



Universidade Estadual de Maringá

Centro de Ciências Exatas

M N P E F

Departamento de Física



Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física

LUCAS CAMPANHOLI JUNIOR

**O USO DE UM PROTÓTIPO DE REFRIGERADOR COM PASTILHAS PELTIER:
UMA PROPOSTA DIDÁTICA PARA O PROCESSO ENSINO-APRENDIZAGEM
DAS LEIS DA TERMODINÂMICA E INTRODUÇÃO AOS CONCEITOS DE
TERMOELETRICIDADE**

Maringá - PR

Maio, 2019



O USO DE UM PROTÓTIPO DE REFRIGERADOR COM PASTILHAS PELTIER: UMA PROPOSTA DIDÁTICA PARA O PROCESSO ENSINO-APRENDIZAGEM DAS LEIS DA TERMODINÂMICA E INTRODUÇÃO AOS CONCEITOS DE TERMOELETRICIDADE

Lucas Campanholi Junior

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação da Universidade Estadual de Maringá (UEM) no Curso de Mestrado Nacional Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientadora: Profa. Dra. Hatsumi Mukai

Maringá - PR
Maio, 2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Biblioteca Central - UEM, Maringá – PR., Brasil)

Campanholi Junior, Lucas

C186u O uso de um protótipo de refrigerador com Pastilhas *Peltier*: uma proposta didática para o processo ensino-aprendizagem das leis da termodinâmica e introdução aos conceitos de termoeletricidade / . -- Maringá, 2019.

182 f. : il. color, figs. , tabs.

Orientadora: Profa. Dra. Hatsumi Mukai.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Maringá, Centro de Ciências Exatas, Departamento de Física, Programa de Pós-Graduação do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, 2019.

1. Física - Ensino. 2. Termodinâmica. 3. Termoeletricidade. 4. Pastilhas *Peltier*. I. Mukai, Hatsumi, orient. II. Universidade Estadual de Maringá. Centro de Ciências Exatas. Departamento de Física. Programa de Pós-Graduação do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física. IV. Título.

CDD 22. ED.530.07

Jane Lessa Monção CRB9 1173

O USO DE UM PROTÓTIPO DE REFRIGERADOR COM PASTILHAS PELTIER: UMA PROPOSTA DIDÁTICA PARA O ENSINO-APRENDIZAGEM DAS LEIS DA TERMODINÂMICA E INTRODUÇÃO AOS CONCEITOS DE TERMOELETRICIDADE

Lucas Campanholi Junior

Orientadora: Profa. Dra. Hatsumi Mukai

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação da Universidade Estadual de Maringá (UEM) no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Aprovada por:

Profa. Dra. Hatsumi Mukai (DFI/UEM)

Prof. Dr. Otávio Akira Sakai (IFPR/UMUARAMA)

Profa. Dra. Shalimar Calegari Zanatta (UNESPAR/MNPEF/UEM)

Maringá - PR
Maio, 2019

DEDICATÓRIA

Dedico esta dissertação à minha filha Helena, que chegou recentemente para transformar minha vida. À minha esposa Camila, companheira e incentivadora de todas as horas. Aos meus pais, Lucas e Marly, pelas oportunidades que me proporcionaram ao longo de toda vida.

AGRADECIMENTOS

À minha professora e orientadora Dra. Hatsumi Mukai, pela paciência e dedicação durante estes quase três anos de estudos no Programa Nacional de Mestrado Profissional em Ensino de Física.

Ao professor Jusmar e demais professores da Universidade Estadual de Maringá que fazem parte do programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, pela troca de experiências e pela qualidade das aulas ministradas.

À coordenação local anterior (Profa. Hatsumi e Prof. Luciano) e atual (Prof. Paulo Ricardo e Profa. Hatsumi) do MNPEF/UEM e à CPG/MNPEF/SBF, em especial ao acompanhante do polo Prof. Marco Antônio Moreira, e a secretária da CPG Silvana Feitosa, pelo trabalho realizado para o êxito deste mestrado.

Aos colegas de sala de aula pelas inúmeras experiências trocadas, pelos seminários que apresentamos juntos e pela parceria durante esses anos.

Aos meus alunos e colegas de trabalho que compartilharam comigo os momentos de alegria e tristeza.

Ao Departamento de Física da Universidade Estadual de Maringá pela infraestrutura.

À Sociedade Brasileira de Física que oportunizou a oferta deste Mestrado na Universidade Estadual de Maringá (UEM).

E, não menos importante, à minha Família, aos Amigos e Familiares.

À CAPES pelo apoio financeiro.

Sinceramente,

Muito Obrigado!

RESUMO

O USO DE UM PROTÓTIPO DE REFRIGERADOR COM PASTILHAS PELTIER: UMA PROPOSTA DIDÁTICA PARA O PROCESSO ENSINO-APRENDIZAGEM DAS LEIS DA TERMODINÂMICA E INTRODUÇÃO AOS CONCEITOS DE TERMOELETRICIDADE

Lucas Campanholi Junior

Orientadora: Profa. Dra. Hatsumi Mukai

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF) da Universidade Estadual de Maringá (UEM), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Este trabalho apresenta uma proposta didática (Produto Educacional) para o estudo de fenômenos termoeletrônicos. Tem por finalidade verificar a aprendizagem de conceitos de termodinâmica e apresentar conceitos de termoeletricidade. Para contextualização e aplicação da proposta utilizou-se um terminal de refrigeração composto por pastilhas *Peltier* adaptado de referências já existentes na literatura. Durante o processo ensino-aprendizagem foi possível identificar conceitos físicos estudados previamente, e apresentar os conceitos de termoeletricidade que explicam o funcionamento das pastilhas *Peltier*. Este trabalho está fundamentado na Teoria de Aprendizagem Significativa de Ausubel (baseados nos subsunçores) e os encaminhamentos metodológicos seguem os moldes dos Três Momentos Pedagógicos de Delizoicov, Angotti e Pernambuco. O produto educacional foi aplicado no Instituto Federal do Paraná, Campus Umuarama, em dezembro de 2017, aos alunos do 2º ano do Curso Técnico em Química, integrado ao Ensino Médio. Em relação ao relato das atividades praticadas pelos estudantes e a análise dos dados obtidos, ressalta-se a aplicação e empenho dos mesmos durante as atividades em grupo, curiosidade dos alunos pelos conceitos que ainda lhes eram desconhecidos (efeitos termoeletrônicos e pastilhas *Peltier*), e os bons resultados nas discussões e verificação de conhecimento que compõem a proposta.

Palavras Chave: Ensino de Física; Termodinâmica; Termoeletricidade; Pastilhas *Peltier*.

ABSTRACT

THE USE OF A REFRIGERATOR PROTOTYPE WITH PELTIER TABLETS: A DIDACTIC PROPOSAL FOR A TEACHING-LEARNING PROCESS OF THERMODYNAMIC LAWS AND INTRODUCTION OF THE THERMOELECTRICITY CONCEPT

Lucas Campanholi Junior

Supervisor:
Profa. Dra. Hatsumi Mukai

Master's dissertation submitted to Programa de Pós-Graduação do Mestrado Nacional Profissional de Ensino de Física (MNPEF) of the Universidade Estadual de Maringá (UEM), in partial fulfillment of the requirements for the degree Mestre em Ensino de Física.

This work presents a didactic proposal (Educational Product) for thermoelectric phenomena study. It aims to check the thermodynamic concepts learning and to introduce the thermoelectricity concepts. For the contextualization and application of the proposal, it was used a refrigerator terminal composed by Peltier tablets adapted from existing reference in the literature. During the teaching-learning process was possible to identify physics concepts previously studied and to introduce the thermoelectricity concepts which explain the Peltier tablet operation. This work is based on the Ausubel's Meaningful Learning Theory (based on "subsumers") and the methodological referrals follow the models of the three Pedagogical Moments of Delizoicov, Angotti and Pernambuco. The Educational Product was applied in the Instituto Federal do Paraná, Campus Umuarama, in December of 2017, to the 2nd grade students of Chemical Technician Course integrated in high school. In relation to the report of the practiced activities by the students and the data analysis obtained, it is highlighted the application and the commitment of them during the activities in group, curiosity of the students for the concepts which was Unknown by them (thermoelectric effects and Peltier tablets), and the discussion and knowledge check which composes the proposal good results.

Keywords: Physics Teaching; Thermodynamics; Thermoelectricity; Peltier tablets

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Organograma da sequência de apresentação do Capítulo 1.....	4
Figura 1.2 - Desenho esquemático indicando o que informa a Lei zero da Termodinâmica. .	10
Figura 1.3 – Desenho esquemático representando o funcionamento de Máquinas Térmicas. .	14
Figura 1.4 – Desenho esquemático representando o funcionamento de um Refrigerador.	16
Figura 1.5 - Desenho esquemático apresentando as partes de uma geladeira convencional. .	18
Figura 1.6 - Desenhos esquemáticos indicando o comportamento da variação da corrente elétrica.	20
Figura 1.7 - Imagem fotográfica e desenho esquemático de uma fonte de tensão chaveada. .	21
Figura 1.8 - Imagem fotográfica e desenho esquemático de um multímetro.	24
Figura 1.9 - Desenho esquemático de um amperímetro (A) ligado em série em um circuito elétrico.	25
Figura 1.10 - Desenho esquemático de um voltímetro (V) ligado em paralelo em um circuito elétrico.	26
Figura 1.11 - Imagem ilustrativa sobre o Efeito Seebeck.	27
Figura 1.12 - Imagem ilustrativa de um circuito fechado representando o Efeito Peltier.	28
Figura 1.13 - Desenho esquemático de um Módulo Peltier.	30
Figura 1.14 - Representação esquemática do módulo termoeletrico utilizado para refrigeração.	31
Figura 1.15 - Imagem fotográfica de uma pastilha Peltier.	33
Figura 1.16 - Imagem fotográfica de pastilha Peltier ligadas em série e paralelo.	34
Figura 1.17 - Desenho esquemático do funcionamento de um refrigerador (a) por compressão e (b) com pastilhas Peltier.	36
Figura 2.1 - Desenho esquemático do protótipo de um refrigerador.	39
Figura 2.2 - Imagem fotográfica da montagem preliminar, análise da pastilha Peltier.	42
Figura 2.3 - Imagem fotográfica da Pastilha Peltier acoplada ao terminal de resfriamento. .	42
Figura 2.4 - Imagem fotográfica da aplicação de pasta térmica em pastilhas Peltier.	43
Figura 2.5 - Imagem fotográfica da montagem do sistema de resfriamento com duas pastilhas.	43
Figura 2.6 – Imagens fotográficas do protótipo e termômetros testados.	44
Figura 2.7 - Imagem fotográfica, do Protótipo do Refrigerador	45
Figura 2.8 - Imagem fotográfica, apresentando as conexões do refrigerador para a fonte de tensão	46

Figura 2.9 - Foto da montagem experimental para o ESTÁGIO 1	53
Figura 2.10 –Taxa de aquecimento da Pastilha Peltier nos primeiros segundos.....	54
Figura 2.11 - Foto da montagem experimental para ESTÁGIO 2	55
Figura 2.12 – Taxa de variação da tensão (ddp) no tempo.....	56
Figura 2.13 –Taxa de variação da tensão (ddp) com a temperatura.....	57
Figura 2.14 - Foto para montagem experimental do ESTÁGIO 3	58
Figura 2.15 –Taxa de resfriamento do terminal Peltier.....	59
Figura 2.16 - Imagem fotográfica do Protótipo do Refrigerador	60
Figura 3.1 - Imagem fotográfica dos estudantes monitorando a temperatura das pastilhas Peltier (Estágio 1)	66
Figura 3.2 - Imagem fotográfica dos estudantes monitorando a medida do multímetro (Estágio 2).	67
Figura 3.3 - Imagem fotográfica da prática experimental do Estágio 3.	68
Figura 3.4 - Imagem fotográfica registrada dos estudantes realizando a atividade avaliativa	70
Figura 3.5 - Gráfico da análise das respostas referente à Questão 01.	78
Figura 3.6 - Gráfico da análise das respostas referente a Questão 01	79
Figura 3.7 - Gráfico da análise das respostas referente à Questão 03	80
Figura 3.8 - Gráfico da análise das respostas referente à Questão 02	80
Figura 3.9 - Gráfico da análise das respostas sobre à Questão 05.....	82
Figura 3.10 - Gráfico da análise das respostas sobre a Questão 04.....	82
Figura 3.11 - Gráfico da análise das respostas sobre a questão 08	83
Figura 3.12 - Gráfico da análise das respostas sobre a questão 09.	84

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 – Exemplos da resistividade de materiais condutores, semicondutores e isolantes.....	22
Tabela 1.2 – Dados da condutividade elétrica e térmica de alguns materiais.....	32
Tabela 2.1 - Dados da atividade experimental (Estágio 1).....	53
Tabela 2.1 a - Exemplo de resposta - Dados da atividade experimental (Estágio 1)	54
Tabela 2.2 - Dados da atividade experimental (Estágio 2).....	55
Tabela 2.2 a - Exemplo de resposta- Dados da atividade experimental (Estágio 2).....	56
Tabela 2.2 b - Exemplo de resposta - Dados da atividade experimental (Estágio 1 e 2).....	57
Tabela 2.3 - Dados da atividade experimental (Estágio 3).....	59
Tabela 2.3 a – Exemplo de Resposta - dados da atividade experimental (Estágio 3).....	59

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 - Organização da Proposta Didática, relacionando a aula, o momento pedagógico e a atividade proposta.....	49
Quadro 2.2 - Vantagens e desvantagens da refrigeração a base de pastilhas Peltier.....	62
Quadro 3.1 - Análise das Respostas do Questionário Diagnóstico	72
Quadro 3.2 - Análise das Respostas do Questionário Avaliativo	75
Quadro C.1 - Orçamento da lista dos materiais utilizados na construção do protótipo	105

LISTA DE SIGLAS

COBENGE	Congresso Brasileiro de Educação para Engenharia
CONEM	Congresso Nacional de Engenharia Mecânica
COP	Coeficiente de desempenho
DFTE	Departamento de Física Teórica e Experimental
IFPR	Instituto Federal do Paraná
MNPEF	Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física
PCN's	Parâmetros Curriculares Nacionais
PE	Produto Educacional
SBF	Sociedade Brasileira de Física
[sic]	<i>erat scriptum</i> , "assim estava escrito"
UEM	Universidade Estadual de Maringá
UFRN	Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Sumário

Introdução	1
Capítulo 1 – Fundamentação Teórica.....	4
1.1 TEORIAS DE APRENDIZAGEM	4
1.1.1 Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel	5
1.1.2 Três Momentos Pedagógicos	6
1.2 CONCEITOS E AS LEIS DA TERMODINÂMICA	8
1.2.1 Máquinas Térmicas.....	14
1.2.2 Refrigeradores convencionais.....	16
1.3 ELETRICIDADE	19
1.3.1 Conceitos de Definições	19
1.3.2 Efeito Joule	21
1.3.3 Medidas Elétricas.....	23
1.4 TERMOELETRICIDADE E EFEITOS TERMOELÉTRICOS.....	26
1.4.1 Módulos Termoelétricos	29
1.5 REFRIGERADOR: COMPRESSÃO × PELTIER.....	35
Capítulo 2 – O Produto Educacional – Material Pedagógico.....	38
2.1 APARATO EXPERIMENTAL	38
2.1.1 Materiais Utilizados.....	39
2.1.2 Guia para Montagem do Aparato Experimental	41
2.2 PROPOSTA DIDÁTICA	46
2.2.1 Objetivo	47
2.2.2 Contextualização no PCN’s	47
2.2.3 Etapas da Proposta Didática.....	47
2.2.3.1 Momentos Pedagógicos e seus objetivos aplicados à PD.....	48
2.2.3.2 Organização da Proposta Didática.....	49
2.2.4 Metodologia para a Aplicação da Proposta Didática.....	50
2.2.4.1 Problematização – Abordagem Teórica.....	50
Aula 01 - Problematização Inicial	50
Aula 02 - Problematização Inicial	51
2.2.4.2 Organização da Aprendizagem – Abordagem Experimental	52
Aula 03 - Organização do Conhecimento.....	52
2.2.4.3 Atividade Avaliativa.....	61
Aula 04 – Aplicação do Conhecimento	61
Capítulo 3 – Aplicação e Análise do Produto Educacional.....	63
3.1 CONTEXTO DA APLICAÇÃO – PÚBLICO ALVO	63
3.2 RELATO DA APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL.....	63
3.2.1 Aula 01 Problematização Inicial.....	63
3.2.2 Aula 02 Problematização Inicial.....	64
3.2.3 Aula 03 Organização do Conhecimento	65
3.2.4 Aula 04 Aplicação do Conhecimento	69
3.3 ANÁLISE DAS RESPOSTAS DAS ATIVIDADES	71

Considerações Finais	86
Referências Bibliográficas	88
ANEXO A Termo de Autorização	92
ANEXO B Exemplos de Respostas	93
APÊNDICE A Questionário Diagnóstico	98
APÊNDICE B Questionário Avaliativo.....	101
APÊNDICE C Investimento no Aparato Experimental	105
APÊNDICE D Produto Educacional	107

Introdução

A discussão sobre o Ensino de Física, sobre os métodos e técnicas de aprendizagens utilizadas pelos docentes é recorrente e está presente em diversos trabalhos científicos. Portanto, avaliar as tendências e os objetivos do modelo de ensino é sempre pertinente buscando a melhor relação entre o cotidiano do aluno e sua experiência escolar.

Nesse contexto, o presente trabalho foi motivado pelos desafios encontrados na prática docente e busca propor atividades que contemplem as exigências dos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN's) e, ao mesmo tempo, se utilizem de abordagens teóricas que facilitem o processo de ensino-aprendizagem. Destaca-se, também, a importância de propor, aos docentes, atividades que diminuam a distância entre a pesquisa científica e a realidade escolar.

Os PCN's apresentam algumas informações importantes sobre o conhecimento de Física e sobre a sua apresentação em sala de aula:

O ensino de Física tem se realizado frequentemente [sic] mediante a apresentação de conceitos, leis e fórmulas, de forma desarticulada, distanciados do mundo vivido pelos alunos e professores e não só, mas também por isso, vazios de significado (BRASIL, 1998, p. 22).

Um dos grandes desafios para o professor em sua prática é apresentar o conteúdo de maneira que possa ser concreta aos alunos, promovendo experiências para que percebam a aplicação prática da Ciência. Diante disso, “é imprescindível considerar o mundo vivencial dos alunos, sua realidade próxima ou distante, os objetos e fenômenos com que efetivamente lidam ou os problemas e indagações que movem sua curiosidade” (BRASIL, 1998, p. 23).

Contudo, as atitudes e decisões tomadas em sala de aula, devem proporcionar ao aluno uma visão crítica e dinâmica da sociedade, no contexto das mudanças tecnológicas que este presencia no seu dia-a-dia. Portanto, o ensino de Física em sala de aula deve contribuir para construção do conhecimento, como afirma Brasil (1998):

“[...] habilidades e competências concretizam-se em ações, objetos, assuntos, experiências que envolvem um determinado olhar sobre a realidade, ao qual denominamos Física, podendo ser desenvolvidas em tópicos diferentes, assumindo formas diferentes em cada caso, tornando-se mais ou menos adequadas dependendo do contexto em que estão sendo desenvolvidas” (BRASIL, 1998, p. 24).

Considerando tais aspectos sobre o ensino de Física, ressalta-se que a aprendizagem é uma construção pessoal que o aluno realiza a partir de conhecimentos prévios com ajuda de

outro, na qual o aluno deve estar interessado e ter disponibilidade para o aprendizado (COLL, 1996). Esta visão construtivista contribui para o entendimento do processo ensino-aprendizagem e corrobora com a necessidade da introdução de novos elementos na prática docente.

A partir dessa problemática, propõe-se uma atividade experimental com intuito de promover o interesse do aluno, levando-o a utilizar uma metodologia científica em sala de aula de maneira natural e cotidiana. Deste modo, busca-se por meio da experimentação levar o aluno ao conflito e conseqüentemente elaborar suas próprias conclusões. Busca-se também que a partir das observações os alunos possam desenvolver habilidades cognitivas, agregando conhecimento científico.

Para Delizoicov e Angotti (1992), ainda existe uma distância entre os resultados obtidos nas pesquisas científicas e a comunidade escolar. Isso não contribui para o desenvolvimento do pensamento crítico e desperta a necessidade de práticas de ensino que levem os estudantes a adentrar no universo da ciência e incorporar o conhecimento científico em sua cultura. Nesse sentido, Borges (2002) destaca que o importante é o envolvimento do educando com a proposta de buscar soluções aos problemas vivenciados por ele.

Considerando a relação entre as atividades práticas e experimentais com o aprendizado efetivo dos estudantes, este trabalho fundamenta-se na Teoria de aprendizagem de Ausubel (MOREIRA, 1999), com sua contribuição sobre Aprendizagem Significativa. O presente estudo utiliza como ferramenta metodológica a proposta dos Três Momentos Pedagógicos na teoria de Delizoicov, Angotti (1990) e ____; Pernambuco (2011). É relevante informar que ambas as teorias estão baseadas em conhecimentos prévios dos estudantes.

Quanto à escolha da proposta e sua forma de análise, o conteúdo deste trabalho está intimamente relacionado com a experiência do seu autor que possui formação e atuação na área de ensino em Física, sendo graduado em licenciatura em Física pela Universidade Estadual de Maringá (UEM), desde o ano de 2007. Possui especialização em Ensino de Matemática e Física pelo Centro Universitário Internacional (UNINTER) desde 2013. Atua com aulas de Física no Ensino Médio desde 2004, primeiramente nas instituições de ensino do município de Maringá - PR, em redes particulares e públicas de ensino. E, a partir de 2008 na cidade de Umuarama - PR. Atuou na modalidade professor efetivo na Secretaria de Educação do Estado do Paraná (SEED-PR) mediante concurso público (2009 - 2017), em rede particular de ensino (2004 - 2015) e em nível superior em várias instituições, inclusive como professor temporário na UEM (2015 - 2017), até o ano de 2017, quando foi aprovado no

concurso público do Instituto Federal do Paraná (IFPR) - Campus Umuarama (CAMPANHOLI JUNIOR, 2019).

Logo, a presente pesquisa tem como objetivo apresentar, como ferramenta pedagógica para contribuição ao processo ensino-aprendizagem, um material didático-pedagógico (Produto Educacional) contendo uma parte experimental. Sendo esse, as etapas da montagem de um refrigerador a base de pastilhas *Peltier* (instrumento de investigação) que pode ser replicado por outros docentes em suas aulas de ensino de Física. Nesse material contém também, uma Proposta Didática de sua aplicação com atividades previstas para verificação de aprendizagem dos principais conceitos das Leis da Termodinâmica. Além disso, apresenta a introdução dos conceitos de Termoeletricidade para alunos do Ensino Médio. Tal proposta visa contribuir para a formação e atuação de professores de Física, apresentando uma alternativa que acumule estes itens e possa despertar o caráter investigativo em vários níveis de ensino.

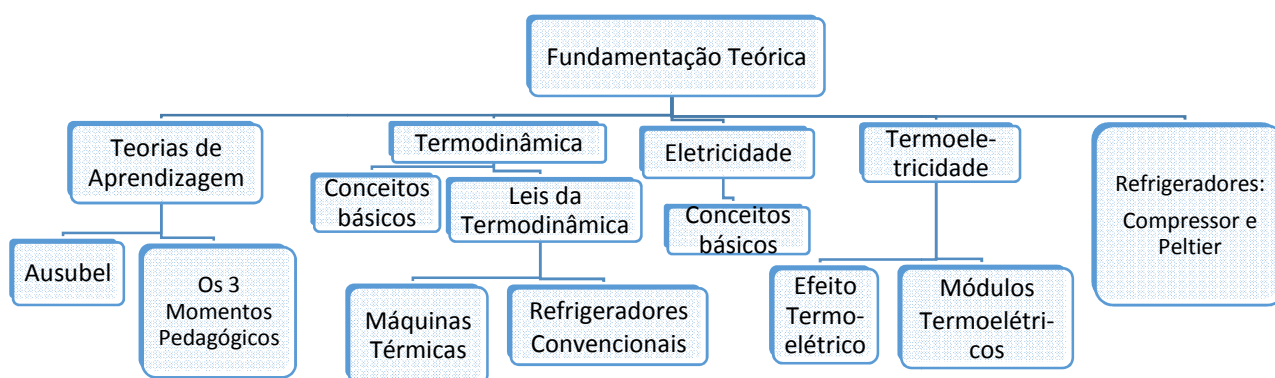
Destacando-se a importância de práticas experimentais, faz parte do contexto deste trabalho utilizar a montagem de um aparato experimental para investigação do aprendizado, visando introduzir conceitos aplicados ao cotidiano do estudante. Ambas as propostas estão em consonância com os objetivos dos PCN'S para o ensino de Física no Ensino Médio.

Diante do exposto, a organização deste trabalho contempla no Capítulo 1 a Fundamentação Teórica sobre as Teorias de Aprendizagem e sobre os conceitos de Termodinâmica, Eletricidade e Termoeletricidade. Fecha-se o capítulo com um paralelo entre o refrigerador a base de compressor e um de pastilhas *Peltier*. No Capítulo 2, são apresentados os encaminhamentos metodológicos utilizados na elaboração da Proposta Didática. Em seguida, no Capítulo 3, consta o relato das atividades, que ocorreram durante a apresentação da referida Proposta Didática, com dados, fotos, impressões colhidas no momento da apresentação. As considerações finais e algumas conclusões tiradas pelo autor estão apresentadas na sequência. Ainda seguem as referências bibliográficas listadas em ordem alfabética, seguidas do Anexo A, que contém a autorização da instituição para aplicação do Produto Educacional e do Anexo B com imagens das respostas do questionário diagnóstico e avaliativo de alguns alunos. Por fim, nos Apêndices A e B, as questões Diagnósticas e as Avaliativas, respectivamente, cada qual com as análises e possíveis respostas. No Apêndice C é apresentado um quadro do investimento feito para a construção do protótipo e sugestões de materiais alternativos. E, por último no Apêndice D, o Produto Educacional é apresentado separadamente, para facilitar o seu uso.

Capítulo 1 - Fundamentação Teórica

Este capítulo é dedicado a uma revisão teórica dos principais conceitos necessários para compreender e construir o protótipo de refrigerador, e aplicar a proposta didática. Na Figura 1.1 apresenta-se o organograma da estrutura deste capítulo.

Figura 1.1 – Organograma da sequência de apresentação do Capítulo 1.



Fonte: Desenvolvido pelo Autor

1.1 TEORIAS DE APRENDIZAGEM

O desenvolvimento deste trabalho apresenta um aporte teórico sustentado na Teoria de Aprendizagem Significativa desenvolvida na década de 1960, pelo psicólogo cognitivista americano David Paul Ausubel (1908-2008). O conceito de Aprendizagem Significativa relaciona a informação recebida com a estrutura cognitiva do indivíduo, fato que acontece de maneira hierárquica e organizada ao longo do processo ensino-aprendizagem (MOREIRA, 1999, p. 159).

A aplicação da proposta está associada ao modelo didático-pedagógico conhecido como “Três Momentos Pedagógicos” desenvolvidos por Demétrio Delizoicov¹ e José André

¹ Demétrio Delizoicov Neto, doutor em Educação pela USP-SP (1991) professor na UFSC. Fonte: currículo lattes <http://buscatextual.cnpq.br/buscatextual/visualizacv.do?id=K4785428E6>;

Angotti² (1990) e, ____, Marta Maria Pernambuco³ (2011). Os Momentos Pedagógicos apresentados são: problematização inicial, organização do conhecimento e aplicação do conhecimento.

Apresenta-se, também, a revisão bibliográfica dos conceitos físicos a serem utilizados ao longo do trabalho, tanto sobre Termodinâmica, Eletricidade, bem como a Termoeletricidade.

1.1.1 Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel

David Paul Ausubel, psicólogo nascido em Nova Iorque, nos Estados Unidos em 1918. Professor Emérito da Universidade de Columbia, médico psiquiatra e dedicou sua carreira acadêmica à psicologia educacional (FERRO; PAIXÃO, 1999).

Sua teoria tem como conceito central a Aprendizagem Significativa, baseada em conhecimentos prévios chamados de “subsunçores”, os quais são fundamentais no processo de assimilação de novos conceitos. Resumidamente, a aprendizagem significativa “é o processo por meio dos quais novas informações adquirem significado por interação (não associação), com aspectos relevantes preexistentes na estrutura cognitiva” (MOREIRA, 2006).

Propõe-se que, para ocorrer efetivamente este tipo de aprendizagem uma condição seria que o material a ser aprendido se relacione ou se incorpore à estrutura cognitiva do indivíduo. Chama-se este material de potencialmente significativo quando esta relação acontece de maneira não arbitrária e substantiva (AUSUBEL; NOVAK e HANESIAN, 1980 *apud* MOREIRA, 1999).

Quando um novo conceito é apresentado ao aprendiz e este se apresenta com pouca ou nenhuma interação em relação aos conhecimentos prévios (subsunçores), diz-se que ocorre uma aprendizagem mecânica, ou seja, tal conceito não fica armazenado e será esquecido posteriormente. A aprendizagem mecânica causa uma falsa impressão de que o ensino foi efetivo.

² Jose Andre Peres Angotti, doutor em Ensino de Ciências/Física - Instituto de Física - IFUSP e Faculdade de Educação - FEUSP da Universidade de São Paulo (1991). Professor na UFSC. Fonte: currículo lattes - <http://buscatextual.cnpq.br/buscatextual/visualizacv.do?id=K4785428J3>;

³ Marta Maria Castanho Almeida Pernambuco (?-2018). Doutora em Educação pela Universidade de São Paulo (1994), era Professora da UFRN – faleceu em 14/05/2018. Fonte: <http://portal.sbpcnet.org.br/noticias/tributo-a-educadora-marta-pernambuco/>.

Destacam-se em relação à classificação das formas de aprendizagem dois termos importantes (MOREIRA, 2006, p.30):

- **Diferenciação Progressiva:** que ocorre quando um conceito é aprendido por subordinação e se ancora em um conceito subsunçor, que também se modifica e,
- **Reconciliação Integrativa:** que ocorre quando novos conceitos são ancorados na estrutura cognitiva, seja de maneira superordenada ou combinatória, e adquirem novos significados.

A teoria de Ausubel propõe que durante o processo instrucional a estrutura cognitiva será o fator mais importante a ser considerado. Ou seja, o processo ensino-aprendizagem deve partir do que o sujeito já sabe. Para facilitar esse entendimento, Moreira (2006) apresenta o papel do professor, agrupado em quatro tarefas fundamentais:

- 1) Identificar a estrutura conceitual e proposicional da matéria de ensino;
- 2) Identificar quais os subsunçores relevantes à aprendizagem do conteúdo a ser ensinado;
- 3) Diagnosticar aquilo que o aluno já sabe (quais subsunçores estão disponíveis na estrutura cognitiva);
- 4) Ensinar utilizando recursos e princípios que facilitem a aquisição estrutural conceitual da matéria de ensino de uma maneira significativa.

Denomina-se a aprendizagem diante da concepção ausubeliana como Aprendizagem Verbal Significativa Receptiva. Verbal, pois, a linguagem é fator importante no processo. Receptiva, porque aprendizagem por recepção é o mecanismo humano por excelência, em qualquer área do conhecimento.

Após o conhecimento desta teoria da aprendizagem, procurou-se adotar uma metodologia para favorecer o diagnóstico dos conceitos prévios adquiridos pelos estudantes, buscando propiciar uma aprendizagem significativa no decorrer da proposta apresentada, sendo esta os Três Momentos Pedagógicos.

1.1.2 Três Momentos Pedagógicos

Segundo Muenchen e Delizoicov (2014), “Os Três Momentos Pedagógicos” se originaram de dinâmicas didático-pedagógicas que foram utilizadas e propostas nos livros publicados de Delizoicov e Angotti (1992) “Física” e ____ (1990; 1994) “Metodologia do

Ensino de Ciências”, e que estes referentes aos momentos em 2002, foram considerados como uma “Abordagem Temática” por Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2002; 2011).

Delizoicov e Angotti (1990) sugerem que um indivíduo com o mínimo de conhecimento científico terá atribuições para utilizá-lo em diversas situações de seu cotidiano.

Dentre várias questões que compõem a proposta destes autores, destaca-se a relação entre senso comum e conhecimento sistematizado. Neste escopo, o professor assume o papel de intermediar este conflito, pois, o estudante já possui conhecimentos prévios (anteriores à sala de aula) que se confronta com o conhecimento científico. Diante deste embate, o objetivo é construir um conhecimento de forma estruturada.

Outra questão importante é o embate, cotidiano versus conteúdo, que deve ser levado em consideração quando se trata do Ensino de Física, visando diminuir a distância entre o que é ensinado em sala de aula e o que é vivenciado pelo estudante.

Seguindo a motivação desta metodologia apresentam-se as características de cada um dos *Três Momentos Pedagógicos* propostos inicialmente por Delizoicov e Angotti (1990). E, segundo Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2011):

Problematização Inicial: Apresentam-se situações reais que os alunos conhecem e presenciam e que estão envolvidas nos temas, embora também exijam, para interpretá-las, a introdução dos conhecimentos contidos nas teorias científicas. Organiza-se este momento de tal modo que os alunos sejam desafiados a expor o que estão pensando sobre as situações. Inicialmente, a descrição feita por eles prevalece, para o professor poder ir conhecendo o que eles pensam. A meta é problematizar o conhecimento que os alunos vão expondo, de modo geral, com base em poucas questões propostas relativas ao tema e às situações significativas, questões inicialmente discutidas *num pequeno grupo*, para, em seguida, serem exploradas as posições dos vários grupos, com toda a classe, *no grande grupo*. [...] (DELIZOICOV, ANGOTTI e PERNAMBUCO, 2011, p. 200)

Organização do Conhecimento: Os conhecimentos selecionados como necessários para compreensão dos temas e da problematização inicial são sistematicamente estudados neste momento, sob a orientação do professor. As mais variadas atividades são então empregadas, de modo que o professor possa desenvolver a conceituação identificada como fundamental para uma compreensão científica das situações problematizadas. É neste momento que a resolução de problemas e exercícios, tais como os propostos em livros didáticos, pode desempenhar sua função formativa na apropriação de conhecimentos específicos [...]. (DELIZOICOV, ANGOTTI e PERNAMBUCO, 2011, p. 201)

Aplicação do conhecimento: Destina-se, sobretudo, a abordar sistematicamente o conhecimento que vem sendo incorporado pelo aluno, para analisar e interpretar tanto as situações iniciais que determinaram seu estudo como outras situações que, embora não estejam diretamente ligadas ao motivo inicial, podem ser compreendidas pelo mesmo conhecimento. [...] . A meta pretendida com este momento, é muito mais a de capacitar os alunos ao emprego dos conhecimentos, no intuito de formá-los para que articulem, constante e rotineiramente, a conceituação científica com situações reais, do que simplesmente encontrar uma solução ao empregar algoritmos matemáticos que relacionam grandezas ou resolver qualquer outro problema tipicamente dos livros textos. [...] o suporte teórico fornecido pela

ciência – é que estão em pauta neste momento. [...] (DELIZOICOV, ANGOTTI e PERNAMBUCO, 2011, p. 202)

Como visto, de acordo com esta teoria, cada momento tem sua função específica. Para a aplicação do Produto Educacional deste trabalho em sala de aula organizaram-se os encaminhamentos metodológicos baseados na proposta de Delizoicov e Angotti (1991) e _____, Pernambuco (2011), composta por estas três etapas denominadas de Momentos Pedagógicos.

