2006.

GRAF. Física 2. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo. 2005.

HEWITT, Paul. Física Conceitual. Porto Alegre: Bookmann, 2002

UNIDADE V

MUDANÇA DE FASE

A matéria em nosso meio ambiente existe em quatro fases. O gelo, por exemplo, é a fase sólida de H_2O . Se adicionarmos energia, estaremos causando um aumento da agitação molecular na estrutura molecular rígida que acaba se rompendo para formar a fase líquida de H_2O , a água. Se adicionarmos mais energia ainda, a fase líquida muda para a fase gasosa. E adicionando-se mais energia ainda, as moléculas se romperão em íons e elétrons, resultando na fase de plasma. A fase da matéria depende de sua temperatura e pressão que é exercida sobre ela.

Vamos estudar as fases ou estados: sólido, líquido e gasoso. As mudanças de fase recebem as seguintes denominações: **fusão**: passagem de sólido para líquido; **solidificação**: passagem de líquido para sólido; **vaporização**: passagem de líquido para gás; **condensação ou liquefação**: passagem de gás para líquido e **sublimação**: passagem direta de sólido para gás ou de gás para sólido.

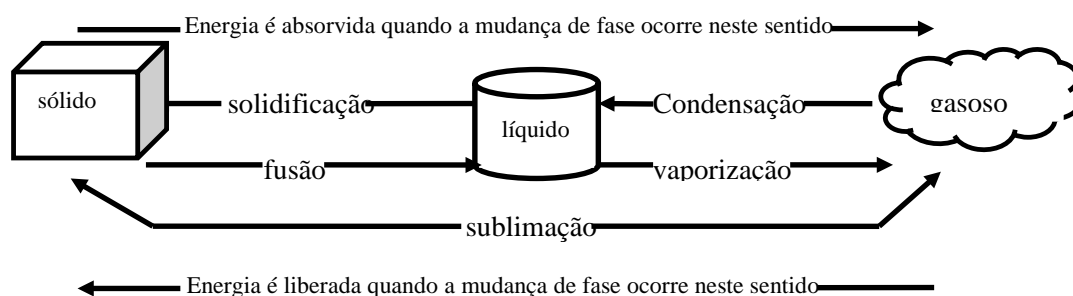


Figura 1 – Mudanças de fase

Fusão e solidificação: Aquecendo-se uma substância inicialmente no estado sólido, as moléculas aumentam sua energia cinética, passando a vibrar em torno de uma posição de equilíbrio e ficando mais afastadas umas das outras. Enquanto a substância se mantiver neste estado, a rede cristalina se mantém, ainda que vibrando mais, já que a vibração entre as moléculas permite também uma interação capaz de mantê-las ainda bem próximas. Se continuarmos o aquecimento, a energia cinética das moléculas irá aumentando até a substância atingir uma determinada temperatura – temperatura de mudança de fase – na qual a velocidade adquirida pelas moléculas consegue afasta-las a ponto de romper a rede cristalina, iniciando a mudança de estado. Continuando a transferência de energia para a substância, o processo de afastamento entre as suas moléculas prosseguirá até que toda a rede se desfaça e a substância passe integralmente para o estado líquido.

A uma dada pressão, a temperatura na qual ocorre a fusão, denominada ponto de fusão, é bem determinada para cada substância. Após o sólido atingir sua temperatura de fusão, é preciso fornecer calor a ele para que ocorra a mudança de fase. Enquanto o corpo está se fundindo, a temperatura do sólido permanece constante, e o líquido que resulta da fusão se encontra à mesma temperatura do sólido. A temperatura do sólido permanece constante durante a fusão.

Por exemplo: Após o gelo atingir a temperatura de 0°C , é necessário fornecer 80 cal a cada grama de gelo para que ele se funda totalmente e obtenha-se 1 g de água a temperatura de 0°C .

Quando uma substância passa do estado sólido para líquido e do líquido para o gasoso, a energia interna aumenta, embora sua temperatura permaneça constante.

Na solidificação os processos físicos ocorrem no sentido inverso, do estado líquido para o sólido, à medida que ocorre a transferência de energia da substância para sua vizinhança, a distância média entre as moléculas vai diminuindo, favorecendo a interação entre elas. No ponto de fusão, a distância será suficiente para permitir o início da formação da rede cristalina. Também aqui, a energia cinética média entre átomos e moléculas se mantém durante todo o processo de mudança de fase, ou seja, até que a transformação se complete.

No caso da passagem do estado gasoso para o líquido e deste para o sólido, libera-se uma determinada quantidade de energia, o que conduz a uma diminuição da energia interna do corpo.

Tabela 1 – Ponto de fusão e calor latente de fusão (à pressão de 1 atm)

| Substância | Ponto de fusão ($^{\circ}\text{C}$) | Calor latente de fusão (cal/g) |
|------------|---------------------------------------|--------------------------------|
| Ferro | 1535 | 8 |
| Platina | 1775 | 27 |

| | | |
|----------------|------|----|
| Prata | 961 | 21 |
| Chumbo | 327 | 6 |
| Enxofre | 119 | 13 |
| Água | 0 | 80 |
| Mercúrio | -39 | 3 |
| Álcool etílico | -115 | 25 |
| Nitrogênio | -210 | 6 |

O calor latente é uma propriedade associada especificamente às mudanças de fase, ela pode ser interpretada como a energia necessária para romper a interação entre as moléculas. A diferença de calor latente para diferentes substâncias pode ser explicada pela diferença na intensidade de energia potencial de interação entre as moléculas das substâncias. Essa propriedade varia de acordo com a mudança de fase.

Por exemplo: o calor latente de fusão da água é menor do que o calor latente de ebulição. Isso significa que precisamos fornecer mais energia para efetuar o processo de ebulição de 1 g de água do que para realizar o processo de fusão da mesma quantidade dessa substância. O calor latente de fusão é 80 cal/g e o calor latente de ebulição é 540 cal/g.

O calor latente é a razão entre a quantidade de calor transferida (Q) e a massa (m) que mudou de fase, assim:

$$L = \frac{Q}{m} \quad (1)$$

Ou

$$Q = mL \quad (2)$$

Onde:

Q é a quantidade de calor recebida ou transferida

m é a massa que mudou de fase

L é o calor latente (positivo, se o calor é recebido e negativo, se o calor é cedido)

A unidade de L no S.I. é J/kg, outra unidade muito usada é cal/g.

Vaporização e condensação: A passagem do estado líquido para o estado gasoso, isto é, a vaporização, pode ocorrer de duas maneiras:

- por evaporação;
- por ebulição;

Durante o processo de ebulição, a energia cinética média das moléculas do líquido é suficiente para elas escaparem das posições médias de equilíbrio do potencial atrativo. À medida que a transferência de energia para a substância continua, mais moléculas escapam do potencial atrativo e vão completando a transformação do líquido em vapor.

Ao passar do estado sólido para o líquido, a estrutura regular das moléculas deixa de existir, porém as moléculas ainda se mantêm de certa forma no campo atrativo das demais, já que no estado líquido ainda é grande a energia potencial de interação entre elas. Entretanto, o processo de ebulição exige uma separação tal entre as moléculas que a energia potencial entre elas é praticamente nula.

Para uma determinada pressão, a temperatura de ebulição, é denominada ponto de ebulição e é bem determinada para cada substância. Após o líquido atingir a temperatura de ebulição é necessário fornecer calor a ele para que ocorra a mudança de fase. Durante o processo de ebulição, a temperatura do líquido permanece constante, e o vapor que resulta da ebulição se encontra à mesma temperatura do líquido.

Os fatos descritos para a ebulição ocorrem em sentido inverso se retirarmos calor do vapor e então teremos o fenômeno da condensação ou liquefação.

Tabela 2 – Pontos de ebulição e calores latentes de vaporização (à pressão de 1 atm)

| Substância | Ponto de ebulição (°C) | Calor latente de vaporização (cal/g) |
|----------------|------------------------|--------------------------------------|
| Mercúrio | 357 | 65 |
| Iodo | 184 | 24 |
| Água | 100 | 540 |
| Álcool etílico | 78 | 200 |
| Bromo | 59 | 44 |
| Nitrogênio | -196 | 48 |
| Hélio | -269 | 6 |

Evaporação: Enquanto a ebulição só ocorre a temperaturas bem determinadas para uma certa pressão, a evaporação, que é a vaporização lenta sem formação de bolhas, pode ocorrer a qualquer temperatura. Os processos de vaporização, lentos ou não, estão relacionados com um aumento da energia interna de uma substância, enquanto a condensação envolve uma diminuição de energia interna. Dessa forma tanto a vaporização como a condensação são processos que ocorrem através das trocas de energia entre a substância e o meio no qual ela se encontra.

Na superfície do líquido existem moléculas que possuem energia cinética suficientemente elevada para conseguirem escapar da camada superficial. Essas moléculas, após abandonarem o líquido, formam sobre sua superfície uma camada de vapor. Uma vez que do líquido escapam aquelas moléculas cuja energia cinética é maior, suficiente para romper a interação, o líquido sofre um resfriamento durante o processo de evaporação. Por outro lado, algumas moléculas do vapor, devido ao seu movimento desordenado, acabam por se chocar com a superfície do líquido e retornam a ele, pois interagem novamente com o potencial atrativo das demais moléculas. Isso significa que juntamente com o processo de evaporação do líquido está ocorrendo o processo inverso, o de condensação de vapores. Dessa forma, próximo à superfície de uma substância no estado líquido ocorrem sempre dois processos simultâneos: a evaporação e condensação de seu vapor. Quando a densidade das moléculas do vapor aumenta sobre a superfície líquida da substância, a condensação aumenta enquanto a evaporação diminui. Assim, quanto menor a densidade do vapor da substância sobre a superfície líquida, tanto maior a evaporação.

A evaporação ocorre a qualquer temperatura, mas a velocidade de evaporação do líquido aumenta com a elevação da temperatura. Isso é explicado pelo fato de a elevação de temperatura aumentar a energia cinética média das moléculas do líquido, propiciando a um maior número de moléculas energia suficiente para romper a interação entre elas. Entretanto, se o líquido estiver num recipiente fechado, a dispersão dos vapores é impedida, e após certo tempo será estabelecido um equilíbrio entre as moléculas que passam para o estado de vapor e as que retornam ao estado líquido. Nessa situação, a pressão exercida pelo vapor sobre o líquido é denominada pressão máxima de vapor.

A velocidade de evaporação depende: a) da temperatura do líquido, pois quanto maior for a temperatura do líquido, maior será a rapidez com que ele evapora; b) da área da superfície livre do líquido, pois quanto maior for essa área, maior será o número de moléculas que poderão atingir a superfície e escapar; c) do número de moléculas no estado de vapor, próximas à superfície do líquido, se este número for muito grande, a velocidade de evaporação será pequena. Por esse motivo, num dia úmido uma roupa molhada demora mais tempo para secar.

Influência da pressão

Verifica-se experimentalmente que, se variarmos a pressão exercida sobre uma substância, a temperatura na qual ela muda de fase sofre alterações. Assim, quando dissermos que o gelo se funde a 0°C e a água entra em ebulição a 100°C , destacamos que isto ocorre se a pressão for de 1 atm.

Influência da pressão na temperatura de fusão - Quando uma substância se funde, de modo geral ela aumenta de volume. Para uma substância que tenha este comportamento, observa-se que um aumento na pressão exercida sobre ela acarreta um aumento em sua temperatura de fusão (e, conseqüentemente, em sua temperatura de solidificação).

A água é uma exceção - Algumas substâncias, entre elas a água, fogem do comportamento geral, pois diminuem o volume ao se fundirem. Para essas substâncias, um aumento na pressão acarreta uma diminuição na temperatura de fusão. Como sabemos, o gelo se funde a 0°C somente se a pressão sobre ele for de 1 atm. Se aumentarmos essa pressão, ele se fundirá em uma temperatura inferior a 0°C , reciprocamente, a uma pressão inferior a 1 atm o seu ponto de fusão será superior a 0°C .

Influência da pressão na temperatura de ebulição - Como você sabe, qualquer substância, ao se vaporizar aumenta de volume. Por este motivo, um aumento na pressão acarreta um aumento na temperatura de ebulição, pois uma pressão mais elevada tende a dificultar a vaporização. Naturalmente, uma diminuição na pressão provoca um abaixamento na temperatura de ebulição.

Um aumento de pressão dificulta a separação de suas moléculas, de forma que precisamos provocar maior elevação de temperatura para que a energia cinética média das moléculas seja suficiente para elas conseguirem superar a interação atrativa. Contrariamente, se a pressão for diminuída, a temperatura necessária (ou a energia cinética) para vencer a interação atrativa entre elas será menor.

Sublimação: Se colocarmos uma bola de naftalina em uma gaveta, sabemos que ela passa para o estado de vapor, sem passar pelo estado líquido, isto é, ocorre a sublimação da naftalina. Embora poucas sejam as substâncias que sublimam nas condições ambientais, verifica-se que este fenômeno pode ocorrer em qualquer substância, dependendo da temperatura e da pressão.

Diagramas de fase – Uma dada substância pode se apresentar nos estados sólido, líquido e gasoso, dependendo de sua temperatura e da pressão exercida sobre ela. A figura 2 mostra um diagrama de fase, observe que este diagrama está subdividido em três regiões, indicadas por S, L e V. Se nos forem fornecidos os valores da pressão e da temperatura em que a substância se encontra, o seu diagrama de fases nos permitirá determinar se ela está

sólida, líquida ou gasosa. Para isto devemos localizar neste diagrama, o ponto correspondente ao par de valores de p e t fornecidos. Se este ponto estiver localizado na região S, a substância estará na fase sólida (por exemplo, o ponto A), se estiver na região L, estará na fase líquida e se estiver na região V, na fase gasosa.

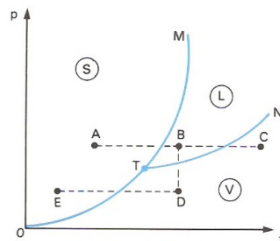


Figura 2 – Diagrama de fases de uma substância (Máximo e Alvarenga, 1998).

Ponto triplo – As linhas que aparecem no diagrama de fases e que o dividem nas regiões S, L e V correspondem a valores de p e t nos quais podemos encontrar a substância simultaneamente, em dois estados. Assim, qualquer ponto da linha TM corresponde a um par de valores de p e t no qual a substância se apresenta, simultaneamente, nos estados sólido e líquido. A linha TN corresponde ao equilíbrio entre o líquido e o vapor e a linha OT, entre sólido e vapor. O ponto de encontro destas três linhas (ponto T) nos fornece os valores da pressão e da temperatura nos quais a substância pode se apresentar, simultaneamente nos três estados. Este ponto é denominado ponto triplo da substância. A água, por exemplo, à pressão de 4,6 mmHg e a temperatura de 0,01 °C, pode ser encontrada, simultaneamente, nos estados sólido, líquido e gasoso e portanto, estes valores correspondem ao seu ponto triplo.

Referências:

MÁXIMO, Antônio; ALVARENGA, Beatriz. Física. São Paulo: Spione. 2006.

GRAF. Física 2. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo. 2005.

HEWITT, Paul. Física Conceitual. Porto Alegre: Bookmann, 2002.

