

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS NATURAIS E EXATAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO MATEMÁTICA
E ENSINO DE FÍSICA (PPGEMEF)**

Jaqueline Menezes Dias

**UM ESTUDO DA CONSTRUÇÃO DO “*HABITUS*” NO ENSINO DA
SEGUNDA LEI DA TERMODINÂMICA**

Santa Maria, RS
2016

Jaqueline Menezes Dias

**UM ESTUDO DA CONSTRUÇÃO DO “*HABITUS*” NO ENSINO DA
SEGUNDA LEI DA TERMODINÂMICA**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Educação Matemática e Ensino de Física da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM — RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ensino de Física**

Orientador: Prof. Dr. Everton Lüdke

Santa Maria, RS.
2016

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Dias, Jaqueline Menezes

Um estudo da construção do \ "habitus\ " no ensino da Segunda Lei da Terodinâmica / Jaqueline Menezes Dias.- 2016.

123 p.; 30 cm

Orientador: Everton Lüdke

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Naturais e Exatas, Programa de Pós-Graduação em Educação Matemática e Ensino de Física, RS, 2016

1. Ensino de Física 2. Termodinâmica 3. Aquisição do habitus 4. Ensino superior I. Lüdke, Everton II. Título.

© 2016

Todos os direitos autorais reservados à Jaqueline Menezes Dias. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser realizada mediante citação da fonte.

E-mail: jaquemdias@gmail.com

Jaqueline Menezes Dias

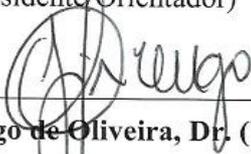
**UM ESTUDO DA CONSTRUÇÃO DO “HABITUS” NO ENSINO DA
SEGUNDA LEI DA TERMODINÂMICA**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado
do Programa de Pós-Graduação em Educação
Matemática e Ensino de Física da
Universidade Federal de Santa Maria (UFSM
— RS), como requisito parcial para obtenção
do grau de **Mestre em Ensino de Física**

Aprovado em 26 de agosto de 2016:



Everton Lüdke, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)



Gilberto Orengo de Oliveira, Dr. (UNIFRA)



Maria Cecília Pereira Santarosa, Dra. (UFSM)

Santa Maria, RS.
2016

Dedico o presente trabalho a meus pais Adelar e Maria, meu irmão Joaquim e a todos familiares e amigos que acreditaram nos meus sonhos. Ao meu namorado e amigo Tiago pela imensurável compreensão e carinho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que de alguma forma colaboraram para a concretização deste trabalho, especialmente:

— Ao meu orientador Prof. Everton Lüdke, pela oportunidade concedida, pelos conselhos, pela confiança em mim depositada, por sua dedicação e disponibilidade, muito grata pela orientação;

— Ao professor Cesar de Oliveira Lobo, pela disponibilização de suas turmas para realização deste estudo;

— À minha amiga Josiane Marques, cuja amizade foi construída no decorrer do curso de mestrado, pelas diversas conversas, discussões e trabalhos desenvolvidos, e pelo apoio;

— À minha amiga Paola Jardim, pelas conversas e conselhos para elaboração deste trabalho e pelo incentivo;

— À Ana Cristina, pelo abraço no momento necessário;

— A CAPES, pelo apoio financeiro.

RESUMO

UM ESTUDO DA CONSTRUÇÃO DO “*HABITUS*” NO ENSINO DA SEGUNDA LEI DA TERMODINÂMICA

AUTORA: Jaqueline Menezes Dias

ORIENTADOR: Everton Lüdke

A Termodinâmica é um ramo da física que se desenvolveu, como ciência, após o advento tecnológico da máquina térmica e, devido à grande importância dessa tecnologia para a sociedade britânica do século XVIII. Mas, esses aspectos históricos normalmente não são considerados em abordagens do conteúdo de Termodinâmica para o Ensino superior. Em vista disso, desenvolveu-se uma sequência de ensino para o conteúdo de máquinas térmicas e Segunda Lei da Termodinâmica utilizando de atividades didáticas com diferentes enfoques e discussões através de uma abordagem que reconhece a contextualização desse conteúdo com a história do desenvolvimento das máquinas térmicas e a importância dessas para a afirmação do sistema econômico capitalista. Para tanto buscou-se apoio na Pedagogia Histórico-Crítica de Saviani como referencial para a metodologia de ensino e na teoria sobre o sistema de ensino e a aquisição do *habitus* de Bourdieu. A sequência de ensino foi implementada com três turmas de cursos de engenharia da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) que cursavam a disciplina de Física Geral e Experimental II. Desta forma, foram utilizados como instrumentos para a coleta de dados: os registros de aula, a análise das respostas discursivas dos alunos as atividades e das respostas às questões do pós e pré-teste, sendo que a análise das respostas discursivas foi qualitativa tendo como referencial a Análise Textual Discursiva de Moraes (2003). Ainda foi aplicado com as turmas um questionário sobre o interesse em Física. As referências bibliográficas sugeridas no programa da disciplina também foram motivo de análise. Dentre os resultados obtidos foi possível identificar, através da análise dos dados algumas dificuldades dos alunos com relação a interpretações de conceitos da Termodinâmica.

Palavras-chave: Ensino superior. Contextualização. Aquisição do *habitus*.

ABSTRACT

A STUDY OF THE CONSTRUCTION IN THE TEACHING OF SECOND LAW OF THERMODYNAMICS

AUTHOR: Jaqueline Menezes Dias

ADVISER: Everton Lüdke

Thermodynamics is a branch of physics that developed as a science after the technological advent of heat engine and, due to the great importance of this technology for the English society of the eighteenth century. But these historical aspects are not normally considered in approaches of the Thermodynamics content to higher education. In view of this, we developed a teaching sequence for the content of thermal machines and Second Law of Thermodynamics using educational activities with different approaches and discussions through an approach that recognizes the historical contextualization of this content with development of heat engine and the importance of these for the affirmation of the capitalist economic system. Therefore we sought support in the Historic-Critic Pedagogy Saviani as a reference for teaching methodology and theory of the education system and in the acquisition of Bourdieu's habitus. The teaching sequence was implemented with three classes of engineering courses at the Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) who attended the discipline of Física Geral e Experimental II. Thus, it were used as instruments to collect data: the class records, the analysis of the discursive responses of students activities and the responses questions post-test and pre-test, for which the qualitative analysis of the discursive responses has as reference the Análise Textual Discursiva of Moraes (2003). And it was also applied to the class a questionnaire about their interest in physics. The references suggested in the program of the course were also subject to analysis. Among the results were identified through analysis of the data some students' difficulties with regard to interpretation of concepts of Thermodynamics.

Keywords: Higher education. Contextualization. *Habitus* acquisition.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 — Esquema de estrutura hierárquica da instituição escolar influenciada pela sociedade com elementos da obra de Bourdieu.....	31
Figura 2 — Aparato experimental utilizado na atividade sobre a lei de Boyle.....	68
Figura 3 — Carrinho movido com motor Stirling utilizado na Atividade 3.	69
Figura 4 — Exemplo de resposta que mostra a organização dos dados em tabela.	82
Figura 5 — Exemplo de: resposta de aluno que organizou os dados por medida.....	83
Figura 6 — Exemplo de: resposta de aluna que identificou ambas as variáveis para os eixos.	84
Figura 7 — Exemplo de resposta de aluno que traçou a curva através de segmentos entre os pontos.	85
Figura 8 — Exemplo de resposta de uma aluna do Grupo 1.....	89
Figura 9 — Exemplo de resposta um aluno do Grupo 1.	90
Figura 10 — Exemplo de resposta de aluna do Grupo 1.....	91
Figura 11 — Exemplo de resposta de um aluno do Grupo 2.	91
Figura 12 — Exemplo de resposta de uma aluna do Grupo 1.....	92
Figura 13 — Exemplo de resposta para categoria 1, de uma aluna do Grupo 1.	96
Figura 14 — Exemplo de resposta para categoria 1, de um aluno do Grupo 1.....	97
Figura 15 — Exemplo de uma resposta pertencente a categoria 2, de um aluno do Grupo 1..	97
Figura 16 — Exemplo de uma resposta pertencente a categoria 3, de um aluno do Grupo 1..	98

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 — Descrição técnica dos livros analisados.....	37
Tabela 2 — Resultados dos números obtidos em análise aos periódicos.....	52
Tabela 3 — Cronograma da implementação das atividades didáticas (1/2015).....	63
Tabela 4 — Percentuais de acertos dos alunos do Grupo 1 e do Grupo 2 para o pós-teste e pré-teste respectivamente.	100

LISTA DE ABREVIATURAS

- ABRAPEC — Associação Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências
- ATD — Análise Textual Discursiva
- CAPES — Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
- CBEF — Caderno Brasileiro de Ensino de Física
- CF — Concordo Fortemente
- DF — Discordo Fortemente
- ENADE — Exame Nacional de Desempenho de Estudantes
- ENEM — Exame Nacional do Ensino Médio
- IENCI — Investigação em Ensino de Ciências
- IES — Instituições de Ensino Superior
- LDB — Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional
- PEIES — Programa de Ingresso ao Ensino Superior
- RBEF — Revista Brasileira de Ensino de Física
- RBPEC — Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências
- PPGEMEF — Programa de Pós-Graduação em Educação Matemática e Ensino de Física
- SO — Sem Opinião
- UFMG — Universidade Federal de Minas Gerais
- UFRGS — Universidade Federal do Rio Grande do Sul
- UFMS — Universidade Federal de Santa Maria
- UNESP — Universidade Estadual Paulista

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	14
CAPÍTULO I.....	18
1.1. A JUSTIFICATIVA PELA ESCOLHA DO TEMA.....	18
1.2. A CONTEXTUALIZAÇÃO PARA O ENSINO DE FÍSICA	20
1.3. A METODOLOGIA BASEADA NA PERSPECTIVA DA PEDAGOGIA HISTÓRICO-CRÍTICA	21
1.4. O MODELO ESCOLAR DE BOURDIEU	25
CAPÍTULO II	34
2.1. CONTEXTO DE PESQUISA	34
2.2. O ESTUDO DAS MÁQUINAS TÉRMICAS NA DISCIPLINA DE FÍSICA GERAL E EXPERIMENTAL II	35
2.3. A METODOLOGIA UTILIZADA PARA ANÁLISE TEXTUAL DOS LIVROS TEXTO.....	38
2.4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE TRABALHOS PRÉVIOS	51
2.5. A PROPOSTA DE ENSINO	59
2.6. A PROPOSTA DA SEQUÊNCIA DE ENSINO E DAS ATIVIDADES DIDÁTICAS DESENVOLVIDAS.....	62
2.7. DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA.....	70
2.8. OS INSTRUMENTOS DE COLETA E ANÁLISE DOS DADOS.....	70
CAPÍTULO III	72
3.1. REGISTROS DE AULA.....	72
3.2. ATIVIDADE 1: REVOLUÇÃO INDUSTRIAL	81
3.3. ATIVIDADE 2: LEI DE BOYLE	81
3.4. ATIVIDADE 3: MÁQUINA DE STIRLING	85
3.5. ATIVIDADE 4 — PÓS-TESTE/PRÉ-TESTE.....	87
CAPÍTULO IV	100
4.1. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	100
CONCLUSÃO	105
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	107
APÊNDICES	111

APÊNDICE A — ATIVIDADE 1: REVOLUÇÃO INDUSTRIAL.....	112
APÊNDICE B — ATIVIDADE 2: ROTEIRO DO EXPERIMENTO SOBRE A LEI DE BOYLE.....	114
APÊNDICE C — ATIVIDADE 3: ROTEIRO DA ATIVIDADE DIDÁTICA SOBRE MÁQUINA DE STIRLING	115
APÊNDICE D — ATIVIDADE 4: PÓS-TESTE/PRÉ/TESTE	117
ANEXOS.....	120
ANEXO A — PROGRAMA DA DISCIPLINA DE FÍSICA GERAL E EXPERIMENTAL II (FSC 1025).....	121
ANEXO B — BIBLIOGRAFIA DA DISCIPLINA DE FÍSICA GERAL E EXPERIMENTAL II (FSC 1025).....	123

INTRODUÇÃO

O estudo de termodinâmica, normalmente, é considerado um tópico impopular entre os estudantes e considerado por muitos como difícil de ser trabalhado (HÜLSENDEGER, 2007; FLORES-CAMACHO; ULLOA-LUGO, 2014). Esse problema, muito provavelmente associado ao fato de muitos conceitos desse tópico apresentarem uma variedade de interpretação e, conseqüentemente, problemas de compreensão, dentre eles está o conceito de entropia que apresenta problemas de interpretação entre os alunos, os professores e, inclusive, em textos como descrevem Flores-Camacho e Ulloa-Lugo (2014). Pois, na maior parte das vezes é dada maior ênfase a aspectos matemáticos da lei do que na sua interpretação (FLORES-CAMACHO; ULLOA-LUGO, 2014).

Quando se fala do conceito de entropia está também associada uma maior complexidade para interpretar o conceito que ora se refere ao nível microscópico ora ao nível macroscópico de um sistema (SANTOS; PERNAMBUCO, 2008) e para conseguir associar o que está acontecendo em um sistema a nível macroscópico como consequência de processos que ocorrem a nível molecular. Entretanto, quando se considera a interpretação microscópica do conceito de entropia se pressupõe uma abordagem microscópica ou estatística da Segunda Lei, e quando se considera a concepção macroscópica do conceito implica uma abordagem macroscópica ou fenomenológica da lei. Um grande problema ocorre quando as duas abordagens Segunda Lei da Termodinâmica e do conceito de entropia são “misturadas”, e não se consegue interpretar os limites de validade de cada uma das interpretações, causando problemas de interpretação, por parte dos estudantes, podendo afetar seu desenvolvimento na disciplina.

A Segunda Lei da Termodinâmica é que atribui sentido aos fenômenos naturais espontâneos, visto que a primeira lei da termodinâmica não faz distinção entre passado e futuro em processos físicos, pois se sabe previamente que a energia permanecerá constante aconteça o que acontecer, essa lei é simétrica com relação à variável temporal. Por esse motivo a direcionalidade do tempo torna-se uma das questões mais fundamentais da física.

Não há elementos da primeira lei da termodinâmica que estabeleçam uma distinção entre processos reversíveis e irreversíveis, ou seja, que definam uma ordem temporal às transformações de energia. Mas o que se verifica é uma assimetria: energia mecânica pode ser transformada em calor sem restrições, mas a conversão de calor em energia mecânica só ocorre sob circunstâncias especiais. Por quê? (QUADROS, 1996, p. 64).

O fato de que não se conseguia transformar todo o calor em trabalho, ou efeito mecânico como era conhecido, já era percebido pelos engenheiros que construíram as primeiras máquinas térmicas com a finalidade de resolver problemas técnicos na mineração de carvão, no início do século XVIII, na Inglaterra, e, modernamente, com a substituição do petróleo pelo gás natural.

Em adição às ideias expostas, as máquinas térmicas na época foram uma inovação tecnológica desenvolvida a ponto de tornar-se economicamente viável e ser amplamente utilizada na indústria e no transporte. Esse invento tecnológico teve grande importância sob o modo que a indústria estava organizada e em como funcionava, visto que possibilitou a implantação do sistema fabril de produção. Quando foi adotado o sistema fabril de produção, durante a 1ª Revolução Industrial (séculos XVIII-XIX), ocorreram modificações em dimensão social, evidenciando as distinções entre classes sociais, onde os meios de produção estavam concentrados sob o domínio de uma classe social, a burguesia, e a classe que, por não deter os meios de produção, vendia a sua força de trabalho em troca de um salário. De modo que a máquina térmica pode ser considerada como o elemento principal para expansão e afirmação do sistema econômico capitalista.

E assim que surgiu a necessidade de uma teoria sobre o calor que explicasse a existência destes processos de conversão de calor em movimento aplicados ao funcionamento das máquinas térmicas. Com destaque central, as máquinas térmicas eram muito importantes para a sociedade capitalista, mas ainda não havia um estudo formal dos conceitos fundamentais da termodinâmica, tais como energia, calor, trabalho.

O formalismo da Segunda Lei da Termodinâmica somente surgiu após o desenvolvimento da tecnologia e a utilização das máquinas térmicas pela indústria e no transporte durante a Primeira Revolução Industrial, e teve início com a obra "*Reflexões sobre a potência motriz do fogo e sobre as máquinas adequadas a desenvolver esta potência*" de 1824, que tem como autor Sadi Carnot e que é considerada como um marco do começo da formulação teórica da termodinâmica. E teve sequência em um processo de contribuição mútua entre Lord Kelvin e Clausius, considerando que eles publicaram, separadamente, os primeiros e principais artigos para a construção dos enunciados da Segunda Lei da Termodinâmica em termos do funcionamento das máquinas térmicas, entre os anos de 1848 e 1851 (DIAS, 2007; NÓBREGA, 2009).

Perante o contraste entre a importância do conhecimento desse conteúdo e das dificuldades para o seu entendimento, o presente trabalho busca apontamentos para o seguinte problema que conduziu os estudos no decorrer da pesquisa:

Como ensinar o conteúdo de Máquinas Térmicas e a Segunda Lei da Termodinâmica, na disciplina de Física Geral e Experimental II para alunos dos cursos de engenharia, contextualizada através de uma abordagem histórica, com o intuito de minimizar as dificuldades com a apropriação do habitus?

Para tanto, buscou-se desenvolver uma proposta didática de ensino para abordar o conteúdo da Segunda Lei da Termodinâmica e Máquinas Térmicas utilizando de atividades didáticas com diferentes enfoques e discussões, de forma contextualizada através de uma abordagem histórica e utilizando como metodologia a Pedagogia Histórico-Crítica de Saviani, visando facilitar a aquisição de habilidades e o entendimento dos conteúdos bem como a aquisição do *habitus* segundo referencial de Bourdieu (2014). Sendo que o público participante dessa pesquisa eram alunos do ensino superior que estavam cursando a disciplina de Física Geral e Experimental II (FSC 1025), alocada na grade do segundo semestre letivo em cursos de engenharia da UFSM, de modo que os alunos eram iniciantes nesse nível de ensino.

Nesta perspectiva, e buscando responder ao problema de pesquisa, objetivou-se com este trabalho:

- Desenvolver e implementar uma proposta didática de ensino para abordar o conteúdo da Segunda Lei da Termodinâmica e Máquinas Térmicas;
- Utilizar o contexto de como surgiram, foram desenvolvidas e utilizadas as Máquinas Térmicas, para desenvolver o conteúdo de Máquinas Térmicas, dentro da teoria da Termodinâmica, na disciplina de Física Geral e Experimental II (FSC 1025);
- Apontar algumas dificuldades comuns entre os alunos com relação ao aprendizado do conteúdo de termodinâmica e com relação a habilidades requeridas para maior facilidade de compreensão dos conteúdos trabalhados;
- Analisar como os conteúdos de máquinas térmicas e Segunda Lei da Termodinâmica são abordados nos livros didáticos sugeridos como bibliografia na ementa da disciplina Física Geral e Experimental II;

- Avaliar quantitativamente, através de pré-teste e pós-teste evoluções com relação a aprendizagem, e qualitativamente, através da análise das respostas dissertativas das atividades, como a proposta didática pode ter influenciado nos resultados de aprendizagem dos estudantes de cursos de engenharia da UFSM.

Assim, foram utilizados como instrumentos para a coleta de dados registros de aula, análise das respostas discursivas dos alunos às atividades e das respostas as questões do pós e pré-teste, sendo que a análise qualitativa realizou-se seguindo como referencial a Análise Textual Discursiva de Moraes (2003).

Desta forma, a presente dissertação está organizada em capítulos. Sendo que, no primeiro capítulo busca-se apresentar as justificativas, a escolha pela contextualização do conteúdo de Máquinas Térmicas e Segunda Lei da Termodinâmica através da abordagem histórica, bem como os referenciais teóricos que embasaram o trabalho.

No segundo capítulo são apresentados os resultados de uma revisão bibliográfica sobre o tema trabalhado na proposta de ensino e uma análise da ementa e bibliografia da disciplina onde foram implementadas as atividades. E ainda, conta a descrição de como foi organizada e estruturada a proposta de ensino desenvolvida e implementada com turmas da disciplina de Física Geral e Experimental II, e dos instrumentos para coleta e análise dos dados da pesquisa. Já no terceiro capítulo é apresentado os resultados e dados coletados, bem como a análise e discussão dos mesmos.

Enquanto que, no quarto e último capítulo são delineadas considerações e conclusões sobre a pesquisa desenvolvida no âmbito da pesquisa, destacando aspectos que possam ter colaborado para a ampliação da aprendizagem e possam servir para o embasamento de pesquisas futuras no domínio do Ensino de Termodinâmica. E também, são apontadas perspectivas futuras com relação a aspectos do conteúdo que podem ser explorados.

CAPÍTULO I

1.1. A JUSTIFICATIVA PELA ESCOLHA DO TEMA

A Termodinâmica tem papel de grande importância em disciplinas de Física básica nos cursos de Ciências Exatas, como Física, Química, Matemática, e de Engenharias, visto que representa uma teoria fundamental para a formação dos estudantes desses cursos e que servirá de base a outras disciplinas avançadas e específicas de cada curso.

O estudo do conteúdo de Termodinâmica é, comumente, considerado como impopular entre os estudantes (COLOVAN, 2005) e de difícil ensino e aprendizado. Essa opinião é compartilhada entre alunos e professores de diversos níveis de ensino, inclusive de cursos de graduação (FLORES-CAMACHO; ULLOA-LUGO, 2014).

Os conceitos de energia e entropia, bem como calor, temperatura e outros apresentam dificuldades de entendimento devido a problemas de ordem epistemológica, como no caso do conceito de calor e leis da Termodinâmica, ou de interpretação como é o caso do conceito de entropia, para o qual não é possível fazer referência imediata a algo palpável ou de tamanho macroscópico e, para o qual é difícil criar analogias macroscópicas (SANTOS 2009).

Nesse sentido, dentre vários problemas de compreensão conceitual encontram-se as ideias distorcidas em relação aos conceitos de calor e temperatura, apontados em diferentes pesquisas em que alunos de cursos introdutórios de termodinâmica costumam pensar que em transformações isotérmicas não pode haver trocas de energia por calor (CALDEIRA; MARTINS, 1990, *apud* BARRETO, et. Al, 2014; MELTZER, 2008 *apud* BARRETO, et. Al, 2014). Há resultados que indicam que alunos de cursos de graduação trazem a ideia intrinsecamente incorreta de calor como substância (HÜLSENDEGER, 2007), e que possuem dificuldades de esboçar e avaliar diagramas de processos termodinâmicos simples, como o de pressão *versus* volume e outros usados para explicar diversas transformações e fenômenos (MELTZER, 2008; *apud* BARRETO, et. Al, 2014). As referências indicam várias outras dificuldades existentes com relação ao entendimento das leis e conceitos da termodinâmica.

Em especial o conteúdo da Segunda Lei da Termodinâmica e o conceito de entropia frequentemente apresentam problemas de interpretação entre alunos, professores e em textos didáticos (FLORES-CAMACHO; ULLOA-LUGO, 2014). E se verifica, na maior parte das vezes, que é dada maior ênfase em aspectos matemáticos da lei na resolução de problemas e exemplos do que na sua interpretação (FLORES-CAMACHO; ULLOA-LUGO, 2014).

Desta forma, é compreensível que o entendimento da Termodinâmica seja algo complexo, e que o ensino de conteúdo desse ramo da física apresente diversas dificuldades.

Esse problema pode ser provavelmente associado ao fato de muitos conceitos desse tópico apresentarem uma variedade de interpretações e, conseqüentemente, problemas de compreensão.

Considerando que durante a minha experiência como aluna do curso de Física Licenciatura Plena na UFSM, no período de 2010 à 2014, estive em contato com os conteúdos de Termodinâmica, nas disciplinas de *Física II* e *Termodinâmica*, a primeira uma disciplina de física básica e a outra uma disciplina avançada. Em vários momentos pude constatar dificuldades e/ou dúvidas referentes a interpretações de conceitos e leis, na resolução de questões que eram expostas durante as aulas e na resolução de atividades em grupos. Essas dificuldades e dúvidas mesmo que, aparentemente, de pouca significância para quem as tem, fazem a diferença para o entendimento do assunto, por essa pessoa.

Além das dificuldades intrínsecas a interpretação dos conceitos constituintes desse ramo da Física, juntam-se questões de caráter da estrutural e metodológico do Ensino de Física, a fragmentação dos conteúdos, das disciplinas e também do currículo de muitos cursos de graduação, como o caso da graduação em Física que cursei. No qual os conteúdos e conceitos eram, e ainda são, abordados sem fazer ligações com a História, a História da Ciência ou a Filosofia da Ciência, e de forma linear não promovendo ao aluno obter a real percepção do contexto histórico-social-cultural em que esses conteúdos foram desenvolvidos, através do curso. De modo que fica a critério do aluno estabelecer relações entre o que aprendeu sobre o conteúdo específico da disciplina com seus conhecimentos anteriores em outros assuntos, e/ou buscar novas informações sobre como e em que contexto se desenvolveu tal conteúdo estudado. Essa fragmentação também ocorre com relação à separação das disciplinas em teóricas e de laboratório, para as quais as teorias do conhecimento científico são estudadas separadamente de atividades experimentais que abordam sobre esses conhecimentos.

No entanto, a teoria da termodinâmica não surgiu de forma aleatória na ciência. Essa foi uma teoria científica que foi desenvolvida após o advento tecnológico das máquinas térmicas e, inicialmente porque essas máquinas tinham grande importância na sociedade do século XVIII-XIX devido a suas aplicações na indústria e no sistema de transporte e requeriam um estudo teórico sobre seu funcionamento e as limitações de seu rendimento.

As ligações entre os conteúdos e conhecimentos são importantes porque o aluno aprende através do estabelecimento de relações entre os conhecimentos que já possui e as novas informações através das quais ocorre a aprendizagem. Desta forma, considero que ao

estabelecer relações entre os diferentes conteúdos sejam eles de uma mesma disciplina, de disciplinas diferentes ou de áreas distintas, como é o caso da presente pesquisa a Física e a História, pode contribuir para a aprendizagem dos conteúdos envolvidos e também pode influenciar no interesse dos alunos pela disciplina. Nesse sentido para o Ensino de Física

[...] hoje, mais do que nunca, torna-se indispensável uma superação da esquizofrenia disciplinar que fragmenta as ciências embora continue constituindo uma das condições de seu sucesso. No entanto, devemos descobrir meios de desenvolver as ocasiões de troca, de livre circulação das idéias e dos conceitos. Precisamos estar conscientes de que a ciência e a tecnologia não constituem fatores exógenos que determinariam a evolução de uma sociedade independentemente de duas raízes históricas, sociais, políticas, culturais e religiosas. (JAPIASSU, 1999, p. 253-254)

Por mais que questões curriculares estejam muito além do que me propus durante a pesquisa de mestrado, busquei elementos da história da Primeira Revolução Industrial para contextualizar a abordagem do conteúdo de Máquinas Térmicas e Segunda Lei da Termodinâmica em uma sequência de ensino, com o intuito de que os alunos percebessem a importância desse conteúdo e o motivo pelo qual ele consta no programa da disciplina, porque possui grande importância para o desenvolvimento da sociedade como tal se constitui nos dias atuais.

1.2. A CONTEXTUALIZAÇÃO PARA O ENSINO DE FÍSICA

A contextualização do Ensino de Física ganha relevância no âmbito da proposta de sequência de ensino da presente pesquisa, detalhada no Capítulo II, no que confere a preocupação em estabelecer relações entre os conteúdos de Máquinas Térmicas e Segunda Lei da Termodinâmica em termos de seu contexto de produção e utilização pela sociedade na história. E apesar de, a ideia de contextualização ser bastante ampla e possuir várias interpretações cabíveis, a perspectiva considerada para o desenvolvimento da proposta de sequência de ensino corresponde a concepção que se encaixa na categoria “*contextos histórico, social e cultural*” sintetizada por Kato e Kawasaki (2011) para a qual

[...] busca-se relacionar ou situar o conhecimento específico na sociedade. Partindo-se da premissa de que a ciência é uma atividade humana, sendo, por isso, histórica, coletiva e impregnada pelas características sociais de sua época, busca-se contextualizar o conhecimento científico (específico), situando-o historicamente no tempo e no espaço, para se compreender como se deu a sua evolução. (KATO; KAWASAKI, 2011, p.49)

Isso porque, muito dificilmente, os conhecimentos fragmentados em uma única disciplina bastam para resolver um problema, ou explicar uma situação ou objeto real, e fatalmente se é levado a uma questão interdisciplinar. Sendo que

A interdisciplinaridade implica uma integração maior de saberes e pretende uma recomposição dos conteúdos disciplinares (conceitos, métodos, práticas, teorias, terminologias) envolvidos com vistas a superar os limites que impedem o avanço da investigação. Há uma interdependência entre os saberes disciplinares implicados, o que levará a um enriquecimento e a uma transformação desses conteúdos. (RICARDO, 2005, p. 210)

Visto que as situações reais envolvem múltiplos conhecimentos, os quais estão sistematizados em diferentes disciplinas, dessa forma, a contextualização busca dar significado ao conteúdo disciplinar que comumente se encontra compartimentado, através da interdisciplinaridade (RICARDO, 2005).

Considerando que a partir da contextualização é possível admitir, estabelecer e ampliar relações entre os conhecimentos e os conteúdos das disciplinas de um mesmo curso, ou de outros cursos. Assim, é possível utilizar a contextualização como recurso para tornar mais expressiva a aprendizagem, atribuindo maior relevância ao que se ensina, ao possibilitar que o aluno identifique a importância do que está sendo estudado (RICARDO, 2005; MELLO, 2000). De tal modo que trabalhar dentro de um contexto contribui para que o aluno atribua sentido aquele conhecimento e estabeleça relações entre significados (MELLO, 2000).

Nessa perspectiva, a contextualização foi utilizada para inserção de um conteúdo com grande relevância social visando a ampliação da eficiência da aprendizagem. Assim, a contextualização desses conhecimentos permite que o aluno perceba a importância daquele conhecimento para a sociedade o que condiz com a perspectiva dialética do conhecimento que sustenta as bases da Pedagogia Histórico-Crítica, a qual foi utilizada como metodologia de ensino na proposta de sequência de ensino.

1.3. A METODOLOGIA BASEADA NA PERSPECTIVA DA PEDAGOGIA HISTÓRICO-CRÍTICA

Saviani (2013) é o fundador e principal teórico da Pedagogia Histórico-Crítica. E considera a educação escolar na perspectiva de um fenômeno que se preocupa em identificar os elementos naturais e culturais que são necessários para constituir a humanidade, que é produzida historicamente e de modo coletivo pela sociedade (conjunto dos homens), em cada ser humano, e que busca as formas mais adequadas visando atingir a esse objetivo. Desse

modo, a concepção considera o indivíduo humano como sujeito histórico e social, assim, o que o constitui são as relações sociais com outros indivíduos que permite, através da convivência, que ele incorpore ideias e formas de comportamento de outras gerações anteriores a sua (SAVIANI, 2013. GERALDO, 2006).

Diferentemente de Bourdieu, a perspectiva da Pedagogia Histórico-Crítica percebe a educação não apenas como um elemento de reprodução, mas como um elemento que **impulsiona a tendência** de transformação da sociedade.

Ora, sendo esta determinada de forma absoluta pela sociedade, isso significa que se ignora a categoria de ação recíproca, ou seja, que a educação é, sim, determinada pela sociedade, mas que essa determinação é relativa e na forma de ação recíproca — o que significa que o determinado também reage sobre o determinante. Consequentemente, a educação também interfere sobre a sociedade, podendo contribuir para a sua própria transformação. (SAVIANI, 2013, p. 80)

O problema dessas concepções intituladas por Saviani (2013) como crítico-reprodutivistas, categoria na qual se encaixa a teoria de Bourdieu para a educação, é que elas não apresentam proposta pedagógica, por considerar que qualquer ação pedagógica ocorre no âmbito da violência simbólica. Porém, não é possível negar que muitos dos problemas e questões apontados pelas teorias crítico-reprodutivistas para a educação, como a de Bourdieu, possuem um caráter observável e não podem ser desconsideradas, pois são muito importantes para o entendimento das influências da sociedade sobre a educação.

Sendo assim, a perspectiva da Pedagogia Histórico-Crítica procura reter o caráter crítico da articulação com a influência das condições sociais que a visão das teorias da educação como a de Bourdieu possui, porém, considerando a dimensão histórica que essas teorias não evidenciam. Por também considerar que, ainda estamos em uma sociedade de classes, com interesses opostos, cujo objetivo é reduzir o impacto em relação às exigências de transformação da própria sociedade, e que contraria a socialização do saber elaborado, uma vez que a classe dominante se encontra no poder, ela não se interessa por mudanças. No entanto, considera que a educação escolar pode contribuir para a transformação da sociedade (SAVIANI, 2013).

A Pedagogia Histórico-Crítica possibilita entender a educação escolar que se manifesta no presente como resultado de um longo processo de transformação histórica. Sendo que, o desenvolvimento histórico pressupõe o processo em que o homem produz a sua existência, agindo sobre a natureza, no tempo, ou seja, a realidade humana produzida pelos próprios homens, por meio das produções das condições materiais no decorrer do tempo.

Desta forma, a escola é compreendida com base no desenvolvimento histórico humano como sociedade possibilitando articular sobre a superação da sociedade vigente, com o compromisso, de transformação da sociedade e não a sua manutenção (SAVIANI, 2013).

A escola é a instituição cujo papel consiste na socialização dos saberes, pois é exigência de apropriação do conhecimento sistematizado que diz respeito ao conhecimento elaborado, ao saber sistematizado e à cultura erudita, por parte das novas gerações, que torna a sua existência necessária (SAVIANI, 2013). Assim, o currículo da escola está estruturado com base no saber sistematizado.