Seguindo, a partir da próxima sessão, passa-se a apresentar uma revisão teórica dos principais conceitos referentes ao conteúdo da teoria da componente curricular para o ensino de Física que envolve o presente trabalho.

1.2 CONCEITOS E AS LEIS DA TERMODINÂMICA

Apresentar-se-á um referencial teórico sobre os principais conceitos de Termodinâmica envolvidos neste contexto, lembrando que um dos objetivos deste trabalho é verificar a aprendizagem de tais elementos. Para resgatar tais enunciados baseou-se nos textos de Mark W. Zemansky (1978) e David Halliday, Robert Resnick e Jearl Walker (2012) em nível de graduação e as Orientações Educacionais Complementares aos PCN's organizados pelo Ministério da Educação (que destacam os objetivos de tal assunto para estudantes do Ensino Médio), os livros didáticos de Ensino Médio entre eles: “termologia, ótica, ondulatória”, de José Roberto Bonjorno e coautores (2016), “Compreendendo a Física”, de Alberto Gaspar (2016), bem como, “Os Fundamentos da Física”, Volumes 2 e 3, de Francisco Ramalho Junior e coautores (1976).

Segundo as Orientações dos PCN's, para o estudo de Calor é indispensável identificar fontes de energia térmica e percursos do calor, investigando propriedades de substâncias e processo de transformação de energia (BRASIL, 2000, p.18).

A Termodinâmica é a área da Física em que trata, entre outros, de estudar as relações entre calor e outras formas de energia. As orientações dos PCN's trazem, dentro do tema estruturador: Calor, Ambiente e Formas de Energia, a unidade sobre “Tecnologias que usam calor: motores e refrigeradores”, em que um dos objetivos é “identificar a participação do calor e os processos envolvidos no funcionamento de máquinas térmicas de uso doméstico ou para outros fins, tais como geladeiras, motores de carro etc., visando sua utilização adequada” (BRASIL, 2000, p.22).

Para tratar de tópicos de Termodinâmica, em nível de Ensino Médio, se faz necessário enunciar alguns conceitos básicos, são eles: Temperatura, Calor e Energia Interna. Tomou-se como base autores de livros de Ensino Médio (Bonjorno, 2016 e Ramalho, 1976) para usar uma linguagem mais próxima da realidade dos estudantes, que são o público-alvo desta proposta.

Bonjorno (2016, p.12) explica que: “a **Temperatura**, é um indicador da energia cinética média das moléculas de um corpo”. Quanto maior a energia cinética média das moléculas de uma substância, maior será a sua temperatura, independente do estado da matéria (sólido, líquido ou gasoso). As moléculas de acordo com a estrutura da matéria e sua organização podem ter energia cinética de rotação, de vibração e de translação, além de contar com a energia potencial de interação entre as mesmas.

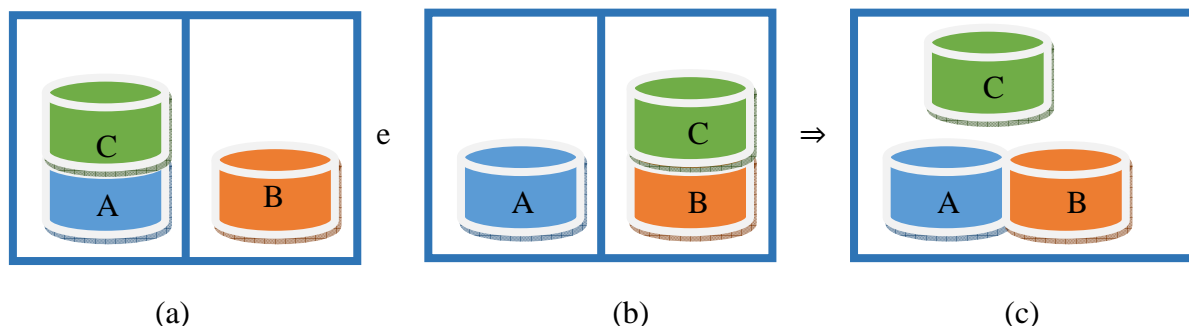
Define-se, então, como **Energia Interna** a soma das energias cinéticas e potencial dessas moléculas, ou seja, a energia total.

Por fim, apresenta-se o conceito de **Calor** como: “a energia térmica trocada entre dois corpos mediante uma diferença de temperatura entre eles”. Destaca-se que a transição de calor entre os corpos tem um fluxo que é estabelecido e não se inverte espontaneamente, ou seja, sempre o calor será transmitido do corpo de maior energia para o corpo de menor energia. Estes conceitos servem de embasamento para poder resgatar os enunciados das Leis da Termodinâmica.

Na **Lei Zero da Termodinâmica**, faz-se referência ao conceito de equilíbrio térmico e temperatura. A constatação de sistemas em equilíbrio se dá pela relação entre as temperaturas dos mesmos, ou seja, sistemas que não estão em equilíbrio térmico não terão a mesma temperatura. O embasamento deste conceito se dá pela propriedade matemática que postula: *se $A=C$ e $B=C$, então $A=B$.*

Fato esse, que é comprovado experimentalmente quando se analisa temperatura de diferentes corpos (A , B e C), cujo sistema está isolado termicamente como ilustrado na Figura 1.2. Em que: (a) O corpo A está em equilíbrio térmico com um corpo C , que estão termicamente isolados do corpo B e (b) o corpo B está em equilíbrio térmico com um corpo C isolado termicamente do corpo A . Então, (c) o corpo A e o corpo B estão em equilíbrio térmico entre si e terão a mesma temperatura de B . Em termos de temperatura: $T_A = T_C$ e $T_B = T_C \Rightarrow T_A = T_B$ que é igual a T_C . Os quadros em azul indicam o isolamento térmico.

Figura 1.2 - Desenho esquemático indicando o que informa a Lei zero da Termodinâmica. Em que: A, B e C, indicam os corpos cujas temperaturas (T_A , T_B e T_C) estão em análise: (a) $T_A = T_C$ e (b) $T_B = T_C$ \Rightarrow (c) $T_A = T_B = T_C$. Os quadros em azul indicam o isolamento térmico.



Fonte: Figura adaptada da referência (Halliday; Resnick; Walker, 2012).

Portanto, em um sistema isolado termicamente, a Lei Zero da Termodinâmica, formulada na década 1930, informa que: “Se dois corpos A e B estão separadamente em equilíbrio térmico com um terceiro corpo T, então A e B estão em equilíbrio térmico entre si.” (HALLIDAY; RESNICK; WALKER; p.185, 2012), sendo o corpo $T=C$ um termopar, um sensor de temperatura ou um termômetro. E assim, surgiu o conceito de temperatura. Como as duas próximas leis dependem desse conceito, esta foi denominada de Lei Zero.

A seguir, apresenta-se a primeira lei da termodinâmica, enunciada por Rudolph Clausius na Alemanha e independentemente por Kelvin (William Thompson - Lord Kelvin) na Escócia, em torno de 1849-1850. Ambos informam o que Sadi Carnot já havia citado sobre a primeira e a segunda lei antes em seus artigos, mas, esses só foram descobertos após sua morte (1832) e divulgados por Kelvin.

Conforme citado por Roque (2012), a lei informa que: “Quando um sistema sofre uma transformação, a soma algébrica das diversas variações de energia, do fluxo de calor, do trabalho efetuado, entre outros, é independente do mecanismo dessa transformação. Ela só depende do estado inicial e final do sistema” (ROQUE, 2012, p. 17). Posteriormente, o termo energia interna foi atribuída por Kelvin, embora Clausius já a tenha introduzido conceitualmente.

Logo, no enunciado da **Primeira Lei da Termodinâmica**, relacionam-se três tipos de energia: a Quantidade de Calor (Q) recebida (ou cedida) pelo sistema, a Variação de Energia Interna (ΔU) que depende somente do estado do material (temperatura, pressão e volume) e o Trabalho Termodinâmico (W) realizado (sobre ou pelo sistema) ao longo do processo. Tais

grandezas são medidas em Joule (J), segundo o Sistema Internacional de Medidas. Esta relação se configura numa equação que representa a conservação de energia (Equação 1.1):

$$Q - W = \Delta U \quad (1.1)$$

ou, na sua forma diferencial:

$$dQ - dW = dU.$$

Neste caso, diferentemente do caso da mecânica, o trabalho (W) depende da trajetória. Assim, no caso da termodinâmica, a Equação (1.1) é dada por uma relação em que um lado há duas grandezas (Q e W) que separadamente dependem da trajetória, e do outro uma (ΔU) que independe da trajetória, somente dos pontos inicial e final do processo termodinâmico. Indicando assim, que a quantidade $Q - W$ é a mesma, independem do processo, mas elas individualmente, ou qualquer outra combinação entre Q e W são dependentes do processo. Portanto, a principal propriedade física na 1ª Lei da Termodinâmica, é o de energia interna (U).

É importante observar que tais grandezas são expressas em termos matemáticos e que o sinal positivo ou negativo para cada uma implica em diferentes transformações. A seguir, apresentam-se as definições matemáticas e as variações dos sinais.

➤ Quanto à Quantidade de Calor (Q): em materiais sólidos é representada pela equação (1.2):

$$Q = m c \Delta T . \quad (1.2)$$

Sendo, m a massa do corpo, em Kg no SI, e c o calor específico do corpo em questão, e para gases vale a equação:

$$Q = n c \Delta T,$$

em que, n é o número de moles, o calor específico, $c = c_V$ a volume constante ou $c = c_P$ a pressão constante, dependendo de como ocorre o processo. A unidade de c é J/(Kg K) ou J/(mol K), no SI. O calor depende se absorvido ou cedido pelo sistema:

- $Q > 0$, (positivo) o sistema recebe calor;
- $Q < 0$, (negativo) o sistema cede calor;
- $Q = 0$, não haverá troca de calor com o sistema, configurando uma transformação adiabática.

Sua unidade é Joule (J) no SI, assim como a energia.

➤ Quanto ao Trabalho Termodinâmico (W) cuja unidade no SI é Joule (J): este também está relacionado à transferência de energia. Não depende da temperatura e sim da força que o realiza. Como a força envolve a pressão (P) e a área da seção transversal (A) de onde a força está atuando em um deslocamento Δy , $F = PA$, a equação do trabalho, $W = F\Delta y$, expresso em termos da pressão (P) que é uma grandeza sempre positiva e da área A , e considerando variação de volume $\Delta V = A\Delta y$, fornece a Equação (1.3):

$$W = P\Delta V = P(V_2 - V_1). \quad (1.3)$$

- Se $V_2 > V_1 \Rightarrow W > 0$, o sistema realiza trabalho;
- Se $V_2 < V_1 \Rightarrow W < 0$, o sistema recebe trabalho; e
- Se $V_2 = V_1 \Rightarrow W = 0$, o sistema não recebe, nem realiza trabalho.

Um processo que ocorre a pressão constante é denominado de Isobárico, e a que ocorre com volume constante de Isovolumétrica ou Isocórica. As unidades do SI: Pressão é dada em Pascal (Pa), volume em m^3 , área em m^2 , força em Newton (N), Δy em m .

Em um diagrama Pressão (P) versus Volume (V), a área abaixo da curva representa numericamente o trabalho (W) realizado sobre ou pelo sistema.

➤ Quanto à Variação da Energia Interna (ΔU): Esta é uma grandeza diretamente dependente da temperatura para os gases ideais (Lei de Joule). Analisando um processo que tenha ocorrido da variação de uma temperatura (T_1) até uma temperatura (T_2), sendo essa dada em Kelvin (K) no SI:

- Se $T_2 > T_1 \Rightarrow \Delta T > 0 \Rightarrow \Delta U > 0$, a energia interna do sistema aumenta;
- Se $T_2 < T_1 \Rightarrow \Delta T < 0 \Rightarrow \Delta U < 0$, a energia interna do sistema diminui;
- Se $T_2 = T_1 \Rightarrow \Delta T = 0 \Rightarrow \Delta U = 0$, não há variação da Energia Interna, esta grandeza está diretamente ligada à variação de temperatura do sistema.

Essas convenções de sinais apresentada é aceita pela maioria dos autores.

A seguir, analisa-se a Equação (1.1) para os diversos tipos de processos termodinâmicos:

- Processo adiabático: não há troca de calor com o meio ($Q = 0$ ou $dQ = 0$), sistema termicamente isolado, tal que a Equação (1.1) torna-se: $-W = \Delta U$;
- Processo isotérmico: temperatura constante ($T_f = T_i \Rightarrow \Delta U = 0$), e a Equação (1.1) torna-se: $W = dQ = Q$;
- Processo Isovolumétrico ou isocórico: o volume de mantém constante, ($V_f = V_i$) tal que o trabalho (Equação (1.3)) é igual a zero ($W = 0$). E, a Equação (1.1) fica escrita como: $Q = \Delta U$;
- Processo cíclico: a variação da energia interna é nula ($\Delta U = 0$), a Equação (1.1) fica expressa como: $\Delta Q = W$;

Embora a primeira Lei da Termodinâmica expresse a conservação de energia, a sua ocorrência espontânea é muito improvável, pois, a maioria dos processos naturais é irreversível, como por exemplo, o calor flui espontaneamente de uma temperatura de maior valor (corpo quente) para uma de menor (corpo frio), mas o processo inverso não ocorre. E assim foi necessário mais uma Lei que explique esse comportamento, que é a Segunda Lei da Termodinâmica. Como informado por Ramalho e coautores (1976): “*Ela apresenta um caráter estatístico, estabelecendo que os sistemas evoluam espontaneamente, segundo um sentido preferencial, tendendo para um estado de equilíbrio.*” (RAMALHO e coautores, 1976, p. 146).

Assim, para a **Segunda Lei da Termodinâmica** vale apresentar dois enunciados importantes (Zemansky, 1978):

- O primeiro atribuído ao físico alemão Rudolf Clausius (1822 - 1888):

É impossível obter um processo cujo único resultado seja a passagem espontânea de calor de um reservatório para outro reservatório com temperatura maior.

- O segundo atribuído ao físico-matemático e engenheiro britânico, o irlandês William Thompson (1824 – 1907), conhecido no Brasil com Lord Kelvin, e com o Físico alemão Max Karl Ernst Ludwig Planck (1858-1947), conhecido como o enunciado de Kelvin-Planck:

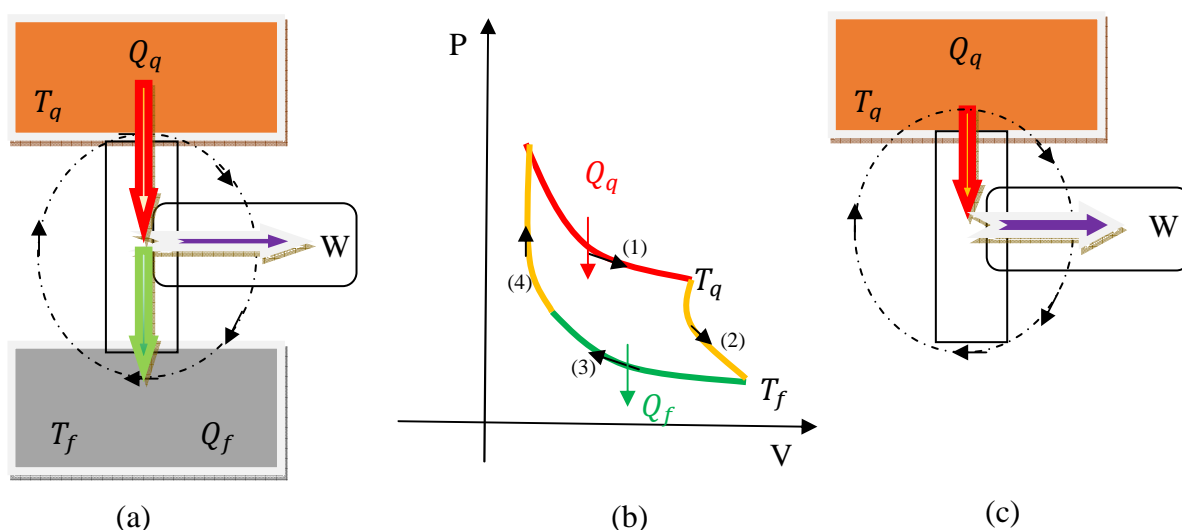
É impossível dispor de processo cíclico cujo único resultado seja o de converter calor, extraído de um único reservatório, totalmente em trabalho.

Estes enunciados são baseados em experimentos que permitiram a explicação de sistemas cíclicos que já haviam sido explicitados por Carnot. Esse assunto é o tratado na subseção (1.2.1).

1.2.1 Máquinas Térmicas

Nicolas Léonard Sadi Carnot (1796 – 1832) descreveu com propriedade o modelo teórico para o funcionamento de máquinas térmicas (Figura 1.3 (a)), cujo funcionamento configura a máquina de maior rendimento possível entre duas temperaturas, representada pelo ciclo de Carnot (Figura 1.3 (b)). A segunda lei da termodinâmica implica a não existência de uma máquina térmica ideal (Figura 1.3 (c)), em que todo calor inserido no sistema seja convertido totalmente em trabalho espontaneamente.

Figura 1.3 – Desenho esquemático representando o funcionamento de Máquinas Térmicas. (a) Máquina térmica real; (b) Máquina de Carnot representado pelo ciclo de Carnot; e (c) uma máquina ideal. Em que: em vermelho, o reservatório quente, de maior temperatura (T_q), que insere calor (Q_q) no sistema, no caso de uma máquina real (a) uma parte realiza trabalho (W) e outra é eliminada no reservatório de menor temperatura (T_f) em forma de quantidade de calor (Q_f). (b) que depende somente dos reservatórios de temperatura quente e fria. (c) todo calor inserido (Q_q) no sistema realiza trabalho (W), indicando que não há eliminação de calor. Em todos os casos o processo deve ser cíclico, indicado pelo círculo tracejado em (a) e (c) e em (b) por dois processos isotérmicos (1) e (3) (em vermelho e verde, respectivamente) e dois adiabáticos (2) e (4) (em amarelo), no diagrama $P \times V$.



Fonte: Figuras adaptadas da referência (Halliday, Resnick, Walker, 2012).

Em máquinas térmicas a variação da energia interna é nula ($\Delta U = 0$), pois, o processo é cíclico ($U_f = U_i$), tal que a primeira lei da Termodinâmica, Equação (1.4), fica escrita da seguinte forma:

$$\Delta Q = W \quad (1.4)$$

Sendo que a variação de calor (ΔQ) dada pela equação:

$$|Q_q| - |Q_f| = W \quad . \quad (1.5)$$

A Equação (1.5) é interpretada como: o Trabalho (W) realizado por uma máquina real é dada pela diferença entre quantidade de calor (Q_q) transferida da fonte quente (T_q) e quantidade de calor (Q_f) transferida para o reservatório frio (T_f).

O rendimento (η) de uma máquina pode ser definido pela razão entre a energia útil e sua energia total, nesse caso, para uma máquina térmica, que opera em ciclos (vale a Equação (1.5)), podemos escrever a razão entre Trabalho (W) e a quantidade de calor recebida (adquirida) da fonte quente (Q_q), Equação (1.6).

$$\eta = \frac{\text{Energia Útil}}{\text{Energia Adquirida}} = \frac{|W|}{|Q_q|} = 1 - \frac{|Q_f|}{|Q_q|} \quad . \quad (1.6)$$

No caso da máquina de Carnot, representada pelo ciclo de Carnot, em que o processo realizado na máquina térmica consta de dois processos adiabáticos alternados por dois processos isotérmicos (temperatura constante), ilustração da Figura 1.3 (b): Processo (1) expansão – insere calor (Q_q) no sistema e (3) compressão – rejeita calor (Q_f) são adiabáticos e os processos (2) e (4) são isotérmicos. E, Carnot demonstrou⁴ que para este ciclo (Equação (1.7)):

$$\frac{Q_q}{T_q} = \frac{Q_f}{T_f} \quad . \quad (1.7)$$

As quantidades de calor trocadas na máquina são proporcionais às suas respectivas temperaturas absolutas, tal que o rendimento (Equação (1.8)) depende somente das temperaturas absolutas dos reservatórios: T_q e T_f ,

$$\eta = 1 - \frac{T_f}{T_q} \quad . \quad (1.8)$$

⁴ É possível demonstrar esta equação, utilizando a equação da primeira lei da termodinâmica (Equação (1.1)) para os processos adiabáticos e isotérmicos e unir os resultados.

Assim, Carnot mostrou que o resultado da Equação (1.8) é o limite teórico de qualquer máquina térmica real, pois, se supor um rendimento de 100%, obtém-se que $T_f = 0 K$, o que implica que a máquina deveria operar entre uma fonte quente e fria a 0 K.

No caso da **máquina térmica ideal**, seria a representada na Figura (1.3(c)). Nesse caso, $W = Q_q$, então a razão $|W/Q_q|$ na Equação (1.6) será igual a 1, ou seja, fornece um rendimento (η) de 100%, o que não existe. Levando ao seguinte enunciado para a segunda lei da termodinâmica: “**Não existem máquinas térmicas perfeitas**”.

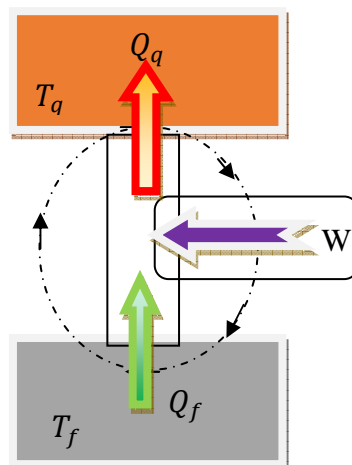
A seguir, vejamos o caso dos refrigeradores que é o assunto do presente trabalho.

1.2.2 Refrigeradores Convencionais

Os refrigeradores convencionais são representados como máquinas térmicas que operam em ciclos, porém, os ciclos ocorrem em sentido contrário, se comparados a uma máquina térmica convencional. Tal funcionamento só é possível porque o ciclo de um refrigerador recebe Trabalho (W) de um sistema externo.

Para exemplificar o funcionamento de um refrigerador pode-se utilizar uma geladeira doméstica que recebe uma quantidade de energia, o Trabalho (W) do compressor (sistema externo) e assim consegue, por meio de um sistema de troca de calor, retirar calor do seu interior, calor Q_f da fonte fria (T_f) e eliminar calor Q_q para o meio externo, que é o reservatório quente (T_q) (Figura 1.4).

Figura 1.4 – Desenho esquemático representando o funcionamento de um Refrigerador Convencional. Em que o sistema recebe energia em forma de Trabalho (W) e assim transfere energia (Q_f) da fonte de menor temperatura (T_f) para a fonte de maior temperatura (T_q) em termos de Q_q .



Fonte: Figura adaptada da referência (Halliday; Resnick; Walker, 2012).

A eficiência de um refrigerador (e) é dada pela razão entre a quantidade de calor Q_f retirada da fonte fria (T_f) e o Trabalho realizado sobre o sistema (W), em cada ciclo (Equação (1.9)):

$$e = \frac{\text{Energia Utilizada}}{\text{Energia Adquirida}} = \frac{|Q_f|}{|W|} = \frac{Q_f/\Delta t}{W/\Delta t} = \frac{P_{util}}{P_W}. \quad (1.9)$$

E, para o refrigerador de Carnot (limite teórico de um refrigerador real) a eficiência depende apenas dos valores das temperaturas dos reservatórios (Equação (1.10)):

$$e_{Carnot} = \frac{T_f}{T_q - T_f}. \quad (1.10)$$

A eficiência (Equação (1.9)) de um ar condicionado é aproximadamente 2,5, sendo que de uma geladeira aproximadamente 5.

A segunda lei da Termodinâmica para refrigeradores é enunciada como: “*Não existe uma série de processos, cujo único resultado seja transferir espontaneamente energia na forma de calor de uma fonte fria para uma fonte quente*” (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, p. 262, 2012). Ou seja: “**Não existe refrigerador perfeito**”.

No caso de um refrigerador, denominado de geladeira, a primeira construída foi em 1856, pelo australiano James Harrison (1816-1893), conhecido por esse feito de “Pai da refrigeração”. A geladeira funcionava pelo método da compressão a vapor.

No Brasil, o primeiro refrigerador foi construído por Guilherme Holderegger e Rudolf Stutzer, em Brusque – SC, no ano de 1947. Esses eram movidos a querosene. Em 15/07/1950 surge a primeira empresa de refrigeradores do Brasil, a CONSUL, de uma sociedade de Holderegger, Stutzer e Wittich Freitag, em Joinville, SC (FRIGORIFICO, 2019).

O princípio de funcionamento de geladeiras utiliza a evaporação de um líquido para a absorção de calor. Semelhante à quando molhamos a pele com álcool (volátil) e conforme este evapora dá uma sensação de gelado.

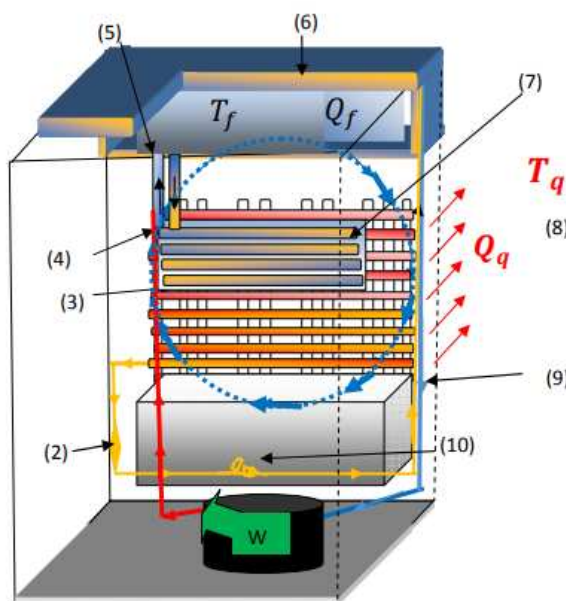
As geladeiras convencionais atuais são constituídas de um motor (compressor), uma serpentina na parte exterior, “atrás” da geladeira e uma oclusa na parte interior, no dito “congelador” chamada de evaporador, um capilar, e o gás circulante (Figura 1.5). Nessa serpentina oclusa circula um gás de fácil evaporação, como por exemplo, o gás freon⁵ cuja

⁵ O gás freon, descoberto por Thomas Midgely Jr e Charles Franklin Kettering em 1926. Patentado pela empresa Frigidaire em 1928 e produzidos desde 1930, pelas empresas General Motors e Du Pont, é um gás a

temperatura de evaporação é de -40°C ou a amônia⁶, que possui a temperatura de evaporação de -32°C . Atualmente se utiliza o tetrafluoretano ($\text{CF}_3\text{CH}_2\text{F}$) não prejudicial à camada de ozônio.

Quando a temperatura aumenta na parte interna da geladeira, aumenta-se a pressão do gás por meio do compressor, o que eleva sua temperatura. O gás aquecido direciona-se para o condensador (tubos visíveis atrás da geladeira). Ao trocar calor com a temperatura ambiente, o gás irá condensar dentro da serpentina. O gás agora no estado líquido ao passar pela válvula de expansão (capilar na Figura 1.5) fará com que ocorra uma brusca diminuição da sua pressão e com isso muda instantaneamente de estado novamente para o gasoso e à temperatura inicial de -32°C (auto-resfriamento ou arrefecimento em termos técnicos), mantendo-se nessa temperatura retornando ao congelador e o ciclo reinicia.

Figura 1.5- Desenho esquemático apresentando as partes de uma geladeira convencional. (1) Compressor, onde realiza trabalho (W); (2) Filtro secador; (3) Condensador; (4) linha de descarga (por onde o fluido em forma de gás sobe devido a alta pressão); (5) sentido do fluido na forma líquida ou mista; (6) evaporador principal, do lado externo (laterais, parte superior e inferior) do congelador situa o sistema de circulação do fluido; (7) evaporador secundário (placa fria); (8) fonte quente, T_q e Q_q (ambiente); (9) linha de sucção (fluido na forma gasosa, baixa pressão); (10) tubo capilar.



Fonte: O autor e H. Mukai

base dos gases denominados de CFCs (combinações orgânicas de Cloro Fluor e Carbono). Entre suas principais características estão a não toxicidade, inodoros, não inflamáveis, e não corrosivos. Usado como agente refrigerante ou gás propulsor de aerossóis, pouco tóxico e quando disperso na alta atmosfera é um dos principais responsáveis pela destruição progressiva da camada de ozônio. **Fonte:** FREON_Wikipedia.

⁶ Utilizado em refrigeração 1800- 1929, mas por ser altamente tóxico, assim como os gases: Cloreto de Metil e Dióxido de Enxofre, todos utilizados para o mesmo fim, e devido a acidentes de vazamento, os refrigeradores deveriam ser mantidos ao ar livre. Assim, surgiu a busca de outros tipos de gases não tóxicos, que é onde entra o gás freon, citado na nota de rodapé 2. **Fonte:** FREON Wikipedia.

As situações explicitadas estão contempladas nas Orientações dos PCN's e estão de acordo com os assuntos estudados durante o Ensino Médio.

As próximas sessões tratam de Eletricidade e dos Efeitos Termoelétricos sobre as quais está baseada a construção do dispositivo utilizado no protótipo do refrigerador.

1.3 ELETRICIDADE

Para a compreensão de termoeletricidade e para a montagem do protótipo do refrigerador e efetuar as principais conexões para realizar as leituras necessárias, nesta seção apresentam-se brevemente algumas definições e as informações básicas. A referência básica utilizada neste capítulo foi o volume 3 da referência (Ramalho e coautores, 1976).

1.3.1 Conceitos e Definições

A corrente elétrica é constituída por elétrons livres em um movimento ordenado quando o sistema é submetido a uma diferença de potencial (ddp). E, essa por sua vez, é gerada por um gerador elétrico (por exemplo: pilha, bateria e outras fontes de tensão). A unidade de medida da diferença de potencial é Volts (V), em homenagem a Alessandro Giuseppe Anastásio Volta (1745-1827), físico italiano, conhecido pela pilha de Volta (1800).

A intensidade de corrente média é dada pela Equação (1.11) e, a intensidade de corrente instantânea pela Equação (1.12). A unidade de medida da corrente elétrica é Ampère (A), em homenagem a André Marie Ampère (1775-1836) de origem francesa, matemático, que se dedicou aos fenômenos eletromagnéticos de forma empírica, trabalho este publicado em 1826.

$$i_m = \frac{\Delta q}{\Delta t} \quad , \quad (1.11)$$

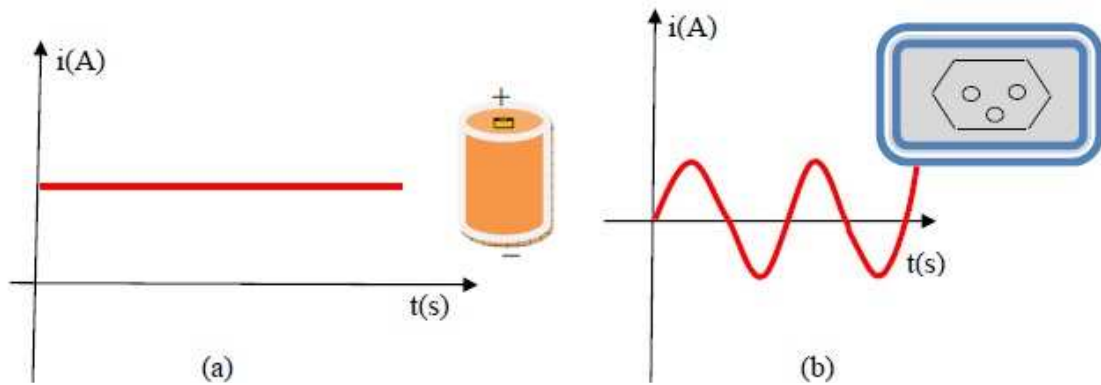
$$i_{inst.} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta q}{\Delta t} \quad . \quad (1.12)$$

Sendo que, $\Delta q = ne$, é a variação de carga (q) dada pelo número de elétrons (n) de carga (e), que atravessa uma seção transversal por onde percorre (fio) por unidade de tempo Δt . A carga elétrica (q) tem como unidade o Coulomb (C) em homenagem a Charles Coulomb (1736-1806) também de origem francesa, físico e que construiu em 1784 a balança de torção o que permitiu medir a força entre cargas elétricas.

A corrente é classificada de duas formas: corrente contínua e corrente alternada. Esses conceitos são importantes para o uso de equipamentos eletrônicos. Quando se diz corrente contínua, esse fato está associado ao gerador de corrente contínua⁷ (CC ou DC). Um exemplo é a pilha ou bateria que fornece corrente contínua. O comportamento gráfico é o apresentado na Figura 1.6 (a).

Já no caso da corrente alternada (CA), que é assim denominado por variar de intensidade e sentido alternadamente (Figura 1.6 (b)) em relação ao tempo. Um exemplo de gerador de CA é a corrente que chega na tomada de nossas casas. Para esse tipo de fonte, é importante saber a frequência desta oscilação, no caso de residências é de 60 Hertz (Hz). Lembrando que: Hz = ciclos/segundo.

Figura 1.6 - Desenhos esquemáticos indicando o comportamento da variação da corrente elétrica. Corrente Elétrica (i) em Ampère (A) no tempo (t) em segundos (s). Em (a) corrente contínua (como exemplo o gerado por uma pilha, em que + e – o polo positivo e negativo, respectivamente) e (b) corrente alternada como a que chega da tomada de residencial.



Fonte: Figura adaptada da referência (Ramalho e coautores, 1976)

Assim, para escolher uma fonte, devem-se verificar as seguintes informações: tipo, tensão, corrente e sua potência, de acordo com a sua utilização. Exemplo: Fonte chaveada 12 V; 10 A; 120 W (Figura 1.7 (a)). As saídas para as conexões externas estão apresentadas na Figura 1.7 (b). Logo, é importante saber a nomenclatura que consta no equipamento, no caso: L – linha (positivo); N – Negativo, e será a saída da fonte para conectá-la à tomada de rede. Além de outras informações como indicado na legenda da Figura 1.7 item (b).