UNIDADE VI

PROCESSOS DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR

Condução:

Ao mantermos uma extremidade de uma agulha de ferro em uma chama, logo ela ficará quente demais para que se possa segurá-la. O calor é transferido para a agulha pela extremidade mantida na chama e é transferido a toda ela. Esse processo de transferência de calor é denominado de condução. O fogo faz os átomos e moléculas da extremidade aquecida moverem-se cada vez mais rapidamente. Esses átomos e elétrons livres colidem com seus vizinhos e esse processo de múltiplas colisões continua até que o aumento no movimento seja transmitido a todos os átomos, e o corpo inteiro torne-se mais quente. A condução do calor ocorre por meio de colisões atômicas e eletrônicas. O quanto um determinado objeto conduz bem o calor depende das ligações em sua estrutura atômica e molecular. Os sólidos formados por átomos com um ou mais de seus elétrons livres mais externos fracamente ligados, são bons condutores de calor e eletricidade. Os metais possuem os elétrons externos mais fracamente ligados, que são livres para transportar energia por meio de colisões através do metal, por isso eles são excelentes condutores de calor. Por outro lado, lã, madeira, papel etc., são maus condutores de calor, denominados

isolantes térmicos, uma vez que os elétrons mais externos dos átomos desses materiais são firmemente ligados.

Um piso de azulejo parece mais frio do que o de madeira, mesmo que ambos os materiais estejam à mesma temperatura. A causa é que o azulejo é melhor condutor de calor do que a madeira e, dessa maneira, o calor é mais velozmente transmitido do pé para o azulejo, quando estamos pisando sobre ele e isto causa uma sensação de mais frio.

Convecção

Os líquidos e os gases transmitem calor principalmente por convecção, que é a transferência de calor devido ao próprio movimento do fluido. A convecção envolve o movimento de massa global de um fluido. Quando um fluido é aquecido por baixo, as moléculas do líquido que estão no fundo passam a mover-se mais rapidamente, afastando-se, em média, mais umas das outras, tornando-se menos denso o material, de maneira que surge uma força de empuxo que empurra o fluido para cima. O fluido mais frio e mais denso move-se de modo a ocupar o lugar do fluido mais quente do fundo. Dessa maneira, as correntes de convecção mantêm o fluido em circulação enquanto ele esquenta – o fluido mais aquecido afastando-se da fonte de calor e o fluido mais frio movendo-se em direção à fonte de calor.

Algumas partes da superfície da Terra absorvem calor do Sol mais facilmente do que outras, e como resultado o ar próximo à superfície é aquecido de forma desigual e, então surgem correntes de convecção. Isso é evidente na costa marítima. Durante o dia, o solo costeiro esquenta mais facilmente do que a água; o ar logo acima do solo é empurrado para cima, pelo ar mais frio que vem das camadas mais próximas à água para tomar seu lugar. O resultado é uma boa brisa marítima. Durante a noite, o processo se inverte, porque o solo esfria mais rapidamente do que a água e, então, o ar mais aquecido se encontra acima do mar. A diferença do aquecimento da água e do solo (areia) é uma consequência do calor específico da água e da areia.

Radiação

As transferências de calor por condução e por convecção só podem ocorrer se existir um meio material entre o corpo quente e o corpo frio. Uma grande quantidade de calor está constantemente sendo transferida do Sol para a Terra e como no espaço entre o Sol e a Terra não existe um meio material (isto é, temos o vácuo), concluímos que esta transferência não pode estar sendo feita nem por condução e nem por convecção. Nesse caso a transferência de calor é feita por um processo denominado radiação térmica, que pode ocorrer mesmo no vácuo.

Todos os corpos, a qualquer temperatura, emitem radiações térmicas e a intensidade dessa radiação é tanto maior quanto maior for a temperatura do corpo emissor. Essas radiações são ondas eletromagnéticas, denominadas radiações infravermelhas, de mesma natureza que as ondas de rádio, a luz, as micro-ondas, etc. Assim, a transferência de calor por radiação é feita por meio de ondas eletromagnéticas (raios infravermelhos), que podem se propagar no vácuo.

O comprimento de onda da radiação está relacionado com a sua frequência. A frequência é a taxa de vibração de uma onda. Os elétrons em vibração emitem ondas eletromagnéticas. Vibrações com alta frequência produzem ondas curtas, enquanto vibrações com baixa frequência produzem ondas longas. Na figura 1, mostramos o espectro eletromagnético, onde podemos observar a radiação infravermelha, que são as ondas de calor.

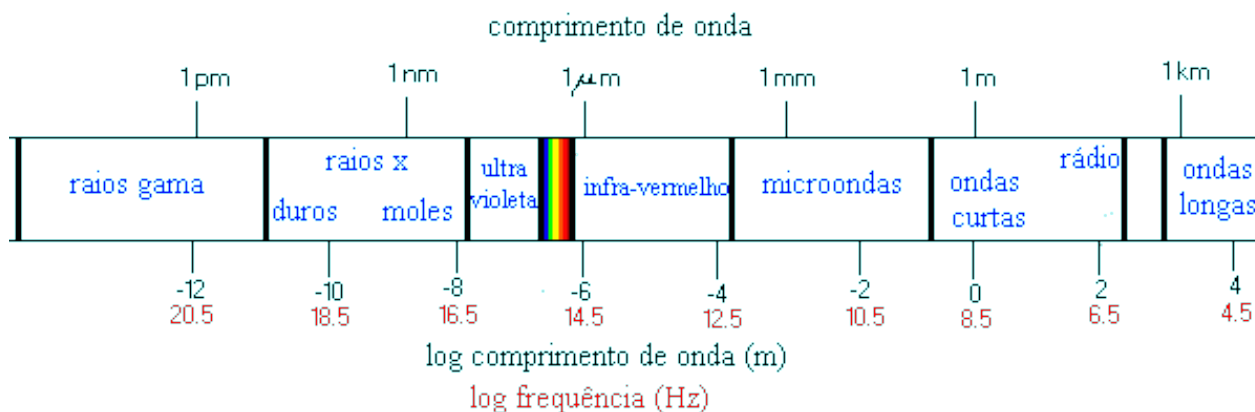


Figura 1- Espectro eletromagnético

Referências:

MÁXIMO, Antônio; ALVARENGA, Beatriz. Física. São Paulo: Spione, 2006.

GRAF. Física 2. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo. 2005.

HEWITT, Paul. Física Conceitual. Porto Alegre: Bookmann, 2002.

UNIDADE VII

ENERGIA INTERNA

Vimos que para fazer com que as partículas em estado ordenado no estado sólido abandonem este estado, é preciso realizar certo trabalho que supera as forças de atração molecular. Neste caso, altera-se a energia interna da substância. Quando uma substância passa do estado sólido para líquido e do líquido, para o gasoso, a energia interna do corpo aumenta, mesmo se a sua temperatura se mantiver constante. Quando se observa a passagem inversa do estado gasoso para líquido e deste para o sólido, liberta-se uma determinada quantidade de energia, o que conduz à diminuição da energia interna do corpo.

A fusão e a solidificação dos corpos cristalinos podem ser explicadas com base na teoria atômico-molecular da estrutura da matéria. Sabemos que as moléculas (ou átomos) nos cristais (estado sólido), se encontram dispostas numa ordem rigorosa. Por isso, todos os cristais da mesma matéria têm uma forma bem determinada. No entanto, mesmo nos cristais as moléculas ou átomos encontram-se em movimento. Mas, contrariamente ao que acontece aos gases, onde as partículas se deslocam independentemente uma das outras, nos sólidos cada uma das partículas influencia o movimento das outras.

Já sabemos que a temperatura do corpo depende da velocidade do movimento das moléculas. Quando um corpo aquece, a velocidade média do movimento das moléculas aumenta e, portanto, cresce a sua energia cinética média. Por isso, a amplitude das oscilações das moléculas (ou átomos) aumenta e as forças que os ligam, diminuem. Quando o corpo aquece até à temperatura de fusão, a amplitude das oscilações aumenta tanto que quebra a ordem da disposição das partículas nos cristais. Os cristais perdem a sua forma e a matéria funde-se, passando do estado sólido para o líquido.

Durante a solidificação da matéria passa-se tudo na ordem inversa. A energia cinética média e a velocidade das moléculas na matéria fundida ao arrefecer diminuem. As forças de atração voltam a reter estas moléculas que se deslocam devagar nas proximidades uma da outra. Por isso, a disposição das partículas torna-se novamente ordenada.

A lei da conservação da energia enuncia que a energia não pode desaparecer. Para onde é que vai a energia durante a fusão?

Para responder a esta pergunta, recordemos que durante a fusão se verifica a destruição do cristal. É nisso que se gasta a energia.

Portanto, a energia que um corpo cristalino recebe já depois de ter sido aquecido até à temperatura de fusão é consumida para alterar a sua energia interna durante a passagem para o estado líquido. Assim, quando a temperatura é igual ao ponto de fusão, a energia de 1 kg duma substância no estado líquido supera a energia interna dessa mesma massa da substância no estado sólido, sendo a diferença igual ao calor latente de fusão.

Porque é que a temperatura dum corpo não se altera durante a sua solidificação?

Já sabemos que quando o corpo se encontra à temperatura de solidificação, a sua energia interna no estado líquido é superior à sua energia interna no estado sólido. Durante o processo de solidificação, o excesso da energia interna libera-se, compensando a perda da energia por arrefecimento. Por isso, a energia média das moléculas e, por conseguinte, a temperatura do corpo permanecem constantes até a conclusão do processo de solidificação. A partir deste momento, a temperatura do sólido, começa a diminuir, pois a perda da sua energia interna já não é compensada.

Sabemos, então que qualquer corpo macroscópico possui uma certa quantidade de energia interna. O conceito de energia interna dos corpos macroscópicos ocupa o lugar mais importante no estudo dos fenómenos térmicos, o que é condicionado pela existência duma lei fundamental da natureza: a da Conservação da energia.

A descoberta da lei da conservação da energia tornou-se possível quando conseguiu ser demonstrado que, a par da energia mecânica, os corpos macroscópicos possuem ainda energia interna que se encontra encerrada no interior desses próprios corpos. Esta energia entra para o balanço geral de transformações da energia da natureza.

Quando o disco utilizado no jogo de hóquei pára depois de deslizar pelo gelo devido ao efeito do atrito, a sua energia mecânica (cinética) não desaparece simplesmente, mas é transmitida às moléculas de gelo e do disco que se deslocam caoticamente. As irregularidades das superfícies dos corpos que se friccionam sofrem, durante este processo, uma deformação e a intensidade do movimento caótico da suas moléculas aumenta. Ambos os corpos aquecem, o que significa um incremento da sua energia interna.

Pode também observar-se facilmente a transformação inversa da energia interna em energia mecânica. Se aquecermos água numa proveta vedada com uma rolha, a energia interna da água começa a aumentar. A água começa a ferver e a pressão do vapor aumenta tanto, que a rolha acaba por ser expelida com violência e é projetada para o alto. A energia cinética da rolha aumenta à custa da energia interna do vapor. O vapor de água, quando se dilata, realiza trabalho e arrefece. Neste caso a energia interna diminui.

Sob o ponto de vista da teoria cinética-molecular, a energia interna dum corpo macroscópico é igual à soma das energias cinéticas do movimento caótico total das moléculas (ou átomos) em relação ao centro das massas do corpo e da energia potencial de interação das moléculas entre si (mas não com as moléculas dos outros corpos). O enorme número de moléculas existentes nos corpos macroscópicos torna impraticável o cálculo da energia interna do corpo (ou a sua variação) de modo a ser possível ter em consideração o movimento das várias moléculas e a sua localização umas em relação às outras. Desse modo, torna-se necessário saber calcular a energia interna (ou a sua variação) com base em parâmetros macroscópicos.

Energia interna de um gás monoatômico perfeito

O gás monoatômico, constituído por átomos isolados e não por moléculas, é o gás que tem as suas propriedades mais simples. Os gases inertes, isto é, hélio, néon, argônio, etc., são monoatômicos. Calculemos a energia interna dum gás monoatômico perfeito.

Uma vez que as moléculas do gás perfeito não estão em interação umas com as outras, exceto por alguns curtos momentos, enquanto se verifica a sua colisão, a sua energia potencial é considerada zero. A energia interna do gás perfeito é assim constituída totalmente pela energia cinética do movimento térmico das suas moléculas.

Para calcular a energia interna do gás monoatômico perfeito de massa m será necessário multiplicar a energia cinética média (equação 1) dum só átomo pelo número total de átomos. O número total de átomos é obtido pelo produto do número de moles (equação 2), pelo número de Avogadro N_A , ou seja, $N = n.N_A$.

$$\bar{E}_C = \frac{3}{2}kT \quad (1)$$

$$n = \frac{m}{M} \quad (2)$$

Multiplicando-se a equação 1, por N , obtemos a energia interna do gás monoatômico perfeito, uma vez que $R = kN_A$, podemos escrever $E_C = N \frac{3}{2}kT$ ou $E_C = n.N_A \frac{3}{2}kT$ ou $E_C = n \cdot \frac{3}{2}RT$ ou $E_C = \frac{m}{M} \frac{3}{2}RT$. Como num gás monoatômico perfeito a energia interna está relacionada somente à energia cinética dos átomos e moléculas podemos escrever:

$$U = \frac{m}{M} \frac{3}{2}RT \quad (3)$$

Onde:

U – energia interna

m – massa do gás

M – massa de um mol de moléculas

R – constante dos gases perfeitos = 8,31J/molK ou 0,082atm.l/molK

k – constante de Boltzmann = $1,38 \times 10^{-23}$ J/K

T – temperatura em Kelvin

A energia interna do gás monoatômico perfeito é diretamente proporcional à sua temperatura absoluta.

Se um gás perfeito é constituído por moléculas mais complexas do que as de um gás monoatômico, a sua energia interna também é proporcional à temperatura absoluta, só que o coeficiente de proporcionalidade entre U e T passa a ser outro. Isto acontece porque as moléculas mais complexas possuem não só movimento de translação, mais ainda de rotação. A energia interna destes gases é igual à soma das energias de translação e do movimento de rotação das moléculas.

Para os gases diatômicos (equação 4) e poliatômicos (equação 5) perfeitos temos:

$$U = \frac{m}{M} \frac{5}{2}RT \quad (4)$$

$$U = \frac{m}{M} \frac{7}{2} RT \quad (5)$$

Dependência da energia interna em função dos parâmetros macroscópicos.

Já estabelecemos que a energia interna do gás perfeito depende dum só parâmetro, a temperatura, e não depende do volume, pois a energia potencial de interação das suas moléculas é considerada igual a zero.

Porém, nos gases, líquidos e sólidos reais, a energia potencial média de interação das moléculas não é igual à zero. Para os gases, na realidade, o seu valor é muito inferior à energia cinética média, mas no caso dos líquidos e sólidos, o seu valor pode já ser comparado com o da energia cinética. A energia potencial média de interação das moléculas depende do volume ocupado pela substância, pois a distância média entre as moléculas varia no caso de haver alteração do volume. Assim, de um modo geral, a energia interna depende da temperatura T e, além disso, do volume V .