A transformação do conhecimento elaborado (ciência) em conhecimento escolar é caracterizada pelo processo de escolha dos elementos de maior importância, do conjunto saberes científicos sistematizados, que é adaptado pelo professor, para o crescimento intelectual dos alunos. A pedagogia escolar possui como questão central a descoberta de métodos e formas mais adequadas para tal transformação de saberes, que somente terão sentido ao serem utilizados para tornar acessível a compreensão e o domínio de determinados conteúdos.

[...] Enquanto o cientista está interessado em fazer avançar a sua área de conhecimento, em fazer progredir a ciência, o professor está mais interessado em fazer progredir o aluno. O professor vê o conhecimento como um meio para o crescimento do aluno, ao passo que para o cientista o conhecimento é o fim; trata-se de descobrir novos conhecimentos na sua área de atuação. [...] (SAVIANI, 2013, p. 65)

Assim, a educação pode ser percebida como um empreendimento social e a socialização do saber elaborado é a tradução pedagógica do princípio mais geral da socialização do saber, onde a socialização do saber elaborado é considerada fundamental, pelo fato de o saber produzido socialmente ser um meio de produção, e ocorre por meio da ação docente (SAVIANI, 2013).

Para isso é necessário que os professores conheçam seu papel, e que possuam, além da competência técnica, o compromisso político, pois quanto mais eles ignorarem a possibilidade de sua prática pedagógica poder se situar no âmbito da violência simbólica, da inculcação ideológica, melhor e de forma mais eficaz, eles estarão reproduzindo as relações de produção da sociedade. Portanto, a competência técnica, o saber fazer bem, a mediação, é uma condição necessária, mas não suficiente para que o compromisso político que lhe atribui sentido, a sua razão de ser, seja assumido na prática (SAVIANI, 2013). Desta forma, não é compatível com

atitudes esperadas dos professores que consideram a perspectiva da Pedagogia Histórico-Crítica

[...] que se abandonem àqueles que não aprenderam à própria sorte de explicações que justifiquem a não-aprendizagem pela via da maturidade intelectual dos alunos. Também não é concebível utilizar essa metodologia tendo em vista a manutenção da ordem vigente, pois seu embasamento visa garantir aos dominados aquilo que os dominantes dominam de forma a contribuir para tirá-los de sua condição de exploração (SAVIANI, 2001 *apud* GERALDO, 2006).

Nesta perspectiva, a educação está fundamentada nos conhecimentos científicos construídos pela humanidade, ligados à produção humana e, portanto, se modifica historicamente. A Pedagogia Histórico-Crítica possui como essência a admissão do caráter dinâmico da sociedade e da realidade, em que a educação se encontra vinculada. Portanto, a tarefa a que se propõe essa perspectiva pedagógica com relação a educação escolar implica em:

- a) Identificação das formas mais desenvolvidas em que se expressa o saber objetivo produzido historicamente, reconhecendo as condições de sua produção e compreendendo as suas principais manifestações, bem como as tendências atuais de transformação.
 - b) Conversão do saber objetivo em saber escolar, de modo que se torne assimilável pelos alunos no espaço e tempo escolares.
 - c) Proveniente dos meios necessários para que os alunos não apenas assimilem o saber objetivo enquanto resultado, mas apreendam o processo de sua produção, bem como as tendências de sua transformação.
- (SAVIANI, 2013, p. 8-9)

Assim, a perspectiva da Pedagogia Histórico-Crítica pressupõe que pode ser explicada a partir dos próprios fundamentos teóricos da concepção do materialismo histórico, o qual corresponde a compreensão da história a partir do desenvolvimento material que está relacionada com o fato de considerar o conhecimento como algo dialético, assim é uma teoria do movimento da realidade na busca de captar o movimento objetivo do processo histórico (SAVIANI, 2013).

Nesse sentido, a metodologia de ensino proposta por Saviani através da Pedagogia Histórico-Crítica está organizada sob a forma de cinco passos, sendo eles: 1) prática social inicial; 2) problematização; 3) instrumentalização; 4) catarse; 5) retorno à prática social, que são descritos na sequência de maneira mais ampla e generalizada e, no Capítulo II na seção 2.5 os mesmos são descritos de forma aplicada a situações da sequência de ensino.

O ponto de partida, o 1º passo, seria a prática social, a qual é comum a professores e alunos, em que os alunos possuem um nível de compreensão fragmentado do conteúdo e o professor possui a própria prática pedagógica como uma dimensão desse passo, envolve uma antecipação dos possíveis níveis de compreensão dos alunos. (MARSIGLIA; OLIVEIRA, 2008).

O segundo passo, problematização, em que se pretende “detectar que questões precisam ser resolvidas no âmbito da prática social e, em consequência, que conhecimento é necessário dominar” (SAVIANI, 2000, p. 71 *apud* GERALDO, 2006).

O terceiro passo corresponde a instrumentalização, quando se adequa os instrumentos teóricos e práticos para equacionar as questões detectados na problematização da prática social, possibilitando aos alunos uma maior compreensão com relação à totalidade dos fenômenos (MARSIGLIA; OLIVEIRA, 2008; GERALDO, 2006).

O quarto passo denominado de catarse, corresponde ao momento em que ocorre a efetiva incorporação dos conteúdos, eles agora não estão mais fragmentados para o aluno, que consegue sintetizá-los e posicionar-se da melhor forma possível em relação ao que aprendeu (MARSIGLIA; OLIVEIRA, 2008; GERALDO, 2006).

O quinto passo, corresponde ao de ponto de chegada, sendo a própria prática social, em que o aluno atingiu o nível sintético de compreensão da realidade. A prática social não é exatamente a mesma do ponto de partida visto que se alterou qualitativamente por meio da mediação da ação pedagógica (MARSIGLIA; OLIVEIRA, 2008; GERALDO, 2006).

Sendo assim, segundo Geraldo (2006), os passos da Pedagogia Histórico-Crítica não podem ser compreendidos como um processo linear, visto que os passos estão inter-relacionados e sob alguns aspectos se sobrepõem e impulsionam mutuamente.

É importante destacar que para a descrição dos passos da Pedagogia Histórico-Crítica foram feitas referências a autores que utilizam essa teoria com metodologia de ensino, cuja linguagem está mais próxima a da proposta de ensino, que a linguagem utilizada por Saviani (1989) para a descrição dos passos de forma mais ampla voltada às teorias da educação.

1.4. O MODELO ESCOLAR DE BOURDIEU

Nesta seção serão apresentadas algumas considerações sobre alguns aspectos da obra de Pierre Bourdieu relacionado ao sistema de ensino e, fazer referência a proposta de ensino de termodinâmica através de relações entre os conceitos da teoria de Bourdieu e o âmbito da proposta.

Pierre Bourdieu conduziu diversos estudos em sociologia, muitos voltados para análise do sistema de ensino francês, os quais desencadearam uma crítica que evidenciou o distanciamento entre os princípios da educação escolar e as políticas públicas que os embasavam (VALLE, 2013).

Os estudos de Bourdieu sobre educação escolar o levaram a formulação de conceitos norteadores na teoria das estruturas sociais, sendo que um dos principais é o conceito de Capital Cultural, que também possui grande relevância para a teoria do sistema de ensino, tendo em vista que é considerado como um recurso de poder das classes sociais e que não se encontra subordinado à dimensão econômica.

Segundo Silva (1995), existem dois aspectos do conceito de Capital Cultural, que estão intimamente relacionados, um diz respeito ao fato ser “institucionalizado”, ou seja, que é conferido por uma instituição, a qual confere determinadas credenciais educacionais, títulos e diplomas que representam este aspecto do Capital Cultural na sociedade. O outro aspecto tratado pelo autor é o fato do Capital Cultural ser “incorporado” pelas gerações, o que denota que é adquirido pelo indivíduo, como uma competência cultural específica de determinada classe e que é transmitida socialmente tornando-se parte dele. E esse aspecto “incorporado”, que está relacionado tanto as informações estratégicas relacionadas a cultura da classe dominante como, também, as disposições internalizadas do sujeito como resultado dos condicionamentos sociais, pode ser expresso pelo conceito de *habitus*, que é um conceito-chave na obra de Bourdieu.

[...] a AP implica o trabalho pedagógico (TP) como trabalho de inculcação que deve durar o bastante para produzir uma formação durável; isto é, um *habitus* como produto da interiorização dos princípios de um arbitrário cultural capaz de perpetuar-se após a cessação da AP e por isso de perpetuar nas práticas os princípios do arbitrário interiorizado. (BOURDIEU; PASSERON, 2014, p. 53)¹

Sendo que, o conceito de *habitus* está associado ao modo de operação (*modus operandi*) que media as estruturas objetivas e as ações, respectivamente, externas e internas ao sujeito e que é adquirido através de vivências, então, o *habitus* pode ser utilizado para diferentes situações. E existem situações em que o sujeito deve modificar seu *habitus*, adquirindo e interiorizando novas competências, visto que, o *habitus* pode ser adaptado objetivamente mesmo sem ter percepção consciente dos objetivos e das operações necessárias para alcançá-lo, e também, o *habitus* é durável e aplicável a diferentes domínios. Por isso,

¹ AP: Ação Pedagógica.

Setton (2002) destaca a mutabilidade do *habitus* devido a necessidade de adaptação ao do novo:

[...] *Habitus* não pode ser interpretado apenas como sinônimo de uma memória sedimentada e imutável; é também um sistema de disposição construído continuamente, aberto e constantemente sujeito a novas experiências. Pode ser visto como um estoque de disposições incorporadas, mas postas em prática a partir de estímulos conjunturais de um campo. É possível vê-lo, pois, como um sistema de disposição que predispõe à reflexão e a uma certa consciência das práticas, se e à medida que um feixe de condições históricas permitir. (SETTON, 2002, p. 64-65)

De acordo com Setton (2002) o conceito de campo para Bourdieu “[...] seria um espaço de relações entre grupos com distintos posicionamentos sociais, espaço de disputa e jogo de poder. [...]”. Nesse contexto, a instituição escolar é um campo social dotado de uma lógica interna e de relativa autonomia com relação a outros campos (SILVA, 1995).

Na Sociologia da Educação, Bourdieu destaca a reprodução da cultura que é desenvolvida no sistema escolar e que está relacionado com a classe social do indivíduo, nesse sistema o peso do fator econômico em comparação com o cultural não é tão evidente para explicação das desigualdades escolares. Visto que a posse de capital cultural favorece o desempenho escolar facilitando a aprendizagem dos conteúdos e a apropriação do *habitus*, dando vantagem aos sujeitos das classes culturalmente favorecidas (dominante), pois a cultura priorizada nos currículos escolares está mais relacionada com a cultura dominante. E a avaliação escolar atual parece condizer com a ideia de haver um julgamento cultural dos alunos, além da verificação da aprendizagem (NOGUEIRA; NOGUEIRA, 2002).

O favorecimento no desempenho escolar pelo capital cultural acontece, uma vez que, a transmissão do mesmo, na maior parte, ocorre no grupo social familiar e o nível cultural global do grupo familiar é o que influencia de maneira mais significativa o êxito escolar do estudante. Visto que a cultura que é transmitida pela escola tende a estar mais próxima da cultura erudita, dos saberes considerados pela sociedade como melhores e mais sofisticados, os conhecimentos dos estudantes serão mais ricos e vastos, quanto mais elevada, culturalmente, for a origem do seu grupo social familiar (BOURDIEU, 2003). No Ensino de Física, esses saberes da cultura erudita correspondem aos saberes científicos específicos da Física.

As crianças oriundas dos meios mais favorecidos não devem ao seu meio somente os hábitos e treinamento diretamente utilizáveis nas tarefas escolares, e a vantagem mais importante não é aquela que retiram da ajuda direta que seus pais lhes possam dar. Elas herdam também saberes (e um “savoir-faire”), gostos e um “bom gosto”,

cuja rentabilidade escolar é tanto maior quanto mais frequentemente esses imponderáveis da atitude são atribuídos ao dom. A cultura “livre”, condição implícita do êxito em certas carreiras escolares, é muito desigualmente repartida entre os estudantes universitários originários de diferentes classes sociais e, a *fortiori*, entre os de liceus e os de colégios, pois as desigualdades de seleção e a ação homogeneizante da escola não fizeram senão reduzir as diferenças. (BOURDIEU, 2003, p. 45)

Sendo assim, a instituição escolar diferencia e legitima a cultura que o estudante traz da atmosfera social familiar, mesmo as características culturais não fazendo parte das exigências curriculares elas seriam avaliadas e são geradas expectativas com relação as perspectivas profissionais do estudante que sejam condizentes com essas características (SILVA, 1995).

Pelo fato de ser altamente reconhecida como instituição (pública ou privada) que visa suprir a necessidade de uma sociedade em relação à educação, a escola, e considerar as diferenças de competências e habilidades como desigualdade de “dons” e/ou de méritos, ela está legitimando que essa desigualdade é algo que existe (VALLE, 2013).

Deste modo, a escola transmite uma imagem falsa de “neutralidade” com relação à cultura perpetuada, tomando como pressuposto o tratamento igualitário dos alunos, ignorando suas diferenças socioculturais e, assim, dando a cultura dominante, o papel de cultura geral, o que acaba por reproduzir e legitimar as hierarquias sociais (SEBIM; SILVA; SANTOS, 2011). Formalmente, de acordo com as políticas públicas, a instituição escolar é neutra e democrática, uma vez que todos os alunos são tratados de maneira igualitária, compartilhando das mesmas aulas e dos mesmos formatos de avaliação. Quando, na verdade, ao examinar a situação com maior cuidado, alguns alunos estariam em uma situação mais favorável que outros, para atenderem as exigências das escolas (NOGUEIRA; NOGUEIRA, 2002; SILVA, 1995).

Nogueira e Nogueira (2002) descrevem como um dos argumentos centrais de Bourdieu com relação às implicações da herança cultural familiar sobre a escola:

[...] ao dissimular que sua é a cultura é a das classes dominantes, a escola dissimula igualmente os efeitos que isso tem para o sucesso escolar das classes dominantes. As diferenças nos resultados escolares dos alunos tenderiam a ser vistas como diferença de capacidade (dons desiguais), enquanto, na realidade, decorriam da maior ou menor proximidade entre cultura escolar e a cultura familiar do aluno. A escola cumpriria, assim, portanto, simultaneamente, sua função de reprodução e de legitimação das desigualdades sociais. A reprodução seria garantida pelo simples fato de que os alunos que dominam, por sua origem, os códigos necessários à decodificação e assimilação da cultura escolar e que, em função disso, tenderiam a alcançar o sucesso escolar, seriam aqueles pertencentes às classes dominantes. A legitimação das desigualdades sociais ocorreria, por sua vez, indiretamente, pela

negação, do privilégio cultural dissimuladamente oferecido aos filhos das classes dominantes. (NOGUEIRA; NOGUEIRA, 2002, p. 30)

Quando o professor desenvolve um discurso, esse está baseado em um referencial linguístico próprio de sua cultura e específica de sua área de pesquisa, por exemplo, o discurso somente será compreendido pelos alunos que compartilham desse referencial linguístico. O domínio dessa linguagem própria específica funciona como uma moeda de troca, uma troca simbólica (BOURDIEU, 2014). E assim, para o indivíduo que possui domínio sobre esse padrão de linguagem, essa lhe servirá como uma ferramenta de poder, no sentido de exercer influência sobre os indivíduos que não detêm tal linguagem, e conforme maior for esse domínio maior será o poder deste indivíduo (dominante) sobre os indivíduos (dominados) que não dominam.

O aluno como um indivíduo que busca ascensão no sistema de ensino, com o objetivo de compor a classe dominante desse sistema, através da aquisição de ferramentas, habilidades, conhecimentos que essa classe detém, assim, adquirindo maior poder conforme evolui no interior do sistema de ensino. Nesse sentido, o indivíduo espera que a instituição lhe forneça meios para a aquisição dessas ferramentas de poder, e que garanta a reprodução social das pesquisas que a compõem, para que ele passe a pertencer a classe dominante. No que concerne a pesquisa aqui apresentada se requer do aluno da disciplina de Física Geral e Experimental II com relação ao conteúdo de termodinâmica que adquiram habilidades e conhecimentos sobre o conteúdo como requisito parcial para a sua aprovação, que corresponde a uma ascensão no interior do sistema de ensino.

Todavia, esse mecanismo de criação, legitimação e reprodução dessas desigualdades sociais é considerado por Bourdieu como uma violência simbólica, a qual é caracterizada por ele como a

[...] toda coerção que só se institui por intermédio da adesão que o dominado acorda ao dominante (portanto à dominação) quando, para pensar ou para pensar sua relação com ele, dispõe apenas de instrumentos de conhecimento que têm em comum com o dominante e que faz com que essa relação pareça natural. (BOURDIEU, 1997, p 204 *apud* VALLE, 2013, p. 425)

Sendo que, tanto a instituição escolar como os agentes do processo educacional (professores, coordenadores, diretores, etc.) tornam o mecanismo de violência simbólica como algo natural, por possuírem poder e autoridade para isso.

Dentro de um sistema educacional assim arranjado, o fracasso escolar aparece como algo socialmente necessário em um sistema que preza pelas relações hierárquicas de valores, dos quais implica no surgimento de hierarquias dentro das instituições, das grades e disciplinas escolares e, em último uso, das práticas docentes (VALLE, 2013). Assim, o fracasso ou insucesso escolar em um campo que evidencia a importância do sucesso escolar, sobre o qual a herança cultural possui um papel determinante, torna-se recorrente do próprio sistema, e como coloca Valle (2013) “o círculo se fecha”:

A (auto) reprodução do sistema de ensino como instituição relativamente autônoma torna possível a reprodução da cultura dominante por meio do jogo do desconhecimento-reconhecimento. Essa reprodução cultural (violência simbólica) leva à reprodução contínua das relações de força no centro da sociedade. [...] (VALLE, 2013, p. 426).

E atualmente, a instituição de ensino é que confere ao sujeito um preparo profissional, conforme Artigo 39. § 1º e § 2º itens I, II e III da LDB Lei n. 11.741/08 (BRASIL, 1996)², que lhe dê prestígio sendo condizente com as expectativas de sua cultura, uma vez que é a instituição de ensino que lhe atribui um diploma, certificado ou título, conforme Artigo 43 item II da LDB Lei n. 9.394/96 (BRASIL, 1996)³ por ter ascendido nas estruturas de domínio por mérito individual.

Silva (1995) expõe que existe uma tendência a uma exigência por parte da sociedade moderna por um capital cultural que seja legitimado através de credenciais educacionais, onde se adequam os títulos e diplomas. No entanto, essa tendência não provém de necessidades da economia e não dá garantia a quem e de que haverá democratização por meio da educação, pois alguns títulos são mais valorizados que outros, onde os títulos mais prestigiados estão

² Lei nº 11.741 de 2008

Art. 39. A educação profissional e tecnológica, no cumprimento dos objetivos da educação nacional, integra-se aos diferentes níveis e modalidades de educação e às dimensões do trabalho, da ciência e da tecnologia.

§ 1º Os cursos de educação profissional e tecnológica poderão ser organizados por eixos tecnológicos, possibilitando a construção de diferentes itinerários formativos, observadas as normas do respectivo sistema e nível de ensino.

§ 2º A educação profissional e tecnológica abrangerá os seguintes cursos

I – de formação inicial e continuada ou qualificação profissional;
 II – de educação profissional técnica de nível médio;
 III – de educação profissional tecnológica de graduação e pós-graduação.

³ Lei n. 9.394 de 1996

Art. 43. A educação superior tem por finalidade:

II - formar diplomados nas diferentes áreas de conhecimento, aptos para a inserção em setores profissionais e para a participação no desenvolvimento da sociedade brasileira, e colaborar na sua formação contínua;

reservados para os estudantes que possuem maior capital cultural, social e econômico, e segundo a autora mencionada: “Essa tendência decorre do conflito entre os grupos de status: uns procurando manter sua situação privilegiada e outros desejando acesso às mesmas oportunidades.” (SILVA, 1995, p. 29).

Na prática, a universidade pode ser percebida como uma estrutura institucional, que reproduz as estruturas de domínio (relações de poder) que estão organizadas hierarquicamente e conceitualmente, através de cursos, disciplinas, níveis de graduação, entre outros. Essas estruturas requerem trocas simbólicas (notas, aprovações, diploma, etc.) entre as classes que demandam apropriação do *habitus* de classe, que se traduz em disposições mais gerais compartilhadas pelos membros dessa classe, para consagrar uma posição (social) e satisfazer a práxis social. Pois, a práxis social é que determina as regras do trabalho (profissão) que garante o prestígio do sujeito como resultado da conquista de Capital Cultural, Social e Econômico. A figura a seguir traz um esquema explicativo de como a estrutura hierárquica da instituição escolar é influenciada pela sociedade, mostrando como os conceitos sociológicos abordados na obra de Bourdieu estão relacionados:

Figura 1 — Esquema de estrutura hierárquica da instituição escolar influenciada pela sociedade com elementos da obra de Bourdieu.



Fonte: A autora.

Quando os alunos passam de um nível de ensino para outro é necessário que se apropriem do *habitus* do sistema de ensino para o nível e da instituição. De modo que os

alunos do primeiro ano de um curso de graduação ainda não se apropriaram do *habitus* da instituição e é compreensível que sofram com as cobranças da estrutura escolar que ocorrem somente por relações objetivas e desconsiderando as relações dialógicas com expressões particulares dos alunos. A meu ver, ao concentrar seus esforços para o desenvolvimento de habilidades para transpor esse tipo de cobrança, os alunos acabam, muitas vezes, por negligenciar a compreensão do conteúdo. Como consequência disso, é possível perceber nas disciplinas de cursos de ciências exatas, onde é bastante comum ser exigido dos estudantes um rigor científico na linguagem, escrita e resolução de exercícios que não, necessariamente, lhe é natural, mas que lhe é imposto, caracterizando um mecanismo de violência simbólica. Assim, a violência simbólica ocorre quando, por exemplo, um professor considera que todos os alunos já detêm de determinados saberes importantes e necessários a algum estudo, sem interessar-se em constatar se isso de fato se aplica, partindo do pressuposto de que os alunos que não sabem devem buscar por si só os saberes necessários, e isso atribui vantagem maior a aqueles alunos que já possuem tais saberes.

No entanto, a teoria de Bourdieu para a educação não fornece uma orientação pedagógica para a prática educativa, mesmo porque essa não é pretensão da teoria, mas sim pretende explicar o modo como funciona a educação (SAVIANI, 2013). Visto que, para Bourdieu a ação pedagógica reproduz a cultura dominante porque é exercida por indivíduos educados de um grupo social. Desta forma, toda a ação pedagógica deve ser considerada como violência simbólica, ao ponto que impõe e legitima a cultura dominante.

Todavia, sendo o capital cultural uma fonte de poder e que possui um papel decisivo nas condições de classe da sociedade, de modo que a cultura pode atuar como um mecanismo de mudança que contribuirá para a mobilidade social.

Essa contradição caracteriza o que foi chamado de paradoxo da teoria de Bourdieu onde: a cultura pode atuar como um mecanismo de mobilidade/mudança social pelas influências da educação sobre a sociedade e, também como um mecanismo de reprodução das condições de classes sociais através das influências da sociedade sobre a educação (SILVA, 1995; SAVIANI, 2013).

E foi sobre o paradoxo de Bourdieu que se propôs desenvolver uma sequência de ensino para o conteúdo de máquinas térmicas e Segunda Lei da Termodinâmica considerando uma abordagem histórica e experimental dos conteúdos e utilizando como referência a concepção de ensino da Pedagogia Histórico-Crítica.

Perante essa realidade desenvolveu-se, como parte do projeto de mestrado, uma proposta de ensino para abordar o conteúdo de Termodinâmica, mais especificamente o conteúdo de máquinas térmicas e Segunda Lei da Termodinâmica, que faz parte da Unidade 8 do programa da disciplina de Física Geral e Experimental II (FSC 1025), visto que essa é uma disciplina de física básica destinada a alunos de cursos de Engenharia e ofertada semestralmente para discentes do segundo semestre de graduação.

CAPÍTULO II

2.1. CONTEXTO DE PESQUISA

A presente pesquisa foi desenvolvida com turmas do segundo semestre de cursos de graduação em Engenharia da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Campus de Santa Maria, na disciplina de Física Geral e Experimental II (FSC1025), durante os, primeiro e segundo semestres letivos do ano de 2015.

A escolha das turmas dos segundos semestres dos cursos de Engenharia ocorreu, por ser esse o semestre em que está alocada a disciplina de Física Geral e Experimental II (FSC1025), na qual contempla no seu programa o conteúdo de Termodinâmica. A participação dos alunos não ocorreu de forma totalmente voluntária, uma vez que a pesquisa foi desenvolvida nos períodos de aula da disciplina de física básica supracitada. E em caso de algum aluno demonstrar que não gostaria de participar da pesquisa, em qualquer uma das aulas ou atividades, todos os seus dados deixariam de ser analisados, em virtude de não entregarem os termos de consentimento livre e esclarecido.

O conteúdo de Termodinâmica também é abordado em outras disciplinas consideradas avançadas, em diferentes cursos. No entanto, nos primeiros semestres, nas disciplinas como as de física básica, o período em que os alunos estão se apropriando do *habitus* do curso, de modo que uma abordagem diferenciada do conteúdo e com atividades diversificadas, que promovam o uso de habilidades distintas por parte dos alunos, pode colaborar nessa aquisição.

É importante destacar que a implementação da pesquisa nas aulas desta disciplina foi possibilitada pelo professor regente, que disponibilizou um número limitado de aulas para realização das atividades sem que houvesse prejuízo no andamento geral da disciplina. Onde, cada uma das aulas correspondia a dois períodos ininterruptos, e dois também era o número de aulas por semana, o que facilitou bastante o andamento das atividades.

No entanto, antes de desenvolver a proposta para implementação na disciplina Física Geral e Experimental II (FSC1025), foi analisada a ementa e a bibliografia da mesma, para conhecer a estrutura da disciplina. A ementa e bibliografia são documentos que se encontram disponíveis nas páginas eletrônicas dos cursos de engenharia que possuem a disciplina na grade curricular e serão discutidas na próxima seção.

2.2. O ESTUDO DAS MÁQUINAS TÉRMICAS NA DISCIPLINA DE FÍSICA GERAL E EXPERIMENTAL II

As graduações em ciências exatas e da natureza tais como Física, Matemática, Química, Meteorologia e as graduações de aplicação tecnológica de conhecimentos como as engenharias, possuem em suas grades curriculares disciplinas de física básica, como física geral, normalmente, cursadas nos primeiros semestres de curso. Dentre os conteúdos trabalhados em disciplinas de física básica está o conteúdo de termodinâmica, que é a realidade da Física de interesse da presente pesquisa.

Nos cursos de Engenharia da UFSM, o conteúdo de termodinâmica é introduzido na disciplina identificada como: Física Geral e Experimental II sob o código FSC 1025, que é ofertada semestralmente pelo Departamento de Física da UFSM aos cursos de: Engenharia Acústica, Engenharia Aeroespacial, Engenharia Civil, Engenharia de Computação, Engenharia de Controle e Automação, Engenharia Elétrica, Engenharia Mecânica, Engenharia de Produção, Engenharia Química, Engenharia Sanitária e Ambiental, Engenharia de Telecomunicações. A disciplina de Física Geral e Experimental II (FSC 1025) possui um encargo didático de 75 horas-aula com 60 horas-aula destinadas a aulas teóricas e 15 horas-aula destinadas a práticas experimentais, de modo que é ministrada em duas aulas, com 2 horas cada, por semana. No programa da disciplina (Anexo A) consta que os objetivos que devem ser alcançados pelo aluno ao término da disciplina são: “Identificar fenômenos naturais em termos de quantidade e regularidade, bem como interpretar princípios fundamentais que generalizam as relações entre eles e aplicá-los na resolução de problemas simples”, sendo que, as unidades que devem ser trabalhadas no decorrer da disciplina são:

- UNIDADE 1 — Movimento harmônico simples;
- UNIDADE 2 — Superposição e interferência de ondas;
- UNIDADE 3 — Interação gravitacional;
- UNIDADE 4 — Propriedades dos fluídos;
- UNIDADE 5 — Temperatura e gases ideais;
- UNIDADE 6 — Fluxo de calor e a Primeira Lei da Termodinâmica;
- UNIDADE 7 — Moléculas e gases;
- UNIDADE 8 — Segunda Lei da Termodinâmica;
- UNIDADE 9 — Propriedades dos sólidos;
- UNIDADE 10 — Experimentos em física.

Das unidades e subunidades que fazem parte do programa da disciplina Física Geral e Experimental II (FSC 1025), as que estão mais intimamente relacionadas com o tema

Máquinas Térmicas são as subunidades que competem mais especificamente a Unidade 8, porque correspondem a indicativa de abordagem da Segunda lei da Termodinâmica, assim como os diferentes ciclos termodinâmicos das máquinas de Carnot, Stirling, Otto, Diesel e Brayton.

Em uma primeira aproximação, realizamos uma análise dos livros-texto sugeridos como bibliografia básica e complementar (Anexo B) para disciplina de Física Geral e Experimental II (FSC 1025) com o intuito de verificar como os conteúdos da Unidade 8 do programa estão apresentados no decorrer do texto. A análise foi restringida ao capítulo, correspondente de cada livro, que aborda o conteúdo de Máquinas Térmicas e Segunda Lei da Termodinâmica.

Achou-se necessária a análise dos livros-texto em função de que, ainda é comum esse recurso didático como elemento principal de informações nas disciplinas de física para graduação como um guia único. Tanto que: “Em nosso ensino de graduação, tanto nas disciplinas de Física Geral como nas avançadas, é o livro de texto que determina o nível do curso, a ementa, o programa, a sequência das aulas, enfim, o plano de ensino da disciplina.” (MOREIRA, 2000, p. 95).

Segundo Moreira (2000) isso ocorre como se nunca tivesse saído do “paradigma do livro” que é, justamente, o fato de o livro-texto ser o único referencial que baseia ou referencia o ensino de física, em suas diferentes hierarquias, no interior do sistema de ensino, continuar sendo atual.

Assim sendo, é relevante analisar como é abordado e discutido o conteúdo de máquinas térmicas e Segunda Lei da Termodinâmica nesses livros-texto escolhidos para bibliografia da disciplina, permitindo destacar as qualidades (pontos fortes) e problemas (pontos fracos) de interpretação do conteúdo em cada livro.

É importante precaver que se optou pelas edições mais atuais dos livros para a análise, de modo que a edição escolhida não é necessariamente a mesma indicada no programa, com exceção do livro *Física* do autor McKelvey que faz parte da bibliografia complementar, que é uma edição mais antiga que a indicada e não teve reimpressões ou novas edições no Brasil. A seguir consta a Tabela 1 com a descrição técnica dos livros analisados.

Tabela 1 — Descrição técnica dos livros analisados.

TÍTULO DO LIVRO	CAPÍTULO	AUTOR(ES)	EDITORA	ANO
Fundamentos de Física	21: Entropia e a Segunda Lei da Termodinâmica	David Halliday; Robert Resnick; Jearl Walker	LTC	2002
Física para cientistas e engenheiros	19: A Segunda Lei da Termodinâmica	Paul A. Tipler; Gene Mosca	LTC	2009
Física	14: Desordem, reversibilidade, entropia, e a Segunda Lei da Termodinâmica	Jonh P. McKelvey Howard Grotch	LTC	1979
Curso de Física Básica	10: A Segunda Lei da Termodinâmica	Herch Moysés Nussenzveig	Blucher	2002
Sears e Zemansky Física	18: Segunda Lei da Termodinâmica	Hugh D. Young; Roger A. Freedman	Pearson	2003

A importância do livro-texto para os alunos do Ensino Superior está baseada no fato de ele ser um recurso utilizado para leituras e estudos sobre o conteúdo abordado em determinada disciplina, na busca por uma fundamentação teórica consistente com o que o professor fornece em sala de aula. O livro texto inspira o aluno a uma garantia, segurança de estar ciente dos conteúdos existentes naquela área do conhecimento, uma vez que os livros-texto possibilitam uma visão organizada de uma disciplina.

Desta maneira, o aluno precisa estar consciente de que o que está escrito em um livro-texto não é uma verdade universal e que reflete as escolhas e o modo de pensar do autor que o publicou. Nesse contexto, a abordagem metodológica e a sequência adotada dos conteúdos dependem da forma como esses autores percebem o processo de ensino-aprendizagem e qual a concepção de aluno que compartilham, bem como as suposições epistemológicas sobre o ensino de ciências.

Como resultado, os diferentes livros-texto indicados para uma mesma disciplina, de modo geral, fornecem diferentes suposições sobre os mesmos conteúdos e assim podem tanto concordar em alguns aspectos teóricos e fenomenológicos quanto discordar entre eles ou omitir alguns (TARSITANI; VICENTINI, 1996). No entanto, isso não ocorre necessariamente com relação à estrutura lógica escolhida pelos autores e com o modo como

definem conceitos fundamentais, como podem não concordar sobre a finalidade do conteúdo (TARSITANI; VICENTINI, 1996).

2.3. A METODOLOGIA UTILIZADA PARA ANÁLISE TEXTUAL DOS LIVROS TEXTO

A abordagem de análise textual qualitativa dos capítulos dos livros texto propostos como bibliografia no programa da disciplina de Física Geral e Experimental II (FSC 1025) baseou-se na Análise Textual Discursiva proposta por Moraes (2003), a qual está organizada em torno de quatro focos, sendo que os três primeiros constituem um ciclo cujos elementos principais são: (1) *desmontagem dos textos*, (2) *estabelecimento de relações*, e (3) *captando um novo emergente*. O outro foco é (4) *auto-organização* e corresponde ao processo que é composto pelos três outros elementos que são racionalizados para emergência de novas compreensões sobre os objetos de análise, chamados *corpus*. Sendo que,

O *corpus* da análise textual, sua matéria-prima, é constituído essencialmente de produções textuais. Os textos são entendidos como produções lingüísticas, referentes a determinado fenômeno e originadas em um determinado tempo. São vistos como produtos que expressam discursos sobre fenômenos e que podem ser lidos, descritos e interpretados, correspondendo a uma multiplicidade de sentidos que a partir deles podem ser construídos. Os documentos textuais da análise, conforme já afirmado anteriormente, são significantes dos quais são construídos significados em relação aos fenômenos investigados. (MORAES, 2003, p. 194)

Para realização da análise textual sempre se parte do pressuposto de que todo texto possibilita uma multiplicidade de leituras, mas que toda leitura já é uma interpretação, porque o analista do texto o faz com determinadas intenções e sob a influência de referenciais teóricos (MORAES, 2003).