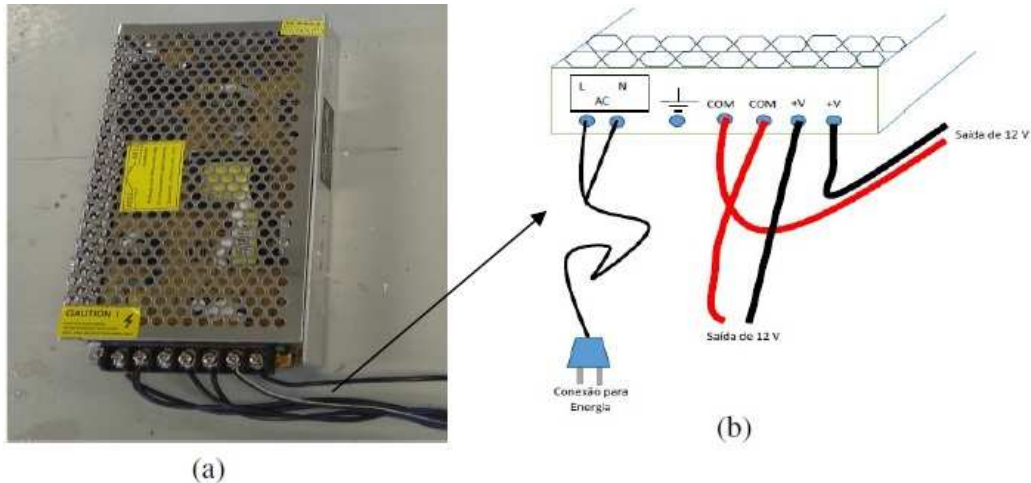
A potência de funcionamento é dada por (Equação 1.13)

$$P = i V, \quad (1.13)$$

⁷ CC abreviatura de Corrente Contínua, e DC abreviatura do Inglês: *Direct Current*.

em que, i representa a intensidade da corrente elétrica em (A), V a diferença de potencial fornecida pela fonte em (V) e P é a potência medida em Watts (W), em homenagem ao Matemático e Engenheiro Britânico James Watt (1736 - 1819).

Figura 1.7 - Imagem fotográfica e desenho esquemático de uma fonte de tensão chaveada. (a) fonte de tensão chaveada de 12V, 10 A e 120 W. E, (b) um desenho esquemático dos pontos de ligação: L – Linha (positivo); N – Negativo; AC – Corrente Alternada; símbolo de Terra; COM (negativo - algumas fontes vêm com a notação -V) e +V (Positivo). Nesta fonte há duas saídas de 12 V.



Fonte: (a) Arquivo do Autor. (b) elaborada por H. Mukai.

A próxima subseção trata de um efeito, denominado Efeito Joule, existente na termodinâmica, eletricidade e termoeletricidade, visto que em todos envolvem calor dissipado.

1.3.2 Efeito Joule

Um conceito importante para o presente trabalho é o efeito Joule. Este é um efeito de transformação de energia elétrica em energia térmica (explica como o calor é dissipado durante o funcionamento de um circuito elétrico). Esse efeito aparece em equipamentos que usam resistência elétrica, como por exemplo: chuveiros elétricos, aquecedores elétricos, ferro de passar roupa, lâmpadas incandescentes, fusíveis, entre outros. Ocorre em materiais condutores e é um efeito da colisão entre os elétrons livres com os átomos do material condutor, transferindo parte da energia elétrica que recebem da fonte (gerador), e se transformam em calor que aumenta a temperatura do condutor (resistor). A equação que representa a dissipação de calor de um resistor é dada por:

$$P = R i^2, \quad (1.14)$$

em que, P é a potência dissipada em Watts (W), R a resistência em Ohm (Ω) e i a corrente elétrica em Ampère (A), no sistema internacional de unidades (SI).

A Equação (1.14) surge da Lei de Ohm, que relaciona a diferença de potencial (V), que é a causa do movimento das cargas elétricas (q), com o efeito, que é a passagem da corrente elétrica (i) pelo condutor, representada matematicamente como:

$$V = R i , \quad (1.15)$$

ao ser substituída na Equação (1.13). Na Equação (1.14) da potência e na Lei de Ohm (Equação (1.15)), aparece a letra R , que se refere a resistência elétrica de um resistor. Recebe esse nome por oferecer resistência a passagem de corrente elétrica. Sua unidade é Ohm (Ω), em homenagem ao físico alemão George Simon Ohm (1787-1854). Essa lei que leva o seu nome é de 1827.

Um fator importante é que a resistência elétrica de um resistor depende do material que é feito bem como de suas dimensões, e é representada pela Equação (1.16):

$$R = \rho \frac{L}{A} , \quad (1.16)$$

sendo: ρ a resistividade do material (depende da substância/material que é constituído – Tabela (1.1)); L representa o comprimento do resistor e A representa a sua área da secção reta.

Tabela 1.1 – Resistividade de alguns materiais condutores, semicondutores e isolantes.

Material	$\rho(\Omega mm^2/m)$ a $T = 20^\circ C$
Alumínio (99,9%)	0,0284
Alumínio temperado	0,0288
Alumínio	0,0278
Antimônio (Sb)	0,4170
Bismuto (Bi)	1,300
Borracha	10^{17}
Chumbo	0,2114
Cobre eletrolítico	0,0167
Cobre recozido normal	0,0173
Constantan (Cu 60% – Ni 40%)	0,5000
Estanho	0,1195
Ferro puro comercial	0,0970
Ferro fundido	0,9200
Latão (Cu 60% – Zn 40%)	0,818
Mica	10^{15}
Ouro	0,022
PET	10^{26}
Prata (Ag)	0,0158

Fonte: EDUFER, <http://www.edufer.com.br> – Acesso em 20/02/019.

Uma análise da influência do tipo de material: Um material condutor de cobre normal com 1,0 m de comprimento e seção transversal de $0,5 \text{ mm}^2$, usando a Equação (1.16) terá uma resistência de: $0,0346 \Omega$. Se o material fosse de ouro (com mesmo comprimento e seção transversal de área) a resistência será de $0,044 \Omega$. Logo, o cobre possui uma resistência/resistividade menor que a do ouro. Como a resistividade é menor, então a condutividade elétrica ($\sigma = \frac{1}{\rho}$) é maior no caso do cobre do que a do ouro. Logo, o fato de se utilizar fios de cobre é por ser mais condutor em relação ao de ouro, além de ser menos dispendioso. Mas, em alguns casos utiliza-se o ouro, por ser menos oxidante. O fator condutividade será importante nos dispositivos Peltier. Nesse caso há também a condutividade térmica que será apresentada na seção 1.4.

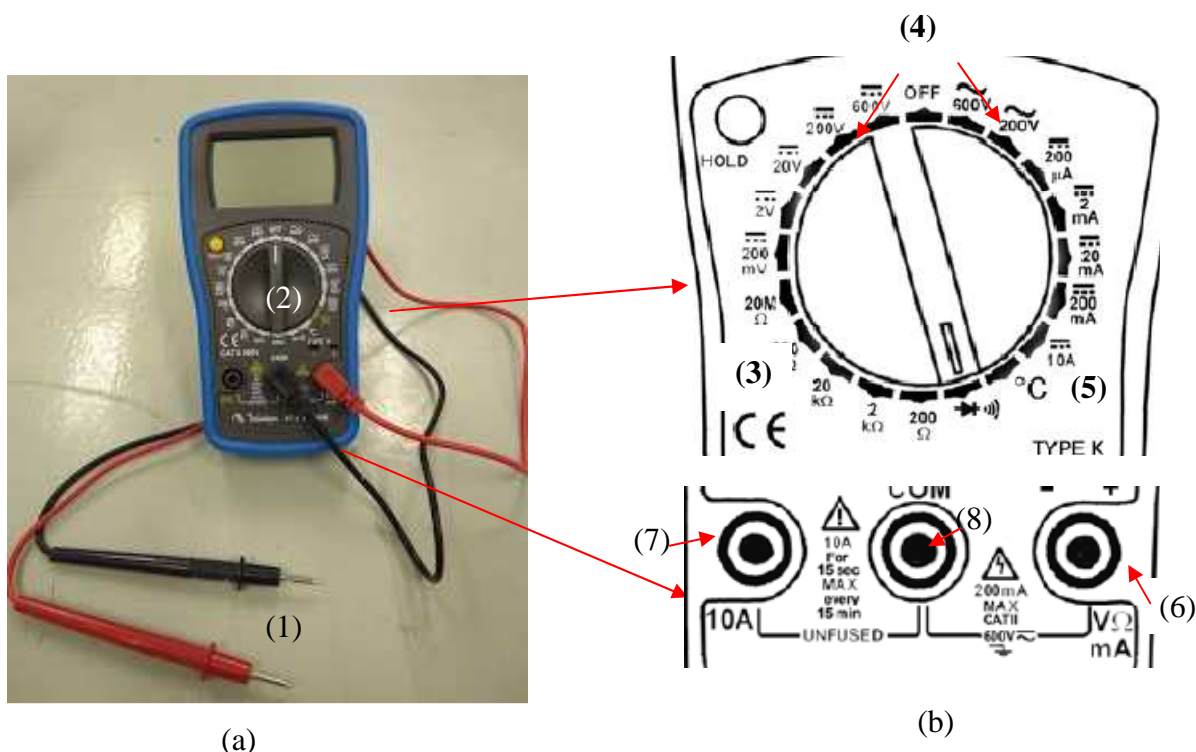
Apresentado estes conceitos, segue-se em como realizar as medidas elétricas de tensão, corrente e resistência.

1.3.3 Medidas Elétricas

O equipamento básico utilizado para aferir os valores de corrente, tensão e resistência é chamado de **multímetro** (Figura 1.8). Este possui as funções de amperímetro (medir corrente), voltímetro (tensão) e ohmímetro (resistência). Alguns modelos têm a função de aferir temperatura, ou seja, ser utilizado como um termômetro. Apresenta-se na Figura (1.8) uma foto do multímetro utilizado na aplicação do Produto Educacional (PE), ressaltando que há vários modelos da mesma marca. Ao utilizar recomenda-se que se leia o manual e siga as instruções do mesmo.

Normalmente, por convenção, se utiliza o cabo de conexão com ponteira vermelha como positivo (+) e com a ponteira preta o negativo (-). Os locais para conectar a outra extremidade do cabo de conexão com pino banana são: no indicado por COM (Figura 1.8 (b) item (9)) vai a extremidade preta e a vermelha no que se deseja aferir: $V/\Omega/\text{mA}$, (Figura 1.8 (b) item (7)), para medir tensão ou resistência ou corrente na escala de mA, respectivamente. Há mais um local de conexão que é para aferição de corrente de 20 A (Figura (1.8 (b)) item (8)). Antes de ligar o multímetro sempre posicione o botão seletor (Figura (1.8 (a)) item (2)) para o tipo de medida que se deseja fazer.

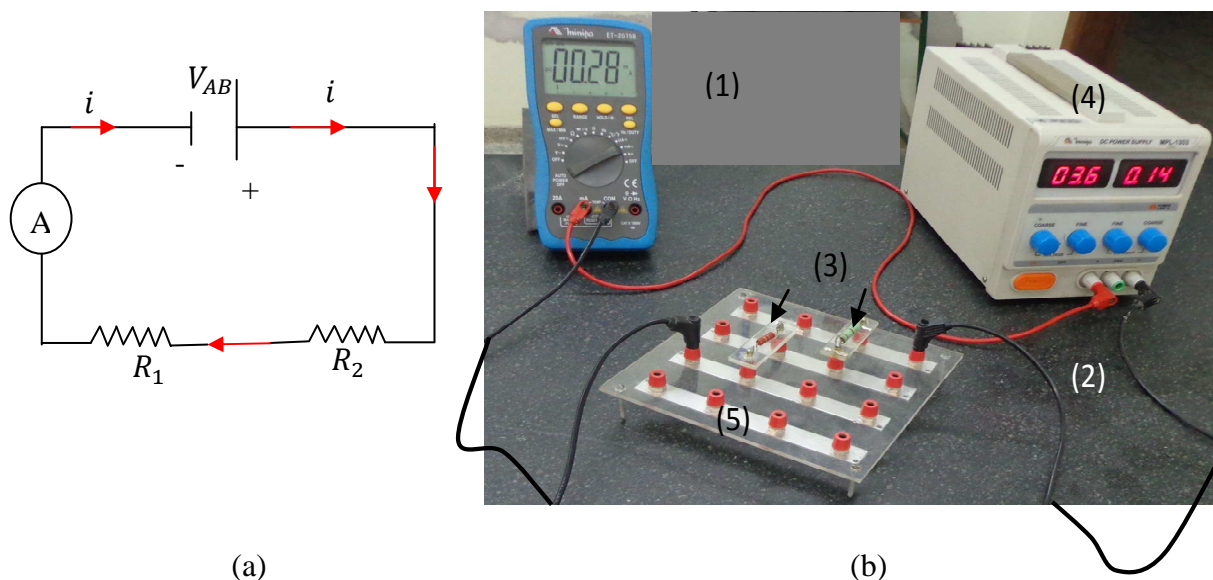
Figura 1.8 - Imagem fotográfica e desenho esquemático de um multímetro. (a) um multímetro da marca Minipa, em que (1) os cabos conectores (denominados de ponteiras), (2) a escala seletora, (3) na posição de ohmímetro, em (4) como voltímetro (CC ou CA), e em (5) como amperímetro (neste caso a posição dos conectores (6) e (7) deve ser em (mA) ou (10 A) dependendo do tipo de medidas. E, (8) o COM sempre conectado para qualquer uma dessas medidas a ser realizada. Além disso, (6) para medidas de temperatura com o auxílio de um fio com um termopar na outra extremidade.



Fonte: (a) Arquivo do Autor; (b) Adaptada do Manual do multímetro – Minipa ET 1110.

Para medir corrente, o multímetro na escala de amperímetro, deve ser ligado em série no circuito, como no exemplo da Figura 1.9 (a) esquema do circuito, e (b) mesma ligação nos equipamentos (Fonte de tensão e Multímetro). Observando a Figura 1.9 (b), acompanhando o circuito apresentado em (a): o fio vermelho sai da fonte (4) conecta ao multímetro (1), do multímetro sai um fio preto que está conectado no outro ponto da *protoboard* (5), tendo os resistores ao meio (3), e na outra extremidade da *protoboard* sai um fio preto conectado a fonte de tensão (4) formando uma ligação em série. Caso não se tenha a *protoboard* utilizar os jacarés para fazer as conexões.

Figura 1.9 - Desenho esquemático um amperímetro (A) ligado em série em um circuito elétrico. (a) um amperímetro (A) ligado em série em um circuito elétrico. Sendo, R_1 e R_2 , as resistências, e V_{AB} a ddp fornecida pelo gerador (fonte de tensão) e i representando por meio da seta a direção de circulação da corrente elétrica. Indicado no sentido convencional do polo positivo para o negativo. E, (b) Imagem fotográfica das conexões nos equipamentos do circuito apresentado em (a), Amperímetro (1); (2) fios de conexão; (3) resistores; (4) fonte de tensão; (5) *protoboard* (placa de conexão) - Materiais do DFI/UEM – Laboratório Didático⁸ de Física Experimental III.

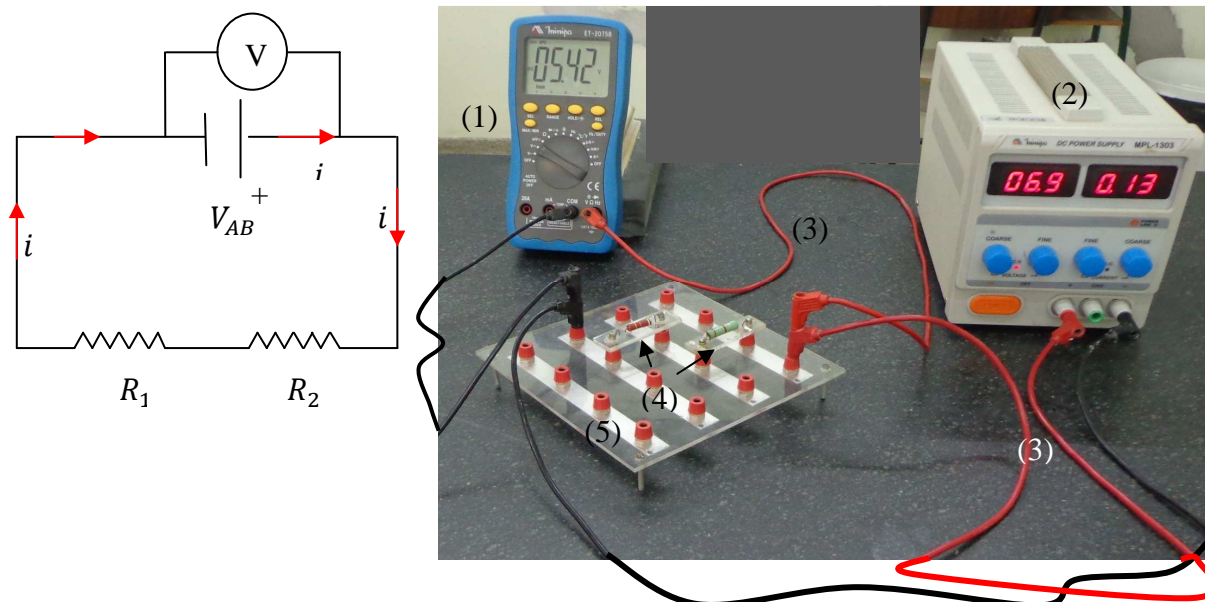


Fonte: (a) O autor. (b) Arquivo de H. Mukai.

Para medir a tensão coloca-se o multímetro em paralelo ao circuito, nos pontos aonde se quer aferir, como no exemplo da Figura (1.10), (a) o circuito e (b) uma foto da ligação nos equipamentos desse mesmo circuito: observando que o fio vermelho sai da fonte conecta em um dos terminais da *protoboard* (5), na qual conecta-se sobreposto outro fio vermelho que conecta ao multímetro (1). Do multímetro sai um fio preto que está conectado no outro ponto da *protoboard* sobreposto a um fio preto que vem da fonte de tensão, formando uma ligação em paralelo. Entre os dois pontos de conexão na *protoboard* estão os dois resistores (4). Caso não se tenha a *protoboard* utilizar os jacarés para fazer as conexões.

⁸ Nas Figuras 1.9 (b) e 1.10 (a): A fonte é uma fonte de tensão DC, o multímetro da **Minipa** – modelo ET 2075 , a *protoboard* construído no departamento, com os resistores encaixados em série, e os fios de conexão.

Figura 1.10 - Desenho esquemático de um voltímetro (V) ligado em paralelo em um circuito elétrico. (a) Desenho esquemático, sendo R_1 e R_2 , as resistências, e V_{AB} a ddp fornecida pelo gerador e i representação da direção da corrente elétrica pela seta em vermelho. Indicado no sentido convencional do polo positivo para o negativo. (b) Imagem fotográfica da ligação fios de conexão (3) com os equipamentos (1) Voltímetro (multímetro na escala V), (2) Fonte de tensão, (4) resistores fixadas a uma *protoboard* (5), materiais do DFI/UEM – Laboratório Didático de Física experimental III.



Fonte: (a) O autor. (b) Arquivo de H. Mukai.

A próxima seção trata dos principais conceitos que envolvem o efeito termoelétrico, em que é baseado o dispositivo utilizado no protótipo de refrigerador.

1.4 TERMOELETRICIDADE E EFEITOS TERMOELÉTRICOS

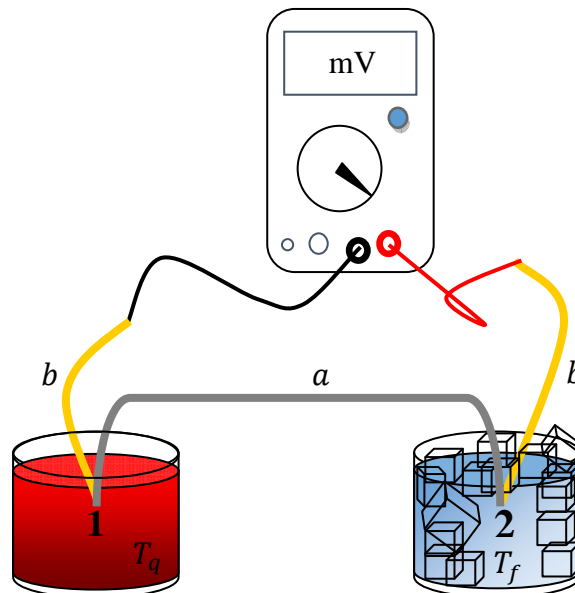
Os efeitos conhecidos como termoelétricos, além do efeito joule (dissipação de calor) visto na subsecção 1.3.2, provêm da conexão entre metais ou os materiais denominados de semicondutores de diferentes tipos, formando duas junções. Quando cada junção é mantida a temperaturas diferentes um quente e o outro frio, portanto, uma diferença de temperatura (ΔT), simultaneamente surge os seguintes efeitos: *Seebeck*, *Peltier*, *Thompson* e *Volta* (FIALHO, 2008). Esses fenômenos, juntamente com o efeito Joule, resumem o que se entende por Termoelétricidade.

A Termoelétricidade e seus efeitos são estudados quando ocorre a transformação mútua entre energia térmica e energia elétrica. A Física se familiarizou com estes conceitos no início do século XIX. Um dos personagens importantes deste período foi o físico Alessandro Volta, por ter desenvolvido a partir de pares de condutores elétricos a primeira pilha elétrica

(como referido na subsecção 1.3.1), verificando que existe uma diferença de potencial da ordem de *volts* quando dois metais estão em contato (FIALHO, 2008).

Em 1821, Thomas Johann Seebeck (1770-1831), descobriu que um circuito formado por dois condutores diferentes em temperaturas diferentes (um quente e outra fria), produz uma diferença de potencial (Efeito *Seebeck*) (Figura 1.11). Esse evento é tratado como a descoberta do efeito termoelétrico. Tal fenômeno possibilita medidas precisas de temperaturas em dispositivos chamados de termopares.

Figura 1.11 - Imagem ilustrativa sobre o Efeito *Seebeck*. Em que, um recipiente com água quente (T_q) em que está inserido a junção 1, conectada a um recipiente com gelo (T_f) em que está inserido a junção 2; ambas as junções de dois tipos de materiais condutores ou semicondutores a e b , diferentes, e um multímetro representado a leitura da tensão gerada em mV.



Fonte: O autor e H. Mukai.

A diferença de potencial (V) gerada por meio da diferença de temperatura ($\Delta T = T_q - T_f$), pelo efeito *Seebeck* é representada pela Equação (1.17):

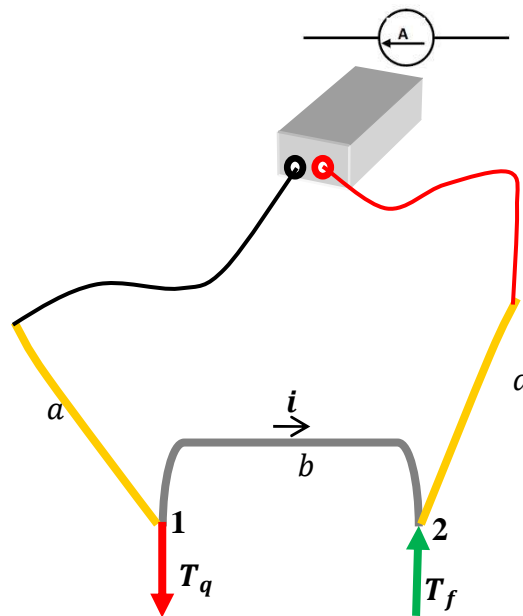
$$V = \alpha_{ab} \Delta T \quad (1.17)$$

em que α_{ab} é tratado como coeficiente *Seebeck*, medido em Volt/Kelvin (V/K), quando este valor é positivo a corrente elétrica flui da temperatura maior para temperatura menor, caso seja negativo o sentido da corrente se inverte.

Em 1834, o francês Jean Charles Athanase Peltier, descobriu que ao passar uma corrente elétrica por uma junção entre dois semicondutores de propriedades diferentes, o calor

é dissipado ou absorvido pela junção, neste processo o sentido da corrente é quem determina se há aquecimento ou resfriamento na junção. Fenômeno também conhecido como Força eletromotriz de *Peltier*, seria o reverso do efeito *Seebeck*, denominado Efeito *Peltier*, ilustrada na Figura 1.12.

Figura 1.12- Imagem ilustrativa de um circuito fechado representando o Efeito Peltier. Em que: a corrente (i) é gerada por uma fonte, 1 representa a junção (do material condutor ou semicondutor a com outro b) referente ao lado que aquecerá (T_q); 2 representa a junção (do material b com o material a) referente ao lado que ficará fria (T_f), e a seta em preto indica o sentido da corrente. A seta em vermelha indica a liberação de calor e a em verde a absorção de calor.



Fonte: O autor e H. Mukai.

A quantidade de calor (Q) absorvida (ou liberada) pelas junções por meio do efeito *Peltier* é representada matematicamente por meio da Equação (1.18):

$$Q = \pi_{ab} i t \quad . \quad (1.18)$$

Tal que, π_{ab} representa o coeficiente de *Peltier* entre o material condutor ou semicondutor a e b , medido em volts (V), i é a corrente elétrica que percorre o circuito, em Ampère (A) e t é o tempo que o circuito permanece ligado, em segundos (s). Quando o coeficiente π_{ab} é positivo a junção 1 esquenta e a junção 2 esfria se a corrente passa no sentido de 1 para 2.

Jean Peltier, portanto, não relacionou o fenômeno observado ao efeito *Seebeck*, mas o efeito observado ficou batizado com seu nome, e também pode ser tratado como um fenômeno único, o dito efeito *Peltier-Seebeck*, que corroboram a experiência de Volta.

Em 1857, Sir William Thomson (Lord Kelvin) concluiu baseado nos efeitos *Seebeck* e *Peltier*, que a taxa de produção de calor está relacionada com a corrente elétrica imposta ao semicondutor e que esta cria uma distribuição por igual de temperatura em cada condutor (efeito *Thomson*). Ele representou uma relação linear entre a força eletromotriz produzida nos pares termoelétricos e a temperatura. Sua teoria representa a relação entre o coeficiente *Seebeck* e *Peltier* (Equação (1.19)):

$$\pi_{ab} = \alpha_{ab} T . \quad (1.19)$$

Os estudos sobre termoeletricidade avançaram ao longo dos séculos XIX e XX, em busca de aprimorar a utilização por intermédio da manipulação de semicondutores. Uma melhor condutividade térmica, visto que se a condutividade⁹ for alta, o mesmo dissipa, não gerando a diferença de temperatura. A diminuição das perdas de energia podem promover uma alternativa para a produção de calor, bem como para a refrigeração em diferentes escalas e aplicações tecnológicas.

Teixeira (2007) sugere no XXXV Congresso Brasileiro de Educação para Engenharia (COBENGE) o desenvolvimento de um refrigerador dotado de terminais termoelétricos com objetivo de criar e validar estratégias de controle na área de refrigeração.

Koury e Machado (2010) apresentaram no VI Congresso Nacional de Engenharia Mecânica (CONEM) um estudo sobre a viabilidade técnica da utilização de aquecedores e refrigeradores termoelétricos. Neste estudo os autores corroboram a eficácia destes sistemas e comparam o poder de refrigeração termoelétrica com o de um refrigerador convencional (geladeira), ao construir um protótipo com módulos *Peltier*.

Moura (2010) fez o depósito via uma empresa, de uma patente relacionada a uma adega construída com os módulos *Peltier*. A patente denominada “Adega refrigerada por células *Peltier*”, foi parte de seu trabalho de doutorado.

Após esses exemplos, segue como são confeccionadas as pastilhas termoelétricas (módulos termoelétricos).

1.4.1 Módulos Termoelétricos

Os módulos ou pastilhas termoelétricas são construídos com pares de materiais

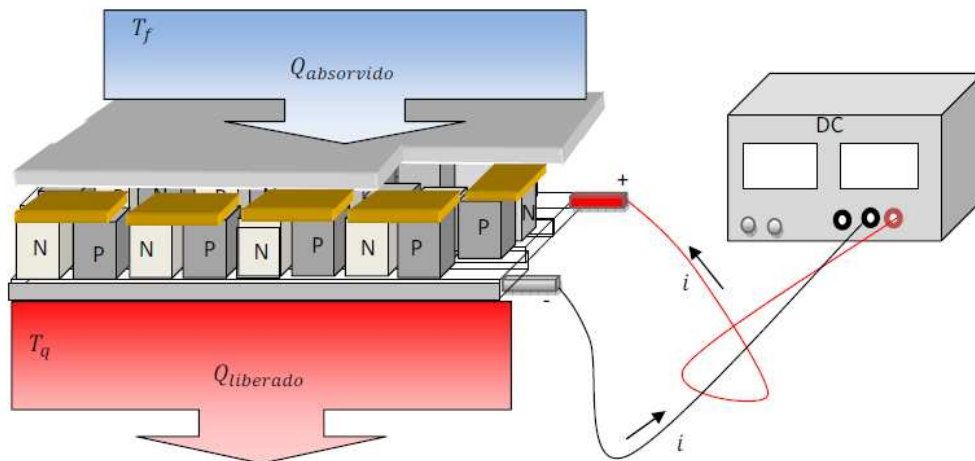
⁹ Lembrando que condutividade é oposto a resistividade, como no exemplo entre condutividade e resistividade elétrica citada na subsecção 1.32, o raciocínio é equivalente.

semicondutores¹⁰ ligados em série e revestidos por duas placas de superfícies planas de cerâmica. Uma placa cobre as junções do lado de maior temperatura e a outra cobre o lado com menor temperatura. Entre elas circula uma corrente elétrica. São dispositivos compactos capazes de produzir energia elétrica ou manter a diferença de temperatura entre as placas quando aplicada uma diferença de potencial.

Tais módulos são apresentados como a melhor maneira de utilizar o efeito *Peltier* como refrigeração em maior escala. O material usado como condutor elétrico entre os semicondutores posicionados em paralelo é o cobre (Cu).

Já em relação aos semicondutores os mais comuns, são pequenos blocos (largura de 1,0 a 1,5 mm) compostos de *telureto de bismuto*¹¹ (Bi_2Te_3) dopados: os do tipo P com Antimônio (Sb), de tal forma que facilite a recepção de elétrons e a do tipo N com Selênio (Se), facilitando a doação de elétrons (ALVES, 2007). Estes são dispostos alternadamente, entre duas placas de cerâmica (isolantes), como representados na Figura 1.13. A conexão de todo o sistema é feito por meio de solda.

Figura 1.13 - Desenho esquemático de um Módulo *Peltier* (pastilhas termoelétricas), dispostos entre duas placas de cerâmica (a parte superior o lado frio (T_f), e a inferior o lado quente (T_q)), blocos de material semiconductor de forma alternada tipo P (*Bismuto-Telureto-Antimônio* ($BiTeSb$) e, tipo N (*Bismuto-Telureto-Selenium* ($BiTeSe$)), conectados aos pares por placas condutoras em cor mostarda. Nesse há os terminais conectores (+ e -) para uma fonte de corrente, no caso indicado por uma fonte DC.



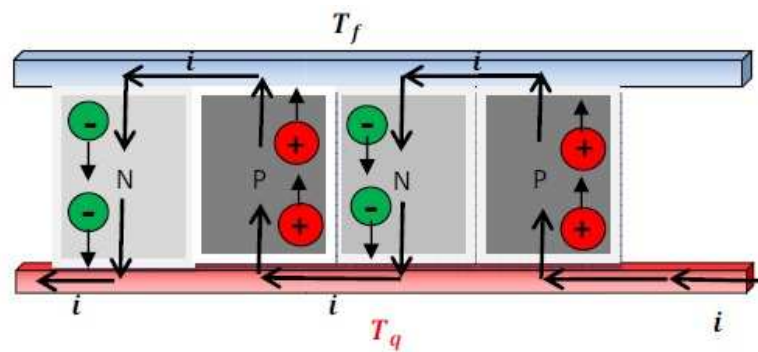
Fonte: Figura adaptada da referência (Alves, 2007).

¹⁰ Ainda relacionado a Tabela 1.1 que apresentou exemplos de resistividade de condutores, semicondutores e isolantes, vejamos quais seriam os limites de suas condutividades ($\sigma = 1/\rho$): condutores, no caso os metais, como Cobre, Ouro, tipicamente tendo condutividades da ordem de 10^7 a 10^8 (Ωm)⁻¹. No outro extremo, os isolantes elétricos, como borracha, PET, situando-se entre 10^{-10} e 10^{-20} (Ωm)⁻¹; esses são os isolantes elétricos. E, os semicondutores são os materiais com condutividades intermediárias, geralmente entre 10^{-6} a 10^4 (Ωm)⁻¹. No sistema internacional de unidades a condutividade é dada em *siemens/m*.

¹¹ Material semiconductor composto por Bismuto e Telúrio, sendo um pó cinza, torna-se um material termoelétrico quando utilizado em liga metálica com Antimônio ou Selênio. Fonte: https://pt.wikipedia.org/wiki/Telureto_de_bismuto - visitado em 20/02/2019.

A montagem de cada par de semicondutores define o que ocorre entre as placas. Normalmente o elemento tipo P tem o coeficiente *Seebeck* positivo e o elemento N tem o coeficiente negativo. Esta estrutura também define o sentido da corrente que atravessa os semicondutores (Figura 1.14), bem como a temperatura das superfícies quente (T_q) ou fria (T_f).

Figura 1.14 - Representação esquemática do módulo termoelétrico utilizado para refrigeração. Em que a seta preta representa o sentido da corrente elétrica, i , (indicado também o fluxo de elétrons, os positivos em vermelho e negativos em verde) ao passar pelos semicondutores N e P. Liberando calor na parte inferior (em vermelho) T_q , e absorvendo calor na parte superior (em azul) T_f .



Fonte: Figura adaptada da referência (Moura, 2010).

Os pares termoelétricos, semicondutores do tipo N e P, são conectados em série (eletricamente) e em paralelo (termicamente).