Referências bibliográficas:

PIÓRICHKINE, A. V e RÓDINA, N. A. **Física 1**. Moscovo. Editora Mir. 1986.

BUKHOVTSEV, B; KLIMONTOVICH, IU. e MIAKICHEV, G. **Física 3**. Moscovo. Editora Mir. 1882.

UNIDADE VIII

TEORIA CINÉTICA DOS GASES

Modelo cinético de um gás

As leis que já estudamos e que descrevem o comportamento dos gases foram obtidas experimentalmente. Agora procuraremos relacionar estas leis com o comportamento das partículas que constituem o gás, isto é, seus átomos ou suas moléculas.

Vamos basear este estudo nas seguintes suposições.

- Um gás é constituído de pequenas partículas: seus átomos ou moléculas (estudos mais recentes mostraram que a dimensão de uma molécula de um gás é, aproximadamente, igual a 10^{-8} cm).

- O número de moléculas existentes em uma dada massa gasosa é muito grande (como você já sabe, em 1 mol de um gás temos cerca de 6×10^{23} moléculas).

- A distância média entre as moléculas é muito maior que as dimensões de uma molécula.

- As moléculas de um gás estão em constante movimento e este movimento é inteiramente ao acaso, isto é, as moléculas se movimentam em qualquer direção, com velocidades que podem apresentar valores desde zero até valores muito grandes.

Os cientistas ao estabelecerem estas hipóteses estavam supondo que as leis dos gases poderiam ser obtidas aplicando-se as leis da mecânica ao movimento das moléculas, tratando-as como se fossem partículas.

Cálculo cinético da pressão

No modelo cinético de um gás o número de moléculas é muito grande e elas estão em constante movimento. Em conseqüência disto, as moléculas colidem continuamente contra as paredes do recipiente que contém o gás, exercendo uma pressão nessas paredes.

Como o número de colisões é muito grande, não se percebe o efeito do choque de cada partícula. O que se observa é o efeito médio da freqüente sucessão de colisões, que ocasiona o aparecimento de uma força contínua, sem flutuações, pressionando as paredes do recipiente.

Portanto, a pressão que um gás exerce sobre as paredes do recipiente que o contém é devido às incessantes e contínuas colisões das moléculas do gás contra as paredes do recipiente.

É possível relacionar a pressão (grandeza macroscópica) com a energia cinética média das moléculas (grandeza microscópica). Partindo da análise da colisão de uma molécula de gás com uma das paredes do recipiente que a contém, podemos calcular a variação da quantidade de movimento que ela sofre numa determinada direção e a força que ela exerce sobre a parede. A partir disto obteremos a força resultante devido a todas as moléculas do gás. Esses dados serão então substituídos na definição de pressão, e, levando-se em conta as colisões nas três dimensões, chegaremos às relações propostas.

Se considerarmos que uma certa quantidade de gás está ocupando um volume fixo, a pressão depende exclusivamente da temperatura da substância, ou, em termos microscópicos, da energia cinética média das moléculas. Como a pressão pode ser determinada pela relação $p = \frac{F}{A}$, onde F representa a força que as moléculas exercem sobre a parede e A a área de uma das paredes do recipiente, precisaremos calcular inicialmente a força média que o conjunto das moléculas exerce sobre a parede. Para tanto admitiremos que as colisões são elásticas, isto é, tanto a energia cinética média das moléculas como a quantidade de movimento se conservam nas colisões.

Na figura 1, representa-se uma molécula de gás que se choca elasticamente com uma das paredes de um cubo – de aresta l e volume V - e sofre uma variação da sua quantidade de movimento.

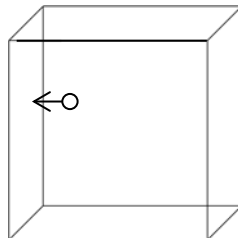


Figura 1 – Representação do movimento de uma molécula na direção da parede do recipiente

Se a molécula se desloca perpendicularmente à parede do recipiente (direção x) e se choca com ela, terá uma variação da quantidade de movimento de $\Delta\vec{Q}_x = \vec{Q}_{x\text{ final}} - \vec{Q}_{x\text{ inicial}}$, que em módulo resulta $\Delta Q_x = m_o \cdot v_x - (-m_o \cdot v_x) = 2 \cdot m_o \cdot v_x$, onde v_x é a velocidade da molécula e m_o é a sua massa.

Para determinar o valor da força que uma molécula faz sobre a parede, é necessário conhecer o intervalo de tempo em que ocorre a colisão, já que $F = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$. Vamos supor que a molécula se desloque da parede à esquerda do cubo, e que nesse movimento não se choque com outra no caminho. O tempo necessário para atravessar o cubo será: $\frac{l}{v_x}$. Na

parede esquerda a velocidade mudará de sentido e voltará para a parede direita. Admitindo-se novamente que não haja colisão durante todo o percurso, o tempo total será $\frac{2l}{v_x}$.

Assim, a força que essa molécula exerce sobre a parede será, em módulo,

$$F = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = 2 \cdot m_o \cdot v_x \cdot \frac{v_x}{2l} = \frac{m_o \cdot v_x^2}{l}.$$

Para obtermos a força resultante sobre as paredes devido a todas as moléculas do gás, devemos somar a contribuição das N moléculas. Assim, $F_R = \frac{Nm_o}{l}(v_{x1}^2 + v_{x2}^2 + v_{x3}^2 + \dots)$, onde v_{x1} é a velocidade da molécula 1, v_{x2} a da molécula 2 e assim por diante. A quantidade $(v_{x1}^2 + v_{x2}^2 + v_{x3}^2 + \dots)$ é o valor médio de V_x^2 para todas as moléculas no recipiente. Essa média pode ser representada por \bar{v}_x^2 . Então:

$F_R = N \cdot \frac{m_o}{l} \bar{v}_x^2$. Retomando a equação $p = \frac{F}{A}$, temos sobre a parede da direita:

$$p = \frac{N \cdot m_o \bar{v}_x^2}{l \cdot A} = \frac{N \cdot m_o \bar{v}_x^2}{V}.$$

A existência de muitas moléculas movendo-se desordenadamente em todas as direções aliada ao fato de termos admitido a conservação da quantidade de movimento e da energia permite que se admita a igualdade dos valores médios de v_x^2, v_y^2 e v_z^2 podemos escrever $v_x^2 = \frac{1}{3} v_m^2$. Assim a equação da pressão forma: $p = \frac{1}{3} \frac{N \cdot m_o (\bar{v}_m^2)}{V}$ ou $p = \frac{2}{3} \frac{N}{V} \left(\frac{m_o \bar{v}_m^2}{2} \right)$ ou $p = \frac{2}{3} \frac{N}{V} \cdot \bar{E}_c$, onde \bar{E}_c representa a energia cinética média das moléculas. Portanto

$$p = \frac{1}{3} \frac{N \cdot m_o (\bar{v}_m^2)}{V} \quad (1)$$

INTERPRETAÇÃO CINÉTICA DA TEMPERATURA

Ao estudarmos a temperatura de um corpo, mencionamos que ela se relaciona com a energia cinética média de seus átomos e moléculas. Mostraremos, agora, como os físicos chegaram a esta conclusão.

A expressão $p = \frac{1}{3} \left(\frac{N}{V} \right) m_o \bar{v}_m^2$, que havia sido obtida baseando-se no modelo cinético, pode ser escrita $pV = \frac{1}{3} Nm_o \bar{v}_m^2$. Comparando-a com a equação de estado de um gás ideal, $pV = nRT$, que havia sido obtida experimentalmente, conclui-se que $\frac{1}{3} Nm \bar{v}_m^2 = nRT$.

Sendo N_A (número de Avogadro) o número de moléculas que existem em um mol e sendo n o número de moles que corresponde a N moléculas, é claro que $N = nN_A$.

Levando este valor de N na igualdade anterior, virá $\frac{1}{3}n.N_A m \bar{v}_m^2 = nRT$ ou

$$m_o \bar{v}_m^2 = 3 \left(\frac{R}{N_A} \right) T.$$

Dividindo-se os dois membros desta equação por dois, temos

$$\frac{1}{2} m_o \bar{v}_m^2 = \frac{3}{2} \left(\frac{R}{N_A} \right) T.$$

Observe que o primeiro membro desta expressão representa a energia cinética média das moléculas (a soma das energias cinéticas das moléculas, dividida pelo número delas). Esta energia cinética média será representada por \bar{E}_C , isto é,

$\bar{E}_C = \frac{1}{2} m_o \bar{v}_m^2$. O quociente $\left(\frac{R}{N_A} \right)$, que aparece no segundo membro, é constante,

pois já sabemos, tanto R como N_A são constantes. Este quociente é muito importante, é representado por k e denominado constante de Boltzmann. Então,

$$k = \frac{R}{N_A} = \frac{8,31}{6,02 \times 10^{23}} \text{ ou } k = 1,38 \times 10^{-23} \text{ J/K}.$$

Desta maneira, chegamos à seguinte expressão:

$$\bar{E}_C = \frac{3}{2} kT \quad (2)$$

que mostra ser a energia cinética média das moléculas de um gás diretamente proporcional à sua temperatura absoluta, isto é, quanto maior for a energia cinética média das moléculas, maior será a temperatura do gás. Destacamos, então, que **a temperatura absoluta, T, de um gás está relacionada com a energia cinética média, \bar{E}_C , de suas moléculas através da expressão $\bar{E}_C = \frac{3}{2} kT$, onde k é a constante de Boltzmann.**

A energia cinética total do gás E_C corresponde à soma das energias cinéticas médias de todas as moléculas. Assim, se tivermos N moléculas de gás, a energia cinética total será dada por $E_C = N\bar{E}_C$ ou $E_C = N \frac{3}{2} kT$ ou $E_C = N \frac{3}{2} \frac{R}{N_A} T$. Como já

vimos $n = \frac{N}{N_A}$, então:

$$E_C = \frac{3}{2} nRT \quad (3)$$

Tendo em vista a equação de Clapeyron, $pV = nRT$, a energia cinética total do gás pode ser escrita em função da pressão e do volume:

$$E_c = \frac{3}{2} pV \quad (4)$$

Velocidade média das moléculas

De $E_c = \frac{3}{2} nRT$, temos: $\frac{mv^2}{2} = \frac{3}{2} \frac{m}{M} RT$, logo:

$$\bar{v}^2 = \frac{3RT}{M} \quad (5)$$

Essa expressão mostra que a velocidade média das moléculas de um gás depende da natureza do gás, ou seja, de M .

Para um dado gás, a temperatura depende exclusivamente da velocidade das moléculas e vice-versa. Isto explica o fato da temperatura ser uma medida da energia cinética das partículas de um corpo.

Energia Interna

Durante os processos termodinâmicos, pode ocorrer variação da energia interna (ΔU) do gás. Verifica-se que só ocorre essa variação no caso de haver variação na temperatura do gás. Assim, **a energia interna de determinada quantidade de gás ideal depende exclusivamente da temperatura.**

Particularmente, para os gases ideais monoatômicos, a variação da energia interna é determinada apenas pela variação da energia cinética total de suas moléculas. Assim, se tivermos n moles de moléculas de gás ideal monoatômico sofrendo a variação de temperatura ΔT , a variação da energia cinética total das moléculas será $\Delta E_c = \frac{3}{2} nR\Delta T$.

Como $\Delta U = \Delta E_c$, teremos

$$\Delta U = \frac{3}{2} nR\Delta T. \quad (6)$$

Referências bibliográficas:

CALÇADA, Caio Sérgio; SAMPAIO, José Luiz. *Física Clássica*. São Paulo: Atual, 2004.
MÁXIMO, Antônio; ALVARENGA, Beatriz. *Física*. São Paulo: Spione, 2006.
Grupo de Reelaboração do Ensino de Física. *Física 2/GREF*. 2.ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2005.

UNIDADE VIII

ESTUDO DOS GASES

Os conceitos apresentados neste texto valem para os gases ideais ou perfeitos. Gás ideal ou perfeito é um gás hipotético cujas moléculas não apresentam volume próprio. O volume ocupado pelo gás corresponde ao volume dos “vazios” entre suas moléculas. Outra característica do gás ideal é a inexistência de forças coesivas entre suas moléculas. Uma consequência de tais fatos é que os gases não sofrem mudanças de fase, estando sempre na fase gasosa.

Em determinadas condições, um gás real apresenta comportamento que se aproxima do previsto para o gás ideal.

O estado de um gás é caracterizado pelos valores assumidos por três grandezas, o **volume (V)**, a **pressão (p)** e a **temperatura (T)**, que constituem então as variáveis de estado.

Conceito de mol e número de Avogadro

O mol é definido como sendo uma quantidade de matéria que contém um número invariável de partículas, sejam átomos, moléculas, elétrons ou íons. Esse número invariável de partículas é o número de Avogadro, cujo valor é:

$$N_A = 6,023 \times 10^{23}$$

Portanto, o mol de um gás é o conjunto de $6,03 \times 10^{23}$ moléculas. O mol de oxigênio (O_2) consta de $6,023 \times 10^{23}$ moléculas de oxigênio. O mol de hidrogênio (H_2) é constituído por $6,023 \times 10^{23}$ moléculas de hidrogênio. Evidentemente, um mol de oxigênio (O_2) não tem a mesma massa que um mol de hidrogênio (H_2), pois cada molécula de oxigênio tem maior massa que cada molécula de hidrogênio.

O número de moles (n) contido em certa massa em gramas da substância pode ser obtido.

$$n = \frac{m}{M} \quad (1)$$

Onde:

n é número de moles

m é massa em gramas de uma substância

M é a massa de um mol de moléculas

Por exemplo, para o oxigênio (O_2) temos $M=32\text{g/mol}$. Então numa massa de $m=96\text{ g}$ de oxigênio há 3 moles.

Equação de Clapeyron

As variáveis de estado de um gás ideal (p, V e T) estão relacionadas com a quantidade de gás. O físico francês Clapeyron estabeleceu que o quociente $\frac{pV}{T}$ é

diretamente proporcional ao número de moles de um gás ideal. $\frac{pV}{T} = Rn$, onde R é uma constante de proporcionalidade, igual para todos os gases. Assim R não é uma constante característica de um gás, mas uma constante universal. R é chamada constante universal dos gases perfeitos e seu valor só depende das unidades das variáveis pressão, volume e temperatura.

Se a pressão está em atmosfera (atm), o volume em litros (l) a temperatura absoluta em Kelvin (K), R vale:

$$R = 0,082 \frac{\text{atm.l}}{\text{mol.K}}$$

No Sistema Internacional de Unidades (SI), R se exprime em relação à unidade de energia (J), pois o produto pV é dimensionalmente igual a energia.

$$R = 8,317 \frac{\text{J}}{\text{mol.K}}$$

Retomando a expressão proposta por Clapeyron:

$$pV = nRT \quad (2)$$

Como o número de moles é $n = \frac{m}{M}$, podemos escrever,

$$pV = \frac{m}{M} RT \quad (3)$$

expressão conhecida como equação de Clapeyron, válida para os gases perfeitos ou ideais.

Nessa expressão, a temperatura T é absoluta, isto é, em Kelvin.

Consideremos dois estados diversos de uma mesma massa gasosa:

Estado 1: p_1, V_1, T_1 .

Estado 2: p_2, V_2, T_2 .