A etapa de *desmontagem dos textos* da Análise Textual Discursiva corresponde a um exame detalhado e rigoroso dos materiais, no sentido de fragmentá-los, interpretá-los e codificá-los na busca de suas unidades constituintes. Sendo que, as unidades de análise podem partir de categorias definidas *a priori* como, também, de categorias emergentes do *corpus*.

Ao analisar o capítulo dos livros-texto que aborda o conteúdo de Segunda lei da Termodinâmica e de Máquinas Térmicas, percebi que não havia categorias definidas *a priori*. De modo que foi realizada uma análise sobre o contexto que os assuntos de Máquinas Térmicas e Segunda Lei da Termodinâmica eram abordados no decorrer do texto do capítulo em cada livro, bem como a estrutura do capítulo analisado como um todo, objetivando identificar particularidades e semelhanças que pudessem ser codificadas, para emergência de

categorias. Deste modo, a análise foi efetivada através do método indutivo da ATD, no qual as categorias são construídas com base em informações inclusas no *corpus*.

Na sequência, são apontadas e discutidas, de forma breve, algumas características e detalhes sobre a abordagem dos conteúdos que foram identificados do capítulo de cada um dos livros analisados.

- **Fundamentos de Física (Halliday, Resnick e Walker)**

O livro inicia o capítulo intitulado *Entropia e Segunda lei da Termodinâmica* com uma pergunta que relaciona sequência temporal e processos irreversíveis. Esses processos estão definidos, no livro, como aqueles que só ocorrem em um único sentido, os quais ocorrem espontaneamente e se ocorressem no sentido “errado” não violaria a lei de conservação da energia. Consta que a direção dos processos irreversíveis é “imposta” por uma propriedade: “a variação da entropia ΔS do sistema”, cuja propriedade central é “frequentemente chamada de postulado da entropia”, enunciado como “se um processo irreversível ocorrer em um sistema *fechado*, a entropia S do sistema sempre aumenta; ela nunca diminui” (HALLIDAY et al., 2002, p. 190, grifo do autor). No entanto, o conceito de entropia não é definido nessa parte do capítulo, de modo que fica difícil entender a variação de uma grandeza que não é conhecida, somente em termos de processos irreversíveis.

Posteriormente, a entropia é dita uma propriedade de estado e a variação dessa grandeza é definida, durante um processo em que o sistema vai de um estado inicial i para um estado final f , pela relação matemática: $\Delta S = S_f - S_i = \int_i^f dQ/T$, seguido da explicação de como a variação da entropia pode ser calculada para processos irreversíveis considerando um processo reversível que ocorra entre os mesmos estados final e inicial, a partir do caso de uma expansão isotérmica para uma expansão livre. O fato de que os estados considerados sejam os de equilíbrio termodinâmico fica, inicialmente, implícito.

A Segunda Lei da Termodinâmica é apresentada no livro, logo após o “postulado da entropia” foi ampliado para inclusão dos processos reversíveis, da seguinte forma “*Apesar de a entropia poder diminuir, em parte, de um sistema fechado, sempre haverá um aumento igual ou maior de entropia em outra parte do sistema, de modo que a entropia do sistema, como um todo, nunca diminui*” (HALLIDAY et al., 2002, p. 194, grifo nosso). E imediatamente é dado enfoque às máquinas térmicas, concentrado no estudo de um motor ideal em específico: o motor de Carnot. Nessa etapa, o livro somente faz uso dos diagramas de fluxo (fontes quente e fria e realização de trabalho) de energia e o diagrama (P, V), para explicar a operação do motor ideal e os processos termodinâmicos que ocorrem durante o

ciclo com a substância de trabalho, e o diagrama (T, S) para ilustrar as variações de entropia para o motor de Carnot. O cálculo do trabalho resultante, realizado pelo motor de Carnot e da variação resultante de entropia por ciclo é mostrado e utilizado, em um momento posterior, para dedução da expressão para eficiência térmica de um motor de Carnot, a partir da qual é dito que a eficiência é sempre menor que 100%. E coloca como uma “versão alternativa” da Segunda Lei “*Não é possível nenhuma série de processos cujo único resultado seja a transferência de energia na forma de calor de um reservatório térmico e a completa conversão desta energia em trabalho*” (HALLIDAY et al., 2002, p. 197, grifo nosso), sem mencionar que se trata do enunciado de Kelvin como trazem outros livros.

O motor Stirling é mencionado no livro, que o traz como um motor ideal que possui eficiência menor do que a de um motor de Carnot operando entre as mesmas duas temperaturas. No entanto, se deduzir a eficiência térmica para um motor Stirling ideal obtém-se a expressão: $e_{Stirling} = 1 - \frac{T_{baixa}}{T_{alta}}$, que é exatamente igual a expressão que se obtém para um motor de Carnot, entre as temperaturas T_{baixa} de um reservatório de baixa temperatura e T_{alta} de um reservatório de alta temperatura. Portanto, $e_{Stirling} = e_{Carnot}$, o que não contradiz o teorema de Carnot.

O teorema de Carnot, não chega a ser enunciado por essa denominação no livro, mas o seu conteúdo consta na frase “[...] *nenhum motor real pode ter uma eficiência maior do que a de um motor de Carnot quando os dois motores trabalham entre as duas mesmas temperaturas*” (HALLIDAY et al., 2002, p. 200, grifo do autor). A abordagem dos refrigeradores se dá de maneira semelhante a das máquinas térmicas.

Para encerrar o capítulo o livro traz uma seção intitulada como “Uma visão estatística da entropia” onde é feita uma breve introdução sobre comportamento microscópico pode ser interpretado em termos da mecânica estatística e relaciona probabilidade e entropia através da equação estabelecida por Boltzmann.

O modo como o capítulo analisado está estruturado e o modo como aborda a Segunda Lei da Termodinâmica, não parece favorecer o seu entendimento. Visto que essa lei está definida em termos do conceito entropia com uma concepção macroscópica, mas essa grandeza não está claramente definida nas primeiras seções do capítulo, e na última seção está definida em termos de uma concepção microscópica. O fato de que são utilizadas concepções distintas favorece a ambiguidade de interpretações sobre a Segunda Lei e sobre o conceito de entropia.

- **Física para cientistas e engenheiros (Tipler e Mosca)**

O livro inicia a seção com o enunciado de Kelvin para a Segunda Lei da Termodinâmica “Nenhum sistema pode absorver calor de um único reservatório e convertê-lo inteiramente em trabalho sem que resultem outras variações no sistema e no ambiente que o cerca” (TIPLER; MOSCA, 2009, p. 636) e continua abordando o fato de alguns processos apesar de não violarem a Primeira Lei da Termodinâmica não admitirem o processo inverso e por esse motivo são ditos irreversíveis, violam a Segunda Lei. Na sequência enuncia a Segunda Lei por Clausius “Um processo cujo único resultado obtido seja o de retirar calor de um reservatório frio e liberar a mesma quantidade de calor para um reservatório quente é impossível” (TIPLER; MOSCA, 2009, p. 636) e se propõe a mostrar, no decorrer do capítulo, que os enunciados de Kelvin e Clausius são equivalentes.

O livro define máquinas térmicas como um dispositivo cíclico cujo objetivo é converter a maior quantidade possível de calor em trabalho e emprega um desenho esquemático de uma máquina a vapor e apresenta o motivo pelo qual foram inventadas para a retirada de água das minas, e a aplicação dessas máquinas atualmente para a geração de energia elétrica.

O livro traz um diagrama esquemático de um motor de combustão interna, muito utilizado em automóveis, cujo modelo idealizado obedece ao ciclo de Otto que é abordado e que tem sua eficiência térmica definida pela equação $e = 1 - \frac{\text{Calor}_{rejeitado}}{\text{Calor}_{aplicado}}$. Apresenta também um diagrama (P, V) e uma representação esquemática do fluxo de energia da máquina térmica e coloca como enunciado de Kelvin da Segunda Lei para máquinas térmicas: “É impossível para uma máquina térmica, operando em um ciclo, produzir como único efeito o de retirar calor de um único reservatório e realizar uma quantidade equivalente de trabalho” (TIPLER; MOSCA, 2009, p. 638). Os refrigerados são tratados em uma seção separada, mas é abordado com a mesma sequência didática das máquinas térmicas, o esquema de um refrigerador e diagrama de fluxo de energia, e o enunciado de Clausius da Segunda Lei para os refrigeradores: “É impossível para um refrigerador, operando em um ciclo, produzir como *único efeito* o de retirar calor de um corpo frio e liberar a mesma quantidade de calor para um corpo quente” (TIPLER; MOSCA, 2009, p. 640) e destaca que se caso essa definição não valesse seria possível refrigeradores que funcionassem sem o uso de uma fonte externa de energia elétrica.

A equivalência entre os enunciados da Segunda Lei da Termodinâmica para máquinas térmicas é demonstrada a partir da combinação dos diagramas de fluxo de energia da máquina

térmica e do refrigerador. A partir disso são listadas algumas condições para reversibilidade de um processo termodinâmico como a de que “nenhuma energia mecânica é transformada em térmica interna pelo atrito, por forças viscosas ou por outras forças dissipadoras” (TIPLER; MOSCA, 2009, p. 644). E então, são colocadas as “características” (processos termodinâmicos do ciclo) do ciclo de Carnot e o rendimento é definido a partir da razão entre o trabalho realizado e a quantidade de calor transferido ao sistema pela fonte quente, para isso conta com um diagrama (P, V) para o ciclo com as etapas identificadas, juntamente com um esquema de um pistão para cada uma das etapas do ciclo.

O conceito de entropia é introduzido, no capítulo, para explicar processos reversíveis que não podem ser descritos pelos enunciados da Segunda Lei da Termodinâmica em termos das máquinas térmicas e dos refrigeradores, e está definido como “uma função termodinâmica chamada de **entropia** S que é uma medida do grau de desordem de um sistema. A entropia S , assim como a pressão P , o volume V , a temperatura T e a energia interna E_{int} é uma função de estado de um sistema” (TIPLER; MOSCA, 2009, p. 650) e, na sequência da seção, quando a entropia é definida matematicamente pela relação: $dS = dQ_{rev}/T$.

O termo desordem deve ser utilizado para fazer referência à multiplicidade de estados na interpretação microscópica da entropia e não à interpretação macroscópica com o sentido de desordem espacial como fica evidenciada no livro, isso pode ocasionar problemas de aprendizagem por favorecer a interpretações equivocadas sobre as concepções macro e microscópica da Segunda Lei da Termodinâmica e do conceito de entropia.

O livro apresenta, ainda, como calcular a variação de entropia para um gás ideal sob diferentes processos termodinâmicos como: expansão isotérmica, expansão livre, colisão completamente inelástica, ciclo de Carnot; menciona a diminuição na disponibilidade de energia para a realização de trabalho quando a entropia aumenta, e fala sobre entropia e probabilidade, onde discute o caso da entropia para uma expansão livre de um gás ideal e probabilidade de ocorrer a contração espontânea do gás.

- **Física (McKelvey)**

Esse livro inicia o capítulo fazendo uma diferenciação entre processos reversíveis e irreversíveis como um exemplo de uma questão que não tem solução possível utilizando somente a Primeira Lei da Termodinâmica. Então, a Segunda Lei é apresentada como a lei que estabelece a impossibilidade de retornar ao estado inicial de um sistema em que ocorre um processo irreversível sem seja alterado o estado térmico do meio que o circunda. Os autores trazem que o modo mais simples de expressar o conteúdo físico essencial da Segunda

Lei é o seguinte: “1. *Os sistemas desenvolvem-se espontaneamente com a passagem do tempo de estados de pouca probabilidade a estados de probabilidade maior, e não na direção oposta.*” (McKelvey, 1979, p. 728, grifo do autor).

A exemplificação do enunciado é feita com base na distribuição de cartas de um suposto jogo de baralho, para explicar sobre as configurações de maior probabilidade, de um jogador, em rodadas sucessivas, ficar com 13 cartas de espadas. Com o intuito de que o leitor entenda com clareza que um aspecto importante da Segunda Lei é que “[...] estabelece o modo mais provável pelo qual certos sistemas físicos se desenvolvem, e não como eles *têm* que se desenvolver.” (MCKELVEY, 1979, p. 730, grifo do autor).

A seção posterior aborda processos reversíveis e irreversíveis, que são definidos com relação aos estados inicial (i) e final (f) de um sistema que passa por um processo. Se o sistema passar do estado i para o estado f através de uma sucessão de estados de equilíbrio, caracteriza um processo reversível, que têm como exemplos os processos adiabáticos, isotérmicos, isovolumétricos e a pressão constante. Mas, caso ocorra um afastamento significativo dos estados de equilíbrio do sistema, o processo é irreversível, pois esses afastamentos são inerentes à natureza desse tipo de processo e, dentro dessa classe, são citados os sistemas dissipativos ou com atrito. E, ainda, o texto aborda que, mesmo um processo reversível como o processo adiabático pode se tornar irreversível, através de um exemplo de um martelo de malho acertado sobre um pistão, reduzindo o volume rapidamente, para relacionar com o fato de que o grau de desordem associado a um dado sistema mais o meio é que distingue se um processo é reversível ou não. Para então, estabelecer que “[...] *o grau de desordem do universo aumenta ou permanece o mesmo, mas nunca diminui*” (MCKELVEY, 1979, p.735, grifo do autor). E essa seção segue com mais um exemplo, no qual dois blocos de cobre com temperaturas iniciais de 0 °C e 100°C são colocados em contato, e que é abordado de forma argumentativa considerando ideia de probabilidade e grau de desordem das moléculas associado ao sistema, para chegar ao enunciado da Segunda Lei de que “*O calor não fluirá espontaneamente de um corpo a uma dada temperatura para um outro cuja temperatura é mais alta.*” (MCKELVEY, 1979, p.736, grifo do autor). E próximo ao fechamento da seção coloca que “[...] uma quantidade térmica facilmente definível chamada *entropia* provê esta medida quantitativa necessária do “grau de desordem”” (MCKELVEY, 1979, p.737, grifo do autor).

Na seção seguinte, o livro trata das máquinas térmicas reais e ideais, começando pela máquina ideal de Carnot. Para a máquina de Carnot, foram descritas as relações entre as

variáveis P, V, T, cujas isotermas e adiabáticas são mostradas em um diagrama (P, V), e cada um dos processos para o ciclo da máquina, bem como foram deduzidas as expressões para o trabalho realizado e para a energia interna do sistema, através da Primeira Lei, para então obter a eficiência do ciclo de Carnot em função das quantidades de calor e em função das temperaturas, e para uma máquina com o ciclo de trabalho invertido. O livro traz uma análise, a partir de um desenho esquemático para o fluxo de energia da máquina térmica e do refrigerador de Carnot, e posterior de um dispositivo de movimento perpétuo de segunda espécie para chegar aos enunciados de Clausius e de Kelvin-Planck para a Segunda Lei. E traz a conclusão de que “[...] *todas as máquinas térmicas reversíveis que operaram entre as mesmas duas temperaturas constantes têm a mesma eficiência, dada pela expressão de Carnot*” (MCKELVEY, 1979, p.747, grifo do autor).

As relações entre entropia, probabilidade e grau de desordem são tratadas, sendo deduzidas as expressões para variação da entropia $\Delta S = \oint dQ/T = 0$, onde o parâmetro desordem está intimamente relacionado ao aumento de dQ . E desenvolve essas relações até chegar a expressão matemática para entropia em função do logaritmo das probabilidades.

Após definir a entropia como um parâmetro válido para descrever a desordem termodinâmica, o livro aborda as variações da entropia para processos reversíveis, em especial, para adiabático e isotérmico, e também para processos irreversíveis. De modo que, define a Segunda Lei em função da entropia, como sendo maior ou igual a zero para processos irreversíveis ou reversíveis, respectivamente. A seção segue com alguns exemplos, um sumário com vários enunciados da Segunda Lei, máquinas térmicas e entropia, na forma de postulados, para os quais são estabelecidas relações internas.

- **Curso de Física Básica (Nussenzveig)**

O livro introduz o capítulo com uma diferenciação entre processos reversíveis e irreversíveis através de considerações sobre Primeira Lei da Termodinâmica, a qual é abordada no capítulo 9, sob a forma de perguntas. E faz menção ao fato de que as leis fundamentais da mecânica estudadas até o capítulo 10, são reversíveis e coloca a questão: “[...] Qual a origem física da distinção entre passado e futuro?” (NUSSENZVEIG, 2002, p. 206), para respondê-la é feita uma breve descrição histórica da formulação da Segunda Lei.

Na sequência, o livro traz os enunciados de Clausius “**(C)** *É impossível realizar um processo cujo único efeito seja transferir calor de um corpo mais frio para um corpo mais quente*” (NUSSENZVEIG, 2002, p. 207, grifo do autor) e Kelvin “**(K)** *É possível realizar um processo cujo único efeito seja remover calor de um reservatório térmico e produzir uma*

quantidade equivalente de trabalho” (NUSSENZVEIG, 2002, p. 207, grifo do autor) para a Segunda Lei, seguido da explicação sobre as consequências imediatas desses enunciados: a geração de calor por atrito a partir de trabalho mecânico é irreversível e, a expansão livre de um gás é um processo irreversível. E então, o livro introduz a ideia de motor térmico, onde utiliza e explica os esquemas e diagramas de fluxo de energia de uma máquina a vapor e de um refrigerador e, mostra que os enunciados de Clausius e Kelvin são equivalentes. O ciclo de Carnot é abordado a partir do problema que Carnot se propôs a solucionar: “[...] *dadas uma fonte quente e uma fonte fria, qual é o máximo rendimento que se pode obter em um motor térmico operando entre essas duas fontes?*” (NUSSENZVEIG, 2002, p. 211, grifo do autor), fazendo uso de representações esquemáticas dos quatro estágios termodinâmicos e de diagrama (P, V), seguido do Teorema de Carnot: “(a) *Nenhuma Máquina térmica que opere entre uma dada fonte quente e uma dada fonte fria pode ter rendimento superior ao de uma máquina de Carnot; (b) Todas as máquinas de Carnot que operem entre essas duas fontes terão o mesmo rendimento*” (NUSSENZVEIG, 2002, p. 213, grifo do autor) e explicações do que ele significa. O livro deixa explícito que o estudo do problema é restrito ao caso das máquinas térmicas reversíveis. Descreve, ainda, como a escala termodinâmica absoluta por Kelvin foi construída a partir do ciclo de uma máquina de Carnot, para depois obter a relação matemática do rendimento de uma máquina de Carnot.

Posteriormente, o livro considera o teorema de Clausius analisado a partir da situação em que o ciclo de Carnot (C) é tomado para a construção da desigualdade: $\oint_C dQ/T \leq 0$. Só então é introduzido o conceito de entropia, no livro, como sendo uma função de estado associada ao estado de equilíbrio termodinâmico de um sistema. Depois, aborda a variação de entropia de alguns casos particulares reversíveis, como a transformação adiabática reversível e os processos irreversíveis, e encerra o capítulo abordando o princípio do aumento da entropia articulado do seguinte modo: “[...] *A entropia de um sistema termicamente isolado nunca pode decrescer: não se altera quando ocorrem processos reversíveis, mas aumenta quando ocorrem processos irreversíveis*” (NUSSENZVEIG, 2002, p. 230, grifo do autor). O livro cita ainda, algumas consequências como o fato de o estado de equilíbrio de um sistema fechado corresponder ao estado com entropia máxima e o fato de ser possível diminuir a entropia de um sistema à custa de um aumento mínimo equivalente da entropia da vizinhança desse sistema, justificando a equivalência desse princípio com os enunciados da Segunda Lei.

De modo geral, todo o conteúdo do capítulo gira em torno do conceito de máquina térmica e das proposições de Carnot e os enunciados de Clausius e Kelvin para Segunda Lei

estão utilizados em termos do funcionamento das máquinas térmicas, assim como, o conceito de entropia e o princípio de aumento da entropia são abordados fenomenologicamente.

- **Física II: Termodinâmica e Ondas (Young e Freedman)**

O capítulo inicia definindo processos irreversíveis como sendo aqueles que ocorrem em um determinado sentido, porém, não ocorrem em sentido contrário e que estão associados a processos naturais. Sendo que os processos reversíveis são ideais e que estão sempre próximos do equilíbrio termodinâmico com as vizinhanças e com o interior do sistema, e traz a definição de processo de quase-equilíbrio e processo de não equilíbrio.

O livro apresenta que o estado aleatório ou grau de desordem do estado final de um sistema pode ser relacionado com o sentido dos processos naturais, mas são feitas associações com objetos em escala macroscópica em desordem espacial, assim como, com partículas de um gás.

As máquinas são definidas, no livro, como “Qualquer dispositivo que transforme calor parcialmente em trabalho ou em energia mecânica” (YOUNG et al., 2003, p. 203), e, como representação de uma máquina, é utilizado um diagrama esquemático do fluxo de energia de uma máquina térmica e tem a eficiência térmica designada pela fração do calor absorvido da fonte quente que é convertida em trabalho. E, na continuação do capítulo, são abordadas as máquinas de combustão interna, em que o motor a gasolina utilizado em automóveis, é citado como exemplo familiar. O ciclo de Otto para um motor quatro tempos é abordado a partir de uma figura com a representação de cada etapa e de um diagrama (P, V) de um modelo idealizado para as etapas de funcionamento do motor, o rendimento para o ciclo idealizado é calculado e alguns fatores e efeitos importantes que afetam a eficiência de um motor real foram mencionados. O motor diesel é diferenciado do motor a gasolina e tem o ciclo idealizado representado em um diagrama (P, V).

Os refrigeradores são definidos nesse texto como uma máquina térmica que funciona com um ciclo inverso e as relações entre as quantidades de calor e trabalho para obter o coeficiente de performance da máquina é construído a partir de um diagrama de fluxo de energia. Os princípios envolvidos em um ciclo de refrigeração típico são trabalhados a partir de um diagrama como o esquema de funcionamento. Ao final da seção sobre refrigeradores é destacado que “*Sempre é preciso realizar trabalho para transferir calor de um corpo frio para um corpo quente*” (YOUNG et al., 2003, p. 209, grifo do autor) e que, caso não fosse necessário a realização de trabalho, o coeficiente de trabalho seria infinito. Essa implicação teórica é destacada em outras partes no decorrer do capítulo, com frequência.

Em seguida, o livro apresenta o que chama de enunciado da máquina térmica da Segunda Lei do seguinte modo “*É impossível para qualquer sistema sofrer um processo no qual ele absorve calor de um reservatório a uma dada temperatura e converte o calor completamente em trabalho mecânico, de modo que o sistema termine em um estado idêntico ao inicial.*” (YOUNG et al., 2003, p. 210, grifo do autor) e explica que a baseada Segunda Lei repousa sobre a diferença entre a natureza da energia interna e da energia mecânica macroscópica. E segue com o enunciado dos refrigeradores para a Segunda Lei “*É impossível a realização de qualquer processo que tenha como única etapa a transferência de calor de um corpo frio para um corpo quente.*” (YOUNG et al., 2003, p. 210, grifo do autor), e mostra a equivalência entre os dois enunciados da Segunda Lei através do uso de um diagrama esquemático que junta os diagramas de fluxo da máquina térmica e do refrigerador.

Em uma nova seção é abordado o ciclo de Carnot através do problema da eficiência térmica proposto por Carnot. Sendo que para compreender o ciclo de Carnot, o tema irreversibilidade é retomado, pois parte do pressuposto que “[...] *a conversão de trabalho em energia é um processo irreversível; o objetivo da máquina térmica é fazer uma reversibilidade parcial deste processo, ou seja, a conversão de calor em trabalho com a maior eficiência possível*” (YOUNG et al., 2003, p. 212, grifo nosso) e utiliza um diagrama (P, V) integrado com um desenho, para cada etapa do ciclo, em que um gás ideal está dentro de um cilindro com um pistão e demonstra a eficiência térmica para o caso especial que a substância de trabalho é um gás ideal e esclarece que seu valor nunca pode ser igual a um, a menos que uma das temperaturas seja zero, o que não é possível.

A frase “[...] *nenhuma máquina térmica pode ter uma eficiência maior do que a da máquina de Carnot operando entre as mesmas temperaturas externas.*” (YOUNG et al., 2003, p. 215, grifo do autor) é colocada como um enunciado equivalente da Segunda Lei para a máquina de Carnot a partir do qual se conclui que “[...] *todas as máquinas de Carnot funcionando entre as mesmas temperaturas possuem a mesma eficiência, independentemente da substância de trabalho.*” (YOUNG et al., 2003, p. 215, grifo do autor). Outros livros trazem esses enunciados como Teorema de Carnot.

O livro apresenta que a Segunda Lei pode ser formulada mediante uma afirmação quantitativa utilizando o conceito de entropia, que é definido do seguinte modo “[...] a **entropia** fornece uma estimativa *quantitativa* da desordem” (YOUNG et al., 2003, p. 218, grifo do autor), introduz o assunto considerando uma expansão isotérmica de um gás ideal utilizando a equação $dS = dQ/T$ e justifica que a medida da desordem de um dado sistema

depende do estado termodinâmico que se encontra o sistema. Faz a diferenciação da variação de entropia para processos cíclicos reversíveis, nula, e para processos irreversíveis, crescente. O termo desordem pode ser interpretado como desordem espacial na concepção macroscópica, quando utilizado como propriedade de um sistema sem fazer alusão as partículas constituintes e a concepção microscópica do sistema.

O enunciado da Segunda Lei é generalizado para processos reversíveis e irreversíveis em termos da entropia. E enfatiza que o aumento de entropia em todo processo irreversível natural mede o aumento da desordem e do caos no universo associado com esse processo. E na sequência, é apresentada uma interpretação microscópica da entropia, onde são definidos os conceitos de estado macroscópico e estado microscópico a partir de um sistema de moedas. Nessa seção consta a seguinte afirmação “o sistema está *desordenado* porque sabemos muito pouco acerca do seu estado microscópico” (YOUNG et al., 2003, p. 223, grifo do autor), que parece utilizar o termo desordenado de maneira apropriada, mas faz menção a moedas que são objetos em escala macroscópica que pode levar o leitor a uma confusão com relação à desordem espacial.

O segundo estágio do ciclo de análise, que contempla a Análise Textual Discursiva, corresponde ao movimento em direção ao estabelecimento de relações entre as unidades, processo que implica em combinação e classificação entre elas, no sentido de compreender como as partes podem ser reunidas em um conjunto mais complexo de elementos de significação próximos, emergindo uma categorização. A qual consiste em um processo de constante comparação entre as características e aspectos do texto (unidades) durante a análise, levando a formação de grupos de elementos textuais semelhantes, assim, os conjuntos formados por esses grupos de elementos constituem as categorias.

Ao analisar o capítulo dos livros que abordavam a Segunda Lei da Termodinâmica tornou-se possível realizar uma comparação entre as diferentes abordagens dadas a Segunda Lei e por extensão ao conceito de entropia, visto que alguns livros enfatizam o enunciado dessa lei em termos da entropia. Desta forma, possibilitou-se identificar algumas diferenças e semelhanças entre as abordagens, permitindo assim agrupar os elementos que levaram ao estabelecimento de duas categorias emergentes, intituladas:

1. *Abordagem fenomenológica da Segunda Lei da termodinâmica e da entropia*: de acordo com Tarsitani e Vicentini (1996), a abordagem fenomenológica da termodinâmica pode ser plenamente desenvolvida, em termos abstratos e

rigorosos, independentemente de qualquer teoria microscópica. No caso, a abordagem da Segunda Lei e o conceito de entropia.

2. *Abordagem macroscópica da Segunda Lei da Termodinâmica versus abordagem microscópica da entropia*: a abordagem da Segunda Lei está baseada no comportamento fenomenológico macroscópico dos sistemas termodinâmicos, enquanto que a abordagem do conceito de entropia considera a interpretação microscópica da termodinâmica, voltada à definição estatística do conceito.

Somente o livro **Curso de Física Básica** de Moysés Nussenzveig se encaixa na primeira categoria, pois no decorrer do capítulo a abordagem fenomenológica da termodinâmica pode ser percebida, sem que haja a necessidade de recorrer a teorias microscópicas em nenhum momento no texto. O modo como é abordado esse livro vem ao encontro ao que Tarsitani e Vicentini (1996) destacam com relação ao livro didático de Planck de 1897, em que as leis da termodinâmica são apresentadas como autossuficientes e com o mesmo caráter fundamental, por isso o conceito de entropia é considerado por Planck como um conceito primário tanto quanto a energia, e que deve ser entendido fenomenologicamente e cujo significado deve ser encontrado na direcionalidade intrínseca dos fenômenos naturais, sem relacionar a teoria microscópica (PLANCK, 1897 apud TARSITANI; VICENTINI, 1996, p. 64).

Os outros quatro livros **Física para cientistas e engenheiros** de Tipler e Mosca, **Física** de McKelvey e Grotch, **Sears e Zemansky Física** de Young e Freedman, e **Fundamentos de Física** de Halliday, Resnick e Walker, pertencem a categoria 2. Chama a atenção principalmente o último livro citado por ser largamente utilizado nas disciplinas de física básica dos cursos de graduação em diversas Instituições de Ensino Superior (IES) brasileiras e no exterior.

Os livros-texto que competem a categoria 2 abordam a Segunda Lei da Termodinâmica considerando o comportamento fenomenológico macroscópico dos sistemas, e chegam a enunciá-la em termos da entropia. No entanto, é nesse ponto que reside o problema, pois o conceito de entropia é definido em termos da desordem, apelando para a interpretação microscópica do conceito. Mas, ao utilizar do termo desordem quando se está considerando um comportamento macroscópico de um sistema, está admitindo-se a interpretação do termo como desordem espacial, posto que, o termo desordem pode ser facilmente relacionado com contexto cotidiano, e pode, de maneira ilusória, parecer menos abstrata que a expressão $dS = dQ/T$. Segundo Flores-Camacho e Ulloa-Lugo (2014), essa

definição da entropia, em termos da medida da desordem, parece apelar para a intuição e facilitar sua compreensão, mas, na realidade a obscurece.

Brousseau e Viard (1992) mencionam que dentre os elementos que ocasionam problemas em textos e com professores está a confusão entre a concepção macroscópica e microscópica de entropia, além do uso pouco claro da ideia de desordem, da descrição fenomenológica da termodinâmica clássica e de sua complexidade histórica são fatores que dificultam o ensino do conceito de entropia. Na pesquisa realizada por um dos autores, descrita no artigo, concluiu-se que o raciocínio dominante na maioria dos estudantes entrevistados é de que a entropia é desordem ou a extensão da desordem (VIARD, 1988 apud BROUSSEAU; VIARD, 1992, p. 15).

Em concordância com esse problema Flores-Camacho e Ulloa-Lugo (2014) relatam que a maioria dos professores pesquisados (75%) percebeu que os alunos expressam a entropia como “desordem” e identificaram isso como uma dificuldade na compreensão do conceito de entropia, considerando que, os alunos não conseguem explicar em que consiste ou que significado possui esse conceito em um sistema termodinâmico.

E, nesse contexto, Tarsitani e Vicentini (1996) destacam a necessidade de compressão da entropia a nível macroscópico antes de relacioná-la com probabilidade e “desordem”, assim como a relação entre conservação e dissipação em processos rumo ao equilíbrio, principalmente através de princípios formais como a relação de Gibbs, para que não se conduza a “falsas metáforas” com relação a “desordem” e entropia. E complementam deixando claro que:

Na verdade, nenhuma fórmula estatística relacionando um conceito indefinido, como a entropia a um outro conceito indefinido, tal como “desordem”, vai ajudar a melhorar a compreensão do conceito de entropia. Portanto, o uso do termo “desordem” todos os dias, ainda mais do que os termos “temperatura” e “calor”, muitas vezes leva a “falsas metáforas”, tais como a comparação, por exemplo, do processo de crescimento da entropia (que é espontâneo) com o processo de mistura de cartas (em que se presume a ação humana). (TARSITANI; VICENTINI, 1996, p. 52, tradução nossa)

Não que a utilização do termo desordem como referência ao conceito de entropia seja algo errado, somente é necessário se ter cautela, para que o termo esteja relacionado com multiplicidade de estados, a partir da interpretação microscópica de um sistema. E para que isso ocorra, a noção de desordem somente deve ser utilizada quando se aborda a interpretação microscópica de um sistema e, nunca na abordagem da concepção macroscópica da Segunda Lei e do conceito de entropia. Pois, quando utilizadas, as interpretações macroscópica e

microscópica da Segunda Lei Termodinâmica, de forma simultânea, já são amplamente divulgadas, o que ocasiona conflitos e problemas de compreensão do conteúdo da lei e dos conceitos relacionados.

Nesta perspectiva, entende-se que é preferível enfatizar a abordagem fenomenológica da Segunda Lei da Termodinâmica e a concepção macroscópica da entropia durante a disciplina de Física Geral e Experimental II (FSC 1025), e alertar os estudantes sobre os problemas encontrados com relação a forma como é trabalhado o conteúdo da Segunda Lei e o conceito de entropia em alguns livros que fazem parte da bibliografia da disciplina, *do que* abordar a concepção macroscópica e fazer menção a termos, como desordem, da interpretação microscópica, simultaneamente. Mas, se possível, deve-se abordar tanto a concepção fenomenológica da Segunda Lei e macroscópica da entropia, quanto a interpretação estatística da Segunda Lei e a interpretação microscópica da entropia, desde que separadamente. Essas precauções podem diminuir os problemas com relação ao entendimento e compreensão desse conteúdo e, principalmente, diminuir o conflito entre as diferentes interpretações da Segunda Lei.