Os módulos (ou pastilhas) de Peltier são construídos de maneira compacta e se utilizam destes conceitos em sistemas de refrigeração. O desempenho de tais módulos é definido pelo quociente entre a taxa de remoção de calor da junção fria em relação à potência elétrica aplicada ao circuito. Assim, como visto nas máquinas térmicas que possuem um rendimento (Equação (1.6)) e nos refrigeradores que possuem uma eficiência (Equação (1.9)), estes sistemas possuem o coeficiente de desempenho (COP) (HEIKES; URE JR., 1961 *apud* SILVA, 2010) representado por φ , é representado pela Equação (1.20):

$$\varphi = \frac{Q_{\text{absorvido}}}{\text{Potência}} \quad (1.20)$$

Porém, a eficiência de um dispositivo termoelétrico depende de três fatores: a condutividade térmica (k), a condutividade elétrica (σ) e o coeficiente *Seebeck* (α). A relação entre eles configura uma grandeza definida como “Figura de Mérito”, representado pela letra Z (Equação 1.21):

$$Z = \frac{\alpha^2 \sigma}{k} \quad (1.21)$$

Assim, é possível perceber que quanto maior a resistividade elétrica, menor será a condutividade (σ) do material, maior é o aquecimento por efeito Joule (apresentado na subseção 1.3.2). Fato este que resulta em uma pior eficiência, representada pela Figura de Mérito (Z). O coeficiente de desempenho (COP), Equação (1.20), também depende das propriedades dos materiais utilizadas para definir a Figura de Mérito. Um bom material termoelétrico deve ter uma elevada Figura de Mérito (CAMARGO, 1999).

A condutividade térmica citada na Equação (1.21) é dada pela seguinte equação (1.21a):

$$k = \frac{\Delta Q}{A \Delta t} \frac{L}{\Delta T} \quad (1.21a)$$

Na Tabela 1.2 apresenta-se a condutividade elétrica (σ) e a condutividade térmica (k) de alguns materiais condutores e semicondutores. Sendo o último valor o da condutividade térmica da cerâmica (alumina= óxido de alumínio) utilizada no *Peltier*.

Tabela 1.2 – Dados da condutividade elétrica e térmica de alguns materiais.

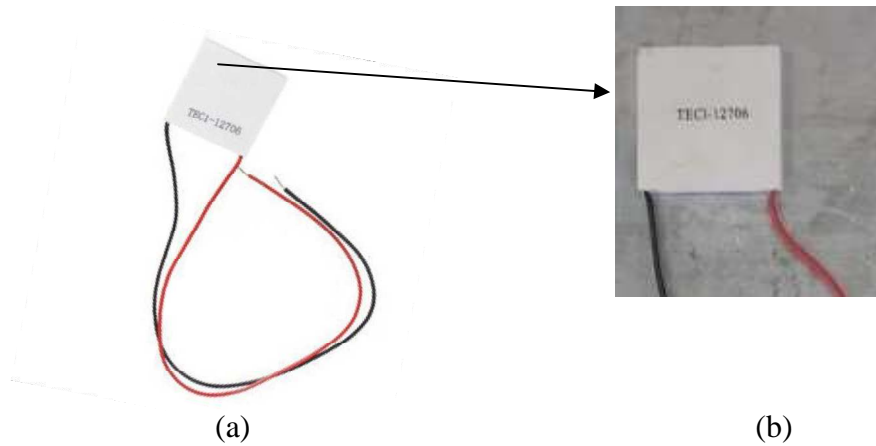
Materiais	$\sigma \left(\frac{1}{\Omega m} \right)$ a 20° C	$k \left(\frac{W}{mK} \right)$ a 20°C
Ferro	10,3110 ⁶	5,5 10 ⁻³
Alumínio	37,0310 ⁶	3,91 10 ⁻³
Ouro	45,4610 ⁶	3,4 10 ⁻³
Cobre	59,8810 ⁶	3,93 10 ⁻³
Prata	63,2910 ⁶	3,8 10 ⁻³
Antimonio (Sb)	2,4010 ⁶	24,3
Bismuto (Bi)	0,76910 ⁶	7,87
Al ₂ O ₃	-	33

Fontes: Empresas: EDUFER, <http://www.edufer.com.br> e JOMON cerâmicas, <http://www.jomon.com.br/especificacoes-tecnicas> – Acesso em 20/02/019;

Uma foto de pastilha *Peltier* está apresentada na Figura 1.15. As informações que o mesmo possui gravado em um de seus lados: TEC1 – 12706 – C: Tamanho C-padrão (*standard*) e S- pequeno (*small*), 1 – estágios (normalmente 1) – 127 significa quantidades de

acoplamentos (P e N). Quanto mais acoplamentos, mais condutores. O último dígito, no caso 06 indica a razão da corrente (normalmente de 6 a 9 A).

Figura 1.15 - Imagem fotográfica de uma pastilha *Peltier*. (a) Imagem fotográfica de uma pastilha *Peltier* em destaque (b) as informações do modelo – TEC1-12706 que foi usado no presente trabalho

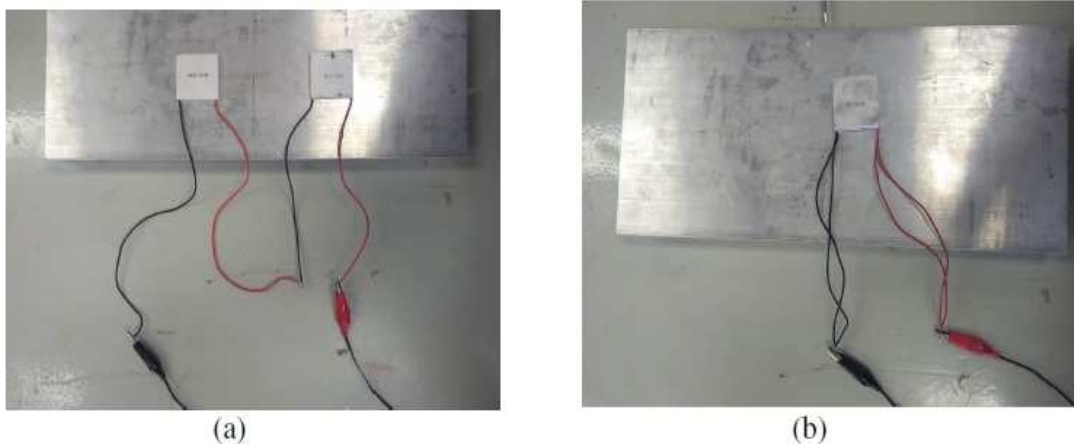


Fonte: Arquivo do Autor

Desempenho do consumo elétrico (ELETROLAB, 2017): sabendo que cada pastilha *Peltier* tem um consumo de 5 a 6 A, observa-se que um circuito com duas pastilhas *Peltier* (A e B) conectados em cascata (A sobre B, ficando em contato: lado quente de A, pasta térmica e lado frio de B) ligados em série, fornece um consumo de 3 A e temperatura de -5°C , sendo que em paralelo o consumo é maior, estabilizando em 9 A e temperatura de 13°C . Portanto, o desempenho elétrico para a situação em cascata é melhor em uma ligação em série. Para melhorar o desempenho o ideal é escolher um dissipador maior e um *cooler* maior para assoprar a parte fria e outro na parte quente acoplada ao dissipador de calor. Este fato foi comprovado experimentalmente, e está disponível no *YouTube*: <https://www.youtube.com/watch?v=X2c1syUYrxw>. Acesso em 02/02/2018.

Outros tipos de conexões podem ser feitos e analisados, como os apresentados nas Figuras (1.16 (a)) em série e em (b) em paralelo, mas não em cascata.

Figura 1.16- Imagem fotográfica de pastilha Peltier ligadas em série e paralelo. Em que: (a) uma ligação em série e outra (b) em paralelo, mas sem ser em cascata.



Fonte: Arquivo do autor.

Lembrando de conectar as pastilhas em um dissipador de calor acoplado a *coolers*. Um vídeo mostrando esses casos, pastilhas separadas, é o do *You Tube*: “Pastilhas Peltier Melhor Resultado em Série, Paralelo ou direto na Fonte? Teste 2 Definitivo”, 2018. <<https://www.youtube.com/watch?v=EFZ5CZR5HOk>>. Acesso em 20/02/2019. Nesse vídeo o apresentador usa um *cooler* maior, obtendo os seguintes resultados: em paralelo o tempo de 1 a 2 minutos estabilizou em 15 °C em cada pastilha, e recebeu 0,7 A. Já em série estabilizando em - 8 °C no tempo de 2 minutos, e direto na fonte atingiu a temperatura de -20 °C, por 2 minutos. Quando o dissipador é pequeno (melhor em série), pois, aumenta a amperagem e diminui da voltagem.

Dentre as vantagens da utilização desses dispositivos para refrigeração, destacam-se a refrigeração localizada (devido às dimensões de cada módulo), pouca manutenção necessária, pois, não contém partes mecânicas móveis e dispensa uso de gases refrigerantes. Possui uma tecnologia que implica em durabilidade e ausência de ruídos, durabilidade, capacidade de gerar energia elétrica (Efeito *Seebeck*) e funcionam em qualquer orientação, com ou sem gravidade.

Quanto às desvantagens e dificuldades para utilizar a refrigeração termoelétrica é importante citar a má eficiência dos dissipadores de calor. A pastilha *Peltier* fornece uma grande quantidade de calor em pequenas áreas, o que dificulta a dissipação e reduz a performance dos módulos de refrigeração. Modelos atuais utilizam valores altos de correntes contínuas de baixa tensão, mas isso eleva o custo de sua instalação.

Recentemente os terminais termoelétricos têm sido utilizados em situações que exigem controle de temperatura e em aparelhos de refrigeração de pequeno porte. Além de

refrigeração de componentes eletrônicos, em geral, são instalados em sistemas que não necessitam de alta potência. Para estas situações o sistema termoelétrico pode ser bastante viável, pois, o mesmo apresenta mais vantagens quando comparado a outros processos (HEIKES; URE JR, 1961).

Ainda existe um grande potencial para ser explorado com a refrigeração termoelétrica, como: sistemas de ar condicionado (doméstico e automotivo), transportes de produtos perecíveis, conforto térmico de superfícies, higrômetros de ponto de orvalho, aquecimento de água, entre outros. Tais avanços estão condicionados ao desenvolvimento de novas tecnologias e possivelmente se tornarão alternativas para competir com sistemas de bombas de calor e compressão a vapor.

Na próxima seção é apresentado um paralelo entre os refrigeradores a base de compressão e o por pastilhas Peltier.

1.5 REFRIGERADORES: COMPRESSÃO × *PELTIER*

Nesta seção é apresentada uma comparação entre o “funcionamento” de um refrigerador que utiliza um compressor (subseção 1.2.2) e um que utilize pastilhas Peltier (subseção 1.4.1).

Como já foram citados neste trabalho, os sistemas de refrigeração de cada modelo apresentado são baseados em conceitos físicos diferentes e sua adaptação tecnológica é identificada em equipamentos também muito diferentes.

Ao citar os conceitos que explicam o funcionamento de refrigeradores, na seção 1.2.2 deste mesmo capítulo, destacam-se: a necessidade de um compressor, que fornece energia (W) para máquina funcionar, a transferência de calor, que ocorre entre a temperatura quente e temperatura fria, que ocorre por meio de um fluido (gás) que circula pela tubulação, e seu funcionamento acontece em ciclos, ou seja, este processo recomeça a cada determinado intervalo de tempo.

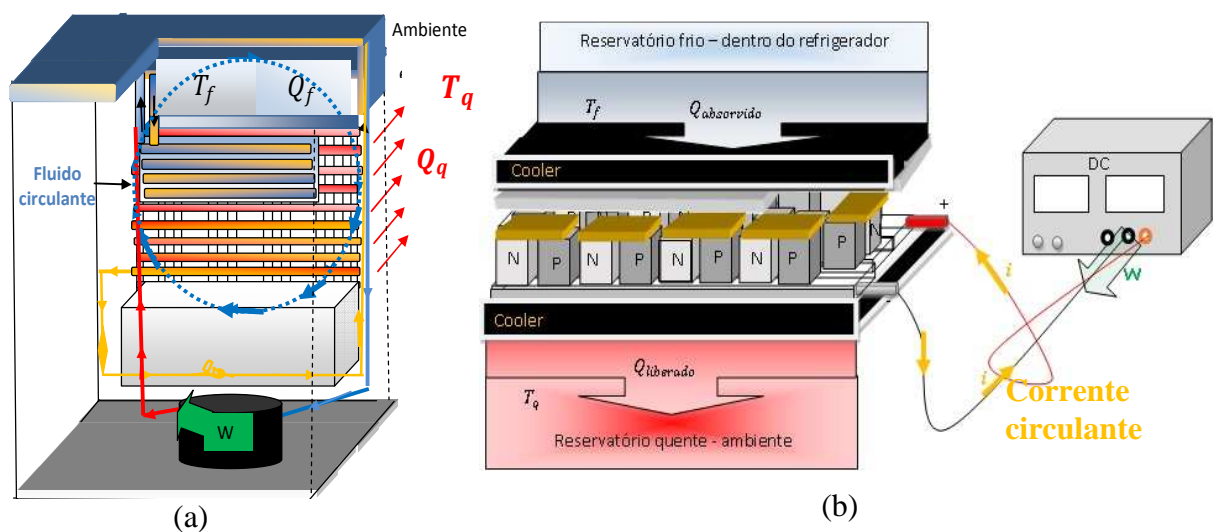
Sobre o funcionamento dos módulos termoelétricos (pastilhas *Peltier*), citados na seção 1.4.1, pode-se dizer que: partindo de uma fonte de energia elétrica (fonte de tensão), a corrente elétrica, que tem um único sentido, passa pelos materiais semicondutores provocando uma queda na diferença de potencial (consequência da disposição das junções (tipo N e P)), que provoca a diferença de temperatura. Esse é um processo fechado, o sistema é alimentado

continuamente. Pode-se dizer que tem um limite no intervalo de tempo entre a temperatura quente e a temperatura fria.

Mesmo diante de tantas diferenças, é possível fazer uma analogia entre os sistemas de refrigeração, como se vê na Figura 1.17 (a) e (b), em que se apresentam propositalmente os sistemas organizados para que possamos elencar as semelhanças:

- i) Ambos recebem energia/trabalho (W) de uma fonte externa e a potência de funcionamento depende desse fator;
- iii) Realizam transformação de energia, ou seja, transforma o trabalho recebido em energia térmica;
- iv) Possuem duas temperaturas (quente (T_q) e fria (T_f)), durante o funcionamento o lado frio “retirando” calor (interior do refrigerador), enquanto o lado quente “rejeitando” calor (meio exterior - ambiente);
- v) Necessitam do movimento de uma “substância” que justifique a diferença de temperatura: para o refrigerador o movimento do gás (fluido), para as pastilhas *Peltier* o movimento de elétrons (representado pela corrente i). Lembrando que o fluxo de elétrons é o oposto ao indicado na Figura 1.17, que indica o sentido da corrente (i).

Figura 1.17 - Desenho esquemático das semelhanças do funcionamento de um refrigerador: (a) por compressão – trabalho (indicado em verde) realizado pelo motor, o reservatório Frio – congelador/interior da geladeira, o reservatório quente – Ambiente e, o fluido circulante: um gás; e em (b) com pastilhas *Peltier* – o “trabalho” (em verde) realizado pela fonte de tensão, o reservatório frio – dentro do refrigerador, reservatório quente – o ambiente e o “fluido circulante” no caso uma corrente circulante: elétrons (lembrando que os elétrons circulam em sentido oposto à indicação da corrente).



Fonte: O autor e H. Mukai.

Por fim, relembrem-se as referências sobre teorias de ensino-aprendizagem adotadas neste trabalho e citadas na seção 1.1. Ambas as teorias, tratam de conhecimentos prévios dos estudantes, para que possam aprender novas informações. Este fato justifica a analogia aqui apresentada, entre os sistemas de refrigeração, pois, parte-se do princípio que os estudantes entendam o funcionamento de um refrigerador convencional, para em seguida, aprender o funcionamento do sistema *Peltier* e seus respectivos conceitos.

No próximo capítulo será apresentado como confeccionar o Protótipo de Refrigerador à base do dispositivo *Peltier*, o Produto Educacional e a metodologia utilizada para sua aplicação.

Capítulo 2– Produto Educacional – Material Didático-Pedagógico

O texto deste capítulo denominado de Produto Educacional tem por objetivo apresentar a organização da Proposta Didática utilizada para a aplicação das etapas de construção de um Protótipo de refrigerador. Dessa forma, este capítulo contém um guia para realização de uma prática pedagógica que utiliza as fases, como a aprendizagem do funcionamento dos materiais e explicação para a construção de um protótipo de refrigerador com pastilhas *Peltier*, como uma proposta de ensino voltada para o Ensino Médio.

Considerando o exposto nos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN's), a proposta apresenta como tema central: calor, ambiente e usos de energia. As unidades temáticas são: fontes e trocas de calor; tecnologias que usam calor: motores e refrigeradores.

Nessa proposta o assunto foi inserido no conteúdo de Física no 2º ano do Ensino Médio, após a apresentação das Leis da Termodinâmica (seção 1.2).

Inicia-se com a apresentação do aparato experimental (guia para a montagem de um protótipo de refrigerador a base de pastilhas *Peltier*), seguido de uma proposta didática para sua aplicação (baseada nos 3 momentos pedagógicos de Delizoicov, Angotti e Pernambuco), e averiguação do conhecimento adquirido (subsunçores) sobre as Leis da Termodinâmica e os conceitos neles envolvidos, baseada na teoria de aprendizagem de David Ausubel.

A partir das etapas da montagem, adquirir novos conhecimentos relacionados à Termoelectricidade, um assunto que não é comum no currículo do Ensino Médio, pouco citado nos livros didáticos, mas que existe deste a década de 1800, e que evoluiu com a chegada dos semicondutores, tendo como utilização em: mini refrigeradores, bebedouros, assentos automobilísticos, equipamento de tirar umidade, resfriador portátil de latinhas de bebida, e principalmente em aplicações industriais (DANVIC, 2019), inclusive uma patente brasileira para uso em adegas (MOURA, 2010).

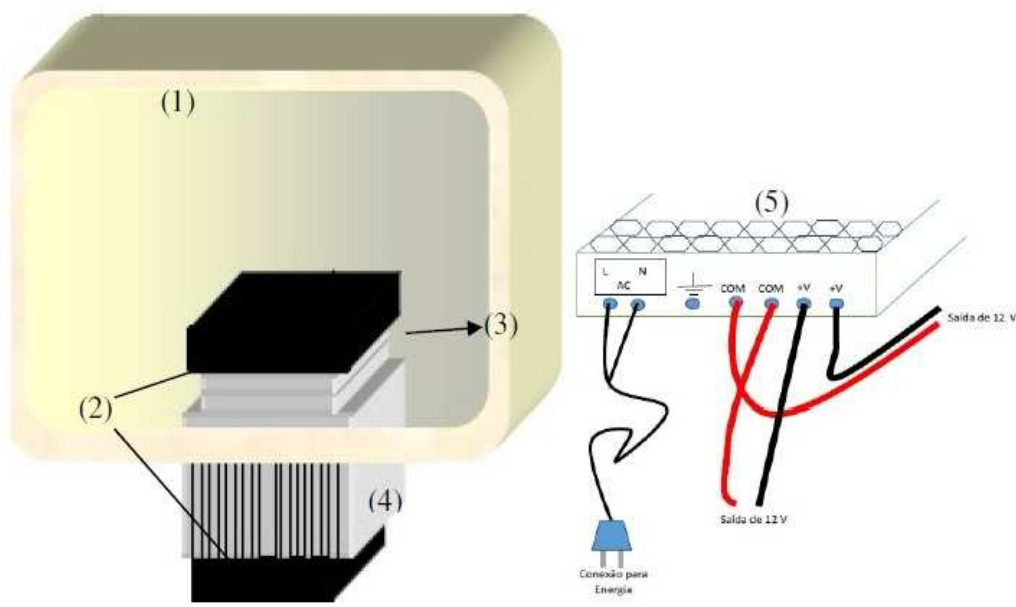
2.1 APARATO EXPERIMENTAL

Para a construção do protótipo de refrigerador procurou-se utilizar materiais de fácil acesso e reaproveitamento de outros materiais. Inicia-se esta apresentação com a lista dos materiais utilizados. As dimensões informadas foram as utilizadas no protótipo utilizado na

sala de aula, mas pode-se utilizar outros tamanhos desde que seja proporcional para que consiga obter o resfriamento necessário. A ideia original adotada para o presente trabalho, foi o desenvolvido pelo Grupo de Magnetismo do DFTE/UFRN, citado na dissertação de mestrado, página 124, de Edvaldo de Oliveira Alves¹², 2007.

No presente trabalho, utiliza-se o protótipo como ilustrado na Figura 2.1 constituído de uma caixa de isopor (1), 2 coolers (2); 2 pastilhas Peltier (3), sendo que cada pastilha está ligada paralelamente a um cooler e estes à (5) fonte de tensão que possui duas saídas de 12 V cada (Figura 1.7 (b)), e (4) o dissipador de calor.

Figura 2.1 - Desenho esquemático da montagem do protótipo de um refrigerador. Em que: (1) Caixa de Isopor; (2) Coolers; (3) Duas Pastilhas Peltier; (4) Dissipador de calor; (5) fonte de tensão.



Fonte: O autor e H. Mukai.

2.1.1 Materiais Utilizados

Apresenta-se nesta subseção, 2 listas de materiais, sendo a primeira a utilizada para construção do protótipo, que depois de pronto ficará disponível na última bancada (4°

¹²Prof. Edvaldo de Oliveira Alves (Mará) professor efetivo da UEPB desde 1993 e lecionava diversas disciplinas para os cursos de graduação da UEPB. Ele era docente dos programas de pós-graduação em Ciências e Tecnologia Ambiental (UEPB) e Mestrado Nacional profissional em Ensino de Física. Ao longo de sua carreira, contribuiu com diversas funções administrativas da UEPB, incluindo mais recentemente, a direção do Centro de Ciências e Tecnologia.”. Faleceu em maio de 2018. Fonte: Igo Paulino UAF/CCT/UFPG - SBF, 2018.

estágio), e a segunda, chamada de lista complementar, os materiais necessários para as bancadas da aplicação dos 3 estágios iniciais dos 4 propostos no PE. A indicação das dimensões e marcas é opcional desde que respeitadas às especificações para que fique adequado entre as dimensões e dispositivos utilizados na sua construção. Ressaltamos que o Apêndice D traz um quadro com valor aproximado de cada item e algumas sugestões para montagem ou substituição dos materiais.

Lista de Materiais – protótipo do refrigerador:

- 1 Caixa de isopor (Dimensões: (15× 15) cm; altura 11cm);
- 1 *Cooler* (Dimensões: (70× 70) mm; espessura 25mm) com um dissipador metálico acoplado;
- 1 *Cooler* (Dimensões: (50 × 50) mm; espessura 10mm);
- 2 Pastilhas *Peltier* - Modelo TEC1 - 12706 ((40×40) mm; espessura 4 mm; Tensão 12 V e Potência máxima 60 W - dados fornecidos pelo fabricante);
- Soprador Térmico (Marca/Modelo: *Instruthem* 1600 W);
- Termômetro Laser Digital Infravermelho (Marca/Modelo: *Incoterm* ST – 600);
- 1 Fonte de tensão 12 V (fonte chaveada de 12 V, 10 A e 120 W);
- 2 pares de fios de conexão;
- 2 pares de jacarés;
- Pasta térmica;
- Abraçadeiras plásticas (nylon);
- 2 parafusos de fixação (diâmetro: 3 mm e comprimento: 50 mm).

Como informado, a próxima lista é dos materiais complementares utilizados para cada estágio da construção do refrigerador. Sendo esses referentes aos 3 primeiros estágios, uma para cada bancada. Essa será a forma apresentada para os alunos, estágio por estágio, sendo o 4º estágio (4ª bancada) a do protótipo pronto, cuja lista foi apresentada anteriormente.

Lista de materiais complementares:

- 1 *Cooler* (Dimensões: (70 × 70) mm; espessura 25 mm) com um dissipador metálico acoplado;
- 1 *Cooler* (Dimensões: (50 × 50) mm; espessura 10 mm);

- 2 Pastilhas *Peltier* - Modelo TEC1 - 12706 ((40 × 40) mm; espessura 4 mm; Tensão 12 V e Potência máxima 60 W - dados fornecidos pelo fabricante);
- 4 pilhas AA (1,5 V cada) ou uma bateria de 9 V;
- 1 Suporte para as 4 pilhas com fios, ou 1 suporte para a bateria de 9 V com fios.
- 4 pares de fios de conexão;
- 4 pares de jacarés;

A seguir, apresenta-se um guia de montagem do Protótipo e os testes realizados durante o mesmo.

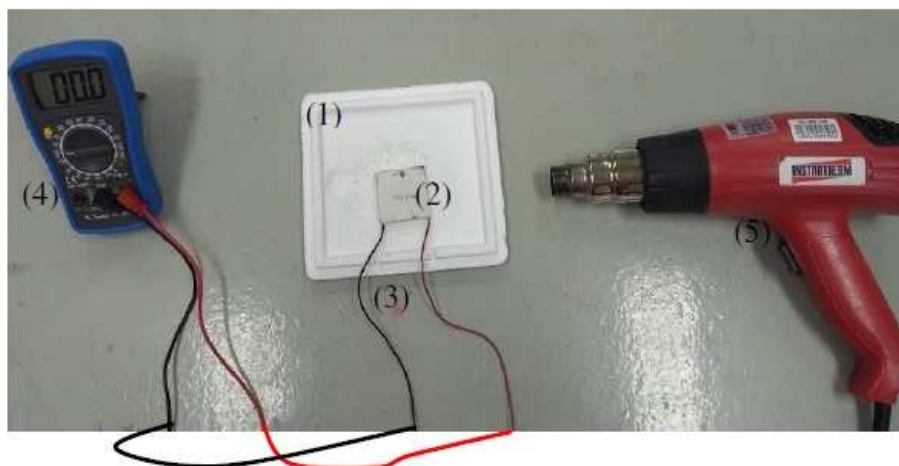
2.1.2 Guia de Montagem do Aparato Experimental

Como já informado no Capítulo 1, sessão 1.3, a pastilha *Peltier* é um dispositivo termoelétrico que atua resfriando ou aquecendo um de seus lados e o contrário ocorre no lado oposto, dependendo da forma como se faz as conexões de seus terminais à fonte de alimentação. Durante a fase de pesquisa e elaboração do Protótipo de refrigerador, vários testes foram feitos para otimizar o processo de refrigeração pelo autor do presente trabalho. Na sequência apresenta-se a sua utilização na montagem do protótipo de refrigerador:

1) Na etapa inicial foram utilizadas pastilhas Peltier, de dimensões (40 × 40 × 4) mm e Potência máxima 60 W (dados fornecidos pelo fabricante), acopladas em uma fonte de tensão 12 V (volts) e corrente contínua (Figura 2.2 (1)). As características do modelo utilizado foram apresentadas na Figura 1.15.

Nesta primeira montagem foram realizados testes para se familiarizar com o dispositivo, etapa de suma importância para entender o aquecimento e resfriamento das pastilhas, em que aplicaram-se diferentes valores de tensão para observar seu comportamento. Para isso, inicialmente conecte a pastilha ao multímetro (posicione o botão seletor em V), o polo positivo (fio vermelho) e negativo (fio preto), conforme Figura 2.2 (3). Para aquecer foi utilizado o soprador térmico (5).

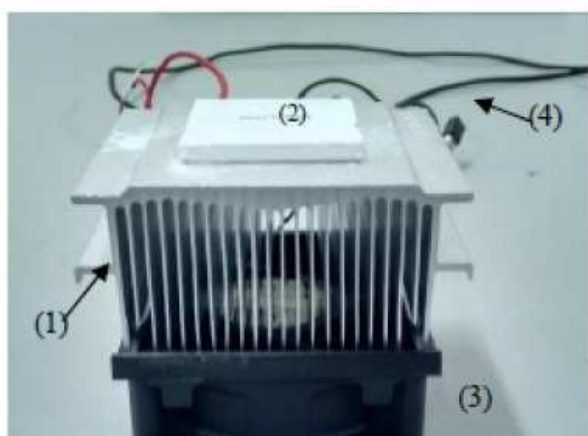
Figura 2.2 - Imagem fotográfica da montagem preliminar, análise da pastilha *Peltier*. Sendo: (1) Tampa da caixa de isopor usada como apoio e (2) o dispositivo *Peltier* e (3) os fios para conexão externa (para um (4) multímetro (voltímetro)). E, ao lado o soprador térmico (5).



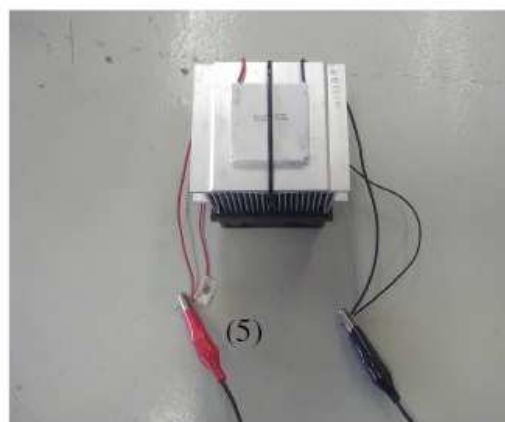
Fonte: Arquivo do autor

2) De posse do terminal de resfriamento utilizado em processadores de computador, contendo um *cooler* (ventilador) e um dissipador metálico (Figura 2.3 (a)), fixou-se a pastilha ao terminal no lado oposto ao do *cooler*. Entre a pastilha e o dissipador aplicou-se uma pasta térmica contendo prata (Ag), com o objetivo de facilitar a condução de calor entre as superfícies. A escolha do dissipador se baseou no formato compatível com a pastilha *Peltier*. A ligação entre o *cooler* e a pastilha foi feita em paralelo (Figura 2.3 (b)).

Figura 2.3 - Imagem fotográfica da Pastilha *Peltier* acoplada ao terminal de resfriamento. Em (a): (1) Dissipador de calor, com o *cooler* (3) na parte inferior ao mesmo, (2) a pastilha *Peltier* acoplada ao mesmo por meio de pasta térmica, e em (4) os fios de conexão do próprio sistema, mostrado em destaque na imagem. E, em: (b) a ligação em paralelo, e (5) os fios que vem da fonte de tensão (não mostrada na figura);



(a)



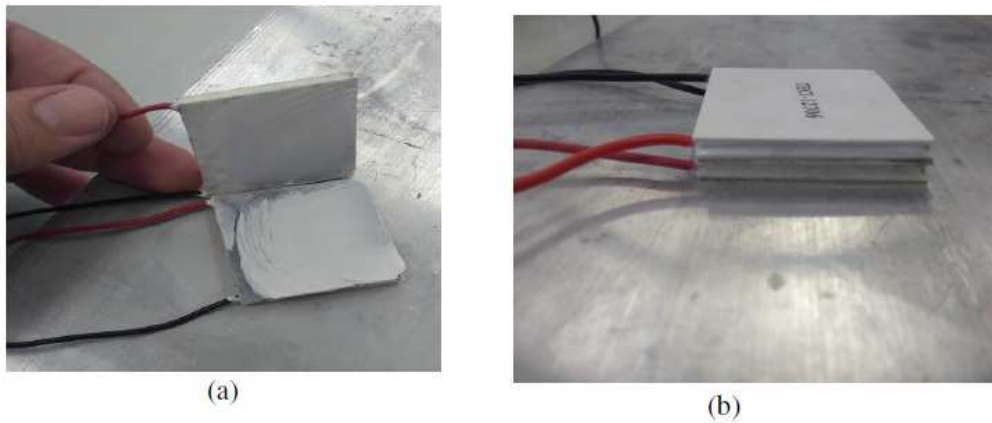
(b)

Fonte: Arquivo do autor.

Conectando os fios da fonte (item (5) na Figura 2.3 (b)), observou-se o funcionamento desta montagem e verificou-se que em um intervalo de tempo de 1 minuto o lado frio da pastilha atinge 8,7°C, quando a temperatura ambiente é aproximadamente 20°C.

3) Nessa etapa foram utilizadas 2 pastilhas *Peltier* (A e B), de dimensões (40 × 40 × 4) mm e potência máxima 60 W, acopladas uma a outra em cascata por meio de pasta térmica (este deve ficar espalhado de forma homogênea por toda pastilha (Figura 2.4 (a)) ficaram em contato a parte quente de A, pasta térmica, e a parte fria da pastilha B (Figura 2.4 (b)). Os fios foram conectados a uma fonte de tensão 12 V (volts) e corrente contínua.

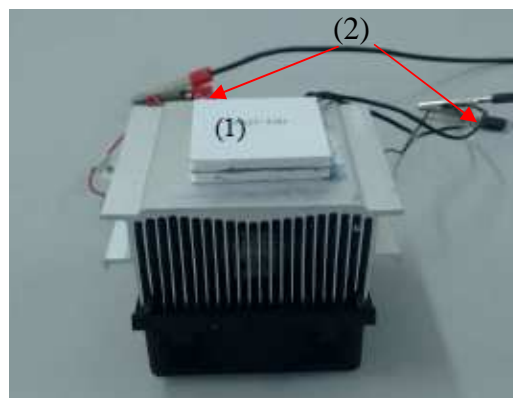
Figura 2.4 - Imagem fotográfica da aplicação de pasta térmica em pastilhas *Peltier*. Em (a) Pasta térmica nas duas pastilhas *Peltier*; (b) As duas placas acopladas em cascata.



Fonte: Arquivo do autor.

Repete-se o procedimento do item 2), agora com as duas pastilhas *Peltier* (como mostrado na Figura 2.5). Para o seu funcionamento unem-se os fios de acordo com as cores e conecta-se por meio de jacarés (2) os fios, à fonte de tensão.

Figura 2.5 - Imagem fotográfica da montagem do sistema de resfriamento com duas pastilhas. Em que: (1) acoplada uma a outra por meio da pasta térmica. E, (2) indicado pelas setas vermelhas as conexões dos fios à fonte de tensão (não aparece na foto).