Aplicando a equação de Clapeyron nos dois estados temos: $p_1V_1 = nRT_1$ e $p_2V_2 = nRT_2$, dividindo membro a membro estas expressões encontramos:

$$\frac{p_1V_1}{T_1} = \frac{p_2V_2}{T_2} \quad (4)$$

que representa a **Lei Geral dos Gases Perfeitos**, que relaciona dois estados quaisquer de uma dada massa de um gás.

Um gás está em condições normais de pressão e temperatura quando:

$$CNTP \rightarrow \frac{\text{temperatura : } 0^\circ = 273K}{\text{pressão : } 1\text{atm} \cong 10^5 \text{ N / m}^2}$$

Transformações gasosas

Um gás sofre uma transformação de estado quando se modificam ao menos duas das variáveis de estado.

São comuns as transformações em que variam duas das variáveis, mantendo-se uma constante, assim temos:

Transformação Isocórica ou Isovolumétrica

Uma transformação gasosa na qual a pressão p e a temperatura T variam, e o volume V é mantido constante, é denominada transformação isocórica ou isovolumétrica.

Na lei geral dos gases perfeitos, $\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$, se o volume $V_1 = V_2$, a expressão anterior se reduz a (Lei de Charles):

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2} \quad (5)$$

Assim, a volume constante, a pressão e a temperatura absoluta de um gás são diretamente proporcionais.

De acordo com esta lei, a temperatura de um gás ideal a volume constante diminui à medida que se reduz sua pressão. Portanto, a temperatura mais baixa que tem sentido físico corresponde à pressão nula do gás resfriado isobaricamente. Esta temperatura é $-273,15^\circ\text{C}$ ou 0K (zero Kelvin ou zero absoluto).

Exemplo:

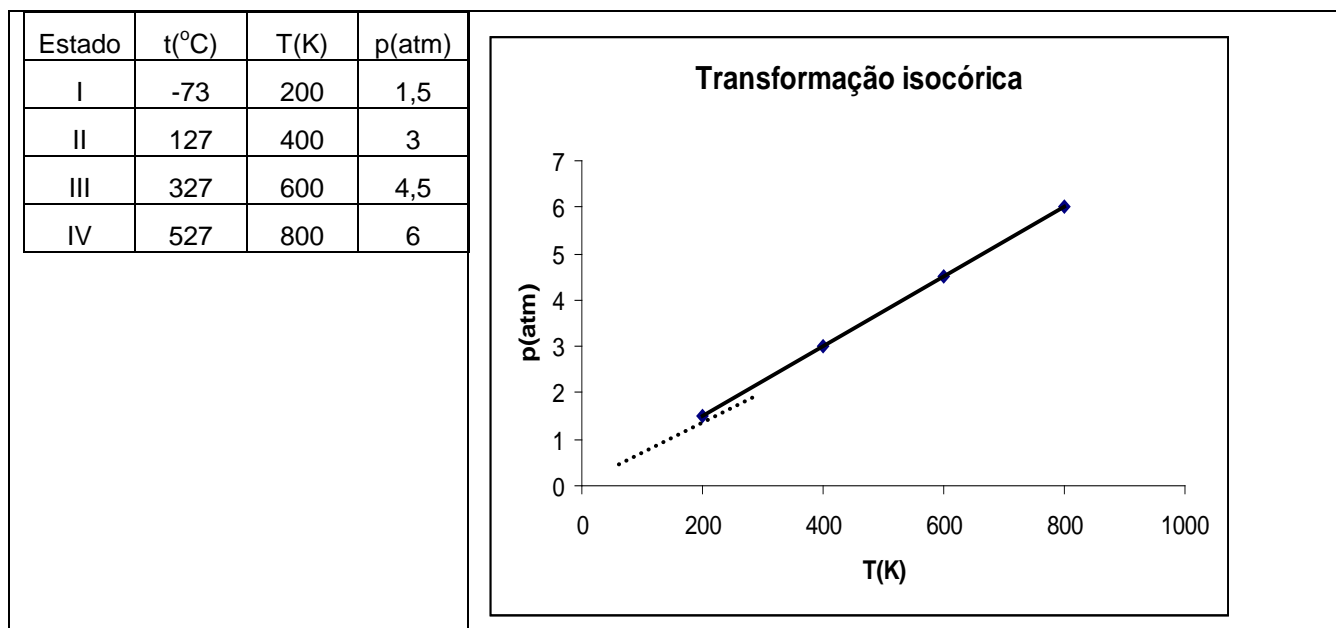


Figura 1 – Transformação isocórica

Transformação isobárica

Uma transformação gasosa, na qual o volume V e a Temperatura T variam, e a pressão p é mantida constante, é chamada de transformação isobárica.

Na lei geral dos gases perfeitos, $\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$, sendo a pressão constante $p_1 = p_2$, a expressão anterior se reduz a:

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \quad (6)$$

Assim, sob pressão constante, o volume e a temperatura absoluta de um gás são diretamente proporcionais.

Exemplo:

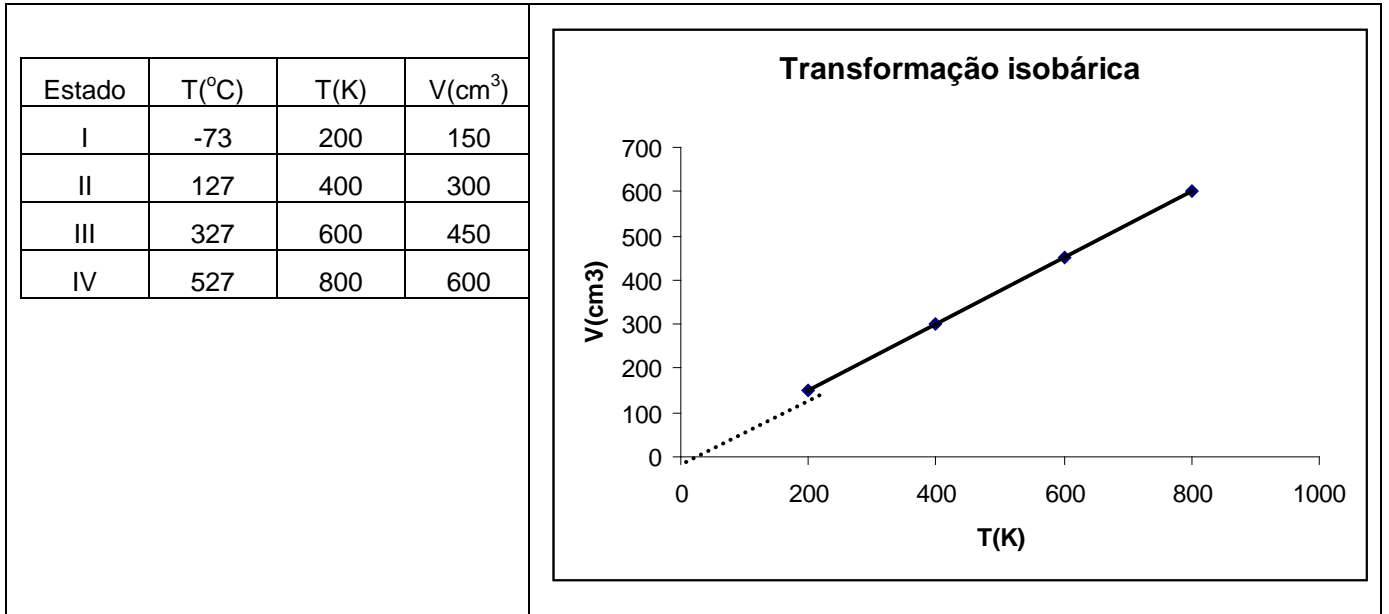


Figura 2 – Transformação isobárica

Transformação isotérmica

Uma transformação gasosa na qual a pressão p e o volume V variam, e a temperatura T é mantida constante, é chamada transformação isotérmica (Lei de Boyle).

Na lei geral dos gases perfeitos, $\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$, sendo a temperatura constante

$T_1 = T_2$, a expressão anterior se reduz a:

$$p_1 V_1 = p_2 V_2 \quad (7)$$

A pressão e o volume de um gás, mantido a temperatura constante, são inversamente proporcionais. Por inversamente proporcional entenda que, se a pressão aumenta, o volume diminui na mesma proporção e vice-versa.

Exemplo:

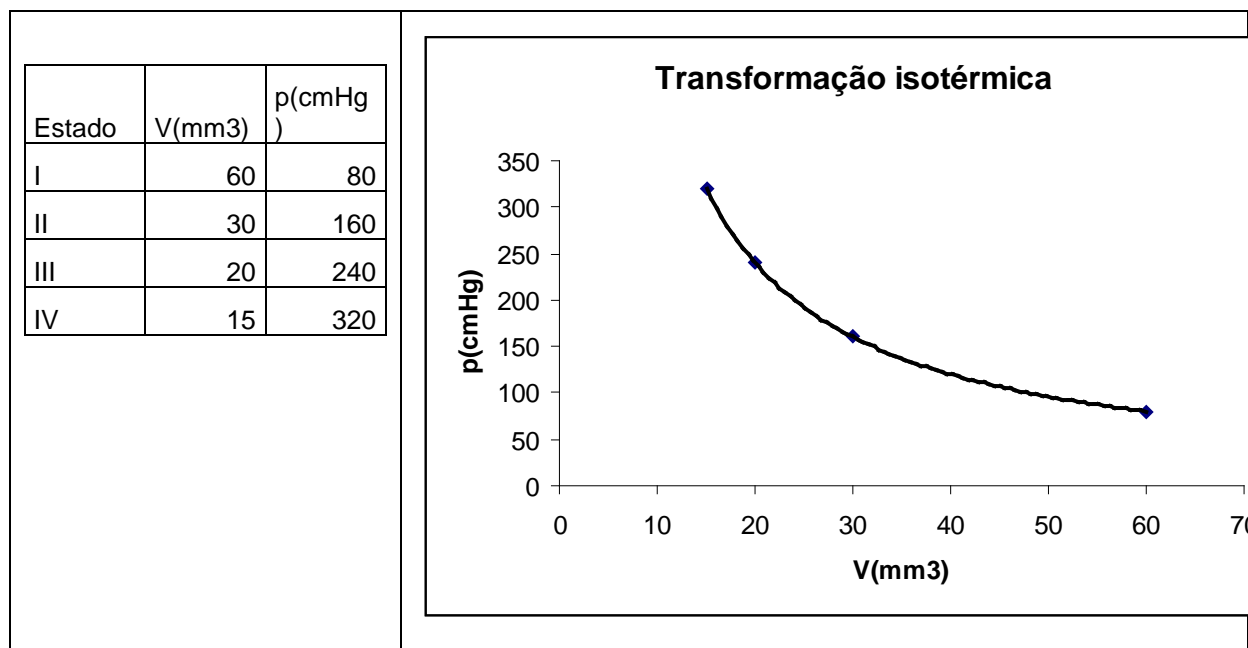


Figura 3 – Transformação isotérmica

Calores específicos dos gases

Para os gases verifica-se que o valor do calor específico (c) depende do modo como variaram a pressão e o volume durante o processo de aquecimento (ou resfriamento) do gás; assim, para cada tipo de transformação há um calor específico diferente.

Experimentalmente verifica-se que para um gás qualquer, $c_p > c_v$, onde c_p é o calor específico a pressão constante (válido para as transformações isobáricas) e c_v é o calor específico a volume constante (válido para as transformações isocóricas).

Isso ocorre porque na transformação isobárica há variação de volume e, assim, uma parte da energia recebida (ou fornecida) pelo gás é utilizada na realização do trabalho de expansão (ou contração), enquanto na transformação isocórica não ocorre variação de volume e, portanto, não há realização de trabalho.

No aquecimento isocórico, toda a energia recebida pelo gás é utilizada para aumento de sua energia interna (e, portanto, aumento de temperatura); no resfriamento isocórico, toda a energia perdida pelo gás foi à custa da diminuição da sua energia interna.

A relação entre c_p e c_v define uma grandeza adimensional denominada expoente de Poisson (γ):

$$\gamma = \frac{c_p}{c_v} \quad (8)$$

A tabela 1 apresenta os valores de c_p , c_v e γ para alguns gases, à temperatura de 300K.

Tabela 1 – Calores específicos e coeficientes de Poisson.

| Nome do gás | Fórmula | c_p (cal/g.K) | c_v (cal/g.K) | γ |
|---------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------|
| Hélio | He | 1,25 | 0,75 | 1,67 |
| Hidrogênio | H ₂ | 3,44 | 2,44 | 1,40 |
| Nitrogênio | N ₂ | 0,248 | 0,178 | 1,40 |
| Oxigênio | O ₂ | 0,219 | 0,158 | 1,40 |
| Gás carbônico | CO ₂ | 0,201 | 0,155 | 1,30 |

Pela relação de Meyer temos $C_p - C_v = R$. Sendo $C_p = M.c_p$, o calor molar a pressão constante e $C_v = M.c_v$, o calor molar a volume constante.

Para o gás monoatômico $C_v = \frac{3}{2}R$ e $C_p = \frac{5}{2}R$, assim $\gamma = 1,67$. Para os gases diatômicos podemos usar $\gamma = 1,40$ e para os poliatômicos $\gamma = 1,33$.

Transformação adiabática

Dizemos que um gás sofre uma transformação adiabática quando ele não troca calor com o meio exterior durante a transformação. Isso pode ser conseguido isolando-se o gás do meio externo ou fazendo-se com que a transformação seja muito rápida. Como o processo de transmissão de calor é relativamente lento, se a transformação for muito rápida, não há tempo para que o calor se propague.

É possível demonstrar que, na transformação adiabática, vale a Lei de Poisson-Laplace:

$$p_1 V_1^\gamma = p_2 V_2^\gamma \quad (9)$$

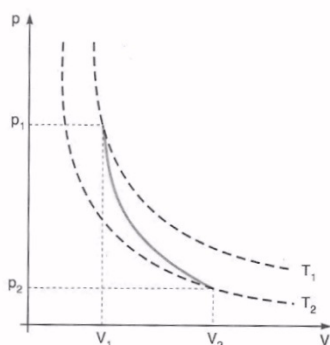


Figura 4 – Curva representativa da transformação adiabática.

Graficamente, como se observa na figura 4, a correspondência entre a pressão e o volume na transformação adiabática é representada por uma curva que corta as isothermas, uma vez que a temperatura varia. No caso consideramos uma expansão adiabática, na qual

o volume aumenta ($V_2 > V_1$), a pressão diminui ($p_2 < p_1$) e a temperatura também diminui ($T_2 < T_1$). Evidentemente, numa contração adiabática ocorreria diminuição de volume, aumento de pressão e aumento de temperatura.

Referências bibliográficas:

CALÇADA, Caio Sérgio; SAMPAIO, José Luiz. *Física Clássica*. São Paulo: Atual, 2004.
MÁXIMO, Antônio; ALVARENGA, Beatriz. *Física*. São Paulo: Spione, 2006.
RAMALHO, Francisco. et al. *Os Fundamentos da Física*. 2.ed. São Paulo: Moderna, 2007.