Portanto, sugere-se a inclusão, mesmo que breve, de aspectos históricos importantes sobre a origem e a construção dos conhecimentos e conceitos de cada conteúdo que é abordado nos cursos de física básica, em especial, o de termodinâmica. Seria interessante que os livros textos escolhidos como bibliografia também trouxessem aspectos históricos sobre o desenvolvimento dos conteúdos abordados, para possibilitar que sejam compreendidos os esforços com relação à construção e desenvolvimento da ciência e que os mesmos ainda continuem.

Com a finalidade de conhecer sobre o que já havia sido publicado com relação a propostas didáticas para o Ensino de Termodinâmica, em específico, aquelas voltadas ou relacionadas ao estudo das máquinas térmicas, como esse conteúdo foi abordado e analisado em artigos, realizou-se uma revisão bibliográfica, descrita na próxima seção.

2.4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE TRABALHOS PRÉVIOS

A revisão bibliográfica do presente trabalho foi baseada no tema Ensino de Termodinâmica, mais especificamente, máquinas térmicas, para a qual buscaram-se artigos nos principais periódicos nacionais com Qualis A1 e A2 da CAPES, que costumam trazer artigos sobre o ensino de física. Optou-se por periódicos nacionais, justamente para conhecer

o que tem sido proposto sobre o assunto a um público alvo nacional, sem que haja uma variação significativa entre o público pesquisado e o que foi implementado na proposta.

Sendo que, foram analisados os periódicos: Revista Brasileira de Ensino de Física (RBEF), Caderno Brasileiro de Ensino de Física (CBEF), Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências, Investigação em Ensino de Ciências (IENCI), Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências (RBPEC) e Ciência & Educação. A tabela 2, a seguir, mostra o número de artigos obtidos em análise aos periódicos citados.

Foram selecionados e analisados os artigos que apresentassem propostas voltadas para Ensino de Termodinâmica, de preferência, implementadas no Ensino Superior, mas que estivessem associadas as palavras-chave: motores Stirling, máquinas térmicas, ciclos termodinâmicos, assim como, história das máquinas térmicas e Revolução Industrial. A palavra-chave motores Stirling foi pesquisada, pois uma das atividades didáticas desenvolvidas para a proposta possui esse tema.

Tabela 2 — Resultados dos números obtidos em análise aos periódicos.

Periódico	Período de análise	Artigos publicados
Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências	1999 – 2014	1
Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências (RBPEC)	2001 – 2015	0
Investigação em Ensino de Ciências (IENCI)	1996 – 2014	0
Revista Brasileira de Ensino de Física (RBEF)	2000 – 2015	2
Caderno Brasileiro de Ensino de Física (CBEF)	2000 – 2015	1
Ciência & Educação	2000 – 2015	1
TOTAL		5

A revista **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências** é publicação do Centro de Ensino de Ciências e Matemática, órgão de pesquisa e extensão no ensino de ciências da Faculdade de Educação, e do Programa de Pós-Graduação em Educação da UFMG e possui como missão publicar relatos de pesquisa, revisões críticas de literatura, resenhas de livros e discussões fundamentais de temas relacionados à educação em ciências da natureza em todos

os níveis de ensino, com o propósito de contribuir com professores e pesquisadores no aprimoramento de uma cultura de publicações que combine rigor acadêmico com relevância para a prática. Sua classificação na área de Ensino no sistema de avaliação Qualis da CAPES é A1 para versão impressa e A2 para versão online. Sendo que nesse periódico foi encontrado um artigo que abordava sobre um dos temas de interesse, máquina térmica a vapor, na publicação de número 2 do volume 9 do ano de 2007, a partir do qual são destacados alguns aspectos nos parágrafos a seguir.

No artigo intitulado *A História da Ciência no ensino da Termodinâmica: um outro olhar sobre o ensino de Física*, Margarete Hülsendeger descreve um projeto realizado com alunos do primeiro ano do Ensino Médio de uma escola particular de Porto Alegre que envolveu os professores das áreas de Física, História e Redação para trabalhar com dois grandes temas: I. A Primeira Revolução Industrial (a. Causas, b. Conseqüências) e II. Máquina a Vapor (a. Desenvolvimento: dos gregos a James Watt, b. Relação com a 1ª Revolução Industrial).

Hülsendeger (2007), considera que a História da Ciência é um caminho para o aluno compreender a construção do conhecimento científico e romper com a visão ingênua do surgimento da máquina a vapor. Desse modo, as atividades foram elaboradas na forma de unidades didáticas e abordaram o surgimento e desenvolvimento da máquina a vapor, e contaram a leitura e interpretação de textos, bem como a resolução de questões objetivas e dissertativas sobre os conceitos abordados em sala de aula. E dentre os objetivos da unidade didática para auxiliar aos alunos a I. compreender quais os fatores (sociais, econômicos, políticos) que, no final do século XVIII, contribuíram para o surgimento da máquina a vapor; II. entender a relação entre o aperfeiçoamento da máquina a vapor e o desenvolvimento dos conceitos termodinâmicos; e III. compreender como se desenvolveram os princípios físicos que regem a Termodinâmica, em especial, o Segundo Princípio da Termodinâmica.

A autora destaca que, ao abordar os conteúdos de maneira contextualizada, viabilizou uma maior compreensão por parte dos alunos dos fenômenos tratados em aula e, favoreceu a eles, perceberem suas dificuldades a partir do entendimento das dificuldades que os “homens de ciência” tiveram que superar para terem suas ideias aceitas no contexto histórico que vivenciavam. E considera que a História da Ciência possui principal importância ao possibilitar que o aluno perceba que a divisão do conhecimento em disciplinas é ilusória e que pode ser superada.

A **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências (RBPEC)** é uma publicação da Associação Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências (ABRAPEC) que teve início em 2001 e tem como objetivo “disseminar resultados e reflexões advindos de investigações conduzidas na área de Educação em Ciências, com ética e eficiência, de forma a contribuir para a consolidação da área, para a formação de pesquisadores, e para a produção de conhecimentos em Educação em Ciências, que fundamentem o desenvolvimento de ações educativas responsáveis e comprometidas com a melhoria da educação científica e com o bem estar social”. Está classificada com estrato A2 em Ensino no sistema Qualis da Capes. Nesse periódico não foi encontrado nenhum artigo relacionado aos temas pesquisados nessa dissertação.

O periódico **Investigação em Ensino de Ciências (IENCI)** está voltado para pesquisa na área de Ensino/Aprendizagem de ciências e possui apoio do Instituto de Física da UFRGS. No momento está classificada como A2 em Ensino pelo sistema Qualis da CAPES. Nesse periódico consta uma publicação “*Diferentes enunciados del mismo problema: ¿Problemas diferentes?*”, a qual aborda a resolução de problema que envolvem processos termodinâmicos tratados isoladamente sem fazer relação a ciclos termodinâmicos. De modo que, optou-se por não incluir o artigo na revisão bibliográfica, por tratar-se do estudo de um tema paralelo ao da presente dissertação.

A **Revista Brasileira de Ensino de Física (RBEF)** é uma publicação da Sociedade Brasileira de Física (SBF) e está voltada para publicação artigos sobre aspectos teóricos e experimentais de Física, materiais e métodos instrucionais, desenvolvimento de currículo, pesquisa em ensino, história e filosofia da Física, política educacional e outros temas pertinentes e de interesse da comunidade engajada no ensino e pesquisa em Física, visando a melhoria do ensino de Física em todos os níveis de escolarização. Possui classificação A1 em Ensino no sistema Qualis de avaliação da CAPES.

Nessa revista foram encontrados dois artigos de interesse, que possuem relação com os temas, mais especificamente com o ciclo de Carnot, que são: *A (Im)Pertinência da História ao Aprendizado da Física (um Estudo de Caso)* da publicação de número 2 do volume 23 do ano de 2001 e *Facilitando a Compreensão da Segunda Lei da Termodinâmica* da publicação de número 4 do volume 25 de 2003. Na sequência consta uma breve explanação sobre cada um dos artigos.

No artigo intitulado *A (Im)Pertinência da História ao Aprendizado da Física (um Estudo de Caso)* a autora Penha Dias exemplifica através de algumas questões de

fundamentos da Física que encontram respostas em sua História e faz uma análise conceitual da construção das duas leis da Teoria do Calor.

Na primeira parte do artigo, a autora discute sobre a importância do uso da história na clarificação dos conceitos, destacando que (I) A Física é não-trivial, em sua essência; e que por isso as dificuldades conceituais não devem ser banalizadas, nem os conceitos tratados como “óbvios”, (II) Algumas questões dos Fundamentos da Física são filosóficas em sua natureza; e são citadas várias questões de cunho filosófico como, por exemplo, “As moléculas e átomos obedecem as Leis da Mecânica (não importa se Clássica ou Quântica). Como pode, então, o determinismo microscópico ser conciliado com o indeterminismo macroscópico da *Segunda Lei da Termodinâmica?* ...”, e (III) Existe uma relação profunda entre a História da Ciência e a Epistemologia; pois revela o *grau de racionalidade* do ato da descoberta, apontando os elementos envolvidos na construção do conceito.

Na segunda parte do artigo, a abordagem é específica sobre a Teoria do Calor, onde a autora explora o funcionamento da máquina térmica, a própria máquina térmica, a fundamentação do princípio de Carnot, o teorema de Carnot e, as contribuições de Clausius, Thomson e Joule para generalização do princípio de Carnot e para a construção das leis da termodinâmica.

A autora considera que a História de uma ciência em particular pode revelar os motivos das categorias conceituais, tornando mais claro o significado dos conceitos. E que a explicação explorada no artigo pode realçar os problemas e as questões que fizeram com que Carnot e Clausius formassem a Termodinâmica, a História evidencia a “operação mental” (como chama a autora) da construção dos fundamentos e leis gerais da teoria. Isso pode ser facilmente detectado no trecho a seguir:

A História da descoberta de um conceito mostra não somente *como* o conceito foi criado, mas sobretudo, seu *porquê*; a História mostra as questões para cujas soluções o conceito foi introduzido, revela o quê o conceito faz na teoria, sua função e seu significado. A História revive os *elementos do pensar* de uma época, revelando, pois, os ingredientes com que o pensamento poderia ter contado na época em que determinada conquista foi feita. Ela desvenda a *lógica* da construção conceitual; nesse esforço, ela revela, também, os “buracos lógicos” que o conceito preenche, revivendo o próprio ato intelectual da criação científica (DIAS, 2001, p.2).

De Oliveira e Dechoum (2003) em seu artigo publicado sob o título *Facilitando a Compreensão da Segunda Lei da Termodinâmica* enfatizam o uso do diagrama $T \times S$ para descrever o funcionamento das máquinas térmicas reversíveis, pois o diagrama mostra as

quantidades de calor retirado, calor rejeitado e trabalho realizado em um ciclo termodinâmico e possibilita visualizar com clareza a eficiência de tais máquinas, bem como é possível abordar a formulação de Kelvin da segunda lei da termodinâmica, pois o diagrama $T \times S$ evidencia melhor a universalidade dessa lei que o diagrama P versus V , e não restringe a substância de operação, mesmo os diagramas sendo equivalentes.

No decorrer do artigo, os autores realizam uma breve exposição sobre a máquina de Carnot segundo os livros-texto tradicionais, através do P versus V , e mostram que os resultados podem ser generalizados ao se considerar o diagrama T versus S para qualquer substância de operação, destacando o caráter universal da Segunda Lei da Termodinâmica.

Os autores consideram que a representação (TS) se mostra mais adequada por que uma das variáveis se mantém constante em cada etapa do ciclo de Carnot.

O Caderno Brasileiro de Ensino de Física (CBEF) é publicado desde 1984 até 2002 sob o nome de Caderno Catarinense de Ensino de Física, está voltado, prioritariamente, para os cursos de formação de professores de Física, mas também é amplamente utilizado em pós-graduações em Ensino de Ciências/Física e em cursos de aperfeiçoamento para professores do Nível Médio. O periódico tem como objetivo “promover uma disseminação efetiva e permanente de experiências entre docentes e pesquisadores, visando a elevar a qualidade do ensino da Física tanto nas instituições formadoras de novos professores quanto nas escolas em que esses docentes irão atuar”. Possui, atualmente, classificação B1 em Ensino pelo sistema de avaliação Qualis da CAPES.

Foi encontrado, nesse periódico, um artigo relacionado aos temas de interesse: máquina térmica e ciclos termodinâmicos, na publicação número 2 do volume 29 do ano de 2012. Na sequência, consta uma breve explicação sobre alguns aspectos do artigo.

Sauerwein e Sauerwein (2012) apresentam no artigo intitulado *Objeto de Aprendizagem: Máquinas Térmicas* um objeto de aprendizagem (OA) que foi desenvolvido como material didático como apoio para trabalhar o tópico Máquinas Térmicas (MT). Esse objeto de aprendizagem mostra uma animação de uma máquina térmica que entre dois reservatórios térmicos e uma fonte reversível de trabalho e, de acordo com a movimentação da MT são traçados, em painéis adjacentes, de modo paralelo, o diagrama P versus V de sua substância de trabalho (um gás ideal monoatômico) e os gráficos com as variações de energia por ciclo de cada dos quatro subsistemas existentes. De modo que o AO possibilita aos alunos simular quaisquer ciclos termodinâmicos, reversíveis ou irreversíveis, compostos de quatro etapas.

O AO foi proposto para auxiliar os alunos na superação das dificuldades no processo de ensino-aprendizagem identificadas na prática docente pelos professor/autores, como: (1) abstração do tempo dos processos termodinâmicos; (2) relacionamento de processos termodinâmicos exibidos em diagramas *P versus V* com interações entre o fluido e subsistemas vizinhos; (3) compreensão de uma máquina como um dispositivo para uma manipulação consciente de processos de troca de energia; (4) concepção de ciclos com presença de processos irreversíveis.

Os autores destacam que a importância da máquina térmica para a sociedade atual, citando como exemplos de sua aplicabilidade no cotidiano os motores a explosão de automóveis e as turbinas das usinas termoelétricas ou nucleares, como sendo um dos fatores que justificam o destaque desse tópico dentro do conteúdo de termodinâmica. E mencionam como outras razões o surgimento da revolução industrial como consequência da invenção da máquina a vapor, na História, e a busca de aperfeiçoamento da máquina a vapor que induziram a síntese das leis da Termodinâmica, na História da Ciência.

De tal forma que, Sauerwein e Sauerwein (2012) julgam que o tópico máquinas térmicas deve ser abordado de forma que a função tecnológica, das máquinas, não seja obscurecida, possibilitando ser vista como uma transferência de energia, entre as diferentes formas, de um subsistema a outro, e permitindo aos alunos perceber que o ciclo de Carnot é apenas mais um entre diversos outros.

O periódico **Ciência e educação** foi criada no ano de 1995, como decorrência de ações que visavam a implantação do Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência, da Faculdade de Ciências da UNESP (Campus Bauru) e possui como missão “publicar artigos científicos sobre resultados de pesquisas empíricas ou teóricas e ensaios originais sobre temas relacionados à educação em ciências, educação matemática e áreas relacionadas”. Atualmente o periódico está classificado como nível A1 em Ensino no sistema Qualis de avaliação da CAPES.

Nesse periódico, foi encontrado um artigo de interesse sobre o estudo de máquinas térmicas e o ciclo de Carnot, na publicação número 4 do volume 17, de 2011, em que alguns comentários sobre ele são tecidos nos parágrafos a seguir.

Zanotello (2011) em seu artigo intitulado *Leitura de textos originais de cientistas por estudantes do ensino superior* apresenta a análise por ele feita sobre os sentidos produzidos por seus alunos do primeiro ano do Ensino Superior de ciência e tecnologia, a partir de atividades de leituras de textos originais de cientistas nos campos da termodinâmica e da

teoria cinética dos gases extraídos e traduzidos do livro de Magie (1935) “A source book in Physics: heat”, e de respostas à questões abertas sobre o material lido.

Nesses textos são enfatizados aspectos descritivos e de análise das hipóteses teóricas e resultados experimentais que possibilitam aos alunos terem indícios de como foram construídos os conceitos abordados na temática, sendo que os autores dos textos são: A Expansão dos Gases pelo Calor – Gay-Lussac, O Poder Motriz do Calor – Carnot, Entropia e Probabilidade – Boltzmann, A Escala Fahrenheit – Fahrenheit, Calor Latente – Black, A Distribuição das Velocidades Moleculares – Maxwell.

O autor aponta que, “apesar de ser praticamente consensual entre pesquisadores da área a recomendação da inclusão da história da ciência nos cursos, os mesmos apontam a necessidade de mais experiências em situações de sala de aula”, de modo que um dos objetivos de seu trabalho foi o de contribuir para a reflexão sobre inserção de elementos de história da ciência no ensino de física através da análise qualitativa dos resultados obtidos (respostas dos alunos as questões abertas), embora não tenha sido possível ele trabalhar toda a disciplina com enfoque histórico.

Não foi necessário finalizar a análise dos periódicos para constatar que são escassas as publicações, referentes ao Ensino de Termodinâmica, voltadas à abordagem do tema máquinas térmicas. Isso sem fazer menção aos temas motor Stirling e ciclos termodinâmicos, para os quais não foram encontradas publicações nos periódicos analisados, dentro do período de tempo selecionado, de aproximadamente quinze anos.

Mesmo assim, com a leitura e análise dos artigos encontrados nos periódicos selecionados, citados anteriormente, é possível perceber algumas características semelhantes entre eles com relação ao Ensino de Termodinâmica, visto que alguns possuem um teor de divulgação como os artigos: “A (Im)Pertinência da História ao Aprendizado da Física (um Estudo de Caso)” e “Facilitando a Compreensão da Segunda Lei da Termodinâmica”, enquanto que outros estão propondo uma abordagem para o ensino de Termodinâmica, como os artigos: “Leitura de textos originais de cientistas por estudantes do ensino superior”, “Objeto de Aprendizagem: Máquinas Térmicas” e “A História da Ciência no ensino da Termodinâmica: um outro olhar sobre o ensino de Física”. Mas, nenhum dos artigos encontrados aborda o ensino da Termodinâmica de forma contextualizada com a História exclusivamente, que não História da Ciência. E é um dos aspectos diferenciais que possui a proposta elaborada que fez parte da pesquisa apresentada nesse trabalho.

2.5. A PROPOSTA DE ENSINO

Lembrando que,

[...] a AP implica o trabalho pedagógico (TP) como trabalho de inculcação que deve durar o bastante para produzir uma formação durável; isto é, um *habitus* como produto da interiorização dos princípios de um arbitrário cultural capaz de perpetuar-se após a cessação da AP e por isso de perpetuar nas práticas os princípios do arbitrário interiorizado. (BOURDIEU, 2014, p. 53)⁴

O *habitus* é o estado incorporado do capital cultural que corresponde a todas as qualidades, habilidades, conhecimentos, expectativas, atitudes, comportamentos, que são interiorizados a um sujeito, que o diferencia e atribui valor perante o grupo de sujeitos da classe dominante. O *habitus* é produzido através de um arbitrário cultural, que por sua vez é reproduzido pelas relações de classes.

Ao se considerar o sistema de ensino universitário como uma estrutura de domínio em que as relações de trocas simbólicas ocorrerem em função do capital cultural no interior das ordens hierárquicas dessa estrutura. As disciplinas dos cursos de graduação fazem parte da hierarquia desta estrutura, em que os professores são a classe acadêmica dominante. Desta forma, do aluno que cursa determinada disciplina espera-se que esteja apropriado do *habitus* de classe, como por exemplo, domínio da linguagem culta e compreensão do funcionamento do sistema de ensino universitário.

Na situação da disciplina de Física Geral e Experimental II, assim como outras disciplinas de física básica, são exigidas habilidades como construção e interpretação de gráficos, compreensão de cálculo diferencial e integral, destreza com operações algébricas, facilidade com apropriação da linguagem culta da disciplina, dentre outras habilidades, ações e atitudes que constituem como *habitus*.

Se o capital cultural é fonte de poder no sistema de ensino, é importante que o aluno se aproprie do *habitus* exigido a toda comunidade acadêmica pela classe dominante da instituição. A apropriação do capital cultural facilitará o andamento das disciplinas e do curso para o aluno.

A inculcação (apropriação por imposição) deste arbitrário cultural pode ocorrer de duas formas: 1) quando o *habitus* é produzido através da inculcação inconsciente de princípios só manifestados no estado prático da prática imposta, como pedagogia implícita, e 2) quando o *habitus* é produzido através da inculcação metodicamente organizada, por

⁴ AP: ação pedagógica segundo a referência transcrita.

princípios formais e/ou formalizados, em pedagogia explícita (BOURDIEU, 2014). A pedagogia implícita supõe um conhecimento prévio ou um domínio simbólico da prática, que não são de posse de todos os sujeitos e, por isso contribui para a reprodução social ao assegurar que o conhecimento seja monopolizado, apenas, pelos detentores desses conhecimentos prévios (BOURDIEU, 2014).

Para tanto, a cultura atua ao mesmo tempo como um mecanismo de mobilidade acadêmica e como reprodução das condições no sistema de ensino universitário. Esse é o paradoxo da teoria de Bourdieu sobre a qual desenvolveu-se a proposta de ensino para intervenção em sala de aula, sob a perspectiva da Pedagogia Histórico-Crítica.

Já a Pedagogia Histórico-Crítica de Saviani parte do pressuposto que a história é compreendida a partir do desenvolvimento material, pois esse altera as condições de existência humana. Perante essa perspectiva a ciência é compreendida como uma construção humana e que está articulada a um contexto histórico de desenvolvimento. Sob esse ponto de vista, os conhecimentos da ciência abordados em disciplinas de um curso, sob a forma de conteúdos, logicamente, foram desenvolvidos dentro de um contexto na história da humanidade. E essa noção de ciência como produção humana e histórica, muitas vezes, fica ofuscado para os alunos devido a abordagem dada aos conteúdos nas disciplinas, de forma fragmentada.

Desta forma, assumir a postura da Pedagogia Histórico-Crítica implica em trabalhar os conteúdos de uma disciplina de forma contextualizada com a prática social. E a contextualização no ensino, por sua vez, possibilita o estabelecimento de relações entre conhecimentos de diferentes áreas do conhecimento, levando, quase que naturalmente, a interdisciplinaridade.

Na busca por um Ensino de Física menos fragmentado e restrito, de maneira a ampliar relações entre os conhecimentos do conteúdo de termodinâmica e de outras áreas, considero como ponto de partida a contextualização com a História. Perante isso, desenvolveu-se uma abordagem histórica do conteúdo de máquinas térmicas e Segunda Lei da Termodinâmica através da contextualização com aspectos da Primeira Revolução Industrial e o surgimento e aprimoramento das máquinas térmicas, na Inglaterra durante o século XVIII. Para o desenvolvimento de uma proposta de ensino baseada na perspectiva da Pedagogia Histórico-Crítica, consideraram-se os cinco passos propostos por Saviani (1989), já descritos no capítulo anterior.

- A Prática Social:

Através de considerações sobre a perspectiva dialética do conhecimento, tomou-se a contextualização através de uma abordagem histórica do conteúdo de máquinas térmicas, como um ponto de partida, para trabalhar também outros conteúdos da termodinâmica.

Nesse passo, os alunos possuem um nível de compreensão sobre o conteúdo de máquinas térmicas e da história da revolução Industrial. Mas, o conhecimento destes é fragmentado em termos da compreensão das relações entre o conteúdo de máquinas térmicas na termodinâmica e na história.

- A Problematização:

Esse passo pode ser desenvolvido através de discussões, em diferentes momentos da sequência de ensino, possibilitada pela contextualização do conteúdo e também questões referentes ao conteúdo propriamente dito.

- A Instrumentalização:

A esse passo fazem parte todos os instrumentos utilizados para responder as questões levantadas sobre o conteúdo ou referentes à abordagem histórica, como as composições teórico dialogadas e todas as atividades desenvolvidas no decorrer da sequência ensino, que conduzem a aprendizagem. Com o objetivo de uma ampliação da compreensão do aluno sobre os conhecimentos trabalhados.

- A Catarse:

Corresponde ao momento em que o aluno estabelece relações entre os conhecimentos da física e da história, bem como, relações entre o que já se conhecia e o que se aprendeu. Nesse passo, ocorre a formação de uma compreensão mais ampla e complexa, por parte do aluno, do que a que possuía inicialmente com relação à prática social. A esse passo cabem as avaliações com o intuito de verificar o quanto o aluno modificou o seu conhecimento da Prática Social frente a interferência pedagógica.

- A Prática Social Modificada:

Compreende ao passo em que o aluno retorna a Prática Social inicial, cuja forma foi alterada pela aprendizagem. A Prática Social Modificada pode ser considerada como superior a inicial, por ser mais complexa em termos das relações estabelecidas e formadas.

É de suma importância destacar que os passos da Pedagogia Histórico-Crítica não são entendidos como algo que possa ocorrer como um processo linear.

A sequência de ensino desenvolvida e proposta é constituída por cinco aulas, nas quais foram utilizados diferentes tipos de atividades didáticas com abordagens e finalidades distintas.

2.6. A PROPOSTA DA SEQUÊNCIA DE ENSINO E DAS ATIVIDADES DIDÁTICAS DESENVOLVIDAS

A sequência de ensino foi produzida para trabalhar o conteúdo de máquinas térmicas e da Segunda Lei da Termodinâmica, para esta finalidade foram utilizadas, em um conjunto de cinco aulas, e elaboradas quatro atividades didáticas distintas, tendo em vista a ampliação da aprendizagem. Sendo que cada uma das aulas e atividades possuem um tema distinto, mas que estão relacionados entre si, visando uma maior coesão da sequência de ensino.

A implementação da sequência de ensino ocorreu no decorrer do primeiro semestre letivo do ano de 2015 (1/2015), mais propriamente no mês de junho, com as turmas de engenharia que estavam cursando a disciplina de Física Geral e Experimental II. O cronograma, Tabela 3 a seguir, mostra as atividades que foram desenvolvidas, o conteúdo trabalhado durante cada aula, o tema de cada atividade didática, o formato instrucional em que se desenvolveu cada aula.

Tabela 3 — Cronograma da implementação das atividades didáticas (1/2015).

Tema	Número de aulas	Conteúdo	Formato Instrucional	Materiais Didáticos	Observação
Revolução Industrial e as máquinas térmicas	1 período/ aprox.. 2h	Primeira Revolução industrial; Sistema econômico capitalista;	Apresentação em slides mediando discussão;	Datashow;	Participação ativa dos alunos na discussão;
Máquinas térmicas de Newcomen e Watt e Leis dos gases	1 período/ aprox.. 2h	Máquinas térmicas de Newcomen e Watt	Apresentação em slides mediando discussão; Atividade experimental;	Datashow; Aparato experimental (Lei de Boyle) e Roteiro da Atividade Experimental;	Participação ativa dos alunos na realização da atividade experimental, bem como, na discussão;
Máquina de Stirling	2 períodos/ aprox.. 4h	Máquina e ciclo de Stirling; Trocas de energia nos processos termodinâmicos; Eficiência da máquina térmica; 2ª lei da termodinâmica; Entropia;	Apresentação em slides mediando discussão; Atividade de lápis e papel;	Datashow; Aparato experimental e Roteiro da Atividade de lápis e papel;	Participação ativa dos alunos na realização da atividade de lápis e papel, bem como, na discussão;
Máquina e ciclo de Carnot	1 período/ aprox.. 2h	Ciclo de Carnot Eficiência da máquina térmica e Teorema de Carnot;	Apresentação em slides mediando discussão;	Datashow;	Participação ativa dos alunos na discussão;

No decorrer de todas as aulas os alunos foram incentivados a participar e discutir sobre os assuntos abordados, bem como a resolver as atividades com comprometimento, e em caso de que surgisse alguma dúvida deveria expressá-la ou chamar em sua classe, mas que não permanecesse com dúvidas.

Desta forma, segue uma breve descrição de cada uma das aulas que constituem a sequência didática.

Aula 1: Primeira Revolução Industrial e máquinas térmicas

Nessa aula foi trabalhado o contexto em que surgiram e que foram desenvolvidas as máquinas térmicas, bem como isso influenciou na primeira Revolução Industrial e na consolidação do sistema econômico capitalista e quais foram as consequências para a sociedade inglesa do século XVIII.

Para desenvolver essa aula foi utilizada uma apresentação em slides, na qual constavam vídeos⁵, imagens, fotografias e questões, tais como: “Em que contexto as máquinas térmicas foram criadas?” e “Como as máquinas térmicas foram utilizadas no âmbito da Primeira Revolução Industrial?”, com o intuito de que servissem como elementos motivadores das discussões sobre o assunto.

Para então, por meio de considerações com relação as respostas vindas dos alunos, discutir o contexto em que as primeiras máquinas térmicas foram criadas para retirar água das minas de carvão, induzindo a considerações sobre como e porque surgiram as minas de carvão e chegando ao contexto da Primeira Revolução Industrial que e desenvolveu na Inglaterra. Dando sequência à discussão, foram abordados alguns aspectos sobre como a máquina térmica influenciou na mudança do sistema artesanal e agrário (manufatura) para sistema fabril (maquinofatura), como sucedeu o desenvolvimento da mecanização industrial, em que diferentes tipos de máquinas foram criados com a função de substituir o trabalho manual aumentando a produtividade e diminuindo os gastos, e o surgimento e separação de classes em proletariado e burguesia. E para dar fechamento a aula destacou-se a importância da tecnologia e da utilização das máquinas térmicas na indústria e para o desenvolvimento do sistema de transporte na Primeira Revolução Industrial e que, por isso, a máquina térmica é considerada como elemento principal para expansão do Capitalismo⁶.

Ao final dessa aula foi aplicada a Atividade 1, posteriormente, descrita.

⁵ Vídeos utilizados na Aula 1 disponíveis nos seguintes links: goo.gl/pjXTdp e goo.gl/OCr0Z4.

⁶ Algumas das referências bibliográficas sugeridas para a Aula 1 são: HART-DAVIS, A. **160 Séculos de Ciência: Revolução Industrial**. São Paulo: Duetto Editorial, 2010. 3 v.; QUADROS, S. **A termodinâmica e a invenção das máquinas térmicas**. 1 ed. São Paulo: Scipione, 1996.; REZENDE, C. **História Econômica Geral**. 10 ed. São Paulo: Contexto, 2013.

Aula 2: Máquinas Térmicas de Watt e Newcomen

Nessa aula abordou-se sobre o funcionamento da máquina de Newcomen e da máquina de Watt, bem como as diferenças entre essas máquinas e o surgimento das fontes quente e fria na segunda máquina citada, através de uma apresentação em slides mediada por discussões sobre o assunto com os estudantes. E também, fez-se um estudo da lei de Boyle para processos termodinâmicos isotérmicos através de uma atividade experimental⁷.

O ponto de partida para essa aula foi o fato de a Máquina Atmosférica de Newcomen ter sido construída para retirar água das minas de carvão, como a primeira que foi amplamente utilizada para tal função. E a partir dessa consideração desenvolveu-se uma explicação sobre o funcionamento da máquina de Newcomen, e foi colocado aos alunos que identificassem as fontes quente e fria para a máquina a partir de uma figura. Seguiu-se uma explicação sobre quais circunstâncias levaram Watt ao estudo da máquina de Newcomen, as questões que ele fez para solucionar o problema de funcionamento de tal máquina: “Por que a discrepância no desempenho da máquina real e da máquina em escala reduzida? E se esse fator de aquecimento e resfriamento do cilindro metálico também é importante para a máquina de tamanho real?”. E fez-se uma explicação sobre o funcionamento da máquina de Watt e discutiu-se sobre algumas características semelhantes e distintas entre as duas máquinas estudadas.

Em continuação, destacou-se o desempenho satisfatório da máquina térmica de Watt que a tornou economicamente viável a ponto de ser uma inovação tecnológica utilizada na indústria, e que por esse fato é tida como um marco histórico da afirmação do sistema econômico capitalista. Enfatizou-se, também, que no período em que as primeiras máquinas térmicas foram construídas, não havia um estudo formal dos conceitos fundamentais da termodinâmica, tais como energia, calor, trabalho. E, assim, a partir da questão “O que acontece com o gás (vapor) no interior de um cilindro de uma máquina térmica?”, inseriu-se a Atividade 2.

⁷ Algumas referências bibliográficas sugeridas para a Aula 2 são: GIANCOLI, D. C. **Physics: Principles with Applications**, 6 ed. Berkeley: Pearson, 2005.; VERTCHENKO, L.; DICKMAN, A. G. Verificando a lei de Boyle em um laboratório didático usando grandezas estritamente mensuráveis. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 34, n. 4, 4312, 2012.; ZEMANSKY, M. W. **Calor e termodinâmica**. 5 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Dois S. A., 1978.

Aula 3 e 4:Máquina de Stirling, Ciclos Termodinâmicos e Segunda Lei da Termodinâmica.

Nessas aulas foram trabalhados os seguintes conteúdos: ciclo de funcionamento de uma máquina Stirling, as trocas de energia que ocorrem em processos termodinâmicos isotérmicos e isovolumétricos; eficiência da máquina de Stirling ideal e Segunda Lei da Termodinâmica.

Inicialmente, foi apresentado o objeto de estudo a máquina de Stirling, e os componentes principais para funcionamento dessa máquina térmica, onde e porque tal máquina foi inventada. Então, discutiu-se sobre diferentes processos termodinâmicos, o comportamento das variáveis (P, V, T) em cada um, bem como as transferências de energia por calor e realização de trabalho e energia interna, com maior ênfase, nos processos isotérmicos e isovolumétricos.

Dando continuidade fez-se uma explanação sobre algumas características estruturais dos motores Stirling, como a quantidade de gás dentro da máquina é fixa, presa entre os êmbolos, a existência do regenerador e sua função, as fontes quentes e fria. E então, foi entregue o roteiro da Atividade 3 aos alunos e foram feitas considerações sobre as idealizações da máquina de Stirling necessárias para os cálculos do calor transferido em cada processo e da eficiência térmica da máquina ideal.