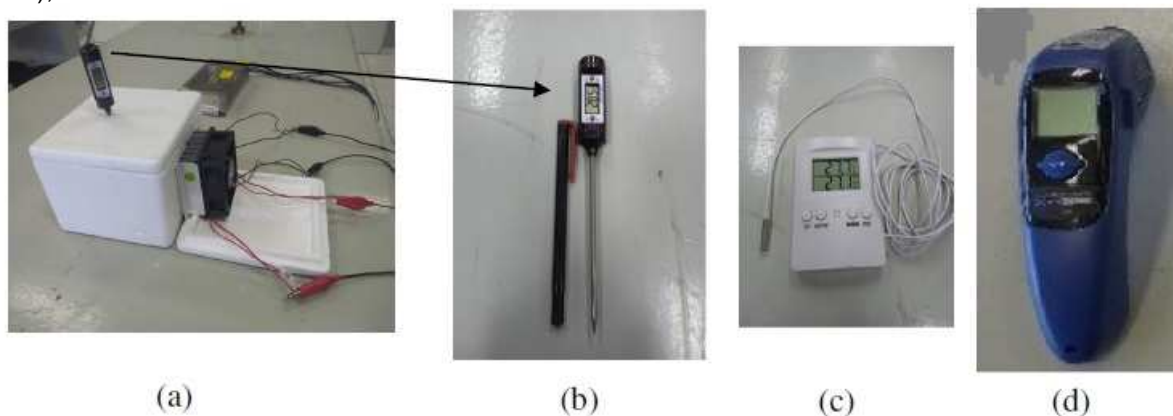
Fonte: Arquivo do autor

Acerca do funcionamento desse módulo, observou-se que em um intervalo de tempo de 1 minuto o lado frio da pastilha atinge 2°C, quando a temperatura ambiente é aproximadamente 20°C.

4) Para que o protótipo de refrigerador fique pronto, encaixou-se todo o sistema descrito no item 3), na lateral de uma caixa de isopor, onde foi feito um corte do tamanho do sistema de resfriamento de forma que não haja perda de calor.

A partir deste ponto, iniciaram-se os testes no sistema fechado. Para isso, utilizou-se diferentes tipos de termômetros digitais (como os apresentados nas Figuras (2.6), em (b) o modelo vareta TP101 ou o com fio, e em (c) com fio e termopar respectivamente) colocados dentro da caixa de isopor para acompanhar a temperatura interna (como o da Figura 2.6 (a)). Mas, estes não possibilitaram obter dados estáveis de temperatura, e por fim, adotou-se o a *laser* (Figura 2.6 (d)). É importante antes de adquirir um termômetro observar qual o limite de temperatura¹³ o mesmo consegue medir.

Figura 2.6 – Imagens fotográficas do protótipo e termômetros testados. Em que: (a) uso do termômetro (b) Modelo Vareta TP101 e mais dois dos tipos de termômetros digitais testados – (c) de fio com leitor a parte (sem marca) e (d) Laser Digital Infravermelho (Marca/Modelo: *IncoTerm ST – 600*);



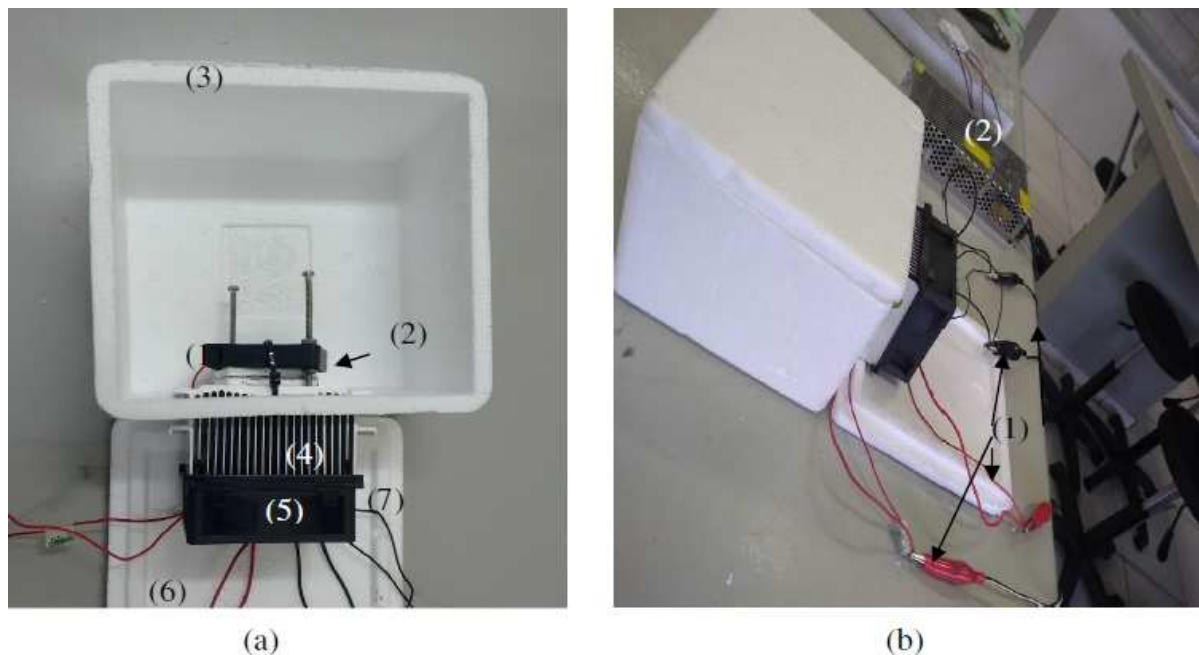
Fonte: Arquivo do autor.

Durante esta fase, percebeu-se que a temperatura dentro da caixa estabilizava, após atingir um limite mínimo, em seguida começava a aumentar. Esta constatação conduziu a um novo conjunto de testes e novas leituras sobre o funcionamento do sistema.

¹³Por exemplo: Termômetro Digital Retangular -50 °C a + 50 °C - Termômetro Digital Retangular -50 °C a + 50 °C.

5) Após o processo descrito anteriormente, as soluções plausíveis foram melhorar: a convecção do ar dentro da caixa, para isso fez-se necessária a introdução do segundo *cooler* (ventilador) interno à caixa, e o sistema de troca de calor no lado quente da pastilha. Tal mudança do original (Alves, 2007) possibilitou a melhoria no funcionamento do terminal de refrigeração (Figura (2.7): (1) *cooler* interno, (2) pastilhas *Peltier*, (3) caixa de isopor; (4) sistema para dissipação de calor, (5) *cooler* externo, (6) fios de conexão. Uma tampa de isopor (7) foi colocada como base de apoio para o dissipador. Cada pastilha foi ligada em paralelo (Figura 2.6 (b) – (1)) com cada um dos *coolers*. Utilizando-se assim as duas saídas da fonte de tensão chaveada (Figura 2.7 (b) – (2)).

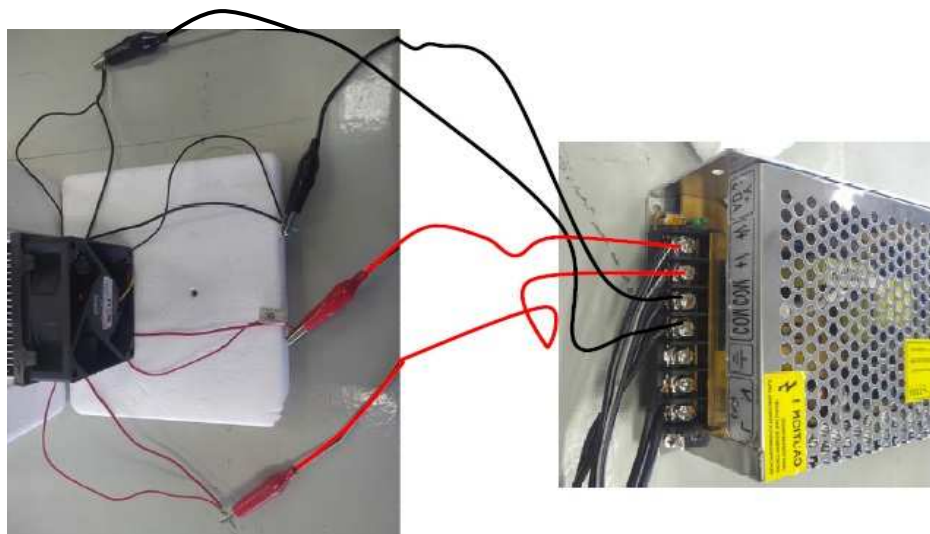
Figura 2.7 - Imagem fotográfica do Protótipo de Refrigerador. Em (a): (1) *cooler* interno, (2) pastilhas *Peltier*, (3) caixa de isopor; (4) sistema para dissipação de calor, (5) *cooler* externo, (6) fios de conexão. Tampa de isopor (7) colocada como base de apoio para o dissipador. E, em (b) Protótipo de refrigerador fechado e a visão das conexões (1) ao fundo a fonte chaveada (2).



Fonte: Arquivo do autor

Outro ângulo de visão de como conectar os cabos (fios) está ilustrada na Figura 2.8.

Figura 2.8 - Imagem fotográfica apresentando as conexões do refrigerador para a fonte de tensão. Fio vermelho positivo e preto negativo (conexões ilustrativas para diferenciar).



Fonte: Arquivo do Autor.

Na próxima seção apresenta-se a Proposta Didática utilizando as etapas de montagem do Protótipo de refrigerador com pastilhas Peltier, explorando o funcionamento dos componentes que a constituem.

2.2 PROPOSTA DIDÁTICA

Ao abordar práticas para o ensino de Física, inserir experimentos e situações do cotidiano há o intuito de encontrar alternativas para a desafiadora tarefa de ensinar. Diante deste contexto, a atuação do docente perante os jovens contribui para sua formação como pessoa, Brasil, informa que:

“[...] supõe-se que se esteja preparando o jovem para ser capaz de lidar com situações reais, crises de energia, problemas ambientais, manuais de aparelhos, concepções de universo, exames médicos, notícias de jornal, e assim por diante.” (BRASIL, 2002, p.4)

Desta forma, a presente proposta sugere que o professor faça intervenções apresentando objetos e informações conhecidas pelo estudante. Para tal, espera-se que o professor consiga verificar a aprendizagem dos conteúdos de Termodinâmica, acrescente conceitos de Termoeletricidade, bem como a inclusão de um aparato experimental (estágios da construção do protótipo de refrigerador) para alcançar maior compreensão de seus alunos.

Na parte de aprendizagem, para que os alunos adquiram conhecimento que permitam lidar com as situações reais, conforme citado anteriormente (BRASIL, 2002).

Portanto, foi elaborada uma proposta didática baseada nos Três Momentos Pedagógicos apresentados por Delizoicov, Angotti e Pernambuco (apresentados na subseção 1.1.2). Nesses, os conceitos abordados estão diretamente ligados a um tema central e os demais conceitos estruturantes. Os Três Momentos Pedagógicos estão divididos em: problematização inicial, organização do conhecimento e aplicação do conhecimento.

No caso deste material, os momentos pedagógicos serão apresentados na composição da Proposta Didática.

2.2.1 Objetivos

- Verificar os fenômenos físicos envolvidos no funcionamento de um refrigerador construído a base de pastilhas *Peltier*.
- Utilizar os estágios de construção do protótipo de refrigerador como instrumento de investigação de aprendizagem sobre as leis da Termodinâmica e introdução conceitos de Termoeletricidade.

2.2.2 Contextualização no PCN's:

Segundo orientações dos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN's):

- **Tema Central:** Calor, ambiente e usos de energia.
- **Unidades temáticas:**
 - Fontes e trocas de calor;
 - Tecnologias que usam calor: motores e refrigeradores;
 - O calor na vida e no ambiente.

2.2.3 Etapas da Proposta Didática (PD)

Nesta seção descreve-se o objetivo de cada um dos Momentos Pedagógicos de Delizoicov e Angotti (1991) e ____, Pernambuco (2011) e, em seguida apresentam-se as etapas da Proposta Didática e como elas se relacionam com esses momentos pedagógicos.

2.2.3.1 Momentos Pedagógicos e seus objetivos aplicados à PD

Para que uma proposta tenha êxito é importante planejamento e organização. Confrontar a prática com os encaminhamentos metodológicos é sempre útil neste processo. Portanto, segue a relação dos objetivos esperados em cada fase da atividade.

- i) **Problematização Inicial:** contextualizar a proposta; revisar conceitos considerados pré-requisitos; fazer uma avaliação diagnóstica dos conceitos prévios sobre Termodinâmica e apresentar os modelos de refrigeração que serão estudados.
- ii) **Organização do Conhecimento:** apresentar explicações sobre as leis da Termodinâmica, ilustrar o funcionamento de uma geladeira, introduzir novos conceitos sobre Termoeletricidade, e resgatar os conceitos que foram estudados ao longo do ano letivo.
- iii) **Aplicação do Conhecimento:** relacionar teoria e prática; explicar o funcionamento dos modelos estudados; verificar se houve apropriação dos conceitos, confirmar se houve êxito na proposta didática.

Os encaminhamentos metodológicos, baseados nos Momentos Pedagógicos supracitados, aparecem em trabalhos recentes sobre o ensino de ciências, dentre tantos é importante citar Fernandes (2016) como referência para dinâmica deste trabalho.

Segundo Muenchen e Delizoicov (2014) os Três Momentos Pedagógicos não estão restritos a atuação em sala de aula e podem ser apresentados de maneira ampla no processo de ensino-aprendizagem.

2.2.3.2 Organização da Proposta Didática

Esta Proposta Didática (PD) é uma prática de ensino organizada em 4 aulas e tem como base os Três Momentos Pedagógicos citados na seção 1.1.2, e adaptada na subseção 2.2.3.1, como mostra o Quadro 2.1:

Quadro 2.1 - Organização da Proposta Didática, relacionando a aula, o momento pedagógico e a atividade proposta.

Aula	Momento Pedagógico	Atividade Proposta
01	Problematização Inicial	Discussão sobre os conceitos de Termodinâmica e aparelhos de refrigeração.
01	Problematização Inicial	Questionário Diagnóstico (Apêndice A).
01	Problematização Inicial	Exercício sobre a potência útil de um refrigerador.
02	Problematização Inicial	Discussão sobre a questão: “Como funciona sua geladeira?”
02	Organização do Conhecimento ¹⁴	Vídeo sobre o ciclo de refrigeração de uma geladeira convencional.
02	Problematização Inicial	Questionamentos sobre objetos e instrumentos que pode refrigerar um ambiente.
02	Problematização Inicial	Apresentação das Pastilhas Peltier
03	Organização do Conhecimento	Introdução aos conceitos de termoeletricidade, efeito <i>Peltier-Seebeck</i> (Sessão 1.4)
03	Organização do Conhecimento	Atividade Experimental - Estágio 1
03	Organização do conhecimento	Atividade Experimental - Estágio 2
03	Organização do conhecimento	Atividade Experimental - Estágio 3
03	Organização do conhecimento	Atividade Experimental - Estágio 4
04	Aplicação do Conhecimento	Discussão sobre a questão: “Existe relação entre as leis da termodinâmica e o funcionamento de um refrigerador dotado de pastilhas Peltier?”
04	Aplicação do Conhecimento	Questionário Avaliativo (Apêndice B)
04	Aplicação do Conhecimento	Discussão sobre o Quadro 2.2: “Vantagens e Desvantagens da refrigeração <i>Peltier</i> ”
04	Aplicação do Conhecimento	Sugestão de Pesquisa: Vídeo sobre a construção de um refrigerador <i>Peltier</i> (Canal “Canal Manual do Mundo” no <i>YouTube</i>)
04	Aplicação do Conhecimento	Confecção de um relato das atividades propostas

Fonte: O autor.

Visto as etapas da proposta didática, a seguir apresenta-se a metodologia para sua aplicação em sala de aula.

¹⁴ Esse momento foi incluso entre os itens de problematização, devido o aluno estar nesse momento organizando o seu conhecimento por meio do vídeo e não contextualizando uma proposta.

2.2.4 Metodologia para Aplicação da Proposta Didática

A seguir, será apresentada a proposta didática baseada nos três momentos pedagógicos (subseção 2.2.3.1 e 2), juntamente com a discriminação das atividades, orientações e as sugestões de como utilizá-la. As atividades estão organizadas em ordem cronológica: problematização, apresentação teórica, apresentação experimental e atividade avaliativa.

2.2.4.1 Problematização – Abordagem Teórica

Tomou-se como pré-requisito que os alunos tenham participado das aulas sobre Termodinâmica, mais especificamente sobre as Leis da Termodinâmica e que tivessem sido apresentados aos conceitos do funcionamento de máquinas térmicas e refrigeradores (conteúdo apresentado no Capítulo 1, seção 1.2).

Aula 01 - Problematização Inicial

- Fazer uma abordagem sobre os conceitos de Termodinâmica previstos como pré-requisitos para esta atividade, inserir alguns questionamentos e informações importantes;
- Apresentar o Questionário Diagnóstico (Apêndice A) e solicitar que os alunos respondam de acordo com suas concepções (no Apêndice A também estão apresentadas possíveis respostas e/ou análise das questões aplicadas);
- Apresentar o modelo de refrigeração de acordo com as leis da termodinâmica. Leis, equações, cálculo de eficiência do refrigerador convencional.
- Finalizar com a atividade: “*Considere um refrigerador, cujo compressor tenha potência útil de 5 KW. Se durante cada minuto de funcionamento a serpentina transfere para o ambiente externo $4,5 \cdot 10^5$ J de calor, qual será a eficiência percentual deste modelo de refrigerador?*”

Resposta:

Sabendo a Potência útil e o tempo de funcionamento, calcula-se o trabalho recebido pelo refrigerador:

$$P_u = \frac{W}{\Delta t}$$

Logo,

$$\begin{aligned} W &= P_u \Delta t \\ W &= (5 \times 10^3) 60 \\ W &= 3 \times 10^5 J \end{aligned}$$

Utilizando a primeira Lei da termodinâmica para processos cíclicos ($\Delta U = 0$), Equação (1.5):

$$|Q_q| - |Q_f| = W$$

Calcula-se o calor retirado do reservatório frio:

$$4,5 \times 10^5 - 3 \times 10^5 = |Q_f|$$

$$|Q_f| = 1,5 \times 10^5 \text{ J}$$

A eficiência de um refrigerador é dada pela razão entre o calor retirado do reservatório frio e o trabalho recebido pelo refrigerador (Equação (1.9)):

$$e = \frac{|Q_f|}{W}$$

Calculamos:

$$e = \frac{1,5 \times 10^5}{3 \times 10^5}$$

$$e = 0,5$$

ou seja, a eficiência desse refrigerador equivale a 50%.

- Recolher atividades para análise das respostas e preparar a próxima atividade. Levar em consideração as concepções espontâneas durante o levantamento de dados.

Aula 02 – Problematização Inicial

- Iniciar com questionamentos sobre o funcionamento de modelos de refrigeração convencionais: Ex.¹⁵: “*Como funciona a geladeira de sua casa?*”

- Apresentar instrumentos que utilizam gás refrigerante e compressor para refrigeração: aparelho de ar condicionado, geladeira, freezer, etc.

- Introduzir vídeo explicativo sobre o ciclo de refrigeração em uma geladeira convencional:

Sugestão: <https://www.youtube.com/watch?v=VHrfwDax3GA>

(Acesso em 06 de Junho de 2018)

- Acrescentar questionamentos sobre máquinas de refrigeração:

Ex.¹⁶: “*Quais máquinas ou eletrodomésticos você conhece, que podem refrigerar um ambiente?*”

- Apresentar as pastilhas de Peltier como alternativa para refrigeração. Informar que este dispositivo será nosso objeto de estudo nas próximas atividades.

Ex.¹⁷: “*Conhece uma pastilha Peltier? Sabe como funciona? Quais são suas aplicações no cotidiano?*”

- Sugestão coletar as impressões e frases ditas pelos alunos para um melhor diagnóstico do processo de ensino e aprendizagem.

¹⁵ Resposta de referência está apresentada na seção 1.2 de termodinâmica quando se trata de refrigerador (seção 1.2.2).

¹⁶ Ar condicionado de caixa e tipo “split”, Geladeira, Freezer, Bebedouro, etc...

¹⁷ Resposta de referência foi apresentada na seção 1.4 quando se trata de Peltier.

2.2.4.2 Organização da Aprendizagem - Abordagem Experimental

Nesta seção se apresenta como a atividade experimental foi organizada. Seguindo o objetivo de apresentar novos conceitos, tomou-se o cuidado para que os estudantes pudessem interagir com o experimento.

Aula 03 – Organização do Conhecimento

Neste momento, o ideal é utilizar o laboratório de Física (ou de Ciências) para obter um melhor aproveitamento, pois, é possível preparar as bancadas com os materiais antecipadamente. Além disso, as bancadas são apropriadas com barra de tomadas e há espaço para que cada grupo possa se posicionar em volta do mesmo, sem atrapalhar os que estejam em outra bancada. Em caso de não dispor de um laboratório, pode-se utilizar a própria sala de aula. A sugestão é que se possa montar bancadas (ou mesas agrupadas) para que os alunos trabalhem em equipe. Para a organização do conhecimento propõem-se a seguinte sequência:

- Introduzir os conceitos de termoeletricidade, efeitos *Peltier* e *Seebeck*, utilizar um texto de apoio (como a teoria apresentada na sessão 1.4) caso seja necessário.
- Dividir os alunos em grupos. (Sugestão: no máximo 5 alunos por grupo)
- Montar as bancadas com os quatro (4) estágios propostos a seguir, para que os alunos possam transitar pela sequência proposta.
- Solicitar aos alunos que anotem as impressões, concepções e conclusões de cada estágio.

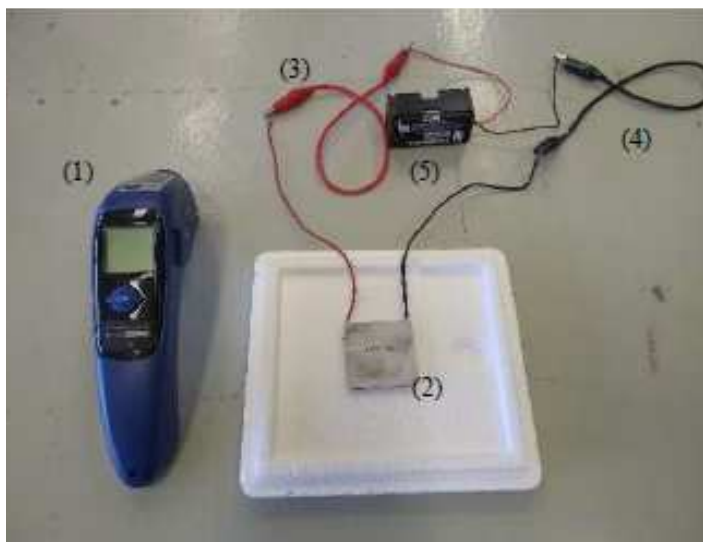
Segue o roteiro para acompanhar cada estágio:

- **ESTÁGIO 1: Conhecendo o Efeito Peltier - Verificação da variação da temperatura- aquecimento da pastilha**

Na primeira bancada deixar disponível para os alunos uma pastilha Peltier, fixada em um material isolante (para facilitar o manuseio – no caso foi a tampa da caixa de isopor), um suporte com fios para 4 pilhas de 1,2 V cada (item (5) na Figura 2.9). Poderia também utilizar

uma bateria de 9 V com o respectivo suporte com fios e um termômetro infravermelho¹⁸ (item (1)) na Figura 2.9, além dos fios conectores (item (2) na Figura 2.9).

Figura 2.9 - Foto da montagem experimental para o ESTÁGIO 1. Em que: (1) Termômetro digital infravermelho; (2) Pastilha *Peltier* sobre um material isolante (tampa da caixa de isopor), ligada por meio de fios de conexão por meio de jacarés ((3) e (4)) a uma (5) fonte de tensão (suporte com as 4 pilhas de 1,5 V).



Fonte: Arquivo do autor

Orientar para que os estudantes acoplem a bateria aos terminais da pastilha utilizando os cabos com conectores, e com o termômetro direcionado à pastilha, acompanhem o evento.

Uma sugestão é que os integrantes do grupo possam filmar (com um celular) a evolução da temperatura no termômetro e inclusive construir uma tabela (como por exemplo, a Tabela 2.1) utilizando o tempo do vídeo. Ou mesmo, ir acompanhando utilizando um cronômetro.

Tabela 2.1 - Dados da atividade experimental (Estágio 1). Os dados de tempo em segundos (s) são sugestões.

Tempo (s)	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5
Temperatura (°C)							

Fonte: O Autor.

¹⁸ Caso tenha um termopar (já vem com alguns multímetros) coloque-o em contato com a pastilha Peltier fixado com fita adesiva e a outra extremidade conecte ao multímetro na escala de temperatura. Este pode substituir o termômetro. Um vídeo que mostra como utilizar um multímetro, para este propósito está disponível no *You Tube*:<https://www.youtube.com/watch?v=X4k_a8fkf2I> - postado por AndreCisp/2014.

Observação: É necessário cuidado com a segurança, pois, o aquecimento da pastilha acontece rapidamente. Por isso, aconselha-se a tomar medidas nos primeiros 6 segundos, por segurança e para não causar danos a pastilha.

Exemplo de Resultado – Estágio 1: Na Tabela 2.1 a – apresenta-se um exemplo de resultado da variação da Temperatura (°C) no tempo (s).A parte de análise gráfica é uma sugestão, à explicação desta etapa aos alunos, de forma quantitativa.

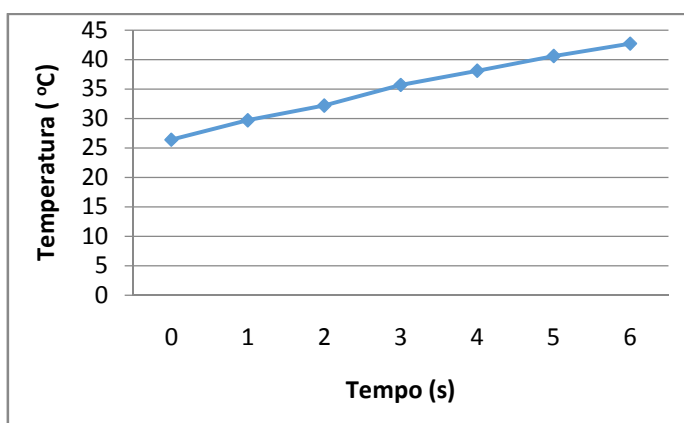
Tabela 2.1 a - Exemplo de resposta: Dados da atividade experimental (Estágio 2) -medida de tempo (s) versus temperatura em (°C).

Tempo (segundos)	0,0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0
Temperatura (°C)	26,4 (temperatura ambiente)	29,7	32,2	35,7	38,1	40,6	42,7

Fonte: O autor

Como sugestão fica a análise gráfica. Para isso, confecciona-se o gráfico com um programa (no caso Excel) ou diretamente no papel milimetrado. Pode-se ver a relação entre a variação da temperatura versus tempo (Figura 2.10). Ajustando pelo método dos mínimos quadrados (MUKAI e FERNANDES, 2018) obtém-se a seguinte relação: $T = 26,9 + 2,74 t$, logo o cronômetro foi acionado quando a temperatura estava a 26,9 ° C, e a taxa de variação de 2,74 °C/s na média. Ressaltando que essa taxa é somente para ter uma noção da relação da temperatura com o tempo nos seis primeiros segundos, ou seja, que o aquecimento é bem rápido e da dificuldade em coletar os dados.

Figura 2.10–Taxa de aquecimento da Pastilha *Peltier* nos primeiros segundos.Gráfico do tempo (s) versus temperatura (°C), a reta em azul é um guia de olho.



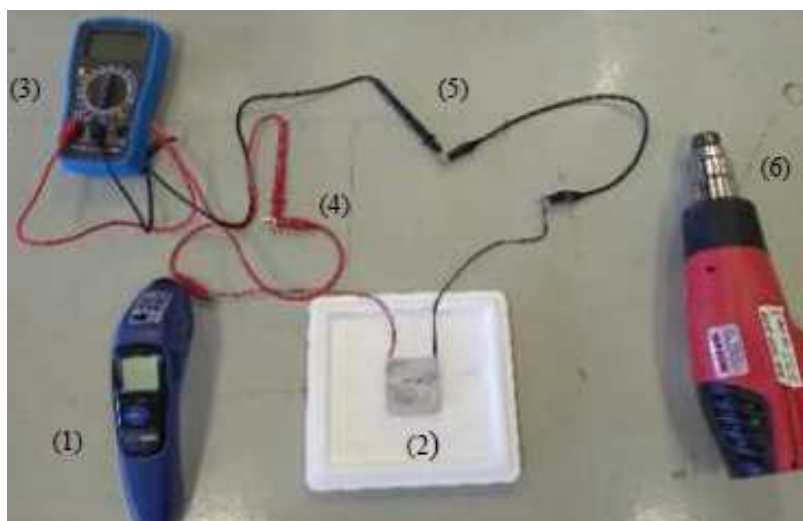
Fonte: O autor - Programa Excell 2007 ®.

- ESTÁGIO 2: Conhecendo o Efeito *Peltier/Seebeck* - Verificação da variação da diferença de potencial

Na próxima bancada (Bancada 2), disponibilizar uma pastilha Peltier, um soprador térmico e um multímetro (Figura 2.11).

ESTÁGIO 2.1 - Conectar em paralelo os fios do multímetro aos terminais da pastilha *Peltier*, Figura (2.11) itens (4) e (5), posicione o botão do seletor do aparelho direcionado para escala de 2 Volts (V), ligar o multímetro.

Figura 2.11 - Foto da montagem experimental para ESTÁGIO 2. Em que: (1) Termômetro digital infravermelho; (2) Pastilha Peltier ligada ao multímetro (3) por meio de fios conectores e auxílio de jacarés (4) e (5); (6) soprador térmico.



Fonte: Arquivo do autor

ESTÁGIO 2.2 - Direcionar o soprador térmico (Figura 2.11 item (6)) para a pastilha (Figura 2.11 item (2)), estimulando, com ar quente a parte de cerâmica da pastilha e observar a leitura da diferença de potencial (ddp), medida em Volts, apresentada pelo multímetro.

ESTÁGIO 2.3 - Seguindo a sugestão do ESTÁGIO 1, também é possível construir uma tabela (Tabela 2.2), utilizando a filmagem feita por um aparelho celular. Esta tabela contempla a comparação entre tempo e diferença de potencial (ddp).

Tabela 2.2 - Dados da atividade experimental (Estágio 2). Os dados dos tempos em segundos (s) são sugestões.

Tempo (s)	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5
ddp (volts)							

Fonte: O autor

Observação: o soprador térmico (item (6) da Figura 2.11) também pode atingir temperaturas elevadas e o cuidado com a segurança dos estudantes neste estágio também é importante. Não direcionar o soprador para a pele ou partes do corpo.

Exemplo de Resultado do Estágio 2: Apresenta-se a seguir um exemplo de resultado (Tabela 2.2a) e uma sugestão de análise gráfica que pode ser realizado com os alunos, dependendo do tempo disponível para o mesmo.

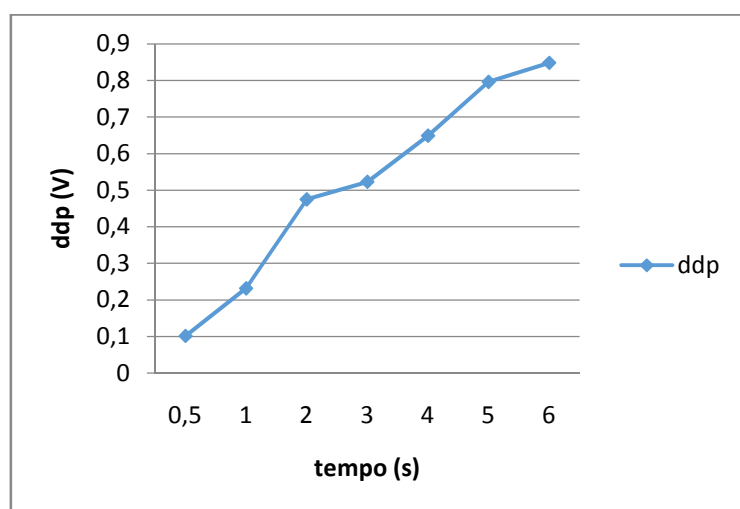
Tabela 2.2 a - Exemplo de resposta: Dados da atividade experimental (Estágio 2): Tempo em segundos (s) e ddp em Volts (V).

Tempo (s)	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0
d.d.p. (volts) Escala 2V	0,102	0,232	0,475	0,523	0,649	0,796	0,848

Fonte: O autor

Analisando como a ddp em Volts (V) variou com o tempo, confeccionou-se um gráfico ddp (V) × t(s) (Figura 2.12). Vemos que à medida que o tempo passa a ddp aumenta, devido à variação de temperatura entre a fonte quente e fria, sendo esta uma característica do efeito *Seebeck*. Ajustando a reta pelo método dos mínimos quadrados (MUKAI e FERNANDES, 2018, p. 27), $V = 0,11 + 0,13 t$, assim obteve-se uma taxa de variação média de 0,13 V/s. Novamente, lembrando que tal análise é somente dos 6 segundos iniciais.

Figura 2.12–Taxa de variação da tensão (ddp) no tempo. Gráfico da ddp (V) x tempo (s) confeccionados com os dados da Tabela 2.4. A linha azul é apenas um guia de olho.



Fonte: O autor - Programa Excell 2007 ®.

Outra sugestão é unir os dados da Etapa 1 com a Etapa 2 para os mesmos tempos e realizar uma análise ddp versus temperatura, somente para ter uma ideia do que está ocorrendo nestes segundos iniciais.

Relacionando os dados dos estágios 1 e 2: A Tabela 2.2b, apresenta os dados da temperatura extraídos da Tabela 2.1a, com ddp extraídos da Tabela 2.2a, para os mesmos tempos.

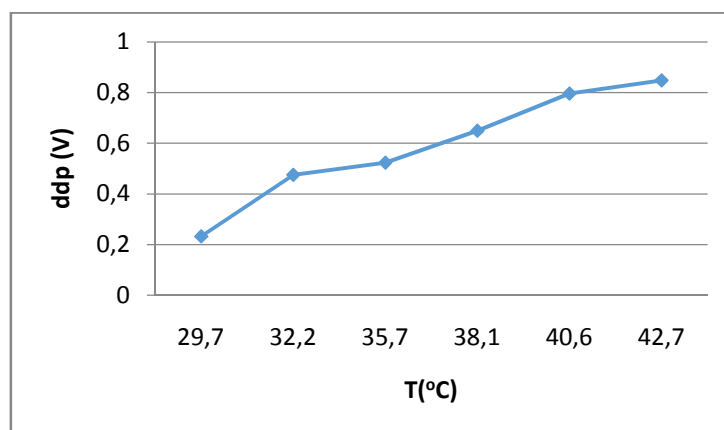
Tabela 2.2 b - Exemplo de resposta: Dados da atividade experimental (Estágio 1 e 2). Dados do tempo em segundos (s), da Temperatura (T) em °C e ddp em Volts (V). Confeccionado com os dados de mesmo tempo das Tabelas (2.1.a) e (2.2.a).

Tempo (s)	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0
T (°C)	29,7	32,2	35,7	38,1	40,6	42,7
ddp (Volts) Escala 2V	0,232	0,475	0,523	0,649	0,796	0,848

Fonte: O autor

O gráfico da Figura 2.13, é uma sugestão de análise destes dados. A inclinação da reta fornece a taxa de variação da ddp pela variação de temperatura.