UNIDADE IX

TRABALHO

Sistema e variáveis de estado

Em Física, usamos a palavra sistema para designar um corpo (ou um conjunto de corpos) que são objetos do estudo, tudo o que é externo ao sistema e tem relação direta com seu comportamento designamos de vizinhança. As magnitudes que caracterizam um sistema são denominadas variáveis termodinâmicas. As magnitudes que permitem definir o estado do sistema são as variáveis de estado como, por exemplo, temperatura, volume, pressão, etc. A expressão matemática que relaciona as variáveis de estado denomina-se equação de estado.

O trabalho na mecânica e na termodinâmica.

Na mecânica, o trabalho é determinado como o produto dos módulos da força e do deslocamento pelo cosseno do ângulo formado entre eles. O trabalho é realizado no processo de ação de uma força sobre um móvel e é igual à variação da energia cinética do corpo.

A termodinâmica não estuda o movimento do corpo como um todo, mas sim o deslocamento das partes dum corpo macroscópico umas em relação às outras. Em resultado disto, o volume do corpo pode variar, enquanto a sua velocidade permanece igual a zero. Assim, na termodinâmica, o trabalho pode ser determinado da mesma forma que na mecânica, como sendo igual à variação não da energia cinética do corpo, mas da sua energia interna.

Variação da energia interna durante o processo de realização de trabalho.

Por que razão a energia interna do corpo varia nos casos de compressão ou de expansão? Por que razão, em particular, o ar aquece quando se enche o pneu de uma bicicleta?

A causa da variação da temperatura no processo de compressão do gás é a seguinte: durante as colisões elásticas das moléculas com o êmbolo em movimento a energia cinética daquelas varia. O êmbolo, enquanto se desloca ao encontro das moléculas, transmite-lhes durante as colisões parte da sua energia mecânica; em resultado disso, o gás aquece.

Se acontecer o contrário, isto é, se o gás se dilatar, após colisão com o êmbolo que se afasta, as velocidades das moléculas diminuem; em resultado disso, o gás arrefece.

No processo de compressão ou dilatação, varia também a energia potencial média de interação entre as moléculas, pois, neste caso a distância entre elas também sofre variações.

Cálculo do trabalho.

Calculemos o trabalho em função da variação do volume, utilizando o exemplo do gás encerrado no cilindro e limitado pelo êmbolo (figura1). É mais simples começar por calcular não o trabalho realizado pela força \vec{F} , que atua sobre o gás por parte de um corpo exterior (o êmbolo), mas o trabalho realizado pelo próprio gás enquanto atua sobre o êmbolo com uma força \vec{F}' . De acordo com a terceira lei de Newton, $\vec{F}' = -\vec{F}$.

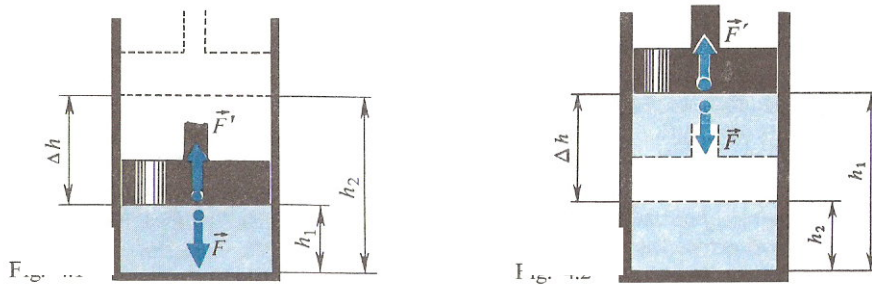


Figura 1- Cilindro com êmbolo (Bukhovtsev, Klimontovich e Miakichev, 1882).

O módulo da força que atua por parte do gás sobre o êmbolo é: $\vec{F}' = pA$, sendo p a pressão do gás e a área da superfície do êmbolo. Suponhamos que o gás se dilata e o êmbolo se desloca, no mesmo sentido da força \vec{F}' , numa pequena distância $\Delta h = h_2 - h_1$. Se o deslocamento é pequeno, a pressão do gás pode ser considerada uma grandeza constante.

O trabalho do gás é dado por:

$$W = F'\Delta h = pA(h_2 - h_1) = p(Ah_2 - Ah_1) \quad (1)$$

Este trabalho pode ser expresso através da variação do volume do gás. O volume inicial é $V_1 = Ah_1$ e o volume final é $V_2 = Ah_2$. Deste modo,

$$W = p(V_2 - V_1) = p\Delta V \quad (2)$$

onde $\Delta V = (V_2 - V_1)$ é a variação do volume do gás.

No processo de dilatação, o gás realiza trabalho positivo, porquanto o sentido da força coincide com o sentido do deslocamento do êmbolo. Durante o processo de expansão, o gás transmite a sua energia aos corpos em redor.

Se o gás é comprimido, a equação (2) mantém-se válida. Mas, neste caso, $V_2 < V_1$, assim, $W < 0$.

O trabalho W_e realizado pelas forças externas em relação ao gás difere do trabalho realizado pelo gás W apenas no que diz respeito ao sinal $W_e = -W$, pois a força \vec{F} , que atua sobre o gás, está orientada em sentido contrário à força \vec{F}' , enquanto o deslocamento continua o mesmo. Assim, o trabalho realizado pelas forças externas que atuam sobre o gás é igual a:

$$W_e = -W = -p\Delta V \quad (3)$$

O sinal menos indica que o processo de compressão do gás, quando $\Delta V = V_2 - V_1 < 0$, o trabalho realizado pela força externa é positivo. Aliás, compreende-se, porque neste caso $W_e > 0$; quando o gás é comprimido, os sentidos da força e do deslocamento coincidem. Os corpos externos que realizam trabalho positivo em relação ao gás transmitem-lhe a sua energia. No caso de dilatação do gás, acontece o contrário: o trabalho realizado pelos corpos externos é negativo ($W_e < 0$), pois $\Delta V = V_2 - V_1 > 0$. Agora, os sentidos da força e do deslocamento são opostos.

As expressões (2) e (3) são válidas não só para os casos de compressão e dilatação do gás no interior dum cilindro, mas ainda sempre que a variação de volume de qualquer sistema for pequena. Se o processo for isobárico ($p = \text{constante}$), estas expressões podem ser aplicadas a variações consideráveis do volume.

Trabalho numa transformação isotérmica de um gás ideal

Suponhamos que um gás ideal se expanda quase estaticamente, a uma temperatura constante. O trabalho efetuado pelo gás é dado pela equação (2). Uma vez que o gás é ideal e o processo é quase-estático, podemos usar $pV = nRT$ para cada ponto da curva do processo. Então, temos

$$W = nRT \ln\left(\frac{V_f}{V_i}\right) \quad (4)$$

Trabalho numa transformação adiabática

Vimos no estudo dos gases que numa transformação adiabática pV^γ , e esta equação relaciona a pressão e o volume nas expansões e compressões quase estáticas.

Numa transformação adiabática $W = -C_v \Delta T$, onde admitimos que C_v é constante, assim o trabalho depende somente da variação da temperatura absoluta do gás. Na expansão adiabática, o gás realiza trabalho, a energia interna diminui e a temperatura diminui também. Numa compressão adiabática, o gás recebe trabalho, a energia interna aumenta e a temperatura também aumenta.

Podemos aproveitar a lei dos gases ideais para escrever $W = -C_v \Delta T$ em termos dos valores inicial da pressão e do volume. Se T_1 for a temperatura inicial e T_2 a final, o trabalho feito pelo gás é

$$W = -nC_v \Delta T = -nC_v (T_2 - T_1) = nC_v (T_1 - T_2) \quad (5)$$

Como $pV = nRT$ obtemos

$$W = nC_v \left(\frac{p_1 V_1}{nR} - \frac{p_2 V_2}{nR} \right) = \frac{nC_v}{C_p - C_v} (p_1 V_1 - p_2 V_2) \quad (6)$$

onde fizemos $nR = C_p - C_v$. Dividindo o numerador e o denominador por C_v e escrevendo γ para o quociente $\frac{C_p}{C_v}$, obtemos

$$W = \frac{p_1 V_1 - p_2 V_2}{\gamma - 1} \quad (7)$$

Interpretação geométrica do trabalho

Pode ser dada uma interpretação geométrica simples para o trabalho W realizado pelo gás quando a pressão é constante.

Vamos construir o gráfico da dependência da pressão do gás em função do volume. Neste gráfico, a área do retângulo abcd, limitado pela linha $p_1 = \text{constante}$, o eixo V e os segmentos ab e cd, de comprimento igual à pressão do gás é numericamente igual ao trabalho (figura 2 (a

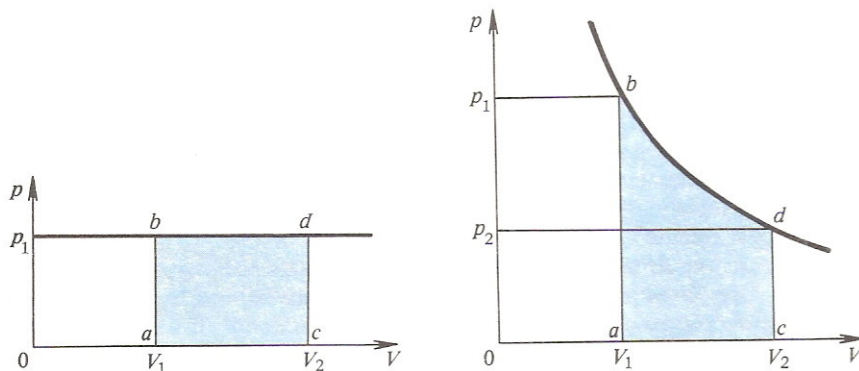


Figura 2 – Representação gráfica do trabalho (Bukhovtsev, Klimontovich e Miakichev, 1882).

No caso geral, quando o volume do gás pode variar arbitrariamente, a pressão não permanece invariável. Por exemplo, no caso dum processo isotérmico, ela diminui na proporção inversa do volume (figura 2 (b)). Neste caso, para calcular o trabalho, torna-se necessário dividir a variação total do volume em partes pequenas, calcular os trabalhos elementares (pequenas variações) e só depois somar tudo. O trabalho continuará a ser igual, como anteriormente à área da figura que se encontra limitada pela curva do gráfico da dependência entre p e V , o eixo V e os segmentos ab e cd, respectivamente às pressões p_1 e p_2 , que correspondem aos estados inicial e final do gás.

Trabalho e calor

Calor é definido como a quantidade de energia transferida nos processos em que a transferência de energia ocorre devido à diferença de temperatura. Assim, calor é energia

em trânsito e não é energia armazenada. O que um sistema ou corpo armazena é energia interna. Quando parte desta energia for transferida por diferença de temperatura, a energia em trânsito chama-se calor; uma vez cessada essa transferência, não existe mais calor, mas essa energia passa a ser energia interna do outro sistema ou corpo.

O mesmo ocorre em relação ao trabalho. O trabalho é a energia transferida (cedida ou recebida pelo sistema) num processo de compressão ou expansão. Cessando o processo de transferência de energia, o trabalho não existe mais.

Ao mesmo tempo que ocorre transferência de energia (calor) para um dado sistema em virtude de uma diferença de temperatura, pode também estar ocorrendo transferência de energia para esse sistema por realização de trabalho. Na realização de trabalho, a transferência de energia não se dá por diferença de temperatura.

Referências bibliográficas:

BUKHOVTSEV, B; KLIMONTOVICH, I. U. e MIAKICHEV, G. **Física 3**. Moscovo: Editora Mir. 1882.

SERWAY, Raymond. A; JEWETT JR, J. W. **Física**, vol 1, 3.ed. Rio de Janeiro. LTC, 2006.

TIPLER, Paul A. **Física 1**. 4.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2006.

UNIDADE X

PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA

Primeira Lei da Termodinâmica

Em meados do século XIX, numerosas experiências demonstraram que a energia mecânica era inesgotável. Por exemplo, cai um martelo sobre um pedaço de chumbo e este aquece de uma maneira bem determinada.

Com base em inúmeras observações deste tipo e na generalização de fatos experimentais foi possível formular a Lei da Conservação da Energia que pode ser assim anunciada:

A energia existente na natureza não surge do nada, nem se esgota: a quantidade de energia é invariável, ela apenas se transforma de uma forma em outra.

A lei da conservação e transformação da energia no que diz respeito aos fenômenos térmicos é conhecida por Primeira Lei da Termodinâmica.

A Termodinâmica estuda os corpos, cuja localização do centro de gravidade praticamente não varia. A energia mecânica dos corpos conserva-se invariável, apenas a energia interna pode variar.

Examinávamos até agora processos, em que a energia interna do sistema variava ora devido à realização de trabalho, ora devido à troca de calor com os corpos circundantes. De um modo geral, no processo de transição do sistema dum estado para outro, a energia interna irá variar, simultaneamente, tanto devido à realização de trabalho, como devido à transmissão de calor. A primeira lei da termodinâmica enuncia-se precisamente para estes casos gerais:

A variação da energia interna do sistema, no processo da sua passagem dum estado a outro, é igual à soma dos trabalhos das forças externas e da quantidade de calor transmitida ao sistema:

$$\Delta U = W_e + Q \quad (1)$$

A primeira lei da termodinâmica dá-nos a relação entre a variação da energia interna e a variação dos parâmetros macroscópicos V e T , pois o trabalho e a quantidade de calor são expressos através das variações destes parâmetros.

No caso particular dum sistema isolado, sobre este não se realiza trabalho ($W=0$), nem ele próprio efetua trocas de calor com os corpos vizinhos ($Q=0$). De acordo com a Primeira Lei da Termodinâmica, neste caso: $\Delta U = U_2 - U_1 = 0$, ou $U_1 = U_2$. A energia interna de um sistema isolado permanece invariável (é constante).

Em vez do trabalho W que as forças externas realizam em relação ao sistema, analisa-se o trabalho \bar{W} que o sistema realiza em relação aos corpos externos. Uma vez que $\bar{W} = -W_e$, a Primeira Lei da Termodinâmica pode ser escrita da seguinte maneira:

$$Q = \Delta U + W \quad (2)$$

A quantidade de calor que se transmite ao sistema é utilizada na variação da sua energia interna e no trabalho que este sistema realiza em relação aos corpos exteriores.

Uma maneira mais geral de expressar a Primeira Lei da Termodinâmica é:

Quando uma quantidade de calor Q é absorvida (Q positivo) ou cedida (Q negativo) por um sistema, e um trabalho é realizado por este sistema (W positivo) ou sobre ele (W negativo), a variação da energia interna, ΔU , do sistema é dada por:

$$\Delta U = Q - W \quad (3)$$

A primeira lei da termodinâmica postula a impossibilidade de se criar um motor perpétuo, isto é, um dispositivo capaz de realizar uma quantidade ilimitada de trabalho sem que haja gastos de combustível ou de qualquer outro material. Se o sistema não recebe calor do exterior ($Q=0$), o trabalho de acordo com a expressão (2), só pode ser realizado à custa da perda de energia interna: $\bar{W} = \Delta U$. Este motor deixa de funcionar logo que a reserva de energia interna se esgote.

Um sistema num dado estado possui sempre uma determinada quantidade de energia interna. No entanto, será errado afirmar que este sistema contenha uma determinada quantidade de calor ou de trabalho. Tanto o trabalho, como a quantidade de calor são grandezas que caracterizam a variação da energia interna do sistema como resultado dum certo processo.