Ao término da Atividade 2 discutiram-se questões como “Qual a diferença entre um ciclo de funcionamento da máquina real e da ideal?” para tratar a questão de que as transformações que ocorrer em um ciclo teórico podem ser reversíveis, enquanto que em ciclos reais as transformações são irreversíveis. A questão “Que grandeza é essa que se manteve constante durante o ciclo de Funcionamento da máquina de Stirling ideal?”, que consta na atividade, foi utilizada para iniciar a discussão sobre o conceito de entropia e , mostrou-se que a partir da relação $Q_1/T_1 = Q_2/T_2$ obtida na atividade, se chega a relação $\Delta S \geq 0$. E na sequência, foi explicado que Clausius, em 1865, veio a denominar essa grandeza que se conserva em processos reversíveis, a variável S , por entropia, cuja etimologia designa do grego e que lembra energia, mas que significa transformação. E ainda, que o fato de entropia ser gerada em um processo, é que o caracteriza como irreversível, o que significa gastar energia para realizar trabalho. E então, foram debatidos os enunciados da Segunda Lei da Termodinâmica de Kelvin e de Clausius, o que cada um significa e suas implicações para situações não ideais⁸.

⁸ Algumas referências bibliográficas sugeridas para as Aulas 3 e 4 são: FERREIRA, J. P. M. Como interpretar a entropia?. **Boletim da Sociedade Portuguesa de Química**, série II, n. 96, p. 38-42, 2005.; GIANCOLI, D. C.

Aula 5: Ciclo de Carnot

Para essa última aula utilizou-se de uma apresentação em slides que serviu para mediar discussões sobre o assunto com os alunos.

Inicialmente, foram feitas algumas considerações sobre o trabalho de Carnot que está retratada na obra “Reflexões sobre a potência motriz do fogo e sobre as máquinas adequadas a desenvolver esta potência” de 1824, onde se propôs estabelecer princípios gerais para o funcionamento das máquinas térmicas, independentemente de fatores como combustível ou mecanismos de funcionamento. E foi discutida com os alunos a ideia de reversibilidade das operações da máquina, revertendo o sentido do ciclo de funcionamento da máquina, através de questões como “Quais variáveis afetam a eficiência de uma máquina térmica?” e posterior análise de um diagrama *P versus V* do Ciclo de Carnot.

Fizeram-se considerações sobre a condição de máxima eficiência de uma máquina térmica, quando não ocorre contato entre os reservatórios mantidos a diferentes temperaturas, entendimento de que quando ocorre contato caracteriza um processo não reversível e que o cálculo da eficiência mostra que a eficiência das máquinas térmicas ideais independe da substância de trabalho. Considerações essas que foram conclusões obtidas por Carnot, assim como o teorema “*nenhuma máquina térmica que opere entre duas fontes diferentes de calor pode ter rendimento superior ao de uma máquina de Carnot*”, conhecido como Teorema de Carnot e que é uma consequência direta do enunciado de Kelvin para a Segunda Lei da Termodinâmica⁹. E ao final dessa aula foi aplicada a Atividade 4.

Na sequência é realizada uma descrição sucinta das atividades didáticas desenvolvidas.

Atividade 1: O surgimento das Máquinas Térmicas e a Revolução Industrial

Essa atividade é constituída por uma lista com cinco questões de múltipla escolha sobre os assuntos relativos a Primeira Revolução Industrial e que foram abordados na Aula 1 (Apêndice A). A atividade 1 foi utilizada com o objetivo de o aluno fazer um levantamento, ou seja, retomar o que havia sido discutido em aula e, possibilitar discussões de pontos que eventualmente não ficaram explícitos.

Physics: Principles with Applications, 6 ed. Berkeley: Pearson, 2005.; HAYWOOD, D. **An introduction to Stirling-cycle machines**. University of Canterbury, Canterbury. Disponível em: <https://goo.gl/qbNQ5>.; NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de física básica**. 4 ed. São Paulo: Blucher, 2002. 2 v.

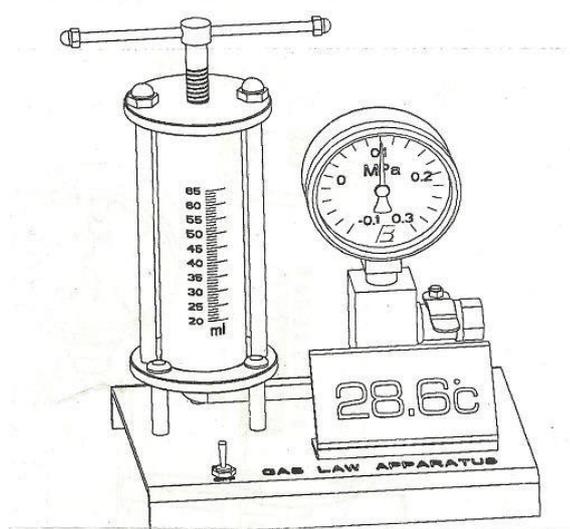
⁹ Algumas referências sugeridas para a Aula 5 são: NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de física básica**. 4 ed. São Paulo: Blucher, 2002. 2 v.; PASSOS, J. C. A importância do trabalho de Carnot para o ensino da termodinâmica. In.: **XXXI COBENGE**. Rio de Janeiro, RJ. 2003.; ZEMANSKY, M. W. **Calor e termodinâmica**. 5 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Dois S. A., 1978.

Atividade 2: Lei de Boyle

Essa atividade foi desenvolvida para o estudo da lei de Boyle para processos termodinâmicos isotérmicos através de uma atividade experimental, para isso utilizou-se um aparato experimental representado na Figura 1 e um roteiro com instruções (Apêndice B).

A escolha por uma atividade experimental, se deu com o intuito de minimizar possíveis dificuldades com relação a interpretação de diagramas *P versus V*, por parte dos alunos. Sendo assim, a Atividade 2 foi realizada com o objetivo de que os alunos construam o gráfico diagrama *P versus V* e consigam interpretar as relações entre as variáveis (P, V, T), assim como, discutir sobre as relações entre essas variáveis para o processo termodinâmico isotérmico.

Figura 2 — Aparato experimental utilizado na atividade sobre a lei de Boyle



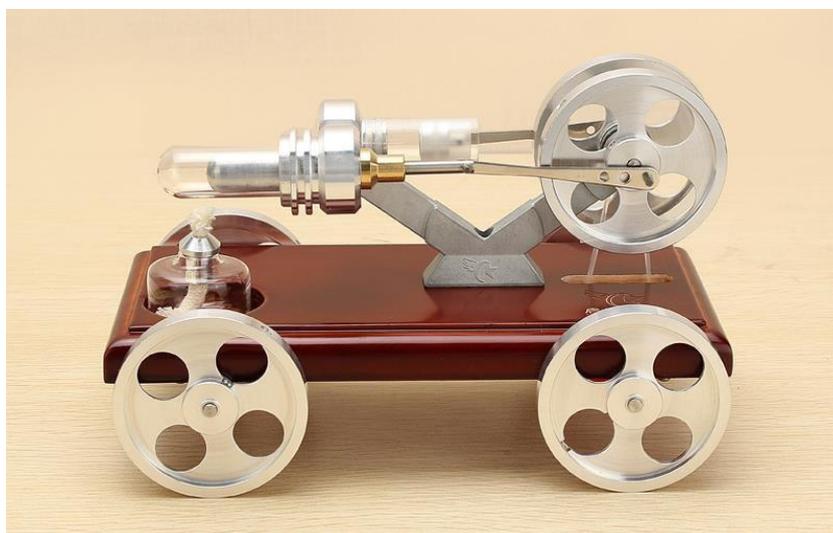
Fonte: Manual do próprio aparato experimental.

Os alunos deviam realizar a atividade em pequenos grupos e em caso de dúvidas recebiam auxílio da pesquisadora. Ao término da atividade experimental foi realizada uma breve discussão sobre os resultados e as respostas das questões do roteiro sobre como as variáveis: temperatura, energia interna, calor e trabalho se relacionam através da Primeira Lei da Termodinâmica.

Atividade 3: Máquina de Stirling

Para a atividade didática sobre máquinas térmicas propomos a utilização de uma Máquina de Stirling e um roteiro, para o qual a resolução é em lápis e papel (Apêndice C). Essa foi desenvolvida com o intuito de promover o engajamento e o estímulo dos alunos pelos conteúdos abordados em aulas e necessários à realização da atividade, utilizando uma máquina real de Stirling, em escala reduzida como a da Figura 2, que foi ao mesmo tempo objeto de estudo na atividade e desempenhou o papel de elemento motivador para o estudo do ciclo de uma idealização dessa máquina.

Figura 3 — Carrinho movido com motor Stirling utilizado na Atividade 3.



Fonte: <https://goo.gl/FfPqvM> acessado em 06/2016.

O roteiro da atividade foi dividido em duas partes para fins de resolução, sendo que a primeira refere-se às transferências de energia por processos isotérmicos, de expansão e compressão; enquanto que a segunda relaciona-se aos processos isovolumétricos e à eficiência térmica para a máquina de Stirling, em termos do calor e da temperatura.

Atividade 4: Conhecimentos Gerais Sobre a Termodinâmica

Essa atividade caracterizou-se como pré-teste e pós-teste em grupos distintos, conforme será melhor explicado no decorrer da próxima seção. Visto que, serviu como pré-teste nas turmas em que não foi aplicada a sequência de ensino e como pós-teste com as turmas em que houve a implementação da proposta de sequência de ensino. É constituída por dezesseis questões, sendo quatorze questões de múltipla escolha e duas discursivas, sobre os conteúdos de leis da termodinâmica, ciclos termodinâmicos e máquinas térmicas (Apêndice

D), e foi desenvolvida na busca por ponderar quantitativamente sobre os conhecimentos dos alunos com relação ao conteúdo de termodinâmica.

2.7. DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

A pesquisa foi desenvolvida com a participação de dois grupos de alunos do segundo semestre de cursos de graduação em Engenharia que estavam cursando a disciplina de Física Geral e Experimental II, chamados de Grupo 1 e Grupo 2. Os grupos eram formados por 93 e 74 alunos, respectivamente, Grupo 1 e Grupo 2.

O Grupo 1 correspondeu ao grupo de três turmas dos cursos de Engenharia de Produção Engenharia Sanitária e Ambiental e Engenharia Civil que cursavam a disciplina no primeiro semestre letivo do ano de 2015 (1/2015), foi realizada a intervenção com a sequência de ensino. Para esse grupo a Atividade 4 foi utilizada como pós-teste.

Enquanto que, o Grupo 2 era constituído por alunos das turmas dos cursos de Engenharia da Computação, Engenharia Química e Engenharia Mecânica e cursaram a disciplina de Física Geral e Experimental II no segundo semestre letivo do ano de 2015 (2/2015), e sobre o qual não houve interferência utilizando-se da sequência de ensino proposta no presente trabalho. A Atividade 4 foi aplicada para esse grupo antes de o professor regente da disciplina ter abordado o conteúdo de Termodinâmica, tendo caráter de pré-teste.

A aplicação de pré-teste e pós-teste em grupos distintos, não deve interferir para fazer uma análise comparativa entre os conhecimentos sobre Termodinâmica, visando verificar se houveram mudanças com relação ao tipo de resposta, em média, atribuída as questões do pós-teste compartilhadas pelo Grupo 1 e que possam ter sido influenciadas pela sequência de ensino. Visto que, ambos os Grupos 1 e 2 pertencem a um mesmo grande grupo: o grupo de alunos das Engenharias da UFSM, para os quais as disciplinas básicas não diferem grandemente, de modo que os alunos estão em um nível próximo de conhecimentos sobre o conteúdo de Termodinâmica.

2.8. OS INSTRUMENTOS DE COLETA E ANÁLISE DOS DADOS

Para o desenvolvimento da pesquisa utilizou-se como instrumento de coleta de dados todas as atividades desenvolvidas com os alunos, na qual está inclusa a Atividade 4 utilizada como pré-teste e pós-teste, já descrita, registro escrito sobre cada aula produzidos pela pesquisadora, sendo que, o registro escrito sobre cada aula foi produzido através de gravações em áudio das aulas, no qual foram anotadas, de maneira simples e sucinta, as principais

observações e reflexões sobre situações, percepções, atitudes e falas dos alunos ocorridos em sala de aula.

O pós-teste foi escolhido como instrumento avaliativo, não somente com a finalidade de determinar o conhecimento adquirido durante a sequência didática, mas também, e principalmente, com o intuito de identificar dificuldades e problemas com relação a interpretações de conceitos da termodinâmica abordados nas aulas e/ou atividades desenvolvidas. O mesmo instrumento avaliativo aplicou-se a um grupo de alunos que não havia sido trabalhado o conteúdo de termodinâmica na disciplina de Física Geral e Experimental II (FSC 1025) para os quais era possível determinar o nível de conhecimentos sobre tal conteúdo, servindo, portanto, de pré-teste para esse grupo.

Tal instrumento avaliativo foi desenvolvido sob a forma de uma lista de 16 questões, sendo 14 delas de múltipla escolha e as outras 2 discursivas, que envolviam os seguintes temas: ciclos termodinâmicos, máquinas térmicas, Primeira e Segunda Leis da Termodinâmica. Essas questões foram escolhidas a partir de uma pesquisa em exames nacionais como ENEM e ENADE, inclusive uma foi modificada do Exame Unificado de Pós-Graduações em Física, processo seletivo PEIES da UFSM e sites com bancos de questões de vestibulares de diferentes IES nacionais.

A análise das informações das Atividades 2 e 3, e das questões 5 e 14 da Atividade 4, que possuíam caráter discursivo se deu de forma qualitativa, utilizando como referencial a Análise Textual Discursiva, segundo Moraes (2003) já referida e descrita na seção de análise da bibliografia do presente capítulo. As Atividades 1 e 4, que possuíam questões de múltipla escolha, foram analisados quantitativamente por meio de uma descrição em termos das médias percentuais, com subsequente discussão dos resultados obtidos por cada grupo (no caso da Atividade 4).

As análises e discussões dos dados e resultados encontram-se nos próximos capítulos.

CAPÍTULO III

3.1. REGISTROS DE AULA

Os registros impressos de aula foram elaborados através da transcrição de gravação em áudio realizados em diversos momentos no ambiente de sala de aula. Nesses registros fomos capazes de identificar os principais comentários, dificuldades, dúvidas e comportamentos observados durante a implementação de cada aula, para cada turma.

Podemos agrupar essas informações coletadas como se segue:

Aula 1_ Turma A

Antes de iniciar a apresentação do assunto da aula, os alunos foram indagados sobre as dificuldades que tiveram no estudo da Termodinâmica e eles responderam que a leitura do capítulo 18, 19 e início do capítulo 20 do livro Fundamentos de Física de Halliday, Resnick e Walker¹⁰ não foram suficientes para a resolução das questões da lista de exercícios na sequência, do mesmo livro, e que o professor efetivo da disciplina somente deixara os nomes para eles estudarem para prova. Os alunos também disseram ter tido dificuldades na elaboração de cálculos do trabalho e energia, inclusive para máquinas térmicas, através da área sob a curva do diagrama *P versus V*, que eles chamam de “geométrica”. Outro comentário feito como resposta à pergunta foi que o conteúdo de máquinas térmicas é muito difícil de entender por ser pouco abordado no livro.

Os alunos conheciam sobre aspectos gerais sobre revolução industrial, alguns, visto que responderam bem as questões feitas sobre o assunto. Nem todos os alunos foram participativos na aula, parecendo que estavam um pouco tímidos, pois respondiam com voz pouco audível e se lhes fosse pedido para repetir muitos se recusavam, talvez criando a expectativa de que nas próximas eles participariam mais.

Mas, como primeira aula da sequência e para a primeira turma, pareceu difícil conseguir com que todos se expressassem através da linguagem científica necessária às discussões, ou que uma maioria dê uma opinião e que contribua para a discussão.

Aula 1_ Turma B

Em um primeiro momento, foi perguntado aos alunos sobre as dificuldades que eles próprios sentiram ter no estudo da Termodinâmica e uma maioria das respostas indicou que principal dificuldade esteve relacionada à interpretação das questões. Segundo eles,

¹⁰ Para a 9ª edição desse livro o capítulo 18, 19 e 20 estão intitulados e abordam sobre Temperatura, Calor e A Primeira lei da Termodinâmica; A Teoria Cinética dos Gases, Entropia e A Segunda Lei da Termodinâmica, em respectivo.

estabelecer relações a leitura da questão com a equação que deve ser utilizada surge como um dos principais problemas, porque não existe uma equação específica para cada tipo de questão, sendo que algumas vezes eram necessárias manipulações lógico-matemáticas entre as equações para utilizar as questões. O que pareceu evidenciar que os alunos estavam mais acostumados a uma rotina pedagógica em que se utilizava aptidões de memorização para resolução de questões, bem como a aplicação direta da equação seguida de substituição de valores, comumente uma sequência de passos a deveriam ser seguidos. Dessa forma, perante uma questão com relação um pouco diferente eles não sabiam como resolver através da interpretação e posteriores deduções ou manipulações algébricas para obtenção da equação a ser utilizada, como ocorre em geral com mais frequência nas disciplinas avançadas dos cursos de Física e Engenharias.

Se comparados aos da Turma A os alunos se apresentaram mais comunicativos. A maioria dos alunos participou da aula fazendo alguma colocação ou tentativa de argumentação sobre os fenômenos abordados na questão.

Ao final da aula, quando lhes foi pedido que se pronunciassem com relação a algumas colocações sobre as conclusões que conseguiram na aula, alguns alunos, começando pelos que ainda não tinham opinado na aula, levantaram pontos importantes, tais como: as consequências da implementação do sistema fabril na sociedade, principalmente com relação ao proletariado; o fato de o êxodo rural não ser algo intencional para os moradores das áreas rurais, mas, sim algo que lhes foi imposto devido as mudanças na estrutura da sociedade durante a revolução industrial; o trabalho de mulheres e crianças na indústria; o aumento da produtividade a partir da industrialização, por inserção de tecnologias nova para a época e condições sub-humanas de trabalho analisado.

Aula 1_ Turma C

Em um primeiro momento, quando perguntados sobre quais as dificuldades que estavam enfrentando com o estudo do conteúdo de termodinâmica, uma vez que o estudo desse conteúdo já estava em andamento. Eles colocaram que enfrentaram dificuldades com a resolução das questões da lista do capítulo 19 do Halliday¹¹ e que somente a leitura do capítulo não era suficiente para solucionar tais questões. E os alunos pontuaram algumas especificidades a utilização correta de diferentes equações matemáticas e na lista de problemas de Física que eles tinham por resolver, identificar quando que o trabalho (W) era positivo ou negativo.

¹¹ Para a 9ª edição desse livro o capítulo 19 está intitulado e aborda sobre A Teoria Cinética dos Gases.

Com relação à aula, foi possível observar que os alunos detinham conhecimentos sobre a Revolução Industrial e de que o surgimento das máquinas térmicas ocorrera nesse mesmo período histórico, visto que participaram da aula em alguns momentos respondendo a perguntas perante certa insistência para que colaborassem e justificando que a participação dos mesmos era de grande importância. Os alunos dessa turma não se mostraram muito receptivos a discussões sobre o conteúdo da aula.

Aula 2_ Turma A

Para essa aula foi realizada uma breve retomada do assunto abordado na aula anterior para a partir disso dar seguimento ao assunto da presente aula. Continuou sendo reduzido o número de participações dos alunos na aula, uma das poucas perguntas feitas pelos alunos estava relacionada a estrutura da máquina térmica de Watt, para a qual haveria duas entradas de vapor da caldeira, para responder foi realizada uma explicação detalhada sobre o sistema de válvulas da máquina através da figura apresentada em projeção multimídia.

Após a entrega do roteiro para realização da Atividade 2 a primeira pergunta que surgiu foi com relação a necessidade de entrega de um relatório, o que demonstra que os alunos dessa turma já estiveram em contato com alguma de atividade experimental em ambiente universitário, provavelmente em disciplina específica de laboratório básico na graduação.

Durante a realização do experimento foi observado para cada um dos grupos, enquanto coletavam os dados, que as unidades de medida das variáveis mensuradas pressão (P), volume (V) e temperatura (T) eram, respectivamente, *MPa*, *mL* e $^{\circ}\text{C}$. Mesmo assim houveram muitas dúvidas com relação à leitura dos valores de pressão no barômetro analógico e algumas com relação a construção do gráfico de *P versus V*, questionaram quanto ao comportamento da curva no gráfico.

Aula 2_ Turma B

Foi feita uma breve retomada do assunto abordado na última aula a qual deu seguimento a segunda aula planejada com o tema Máquinas de Watt e Newcomen. A maioria dos alunos ou participou ativamente da aula ou fez alguma colocação e se mostraram motivados e dispostos para a realização da Atividade 2.

Um momento interessante da aula e que demonstrou o envolvimento dos alunos da turma na discussão ocorreu durante a explicação sobre a identificação, por Watt, do baixo rendimento da máquina térmica de Newcomen em tamanho reduzido, em que os alunos participavam e chegaram ao problema antes de os questionamentos de Watt “Porque a

discrepância no desempenho da máquina real e da máquina em escala reduzida?” e “E se esse fator de aquecimento e resfriamento do cilindro metálico também fosse importante para a máquina de tamanho real?” terem sido mencionados em aula. A pergunta de uma aluna “*Mas, na de tamanho real não acontecia isso, por quê?*” foi respondida com outra “E será que não acontecia?” e deu-se sequência à discussão.

As dúvidas ocorridas durante a realização do experimento e organização das respostas foram semelhantes com as da Turma A.

Aula 2_ Turma C

Nessa aula observou-se que os alunos não estavam muito dispostos ou motivados a participar das discussões e da atividade. Uma vez que pediram se poderiam fazer as medições todos juntos para terminar mais rápido com o intuito de sair mais cedo. Na sequência, no início da formação dos grupos foram-lhes explicados os objetivos da atividade, mantendo um número médio de cinco alunos por grupo.

Esse tipo de atitude, de recusa a participação de atividade por falta de interesse, pode ser interpretada como um comportamento que não cabe a alunos que escolheram um curso como forma para adquirir a profissão desejada, pois não é valorizado no âmbito do grupo social do sistema universitário, não constituindo um tipo de atitude que componha um *habitus* desse grupo social.

Durante a resolução da Atividade 2 os alunos pediram auxílio em diferentes momentos: na leitura das primeiras medidas de pressão no barômetro, para a distribuição dos pontos no gráfico, como que deveria ficar a curva. E por tratar-se de um número menor de alunos, ficou mais fácil de instruir aos alunos dos grupos sobre a organização dos dados em tabelas, o que deveria conter o gráfico, como a identificação de cada eixo, como deveria ficar a curva da isoterma, entre outros detalhes.

Ao final da aula, foi perguntado aos alunos sobre quais dos conteúdos trabalhados na disciplina, precisariam ter maior entendimento ou domínio, como futuros profissionais, sendo obtido como resposta em consenso que seria o conteúdo de fluídos. E por consequência, esse seria, provavelmente, o conteúdo de maior interesse para os alunos.

A leitura dos valores de pressão no barômetro analógico gerou muitas dúvidas principalmente com as primeiras medidas de pressão. A leitura dos valores no barômetro, que está intimamente relacionada à habilidade de leitura das horas em relógio analógico foi realizada com insegurança pelos alunos.

Aula 3_ Turma A

Em determinado momento da aula, quando lhes foi questionado sobre como eles definiam trabalho e calor, as respostas obtidas dos alunos para o conceito de trabalho foram: “*variação de volume*”, “*é um tipo de energia*”, “*força com relação ao deslocamento*”, “*é troca de energia*”, e com relação ao calor “*é energia em movimento*” e “*energia térmica*”.

E durante a atividade sobre a Máquina de Stirling as dificuldades estiveram relacionadas a identificação das funções das partes constituintes da máquina, a como construir um diagrama P versus V sem valores numéricos, identificação das variáveis que se mantinham constantes em cada processo em termos da Primeira Lei da Termodinâmica, como proceder com os cálculos para a quantidade de calor para cada processo, para a representação da máquina no item 4 da parte 1 atividade 3, onde ficava o regenerador, as fontes e a temperatura para cada uma delas. E também, identificou-se uma insegurança por parte dos alunos, como quando, pediram para que fosse feito um exemplo no quadro para o esquema do item 1 da parte 1 da atividade 3, sendo que era algo pessoal, ou quando pediam para verificar se o que tinham feito estava correto, tanto para os cálculos quanto para os esquemas. Isso provavelmente ocorreu porque os alunos não costumavam realizar atividades do tipo da Atividade 3.

Aula 3_ Turma B

No decorrer da aula, durante a discussão sobre expansão e compressão isotérmicas foi possível ouvir em uma das colaborações dos alunos “[...] *calor vai fluir para o dentro do sistema [...]*” ou que “*que o sistema vai dar calor [...]*”, que não é a linguagem mais adequada para se referir a calor. E quando questionados sobre como definiam calor e trabalho, dentro das suas reflexões sobre o assunto, recebeu-se como resposta que calor era “*diferença de temperatura*” e que trabalho era “*energia em movimento*”, ou ainda que “*que calor e trabalho eram coisas diferentes*” e que “*a variação do ΔU se relaciona com energia e trabalho*”. Pelas discussões registradas, os alunos foram capazes de identificar que parte considerável identifica que trabalho está associado a variação de volume e calor a diferença de temperatura, e que a diferença de temperatura é condição para o funcionamento de uma máquina térmica.

Quanto às dificuldades para a realização da parte 1 da Atividade 3 que foram mais comumente detectadas entre os alunos diziam respeito ao fato de que não haviam valores numéricos para distribuição dos pontos e construção da curva isoterma no diagrama P versus V , com relação a identificação das isotermas de maior e de menor temperatura, quando que o trabalho era positivo e quando era negativo para as etapas de expansão e compressão

isotérmicas, identificação das partes da estrutura da máquina e a utilização da Primeira Lei da Termodinâmica para cada uma das etapas.

Aula 3_ Turma C

No decorrer dessa aula quando perguntados sobre suas definições sobre trabalho e sobre calor foram obtidas como respostas: “*Trabalho é movimento organizado dos átomos*”, “[...] *é energia ordenada e desordenada*”, ou ainda, “[...] *é quando se tem partículas ordenadas e desordenadas. Trabalho tem relação com força e calor é um processo.*”, sendo que essa última foi aplaudida pelos demais alunos, o que demonstra que eles consideram essa uma boa resposta, concordando com o posicionamento desse colega. O que pode indicar que os alunos não conseguiam distinguir entre as interpretações microscópicas e macroscópicas desses conceitos da termodinâmica. Esse posicionamento errôneo não impedia alguns alunos de estabelecer relações de forma correta entre as variáveis quantidade de calor e quantidade de trabalho para a Primeira Lei da Termodinâmica.

As questões de impasse na interpretação conceitual das máquinas térmicas que surgiram entre os alunos durante a realização da primeira parte da Atividade 3 estavam relacionadas a identificação de quais eram variáveis em cada um dos processos do ciclo, como desenhar os esquemas para cada etapa do ciclo, a identificação da entrada e saída de calor do sistema, ao estabelecimento das relações entre as variáveis para o cálculo da quantidade de calor em cada processo termodinâmico. Algumas dessas já eram esperadas, pois também haviam sido identificadas entre os alunos das outras turmas.

Os alunos dessa turma não colaboravam tanto com as discussões, muitas vezes se omitiam de participar e outras induziam um ambiente de pouca seriedade. Sendo que em alguns momentos nessa aula foram necessárias explicações de porquê não reproduzir do colega o mesmo esquema para o item 1 da Atividade 3, e de porquê apesar de “ser mais fácil se tivesse sido passado o conteúdo no quadro”, nas palavras dos alunos, trabalhou-se o conteúdo através de uma atividade. Atitudes como essas em que os próprios alunos fomentam a passividade e a acomodação perante a aula podem evidenciar imaturidade acadêmica, não esperadas entre os alunos do ensino superior que optaram por esta formação profissional.

Os itens da parte 1 da Atividade 3 que solicitava dos alunos representações foram bastante trabalhosos no sentido de auxiliar os alunos na observação de quais pontos são essenciais para a construção das representações como a identificação das fontes quente e fria, visto que normalmente, essas representações já são encontradas prontas nos livros textos. No

entanto, durante esses itens os alunos estavam construindo uma interpretação a partir de como entenderam e perceberam a máquina e, tal processo é mais complexo que a leitura interpretativa do mesmo esquema em um livro, uma vez que, exigem dos alunos a utilização de diferentes conhecimentos, inclusive, sobre cada etapa realizada no ciclo de funcionamento da máquina. Dessa forma, era natural que emergissem dúvidas entre os alunos que deveriam ser esclarecidas durante a sequência das nossas atividades de pesquisa.

Aula 4_ Turma A

Dentre as dificuldades encontradas pelos alunos durante a resolução da parte 2 da Atividade 3, as que mais se repetiram entre eles estavam relacionadas à identificação das quantidades de calor que entrava e que saía do sistema, a como proceder para obter a expressão da eficiência somente em função da variável temperatura (T) e com relação ao sinal positivo ou negativo das relações entre os logaritmos para a divisão entre as expressões do trabalho (W) e do calor (Q). Entre os alunos aconteceu de não haverem feito distinção as temperaturas das fontes, identificando-as apenas como T, o que não os possibilitava encontrar a expressão da eficiência conforme o item 1 da parte 2 da atividade 3.

Os alunos dessa turma identificaram a grandeza entropia como aquela que se mantinha constante durante o ciclo de funcionamento da máquina de Stirling ideal e quando questionados sobre a definição que tinham para essa grandeza alguns alunos responderam da seguinte forma: “[...] *a tendência de entrar em desordem*”, “*caos*”, “[...] *é algo que não pode voltar*”, “[...] *a tendência natural de entrar em desordem*”.

Aula 4_ Turma B

Como nessa aula deu-se continuidade a Atividade 3, as dificuldades e dúvidas dos alunos estavam relacionadas à resolução da mesma. Sendo que algumas dúvidas estavam relacionadas à insegurança como se era mesmo uma substituição que deveria ser feita para resolução dos itens da parte 2. As dificuldades estavam relacionadas a identificação das quantidades de calor que entrava e que saía do sistema e com relação ao procedimento a ser seguido para obtenção da eficiência somente em função da temperatura. Essas dificuldades geraram discussões entre os grupos de alunos sobre os resultados que deveriam ser obtidos, se estavam ou não procedendo da forma correta.

Como as dificuldades desse mesmo tipo também foram identificadas entre os alunos das outras turmas, conforme já era esperado que somente aparecessem quando os próprios alunos tivessem desenvolvendo as deduções das expressões para obter a eficiência térmica. De modo que, para todas as turmas foi necessária uma explicação sobre o porquê e quais eram

as quantidades de calor que entravam e saíam do sistema nos processos isotérmicos a cada ciclo, bem como o que acontecia com as outras quantidades de calor que eram mantidas internas ao sistema.

Durante a discussão sobre o rendimento das máquinas térmicas a partir da expressão matemática obtida na atividade um aluno referiu-se que também acontecia com a máquina de Carnot “*porque era ideal*”, o que foi aproveitado para a continuidade da discussão.

Os alunos dessa turma não tinham definições precisas e claras sobre a grandeza entropia, de modo que não fizeram menção a essa grandeza para responder a pergunta da parte 2 da atividade.

Aula 4_ Turma C

Nessa aula os alunos finalizaram a parte 1 e solucionaram a parte 2 da Atividade 3, e no andamento da resolução surgiram algumas dúvidas entre os alunos sobre como calcular a eficiência térmica sem valores numéricos, como realizar ao cálculo integral para obtenção da expressão para trabalho (W) envolvido no ciclo e quando que o sinal dessa variável era positivo ou negativo. De modo que foi realizada revisão de como variava o trabalho durante processos isotérmicos em expansão e compressão, e dos passos que deveriam ser seguidos para obtenção da expressão do trabalho (W).

Na sequência realizou-se uma argumentação sobre as máquinas ideais e reais e sobre o que as caracterizam como reversíveis ou irreversíveis. Nessa etapa da aula, questionou-se aos alunos sobre qual era a grandeza que se mantinha constante no ciclo, obtendo como resposta: energia interna, “*energia interna no tempo*”, energia e entropia, então, foi perguntado como eles definiam entropia, a resposta obtida foi “*energia desordenada*”. A partir, se fez uma argumentação o conceito de entropia definido por Clausius, sobre a Segunda Lei da Termodinâmica a partir das máquinas térmicas reversíveis ou irreversíveis e dos enunciados de Clausius e Kelvin-Planck.

Aula 5_ Turma A

Esta aula foi dividida em dois momentos, no primeiro foi trabalhado o conteúdo de máquina e ciclo de Carnot e posteriormente aplicou-se a Atividade 4 (Pós-teste). A princípio questionou-se aos alunos já haviam estudado ou lido sobre a Máquina de Carnot, a resposta foi afirmativa e muitos alunos complementaram com alguns conhecimentos que possuíam sobre tal máquina como que “*A máquina de Carnot tem o máximo rendimento possível*” ou ainda “[...] *tem adiabáticas e isotermas*”. A partir dessas respostas desenvolveu-se o conteúdo da máquina e ciclo de Carnot e, quando foi apresentada a expressão da eficiência térmica

dessa máquina perguntou-se aos alunos sobre o resultado por eles para a eficiência térmica da máquina de Stirling, como o intuito de perceberem que a eficiência térmica das máquinas era idêntica, e então, discutiu-se esse resultado a partir do Teorema de Carnot.

Aula 5_ Turma B

Quando perguntados sobre a máquina de Carnot alguns alunos dessa turma responderam que era uma máquina com rendimento de 100% e um aluno se posicionou de forma mais contundente com a definição dizendo que “*Uma máquina térmica operando em ciclos jamais conseguirá atingir eficiência maior que 100%, e a máquina de Carnot é a que tem rendimento maior.*”. Foi dado seguimento e a aula a partir dessas respostas e turma se mostrou participativa como nas demais aulas, sem que fossem identificadas maiores dúvidas ou dificuldades.