Figura 2.13—Taxa de variação da ddp com a temperatura. Gráfico da ddp (V) versus temperatura (T) em °C confeccionado com os dados da Tabela 2.3b. A linha azul é um guia de olho.



Fonte: O autor - Programa Excell 2007 ®.

Verifica-se assim que, ao aquecer um lado da pastilha, aumentou a diferença de temperatura entre os lados da pastilha, e por isso aumenta a ddp registrada. Exemplo: lado frio 25°C - lado quente 30°C aferiu-se 0,4 Volts; lado frio 25°C - lado quente 40°C aferiu-se 0,7 Volts. Lembrando que há um limite de estabilização de temperatura após uns dois minutos. Ajustando pelo método dos mínimos quadrados (MUKAI e FERNANDES, 2018, p. 27), $V =$

- $1,1 + 0,05 T$, indicando uma taxa de variação $0,05 \text{ V}/^\circ\text{C}$, na média para os 6 segundos iniciais.

- ESTÁGIO 3: Apresentar um Terminal de Resfriamento.

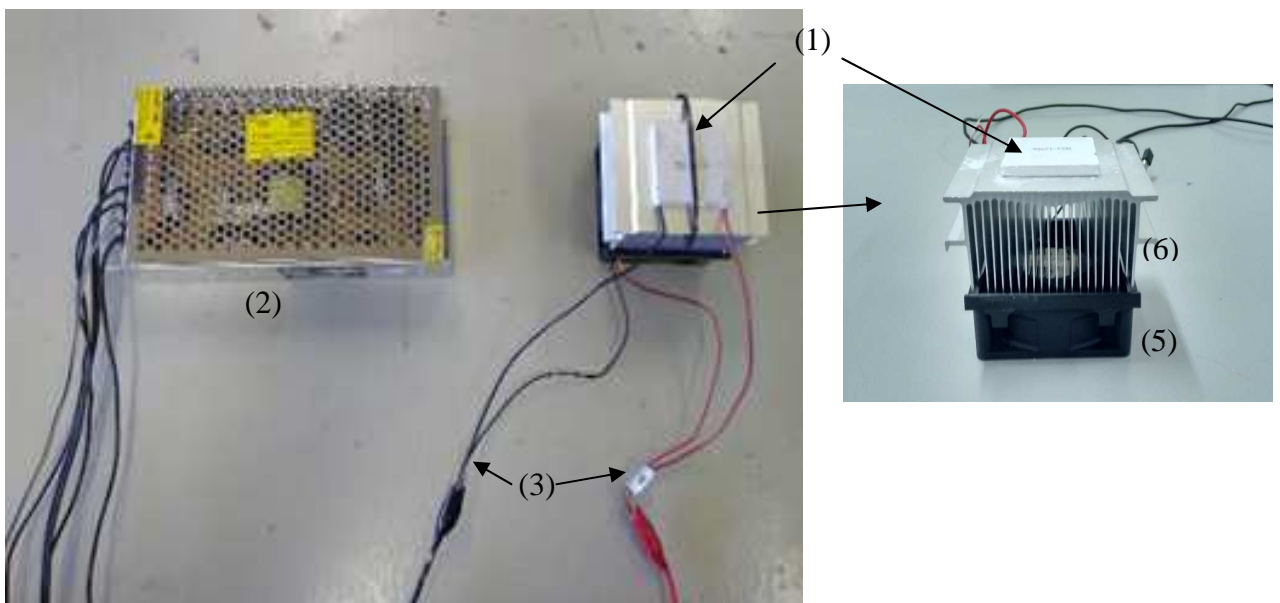
A montagem disponível na terceira bancada deve ser previamente preparada pelo professor.

Consiste em um terminal de resfriamento dotado de um ventilador (*cooler*), juntamente com um dissipador de calor de alumínio (ambos utilizados em computadores) parte inferior ao item (1) em destaque na Figura 2.14.

Ainda nessa figura, junto ao dissipador (6) está acoplada a pastilha Peltier (1), conforme descrito anteriormente (item 2 e 3 – seção 2.1.2). Este sistema é ligado a uma fonte de tensão (2) que forneça 12 volts e 10 A (Ampère). A ligação é feita por conectores (3) colocando o *cooler* (5) e a pastilha (1) em paralelo, para que recebam a mesma diferença de potencial (Figura 2.2).

Os estudantes munidos novamente de um termômetro digital e direcionando-o para a pastilha *Peltier* podem acompanhar a mudança de temperatura da pastilha.

Figura 2.14 - Foto para montagem experimental do ESTÁGIO 3. Apresentando a Pastilha *Peltier* (1) acoplada ao dissipador de calor (6) e cooler (5). Na imagem à esquerda tem-se: (2) a fonte de tensão e (3) os fios de conexão entre o sistema e a fonte.



Fonte: Arquivo do autor.

Novamente a instrução é acompanhar a variação de temperatura utilizando um celular para registrar os dados e preencher uma tabela (sugestão: Tabela 2.3).

Tabela 2.3 - Dados da atividade experimental (ESTÁGIO 3). Os dados de tempos em segundos (s) são sugestões.

Tempo (s)	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5
Temperatura (°C)							

Fonte: O autor

Exemplo de Resultados da Etapa 3: A Tabela 2.3a, apresenta um exemplo de resultado do resfriamento desse sistema de resfriamento.

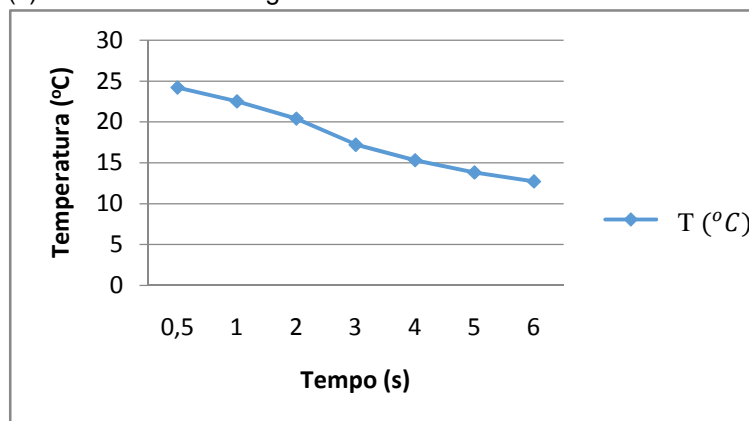
Tabela 2.3 a – Exemplo de Resposta: Dados da atividade experimental (Estágio 3). Os dados de tempos em segundos (s) são sugestões e $T_a = 26^\circ\text{C}$ (temperatura ambiente).

Tempo (s)	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0
Temperatura (°C)	24,2	22,5	20,4	17,2	15,3	13,8	12,7

Fonte: O autor

Continuando com a sugestão da análise gráfica (Figura 2.15). Vemos que a temperatura é inversamente proporcional ao tempo. Indicando o resfriamento.

Figura 2.15–Taxa de resfriamento de um terminal de resfriamento. Gráfico da temperatura T (°C) versus tempo t (s). A linha azul é um guia de olho.



Fonte: O autor - Programa Excell 2007 ®.

Ajustando os dados pelo método dos mínimos quadrados (MUKAI e FERNANDES, 2018, p. 27) obtém-se $T = 24,6 - 2,14 t$, ou seja, a taxa de resfriamento média do sistema de refrigeração de $- 2,14 \text{ }^\circ\text{C/s}$ na média. Novamente lembrando que este é o comportamento

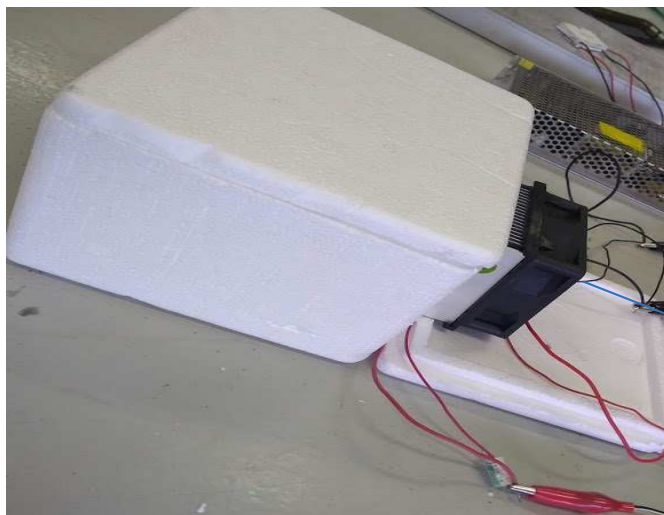
inicial, seis primeiros segundos, após isso, a tendência é cerca de 2 minutos até o sistema estabilizar para o *Peltier* utilizado.

- ESTÁGIO 4 - Apresentar um sistema de refrigeração utilizando o terminal de resfriamento

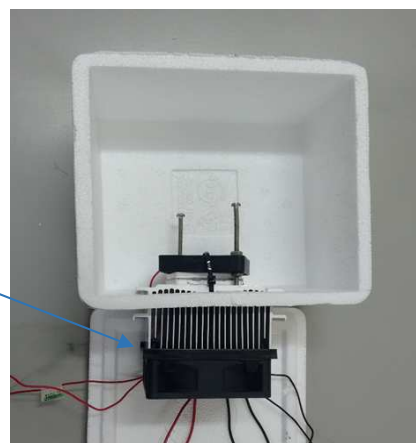
A apresentação na quarta bancada é a do protótipo de refrigerador (Figura 2.16 (a)) dotado de um ambiente isolado. Para isso, utilizou-se uma caixa de isopor e de um terminal de refrigeração (como o apresentado no ESTÁGIO 3) encaixado em uma das laterais do mesmo através de um orifício do tamanho do terminal. A Figura 2.16 (b) mostra o mesmo sem a tampa.

Este estágio pode ser apenas demonstrativo (um experimento que aborde qualitativamente o resfriamento causado dentro do recipiente), devido ao tempo de aula. Os alunos podem simplesmente sentir a diferença de temperatura entre o ambiente e a mão dentro da caixa. Tomando o cuidado para não bater na parte de refrigeração.

Figura 2.16 - Imagem fotográfica do Protótipo do Refrigerador. Em: (a) tampado e com a fonte de tensão ao lado e (b) em destaque aberto (ESTÁGIO 4).



(a)



(b)

Fonte: Arquivo do autor

Sugestão: que o professor coloque algum elemento (Experimento 2.1) para experimentar a variação de temperatura dentro do protótipo de refrigerador.

Experimento 2.1 - Colocar um copo com água (na temperatura ambiente) dentro do protótipo e deixar o terminal de refrigeração ligado a fonte de tensão (equipamento ao lado

do refrigerador mostrado na Figura 2.16 (a), para que os alunos percebam a redução de temperatura. Para isso direcionar o termômetro para a água (sem a tampa da caixa de isopor) e acompanhar a variação da temperatura. Se com a tampa de isopor, fazer um orifício na mesma, tal que seja possível realizar a leitura. Nesse caso, colocar o sensor de temperatura em contato com o líquido e acompanhar a leitura do lado de fora do protótipo, como mostrado na Figura 2.6 (a).

Um exemplo do comportamento da variação de temperatura no tempo de um sistema similar é apresentado na Figura 10 do trabalho de (DALL'AGNOL, NIENCHERSKI, KRAEMER e TATSCH, 2010,p.11) em que construíram uma geladeira Peltier.

Encerrar esta etapa fazendo com que os estudantes analisem os dados obtidos. Comparar as tabelas preenchidas e instruí-los para que possam descrever suas próprias percepções sobre os conceitos de Termodinâmica e Termoeletricidade, abordados durante experimento. Solicitar para que os alunos respondam a seguinte pergunta¹⁹: “*Quais os conceitos físicos estudados em termodinâmica e termoeletricidade você conseguiu identificar durante esta atividade experimental?*”

Por fim, como sugerido nas teorias de ensino e aprendizagem segue o fechamento com a atividade avaliativa.

2.2.4.3 Atividade Avaliativa

A partir da 4^a aula, iniciar a atividade avaliativa que é aplicar o conhecimento adquirido por meio das etapas da construção/funcionamento do protótipo de refrigerador (Aula 3).

Aula 04 - Aplicação do conhecimento

- Iniciar a atividade fazendo um levantamento dos conceitos apresentados e destacar: Leis da Termodinâmica, o funcionamento de refrigeradores, os conceitos de Termoeletricidade e aplicação das pastilhas *Peltier*.

- Debater com os estudantes quais as possibilidades de melhorar a refrigeração, dentro do sistema/ambiente fechado, apresentado na Aula 03 – Estágio 4.

¹⁹ Exemplos de respostas: Temperatura, Medidas de Temperatura, Convecção, Leis da Termodinâmica, Funcionamento de Refrigeradores, Máquinas Térmicas, etc,

- Perguntar aos estudantes²⁰: “*Existe relação entre as leis da Termodinâmica e o funcionamento de um refrigerador com pastilhas Peltier?*”

- Anotar as respostas e impressões.

- Aplicar o Questionário Avaliativo (Apêndice B), instruir os alunos para responder individualmente e recolher no final da atividade. No Apêndice B também estão apresentadas as possíveis respostas e análises das questões propostas.

- Apresentar o quadro de comparação (Quadro 2.2) que mostra as vantagens e desvantagens do uso da refrigeração com pastilhas *Peltier* em relação aos refrigeradores residenciais/convencionais, cujo funcionamento é a base de a motor elétrico (compressor).

Quadro 2.2 - Vantagens e desvantagens da refrigeração a base de pastilhas *Peltier*.

VANTAGENS	×	DESVANTAGENS
• Refrigeração localizada.		• Má eficiência dos dissipadores de calor.
• Pouca manutenção necessária.		• Grande quantidade de calor em pequenas áreas.
• Dispensa uso de gases refrigerantes.		• Utilizam altos valores de corrente contínua de baixa tensão, isto eleva o custo de instalação.
• Ausência de ruídos.		• Necessidade de um salto tecnológico para que possam ser utilizados em grande escala.
• Durabilidade.		
• Capacidade de gerar energia elétrica.		
• Funcionam em qualquer orientação.		

Fonte: Informações extraídas das referências - Moura, 2010 e Danvic, 2019

- Para encerrar as atividades, fica como sugestão, apresentar aos estudantes o vídeo de montagem de um refrigerador *Peltier*, “*Como fazer uma geladeira caseira que chega a 5,6°C (geladeira Peltier)*”, disponível no canal do *YouTube* “*Manual do Mundo*”.

- Link do vídeo: <<https://www.youtube.com/watch?v=O7NuMwVCdt0>> (Acesso em 06 de Julho de 2018).

- Solicitar um relato das atividades para cada grupo.

O próximo capítulo trata da Aplicação e Análise da Proposta didática.

²⁰ Exemplo de resposta: Sim. O sistema envolve o conceito de temperatura e entra em equilíbrio térmico que estão inclusos na lei zero da termodinâmica. O processo na 1ª lei da termodinâmica, envolve conceitos de calor e trabalho, funciona entre duas temperaturas, e por fim funciona como uma “máquina térmica”, no sentido de fornecer um coeficiente de desempenho como um refrigerador, satisfazendo a segunda lei da termodinâmica.

Capítulo 3- Aplicação e Análise do Produto Educacional

Este capítulo é composto pelo contexto da aplicação do Produto Educacional, contendo o local, o público alvo e as dependências que foram utilizadas. Em seguida, apresenta-se o relato das atividades, considerando as atitudes tomadas pelo professor e destacando as impressões e observações feitas pelos alunos.

3.1 CONTEXTO DA APLICAÇÃO – PÚBLICO ALVO

As atividades aconteceram no segundo semestre de 2017, sendo o público alvo uma turma de 23 alunos do 2º ano do curso Técnico em Química, integrado ao Ensino Médio, nas dependências do Instituto Federal do Paraná (IFPR), campus Umuarama-PR. A aplicação foi autorizada pelo diretor de ensino da instituição (Anexo A).

A instituição possui 4 laboratórios didáticos, de uso comum com o nível superior. Sendo que nesses possuem 5 bancadas cada, e materiais e equipamentos para experimentos. Apenas 1 dos laboratórios citados é equipado com materiais de Física Básica: Mecânica, Eletricidade e Magnetismo, Óptica, Termodinâmica e Ondulatória. Os alunos utilizaram este último durante as aulas. Os equipamentos necessários para montagem das bancadas, que pertencem aos laboratórios citados são: soprador térmico, multímetro e termômetro digital. Os demais equipamentos foram adquiridos pelo autor.

A previsão de aplicação das unidades didáticas foi direcionada para 04 aulas de 50 minutos cada. A dinâmica das atividades foi apresentada aos estudantes e destaca-se o grande interesse e entusiasmo, demonstrado pelos participantes, em poder colaborar com o trabalho.

Segue o relato desta aplicação.

3.2 RELATO DA APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL

Na sequência, apresenta-se o relato de cada aula que foram planejados na Proposta Didática (Quadro 2.1), e objetivos (seção 2.4.2) apresentada no Capítulo 2.

3.2.1 Aula 01 – Problematização Inicial

A Sequência Proposta foi incluída no planejamento do ano letivo de 2017, logo após a apresentação das Leis da Termodinâmica (seção 1.2). Para dar início as atividades e fazer uma avaliação dos conceitos previamente estudados, apresentou-se aos estudantes o Questionário Diagnóstico (Apêndice A) para que pudessem responder de acordo com suas concepções. Lembrando que, a problematização inicial dessa aula além de estar dentro do contexto dos Três Momentos Pedagógicos, são os subsunçores no contexto da Teoria de Ausubel para toda aplicação.

Para dar sequência à atividade, os estudantes foram encaminhados para o estudo de modelos de refrigeração, baseado nas leis da Termodinâmica, lembrando as equações e o princípio da 2ª lei da termodinâmica (seção 1.2). Alguns questionamentos dos alunos apresentados durante a explanação foram:

Aluno X: *“Professor, mas o refrigerador é uma máquina térmica?”*

Aluno Y: *“Pensei que estes princípios só seriam aplicados para máquinas que recebem calor.”*

Aluno Z: *“Ah, por isso que no questionário que respondemos tem a pergunta sobre geladeira!”*.

Dentre outras indagações a maioria dos alunos se envolveu com a atividade e houve uma boa troca de experiência.

Encerrando o encontro com os estudantes resolvendo o exercício proposto:

“Considere um refrigerador, cujo compressor tenha potência útil de 5 KW. Se durante cada minuto de funcionamento a serpentina transfere para o ambiente externo $4,5 \cdot 10^5$ J de calor, qual será a eficiência percentual deste modelo de refrigerador?”.

Recolheram-se todas as atividades propostas para este encontro com o objetivo de analisar as concepções de cada estudante sobre o assunto abordado.

3.2.2 Aula 02 - Problematização Inicial

Considerando as respostas apresentadas no Questionário Diagnóstico e para relembrar os conceitos de termodinâmica abordados ao final da Aula 01, iniciou-se o encontro com o questionamento¹⁴: *“Como funciona a geladeira de sua casa?”*.

As respostas dos estudantes foram muito interessantes, destacamos algumas:

Aluno Z: “Agora ficou fácil né professor, ela joga calor para fora.”

Aluno T: “Funciona ao contrário das máquinas térmicas.”

Aluno R: “Recebe energia elétrica e retira calor de dentro para fora.”

Com isso, direcionou-se a discussão e a apresentação de diversos tipos de aparelhos que utilizam os princípios de termodinâmica, mais precisamente, a Segunda Lei da Termodinâmica e sistemas dotados de gás refrigerante, e como exemplo de refrigeração de ambientes de edificações (casa, escritório, etc.), o aparelho de ar condicionado.

O próximo passo foi apresentar um vídeo explicativo (duração de 3:10 minutos) sobre o ciclo de refrigeração em uma geladeira convencional (EMBRACO, 2016). Para finalizar a apresentação dos aparelhos de refrigeração instigou-se a turma com a questão¹⁵: “Quais máquinas ou eletrodomésticos você conhece, que podem refrigerar um ambiente?”

Notadamente, ocorreu a manifestação de alguns estudantes, pois, as respostas lhes pareciam óbvias e remetiam aos equipamentos que acabaram de ser apresentados: “Ar condicionado, Freezer, bebedouro, etc.” respondiam confusos e eufóricos.

Neste momento apresentou-se para a turma a pastilha *Peltier*, desconectadas de qualquer fonte de energia elétrica. Apenas aquela pastilha de cerâmica com dois pedaços de fio (como a da Figura 1.15) e colocada a seguinte questão¹⁶: “Conhece uma pastilha *Peltier*? Sabe como funciona? Quais são suas aplicações no cotidiano?”

Este encontro encerrou-se com tal questionamento e com a explanação (do professor), acrescentado que na Aula 03 será apresentado o funcionamento de uma pastilha *Peltier* e como ela pode ser utilizada em um sistema de refrigeração de ambientes, totalmente diferente dos sistemas apresentados até o presente encontro.

3.2.3 Aula 03 - Organização da aprendizagem

A turma foi conduzida ao laboratório de Física, o encontro começa com uma pequena introdução sobre os efeitos de Termoeletricidade (*Peltier* e *Seebeck*). Constatou-se que os estudantes tinham pouco ou nenhum conhecimento sobre tais efeitos.

Utilizou-se de um Material de Apoio (conteúdo apresentado no Capítulo 1, seção 1.4) com imagens para ilustrar a construção e funcionamento de pastilhas *Peltier*. Os estudantes manusearem as pastilhas antes de realizar o experimento, que consiste em observar e compreender o funcionamento dessas pastilhas, durante as fases de construção do protótipo de refrigerador.

Alguns questionamentos interessantes:

Aluno X: “Professor este metal esquenta igual uma resistência de chuveiro?”

Aluno Z: “Essa plaquinha pode refrigerar um ambiente?”

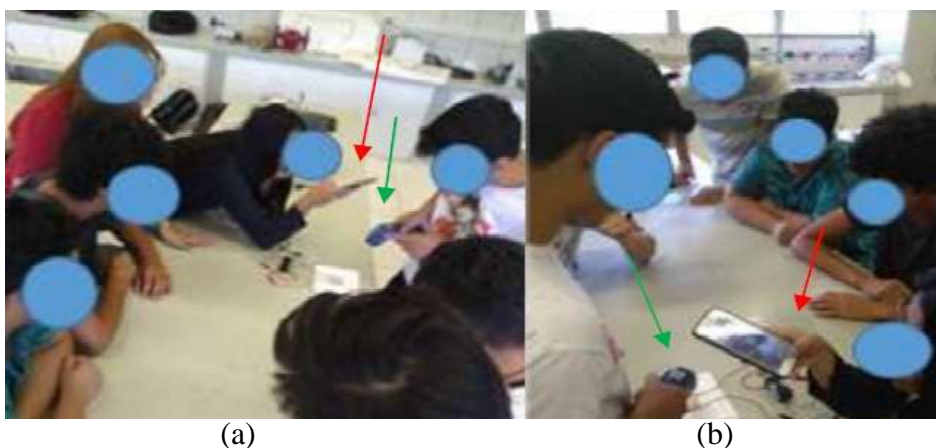
Aluno T: “Quer dizer que ela vai esfriar e esquentar ao mesmo tempo?”.

Após alguns esclarecimentos, a turma se organizou em grupos para que pudessem iniciar a atividade. No laboratório estavam montadas bancadas com a sequência que os grupos deveriam percorrer, sendo que em cada bancada era apresentado um estágio, apresentados na subseção 2.2.4.2. Os estudantes foram orientados para que anotassem as impressões e conclusões de cada estágio.

ESTÁGIO 1: Conhecendo o Efeito Peltier - Relação entre tempo e temperatura do aquecimento da pastilha

No “Estágio 1” – Aula 03 – Organização do Conhecimento – observa-se (Figura 3.1- dois ângulos diferentes (a) e (b)) que os estudantes acoplaram o suporte de pilhas aos terminais da pastilha Peltier (montagem ilustrada na Figura 2.8) e com o auxílio do termômetro digital de infravermelho acompanharam a variação na temperatura (indicada com uma seta vermelha nas Figuras 3.1). Constatando que a mudança de temperatura ocorria muito rapidamente, e a instrução aos estudantes foi para que filmassem a variação de temperatura no termômetro (Figura 3.1 indicada com uma seta verde a ação da estudante), para que posteriormente preenchessem uma tabela com os dados do tempo e temperatura (um exemplo de dados para o tempo é o da Tabela 2.1). Os estudantes foram notificados sobre os cuidados no manuseio da placa, pois, a placa de cerâmica poderia atingir temperaturas elevadas.

Figura 3.1 - Imagem fotográfica dos estudantes monitorando a temperatura das pastilhas *Peltier* (Estágio 1). Sob dois ângulos diferentes: (a) aluno filmando (indicada com uma seta vermelha) em destaque em (b) e outro apontando o termômetro para a pastilha (indicada com uma seta verde).



Fonte: Arquivo do autor

Após todas as equipes passarem por este estágio, os estudantes ficaram entusiasmados. Alguns relatos foram:

Aluno Q: “*Professor é muito rápido!*”

Aluno R: “*Esquenta de um lado e resfria do outro, né?*”.

Avançando para a próxima bancada “Estágio 2”.

ESTÁGIO 2: Conhecendo o Efeito *Peltier/Seebeck* - Relação entre tempo e a diferença de potencial

A Figura 3.2 mostra a imagem fotográfica, sob dois ângulos diferentes (a) e (b), dos estudantes manuseando uma pastilha Peltier acoplada a um multímetro (montagem apresentada na Figura 2.9).

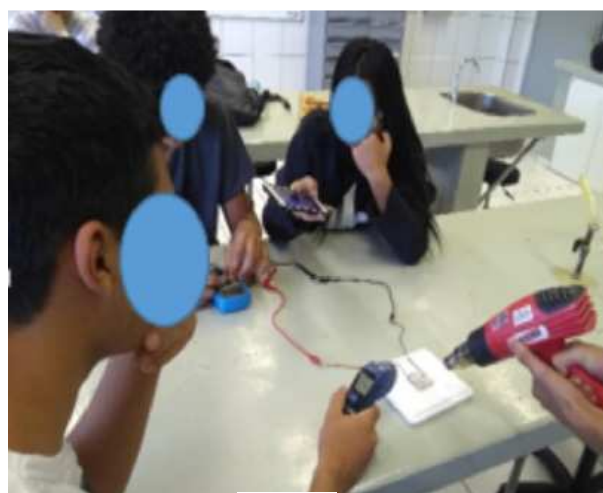
A instrução foi para usarem um soprador térmico para aquecer a placa de cerâmica da pastilha, justamente a parte da placa que é considerada o lado quente (o lado que aquece quando acoplada a fonte de tensão já testada no Estágio 1), enquanto acompanhavam a medida de tensão pelo multímetro.

Novamente foi solicitado para anotarem a evolução da medida em uma tabela (modelo Tabela 2.3) que relaciona tempo aos valores de tensão observados. Algumas equipes usaram (novamente) a estratégia de filmar o multímetro, fazendo uso do celular, assim como foi realizado no Estágio 1.

Figura 3.2- Imagem fotográfica dos estudantes monitorando a medida do multímetro Sob dois ângulos diferentes(a) e (b) estudantes monitorando o valor de tensão apresentado pelo multímetro, enquanto estimulam a placa de cerâmica com soprador térmico.



(a)



(b)

Fonte: Arquivo do Autor

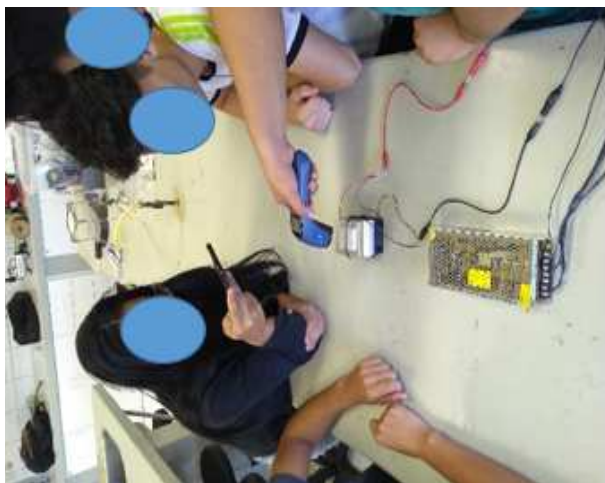
- **ESTÁGIO 3 - Apresentar um Terminal de Resfriamento**

No “Estágio 3” foi apresentado aos estudantes o sistema apresentado na Figura 2.12, que é um terminal de refrigeração construído com pastilha *Peltier*, um ventilador (*cooler* utilizado para resfriamento em computadores) e um dissipador de calor de alumínio (também utilizado em computadores). Esta montagem foi acoplada a uma fonte de tensão de 12 V (volts) que fornece 10 A.

A Figura 3.3, sob dois ângulos diferentes, apresenta o registro dos estudantes novamente munidos do termômetro infravermelho e monitorando a variação de temperatura sobre a placa *Peltier*. Esta etapa foi refeita com intuito de perceber a redução de temperatura.

Os dados desta observação de temperatura em relação ao tempo foram anotados em uma tabela (modelo Tabela 2.3). Foi explicado que o experimento é qualitativo e que as tabelas nos fornecem dados de comportamento das pastilhas *Peltier*. Foi explicado também que e que estes dados servem para tirarmos conclusões sobre os efeitos termoelétricos apresentados no início dessa aula (Aula 3).

Figura 3.3 - Imagem fotográfica da prática experimental no Estágio 3. Em que: (a) Estudantes monitorando a temperatura da pastilha *Peltier* e (b) em destaque a captação da imagem por um celular da variação da temperatura no termômetro.



(a)



(b)

Fonte: Arquivo do Autor

ESTÁGIO 4 - Apresentar um ambiente de refrigeração utilizando o terminal de resfriamento

Na última bancada, o “Estágio 4”, apresentou-se uma caixa de isopor acoplada a um terminal de refrigeração, sistema apresentado na Figura 2.14, representando o ambiente refrigerado que é o Protótipo de Refrigerador proposto no presente trabalho.

Nessa etapa não houve registro de fotos, e sim registros de alguns comentários dos alunos. Diante do terminal de refrigeração, alguns estudantes já antecipavam o resultado dizendo:

Aluno Z: *“Professor vai gelar dentro da caixa!!”*

Aluno T: *“Professor, dá pra construir uma geladeira com isso?”*.

Foi explicado aos alunos que neste estágio os estudantes não iriam coletar dados, mas que iriam apenas observar o comportamento e, por isso, deveriam colocar um copo com água em temperatura ambiente fora da caixa e outro dentro da mesma, para que pudessem observar a diferença de temperatura.

Para encerrar a atividade, foi solicitado para os grupos trocarem as experiências adquiridas, compararem os dados e descreverem as concepções e conclusões das atividades realizadas. Para estimular a discussão apresentou-se a seguinte questão¹⁸: *“Quais os conceitos físicos estudados em termodinâmica e termodinâmica você conseguiu identificar, durante esta atividade experimental?”*.

O encontro foi encerrado com um debate sobre a questão entre os grupos.

A seguir, apresenta-se a última aula, das 4 propostas, sendo essa relacionada a Avaliação.

3.2.4 Aula 04 – Aplicação do Conhecimento – Atividade Avaliativa

Após o resgate realizado, na Aula 01, sobre Leis da Termodinâmica e a apresentação dos dois modelos de refrigeração distintos: a geladeira convencional (seu funcionamento baseado nas leis da Termodinâmica) e o terminal de refrigeração *Peltier* (com funcionamento inserido no contexto da Termoeletricidade), foi realizado o quarto encontro (Aula 04) que se iniciou com uma pequena explanação sobre os conceitos empregados na experiência da Aula 03.

Destaca-se também que os efeitos termoelétricos foram recebidos pela maioria dos estudantes como novidade, fato que fomentou as discussões e contribuições ao longo de toda atividade.

Para retomar a discussão foi lançado o seguinte questionamento¹⁹: “*Existe relação entre as leis da termodinâmica e o funcionamento de um refrigerador dotado de pastilhas Peltier?*”

Alguns estudantes se arriscam nas respostas como:

Aluno X: “*Tem transformação de energia professor.*”

Aluno B: “*Recebe energia elétrica e transforma em energia térmica.*”

Aluno Z: “*Não funciona igual uma geladeira, mas podemos relacionar vários conceitos*”.

Na sequência distribuiu-se o Questionário “Avaliativo” (Apêndice B) e os estudantes foram instruídos a responderem. A Figura 3.4, apresenta fotos dos estudantes respondendo o questionário.

Figura 3.4 - Imagem fotográfica registrada dos estudantes realizando a atividade avaliativa.



Fonte: Arquivo do autor

Esta atividade apresentou questionamentos sobre a atividade experimental que foi realizada sobre as leis de termodinâmica e sobre a importância de conhecer os efeitos termoelétricos e novas tecnologias.

Após recolher os questionários, foi apresentado aos alunos o Quadro 2.2 de vantagens e desvantagens do uso das pastilhas Peltier, pois, foi um dos anseios dos estudantes ao longo das discussões e, ainda, sugeriu-se para pesquisa um vídeo sobre a montagem de um refrigerador dotado de um sistema de refrigeração com Peltier: “*Como fazer uma geladeira caseira que chega a 5,6°C (geladeira Peltier)*”, encontrado no canal do YouTube: “*Manual do Mundo*” (<<https://www.youtube.com/watch?v=O7NuMwVCdt0>>. Acesso em 06 de junho de 2018).

Por fim, houve o agradecimento aos alunos, pela participação de todos e solicitou-se para que os estudantes escrevessem um relato sobre toda a prática que vivenciaram durante este período. O relato foi escrito em grupo (o mesmo grupo da atividade experimental) para ser entregue nas aulas seguintes.

Na próxima seção apresenta-se a análise das respostas dos questionários e demais questões propostas no meio das aulas.

3.3 ANÁLISE DAS RESPOSTAS DAS ATIVIDADES

Durante a aplicação da Proposta Didática, foram realizados quatro encontros com a turma de 23 estudantes do segundo ano do curso Técnico em Química, integrado ao Ensino Médio, nas dependências do Instituto Federal do Paraná (IFPR) do Campus do Município de Umuarama - PR. Acompanhando o desenvolvimento das atividades várias questões foram propostas com o objetivo de analisar o conhecimento dos indivíduos, bem como as concepções espontâneas e o resultado das atividades propostas, seguindo a proposta de Delizoicov, Angotti e Pernambuco que são os 3 Momentos Pedagógicos (Delizoicov, Angotti e Pernambuco, 2011).