A energia interna de um sistema pode variar, tanto à custa da realização do trabalho. Bem como mediante a transmissão de certa quantidade de calor aos corpos vizinhos. O gás aquecido no interior do cilindro pode diminuir a sua energia interna, resfriando, sem ter realizado nenhum trabalho. Como pode também perder a mesma quantidade de energia deslocando o êmbolo, sem transmitir calor aos corpos vizinhos. Neste caso, as paredes do cilindro e do êmbolo devem ser adiabáticas.

Aplicação da Primeira Lei da Termodinâmica

Com base na Primeira Lei da Termodinâmica pode-se tirar importantes conclusões. Analisemos diferentes processos físicos, no decurso dos quais uma das grandezas físicas permanece invariável. Suponhamos que o sistema é constituído pelo gás perfeito.

Processo isocórico ou isovolumétrico

No caso do processo isocórico o volume não varia por isso o trabalho do gás é igual a zero. De acordo com a equação (2), a variação da energia interna é igual à quantidade de calor liberado.

$$\Delta U = Q \quad (4)$$

Se o gás aquece, então $Q > 0$ e $\Delta U > 0$, e a sua energia interna aumenta. No caso de resfriamento do gás, $Q < 0$ e $\Delta U = U_2 - U_1 < 0$, sendo negativa a variação da energia interna do gás, logo sua energia interna diminui.

Sendo c_v o calor específico e C_v o calor molar a volume constante, a quantidade de calor Q_v , que o gás recebe na transformação quando sofre a variação de temperatura ΔT , será dada pelas seguintes expressões:

$$Q_v = m.c_v.\Delta T \quad \text{ou} \quad Q_v = n.C_v.\Delta T \quad (5)$$

Assim, como foi mostrado acima, aplicando a Primeira Lei da Termodinâmica à transformação isocórica sofrida pelo gás teremos: $\Delta U = Q_v$.

Em conclusão, podemos afirmar:

Na transformação isocórica (aquecimento ou resfriamento) de uma dada massa de gás perfeito, a variação da energia interna sofrida pelo gás é sempre igual à quantidade de calor trocada.

Processo isotérmico

No caso do processo isotérmico ($T=\text{constante}$), a energia interna do gás perfeito não varia. De acordo com a equação (2), a quantidade total de calor transmitido ao sistema é utilizado na realização de trabalho.

$$Q = W \quad (6)$$

O gás que recebe calor ($Q>0$) realiza um trabalho positivo ($W>0$). Se, pelo contrário, o gás cede calor ao meio ambiente, então ($Q<0$) e ($W<0$). O trabalho (W) é negativo e é realizado sobre o gás.

Então, no processo isotérmico à medida que o gás recebe calor, ele deve expandir-se a fim de realizar um trabalho igual ao calor recebido. Assim, toda a energia que o gás recebe na forma de calor é convertida no trabalho realizado sobre o ambiente, a fim de que sua energia interna e portanto, sua temperatura permaneça constante.

As mesmas conclusões são verdadeiras na compressão isotérmica. Se for realizado trabalho sobre o gás, o que significa um ganho energético, o gás deve perder uma quantidade de calor igual ao trabalho, para que a energia interna permaneça constante, o mesmo acontecendo com a temperatura.

Concluindo podemos afirmar:

Na transformação isotérmica (expansão ou compressão) de uma dada massa de gás ideal, a quantidade de calor trocada pelo gás com o meio ambiente é sempre igual ao trabalho realizado no processo, pois é nula a variação de energia interna sofrida pelo gás.

Processo isobárico

De acordo com a equação (2), no caso do processo isobárico, a quantidade de calor que se transmite ao sistema, é utilizada na variação de sua energia interna e na realização de trabalho sob uma pressão constante. Ou seja, vale a equação

$$Q = \Delta U + W \quad (7)$$

Como já foi visto o trabalho realizado pelo gás numa transformação isobárica é dado por $W = p\Delta V$.

A quantidade de calor recebida pode ser expressa, em função do calor específico c_p ou do calor molar C_p , sob pressão constante, pelas expressões:

$$Q_p = m.c_p.\Delta T \text{ ou } Q_p = n.C_p.\Delta T \quad (8)$$

A variação da energia interna, no caso da expansão, é necessariamente positiva ($\Delta U > 0$), pois há aumento da temperatura ($\Delta T > 0$), já que o volume aumenta e a temperatura absoluta e o volume são diretamente proporcionais. Em vista da Primeira Lei da Termodinâmica ($\Delta U = Q_p - W$), concluímos que a quantidade de calor recebida é maior que o trabalho realizado pelo gás: $Q_p > W$ (expansão isobárica).

Se a massa m de gás perfeito (n moles) sofrer compressão isobárica, o ambiente realizará trabalho sobre o gás e o gás perde a quantidade de calor Q_p . Nesse caso a variação da energia interna é negativa ($\Delta U < 0$), pois, sendo volume e a temperatura absoluta diretamente proporcionais, a temperatura diminui ($\Delta T < 0$) em vista da diminuição do volume. Então em vista da Primeira Lei da Termodinâmica ($\Delta U = Q_p - W$), concluímos: $Q_p < W$ (compressão isobárica).

No entanto, como as duas quantidades são negativas (calor perdido e trabalho realizado sobre o gás) em módulo teremos: $|Q_p| > |W|$.

De modo geral, podemos estabelecer:

Na transformação isobárica (expansão ou compressão) de uma dada massa de gás perfeito, o módulo da quantidade de calor trocada é sempre maior que o módulo do trabalho realizado no processo.

Processo adiabático

Analisemos agora o processo que se realiza no interior de um sistema que não realiza trocas térmicas, com os corpos vizinhos. Um processo deste tipo, que se realiza no interior de um sistema termicamente isolado, chama-se processo adiabático.

No caso do processo adiabático, $Q=0$ e, de acordo com a equação (2) a variação da energia interna realiza-se só à custa da realização de trabalho.

$$\Delta U = -W \quad (9)$$

Não é possível impedir totalmente as trocas de calor com o exterior, mas em vários casos, pode-se considerar os processos reais muito próximos dos adiabáticos. Para satisfazer esta condição, eles devem ocorrer com grande rapidez, de modo que não se possa realizar uma troca de calor significativa com os corpos vizinhos.

De acordo com a equação (2) quando o trabalho é realizado sobre o sistema, ele é negativo ($W < 0$), por exemplo, no caso da compressão do gás, a sua energia interna aumenta, o que significa que a temperatura do gás aumenta. Pelo contrário, no caso da expansão é o próprio gás que realiza trabalho positivo ($W > 0$) e, conseqüentemente, a sua energia interna diminui – o gás resfria.

Como conclusão, podemos estabelecer:

Na transformação adiabática (expansão ou compressão) de uma dada massa de gás ideal, a variação de energia interna tem módulo igual ao trabalho envolvido no processo, mas com sinal contrário.

A Lei de Joule dos Gases Perfeitos

A energia interna de um gás perfeito é função exclusiva da temperatura. Como consequência desse fato, é possível afirmar:

A variação da energia interna de um gás perfeito depende exclusivamente dos estados inicial e final da massa gasosa; não depende das transformações particulares que ocorreram entre esses dois processos.

Na figura 1, mostramos dois estados, 1 (inicial) e 2 (final, de certa massa de gás ideal e três caminhos, A, B e C, pelos quais ocorre a passagem entre os dois estados. A variação da energia interna é a mesma nos três casos, mas o trabalho realizado é diferente, sendo maior no caminho A e menor no caminho C, pois o trabalho é igual à área do gráfico.

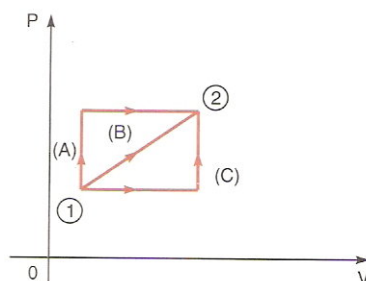


Figura 1 – A energia interna é a mesma nos três caminhos (Calçada e Sampaio, 2004)

Sendo respectivamente, Q_A , Q_B e Q_C as quantidades de calor trocadas pelo gás nos processos A, B e C referidos, a Primeira Lei da Termodinâmica fornece:

$$\Delta U = Q_A + W_A$$

$$\Delta U = Q_B + W_B$$

$$\Delta U = Q_C + W_C$$

Como ΔU é a mesma nos três processos, concluímos que a diferença $Q - W$ é constante e, portanto, a quantidade de calor trocada é maior no caminho A e menor no caminho C.

Em conclusão:

As quantidades de calor e trabalho realizados entre dois estados (inicial e final) de certa massa de um gás ideal dependem das transformações particulares que ocorrem entre esses estados.

Para deduzir a variação da energia interna, qualquer que seja o caminho, vamos usar as transformações isotérmica e isocórica mostradas na figura 2.

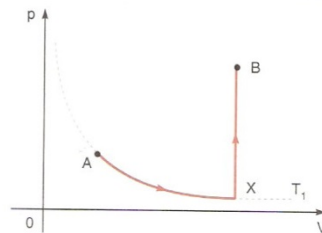


Figura 2- Transformações isotérmica e isocórica

Na transformação isotérmica a variação da energia interna é nula e na transformação isocórica, como o trabalho é nulo $\Delta U = Q_V$, que é a variação da energia interna em todo o processo.

Como a quantidade de calor trocada num processo isocórico é $Q_V = n.C_V.\Delta T$. Então, a variação da energia interna do gás, para quaisquer transformações entre o estado inicial e final será:

$$\Delta U = n.C_V.\Delta T \quad (10)$$

onde:

$n \rightarrow$ número de moles

$C_V \rightarrow$ calor molar a volume constante

$\Delta T \rightarrow$ variação de temperatura

Transformação cíclica

Denominamos transformação cíclica quando o estado inicial coincide com o estado final.

Quanto à energia interna, é evidente que ela varia no decorrer das transformações, mas, se o estado final coincide com o estado inicial, o valor final da energia interna deve ser igual ao seu valor inicial. Assim, $U_{final} = U_{inicial} \Rightarrow \Delta U = 0$.

Quanto ao trabalho realizado no ciclo, podemos dizer que é igual à soma algébrica dos trabalhos realizados nas várias etapas. O módulo do trabalho também é numericamente igual à área interna do ciclo, como mostra a figura 3.

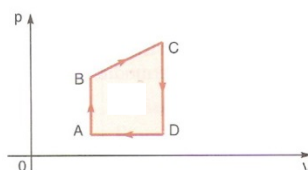


Figura 3 – O trabalho no ciclo é numericamente igual à área interna do ciclo (Calçada e Sampaio, 2004)

Quando o trabalho resultante é positivo significa que o gás, ao realizar o ciclo está fornecendo energia mecânica para o meio ambiente. Como a energia interna do gás não varia, essa energia foi absorvida pelo gás na forma de calor.

Aplicando a Primeira Lei da Termodinâmica na transformação cíclica, obtemos:

$$W = Q \quad (10)$$

Assim, a quantidade de calor trocada no ciclo corresponde à soma algébrica das quantidades de calor trocadas nas diferentes etapas do processo.

Portanto, o gás troca com o ambiente uma quantidade de calor igual ao trabalho realizado no ciclo. No caso da figura 3, como o trabalho é positivo, a quantidade de calor trocada também é positiva, isto é recebida pelo gás no processo. Então o gás efetua conversão de calor em energia mecânica, ao completar um ciclo no sentido horário.

Essa conversão energética é realizada nos dispositivos denominados máquinas térmicas, mas há restrições para essa conversão, estabelecidas pela Segunda Lei da Termodinâmica.

Ao contrário, o gás efetuará a conversão de energia mecânica em calor, ao completar um ciclo no sentido anti-horário.

Conclusão:

Num ciclo de transformações realizadas por certa massa de um gás ideal, há equivalência entre o calor trocado e o trabalho realizado. Se, no diagrama (p x V), o ciclo for percorrido no sentido horário, estará ocorrendo conversão de calor em trabalho. Se o ciclo for percorrido no sentido anti-horário, estará ocorrendo conversão de trabalho em calor.

Resumo

Tabela 1- Resumo das transformações termodinâmicas

| | |
|----------------|--|
| $Q > 0$ | Sistema recebe calor |
| $Q < 0$ | Sistema cede calor |
| $Q = 0$ | Não há troca de calor – Transformação adiabática $\rightarrow W = -\Delta U$ |
| $W > 0$ | O sistema realiza trabalho |
| $W < 0$ | O trabalho é realizado sobre o sistema |
| $W = 0$ | Não há realização de trabalho – Transformação isocórica $\rightarrow Q = \Delta U$ |
| $\Delta U > 0$ | A energia interna do sistema aumenta |
| $\Delta U < 0$ | A energia interna do sistema diminui |
| $\Delta U = 0$ | Não há variação de energia interna – Transformação isotérmica $\rightarrow Q = W$ |

Referências bibliográficas:

BUKHOVTSEV, B; KLIMONTOVICH, IU. e MIAKICHEV, G. *Física 3*. Moscovo: Editora Mir. 1882.

CALÇADA, Caio Sérgio; SAMPAIO, José Luiz. *Física Clássica*. São Paulo: Atual, 2004.

SEGUNDA LEI DA TERMODINÂMICA

Transformações reversíveis e irreversíveis

Chamamos de reversíveis as transformações que podem se efetuar em ambos os sentidos, de modo que, na volta, o sistema retorna ao estado inicial, passando pelos mesmos estados intermediários, sem que ocorram variações definitivas nos corpos que o rodeiam.

Geralmente, as transformações puramente mecânicas que se realizam sem atritos e sem que produzam choques anelásticos são reversíveis, como no exemplo mostrado na figura 1.

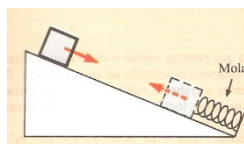


Figura 1 – Descida reversível num plano inclinado (Ramalho, Ferraro e Soares, 2007).

Considere um cubo pesado e perfeitamente elástico no alto de um plano inclinado. Na base do plano, há uma mola perfeitamente elástica. Se o cubo deslizar, sem nenhuma resistência, plano abaixo, chocar-se-á elasticamente com a mola M e voltará a subir pelo plano até alcançar novamente sua posição inicial. Perceba que a transformação ocorrida não produziu nenhuma modificação nos corpos circundantes. Logo, a descida é reversível.

No exemplo da figura 1, levando-se em conta as perdas de energia por atrito, para fazer o cubo retornar à posição primitiva, seria necessário um fornecimento exterior de energia. Logo, a descida nesse caso seria irreversível.

Uma transformação é dita irreversível quando sua inversa só puder se efetuar como parte de um processo mais complexo, envolvendo modificações nos corpos circundantes.

Durante uma transformação, um gás não está em equilíbrio, pois suas diferentes partes não apresentam a mesma temperatura e a mesma pressão. Em consequência, as relações que foram apresentadas como leis dos gases, não são aplicáveis. No entanto, se a transformação for realizada lentamente, há uniformização de pressão e temperatura no sistema e no exterior. Nesse caso, em todo o instante são válidas as relações entre pressão, volume e temperatura. Tal transformação é dita quase estática ou reversível, pois o processo poderá ser invertido e o gás voltar ao estado inicial, passando pelos mesmos estados intermediários, sem que ocorram modificações no meio exterior.