Aula 5_ Turma C

Com essa turma, as respostas dos alunos a pergunta sobre o que conheciam sobre a máquina de Carnot foram semelhantes as respostas obtidas com alunos das outras turmas, fazendo referência a máquina de Carnot como aquela que possui maior rendimento, ou aquela que possui rendimento de 100%.

No decorrer dos trabalhos percebemos ser comum entre os alunos, compartilhar da opinião de que a Máquina ideal de Carnot é *aquela* que possui o máximo rendimento possível, ou rendimento de 100% como sendo a única, conforme foi evidenciado com os alunos dessas turmas. Sendo que, outras máquinas térmicas ideais, que operem entre as mesmas duas isotermas que uma máquina de Carnot, podem ter a mesma eficiência térmica que o ciclo de Carnot, tendo, como exemplo, a máquina de Stirling. Por isso, o estudo dessa máquina foi abordado nas aulas 3 e 4, e retomada na aula 5.

Sendo que, a equação da eficiência térmica $\eta = 1 - T_2/T_1$, em que T_2 e T_1 são temperaturas absolutas das fontes quentes e fria, respectivamente o máximo rendimento de uma máquina térmica operando entre elas corresponde ao rendimento de uma máquina de Carnot, dada pela equação acima. Assim, a eficiência de uma máquina térmica somente atingiria 100% se a temperatura da fonte fria correspondesse a temperatura zero absoluto ($T_2 = 0$). Devido ao fato que não é possível para qualquer série finita de processos atingir a temperatura zero absoluto, de acordo com a Terceira Lei da Termodinâmica, de modo que é impossível existir uma máquina térmica com eficiência de 100%.

Dentre os resultados obtidos através dos registros de aula está a identificação que dentre os alunos das três turmas não há um consenso claro sobre a definição conceitual da

natureza do calor e, apesar, de a definição sobre a natureza do trabalho mecânico ser menos problemática, uma vez que os alunos apresentavam respostas em que relacionavam com os conceitos de força e de deslocamento, oriundos da Mecânica Clássica. A grande maioria dos alunos das turmas em que ocorreu a implementação da sequência de ensino não apresentaram a definição de calor e de trabalho como processos de troca de energia e nem como sendo esses processos semelhantes. Isso demonstra que a definição para os conceitos de calor e de trabalho compartilhada entre os alunos pesquisados não estava, completamente, consolidada de acordo com as definições convencionadas atualmente no meio acadêmico.

3.2. ATIVIDADE 1: REVOLUÇÃO INDUSTRIAL

A Atividade 1 (Apêndice A) consistiu em uma lista com cinco questões de múltipla escolha sobre os assuntos abordados no decorrer da aula, sendo que tais questões buscadas em provas de vestibulares, Enem, Enade história e bancos de questões em sites da internet. Das quais a Questão 1 é oriunda do Enade história do ano de 2008, a Questão 2 e 3 tem origem do Enem dos anos de 2009 e de 2010 respectivamente¹², e as Questões 3 e 5 tem origem de sites da internet com banco de questões sobre história¹³. Essa foi desenvolvida como um exercício para o final da aula, sem caráter avaliativo, com o intuito de consolidar os assuntos abordados em aula sobre alguns aspectos da importância da Revolução Industrial na formação de relações de trabalho e sociedade.

Considerando que 96,34% dos alunos acertaram entre três e cinco questões, desses 43,04% acertaram 4 ou 5 questões, o que pode indicar que os alunos estão familiarizados com o assunto Revolução Industrial, com elementos de análise adequados à condução dos estudos em semestres iniciais dos cursos de engenharia.

3.3. ATIVIDADE 2: LEI DE BOYLE

A Atividade 2 (Apêndice B) consistiu em uma atividade experimental que tinha por intuito que os alunos conseguissem melhorar a sua compreensão sobre transformações isotérmicas através da visualização no experimento, das relações entre pressão (P) e volume (V) em um cilindro para valores de temperatura com variações muito pequenas, que pudessem

¹² <https://goo.gl/toLKWE> acessado em 05/2015.

¹³ Questão 3—Fonte: <https://goo.gl/1433ML> acessado em 05/2015; Questão 5—Fonte: (UFF 2009) disponível em: <https://goo.gl/YySEdO> acessado em 05/2015.

ser desconsideradas para obtenção das isotermas em diagrama *P versus V*, uma vez que, os alunos deveriam construir esse diagrama com dados obtidos através do aparato experimental.

Desta forma, a partir da análise das respostas dos alunos para cada um dos itens da atividade foi possível identificar e categorizar algumas dificuldades dos mesmos com relação as habilidades de coleta de medidas e organização de dados através do aparato experimental e de construção de gráficos dessas medidas. Para a análise qualitativa das respostas dos alunos para os itens da atividade utilizou-se o método da Análise Textual Discursiva (MORAES, 2003), e a partir do método indutivo, foi possível categorizar as respostas da seguinte forma:

1. Organização dos dados de P, V e T

1.1. Utilização de tabelas: Nessa categoria encontram-se as respostas dos alunos que organizaram os dados em tabelas com identificação das variáveis P, V, T em colunas **com** e **sem** identificação das unidades de medida utilizadas na coleta dos dados para cada variável, como pode ser observado na Figura 3 abaixo.

Figura 4 — Exemplo de resposta que mostra a organização dos dados em tabela.

V (mL)	P (N/cm ²)	T °C
65	0	16,7 °C
60	0,5	16,9 °C
55	1,2	16,9 °C
45	3,7	17 °C
40	5,8	16,9 °C
35	7,9	16,9 °C
30	11	17,1 °C
25	15,8	17,0 °C
20	23	17,0 °C

Fonte: Dados coletados pela autora.

1.2. Organização por medidas: Nessa categoria foram enquadradas as respostas dos alunos que organizaram seus dados por cada medida, conforme é possível visualizar na Figura 4 a seguir, de modo que cada medida contém as variáveis P, V, e T, **com** e **sem** identificação das unidades de medida.

Figura 5 — Exemplo de: resposta de aluno que organizou os dados por medida.

$P_0 = 0 \text{ N/cm}^2$	$P_0 = 0,5$	$P_0 = 1,25 1,25$	$P_0 = 2,00$	$P_0 = 3,5$
$T_i = 22,7^\circ\text{C}$	$T_i = 22,8^\circ\text{C}$	$T_i = 22,8 22,8^\circ\text{C}$	$T_i = 22,8^\circ\text{C}$	$T_i = 22,9^\circ\text{C}$
$V_0 = 65 \text{ ml}$	$V_0 = 60 \text{ ml}$	$V_0 = 55 \text{ ml}$	$V_0 = 50 \text{ ml}$	$V_0 = 45 \text{ ml}$
$P_0 = 5,5$	$P_0 = 8,0$	$P_0 = 11$	$P_0 = 16$	$P_0 = 23,8$
$T_i = 23,0^\circ\text{C}$	$T_i = 23,1 23,1^\circ\text{C}$	$T_i = 23,1^\circ\text{C}$	$T_i = 23,2^\circ\text{C}$	$T_i = 23,3^\circ\text{C}$
$V_0 = 40 \text{ ml}$	$V_0 = 35 \text{ ml}$	$V_0 = 30 \text{ ml}$	$V_0 = 25 \text{ ml}$	$V_0 = 20 \text{ ml}$

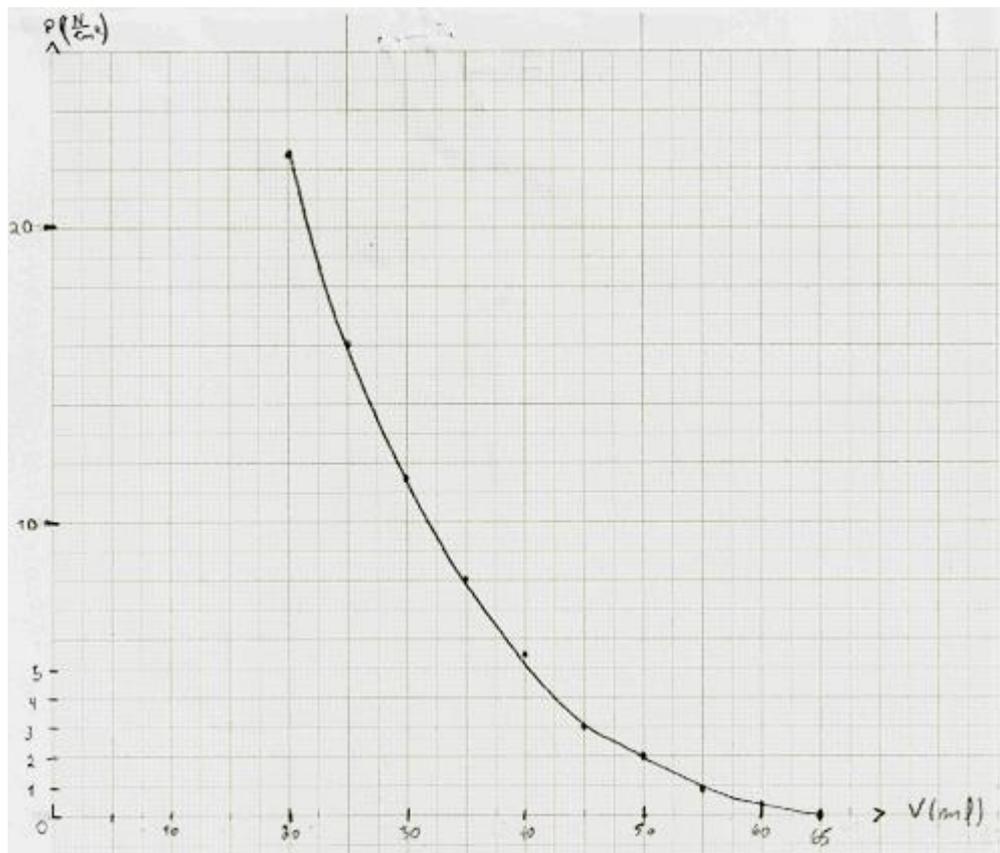
Fonte: Dados coletados pela autora.

2. Construção do gráfico de P versus V

As categorias foram construídas com relação a identificação das variáveis (P, V) e das unidades de medida dessas variáveis para os eixos desse gráfico:

2.1. Identificação de ambas as variáveis e unidades de medidas para cada um dos eixos: As respostas pertencentes a essa categoria seriam as mais completas em termos da identificação dos gráficos, conforme pode-se visualizar na Figura 5 a seguir.

Figura 6 — Exemplo de: resposta de aluna que identificou ambas as variáveis para os eixos.



Fonte: Dados coletados pela autora.

2.2. Identificação apenas das variáveis para cada eixo: As respostas pertencentes a essa categoria, podem ser consideradas incompletas por não identificar as unidades de medidas para as variáveis de cada eixo.

2.3. Sem identificação nos eixos: Nessa categoria contam as respostas dos alunos que não identificaram nenhum ou apenas um dos eixos, de modo que para o leitor do gráfico não é possível, somente com o desenho da curva, identificar do que se trata.

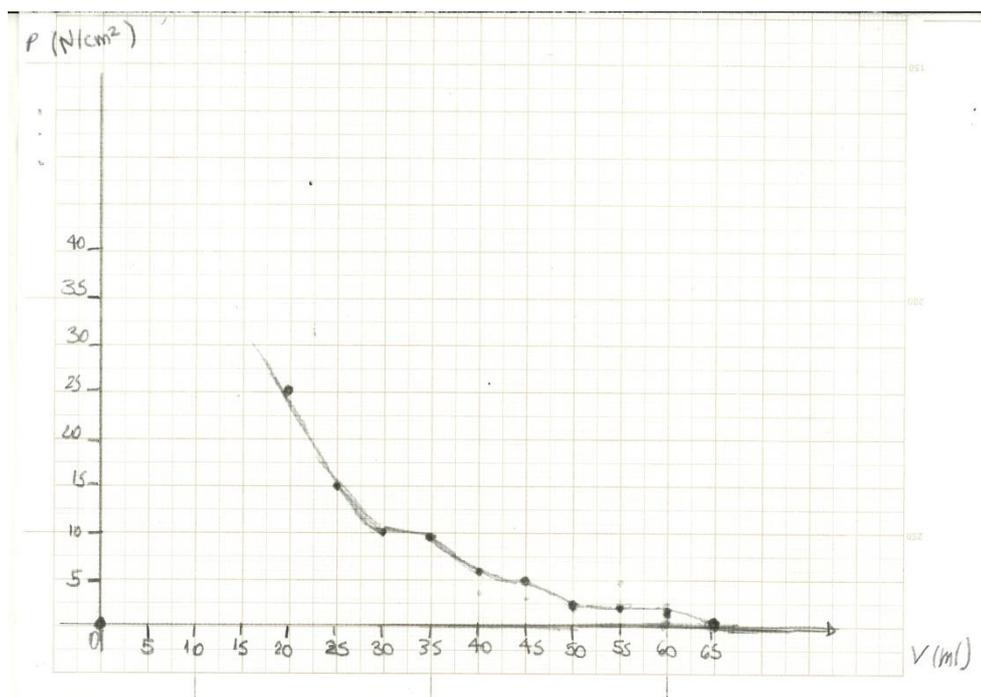
Outras categorias foram construídas com relação traçado da curva do gráfico:

2.4. Curva a partir das médias entre os pontos: Nessa categoria constam os gráficos cujas curvas foram traçadas a partir de uma média entre os pontos, exemplo idem a Figura 5.

2.5. Curva através de segmentos entre os pontos: Os gráficos que pertencem a essa categoria são aqueles em que ocorreu de os alunos ligarem os pontos por

segmentos de reta em sequência, não sendo possível dizer que tratar-se de uma curva, como é possível verificar na Figura 6 a seguir.

Figura 7 — Exemplo de resposta de aluno que traçou a curva através de segmentos entre os pontos.



Fonte: Dados coletados pela autora.

De modo geral, pode-se identificar a partir da análise das respostas para a Atividade 2 e durante a segunda aula para as três turmas, que ainda não havia ocorrido uma padronização na organização dos dados e na construção dos diagramas P versus V . O que demonstra que ainda não tinha sucedido a apropriação do *habitus* para organização de tabelas e gráficos, por parte da maioria dos alunos dessas turmas, no intuito de relatar e interpretar resultados experimentais sobre máquina simples e Termodinâmica.

3.4. ATIVIDADE 3: MÁQUINA DE STIRLING

A Atividade 3 (Apêndice C), era composta por duas partes para fins de resolução, sendo que na primeira parte eram trabalhadas a transferências de energia para processos isotérmicos e isovolumétricos de expansão e compressão do ciclo de funcionamento da

Máquina de Stirling ideal. Enquanto que, na segunda parte da atividade abordava-se a eficiência térmica para esta máquina em termos do calor e da temperatura, e a partir disso a demonstração da relação Q/T para abordar a variável S .

Essa atividade foi desenvolvida com o propósito de que a sua resolução exigisse dos alunos diferentes habilidades, tais como: representação gráfica de objetos; manipulação de equações matemáticas para estabelecimento de relações entre grandezas; representações de variáveis em diagrama P versus V ; interpretação das relações entre as variáveis P, V, T e as variáveis $\Delta Q, U$ e W envolvidas em cada etapa do ciclo Stirling, pela análise de um brinquedo movido por uma máquina dessa categoria.

Para esta atividade não foram criadas categorias de análise qualitativa com relação às dificuldades encontradas para resolução de cada item da mesma, visto que foi necessária grande interferência durante o processo de resolução das questões por parte da pesquisadora, devido a necessidade de esclarecimento de dúvidas e dificuldades, conforme já mencionadas nos registros das aulas 3 e 4, para que houvesse continuidade no processo de aprendizagem das habilidades.

Dessa forma, as respostas obtidas foram muito semelhantes sendo somente possível identificar os objetivos alcançados pelos alunos. Dos quais para a parte 1 da atividade os alunos conseguiram no item 1 se expressar através de esquemas ou desenhos; no item 2 conseguiram representar diagrama P versus V , identificar o sistema do ciclo de Stirling, identificar cada etapa a partir da numeração e/ou nomeação dos processos termodinâmicos e das variáveis (P, V, T); no item 3 utilizaram a expressão matemática da Primeira Lei da Termodinâmica para estabelecer relações entre as variáveis (Q, U, W) para cada um dos processos termodinâmicos; no item 4 expressaram-se através de esquemas para cada uma das etapas descritas no roteiro, identificando quando que o ar está em contato com cada uma das fontes e quando trabalho está sendo realizado sobre ou pelo sistema; no item 5 calcularam a quantidade de calor para cada uma das etapas do ciclo, identificando qual grandeza se mantém constante e deduzindo as expressões de Q para cada parte do ciclo.

Na parte 2 da atividade os alunos conseguiram no item 1 desenvolver as relações algébricas e obter a expressão da eficiência térmica em termos das temperaturas das fontes quentes e frias. No item 2 obtiveram a relação Q/T para o ciclo; no item 3 concluíram que a grandeza que se conservava era a entropia, alguns mencionaram também a energia, outros se abstiveram de responder.

3.5. ATIVIDADE 4 — PÓS-TESTE/PRÉ-TESTE

O instrumento avaliativo denominado Atividade 4 (Apêndice D) serviu como pós-teste para o qual participaram 93 alunos do Grupo 1, e como pré-teste para o qual participaram 72 alunos do Grupo 2. Para ambos os grupos essa atividade foi realizada individualmente pelos alunos e sem consultas a quaisquer materiais.

Para a questão 1 dessa atividade¹⁴ os alunos deviam identificar que o trecho $b \rightarrow c$ o gás realiza uma expansão adiabática e que, portanto, trocas de energia por calor não ocorriam, e o sistema realiza sobre o meio externo trabalho. Se esse trabalho for 60 J, pela Primeira Lei da Termodinâmica é possível concluir que ocorre uma diminuição de 60 J da energia interna do gás, o que corresponde a resposta (e).

Com relação aos alunos do Grupo 1, 68 alunos (73, 12%) marcaram como resposta correta uma das opções (e) ou (d), sendo que, ambas as opções identificam que o processo no trecho $b \rightarrow c$ não troca calor. E desses, 49 alunos (52,69%) optaram pela resposta (e).

Os alunos do Grupo 2 tiveram um espectro maior de respostas, sendo que 20 alunos (27,77%) marcaram como correta a opção (a) e o mesmo percentual de alunos marcou a resposta (c), ambas não consideravam que no trecho $b \rightarrow c$ ocorria um processo adiabático. Enquanto que, 24 alunos (33,33%) optaram pela resposta (e).

A questão 2 demandava dos alunos conhecimentos sobre como se relacionam as variáveis pressão, volume e temperatura (P , V , T) para um gás ideal¹⁵, que se dá através da equação de Clapeyron, para que dessa forma, pudessem responder que a volume constante um aumento de temperatura ocasiona um aumento diretamente proporcional de pressão, tornando a alternativa (d) a opção correta.

Os alunos do Grupo 1, em sua maioria, 57 alunos (61,29%), consideraram como correta a resposta (d), e esse julgamento foi comum a 40 alunos (55,55%) do Grupo 2. No entanto, 23 alunos (24,73%) do Grupo 1 e 22 alunos (30,55%) do Grupo 2 julgaram como correta a opção (a).

Na questão 3 da atividade¹⁶ requereu-se aos alunos, novamente, as relações entre as variáveis pressão, volume e temperatura através de um gráfico de P versus T , para o caso em que um gás, contido em um cilindro com êmbolo móvel, era aquecido. Assim, se o êmbolo

¹⁴ Fonte: (UFC-CE) <https://goo.gl/sjkBzK> acessado em 30/05/2015.

¹⁵ Fonte: (UFPE) <https://goo.gl/SQyd45> acessado em 05/2015.

¹⁶ Fonte: (UFMG) <https://goo.gl/SQyd45> acessado em 05/2015.

era móvel, a pressão do gás se manteria constante, e o gráfico que mostra P constante corresponde a opção (a).

40,86% dos alunos do Grupo 1 optaram por marcar a resposta (a), mas as respostas (b) e (c) também tiveram um número significativo de marcações, 21,50% e 30,10%, respectivamente.

No Grupo 2 um número semelhante de alunos optou pelas respostas (a), (b) ou (c), conforme a ordem, 22 (30,55%), 25 (34,72%), 23 (31,94%) da amostra de alunos.

A questão 4 mostrava duas isotermas em um gráfico¹⁷ e requeria que os alunos interpretassem que as isotermas, em um diagrama P versus V , estarão mais distantes da origem quanto maior for a temperatura, porque pelo que se observa, está relacionado a maiores valores de pressão e volume, e a opção (a) que estava de acordo com essa resposta.

A maioria dos alunos do Grupo 1, 76,34%, considerou a opção (a) como correta, do mesmo modo que 42 alunos (58,33%) do Grupo 2. Com a diferença que no Grupo 2 também houve um número significativo de alunos, 31,94%, que optou pela resposta (b).

A questão 5 correspondia a um diagrama S versus T incompleto para o ciclo de Carnot¹⁸ com a identificação, no enunciado, de que a primeira etapa correspondia a uma expansão isotérmica em T_2 e, os alunos deveriam completar esse diagrama com a identificação das etapas e do sentido do ciclo. Sendo que o diagrama mostra o ciclo de Carnot que consiste em quatro etapas, duas isotérmicas e duas adiabáticas, e o aluno poderia considerar que a etapa A representa uma expansão isotérmica à temperatura T_2 , então, a etapa B representaria uma expansão adiabática de T_2 para T_1 , a etapa C uma compressão isotérmica, em T_1 e a etapa D representaria uma compressão adiabática de T_1 para T_2 . Considerando que volume e entropia podem ser relacionados pela expressão $\Delta S = R \cdot \ln(V_2/V_3)$ em um processo isotérmico.

Por tratar-se de uma questão discursiva as respostas dos alunos foram analisadas qualitativamente pelo método da Análise Textual Discursiva (MORAES, 2003). Desta forma, após a etapa de desmontagem e análise das respostas dos alunos à questão 5, a partir do método indutivo, fui capaz de classificar as respostas nas seguintes categorias:

¹⁷ Fonte: (Mackenzie) <https://goo.gl/pwbjpk> acessado em 05/2015.

¹⁸ Fonte: The Physical Chemistry Problem Solvers, p.141, **Problema 3_2**.

1. Apenas atribuíram sentido ao ciclo no diagrama

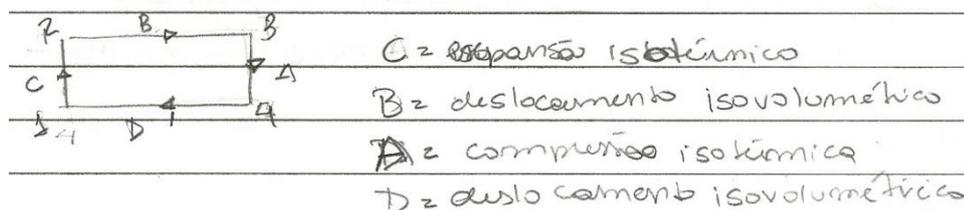
Nessa categoria, incluíram-se as respostas dos alunos que atribuíram sentido de alguma forma como com desenhos de flechas. Sendo que foram identificadas respostas que atribuíram sentido anti-horário, bem como sentido horário.

Dos alunos do Grupo 1, 26,88% compartilharam de respostas pertencentes a esta categoria, enquanto que, do Grupo 2 foram 30 alunos (41,66%).

2. Identificaram as isotermas e atribuíram sentido ao ciclo no diagrama

A essa categoria correspondem as respostas em que as isotermas foram identificadas, bem como se ocorriam em expansão ou compressão e que sentido foi atribuído ao ciclo. A maioria das respostas considerava o trecho A do diagrama como uma expansão isotérmica e atribuíam sentido anti-horário ao ciclo. Ocorreu que algumas respostas identificavam erroneamente os processos do trecho B e D, como isovolumétrico, isobárico ou que não identificavam esses trechos. Um exemplo desse tipo de resposta segue abaixo na Figura 7:

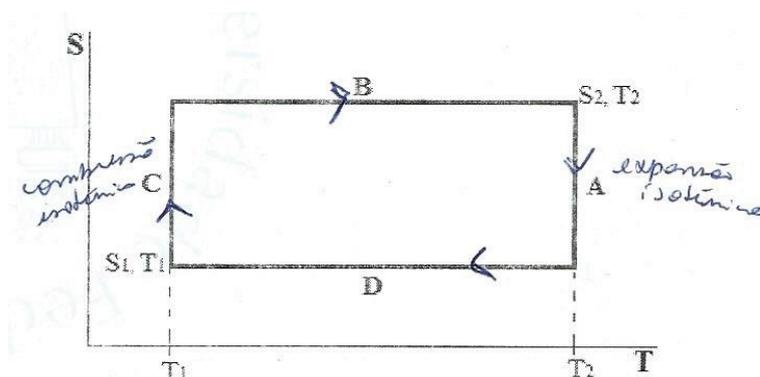
Figura 8 — Exemplo de resposta de uma aluna do Grupo 1.



Fonte: Dados coletados pela autora.

Outras respostas traziam a identificação das isotermas, mas que atribuíram sentido errado ao ciclo de acordo com a escolha por um processo em expansão ou compressão ao trecho A do diagrama, como no caso do exemplo a seguir Figura 8.

Figura 9 — Exemplo de resposta um aluno do Grupo 1.



Fonte: Dados coletados pela autora.

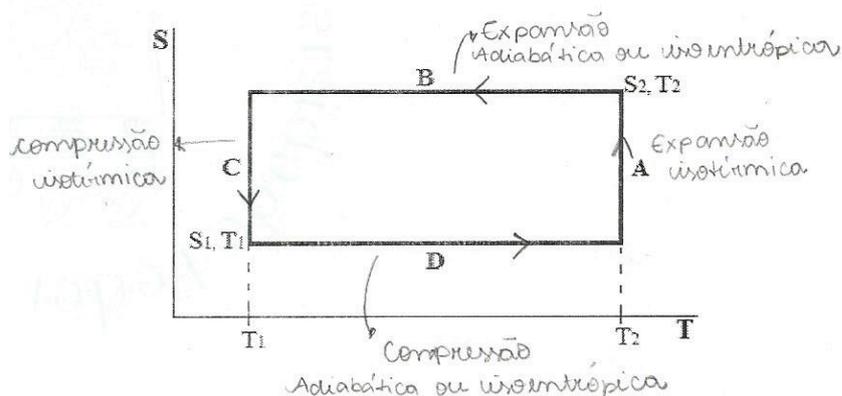
Também estão inclusas nessa categoria as poucas respostas em que não foi identificado se a transformação isotérmica era de expansão ou compressão.

Sendo que do Grupo 1, 13 foram os alunos (13,98%) cujas respostas fizeram parte dessa categoria. E do Grupo 2, foram 9 alunos (12,5%) que compartilharam respostas dessa categoria.

3. Identificaram as isotermas e as adiabáticas e atribuíram sentido ao ciclo no diagrama

Nessa categoria estão inclusas as respostas em que foram identificadas as isotermas e as adiabáticas e se esses processos ocorriam em expansão ou compressão e, atribuíram sentido ao ciclo no diagrama. Todavia, os alunos se equivocaram ao identificar, nos processos adiabáticos, a ocorrência de expansão ou compressão, de modo que não ficou coerente com a escolha atribuída as etapas de processos isotérmicos. Um exemplo desse tipo de resposta pode ser observado na Figura 9 a seguir.

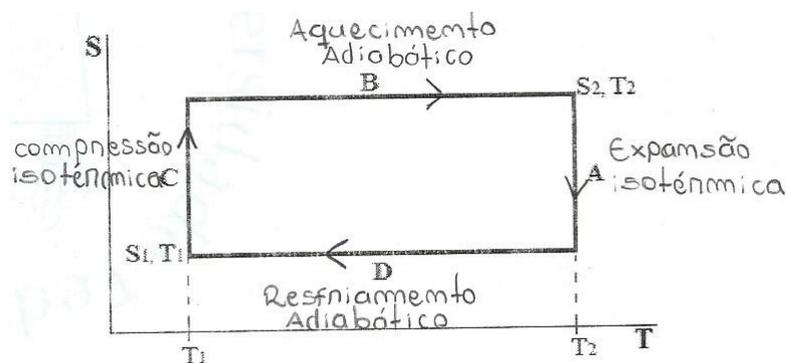
Figura 10 — Exemplo de resposta de aluna do Grupo 1.



Fonte: Dados coletados pela autora.

Também foram incluídas as respostas em que os alunos identificaram as compressões e expansões para os processos isotérmicos e adiabáticos de maneira correta, mas que atribuíram sentido para o ciclo de forma errada perante suas escolhas para os processos, como é possível observar no exemplo de resposta na Figura 10 a seguir.

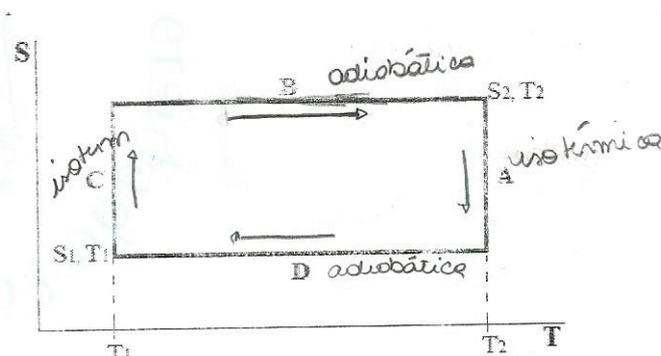
Figura 11 — Exemplo de resposta de um aluno do Grupo 2.



Fonte: Dados coletados pela autora.

Bem como, aquelas respostas em que foram identificadas apenas as isotermas e adiabáticas, sem dizer se ocorria expansão ou compressão, e que foi atribuído sentido ao ciclo no diagrama, como o caso do exemplo da Figura 11 na sequência.

Figura 12 — Exemplo de resposta de uma aluna do Grupo 1.



Fonte: Dados coletados pela autora.

Das respostas dos alunos do Grupo 1, 41, 93% se encaixavam nessa categoria. Do Grupo 2, 11,11% das respostas dos alunos pertenciam a essa categoria.

As respostas pertencentes a essa categoria são as que mais se aproximam do que poderia ser considerado completo para a questão, visto que os alunos identificaram as isotermas, as adiabáticas e atribuíram sentido ao ciclo no diagrama.

Uma observação a ser feita sobre a questão 5 é que por tratar do ciclo de Carnot reversível, tanto as escolhas de sentido anti-horário quanto de sentido horário poderiam estar corretas, desde que, a etapa A do diagrama fosse identificada como expansão isotérmica para a primeira escolha e compressão isotérmica para a segunda. E que, então, fosse feita a identificação dos demais processos de acordo com o ciclo de Carnot.

4. Identificaram as etapas B e D como processos isotérmicos

A essa categoria pertenciam as respostas em que as etapas B e D foram associadas com processos isotérmicos, independentemente, de como foram identificados os processos das etapas A e C e do sentido atribuído ao ciclo no diagrama. A essa categoria pertenceram, apenas, as respostas de 7 alunos do Grupo 1.

Houve um percentual considerável de abdicação de resposta para esta questão 38,89% entre os alunos do Grupo 2. Enquanto que para o Grupo 1 esse valor bastante inferior, onde 5,37% dos alunos não responderam a essa questão.

A questão 6 correspondia a um breve texto que menciona a busca por aumentos na eficiência de motores¹⁹ e solicitava que fosse indicado dentre as alternativas o fator limitante para essa busca. De forma os alunos deveriam compreender o enunciado da Segunda Lei da Termodinâmica que relaciona que é impossível uma máquina térmica operando em ciclos

¹⁹ Fonte: Enem 2012, Questão 83.

converter integralmente a energia extraída por calor de um sistema em trabalho mecânico, que condiz com a alternativa (b).

Com relação as respostas obtidas em cada grupo, 64 alunos (68,82%) do Grupo 1 marcaram como resposta correta a opção (b) e, dos alunos do Grupo 2, 44 alunos (61,11%) optaram por essa mesma resposta. Mas também houve uma parcela, mais aparente no Grupo 2, que marcou a opção (c) ou (e) que não faziam menção a fatores relacionados a Segunda Lei, respectivamente, 16,66%, e 18,05% dos alunos desse grupo.

A questão 7 também faz menção a Segunda Lei da Termodinâmica²⁰, de forma indireta através da explicação para parte das transformações de energia que ocorrem durante o funcionamento do motor, não poder ser utilizada para realização de trabalho. Os alunos precisavam relacionar que a explicação para o enunciado na questão era em termos da implicação da Segunda Lei, de a conversão integral de calor em trabalho ser impossível, que correspondia a alternativa (c). Sendo que a maioria dos alunos de ambos os grupos optaram por marcar essa alternativa como correta, correspondendo a 81 alunos (87,10%) do Grupo 1 e 62 alunos (86,11%) do Grupo 2.

A questão 8 demandava dos alunos que conseguissem estabelecer relações entre as variáveis V , T e as variáveis ΔU , W , Q ²¹ através da determinação do processo termodinâmico ocorrido, no caso, expansões isotérmica e adiabática, e da relação estabelecida pela Primeira Lei da Termodinâmica. De modo que, a alternativa (e) era correta para essa questão.

Para essa questão foi observada uma gama diversificada de alternativas escolhidas como corretas, não havendo uma única alternativa com maioria dentre as respostas, para ambos os grupos. De modo que, para o Grupo 1 houve uma concentração maior entre as alternativas (b) e (c), respectivamente, 22 e 29 alunos optaram por essas alternativas, e apenas 14 (15,05%) alunos marcaram a opção (e). Enquanto que para o Grupo 2 as proporções entre as alternativas escolhidas como resposta foram ainda mais semelhantes, sendo de 16 e 20 alunos para as (c) e (d), apenas 8 alunos (11,11%) optaram pela alternativa (e).

A questão 9 mostrava uma tabela que apresentava alguns exemplos de processos, fenômenos ou objetos em que ocorrem transformações de energia²² e solicitava em quais processos ocorre conservação de energia. De modo que os alunos precisavam ter noção do Princípio Geral de Conservação de Energia, dentro do qual estão inclusas as transformações

²⁰ **Fonte:** Enem 2011, Questão 66.