No primeiro encontro (Aula 01) os objetivos eram: diagnosticar os conteúdos prévios sobre Termodinâmica, que já teriam sido estudados ao longo do ano letivo; e investigar se havia um conhecimento sobre os conceitos de refrigeração e termoeletricidade. Este momento também foi utilizado para levantar a problemática de alternativas para refrigeração de um ambiente. As respostas obtidas nortearam a prática e contribuíram para elaboração da

proposta, tais respostas também serviram de parâmetro para comparação ao final da atividade e possibilitaram a análise dos conteúdos apropriados pelos estudantes.

Ainda, no primeiro encontro, os estudantes foram submetidos ao Questionário Diagnóstico (Apêndice A), segue a análise das respostas (Quadro 3.1), com algumas observações (os 23 estudantes responderam o questionário). Algumas destas respostas estão apresentadas no Anexo B.

Quadro 3.1 - Análise das Respostas do Questionário Diagnóstico.

Nº - Questão	Respostas predominantes	Observações
Q01 - Você já estudou as leis da termodinâmica? Quais são? Dê exemplos	<p>20 alunos responderam que estudaram as leis da termodinâmica, desses:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 15 conseguiram enunciar a 1^a e 2^a leis da Termodinâmica e apenas 1 aluno fez referência ao conceito de Entropia; • 03 alunos, apenas, citaram a Lei Zero da Termodinâmica. 	<ul style="list-style-type: none"> • 02 alunos disseram que sim, mas não enunciaram nenhuma lei; • 02 alunos disseram que sim e enunciaram apenas a 2^a Lei da Termodinâmica. • 01 aluno não respondeu.
Q02 - Quais são as máquinas de refrigeração que você conhece?	<p>Os 23 alunos citaram geladeira como máquina de refrigeração. Desses:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 18 também citaram o aparelho de ar-condicionado e, • 10 citaram refrigeração de água (bebedouro). 	<p>Todas as respostas foram baseadas em modelos de refrigeração que usam gás refrigerante no funcionamento.</p>
Q03 - Você sabe como funciona a geladeira de sua casa? Explique.	<p>20 alunos responderam sim, sabem como funciona a geladeira. Desses:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 10 citaram as leis da termodinâmica para explicar o funcionamento. 	<ul style="list-style-type: none"> • Apenas 05 alunos conseguiram analisar o funcionamento da geladeira baseado na 2^a Lei da Termodinâmica, sobre o modelo de

	<ul style="list-style-type: none"> • 07 não conseguiram explicar. • 03 apenas disseram que ela retira calor do ambiente interno; 	<p>Máquinas Térmicas.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Apenas 03 alunos não responderam.
<p>Q04 - Você conhece algum dispositivo que relacione eletricidade e energia térmica (calor)? Dê Exemplos.</p>	<p>15 alunos responderam a questão e citaram como exemplo a resistência do chuveiro. Desses:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 04 alunos também citaram churrasqueira elétrica; • 01 aluno citou dispositivos “dotados de resistência elétrica” (palavras usadas pelos estudantes) e usou como exemplos, além do chuveiro, forno elétrico, secador de cabelo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Apenas 01 aluno disse não conhecer nenhum dispositivo. • 02 alunos não responderam a questão.
<p>Q05 - O que se entende a respeito do termo: TERMOELETRICIDADE?</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 10 alunos responderam que o termo está relacionado à transformação de energia elétrica em energia térmica. • 04 alunos tentaram relacionar o conceito com resistência elétrica. 	<ul style="list-style-type: none"> • 05 alunos não responderam. • 04 alunos disseram que não conhecem o termo.
<p>Q06 - Conhece algum tipo de aparelho que utiliza um método de refrigeração sem o uso de gás refrigerante e o processo de compressão? Conhece Aparelhos que utilizam pastilhas de cerâmica para resfriamento?</p>	<p>20 alunos responderam não às duas questões</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 02 alunos não responderam. • Apenas 01 aluno citou uma pastilha de resfriamento associada a refrigeração do computadores.

<p>Q07 - Já estudou ou já foi informado a respeito dos efeitos <i>Seebeck</i> e <i>Peltier</i>? Conhece algum dispositivo que funcione utilizando estes efeitos?</p>	<p>Todos os alunos disseram não conhecer os efeitos da Termoeletricidade (<i>Seebeck</i> e <i>Peltier</i>).</p>	
<p>Q08 - Você considera importante o conhecimento de novas tecnologias em uma disciplina de ensino de Ciências (Exemplos: química, física, biologia)?</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 15 alunos responderam que acham importante o conhecimento de novas tecnologias. • 06 alunos não responderam 	<ul style="list-style-type: none"> • 01 aluno disse que não acha importante. • 01 aluno disse que é importante, mas que o próprio estudante tem que ter curiosidade sobre o assunto.

Fonte: Arquivo do Autor – Respostas dos alunos

Em relação às respostas obtidas, destaca-se a dificuldade que os estudantes encontraram em relacionar objetos do cotidiano aos conteúdos estudados em sala de aula. A grande maioria respondeu corretamente sobre as Leis da Termodinâmica, porém, tiveram dificuldade em relacionar o conceito ao funcionamento de máquinas de refrigeração (exemplo: geladeira).

Diante desses resultados obtidos, percebe-se então, “a necessidade dos alunos utilizarem argumentos mais adequados e completos, cuja estrutura se aproxima mais da estrutura dos argumentos científicos em suas respostas a problemas e questões escolares” (VILLANI; NASCIMENTO, 2003, p. 206).

Após a Aula 02, foi apresentado aos alunos o funcionamento de um refrigerador convencional, utilizando outros materiais didáticos (aula expositiva com uso do quadro de giz e o vídeo do *YouTube* sobre o funcionamento da geladeira, citado na Proposta Didática). Fazendo referência à aplicação das Leis de Termodinâmica, relacionadas ao funcionamento de máquinas térmicas, os estudantes passaram responder os questionamentos com olhar mais crítico e com maior atenção na relação entre cotidiano e sala de aula.

As respostas foram emitidas com mais receio, quando foi apresentada aos alunos a pastilha *Peltier*. Ao final do encontro, verificou-se que as respostas dos alunos foram muito vagas, pois, o instrumento era desconhecido para a maioria dos estudantes.

Quando o encontro aconteceu no laboratório (Aula 03) a dinâmica da turma modificou. Os alunos manifestaram curiosidade pela atividade e se tornaram participativos.

Observou-se que o ambiente favoreceu uma atuação diferente, tal que os estudantes se demonstraram mais motivados. Após a explanação sobre os efeitos termoeletrônicos os estudantes tentaram tirar suas próprias conclusões. As respostas obtidas neste momento foram sobre as impressões mostradas durante a prática. Ressaltando que em cada bancada eles tiveram uma surpresa diferente, pois foram preparadas de uma forma construtiva.

Ao abrir o último encontro (Aula 04) com a questão “*Existe relação entre as leis da termodinâmica e o funcionamento de um refrigerador dotado de pastilhas Peltier?*”, as respostas foram muito diversificadas. É necessário destacar a mudança de postura em relação às respostas obtidas na Aula 01, uma vez que após a apresentação da proposta, os estudantes se mostraram mais propensos a buscar uma relação entre a prática e a teoria. Dessa forma, observou-se que nas respostas emitidas, os alunos apresentaram uma visão mais crítica. Eles compararam também os modelos de refrigeração apresentados, fato que corrobora as expectativas da proposta.

Nas respostas obtidas por meio do Questionário Avaliativo (Apêndice B) notou-se que a maioria dos estudantes podem se apropriar de conceitos físicos importantes. Vários estudantes apresentaram respostas, muito bem elaboradas, sobre as Leis da Termodinâmica, fato que não ocorreu no Questionário Diagnóstico (Quadro 3.1).

Destaca-se a evolução das respostas sobre os conceitos de Termoeletricidade, neste ponto, a grande maioria dos estudantes conseguiu apresentar exemplos e fazer comparações que não foram possíveis no início da atividade.

Segue a análise das respostas no Quadro 3.2, sabendo que todos os que responderam o “Questionário Diagnóstico” participaram também da Atividade Avaliativa. Imagens de algumas respostas escritas de próprio punho estão apresentadas no Anexo B.

Quadro 3.2 - Análise das Respostas do Questionário Avaliativo.

Nº da questão	Respostas predominantes	Observações
Q01- Você já estudou as leis da termodinâmica? Quais são? Dê exemplos.	Todos os 23 alunos responderam que estudaram as leis da termodinâmica. Desses, 20 conseguiram enunciar a 1ª lei e a 2ª lei da Termodinâmica	03 alunos confundiram as leis da Termodinâmica com os conceitos de Termoeletricidade que foram apresentados.

	e citar exemplos, relacionados ao funcionamento de máquinas térmicas e transformações de energia.	
Q02 - Quais são as máquinas de refrigeração que você conhece? Você sabe como funciona a geladeira de sua casa? Explique.	<ul style="list-style-type: none"> • Todos os estudantes responderam positivamente sobre o conhecimento das máquinas de refrigeração. • 17 estudantes responderam sobre o funcionamento da geladeira fazendo referência às Máquinas Térmicas e aos conceitos de Termodinâmica. 	<ul style="list-style-type: none"> • 03 estudantes não conseguiram explicar corretamente o funcionamento da geladeira. • 03 responderam só responderam a primeira parte da pergunta, utilizando exemplos: geladeira e <i>Peltier</i>.
Q03 - Você conhece algum dispositivo que relacione eletricidade e energia térmica (calor)? Dê Exemplos.	<ul style="list-style-type: none"> • 20 estudantes citaram instrumentos que utilizam resistência elétrica em seu funcionamento. Destes, 18 estudantes citaram também os módulos de refrigeração <i>Peltier</i>. 	<ul style="list-style-type: none"> • 02 estudantes citaram apenas exemplos que utilizam resistência elétrica (chuveiro e forno elétrico); • Apenas 1 estudante não citou exemplos.
Q04 - O que se entende a respeito do termo: TERMOELETRICIDADE?	19 estudantes responderam relacionando conceitos de transformação de energia térmica em energia elétrica (ou vice-versa);	<ul style="list-style-type: none"> • 02 estudantes apenas citaram apenas as Pastilhas <i>Peltier</i> e não explicaram o termo. • 02 estudantes não responderam
Q05 - Qual a relação da Lei Zero da Termodinâmica com o funcionamento de pastilhas <i>Peltier</i> ? (Existe ou	<ul style="list-style-type: none"> • 10 estudantes relacionaram com a Lei Zero da Termodinâmica 	<ul style="list-style-type: none"> • 03 estudantes disseram que não encontram relação.

não existe? É possível aplicar?)	<p>instrumentos dotados com pastilhas <i>Peltier</i> e que podem ser usados como controladores de temperatura.</p> <ul style="list-style-type: none"> • 5 estudantes responderam relacionando a medida de tensão e temperatura. 	<ul style="list-style-type: none"> • 03 estudantes não responderam.
Q06 - Qual a relação da Primeira Lei da Termodinâmica com o funcionamento de pastilhas Peltier? (Existe ou não existe? É possível aplicar?)	15 estudantes relacionaram o funcionamento de pastilhas Peltier com transformação de energia.	<ul style="list-style-type: none"> • 05 estudantes não responderam; • 03 estudantes disseram que não existe relação.
Q07 - Qual a relação da Segunda Lei da Termodinâmica com o funcionamento de pastilhas Peltier? (Existe ou não existe? É possível aplicar?)	10 estudantes compararam o sistema de refrigeração da geladeira convencional com o sistema Peltier.	<ul style="list-style-type: none"> • 07 estudantes responderam apenas sobre termodinâmica, sem comparar os modelos estudados. • 06 estudantes não responderam.
Q08 - A apresentação dos efeitos termoelétricos foi útil para o conteúdo estudado? Tal apresentação, ajudou a fixar com conceitos de termodinâmica?	<ul style="list-style-type: none"> • 20 estudantes afirmaram que a apresentação prática foi útil para os conteúdos destes, • 15 estudantes disseram que os conceitos de Termodinâmica ficaram mais claros. 	02 estudantes disseram que a prática ajudou, mas que ficaram confusos entre Termodinâmica e Termoeletricidade. Apenas 01 estudante não respondeu.
Q09 - Você considera importante o conhecimento de novas tecnologias em uma disciplina de ensino de	21 afirmaram ser de suma importância a apresentação de novas tecnologias.	<ul style="list-style-type: none"> • 01 estudante não respondeu • 01 estudante disse que

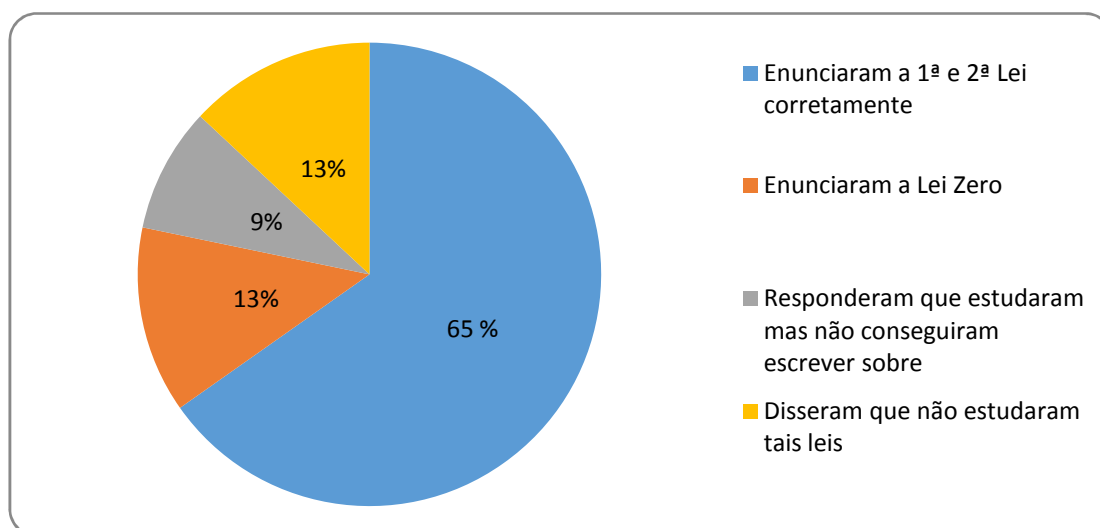
Ciências (Exemplos: química, física, biologia)?		já conhecia os fenômenos apresentados, mas não conhecia os termos técnicos.
---	--	---

Fonte: Arquivo do autor - Questionário respondido pelos alunos.

As respostas obtidas em cada questionário foram confrontadas, principalmente para as questões que se repetem em ambos:

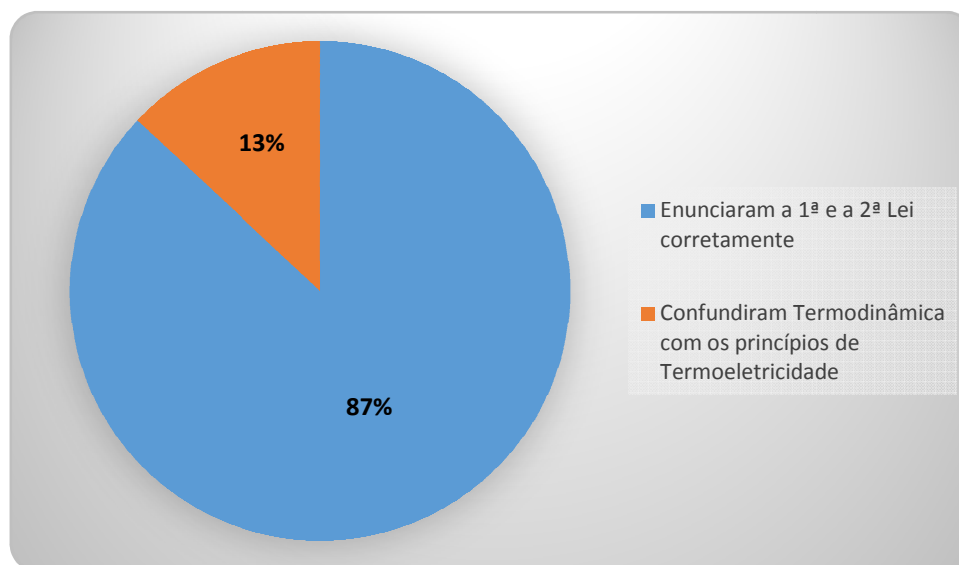
Questão 01: *Quais são as leis da Termodinâmica?* Esta questão está presente em ambos os questionários. Analisando as respostas (Figuras 3.5 e 3.6), percebe-se um pequeno aumento no número de respostas quanto ao enunciado das Leis da Termodinâmica. Em contrapartida, alguns estudantes confundiram os conceitos estudados com os conceitos de Termoeletricidade.

Figura 3.5 - Gráfico da análise das respostas referente à Questão 01. Q01 - Quais são as leis da Termodinâmica? (*Questionário Diagnóstico*).



Fonte: O autor.

Figura 3.6 - Gráfico da análise das respostas referente a Questão 01. Q01 -Quais são as leis da Termodinâmica? (*Questionário Avaliativo*).



Fonte: O autor.

Ao analisar os dados da Figura 3.5 e comparar com a Figura 3.6 pôde-se observar que após a aula experimental houve um crescimento no número de alunos que conseguem explicar a 1ª Lei e a 2ª Lei da Termodinâmica. Percebe-se que no questionário diagnóstico que 26% dos alunos falaram apenas de uma das leis. Verifica-se que os conhecimentos prévios ainda apresentavam falhas. Entre esses alunos, este panorama mudou após a atividade experimental.

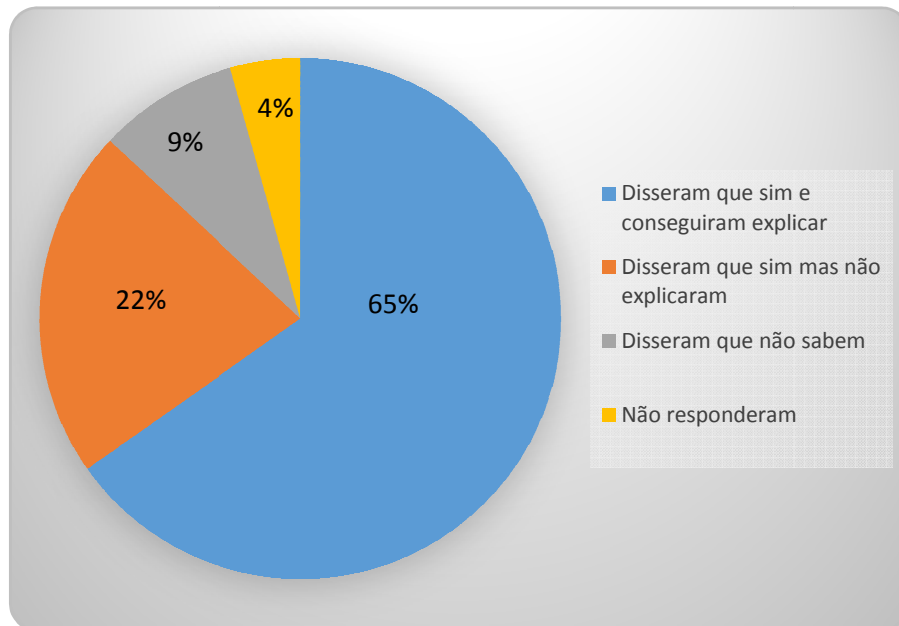
Neste sentido Sousa Neto e coautores (2016, p.3) explicam que:

Os conhecimentos prévios já elaborados e assimilados na estrutura cognitiva do aluno servem como base dinâmica para articulação dos conhecimentos novos através de relações e associações com os já existentes. Nesse sentido, os conhecimentos construídos por meio dessa articulação dos conhecimentos prévios com os novos conhecimentos serão ressignificados e reestruturados permitindo ampliar o repertório de conhecimentos e de novos saberes. (SOUSA NETO e COAUTORES, 2016, p. .3)

Importante salientar que os conhecimentos prévios, chamados de subsunções, segundo a teoria de Ausubel, são fundamentais para novos aprendizados. Portanto, poder explicar as Leis da Termodinâmica permite ao estudante ter uma visão ampla sobre fenômenos térmicos, que serviram como base para estruturar novos conhecimentos. Além disso, esta estrutura é uma das condições necessárias para que ocorra a aprendizagem significativa.

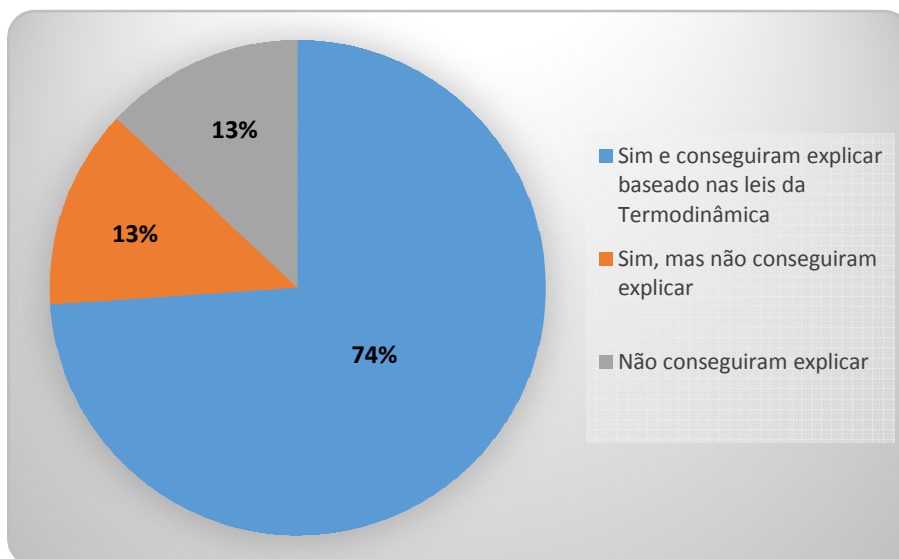
Questão 03/02: *Você sabe como funciona a geladeira de sua casa?* (Figuras 3.7 e 3.8), houve um crescimento de aproximadamente 30% dos estudantes que conseguiram explicar o funcionamento da geladeira.

Figura 3.7 - Gráfico da análise das respostas referente à Questão 03. Q03 - Você sabe como funciona a geladeira de sua casa? (*Questionário Diagnóstico*)



Fonte: O autor.

Figura 3.8 - Gráfico da análise das respostas referente à Questão 02. Q02 - Você sabe como funciona a geladeira de sua casa? (*Questionário Avaliativo*)



Fonte: O autor.

Na análise dos gráficos das Figuras 3.7 e 3.8 fica evidente que após participarem da aula teórica e prática, sobre o funcionamento de uma geladeira, os alunos foram capazes de explicar a questão baseadas nas Leis da Termodinâmica. Esse fato comprova que as aulas práticas aliadas às aulas teóricas realmente contribuem para o aprendizado dos alunos.

As aulas experimentais apresentam vantagem para o ensino de Física, nesse momento, há uma articulação entre a teoria (cálculos, matemáticos, interpretações de gráficos, etc.) e a prática, o que reforça a construção do conhecimento científico. Esta construção corrobora os objetivos dos Momentos Pedagógicos (Delizoicov, Angotti e Pernambuco, 2011).

Sendo esta outra constatação de como os conhecimentos prévios influenciam na aprendizagem, comprovando a hipótese do presente estudo na Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel.

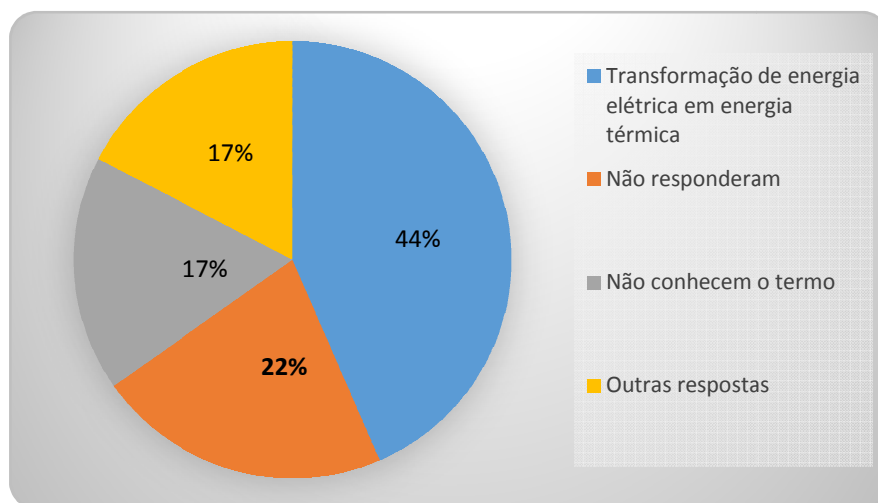
Silva e Schirlo (2014) demonstraram em seu estudo que a organização cognitiva do educando é relevante para a aprendizagem de conceitos científicos, pois, interagem com uma estrutura de conhecimento específica, denominada por Ausubel de subsunção. Sendo que, esses são constituídos por uma organização de conceitos e proposições que formam um conjunto de novas relações que constituem a aprendizagem significativa.

Desse modo, os resultados das experiências de aprendizagem observados nos alunos participantes deste estudo demonstram que os mesmos manifestaram novos significados sobre o conteúdo aprendido, resultando em uma aprendizagem significativa.

Questão²¹ 05/04: *O que você entende a respeito do termo: TERMOELETRICIDADE?*
Analisando as respostas (Figuras 3.9 e 3.10), percebe-se um aumento significativo no número de estudantes que relacionaram transformação de energia elétrica e energia térmica.

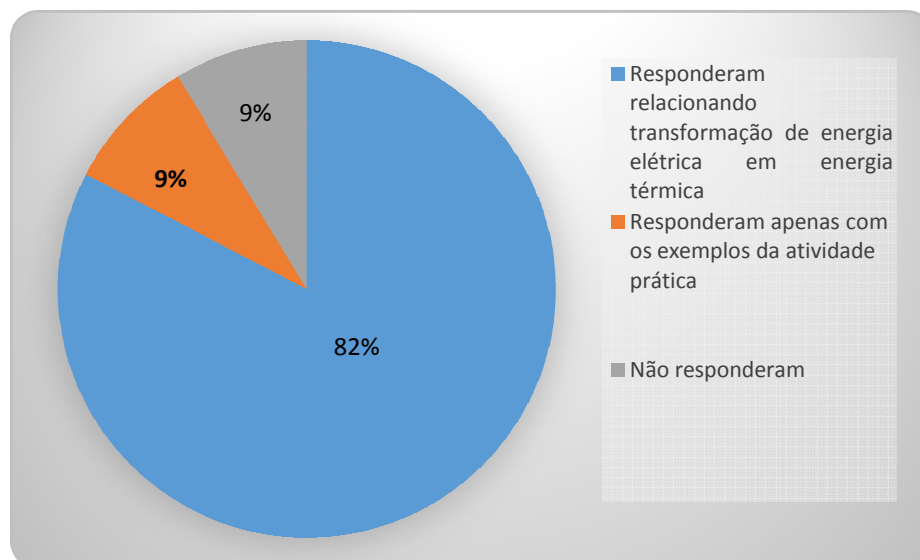
²¹ Numeração diferente entre o Questionário Diagnóstico e o Avaliativo.

Figura 3.9 - Gráfico da análise das respostas sobre à Questão 05. Q05 - O que se entende a respeito do termo: TERMOELETRICIDADE? (*Questionário Diagnóstico*).



Fonte: O autor.

Figura 3.10 - Gráfico da análise das respostas sobre a Questão 04. Q04 - O que você entende a respeito do termo: TERMOELETRICIDADE? (*Questionário Avaliativo*)



Fonte: O autor.

Na análise das respostas da Figura 3.9 e Figura 3.10, percebe-se um aumento significativo, cerca de 40% dos estudantes que não conseguiram relacionar os conceitos no Questionário Diagnóstico, agora fazem a relação entre energia elétrica e energia térmica, demonstrando que durante a apresentação do conceito de Termoeletricidade. Observa-se que fizeram uso dos subsunçores que ancoram esse tema que permitiu a ativação de

conhecimentos já existentes na estrutura cognitiva dos estudantes, levando-os à aprendizagem significativa.

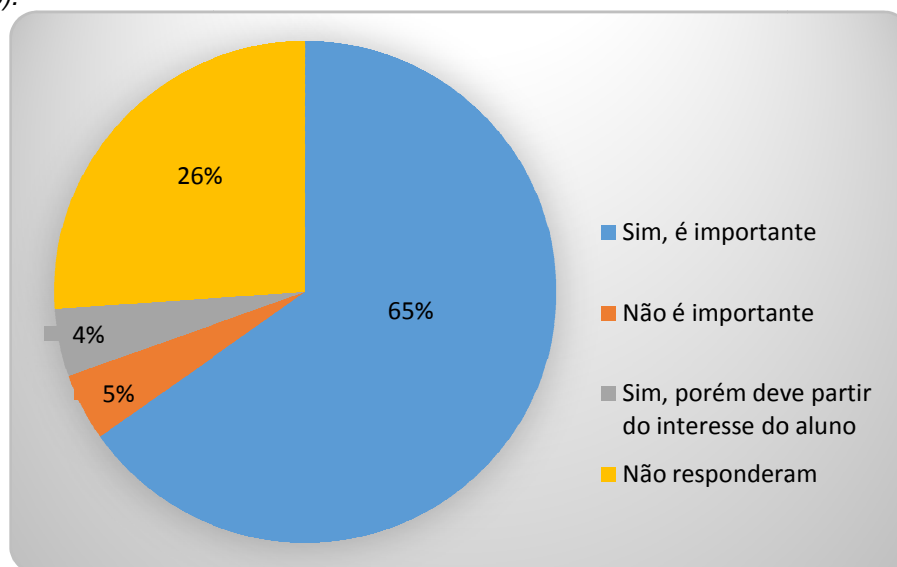
Em seu estudo sobre teoria da aprendizagem significativa de Ausubel e o Ensino de Física, Silva e Schilo (2014), ressaltam que no ensino de Física, se os conceitos já existirem na estrutura cognitiva do aluno, estes conceitos servirão de subsunçores para novas informações referentes aos novos conceitos que lhes foram apresentados, tal qual citado na análise da questão 03/02.

Tironi e coautores (2013) desenvolveram um estudo sobre *A Aprendizagem Significativa no Ensino de Física Moderna e Contemporânea* e constaram que aula experimental auxilia os alunos a entenderem o conteúdo.

Pode-se concluir a partir dos dados analisados, e as impressões das “discussões” dos alunos em aula, que a atividade proposta para abordar o conceito de termoeletricidade (Efeito Termoelétrico), articulada com atividade prática e com aplicações tecnológicas, leva o estudante a ter uma motivação (o despertar) para a aprendizagem, tornando a aprendizagem significativa. E, que quando os alunos aprendem o conceito eles são capazes de explicá-lo com suas próprias palavras.

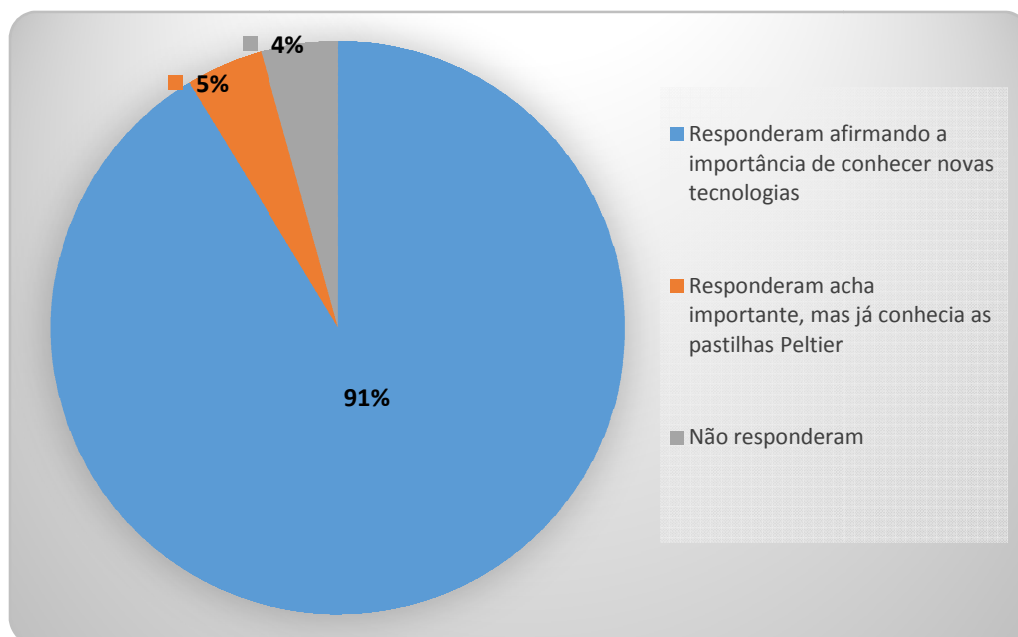
Questão 08/09: *Você considera importante o conhecimento de novas tecnologias em uma disciplina de ensino de Ciências?* (Segue análise das respostas na Figuras 3.11 e 3.12).

Figura 3.11 - Gráfico da análise das respostas sobre a questão 08. Q08 - Você considera importante o conhecimento de novas tecnologias em uma disciplina de ensino de Ciências? (*Questionário Diagnóstico*).



Fonte: O autor

Figura 3.12 - Gráfico da análise das respostas sobre a questão 09.Q09 - Você considera importante o conhecimento de novas tecnologias em uma disciplina de ensino de Ciências? (*Questionário Avaliativo*).



Fonte: O autor

Analisando os resultados apresentados na Figura 3.11 e Figura 3.12, verifica-se que ocorreu uma mudança positiva, em um aumento de 26% da turma, na percepção sobre o uso de novas tecnologias em um componente curricular de ensino de Ciências após terem vivenciado o conceito de Termoeletricidade em aulas práticas.

Silva e Schilo (2014) lembram que os profissionais da educação devem estar aptos para atuar na realidade escolar do século XXI, conscientes dos desafios e das possibilidades da sua profissão.

E, de acordo com Feltrin (2015) as possibilidades advindas das Novas Tecnologias servem de ferramenta para que o educador possa viabilizar a demonstração de determinados conteúdos, do componente curricular de Física, por vezes ainda abstrato pelo educando.

As questões do “Questionário Avaliativo” (questões Q05, Q06 e Q07) que consideram as Leis da Termodinâmica corroboram um dos objetivos desta prática, que seria avaliar o aprendizado das referidas leis. Constata-se que a maioria dos estudantes conseguiu identificar, comparar e fazer relações entre os sistemas de refrigeração e as leis da Termodinâmica, bem como atribuir parâmetros entre o sistema *Peltier* e o processo de refrigeração convencional.