O modelo quase estático aplica-se com grande precisão a muitos fenômenos. No entanto, há casos em que o modelo quase estático não é aplicável.

Na vida real, todos os fenômenos espontâneos ou naturais são irreversíveis. A natureza só admite uma sequência para o transcurso dos acontecimentos. Em todos eles há uma espécie de orientação que indica o sentido do transcorrer do tempo, algo que os físicos chamaram de seta do tempo. Uma pedra de gelo colocada num copo com água sempre recebe calor da água e derrete. O gelo jamais cede calor espontaneamente para a água – é impossível a água ficar ainda mais quente tornando o gelo ainda mais frio.

Mesmo o exemplo da figura 1, apresentado como reversível é, na verdade irreversível, pois no caso do bloco no plano inclinado sempre vai haver atrito, e haverá um pequeno aquecimento do sistema, devido ao choque entre as moléculas.

A Primeira Lei da Termodinâmica não é contrariada, por exemplo, em relação à conservação da energia, se o gelo ceder calor à água, ficando ainda mais frio e tornando a água ainda mais quente. Mas, isso nunca ocorre, a natureza não permite. A física, como ciência que procura descrever e entender a natureza deve formular a lei que expressa essa proibição. Essa lei é a Segunda Lei da Termodinâmica.

Segunda Lei da Termodinâmica

Um dos enunciados da Segunda lei da Termodinâmica foi formulado por Kelvin e proíbe a transformação de calor integralmente em trabalho:

É impossível realizar um processo cujo único efeito seja remover calor de um reservatório térmico e produzir uma quantidade equivalente de trabalho.

O enunciado de Clausius consagra uma observação experimental. O calor sempre passa dos corpos mais quentes para os mais frios; o contrário é espontaneamente impossível.

É impossível realizar um processo cujo único efeito seja retirar calor de um corpo mais frio para um corpo mais quente.

Máquina térmica

A Segunda Lei da Termodinâmica também pode ser enunciada como uma consequência dos enunciados anteriores:

Nenhuma máquina térmica, operando em ciclos, pode retirar calor de uma fonte e transforma-lo integralmente em trabalho.

As máquinas térmicas, origem do estudo da Termodinâmica, são ainda hoje a mais importante aplicação tecnológica. A máquina térmica, como a maior parte das máquinas ou motores, funcionam em ciclos, ou seja, executa etapas que se repetem periodicamente.

A primeira etapa do ciclo de funcionamento das máquinas térmicas, corresponde à transformação do calor em trabalho e na segunda o gás cede calor à fonte fria e a máquina térmica volta ao estado inicial.

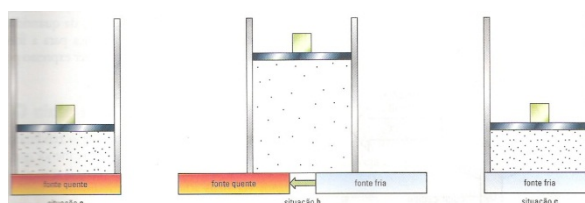


Figura 2 – Esquema de uma máquina térmica – Na situação (a) o gás contido no cilindro absorve calor da fonte quente, na situação (b) a máquina realiza trabalho e na situação (c) o gás cede calor para a fonte fria (Gaspar, 2004).

Na primeira etapa, de a até b, o gás absorve calor da fonte quente e realiza trabalho, elevando o bloco; na segunda etapa, de b até c, o gás cede calor para a fonte fria e retorna ao estado inicial. O funcionamento da máquina térmica costuma ser representado também esquematicamente pelo diagrama de fluxo, apresentado na figura 3.

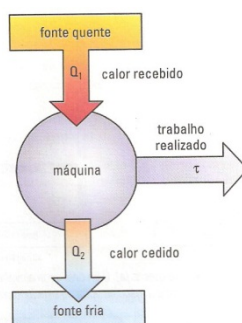


Figura 3 – Diagrama de fluxo da máquina térmica. O retângulo superior representa a fonte quente, o círculo central, a máquina térmica e o retângulo inferior, a fonte fria. As setas indicam o sentido do fluxo de calor e do trabalho (Gaspar, 2004).

O diagrama de fluxo procura tornar evidente que a máquina térmica só transforma em trabalho parte do calor que recebe da fonte quente. A outra parte ela dissipa ou cede à fonte fria. Assim, o rendimento de qualquer máquina térmica é sempre inferior a 100%.

O rendimento de um sistema mecânico é a razão entre a potência útil P_U , fornecida pelo sistema, e a potência total P_T , fornecida ao sistema:

$$\eta = \frac{P_U}{P_T} \quad (1)$$

Associando a potência útil ao trabalho produzido pela máquina térmica W e associando a potência total ao calor fornecido à máquina térmica pela fonte quente Q_1 , podemos escrever a expressão do rendimento para as máquinas térmicas da forma:

$$\eta = \frac{W}{Q_1} \quad (2)$$

Vamos supor agora que $|Q_2|$ seja o módulo (para evitar o uso do sinal negativo) da quantidade de calor cedida pela máquina térmica para a fonte fria. Nesse caso, o rendimento pode ser expresso por:

$$\eta = 1 - \frac{|Q_2|}{Q_1} \quad (3)$$

Essa expressão deixa claro que o rendimento de qualquer máquina térmica é sempre menor que 1, ou seja menor que 100%, a menos que Q_2 seja zero o que a termodinâmica também proíbe.

O ciclo de Carnot

Se o rendimento da máquina térmica é sempre limitado, menor do que 1, deve haver um rendimento máximo a ser atingido. Essa foi a conclusão do jovem engenheiro francês Sadi Carnot num trabalho publicado em 1924.

Carnot demonstrou teoricamente que existe uma sequência específica de transformações – um ciclo especial – em que a máquina térmica obtém o máximo rendimento. Esse ciclo passou a denominar-se ciclo de Carnot. A máquina que desenvolve ou trabalha seguindo esse ciclo é a máquina ideal, também chamada de máquina de Carnot. Essa máquina térmica teórica realiza um ciclo ideal reversível.

Nenhuma máquina térmica que opere entre duas dadas fontes, às temperaturas T_1 e T_2 , pode ter maior rendimento que uma máquina de Carnot operando entre essas mesmas fontes.

A máquina de Carnot desenvolve uma sequência de processos a que um gás ideal deve ser submetido para que realize o ciclo de Carnot:

Essa sequência de processos, representada graficamente na figura 4, corresponde a:

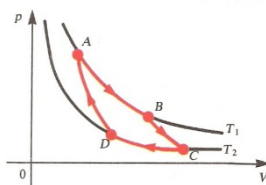


Figura 4 – Ciclo de Carnot (Ramalho et al., 2007).

- 1º) expansão isotérmica AB, durante a qual o gás está em contato com um sistema de temperatura constante T_1 (fonte quente), recebendo dele uma quantidade de calor Q_1 ;
- 2º) expansão adiabática BC, durante a qual não ocorrem trocas de calor com o ambiente;
- 3º) compressão isotérmica CD, durante a qual o gás está em contato com um sistema de temperatura constante T_2 (fonte fria), cedendo a ele uma quantidade de calor Q_2 ;
- 4º) compressão adiabática DA, durante a qual o gás não troca calor com o ambiente.

O trabalho realizado pelo gás no ciclo W , que corresponde à diferença entre as quantidades de calor trocadas com a fonte quente Q_1 e a fonte fria Q_2 , é medido numericamente pela área interna do ciclo na figura 4.

As quantidades de calor Q_1 e Q_2 trocadas nos processos isotérmicos AB e CD são dadas por: $Q_1 = n.R.T_1 \ln \frac{V_B}{V_A}$ e $Q_2 = n.R.T_2 \ln \frac{V_D}{V_C}$. Dividindo membro a membro, obtemos:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{T_1 \ln \frac{V_B}{V_A}}{T_2 \ln \frac{V_D}{V_C}} \quad (4)$$

Nas adiabáticas: CD: $p_C V_C^\gamma = p_B V_B^\gamma$ e CB: $p_D V_D^\gamma = p_A V_A^\gamma$. Dividindo membro a membro:

$$\frac{p_C V_C^\gamma}{p_D V_D^\gamma} = \frac{p_B V_B^\gamma}{p_A V_A^\gamma} \quad (5)$$

Nas isotérmicas: AB: $\frac{V_A}{V_B} = \frac{p_B}{p_A}$ e CD: $\frac{V_D}{V_C} = \frac{p_C}{p_D}$.

Substituindo em (5) temos: $\frac{V_D V_C^\gamma}{V_C V_D^\gamma} = \frac{V_A V_B^\gamma}{V_B V_A^\gamma}$, então $\frac{V_C^{\gamma-1}}{V_D^{\gamma-1}} = \frac{V_B^{\gamma-1}}{V_A^{\gamma-1}}$. Assim: $\frac{V_D}{V_C} = \frac{V_B}{V_A}$.

Substituindo em (4) temos: $\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{T_1}{T_2}$ ou $\frac{Q_1}{T_1} = \frac{Q_2}{T_2}$. Portanto na máquina de Carnot, as

quantidades de calor trocadas com as fontes térmicas são diretamente proporcionais às temperaturas absolutas dessas fontes.

Como o rendimento da máquina térmica é dado por: $\eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$. Para a máquina de Carnot, em particular, a equação para o rendimento pode ser escrita como:

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1} \quad (6)$$

Portanto, concluímos:

O rendimento da máquina de Carnot não depende da substância usada na máquina térmica: é função exclusiva das temperaturas absolutas das fontes quente e fria.

Estabelece o Teorema de Carnot que, entre duas temperaturas, T_1 e T_2 , das fontes quentes e fria, a máquina de Carnot é a que apresenta o máximo rendimento. Portanto, nenhuma máquina térmica, entre as mesmas temperaturas, pode apresentar rendimento superior ao previsto para a máquina de Carnot.

No entanto, é importante assinalar que esse rendimento nunca poderia ser 100%, pois isso exigiria a fonte fria no zero absoluto, $T_2 = 0 K$ e por conseguinte, a conversão integral do calor em trabalho o que contraria a Segunda Lei da Termodinâmica.

Máquina térmica – motor a álcool ou gasolina

Os motores de automóveis, ônibus e caminhões são exemplos de máquinas térmicas. A produção do movimento nesses motores começa pela queima de combustível no seu interior.

Nos motores a gasolina ou a álcool, essa queima ocorre na câmara de combustão, constituída de um cilindro, duas válvulas (uma de admissão e outra de escape) e uma vela de ignição (os motores a diesel não têm vela). A válvula de admissão permite a entrada de combustível no cilindro, enquanto a de escape, a saída dos gases resultantes da combustão. O pistão é acoplado a uma biela, que, por sua vez, é articulada a um eixo de manivela ou virabrequim.

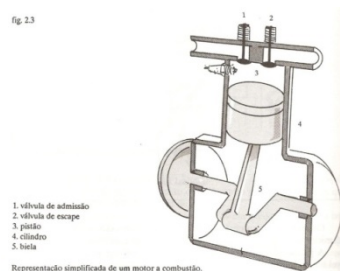


Figura 5 – Representação de um motor a combustão (GREF-2005)

Como resultado da combustão ocorre o movimento de vaivém do pistão, que, em função do acoplamento à biela e ao virabrequim, é transmitido para fora do motor na forma de movimento de rotação.

Vejam como funciona o motor a combustão interna. O processo tem início quando a mistura de ar e combustível entra no cilindro pela válvula de admissão. À medida que o pistão desce, a mistura é aspirada e vai preenchendo o volume do cilindro. Durante esse tempo a válvula de escape permanece necessariamente fechada, conforme está ilustrado na figura 6.

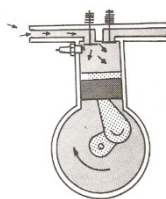


Figura 6 – Primeiro tempo no funcionamento do motor: expansão (GREF – 2005)

Quando o pistão retorna, devido à inércia do virabrequim, a mistura é confinada a um volume cada vez menor, o que aumenta sua pressão e temperatura. Neste período, as duas válvulas permanecem fechadas. A figura 7 ilustra a mistura sendo comprimida.

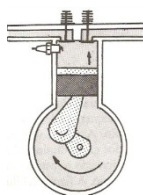


Figura 7 – Segundo tempo no funcionamento do motor: compressão (GREF – 2005)

No ponto de máxima compressão da mistura, a vela de ignição solta uma centelha que provoca uma combustão muito rápida (explosão), produzindo grande aquecimento dos gases resultantes e um grande aumento da pressão interna no cilindro.

Entretanto, devido à rapidez com que se dá a explosão e à inércia do sistema, o movimento do pistão ocorre instantes após a explosão.

Neste período as válvulas continuam fechadas, inclusive no momento seguinte à explosão, quando o pistão se desloca até o fim do curso. A figura 8 ilustra o momento da explosão do gás.

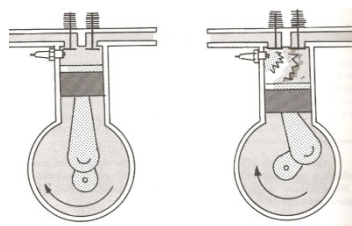


Figura 8 – Terceiro tempo no funcionamento do motor: máxima compressão e explosão (GREF – 2005)

Finalmente, no máximo volume do cilindro, a válvula de escape se abre e parte dos gases é liberada rapidamente, devido à baixa pressão exterior, sem ocorrer o deslocamento do pistão. Assim, o volume no interior do cilindro fica inalterado, enquanto a pressão dos gases diminui. Em seguida o pistão sobe devido à inércia do virabrequim, eliminando o restante dos gases; a diminuição do volume ocorre sem variação da pressão. A figura 9 mostra esta situação.

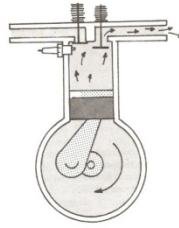


Figura 9 – Quarto tempo no funcionamento do motor: escape (GREF – 2005)

A partir do diagrama da figura 10 podemos identificar as várias transformações ocorridas durante um ciclo do motor.

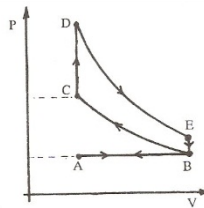


Figura 10 – Representação do ciclo Otto (GREF – 2005)

No trecho AB, a velocidade de avanço da mistura é aproximadamente igual a velocidade do pistão, fazendo com que a pressão permaneça constante; por isso o processo é denominado isobárico.

No trecho BC, todo o trabalho do pistão é convertido em energia interna da mistura, que tem sua pressão e temperatura aumentadas, o que produz uma compressão denominada adiabática, ou seja, sem troca de calor com o exterior, uma vez que o processo é muito rápido.

No trecho CD ocorre a explosão, e por ela ser muito rápida não há tempo suficiente para o movimento do pistão e, portanto, para a variação de volume. Desse modo a energia do combustível é convertida em energia interna, com grande elevação da temperatura dos gases resultantes da reação. Assim, essa transformação pode ser considerada isométrica.