²¹ **Fonte:** Enade 2008, Física, QUESTÃO 17(modificada).

²² **Fonte:** Enem 1999, questão 45.

expressas pela Primeira Lei da Termodinâmica, e que estabelece que em todos os processos a energia se conserva, como determina a alternativa (a) da questão 9.

Entretanto, a maior parte dos alunos do Grupo 1 e também, do Grupo 2, optou pela alternativa (b) que descrevia o Princípio de Conservação da Energia Mecânica, nas proporções de 47,31% e 47,20% de alunos de cada um dos respectivos grupos. Sendo que para a alternativa (a) as proporções foram de 11 e 13 alunos para os Grupos 1 e 2, conforme a ordem.

A questão 10 fazia referência ao funcionamento de uma máquina térmica²³ e, fornecia as informações de quantidades de energia retirada da fonte quente e transferidos para a fonte fria e solicitava eficiência térmica da máquina. De maneira que os alunos precisavam interpretar que a quantidade de trabalho realizada pela máquina é a diferença entre as outras duas quantidades fornecidas no enunciado e que esse valor em termos de porcentagens era equivalente à eficiência, marcando a opção (d).

Como respostas para esta questão predominaram as alternativas (d) e (b), a qual se refere ao percentual de energia transferida a fonte fria. Assim, para o Grupo 1 as respostas de 51 alunos (54,84%) foram para a opção (e) e de outros 38 alunos (40,86 %) para a opção (b). Enquanto que para o Grupo 2 ocorreu o contrário, as respostas de 52 alunos (72,22%) foram para a opção (b) e de 21 alunos (29,16%) foram para (d).

Para a questão 11 cabia ao aluno completar as lacunas em uma frase sobre o funcionamento das máquinas térmicas e escolher entre as alternativas a que condissesse com as palavras utilizadas, de modo que a alternativa (d) é a adequada. De modo que essa questão²⁴ complementava a questão anterior abordando o mesmo tema.

Para essa questão os alunos de ambos os grupos optaram, em sua grande maioria pela alternativa (d), correspondendo a escolha de 83 alunos do Grupo 1 e de 62 alunos do Grupo 2.

Desta forma, é possível perceber uma contradição entre o maior percentual de respostas para as questões 10 e 11, dos alunos do Grupo 2, que pode ser decorrente da não formalização da abordagem desse conteúdo no nível de ensino em que se encontravam, visto que eles ainda não haviam tido o conteúdo de Termodinâmica na disciplina de Física Geral e Experimental II (FSC1025) na época da aplicação da atividade.

²³ **Fonte:** Peies 2007, questão 68.

²⁴ **Fonte:** Peies 2006, questão 69.

A questão 12 trazia três afirmações sobre máquinas térmicas²⁵, sendo a primeira delas “I. Numa máquina térmica, a fonte quente tem mais calor do que a fonte fria”, as quais os alunos deveriam interpretar e julgar como sendo ou não correta, e assim optar entre as alternativas aquela que indicasse as afirmativas corretas. Para responder a essa questão eram necessários conhecimentos sobre o significado de calor, que uma máquina operando em ciclo de Carnot não é sinônima de máquina térmica ideal e de exemplos de máquinas térmicas. De tal modo que, a resposta adequada para a questão corresponderia a opção (c).

O percentual de alunos de ambos os grupos que consideraram como resposta a opção (c) foi considerável, de 30,11% dos alunos do Grupo 1 e de 30,55% entre os alunos do Grupo 2. No entanto, houve um percentual foi ainda maior entre aqueles alunos, de ambos os grupos, que optaram pela alternativa (d) ou (a), que considera a afirmação I supracitada como correta, o que corresponde a 42 alunos (47,31%) do Grupo 1 e a 36 alunos (55,55%) do Grupo 2.

E este resultado é interessante do ponto de vista que indica que esses alunos ainda não se apropriaram da definição de calor como um processo de transferência de energia entre sistemas com diferentes temperaturas, aparecendo como um problema de interpretação do conceito de calor para a questão. Assim, é possível que os alunos tenham interpretado calor como uma propriedade do sistema, na leitura literal da afirmação “[...] a fonte quente tem mais calor do que a fonte fria”, ou como uma variável diretamente proporcional a temperatura, na leitura de que *se* calor é proporcional a temperatura tem lógica dizer que, se a fonte quente tem maior temperatura do que a fonte fria ela também tem mais calor. Essas são algumas das muitas faces para o conceito de calor atualmente incoerente e que ocasionam dificuldades no aprendizado do conceito (SILVA; LABURÚ; NARDI, 2008).

É possível que o mesmo problema que afetou os resultados em termos de respostas na questão 12 também tenha influenciado as respostas da questão 8, ocasionando confusão na interpretação das variáveis que se mantêm constantes para os processos isotérmicos e adiabáticos.

A questão 13 apresentava diagrama *P versus V* com diferentes processos termodinâmicos para um gás ideal representados graficamente²⁶ e solicitava que os alunos identificassem cada etapa do gráfico de acordo com o processo que ela representava e optasse por uma alternativa, sendo correta a alternativa (c). Para isso, eram necessários conhecimentos sobre os processos termodinâmicos e habilidade com interpretação de diagramas.

²⁵ **Fonte:** Peies 2010, questão 45.

²⁶ **Fonte:** A autora.

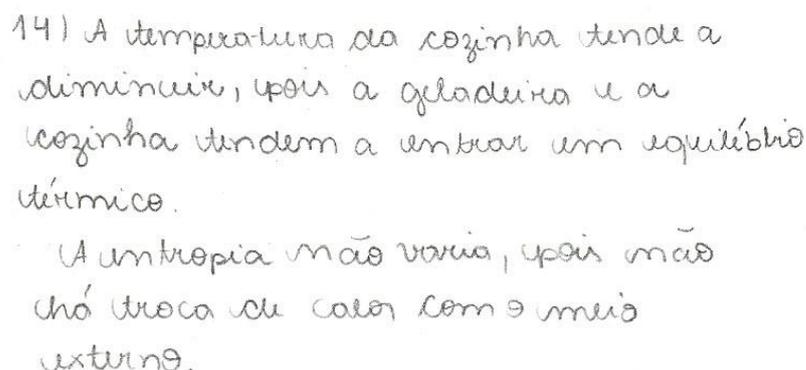
Para essa questão, 58 alunos (62,36%) do Grupo 1 e 42 alunos (58,33%) do Grupo 2 marcaram a alternativa (c). E ainda, 18 alunos do Grupo 1 e 15 alunos do Grupo 2 marcaram a alternativa (b), o que indica que esse grupo também conseguiu identificar a isoterma, podendo ter apresentado dificuldades conceituais sobre os processos isocórico e isobárico, na resolução da questão.

A questão 14 “Se você deixar a porta da geladeira na sua cozinha aberta por várias horas, a temperatura da cozinha aumenta, diminui ou permanece a mesma? E a entropia da cozinha? Suponha que a cozinha está fechada e bem isolada”, era discursiva de modo que sua análise foi realizada a partir do método indutivo da ATD. A resolução dessa questão²⁷ solicitava conhecimentos sobre o Princípio Geral de Conservação da Energia, sobre a Segunda Lei da Termodinâmica e processos irreversíveis. Através da análise das respostas dos alunos para essa questão pude classificar as respostas nas seguintes categorias:

1. A temperatura da cozinha diminuiria

Nessa categoria estão incluídos os seguintes tipos de respostas: a) que dizem que a temperatura diminui apenas, sem fazer referência a entropia; b) que dizem que a temperatura diminui e a entropia diminui; c) que dizem que a temperatura diminui e a entropia permanece a mesma; d) que dizem que a temperatura diminui e a entropia aumenta, como pode-se observar nas Figura 12 e Figura 13 a seguir.

Figura 13 — Exemplo de resposta para categoria 1, de uma aluna do Grupo 1.



14) A temperatura da cozinha tende a diminuir, pois a geladeira e a cozinha tendem a entrar em equilíbrio térmico.
A entropia não varia, pois não há troca de calor com o meio externo.

Fonte: Dados coletados pela autora.

²⁷ **Fonte:** Livro HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALTER, J. Fundamentos de física. Vol. 2. 6ª edição. Rio de Janeiro: LTC, 2002.

Figura 14 — Exemplo de resposta para categoria 1, de um aluno do Grupo 1.

diminui, e também diminui, pois a geladeira é uma máquina refrigeradora, então, ela "esfria" o ar ao ficar aberto

Fonte: Dados coletados pela autora.

Dentro dessa categoria foram incluídas as respostas de 59 alunos do Grupo 1 e de 37 alunos do Grupo 2, a grande maioria de ambos os grupos.

2. A temperatura permaneceria a mesma

Nessa categoria de respostas para a questão 14 estão incluídas aquelas que trazem: a) que a temperatura permanece a mesma sem fazer referência a entropia, como o exemplo da Figura 14 a seguir; b) que a temperatura e a entropia permanecem as mesmas; c) que a temperatura permanece a mesma e a entropia diminui; d) que a temperatura permanece a mesma e a entropia aumenta.

Figura 15 — Exemplo de uma resposta pertencente a categoria 2, de um aluno do Grupo 1.

PERMANECE A MESMA POIS A GELADEIRA DEVOLVE AO MEIO O CALOR RETIRADO

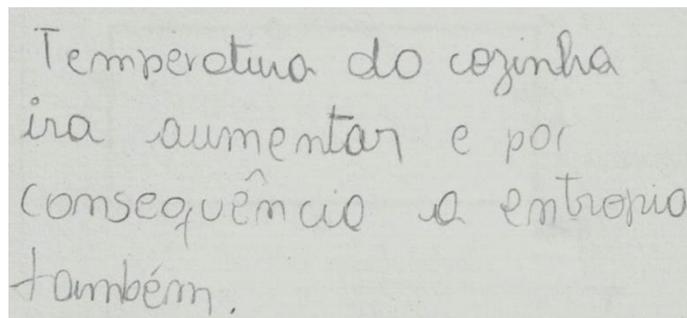
Fonte: Dados coletados pela autora.

Sendo que, dentro dessa categoria de respostas couberam as respostas de 16 alunos (17,20%) do Grupo 1 e de 11 alunos (15,28%) do Grupo 2.

3. A temperatura aumentaria

A essa categoria de respostas pertencem as respostas que trazem: a) que a temperatura aumenta somente, sem que seja feita referência a entropia; b) que a temperatura aumenta e a entropia permanece a mesma; c) que a temperatura aumenta e a entropia aumenta, como por exemplo a resposta da Figura 15.

Figura 16 — Exemplo de uma resposta pertencente a categoria 3, de um aluno do Grupo 1.



Temperatura do cozinha
ira aumentar e por
consequência a entropia
também.

Fonte: Dados coletados pela autora.

Os percentuais de respostas para a questão 14 inclusos nessa categoria foram pouco expressivos para ambos os grupos, ficando em 6,45% entre os alunos do Grupo 1 e de 6,94% entre os alunos do Grupo 2.

Os alunos que compartilharam as respostas pertencentes a categoria 1, não mostraram a percepção que a quantidade de energia que está sendo adicionada ao sistema sob a forma de energia elétrica poderia interferir na temperatura, assim como os alunos cujas respostas fazem parte da categoria 2. Com a diferença que para as respostas da categoria 1 induzem que a interpretação utilizada para sua elaboração considerou que o funcionamento da geladeira venceria a temperatura da cozinha, sem pensar que para funcionar a geladeira precisa de um motor (máquina térmica), que por sua vez, colaboraria para o aumento da temperatura. Enquanto que para a categoria 2 considera-se que o funcionamento e a temperatura da cozinha se equiparam, pois, consideram que a geladeira possui uma parte, o motor que aquece.

É possível que os alunos que apresentaram respostas que puderam ser incluídas na categoria 3, tenham considerado que a quantidade de energia adicionada ao sistema como energia elétrica influenciaria positivamente na temperatura do sistema.

Para a questão 15 solicitava-se ao aluno que interpretasse um diagrama *P versus V* de uma máquina que funcionava segundo o ciclo de Brayton²⁸ e que avaliasse três afirmativas sobre aspectos das etapas e do diagrama, para posterior escolha de uma das alternativas como correta. Sendo que a opção (d) que considerava as três afirmativas corretas condizia com a resposta adequada.

As respostas dos alunos do Grupo 1 foram atribuídas, principalmente, para as alternativas (d) e (e) com, respectivamente, 31,18% (29) e 32,26% (30) dos alunos desse

²⁸ Fonte: Enade 2014, Física, QUESTÃO 24.

grupo. Enquanto que, as respostas dos alunos do Grupo 2 tiveram percentual semelhante para três alternativas (c), (d) e (e), nessa ordem, 23,61% (17), 27,77% (20), 25,00% (18) dos alunos do grupo.

A questão 16 requeria que os alunos determinassem o trabalho W realizado por um gás ideal e o calor Q recebido pelo gás em um processo de expansão quase-estática isotérmica, considerando que a partir Primeira Lei da Termodinâmica é possível estabelecer que $W = Q$ em um processo isotérmico, sendo (c) a alternativa que corresponde a esse raciocínio²⁹.

Com relação as respostas para essa questão, 35,48% dos alunos do Grupo 1 optou pela alternativa (c) e 31,18% dos alunos desse mesmo grupo marcou a opção (a). Já no Grupo 2, observou-se que 23,61% dos alunos marcou a alternativa (c) e 38,89% optou pela alternativa (a).

Em termos gerais, pode-se identificar através da análise das proporções de acertos e erros nas respostas dos alunos que ambos os grupos obtiveram maiores percentuais de acertos para questões relacionadas a interpretação de diagramas, como as questões 1, 2, 3 e 4, podem ter apresentado maiores dificuldades em questões que envolviam a interpretação da Primeira Lei da Termodinâmica e dos conceitos de calor, temperatura e entropia, como as questões 9, 12, 14.

²⁹ **Fonte:** Questão do Exame Unificado de Pós-Graduações em Física (modificada).

CAPÍTULO IV

4.1. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os resultados encontrados nos pós-teste aplicado com o Grupo 1 constituído pelos alunos dos cursos de Engenharia de Produção, Engenharia Sanitária e Ambiental e Engenharia Civil com os quais foi implementada a sequência de ensino podem ser comparados com os resultados dos pré-testes aplicado com o Grupo 2. O Grupo 2 constitui-se dos alunos dos cursos de Engenharia da Computação, Engenharia Química e Engenharia Mecânica que não receberam o procedimento metodológico proposto no Capítulo II. A tabela abaixo sumariza os resultados. Os alunos da Engenharia Química cursaram em seu primeiro semestre uma disciplina de Físico-Química, então parte dos alunos do Grupo 2 não tiveram qualquer forma de contato com conteúdos de Termodinâmica em nível universitário.

Tabela 4 — Percentuais de acertos dos alunos do Grupo 1 e do Grupo 2 para o pós-teste e pré-teste respectivamente.

QUESTÃO DO TESTE	Percentual de acertos (%)	
	GRUPO 1	GRUPO 2
Questão 1	52,69	32,43
Questão 2	61,29	54,05
Questão 3	40,86	29,73
Questão 4	73,34	56,75
Questão 5	41,93	11,11
Questão 6	68,81	59,46
Questão 7	87,09	83,78
Questão 8	15,05	10,81
Questão 9	11,83	17,57
Questão 10	54,84	28,38
Questão 11	89,24	83,78
Questão 12	30,11	29,73
Questão 13	62,36	56,75
Questão 14	6,45	6,94
Questão 15	32,26	24,32
Questão 16	35,48	22,97

Por meio de uma análise dos percentuais de acertos em cada questão para cada um dos grupos pode-se observar que para as questões 1, 3, 4, 5, 15 e 16 os alunos do Grupo 1

obtiveram melhores desempenhos. Tais questões demandavam habilidades de interpretação de gráficos ou diagramas de ciclos termodinâmico simples. Os alunos do Grupo 1 também mostraram bons resultados com as questões 6 e 10 que estavam associadas à compreensão do funcionamento de uma máquina térmica.

O melhor desempenho dos alunos do Grupo 1 para com essas questões indica que a metodologia da Pedagogia Histórico-crítica associada a atividades com diferentes enfoques que abordam o mesmo assunto de máquinas térmicas e Termodinâmica sob diferentes perspectivas apresentou-se como uma forma de contribuição para a aquisição de habilidades sobre os assuntos abordados no currículo de Física Geral e Experimental II e, portanto, favoreceu a apropriação do *habitus* aos alunos envolvidos.

Nas questões 7 e 11 ambos os grupos obtiveram ótimo desempenho, já que estas abordavam os conteúdos de transformações de energia e funcionamento de uma máquina térmica, mesmo que para o Grupo 2 em que os conhecimentos não tiveram influência da sequência de ensino.

Em uma análise reflexiva sobre a sequência de ensino implementada permitiu-me perceber que um dos maiores enfrentamentos com relação a implementação esteve justamente associado ao fato da sequência trazer a contextualização com aspectos históricos do surgimento das máquinas térmicas na Inglaterra no século XVIII e a exigência por uma participação ativa dos alunos. Alguns alunos, de forma mais nítida os da Turma C, demonstraram certa resistência com relação a metodologia utilizada em aula, principalmente, associada ao fato de procurarem expor opiniões próprias sobre o assunto que estava sendo abordado em aula.

No entanto, a grande maioria dos alunos da Turma B se mostraram favoráveis e motivados com a abordagem. Isso pode indicar que a utilização de uma sequência de ensino como essa está sujeita a uma recepção pouco favorável em um primeiro momento ou até mesmo a completa não adaptação dos alunos, dependendo da disposição dos mesmos para com as diferentes abordagens. E alguns dos pontos particulares positivos sobre a implementação da sequência de ensino estão, também, relacionados a participação ativa e voluntária de alguns alunos no decorrer das aulas e atividades. Essa disposição para participação colaborou principalmente, para o levantamento de dificuldades e para o andamento das aulas ao compartilharem suas opiniões e conhecimentos sobre os conteúdos tanto da História quanto da Termodinâmica.

Assim, concluímos que um “bom aluno” para a proposta de ensino desenvolvida nessa fase de cumprimento do currículo universitário corresponderia aquele que estivesse disposto e/ou motivado a participar do processo de aprendizagem enquanto cursava a disciplina e não somente buscando a aprovação na disciplina. Nossos trabalhos indicaram que para atingir o *habitus* os “bons alunos” deveriam ter obtido progresso nos seguintes itens:

1. Adquirir um nível de compreensão nos assuntos de termodinâmica abordados de acordo com a bibliografia;
2. Os alunos devem mostrar aptidão na solução de problemas com as ferramentas matemáticas apropriadas;
3. Mostrar compreensão dos conceitos abstratos e suas inter-relações para inferir o comportamento de sistemas termodinâmicos simples;
4. Os alunos devem ser aptos na realização de pesquisas bibliográficas relevantes à análise de problemas particulares;
5. Devem apresentar habilidades de comunicação orais e escritas e expor suas ideias para audiências especializadas e não especializadas;
6. Os alunos devem ter experiências necessárias para conduzir experimentos e saber relatá-los com autonomia e responsabilidade.

A aprovação deveria ser uma consequência do processo e não o único motivo para cursar determinada disciplina, mas por diversos motivos esse objetivo é recorrente entre alunos, com a decorrente aquisição do *habitus*.

Além disso, é possível que para a sequência de ensino fossem necessárias a inclusão de mais aulas para discutir sobre o conceito de entropia e da Segunda Lei da Termodinâmica, com relação a ideia de degradação da energia e do conceito de exergia. Devido ao fato de que foi possível perceber que os alunos apresentavam concepções distintas sobre o conceito de entropia, alguns relacionados a palavra desordem, que deveriam ser mais exploradas e discutidas com o intuito de minimizar a distância entre essas concepções e a concepção atualmente aceita como correta no meio acadêmico e científico, dentro dos parâmetros curriculares que são comuns a todos os cursos de engenharia.

Desta forma com relação aos objetivos específicos os quais foram propostos com intuito de buscar respostas ao problema de pesquisa: *Como ensinar o conteúdo de Máquinas Térmicas e a Segunda Lei da Termodinâmica, na disciplina de Física Geral e Experimental II para alunos dos cursos de engenharia, contextualizada através de uma abordagem histórica, com a finalidade de minimizar as dificuldades com a apropriação do habitus?*, pode-se dizer

que foram cumpridos com os objetivos de desenvolver e implementar uma proposta de sequência de ensino para abordar o conteúdo da Segunda Lei da Termodinâmica e Máquinas Térmicas, e de utilizar o contexto de como surgiram, foram desenvolvidas e utilizadas as Máquinas Térmicas abordar tal conteúdo, dentro da teoria da Termodinâmica, na disciplina de Física Geral e Experimental II (FSC 1025), conforme está descrita no Capítulo II a sequência de ensino desenvolvida. E também consegui apontar algumas dificuldades comuns entre os alunos com relação ao aprendizado do conteúdo de termodinâmica e com relação a habilidades requeridas para maior facilidade de compreensão dos conteúdos trabalhados, conforme foi descrito no decorrer do Capítulo III foram identificadas dificuldades de interpretação de conceitos, como o conceito de calor, e relacionadas a habilidades, como a interpretação de diagramas *P versus V* de ciclos termodinâmicos simples.

E com relação ao objetivo de avaliar quantitativamente, através de pré-teste e pós-teste as evoluções com relação a aprendizagem, e qualitativamente, através da análise das respostas dissertativas obtidas das atividades, pode-se dizer que foi alcançado conforme discutido no presente capítulo através dos resultados da Tabela 4 pode-se perceber um melhor desempenho no teste com os alunos participantes da sequência de ensino, indicando que houve uma ampliação com relação aos conhecimentos sobre os assuntos abordados em algumas questões pelos alunos do Grupo 1 se comparado ao desempenho dos alunos do Grupo 2, e no Capítulo III em que constam os resultados obtidos com as atividades desenvolvidas com os alunos. O que indica que a proposta didática pode ter influenciado positivamente nos resultados de aprendizagem dos estudantes de cursos de engenharia da UFSM.

Por fim, retornando a questão de pesquisa pode-se dizer que ela foi respondida parcialmente com relação ao fato que a proposta de sequência de ensino que possibilitou a aquisição de habilidades que podem minimizar algumas dificuldades, mas não todas e quaisquer dificuldades referentes a apropriação do *habitus* com relação ao conteúdo de Máquinas Térmicas e a Segunda Lei da Termodinâmica em um período de cinco aulas. Assim, é possível que não tenha sido cumprido completamente com o objetivo de os alunos alcançassem um entendimento devidamente amplo da Segunda Lei da termodinâmica, de acordo com a abordagem fenomenológica dessa lei, devido as interpretações do conceito de entropia associadas a abordagem microscópica da Segunda Lei que traziam consigo e que podem ter influenciado no entendimento desse conteúdo, por isso sugeriu-se inclusão de mais aulas para discutir sobre o conceito de entropia e da Segunda Lei da Termodinâmica, com relação a ideia de degradação da energia e do conceito de exergia.

De modo que assim seria importante que esse tipo de abordagem que enfatiza a aquisição de habilidades, e utiliza de atividades com diferentes enfoques para essa finalidade, seja realizada de forma contínua no decorrer das disciplinas básicas de cursos de graduação como os pesquisados, e isso aumentará a eficácia em minimizar as dificuldades de apropriação do *habitus* com relação aos conteúdos.

CONCLUSÃO

No presente trabalho, foi apresentado e discutido um estudo com alunos dos cursos de Engenharia da Produção, Engenharia Sanitária e Ambiental e Engenharia Civil da UFSM que cursavam a disciplina de Física Geral e Experimental II no 1º e 2º semestre de 2015 com relação as dificuldades na aquisição do *habitus* por estudantes desse semestre inicial de graduação sobre o conteúdo de máquinas térmicas e Segunda Lei da Termodinâmica.

Para tanto, desenvolveu-se uma proposta de sequência de ensino para abordar tal conteúdo de forma contextualizada com a História e, dentre as teorias educacionais que poderiam apoiar a proposta optou-se pela Pedagogia Histórico-Crítica, pois essa compreende a educação a partir do desenvolvimento histórico no que se refere as condições materiais da existência humana.

A abordagem do conteúdo máquinas térmicas e Segunda Lei da Termodinâmica através da contextualização com a História da Primeira Revolução Industrial serviu para discutir os impactos dessa tecnologia na sociedade britânica do século XVIII e sobre como isso influenciou no desenvolvimento posterior da teoria da Termodinâmica. Assim, a contextualização serviu não somente como um elemento motivador para o estudo do conteúdo, mas também para que o aluno possa perceber a importância de tais aspectos no programa da disciplina.

As dificuldades intrínsecas ao conteúdo e o fato de não terem se apropriado de habilidades e da linguagem técnica de forma satisfatória, demonstram que a maioria dos alunos do segundo semestre dos cursos de engenharias que participaram da implementação da sequência de ensino ainda não se apropriaram por completo do *habitus* da classe acadêmica. Nossa interpretação deste fato é que, normalmente, os alunos dos primeiro e segundo semestres podem não perceber todas as disposições práticas incorporadas e exigidas pelo sistema de ensino universitário perante as quais são avaliados através de trocas simbólicas. Estes fatores com certeza influenciam no processo de aprendizagem dos conteúdos pelos alunos, e deveriam influenciar também na organização de sequências de ensino que visem à aquisição de habilidades, linguagens, conhecimentos, além de outras disposições valorizadas e exigidas para posterior inserção dos alunos no mercado de trabalho.

Assim, é possível dizer que o emprego da Pedagogia Histórico-Crítica de Saviani como metodologia de ensino associada a atividades que enfatizam o desenvolvimento de diferentes habilidades pode colaborar para a ampliação do processo de aprendizagem e abrir espaço para a participação ativa dos alunos no processo de ensino-aprendizagem, se cria a

expectativa de trazer efeitos positivos com relação à exposição de ideias, conhecimentos, dúvidas e dificuldades sobre o conteúdo ou assunto que se aborda que enriquece as discussões em aula. Esses aspectos favorecem a aquisição de habilidades e a apropriação do *habitus* dentro das exigências sociais da atualidade.

Com relação às discussões e participações ativas dos alunos ambicionadas durante as aulas da sequência de ensino apresentada neste trabalho é possível que sejam potencializadas em situações naturais de sala de aula, em que o professor seja efetivo na disciplina, visto que, a relação entre professor e aluno já estará estabelecida e que já se terá um vínculo, facilitando o processo de ensino-aprendizagem. Diferentemente, do que ocorre durante uma intervenção como a realizada, em que o professor permanece durante um curto período de tempo atuando em sala de aula, podendo ocorrer de esse tempo não ser suficiente para se estabelecer um vínculo com a turma, o que é um elemento importante da prática docente dentro de abordagens construtivista como a que foi proposta no presente trabalho.

No que se refere a perspectivas futuras deste trabalho, por se tratar de uma proposta de sequência de ensino espera-se que este trabalho sirva como suporte para o planejamento de abordagens dos conteúdos de Máquinas Térmicas e Segunda Lei da Termodinâmica para professores que venham a ministrar a disciplina de Física Geral e Experimental II (FSC 1025) para os cursos de Engenharia e outras disciplinas básicas semelhantes para outros cursos de graduação, como Física II para os cursos de Física e Matemática da UFSM, adaptando a sequência de ensino de acordo com as dificuldades das turmas em que se estiver trabalhando.

E de maneira a contribuir para a expansão do presente trabalho são necessárias maiores pesquisas sobre o uso da Pedagogia Histórico-Crítica de Saviani como metodologia ensino associada a atividades didáticas para propiciar a aquisição de habilidades, a minimizar as dificuldades com relação ao domínio da linguagem culta do conteúdo ou da disciplina e a apropriação do *habitus* por alunos dos primeiros semestre de cursos de graduação das áreas de Engenharia e de Ciências Exatas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARRETO, K. G.; COSTA, R. G.; PASSERINO, L. M. Entre as ideias intuitivas e os conceitos científicos: o que os alunos licenciandos em química pensam sobre os conceitos relativos à termodinâmica?. In.: **IV Simpósio Nacional de Ensino de Ciência e Tecnologia (SINECT)**. Ponta Grossa, PR. 2014.

BOURDIEU, P. A escola conservadora: as desigualdades frente à escola e à cultura. In.: NOGUEIRA, M. A.; CATANI, A. **Escritos de educação**. 9 ed. Petrópolis, RJ: Vozes, 2007. p. 39-64. (Publicado originalmente em francês, 1966).

BOURDIEU, P.; PASSERON, J.C. **A reprodução: elementos para uma teoria do sistema de ensino**. Tradução: Reynaldo Bairão; Revisão: Pedro Benjamin Garcia; Ana Maria Baeta. 7 ed. Petrópolis, RJ: Vozes, 2014.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica. Leis e Decretos. **Lei nº 9.394, de 20 de dezembro de 1996**. Brasília: MEC, 1996.

BROSSEAU, C.; VIARD, J. Quelques reflexions sur le concept d'entropie issues d'un enseignement de thermodynamique. **Ensenanza de las Ciencias**, v. 10, n. 1, p. 13-16, 1992.

COVOLAN, S.C.T.; SILVA, D. A entropia no Ensino Médio: utilizando concepções prévias dos estudantes e aspectos da evolução do conceito. **Ciência & Educação**, v. 11, n. 1, p. 98-117, 2005.

DIAS, P. M C. A (im)pertinência da história ao aprendizado da física (um estudo de caso). **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 23, n. 2, p. 226-235, 2001.

DIAS, P. M. C. À procura do trabalho perdido. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 29, n. 4, p. 493-498, 2007.

FERREIRA, J. P. M. Como interpretar a entropia?. **Boletim da Sociedade Portuguesa de Química**, série II, n. 96, p. 38-42, 2005.

FLORES-CAMACHO, F.; ULLOA-LUGO, N. ¿Cómo enseñan la entropía los profesores universitarios?. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 13, n. 2, p. 201-221, 2014.

GERALDO, A. C. H. **Didática de ciências e de biologia na perspectiva da pedagogia histórico-crítica**. 2006. 201 p. Tese (Doutorado em Educação Para a Ciência) Universidade Estadual Paulista-UNESP, Bauru, SP. 2006.

GIANCOLI, D. C. **Physics: Principles with Applications**, 6 ed. Berkeley: Pearson, 2005.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALTER, J. **Fundamentos de física**. 6 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2002. 2 v.

HART-DAVIS, A. **160 Séculos de Ciência: Revolução Industrial**. São Paulo: Duetto Editorial, 2010. 3 v.

HAYWOOD, D. **An introduction to Stirling-cycle machines**. University of Canterbury, Canterbury. Disponível em: <https://goo.gl/qbNQ5>. Acessado em: 31 de novembro de 2014.

HÜLSENDEGER, M. J. V. C.; COSTA, D. K.; CURY, H. N. Identificação de concepções de alunos de ensino médio sobre calor e temperatura. **ACTA SCIENTIAE**, v.8, n.1, p. 35-46, 2006.

HÜLSENDEGER, M. A História da Ciência no ensino da Termodinâmica: um outro olhar sobre o ensino de Física. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 9, n. 2, p. 191-205, 2007.

JAPIASSU, H. **Um desafio à educação: repensar a pedagogia científica**. São Paulo: Letras e Letras, 1999.

KATO, D. S.; KAWASAKI, C. S. As concepções de contextualização do ensino em documentos curriculares oficiais e de professores de ciências. **Ciência & Educação**, v. 17, n. 1, p. 35-50, 2011.

MARSIGLIA, A. C. G.; OLIVEIRA, C. S. Aproximações históricas e teóricas com a pedagogia histórico-crítica e sua proposta metodológica. In.: **VIII EDUCERE**. Curitiba, PR. 2008.

MCKELVEY, J.; GROUCH, H. **Física**. São Paulo: Harbras, 1979.

MELLO, G. N. Formação Inicial de Professores para a Educação Básica: uma (re)visão radical. **São Paulo Perspectiva**, v.14, n. 1, p. 98-110, 2000.

MORAES, R. Uma tempestade de luz: a compreensão possibilitada pela análise textual discursiva. **Ciência & Educação**, v. 9, n. 2, p. 191-211, 2003.

MOREIRA, M. A. Ensino de Física no Brasil: Retrospectiva e Perspectivas. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 22, n. 1, p. 94-99, 2000.

NÓBREGA, M. L. da. **Segunda lei da termodinâmica: os caminhos percorridos por William Thomson**. 2009. 82 p. Dissertação (Mestrado em Ensino, Filosofia e História das Ciências) Universidade Federal da Bahia. Universidade Estadual de Feira de Santana. Salvador, BA. 2009.

NOGUEIRA, C. M. M.; NOGUEIRA, M. A. A Sociologia da Educação de Pierre Bourdieu: limites e contribuições. **Educação & Sociedade**, v. 23, n. 78, p. 15- 36, 2002.

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de física básica**. 4 ed. São Paulo: Blucher, 2002. 2 v.

OLIVEIRA, P.M.C. de; DECHOUM, K. Facilitando a Compreensão da Segunda Lei da Termodinâmica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 25, n. 4, p. 359-363, 2003.

PASSOS, J. C. A importância do trabalho de Carnot para o ensino da termodinâmica. In.: **XXXI COBENGE**. Rio de Janeiro, RJ. 2003.

QUADROS, S. **A termodinâmica e a invenção das máquinas térmicas**. 1 ed. São Paulo: Scipione, 1996.

REZENDE, C. **História Econômica Geral**. 10 ed. São Paulo: Contexto, 2013.

RICARDO, E. **Competências, Interdisciplinaridade e Contextualização: dos Parâmetros Curriculares Nacionais a uma compreensão para o ensino das ciências**. 2005. 257 p. Tese (Doutorado em Educação Científica e Tecnológica) — Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC. 2005.

SANTOS, Z. T. S.; PERNAMBUCO, M. M. C. A. Uma perspectiva histórica e epistemológica para o ensino de entropia no ensino médio. In.: **XI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física (EPEF)**. Curitiba, PR. 2008.