No trecho DE, segunda parte do tempo de explosão, o pistão desce com tanta rapidez que não há tempo para trocas de calor. Por isso a expansão é também considerada adiabática.

No trecho EB, a abertura da válvula de escape faz ocorrer a variação da massa e da pressão da mistura, sem que haja tempo para o pistão mudar seu curso e, portanto, de variar o volume. Essa descompressão pode ser considerada isométrica.

No trecho BA ocorre a expulsão dos produtos da queima. Uma vez que a massa do gás contido no cilindro diminui na mesma proporção que o volume, esse processo pode ser considerado isobárico.

Os veículos têm geralmente vários cilindros com seus pistões acoplados ao mesmo virabrequim.

A descrição das transformações ocorridas durante o ciclo de funcionamento de um cilindro é aproximada.

Desse modo, o diagrama das variações da pressão e do volume em um motor real apresenta alguma diferença em relação ao analisado anteriormente. A admissão não é perfeitamente isobárica, pois o volume da mistura não acompanha o movimento do pistão, ocorrendo portanto, certa queda de pressão. A explosão não é perfeitamente isométrica porque não é instantânea e ocorre com certa velocidade do pistão.

A exaustão isométrica não chega a ocorrer porque o cilindro inverte muito rapidamente sua velocidade (transmitida pelo eixo) e já começa a empurrar a mistura queimada para fora. A exaustão real não é de fato isobárica porque o pistão tem velocidade menor que a de saída do gás.

Para um ciclo completo de um motor real, o diagrama $p \times V$ tem a forma da figura 11.

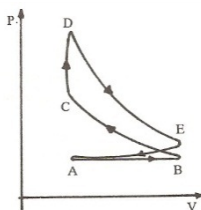


Figura 11 – Representação de um ciclo completo para o motor real (GREF – 2005)

Máquina térmica – refrigeradores

A refrigeração consiste basicamente em provocar, através de processos de trocas de calor, o resfriamento do interior da geladeira (ou de uma sala, no caso do condicionador de ar). Desse modo, a geladeira funciona como bomba de calor, transferindo-o ao ambiente. Este processo não é espontâneo, porque a troca de calor se dá do mais frio (interior da geladeira) para o mais quente (exterior da geladeira), o que configura como o oposto da troca espontânea.

Dentro da geladeira, o congelador é o componente mais frio, e por isso está em condições de trocar calor com o que se encontra no seu interior. Por outro lado, a placa preta que fica fora, por estar mais quente que o ambiente, pode trocar calor com o ambiente, também espontaneamente. Para que a troca de calor se dê do mais frio (congelador) para o mais quente (radiador), é necessária uma substância de operação (geralmente, R 134A), que torna possível o sentido inverso daquele que seria espontâneo.

Na geladeira, a substância de operação se vaporiza a baixa pressão no congelador e se condensa a alta pressão no radiador. Como a temperatura de mudança de estado varia de acordo com a pressão a que está submetida a substância, é necessário um mecanismo que reduza a pressão no congelador e a aumente no radiador. Isso é obtido através de um compressor (que eleva a pressão) e de uma válvula (que diminui a pressão).

A válvula descompressora, nas geladeiras domésticas, nada mais é do que um tubo capilar. O estreitamento do caminho da substância de operação faz com que seu fluxo aumente de velocidade para permanecer constante, com conseqüente diminuição de pressão.

A figura 12 mostra o percurso da substância utilizada através dos elementos de uma geladeira:

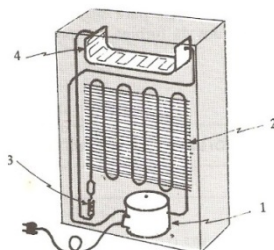


Figura 12 – Representação do circuito da geladeira: 1. compressor: o vapor entra com baixa pressão e sai com alta pressão; 2. radiador: é a serpentina na qual o vapor se liquefaz, trocando calor com o ambiente; 3. válvula: é um tubo capilar que diminui a pressão; 4. congelador: o líquido se vaporiza e absorve o calor do interior da geladeira (GREF – 2005).

O R 134A é uma substância que possui alto calor latente de vaporização, o que facilita a troca de calor no interior da geladeira. Além disso, a temperatura de vaporização deve ser conseguida a uma pressão pequena, porém superior a atmosférica, para que um eventual vazamento permita a saída do gás e não a entrada de ar e umidade na tubulação. A temperatura de condensação deve ser conseguida a uma pressão não tão alta que represente um custo excessivo de construção.

A figura 13 mostra os elementos de uma geladeira elétrica e o estado da substância (R 22) em cada trecho do ciclo.

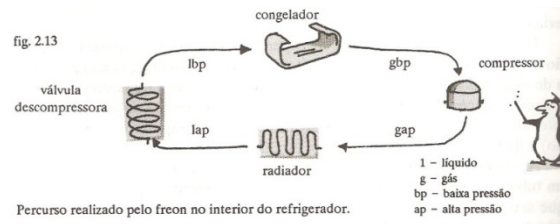


Figura 13 – Representação do percurso realizado pelo R134A no interior do refrigerador (GREF – 2005)

A figura 14 mostra o diagrama $p \times V$ para o ciclo da geladeira.

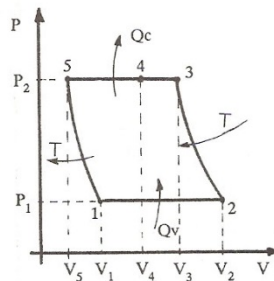


Figura 14 – Representação das variações de pressão e volume no ciclo da geladeira (GREF – 2005)

Nas geladeiras, o que se obtém é uma troca de calor no sentido inverso ao que seria espontâneo. Isso é conseguido através do trabalho mecânico que o compressor realiza sobre a substância.

Ao realizar um ciclo, a substância passa por alguns processos, entre os quais absorver e trocar calor ao mudar de estado e receber trabalho ao ser comprimida. A energia interna da substância, entretanto, é a mesma ao final de cada ciclo, pois ela sempre retorna às mesmas condições iniciais.

Podemos afirmar que o calor trocado com o ambiente pelo R134A ao condensar no radiador resulta do calor trocado pelo R134A com o interior ao se vaporizar no congelador, e do trabalho para comprimir a substância. A quantidade de calor trocada entre o radiador e o ambiente é maior que a trocada entre o congelador e o interior da geladeira. A esta diferença equivale o trabalho realizado pelo compressor sobre a substância. Assim, $Q_{\text{congelador}} + W = Q_{\text{radiador}}$.

Referências bibliográficas:

- CALÇADA, Caio Sérgio; SAMPAIO, José Luiz. *Física Clássica*. São Paulo: Atual, 2004.
 MÁXIMO, Antônio; ALVARENGA, Beatriz. *Física*. São Paulo: Spione, 2006.
 GASPAR, Alberto. *Física 2*. São Paulo: Ática, 2004.
 Grupo de Reelaboração do Ensino de Física. *Física 2/GREF*. 2.ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2005).
 RAMALHO, Francisco. et al. *Os Fundamentos da Física*. 2.ed. São Paulo: Moderna, 2007.

ENTROPIA

A Primeira Lei da Termodinâmica deu origem ao conceito de **energia interna**, enquanto a Segunda Lei da Termodinâmica deu origem ao conceito de **entropia**.

Entropia

Como os demais conceitos da termodinâmica, a compreensão do significado físico de entropia demanda alguma familiaridade com o conceito, que começa com a sua definição. Para defini-la, vamos supor o acoplamento de várias máquinas cujo funcionamento obedece ao ciclo de Carnot. Veja a figura 1:

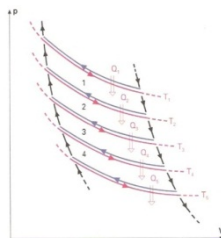


Figura 1 – Diagrama $p \times V$ de várias máquinas térmicas acopladas descrevendo o ciclo de Carnot (Gaspar, 2007).

O gás contido na máquina térmica 1, recebe a quantidade de calor Q_1 a temperatura da isoterma T_1 e cede a quantidade de calor Q_2 a temperatura da isoterma T_2 ao gás contido na máquina 2. Esta máquina, por sua vez, recebe a quantidade de calor Q_2 a temperatura da isoterma T_2 e cede a quantidade de calor Q_3 à temperatura da isoterma T_3 , ao gás contido na máquina 3, e assim por diante. Lembrando a expressão $\frac{|Q_2|}{Q_1} = \frac{T_2}{T_1}$, e admitindo todas as quantidades de calor em

módulo, podemos fazer: $\frac{Q_1}{T_1} = \frac{Q_2}{T_2} = \frac{Q_3}{T_3} = \dots = \frac{Q}{T} = S$.

Essa constante S é algo que não se perde quando uma máquina reversível, ideal, está em funcionamento. É, por definição, a *entropia* do sistema e pode ser expressa pela razão:

$$S = \frac{Q}{T} \quad (1)$$

A unidade de entropia no SI é J/K .

Essa razão, $\frac{Q}{T}$, nem sempre pode ser calculada diretamente. Se a temperatura T varia quando um sistema absorve a quantidade de calor Q , como ocorre com qualquer substância que não esteja em mudança de fase, esse cálculo é impossível, pois não existe um único valor de T para essa quantidade Q . Por isso define-se a variação da entropia ΔS , que permite esse cálculo, pela expressão.

$$\Delta S = \frac{\Delta Q}{T} \quad (2)$$

A unidade da variação da entropia é a mesma da entropia, mas agora devemos levar em conta também o sinal a ela atribuído. Basta seguir a mesma convenção para a quantidade de calor adotada na aplicação da Primeira Lei da Termodinâmica:

A variação da entropia de um sistema é positiva ($\Delta S > 0$) quando a quantidade de calor ΔQ é positiva, isto é, quando o sistema recebe calor, e negativa ($\Delta S < 0$) quando o sistema fornece calor.

As igualdades que utilizamos para definir essa grandeza foram deduzidas para sistemas termodinâmicos reversíveis, mas as definições de entropia e da variação da entropia valem para qualquer sistema, reversível ou irreversível.

A entropia e a segunda Lei da Termodinâmica

Nas trocas de calor, a quantidade de calor cedida pelo sistema ($-\Delta Q$) é, em módulo, igual à quantidade de calor por ele absorvida ($+\Delta Q$), o que se justifica pelo Princípio da Conservação da Energia.

Como a variação de entropia $\left(\Delta S = \frac{\Delta Q}{T}\right)$ é inversamente proporcional à temperatura, se

ΔQ é o mesmo, a fração $\frac{\Delta Q}{T}$ é menor quando a temperatura T é maior, e maior quando a temperatura T é menor. De acordo com a segunda Lei da Termodinâmica, a transferência sempre se processa no sentido do corpo de temperatura mais alta para o de temperatura mais baixa. Por isso, ΔQ é sempre positivo para o sistema à temperatura mais baixa e negativo para aquele que estiver a temperatura mais alta. Ou seja, em qualquer transformação, as frações $\frac{\Delta Q}{T}$, positivas, são sempre maiores do que as frações $\frac{\Delta Q}{T}$, negativas. Em síntese, pode-se concluir que a variação da entropia é sempre positiva.

Nos sistemas reversíveis ideais, porém, como a máquina de Carnot, a razão $\frac{\Delta Q}{T}$ é constante, portanto, nesse caso, a variação de entropia é nula. Então podemos concluir que, em sistemas reais ou irreversíveis, a variação da entropia é sempre positiva, enquanto nos sistemas ideais ou reversíveis, ela é nula. Essas conclusões possibilitam mais um enunciado da segunda Lei da Termodinâmica, formulado pelo físico alemão Clausius, agora baseado no conceito de entropia.

Em qualquer transformação ocorrida num sistema isolado, a variação da entropia é nula ou positiva,

$$\Delta S \geq 0 \quad (3)$$

ou, em termos mais gerais, lembrando que na natureza só existem processos irreversíveis, pode-se afirmar que:

A entropia do universo sempre aumenta.

Entropia e desordem

Uma diferença fundamental entre a mecânica e a termodinâmica é a quantidade de partículas envolvidas. É possível determinar a energia potencial gravitacional e cinética de uma pequena esfera em movimento, por exemplo, mas é impossível obter um resultado único quando se considera um sistema composto de um imenso número de partículas. Esse imenso número de partículas envolvidas

no estudo da Termodinâmica levou os físicos a adotarem uma nova forma de abordagem da natureza, baseada em princípios da estatística, surgida em 1872 com o físico austríaco Boltzmann. Boltzmann concluiu que a tendência dos fenômenos naturais à irreversibilidade e à degradação da energia não é uma certeza, mas uma probabilidade estatística.

Boltzmann percebeu que a desordem é uma grandeza termodinâmica essencial, estabelecendo outro enunciado para a Segunda Lei da Termodinâmica: **Em qualquer sistema físico, a tendência natural é o aumento da desordem; o restabelecimento da ordem só é possível mediante o consumo de energia.**

Como a tendência espontânea de qualquer fenômeno natural é o aumento da entropia, Boltzmann concluiu que a entropia é a medida da desordem do universo.

A grande descoberta de Boltzmann foi perceber que o aumento da desordem no nível atômico está diretamente relacionado ao sentido da transferência de calor, o que lhe permitiu relacionar a estatística às leis da termodinâmica. Como exemplo dessa relação, é fácil demonstrar que, se dois blocos metálicos a temperaturas diferentes forem colocados em contato lado a lado, a desordem aumentará se o calor passa do mais quente para o mais frio. Veja a figura 1:

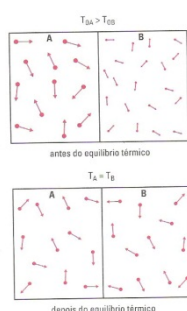


Figura 1 – Antes do equilíbrio térmico, as moléculas rápidas estão no bloco A e as lentas no bloco B; as coisas estão em ordem. Depois do equilíbrio térmico, não há mais distinção entre moléculas rápidas e lentas; a desordem aumentou (Gaspar, 2001).

Vamos supor que inicialmente a temperatura do bloco A, mais quente, seja T_{0_A} , e do bloco B, mais frio, seja T_{0_B} , portanto $T_{0_A} > T_{0_B}$. Como a temperatura está relacionada à média das velocidades das moléculas, as moléculas do bloco A são, em média, mais rápidas do que as moléculas do bloco B. As coisas estão em ordem: rápidas à esquerda, lentas à direita.

No entanto, com o tempo, à medida que o calor se transfere do bloco mais quente para o mais frio, essa organização vai deixando de existir. Quando ambos atingirem a mesma temperatura, $T_A = T_B$, não se saberá mais onde estão as moléculas mais rápidas nem as mais lentas; a desordem aumentou. É fácil ver que, se o sentido do calor fosse inverso, isto é, se o frio ficasse mais frio e o quente ficasse mais quente, a ordem ou organização aumentaria.

É importante lembrar que essa é a tendência natural ou espontânea prevista pela Segunda Lei da Termodinâmica para o sentido do fluxo de calor. O sentido oposto pode ser conseguido, a geladeira é um exemplo, mas é preciso fornecer energia externa ao sistema. Não é impossível conseguir a ordem; ela apenas dá muito mais trabalho.

Referências bibliográficas:

GASPAR, Alberto. *Física 2*. São Paulo: Ática, 2007.