SAUERWEIN, R. A.; SAUERWEIN, I. P. S. Objeto de Aprendizagem: Máquinas Térmicas. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 29, n. especial 2, p. 812-830, 2012.

SAVIANI, D. **Escola e democracia: teorias da educação, curvatura da vara, onze teses sobre educação e política**. 22 ed. São Paulo, Cortez: Autores Associados, 1989.

SAVIANI, D. **Pedagogia histórico-crítica: primeiras aproximações**. 11 ed. Campinas, SP: Autores Associados, 2013.

SEBIM, C. C.; SILVA, M. das D. S.; SANTOS, P. dos. Bourdieu e a educação. **Pró-Discente: Caderno de Prod. Acad.-Cient. Progr. Pós- Grad. Educ**, v. 17, n. 2, p. 28-39, 2011.

SETTON, M. da G. J. A Teoria do *Habitus* em Pierre Bourdieu: uma leitura contemporânea. **Revista Brasileira de Educação**, maio/jun/Jul/ago, n. 20, p. 60-70, 2002.

SILVA, G. O. do V. Capital Cultural, classe e gênero em Bourdieu. **INFORMARE – Caderno Programa de Pós-Graduação em Ciência da Informação**, v. 1, n. 2, p. 24- 36, 1995.

SILVA, O. H. M.; LABURÚ, C. E.; NARDI, R. Reflexões para subsidiar discussões sobre o conceito de calor na sala de aula. **Caderno Brasileiro Ensino de Física**, v. 25, n. 3, p. 383-396, 2008.

TARSITANI, C.; VICENTINI, M. Scientific mental representations of thermodynamics. **Science & Education**, v. 5, n. 1, p. 51-68, 1996.

TIPLER, P. A.; MOSCA, G. **Física para cientistas e engenheiros**. 6 ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, 2009. 1 v.

VERTCHENKO, L.; DICKMAN, A. G. Verificando a lei de Boyle em um laboratório didático usando grandezas estritamente mensuráveis. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 34, n. 4, 4312, 2012.

YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. **Sears e Zemansky Física**. 10 ed. São Paulo: Pearson, 2003. 2 v.

ZANOTELLO, M. Leitura de textos originais de cientistas por estudantes do ensino superior. **Ciência & Educação**, v. 17, n. 4, p. 987-1013, 2011.

ZEMANSKY, M. W. **Calor e termodinâmica**. 5 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Dois S. A., 1978.

APÊNDICES

APÊNDICE A — ATIVIDADE 1: REVOLUÇÃO INDUSTRIAL

Universidade Federal de Santa Maria
Departamento de Física
Disciplina de Física Geral e Experimental II
Questionário 1: Revolução Industrial

Nome:

Curso:

Questão 1

Retiraremos do discurso em que, a 15 de março de 1844, Lord Ashley apresentou a sua moção sobre a jornada de 10 horas à Câmara dos Comuns alguns dados que não foram refutados pelos industriais sobre a idade dos operários e a proporção de homens e mulheres. (...) Sobre o trabalho das mulheres desagra completamente a família; porque, quando a mulher passa cotidianamente 12 ou 13 horas na fábrica e o homem também trabalha aí ou em outro emprego, o que acontece às crianças? Crescem, entregues a si próprias como a erva daninha, entregam-nas para serem guardadas fora (...), e podemos imaginar como são tratadas. É por essa razão que se multiplicam de uma maneira alarmante, nos distritos industriais, os acidentes de que as crianças são vítimas por falta de vigilância. (...) As mulheres voltam à fábrica muitas vezes três ou quatro dias após o parto, deixando, bem entendido, o recém-nascido em casa. (...).

ENGELS, Friedrich. **A situação da classe trabalhadora na Inglaterra**. São Paulo: Global, 1986. p. 170-171.

Os dados apresentados por Engels no texto escrito em 1845 referem-se a alguns dos efeitos da Revolução Industrial na Inglaterra. Com base nessas informações, conclui-se que, ao longo do século XIX, a incorporação da mulher ao mercado de trabalho

- (A) favoreceu a emancipação feminina, garantindo o acesso a serviços profissionais de educação infantil.
- (B) causou um aumento sensível nos índices de mortalidade infantil, como consequência da irresponsabilidade das mães operárias.
- (C) produziu o aumento de separações, pois as mulheres passaram a assumir o papel de chefes de família, antes restrito aos homens.
- (D) resultou, principalmente, da necessidade de complementar a renda familiar, diante do crescente custo de vida na cidade industrial.
- (E) contribuiu para o aumento da criminalidade, devido ao surgimento de gerações de crianças criadas por terceiros e carentes de cuidados maternos.

Questão 2

A prosperidade induzida pela emergência das máquinas de tear escondia uma acentuada perda de prestígio. Foi nessa idade de ouro que os artesãos, ou os tecelões temporários, passaram a ser denominados, de modo genérico, tecelões de teares manuais. Exceto em alguns ramos especializados, os velhos artesãos foram colocados lado a lado com novos imigrantes, enquanto pequenos fazendeiros-tecelões abandonaram suas pequenas propriedades para se concentrar na atividade

de tecer. Reduzidos à completa dependência dos teares mecanizados ou dos fornecedores de matéria-prima, os tecelões ficaram expostos a sucessivas reduções dos rendimentos.

THOMPSON, E. P. **The making of the english working class**. Harmondsworth: Penguin Books, 1979 (adaptado).

Com a mudança tecnológica ocorrida durante a Revolução Industrial, a forma de trabalhar alterou-se porque

- (A) a invenção do tear propiciou o surgimento de novas relações sociais.
- (B) os tecelões mais hábeis prevaleceram sobre os inexperientes.
- (C) os novos teares exigiam treinamento especializado para serem operados.
- (D) os artesãos, no período anterior, combinavam a tecelagem com o cultivo de subsistência.
- (E) os trabalhadores não especializados se apropriaram dos lugares dos antigos artesãos nas fábricas.

Questão 3

Leia o texto e, a seguir, aponte a alternativa que se adeque à sua interpretação:

“A máquina a vapor, tornando possível o uso da energia em todos os artificios mecânicos, em quantidades maiores do que qualquer outra coisa conseguiria realizar no passado, foi a chave para tudo o que ocorreu em seguida, sob o nome de Revolução Industrial. A face do mundo mudou mais drasticamente (e mais rapidamente) do que em qualquer outra época desde a invenção da agricultura, cerca de 10 mil anos antes.” (ASIMOV, I. *Cronologia das Ciências e das Descobertas*. Rio de Janeiro: Civilização Brasileira, 1993, p. 395).

- (A) O autor acentua o caráter prejudicial da máquina a vapor para a agricultura.
- (B) Segundo o texto, a máquina a vapor foi decisiva para o advento da Revolução Industrial, já que este foi o primeiro dispositivo tecnológico que realizou uma transformação profunda no âmbito da produção.
- (C) O autor aponta o caráter negativo da mudança drástica e rápida que a Revolução Industrial provocou no mundo contemporâneo.
- (D) Segundo o texto, a máquina a vapor era eficiente porque funcionava à base de eletricidade.
- (E) O texto indica que a agricultura, durante 10.000 anos, impediu que a indústria se desenvolvesse.

Questão 4

A Inglaterra pedia lucros e recebia lucros. Tudo se transformava em lucros. As cidades tinham sua sujeira lucrativa, suas favelas lucrativas, sua fumaça lucrativa, sua desordem lucrativa, sua ignorância lucrativa, seu desespero lucrativo. As novas fábricas e os novos altos-

fornos eram como as Pirâmides mostrando mais a escravização do homem do que seu poder.

DEANE, P. **A Revolução Industrial**. Rio de Janeiro: Zahar, 1979. (adaptado)

Qual relação é estabelecida no texto entre os avanços tecnológicos ocorridos no contexto da Revolução Industrial Inglesa e as características das cidades industriais no início do século XIX?

- (A) A facilidade em se estabelecer relações lucrativas transformava as cidades em espaços privilegiados para a livre iniciativa, característica da nova sociedade capitalista.
- (B) O desenvolvimento de métodos de planejamento urbano aumentava a eficiência do trabalho industrial.
- (C) A construção de núcleos urbanos integrados por meio de transporte facilitava o deslocamento dos trabalhadores das periferias até as fábricas.
- (D) A grandiosidade dos prédios onde se localizavam as fábricas revelava os avanços da engenharia e da arquitetura do período, transformando as cidades em locais de experimentação estética.
- (E) O alto nível de exploração dos trabalhadores industriais ocasionava o surgimento de aglomerados urbanos marcados por péssimas condições de moradia, saúde e higiene.

Questão 5

A Revolução Industrial ocorrida ao longo do século XVIII está vinculada à história da Inglaterra no seu nascedouro. Entretanto, à medida que o capitalismo foi se consolidando, a idéia de Revolução Industrial começou a ser associada a um conceito universal e ganhou vários sinônimos, dentre os quais:

- (A) republicanização, que orientava os novos processos de organização da política, a intervenção no mercado e a Revolução Francesa;
- (B) modernização, que indicava a manutenção da economia mercantilista, a centralização do Estado e o crescimento das camadas médias;
- (C) industrialização, que significava a alteração nos processos de produção, a concretização da economia de mercado e a ascensão da burguesia;
- (D) maquinização, que mostrava a crescente expansão do artesanato, da agricultura e da fisiocracia como modelos de crescimento;
- (E) tecnificação, que definia o processo industrial como dependente das modificações na agricultura e também do agrarismo, sendo controlado politicamente pela nobreza urbana.

APÊNDICE B — ATIVIDADE 2: ROTEIRO DO EXPERIMENTO SOBRE A LEI DE BOYLE

Nome:

Curso:

ATIVIDADE EXPERIMENTAL: LEI DE BOYLE (Transformações Isotérmicas)

OBJETIVOS

- Verificar as relações entre pressão (P) e volume (V) em um cilindro durante uma transformação, aproximadamente, isotérmica, ou seja, para valores de temperatura com variações muito pequenas.
- Construir o diagrama $P \times V$ a partir dos dados obtidos com o auxílio do aparato experimental.

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Análise o aparato experimental, faça isso verificando as escalas do cilindro de ar e do barômetro, assim como, as posições da torneira quando aberta e quando fechada. E ainda, ligue o termômetro e deixe-o estabilizar.

Em seguida, devem-se realizar medidas de pressão e volume para valores de temperatura aproximadamente constante. Para isso, diminua o nível do êmbolo no cilindro variando o volume do gás, deixe estabilizar as leituras e registre os valores de volume, pressão e temperatura a cada medida em uma tabela. Repita o procedimento três vezes.

OBS: Deve-se zerar o barômetro para iniciar as medidas.

Construa os gráficos de P em função de V .

QUESTÕES RELACIONADAS À ATIVIDADE

1. O que podemos observar se variarmos rapidamente o volume do gás no cilindro?
2. Quais são as possíveis fontes de erro no experimento?
3. Como se comportam as variáveis, temperatura, pressão e volume, do gás nos últimos pontos graduados no cilindro?

APÊNDICE C — ATIVIDADE 3: ROTEIRO DA ATIVIDADE DIDÁTICA SOBRE MÁQUINA DE STIRLING

Nome:

Curso:

ATIVIDADE: MÁQUINA DE STIRLING

OBJETIVOS

- Construir um diagrama P×V para o ciclo de funcionamento de uma máquina Stirling, a partir da descrição dos etapas desse ciclo.
- Fazer esquemas representativos para cada etapa de funcionamento da máquina de Stirling.
- Deduzir o calor envolvido em cada uma das etapas.
- Obter a eficiência para uma máquina de Stirling ideal.

A resolução desta atividade está dividida em duas partes nas quais serão estudadas as transferências de energia para processos isotérmicos, de expansão e compressão, e isovolumétricos, também será obtida a eficiência térmica para um motor Stirling, em termos do calor e da temperatura.

PARTE 1: TRANSFERÊNCIAS DE ENERGIA NA MÁQUINA DE STIRLING.

Nesta parte da atividade serão trabalhadas as transferências de energia no decorrer do ciclo de funcionamento da máquina de Stirling.

1. Inicialmente, faça um esquema da máquina térmica observada.

O ciclo de funcionamento de uma máquina de Stirling é constituído pelas quatro etapas descritas a seguir:

Expansão isotérmica (1_2): O cilindro da esquerda está em contato com o reservatório térmico de alta temperatura (T_2), de modo que o gás de trabalho absorve energia por calor do reservatório. Como o êmbolo continua a mover-se para baixo, o gás se expande isotermicamente, realizando trabalho sobre o sistema. Enquanto esse processo ocorre o pistão da direita mantém-se estacionário.

Deslocamento isovolumétrico (2_3): O gás de trabalho, a alta pressão, é transferido através do regenerador, para o cilindro que está em contato com o reservatório térmico de baixa temperatura (T_1), fazendo com que calor seja absorvido do gás que passa pelo regenerador, diminuindo a temperatura desse gás. À medida que a temperatura diminui a pressão do gás de trabalho cai significativamente. Os pistões movem-se em sentidos opostos, de modo o processo ocorre a um volume constante.

Compressão isotérmica (3_4): O gás é comprimido isotermicamente no cilindro que está em contato com o reservatório térmico de baixa temperatura (T_1), fazendo com que o gás transfira energia por calor para a vizinhança via reservatório térmico. Pois, para o gás a baixa pressão é necessária menos energia por trabalho do que foi obtida através do gás durante o processo de expansão, de modo que trabalho é realizado pelo sistema. No decorrer do processo o pistão da esquerda mantém-se estacionário.

Deslocamento isovolumétrico (4_1): O gás, a baixa pressão, é transferido através do regenerador para o cilindro que está em contato com o reservatório térmico de alta temperatura (T_2). Desta forma, energia por calor é transferida ao gás enquanto passa pelo regenerador, aumentando assim a temperatura desse gás. À medida que a temperatura aumenta, a pressão do gás aumenta significativamente, com o sistema retornando as condições iniciais. Durante o processo, os pistões movem-se em sentidos opostos, sem que haja variação do volume do gás.

2. Construa um diagrama da pressão em função do volume, $P \times V$, para o ciclo de funcionamento da máquina de Stirling, descrito acima.
3. Identifique as relações entre calor (Q), trabalho (W) e energia interna (U) para cada uma das etapas.
4. Faça, para cada uma das etapas do ciclo de funcionamento da máquina, um esquema que inclua: os cilindros e o reservatório que eles estão em contato; os êmbolos, se estão descendo, subindo ou estacionários; as variáveis pressão (P), volume (V) e temperatura (T), bem como, calor (Q) e trabalho (W).
5. Obtenha o calor envolvido em cada uma das partes do ciclo da máquina Stirling.

Para solucionar esse item utilize a 1ª Lei da Termodinâmica ($\Delta U = Q + W$). Lembre-se que em transformações isotérmicas não há variação da energia interna do sistema ($\Delta U = 0$), enquanto que, em transformações isovolumétricas não é realizado trabalho ($W = 0$).

PARTE 2: EFICIÊNCIA TÉRMICA DA MÁQUINA DE STIRLING

Considerando que é possível calcular a eficiência de qualquer máquina térmica a partir da razão entre o trabalho realizado e o calor fornecido à máquina,

$$e = \frac{W}{Q_{entra}} = \frac{Q_{entra} - Q_{sai}}{Q_{entra}}$$

1. Obtenha a eficiência térmica da máquina de Stirling em termos das temperaturas das fontes quente e fria.
2. Mostre que

$$\frac{Q_{1,2}}{T_{fonte\ quente}} = \frac{Q_{3,4}}{T_{fonte\ fria}}$$

Para isso escreva a eficiência térmica em termos do calor envolvido no ciclo e comparece o resultado obtido com a eficiência em termos das temperaturas (item 1).

- Que grandeza é essa que se mantém constante durante o ciclo de funcionamento da máquina de Stirling ideal?

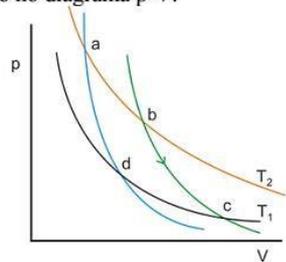
APÊNDICE D — ATIVIDADE 4: PÓS-TESTE/PRÉ/TESTE

Universidade Federal de Santa Maria
Disciplina de Física Geral e Experimental II
PRÉ-TESTE DE TERMODINÂMICA

Curso:
Idade: anos
Sexo: () feminino () masculino

Questão 1

A figura a seguir mostra um ciclo de Carnot, representado no diagrama p-V.

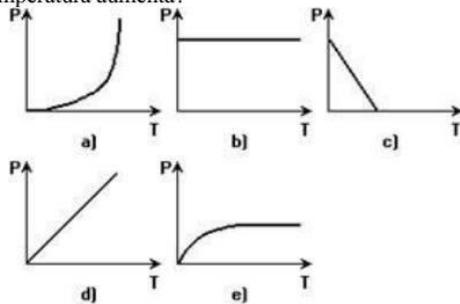


Se no trecho $b \rightarrow c$, desse ciclo, o sistema fornece 60 J de trabalho ao meio externo, então é verdade que, nesse trecho:

- (a) o sistema recebe 60 J de calor e sua energia interna diminui.
- (b) o sistema recebe 60 J de calor e sua energia interna não varia.
- (c) o sistema rejeita 60 J de calor e sua energia interna não varia.
- (d) não há troca de calor e sua energia interna aumenta de 60 J.
- (e) não há troca de calor e sua energia interna diminui de 60 J.

Questão 2

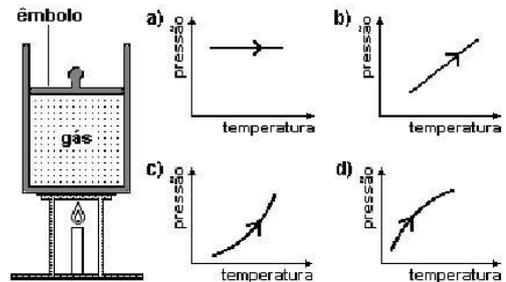
Qual dos gráficos a seguir melhor representa o que acontece com a pressão no interior de um recipiente contendo um gás ideal, a volume constante, quando a temperatura aumenta?



Questão 3

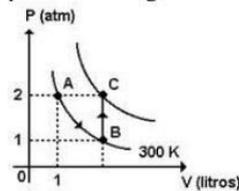
Um cilindro tem como tampa um êmbolo, que pode se mover livremente. Um gás, contido nesse cilindro, está sendo aquecido, como representado na figura.

Assinale a alternativa cujo diagrama MELHOR representa a pressão em função da temperatura nessa situação.



Questão 4

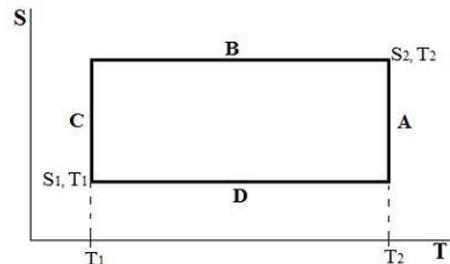
Na figura a seguir, o diagrama de Clapeyron mostra as transformações sofridas por uma certa massa de gás perfeito. A temperatura desse gás no estado C é:



- (a) 327 K
- (b) 300 K
- (c) 273 K
- (d) 212 K
- (e) 180 K

Questão 5

Em um diagrama da entropia (S) em função da temperatura (T) estão esboçados os processos correspondentes as quatro etapas de um ciclo de Carnot operando de forma reversível, com um gás ideal, entre a temperatura T_1 e T_2 . Mostre, usando setas, a direção ao longo de cada processo e identifique cada etapa começando primeiro com uma expansão isotérmica em T_2 .



Questão 6

Aumentar a eficiência na queima de combustível dos motores a combustão e reduzir suas emissões de poluentes é a meta de qualquer fabricante de motores. É também o foco de uma pesquisa brasileira que envolve experimentos com plasma, o quarto estado da matéria e que está presente no processo de ignição. A interação da faísca emitida pela vela de ignição com as moléculas de combustível gera o plasma que provoca a explosão liberadora de energia que, por sua vez, faz o motor funcionar.

Disponível em: www.inovacaotecnologica.com.br. Acesso em: 22 jul. 2010 (adaptado).

No entanto, a busca da eficiência referenciada no texto apresenta como fator limitante

- (A) o tipo de combustível, fóssil, que utilizam. Sendo um insumo não renovável, em algum momento estará esgotado.
- (B) um dos princípios da termodinâmica, segundo o qual o rendimento de uma máquina térmica nunca atinge o ideal.
- (C) o funcionamento cíclico de todos os motores. A repetição contínua dos movimentos exige que parte da energia seja transferida ao próximo ciclo.
- (D) as forças de atrito inevitável entre as peças. Tais forças provocam desgastes contínuos que com o tempo levam qualquer material à fadiga e ruptura.
- (E) a temperatura em que eles trabalham. Para atingir o plasma, é necessária uma temperatura maior que a de fusão do aço com que se fazem os motores.

Questão 7

Um motor só poderia realizar trabalho se receber uma quantidade de energia de outro sistema. No caso, a energia armazenada no combustível é, em parte, liberada durante a combustão para que o aparelho possa funcionar. Quando o motor funcionar, parte da energia convertida ou transformada na combustão não pode ser utilizada para a realização de trabalho. Isso significa dizer que há vazamento da energia em outra forma.

CARVALHO, A. X. Z. **Física Térmica**. Belo Horizonte: Pax, 2009 (adaptado).

De acordo com o texto, as transformações de energia que ocorrem durante o funcionamento do motor são decorrentes de a

- (A) liberação de calor dentro do motor ser impossível.
- (B) realização de trabalho pelo motor ser incontrolável.
- (C) conversão integral de calor em trabalho ser impossível.
- (D) transformação de energia térmica em cinética ser impossível.
- (E) utilização de energia potencial do combustível ser incontrolável.

Questão 8

Certa quantidade de um gás ideal ocupa um volume inicial V_i à pressão P_i e temperatura T_i . O gás expande até o volume V_f ($V_f > V_i$), segundo dois processos distintos: (1) a temperatura constante e (2) adiabaticamente.

Com relação à quantidade de calor Q fornecida, ao trabalho W realizado e à variação de energia interna ΔU de cada processo, pode-se afirmar que

- I - $Q_1 = Q_2$
- II - $Q_1 > Q_2$
- III - $\Delta U_1 = \Delta U_2$
- IV - $\Delta U_1 < \Delta U_2$
- V - $W_1 > W_2$

São verdadeiras APENAS as afirmações

- (A) I e III
- (B) I e IV
- (C) II e V
- (D) III e V
- (E) IV e V

Questão 9

A tabela a seguir apresenta alguns exemplos de processos, fenômenos ou objetos em que ocorrem transformações de energia. Nessa tabela, aparecem as direções de transformação de energia. Por exemplo, o termopar é um dispositivo onde energia térmica se transforma em energia elétrica.

Em De	Elétrica	Química	Mecânica	Térmica
Elétrica	Transformador			Termopar
Química				Reações endotérmicas
Mecânica		Dinamite	Pêndulo	
Térmica				Fusão

Dentre os processos indicados na tabela, ocorre conservação de energia

- (A) em todos os processos.
- (B) somente nos processos que envolvem transformações de energia sem dissipação de calor.
- (C) somente nos processos que envolvem transformações de energia mecânica.
- (D) somente nos processos que não envolvem energia química.
- (E) somente nos processos que não envolvem nem energia química nem energia térmica

Questão 10

Uma máquina térmica retira $4 \times 10^6 J$ de energia da fonte quente dos quais $3 \times 10^6 J$ são transferidos para a fonte fria.

O rendimento dessa máquina é de

- (a) 100% (b) 75% (c) 50% (d) 25% (e) 0%

Questão 11

Uma máquina térmica, operando em ciclos, retira energia na forma de _____ de um reservatório térmico à _____ temperatura. Uma parcela dessa energia é transferida para um reservatório térmico de temperatura _____, e a diferença entre essas quantidades é transformada em _____.

Assinale a alternativa que preenche corretamente as lacunas,

- (a) trabalho - alta - menor - calor
- (b) trabalho - baixa - maior - calor
- (c) calor - baixa - maior - trabalho
- (d) calor - alta - menor - trabalho
- (e) calor - alta - maior - trabalho

Questão 12

Num site da internet, aparecem as seguintes afirmações:

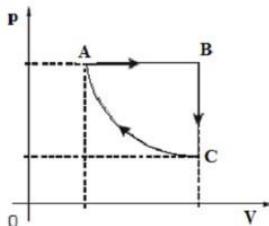
- I - Numa máquina térmica, a fonte quente tem mais calor do que a fonte fria.
- II - A máquina térmica que funciona segundo o ciclo de Carnot tem o maior rendimento possível, isto é, 100%.
- III - Os motores a explosão e as máquinas a vapor são exemplos de máquinas térmicas.

Está(ão) correta(s)

- (A) apenas I.
- (B) apenas II.
- (C) apenas III.
- (D) apenas I e III.
- (E) apenas II e III.

Questão 13

Um gás ideal submetido as transformações termodinâmicas mostradas no gráfico abaixo, sendo que durante o processo CA a energia interna do gás não varia.



Assinale a alternativa que identifica corretamente cada uma das transformações

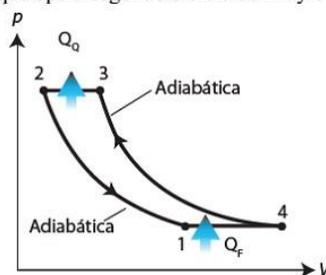
- (A) AB_ isotérmica; BC_ isobárica; CA_ isocórica
- (B) AB_ isocórica; BC_ isobárica; CA_ isotérmica
- (C) AB_ isobárica; BC_ isocórica; CA_ isotérmica;
- (D) AB_ isocórica; BC_ isotérmica; CA_ isobárica;
- (E) AB_ isobárica; BC_ isotérmica; CA_ isocórica;

Questão 14

Se você deixar a porta da geladeira na sua cozinha aberta por várias horas, a temperatura da cozinha aumenta, diminui ou permanece a mesma? E a entropia da cozinha? Suponha que a cozinha está fechada e bem isolada

Questão 15

O cotidiano é repleto de máquinas térmicas: automóveis com motor de combustão interna, aparelhos de ar condicionado e refrigeradores. A figura abaixo representa o diagrama pV de uma máquina térmica que opera segundo o ciclo de Brayton.



KNIGHT, R. D. Física 2: uma abordagem estratégica. Porto Alegre: Bookman, 2009. p. 580.

Considerando o diagrama pV representando na figura, avalie as afirmações abaixo.

- I. A área da região delimitada pela curva da figura é igual ao trabalho realizado sobre o gás para extrair calor (Q_F) de um reservatório frio e rejeitar uma quantidade maior de calor (Q_Q) para o reservatório quente.
- II. O gás deve sofrer uma expansão adiabática no processo de 2 para 1 para que sua temperatura fique abaixo da temperatura do reservatório frio.
- III. O gás deve sofrer uma compressão adiabática no processo de 4 para 3 para que sua temperatura fique acima da temperatura do reservatório quente.

É correto o que se afirma em

- (A) I, apenas.
- (B) II, apenas.
- (C) I e III, apenas.
- (D) II e III, apenas.
- (E) I, II e III.

Questão 16

Um mol de um gás ideal simples está contido em um recipiente de volume inicial V_0 e pressão p_0 . O gás ideal é descrito pelas equações $p.V = n.R.T$ e $U = \frac{3}{2}.n.R.T$, onde p é a pressão, V é o volume, T é a temperatura absoluta, U é a energia interna, n é o número de mols e R é uma constante. O gás se expande a partir desse estado inicial até o estado correspondente a um volume final $2V_0$ através de um dado processo. Determine o trabalho W realizado pelo gás e o calor Q recebido pelo gás em um processo de expansão quase-estática isotérmica.

- (A) $W = n.R.T.\ln(2)$ e $Q = \frac{3}{2}.n.R.T$
- (B) $W = 0$ e $Q = n.R.T.\ln(\frac{2V_0}{V_0})$
- (C) $W = n.R.T.\ln(2)$ e $Q = n.R.T.\ln(2)$
- (D) $W = n.R.T.\ln(\frac{2V_0}{V_0})$ e $Q = 0$
- (E) $W = 0$ e $Q = -\frac{3}{2}.n.R.T$

ANEXOS

**ANEXO A — PROGRAMA DA DISCIPLINA DE FÍSICA GERAL E EXPERIMENTAL II
(FSC 1025)**

	UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA PROGRAMA DE DISCIPLINA	
DEPARTAMENTO:		
FÍSICA		
IDENTIFICAÇÃO DA DISCIPLINA:		
CÓDIGO	NOME	(T-P)
FSC 1025	FÍSICA GERAL E EXPERIMENTAL II	(4-1)
OBJETIVOS - ao término da disciplina o aluno deverá ser capaz de :		
<p style="text-align: center;">Identificar fenômenos naturais em termos de quantidade e regularidade, bem como interpretar princípios fundamentais que generalizam as relações entre eles e aplicá-los na resolução de problemas simples</p>		
PROGRAMA:		
TÍTULO E DISCRIMINAÇÃO DAS UNIDADES		
<p>UNIDADE 1 - MOVIMENTO HARMÔNICO SIMPLES</p> <p>1.1 - A cinemática do movimento harmônico simples. 1.2 - Relação com o movimento circular. 1.3 - Molas. 1.4 - Energia. 1.5 - Equilíbrio. 1.6 - Pêndulo Físico. 1.7 - Movimento Harmônico forçado.</p> <p>UNIDADE 2 - SUPERPOSIÇÃO E INTERFERÊNCIA DE ONDAS</p> <p>2.1 - Ondas. 2.2 - Ondas estacionárias. 2.3 - Ondas progressivas. 2.4 - Som, intensidade e nível sonoro. 2.5 - Efeito Döppler. 2.6 - Ondas de choque.</p> <p>UNIDADE 3 - INTERAÇÃO GRAVITACIONAL</p> <p>3.1 - Lei da gravitação. 3.2 - Massa inercial e gravitacional. 3.3 - Energia potencial gravitacional. 3.4 - Campo de forças e potencial gravitacional. 3.5 - Campo gravitacional de um corpo esférico.</p> <p>UNIDADE 4 - PROPRIEDADES DOS FLUÍDOS</p> <p>4.1 - Os estados da matéria.</p>		
		(SEGUE)

PROGRAMA: (continuação)

- 4.2 - Pressão.
- 4.3 - Hidrostática.
- 4.4 - Princípio de Arquimedes.
- 4.5 - Dinâmica dos fluidos.
- 4.6 - Aplicações da equação de Bernoulli.
- 4.7 - Fluidos reais, viscosidade, turbulência.

UNIDADE 5 - TEMPERATURA E GASES IDEAIS

- 5.1 - Equilíbrio térmico, termômetros.
- 5.2 - Gases ideais e temperatura absoluta.
- 5.3 - Equação de estado.
- 5.4 - Gases reais, equação de Van der Waals.

UNIDADE 6 - FLUXO DE CALOR E A PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA

- 6.1 - Processos termodinâmicos, reversíveis e irreversíveis, capacidade calorífica.
- 6.2 - Calorimetria.
- 6.3 - Equivalente mecânico de calor.
- 6.4 - Trabalho.
- 6.5 - A primeira lei da termodinâmica.
- 6.6 - Energia interna de gases ideais.
- 6.7 - Aplicações dos gases ideais.

UNIDADE 7 - MOLÉCULAS E GASES

- 7.1 - Visão microscópica dos gases, pressão.
- 7.2 - Interpretação da temperatura.
- 7.3 - Distribuição de velocidade nos gases.
- 7.4 - Distribuição de Maxwell-Boltzmann.
- 7.5 - Colisões e fenômenos de transporte.

UNIDADE 8 - SEGUNDA LEI DA TERMODINÂMICA

- 8.1 - Segunda Lei.
- 8.2 - O ciclo de Carnot.
- 8.3 - Outros ciclos, motores Stirling, ciclo Diesel ciclo Otto, ciclo Brayton.
- 8.4 - Bombas de calor e refrigeração.
- 8.5 - Entropia e a Segunda lei da termodinâmica.
- 8.6 - Entropia e gases ideais.

UNIDADE 9 - PROPRIEDADES DOS SÓLIDOS

- 9.1 - Estruturas cristalinas.
- 9.2 - Tensão de deformação.
- 9.3 - Ondas em sólidos.
- 9.4 - Expansão térmica.
- 9.5 - Condução de calor resistência térmica.

UNIDADE 10 - EXPERIMENTOS EM FÍSICA

- 10.1 - Medidas de pressão, vazão, temperatura, densidade.
- 10.2 - Pêndulo simples e pêndulo físico.
- 10.3 - Oscilações de sistemas contínuos, molas, ar e ressonância.
- 10.4 - Estudo dos gases temperatura.
- 10.5 - Estudo da expansão térmica.

Data: ___/___/___

Data: ___/___/___

Coordenador do Curso_____
Chefe do Departamento

ANEXO B — BIBLIOGRAFIA DA DISCIPLINA DE FÍSICA GERAL E EXPERIMENTAL II (FSC 1025)

	UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA BIBLIOGRAFIA	
DEPARTAMENTO:		
FÍSICA		
IDENTIFICAÇÃO DA DISCIPLINA:		
CÓDIGO	NOME	(T-P)
FSC 1025	FÍSICA GERAL E EXPERIMENTAL II	(4-1)
BIBLIOGRAFIA:		
BIBLIOGRAFIA BÁSICA E COMPLEMENTAR		
BIBLIOGRAFIA BÁSICA		
HALLIDAY, Resnick. Física II , Rio de Janeiro, LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 2000, v.2.		
TIPLER, P., Física 1b . Rio de Janeiro, Editora Guanabara, 1996, v.1.b..		
BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR		
MCKELVEY, J.P. Física . São Paulo, LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora S.A, 2000, v.2.		
NUSENSWEIG, Moisés. Curso de Física Básica. 2 , São Paulo, Editora Edgard Blucher Ltda, 1981, v.2.		
SEARS E ZEMANSKY, Física 2 São Paulo, Addison Wesley, 2003, v.2.		