Após analisar as respostas e os relatos feitos pelos estudantes é importante frisar a eficiência de atividades práticas no contexto do ensino de Física. A proposta desta atividade se confirma tanto nas discussões apresentadas pelos estudantes, quanto nos questionários escritos pelos mesmos. O interesse dos estudantes durante as atividades e a evolução dos conceitos se destaca como pontos altos de todo processo. Outro fato que corrobora a proposta da atividade é a aproximação entre conceitos teóricos e o cotidiano dos estudantes, explicitada tanto no fato de poder explicar o funcionamento de uma geladeira, quanto ao se apropriarem de novos conceitos sobre Termoeletricidade.

Vale lembrar que o público alvo deste trabalho foi uma turma de Ensino Médio, em caso de instituição de nível superior, ou se considerarmos os últimos anos da graduação do curso de Física, o assunto poderia ser tratado mais profundamente, utilizando conceitos de Física do Estado Sólido ou até mesmo conceitos de Mecânica Quântica.

Considerações Finais

Este trabalho teve como objetivo a elaboração e aplicação de uma Proposta Didática, com uso de um aparato experimental (Protótipo de um refrigerador, cujo principal elemento são as Pastilhas *Peltier*), para contribuição nos estudos de Termodinâmica e introdução de elementos de Termoeletricidade. A Termodinâmica já está inserida como conteúdo pertencente aos PCN's e a contribuição da Termoeletricidade visa compreensão de efeitos que não estão dentro dos assuntos elencados na Termodinâmica, mas que fazem parte do cotidiano dos estudantes. Lembrando ainda, que o efeito termoelétrico é um assunto que existe desde 1821. Dispositivos que relacionam energia elétrica e energia térmica, que não sejam resistores, e que podem ser úteis em aquecimento ou resfriamento de ambientes são contemplados no estudo da Termoeletricidade.

A elaboração e aplicação da Proposta Didática constituem um material de apoio aos docentes da área, que poderão usufruir desta experiência e replicar em suas ações pedagógicas. Tal material recebe o nome de Produto Educacional, sendo este um texto didático-pedagógico que contempla a construção de um Protótipo de refrigerador utilizando pastilhas *Peltier*. Este foi baseado na Teoria de Aprendizagem atribuída a Ausubel, com tema central a Aprendizagem Significativa fundamentado em conhecimentos prévios dos estudantes, os quais são denominados *subsunçores*. Neste caso os conteúdos adotados como *subsunçores* foram as Leis da Termodinâmica, no contexto dos modelos de refrigeração, utilizados como base para investigar a aprendizagem anterior e para inserir os conceitos posteriores tanto de Termodinâmica, quanto de Termoeletricidade.

Ainda nessa elaboração, quanto a distribuição dos assuntos e a construção da Proposta Didática, essas foram amparadas nos Três Momentos Pedagógicos de Delizoicov, Angotti e Pernambuco, que funcionaram para elencar a ordem das atividades desempenhadas, desde a motivação inicial até a avaliação dos estudantes sobre os temas.

Em relação ao público alvo, as atividades (aplicação do Produto Educacional) foram aplicadas em uma turma de Ensino Médio Técnico de Química, pertencente ao Instituto Federal do Paraná (IFPR), campus Umuarama, no estado do Paraná.

Destaca-se nesta aplicação, o comportamento dos estudantes ao longo de todo processo, o empenho e curiosidade que são inerentes ao aprendiz de Ciências.

A investigação do Ensino de Termodinâmica teve como motivação o funcionamento de uma geladeira convencional e abriu portas para inserção de conceitos que ainda não

havia sido estudados pelo grupo de alunos que participou da pesquisa. A apresentação de um objeto desconhecido da maioria dos alunos (pastilha *Peltier*) fez com que os momentos de discussões ganhassem maior importância, visto que os conceitos de Termoeletricidade não fazem parte do currículo de um curso de ensino médio, o mais próximo que os estudantes chegam desta compreensão é estudar o Efeito Joule, quando se trata de resistores. Portanto, aprender sobre um modelo de refrigeração de ambientes que se utiliza da Termoeletricidade acrescentou em muito no resultado final e nas impressões colhidas durante a aplicação do Produto Educacional.

É útil acrescentar a necessidade, e a notória importância, de atividades práticas para o ensino de Física, o uso de materiais de fácil acesso, a utilização de instrumentos de medida, a ambientação ao Laboratório Didático, entre outros aspectos, são fases que enriqueceram a proposta e corroboraram autores citados no trabalho, quanto à importância da experimentação para o Ensino. Pode-se elencar nas diferentes fases do trabalho a presença de elementos cruciais para aprendizagem e contribuições dos estudantes que possivelmente não aconteceriam no contexto da sala de aula convencional, mas que estiveram presentes neste trabalho.

Em razão da análise das respostas dos estudantes, por meio dos questionários apresentados e nas impressões deixadas pelos mesmos, ao longo do processo, identificaram-se vários pontos importantes que puderam aproximar o cotidiano do estudante à proposta. Desde a problematização inicial com discussões, dúvidas e testemunhos dos estudantes, observou-se a busca de conhecimento enfrentada pelos estudantes. Na fase de organização do conhecimento percebeu-se um engajamento e a organização dos grupos para aproveitarem tal momento. E, por fim, quando indagados ou instigados para explicações durante a aplicação do conhecimento os estudantes apresentaram uma gama de argumentos e de conceitos que não tinham antes da prática.

Além disso, acredita-se ainda, que a aplicação desta proposta contribuiu para uma Aprendizagem Significativa dos estudantes envolvidos e poderá contribuir com o Ensino de Física, em diversos níveis de ensino, acrescentando material didático para futuras práticas docentes e contribuindo como referencial de pesquisa. Constatou-se um modelo eficiente na investigação das Leis da Termodinâmica e surpreendeu quanto à introdução dos conceitos de Termoeletricidade, fato este que é acrescido pela curiosidade, pois o assunto não era conhecido pelo grupo de pessoas envolvidas. Deseja-se que o mesmo possa servir para melhoria da prática docente e para fomento de novas práticas e discussões.

Referências Bibliográficas

ALVES, E. de O. **Propriedades Físicas do Semicondutor Bi_2Te_3** . Dissertação. 131 fls. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, RN, 2007. Disponível no site: <<ftp://ftp.ufrn.br/pub/biblioteca/ext/bdtd/EdvaldoOA.pdf>>, Acesso em: 15 de julho de 2017.

ANDRECISP – YouTube: **Multímetro Digital com teste de capacitômetro e temperatura**, 2014. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=X4k_a8fkf2I> Acesso em: 19 de fevereiro de 2019

BONJORNO, J. R.; RAMOS, C. M.; ALVES, L. A. **Física: termologia, óptica, ondulatória**. 3. ed.. Coleção Física. São Paulo : FDT, 2016.

BORGES, A.T. **Novos rumos para o laboratório escolar de ciências**. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v.19, n. 3, p.291-313, dez. 2002.

BRASIL **Parâmetros Curriculares Nacionais - Ensino Médio**. Secretaria de Educação Média e Tecnológica/MEC, Brasília, 1998.

BRASIL **Parâmetros Nacionais para o Ensino Médio: orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais**. Física. Secretaria de Educação Média e Tecnológica/MEC, Brasília, 2000.

BRASIL **Parâmetros Nacionais para o Ensino Médio: orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais: Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias**. Secretaria de Educação Média e Tecnológica/MEC, Brasília, 2002.

BRASIL **Orientações curriculares para o Ensino Médio**. Ciências da natureza, matemática e suas tecnologias. Secretaria de Educação Média e Tecnológica/MEC, Brasília, 2006.

BRITO FILHO, J. P. e coautores. **Aquecimento, resfriamento e controle de temperatura de um ambiente fechado utilizando células Peltier**. Anais. VI CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA - 18 a 21 de agosto - Campina Grande, PB, 2010.

CAMARGO, J. R. **Parâmetros básicos para avaliação da eficiência de um refrigerador que utiliza o sistema termelétrico**. In: XIX Congresso Brasileiro de Aplicações de Vácuo na Indústria e na Ciência – XIX CBRAVIC. Campinas, SP, 1999.

CAMPANHOLI JUNIOR, L. **Currículo Lattes**, 2019. Disponível em <<http://lattes.cnpq.br/4500301174305322>>. Acesso em 12 de março de 2019.

COLL, C.; MARTÍN, E.; MAURI, T.; MIRAS, M.; ONRUBIA, J.; SOLÉ, I.; ZABALA, A. **O construtivismo na sala de aula**. Ática, 1996.

DALL'AGNOL, A.; NIENCHESKI, H. Z.; KRAEMER, K. **Geladeira Peltier**. 2009. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação). 23 fls. Curso de Escola de Engenharia, Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2009.

DANVIC. **Equipamentos Danvic Ltda.**, 2019. Disponível em: <<http://www.peltier.com.br/index.php?url=home>>. Acesso em 18 de dezembro de 2018.

DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A. **Metodologia do Ensino de Ciências**. Série Formação do Professor. São Paulo: Cortez, 1991.

_____. **Física - Coleção Magistério 2º Grau**. Série Formação Geral, 2ª ed. São Paulo: Cortez, 1992.

_____; PERNAMBUCO, M. M. **Ensino de Ciências: fundamentos e métodos**. Coleção Docência em Formação. 4ª ed. São Paulo: Cortez 2011.

EDUFER, **Tabela de Resistividade de Materiais** - Disponível em: <<http://www.edufer.com.br/tabela-de-resistividade-dos-materiais-condutores-semicondutores-e-isolantes/>> Acesso em 20/02/2019.

EDU ventiladores ventilador e um pouquinho de tudo; YouTube: **Pastilhas Peltier Melhor Resultado em Série Paralelo ou direto na Fonte? Teste 2 Definitivo**. 2018. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=EFZ5CZR5HQk>>. Acesso em 20 de fevereiro 2019.

ELETROLAB - YouTube: **Pastilhas Peltier - Ligações em série e paralelo !!** 2017. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=X2c1syUYrxw>>. Acesso em 02 de fevereiro de 2018.

EMBRACO. **Ciclo de refrigeração em uma geladeira convencional**, 2016. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=VHrfwDax3GA>>. Acesso em 06 de junho de 2017.

FELTRIN, E. R. **As novas tecnologias aplicadas ao ensino de física numa perspectiva construtivista**. Anais. Congresso Nacional Interdisciplinar em experiências educativas - 20 a 22 de maio, 2015.

FERNANDES, S. **O Ensino de Física Térmica a partir de um modelo didático de coletor solar**. 2016. Dissertação (Mestrado). 144 fls. Curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Universidade Federal de Santa Catarina, Araranguá, SC, 2016.

FERRO, M. da G. D. e PAIXÃO, M. do S. L. **Psicologia de Aprendizagem Fundamentos Teóricos – metodológicos dos processos de construção do conhecimento** – EDUEP, 1ª Edição, 2017.

FIALHO, A. B. **Automação hidráulica: projeto. Dimensionamento e análise de circuitos**. 5. ed. Erica, São Paulo 2008.

FREON, In: **Wikipédia: a enciclopédia livre**. Wikipedia, 2019. Disponível em: <<https://pt.wikipedia.org/wiki/Freon>>. Acesso em 21 de Fevereiro de 2019.

FRIGORÍFICO, In: **Wikipédia: a enciclopédia livre**.Wikipedia, 2019. Disponível em:<<https://pt.wikipedia.org/wiki/Frigor%C3%ADfico>>. Acesso em 21 de Fevereiro de 2019.

GASPAR, A. **Compreendendo a Física**. V.2 Ondas, Ótica, Termodinâmica. 3. ed.. São Paulo: Ática, 2016.

HALLIDAY, D.; RESNICK R.; WALKER, J. **Fundamentos da Física**. Volume 2 . 12ª edição. Editora: LTC, 2012.

HEIKES, R. R.; URE, R. W. JR. **Thermoelectricity. Science and engineering**. New York; London : Interscience Publishers, 1961.

JOMON cerâmicas avançadas. **Ficha Térmica Alumina**.< <http://www.jomon.com.br/>> . Acesso em 20 de fevereiro 2019.

KOURY, R. N. N; MACHADO L.; BICALHO, L. R. L.; MENDONÇA, C. de O. **Estudo da viabilidade técnica e econômica da utilização de bombas de calor termoelétricas para aquecimento de água residencial**. VI Congresso Nacional de Engenharia Mecânica – VI CONEM – 18 a 21 de Agosto – Campina Grande, PB, 2010. Disponível em: <<http://www.abcm.org.br/anais/conem/2010/PDF/CON10-0330.pdf>>. Acesso em 05 de novembro de 2018.

LUKASIEVICZ, T.; BAZZO, J. P.; SILVA, J. C. **Simulação Do Comportamento Térmico de um Módulo de Efeito Peltier**. XIV Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR – XIV SICITE, 2009

MANUAL do Mundo – YouTube: **Como fazer uma geladeira caseira que chega a 5,6°C (geladeira Peltier)**, 2018. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=O7NuMwVCdt0>>. Acesso em 06 de Junho de 2017.

MOREIRA, M. A.; MASINI, E. A. S. **Aprendizagem significativa: a teoria de aprendizagem de David Ausubel**. 2ª ed. São Paulo: Centauro Editora, 2006

MOREIRA, M. A. **Teorias de Aprendizagem**. São Paulo: EPU, 1999.

MOURA, J. A. de S. **Filmes nanométricos de FeN e AlN crescidos por sputtering e aplicações do efeito Peltier**. Tese. 200 fls. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, RN, 2010.

MUENCHEN, Cristiane; DELIZOICOV, Demétrio. **Os três momentos pedagógicos e o contexto de produção do livro “Física”**. Ciência e Educação. Bauru, v. 20, n. 3, p. 617-638, 2014.

MUKAI, H.; FERNANDES, P. R. G., **Manual de Laboratório de Física Experimental I**, p. 27 e 28, 2018. Disponível no site: <<http://site.dfi.uem.br/wp-content/uploads/2018/04/Manual-de-Laborat%C3%B3rio-de-F%C3%ADsica-Experimental-I.pdf>>. Acesso em 22/01/2019.

PAULINO, I. **Nota de Falecimento**, 2018. Disponível no site: <<http://www.sbfisica.org.br/v1/home/index.php/pt/acontece/710-nota-de-falecimento-prof-edvaldo-de-oliveira-alves-mara>>. Acesso em 22 de fevereiro de 2019.

RAMALHO, F. Jr.; dos Santos, J. IVAN C.; Ferraro, G. NICOLAU; Soares, de TOLEDO P. A., **Os fundamentos da física Vol. 2. Termologia, Geometria da Luz e Ondas**, 1ª edição, Editora Moderna, SP, 1976;

_____, **Os fundamentos da física Vol.3. Eletricidade**, 1ª edição, Editora Moderna, SP, 1976;

ROQUE, A. 5910170 – **Física II – Ondas, Fluidos e Termodinâmica** – USP, Aula 23, 2012. Disponível em <<http://sisne.org/Disciplinas/Grad/Fisica2FisMed/aula23.pdf>>. Acesso em 22 de janeiro de 2019.

SILVA, R. E. da. **Análise e Otimização de um sistema termoeletrico para condicionamento de Ar**. Dissertação. Universidade de Taubaté. Taubaté, SP, 2010.

SILVA, J. **Como funciona um sistema básico de refrigeração (Frigorífico)**, 2013, disponível em <<http://dicasesquemas.blogspot.com/2013/04/como-funciona-um-sistema-basico-de.html>>. Acesso em 16 de janeiro de 2019.

SILVA, S. de C. R. da; SCHIRLO, A. C. **Teoria da aprendizagem significativa de Ausubel: reflexões para o ensino de física ante a nova realidade social**. *Imagens da Educação*, v. 4, n. 1, p. 36-42, 2014.

SOUSA NETO, P.A.; SOUSA, M.P. **Ensino de física e aprendizagem significativa: um olhar discente no semiárido**. 2016. Disponível em <http://www.editorarealize.com.br/revistas/conidis/trabalhos/TRABALHO_EV064_MD1_SA7_ID1618_21102016154014.pdf>. Acesso em 22 de janeiro de 2019.

TEIXEIRA, C. A.; LEAL, A. B.; ZANICOSKI, B. P. S. **Concepção de um mini refrigerador Peltier para uso como ferramenta no Ensino de Engenharia**. XXXV Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia – XXXV COBENGE – 10 a 13 de setembro – Curitiba, PR, 2007. Disponível em: <<http://www.abenge.org.br/cobenge/arquivos/12/artigos/411-Carlos%20Alberto%20Teixeira.pdf>>. Acesso em 06 de julho de 2017.

TIRONI, C. R., SCHMIT, E.; SCHUHMACHER, V. R. N.; SCHUMACHER, E. **A Aprendizagem Significativa no Ensino de Física Moderna e Contemporânea**. Atas do IX Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências – IX ENPEC – 10 a 14 de novembro - Águas de Lindóia, SP, 2013. Disponível em <https://www.researchgate.net/publication/303247292_A_Aprendizagem_Significativa_no_Ensino_de_Fisica_Moderna_e_Contemporanea>. Acesso em 12 de dezembro de 2018.

VILLANI, C. E. P.; NASCIMENTO, S. S. **A argumentação e o ensino de ciências: uma atividade experimental no laboratório didático de física do ensino médio**. *Investigação em Ensino de Ciências*, Rio Grande do Sul, v.8, n.3, p.187-209, 2003.

ZEMANSKY, M. W. **Calor e Termodinâmica**. Traduzido por Benedito Carlos Pinto Breda. .5. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1978.

Anexo A: Termo de Autorização



TERMO DE AUTORIZAÇÃO

Eu José Adolfo Mota, diretor de ensino do IFPR- Campus Umuarama, tenho ciência e autorizo o professor Lucas Campanholi Junior à utilizar suas aulas para apresentar uma unidade didática, dentro da disciplina de física, ao 2º ano do curso de Técnico em Química, integrado ao Ensino Médio. Esta apresentação é parte do trabalho de pesquisa desenvolvido pelo professor supracitado e está vinculada ao Mestrado Profissional Nacional em Ensino de Física (MNPEF). Para tal, devem ser utilizadas as aulas ao final do semestre e após ter sido cumprida a ementa padrão do curso.

Umuarama-PR, 30 de Novembro de 2017.


José Adolfo Mota de Almeida
IFPR - Instituto Federal do Paraná
Docente - SIAPE 2262090
José Adolfo Mota
Diretor de Ensino
IFPR - Campus Umuarama

Anexo B: Exemplos de Respostas

Neste anexo, apresentam-se cópias dos questionários Diagnóstico e Avaliativo de alguns alunos.

1. Aluno A: Questionário Diagnóstico

1) Sim. A primeira lei é sobre a conservação de energia, que afirma que a quantidade de energia fornecida por um sistema termodinâmico e a soma do trabalho e a variação de energia interna. A segunda lei afirma que o calor fornecido por uma máquina térmica nunca é aproveitado 100%, ou seja, não há rendimento 100%.

2) A geladeira e o ar condicionado. Ela funciona por meio da compressão do gás refrigerante.

3) Sim. Chuvielros, chuveiros elétricos, panelas elétricas, etc.

4) Termoeletricidade, portanto entende-se por energia } conversão de energia
temperatura } elétrica em calor e
e consequentemente } vice versa.
à calor.

5) Não.

6) Não.

7) SIM !!

QUESTIONÁRIO AVALIATIVO: aluno A – não respondeu na aula, e enviou posteriormente.

- 1- Você já estudou as leis da termodinâmica? Quais são? Dê exemplos.

Sim, são duas. A primeira afirma que é possível elevar a temperatura de um sistema pela adição de calor (energia térmica) mas também efetuando trabalho sobre ele. A segunda afirma que é impossível remover energia térmica de um sistema a uma certa temperatura e converter essa energia integralmente em trabalho mecânico.

- 2- Quais são as máquinas de refrigeração que você conhece? Você sabe como funciona a geladeira de sua casa? Explique.

Geladeira e ar condicionado. Sim ela funciona por meio de compressão de um gás refrigerante.

- 3- Você conhece algum dispositivo que relacione eletricidade e energia térmica (calor)? Dê Exemplos.

Sim, secador de cabelos, chapinha, panela elétrica, etc.

- 4- O que você entende a respeito do termo: TERMOELETRICIDADE?

Eletricidade convertida em calor e vice-versa.

- 6- Qual a relação da Lei Zero da Termodinâmica com o funcionamento de pastilhas Peltier? (Existe ou não existe? É possível aplicar?)

O lado quente da pastilha em contato com algum corpo e após algum tempo fará com que o corpo fique em equilíbrio térmico com o mesmo. Valendo também para o lado frio. É possível aplicar a construção de "mini geladeiras"

- 7- Qual a relação da Primeira Lei da Termodinâmica com o funcionamento de pastilhas Peltier? (Existe ou não existe? É possível aplicar?)

Não vejo relação.

- 8- Qual a relação da Segunda Lei da Termodinâmica com o funcionamento de pastilhas Peltier? (Existe ou não existe? É possível aplicar?)

Não vejo relação

- 9- A apresentação dos efeitos termoelétricos foi útil para o conteúdo estudado? Tal apresentação, ajudou fixar com conceitos de termodinâmica?

Sim. Sim.

- 10- Você considera importante o conhecimento de novas tecnologias em uma disciplina de ensino de Ciências (Exemplos: química, física, biologia)?

SIM.

2. Aluno B – Questionário Diagnóstico

1) Sim, 1º conservação de energia, 2º transformação de energia,
3º entropia

2) Ar condicionado, geladeira, freezer, não.

3) Ferro de passar roupa, lâmpada incandescente, chupinho,
forno elétrico e churrasqueira elétrica

4) Algumas máquinas que transformam energia elétrica
em calor.

5) Não

6) Não

7) ~~Sim~~ Sim

QUESTIONÁRIO AVALIATIVO: aluno B – não respondeu na aula, e enviou posteriormente.

- 1- Você já estudou as leis da termodinâmica? Quais são? Dê exemplos.

Sim, Lei zero, 1ª, 2ª e 3ª, são usadas por exemplo no funcionamento do pistão do carro, geladeira

- 2- Quais são as máquinas de refrigeração que você conhece? Você sabe como funciona a geladeira de sua casa? Explique.

Freezer,. Refrigerador. Mais ou menos, do compressor vai para um condensador e dele para um tubo, que vai para o evaporador, que fica no congelador

- 3- Você conhece algum dispositivo que relacione eletricidade e energia térmica (calor)? Dê Exemplos.

Lâmpadas Incandescentes, ferro elétrico e agora peltier

- 4- O que você entende a respeito do termo: TERMOELETRICIDADE?

Seria a relação entre a eletricidade e o calor

- 6- Qual a relação da Lei Zero da Termodinâmica com o funcionamento de pastilhas peltier? (Existe ou não existe? É possível aplicar?)

Existe, da pra pensar em controlador de temperatura

- 7- Qual a relação da Primeira Lei da Termodinâmica com o funcionamento de pastilhas peltier? (Existe ou não existe? É possível aplicar?)

Existe, não sei ao certo, mas é possível aplicar pensando em conservação de energia

- 8- Qual a relação da Segunda Lei da Termodinâmica com o funcionamento de pastilhas peltier? (Existe ou não existe? É possível aplicar?)

Existe, não sei explicar, mas tem relação com temperatura quente e temperatura fria

- 9- A apresentação dos efeitos termoelétricos foi útil para o conteúdo estudado? Tal apresentação, ajudou fixar com conceitos de termodinâmica?

Ajudou e foi útil, ainda mais com a apresentação da pastilha, a experiência feita com ela deixou mais claro este conceito (termoelétrico).

- 10- Você acha importante o conhecimento de novas tecnologias em uma disciplina de ensino de Ciências (Exemplos: química, física, biologia)?

Sim, acho que é importante

3. Aluno C – Questionário Diagnóstico

Questionário

① Sim, as duas são conservação de energia e máquinas térmicas.

Exemplos: Gases, geladeira, ar condicionado.

② Ar condicionado e geladeira, a geladeira é um método sem o uso de gás refrigerante e faz compressão.

③ Sim, chuveiro elétrico, churrasqueira elétrica, panela elétrica.

④ Termoeletricidade, usa a energia para fornecer calor.

⑤ Não

⑥ Não

⑦ Sim.

Os demais questionários não tinham uma boa resolução para serem apresentadas.

Apêndice A: Questionário Diagnóstico



Universidade Estadual de Maringá
Departamento de Física
Programa Nacional de Mestrado Profissional em Ensino de Física

Nome (opcional): _____

Idade _____ Sexo: M ___ F ___

Responda as questões que seguem a respeito dos conceitos de termodinâmica, refrigeração e termoeletricidade.

Q01- Você já estudou as leis da termodinâmica? Quais são? Dê exemplos.

Q02- Quais são as máquinas de refrigeração que você conhece?

Q03- Você sabe como funciona a geladeira de sua casa? Explique.

Q04- Você conhece algum dispositivo que relacione eletricidade e energia térmica (calor)? Dê Exemplos.

Q05- O que se entende a respeito do termo: TERMOELETRICIDADE?

Q06- Conhece algum tipo de aparelho que utiliza um método de refrigeração sem o uso de gás refrigerante e o processo de compressão? Conhece Aparelhos que utilizam pastilhas de cerâmica para resfriamento?

Q07- Já estudou ou já foi informado a respeito dos efeitos Seebeck e Peltier? Conhece algum dispositivo que funcione utilizando estes efeitos?

Q08- Você considera importante o conhecimento de novas tecnologias em uma disciplina de ensino de Ciências (Exemplos: química, física, biologia)?

RESPOSTAS ESPERADAS:

- **Q01- Você já estudou as leis da termodinâmica? Quais são? Dê exemplos.**

A proposta deste trabalho sugere que a proposta didática, juntamente com aplicação de um experimento, esteja alocada na sequência dos conteúdos desenvolvidos pelo docente da componente curricular Física no Ensino Médio, logo após a discussão sobre as Leis da Termodinâmica, espera-se

então que os estudantes possam enunciar as Leis da Termodinâmica (1ª e 2ª leis) com exemplos de situações apresentadas.

No caso da Primeira Lei da Termodinâmica, que o estudante possa relacionar a transformação da Quantidade de Calor em outras formas de energia, essencialmente é importante que o estudante perceba quando, e em quais situações, pode haver transformação de energia térmica em Trabalho. Os exemplos mais utilizados nos livros didáticos estão relacionados com transformações gasosas, em que a expansão/compressão de um gás representa o Trabalho realizado/recebido.

Com relação à Segunda Lei da Termodinâmica o que se espera do estudante de Ensino Médio é que compreenda o funcionamento de Máquinas Térmicas, relacionando-o com os enunciados desta lei. Que o estudante possa reconhecer que o Trabalho realizado neste modelo de máquina é consequência da transferência de energia entre o reservatório de maior temperatura (fonte quente) e o reservatório de menor temperatura (fonte fria) enquanto opera em ciclo.

- **Q02- Quais são as máquinas de refrigeração que você conhece?**

Consequência dos conhecimentos da Segunda Lei da Termodinâmica, os refrigeradores são apresentados, como Máquinas Térmicas que operam com o ciclo invertido. Esta questão sugere que os estudantes possam apresentar este tipo de objeto em seu cotidiano. Exemplos: Geladeira, *Freezer*, Aparelho de Ar Condicionado, Refrigeradores de Água (bebedouros), etc.

- **Q03- Você sabe como funciona a geladeira de sua casa? Explique.**

Espera-se que os estudantes possam explicar o funcionamento de uma geladeira convencional utilizando os conceitos de Termodinâmica e relacionado especificamente com a aplicação da Segunda Lei da Termodinâmica e com o conceito envolvido nos Refrigeradores. Ressaltando que, na proposta didática a apresentação e funcionamento de refrigeradores serão após a apresentação do presente questionário.

- **Q04 - Você conhece algum dispositivo que relacione eletricidade e energia térmica (calor)? Dê Exemplos.**

Esta questão está relacionada com os conceitos de Termoeletricidade que serão apresentados durante a proposta didática, tem caráter investigativo, pois não se têm conhecimento, de quais são os conhecimentos prévios dos estudantes. Porém, sabe-se que os conceitos de Termoeletricidade não estão contemplados nos programas de Ensino Médio. Normalmente, os estudantes relacionam Energia Térmica e Energia Elétrica quando o professor de Física apresenta os conceitos de Eletricidade e funcionamento de resistores. Tal assunto está contemplado, na maioria dos currículos, após o estudo de fenômenos térmicos. Portanto, um prognóstico é que os estudantes tenham dificuldade em apresentar exemplos sobre termoeletricidade.

- **Q05 - O que se entende a respeito do termo: TERMOELETRICIDADE?**

Novamente, assim como na questão anterior, os conceitos de Termoeletricidade não são de conhecimento dos estudantes, pelo menos para maioria deles. Por isso, acredita-se que poucos estudantes consigam explicar o termo. Não podemos descartar que o significado da palavra TERMOELETRICIDADE está subentendido e que alguns estudantes possam relacionar fenômenos térmicos e fenômenos elétricos.

- **Q06 - Conhece algum tipo de aparelho que utiliza um método de refrigeração sem o uso de gás refrigerante e o processo de compressão? Conhece Aparelhos que utilizam pastilhas de cerâmica para resfriamento?**

Seguindo a investigação sobre assuntos envolvendo Termoeletricidade a expectativa é que poucos consigam responder esta questão e dar exemplos. Considera-se que a maioria dos estudantes não tenham tido contato com equipamentos de aplicação da Termoeletricidade, em especial, equipamentos de refrigeração.

- **Q07- Já estudou ou já foi informado a respeito dos efeitos Seebeck e Peltier? Conhece algum dispositivo que funcione utilizando estes efeitos?**

A questão 7 é sequência da questão 6, portanto, a expectativa de respostas para este item está diretamente relacionada, ou seja, os estudantes que não responderem a questão anterior terão dificuldades em apresentar resposta satisfatória.

- **Q08 - Você considera importante o conhecimento de novas tecnologias em uma disciplina de ensino de Ciências (Exemplos: química, física, biologia)?**

Esta questão também tem caráter investigativo, espera-se que os estudantes reconheçam a importância do conhecimento de novas tecnologias no Ensino de Ciência. E, também por não se têm um conhecimento prévio de qual será a quantidade de respostas afirmativas, pois este fato também depende do histórico de cada estudante e de como lhes foi apresentado tal conhecimento ao longo de sua vida escolar.

Apêndice B: Questionário Avaliativo



Universidade Estadual de Maringá
Departamento de Física
Programa Nacional de Mestrado Profissional em Ensino de Física

Nome (opcional): _____

Idade _____ Sexo: M ___ F ___

Responda as questões que seguem a respeito dos conceitos de refrigeração e termoeletricidade.

Q01- Você já estudou as leis da termodinâmica? Quais são? Dê exemplos.

Q02- Quais são as máquinas de refrigeração que você conhece? Você sabe como funciona a geladeira de sua casa? Explique.

Q03- Você conhece algum dispositivo que relacione eletricidade e energia térmica (calor)? Dê Exemplos.

Q04- O que você entende a respeito do termo: TERMOELETRICIDADE?

Q05- Qual a relação da Lei Zero da Termodinâmica com o funcionamento de pastilhas Peltier? (Existe ou não existe? É possível aplicar?)

Q06- Qual a relação da Primeira Lei da Termodinâmica com o funcionamento de pastilhas Peltier? (Existe ou não existe? É possível aplicar?)

Q07- Qual a relação da Segunda Lei da Termodinâmica com o funcionamento de pastilhas Peltier? (Existe ou não existe? É possível aplicar?)

Q08- A apresentação dos efeitos termoelétricos foi útil para o conteúdo estudado? Tal apresentação, ajudou fixar com conceitos de termodinâmica?

Q09- Você considera importante o conhecimento de novas tecnologias em uma disciplina de ensino de Ciências (Exemplos: química, física, biologia)?

Respostas esperadas:

- **Q01 - Você já estudou as leis da termodinâmica? Quais são? Dê exemplos.**

Após a apresentação do funcionamento de Refrigeradores, relacionando com as Leis da Termodinâmica e destacando as discussões que foram propostas durante o processo, espera-se que todos os estudantes consigam enunciar tais leis, confirmando uma das propostas deste trabalho, que é verificar a aprendizagem deste assunto.

As Leis da Termodinâmica foram utilizadas como conhecimento prévio dos estudantes para esta proposta, ancorar novos conhecimentos aos anteriores é algo de suma importância para corroborar o embasamento teórico adotado para a sequência didática, segundo Ausubel, quando isto acontece é possível reconhecer que houve uma Aprendizagem Significativa.

- **Q02 - Quais são as máquinas de refrigeração que você conhece? Você sabe como funciona a geladeira de sua casa? Explique.**

Considerando que os estudantes estarão mais familiarizados com o assunto, citar exemplos de equipamentos do cotidiano (Geladeira, Freezer, Ar condicionado, Bebedouros, etc.) passará a ser algo mais fácil para eles. Com isso, esta questão visa reconhecer a proximidade dos estudantes com aplicações do conteúdo da componente curricular em seu cotidiano, acredita-se que a maioria deles consiga explicar com propriedade o funcionamento de uma geladeira, levando em consideração o conhecimento teórico sobre as Leis da Termodinâmica.

- **Q03 - Você conhece algum dispositivo que relacione eletricidade e energia térmica (calor)? Dê Exemplos.**

Uma das hipóteses iniciais desta proposta é que os estudantes tenham pouco conhecimento sobre dispositivos que relacionem eletricidade e fenômenos térmicos. Nesta questão começa a investigação sobre a aprendizagem dos novos conceitos propostos e acredita-se que os estudantes consigam apresentar as Pastilhas Peltier como exemplos e enunciar algumas aplicações tecnológicas (Exemplos: terminais de refrigeração, controle de temperatura, etc.).

- **Q04 - O que você entende a respeito do termo: TERMOELETRICIDADE?**

Questão de suma importância para a proposta, pois é a oportunidade que os estudantes terão de mostrar que se apropriaram de um novo conceito e suas respectivas aplicações. Respostas que relacionem os conceitos de Termoeletricidade e que façam menção aos efeitos Peltier e Seebeck serão ótimos indícios de que houve uma aprendizagem significativa. Espera-se que os estudantes consigam apresentar tais relações e assim contribuir para confirmar os encaminhamentos metodológicos. Os Três Momentos Pedagógicos de Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2011), são apresentados como alternativa para o Ensino de Ciências, e se as respostas forem satisfatórias para este item pode-se afirmar que tal metodologia alcançou considerável eficácia na presente proposta.

- **Q05 - Qual a relação da Lei Zero da Termodinâmica com o funcionamento de pastilhas Peltier? (Existe ou não existe? É possível aplicar?)**

Durante a aplicação do experimento e da proposta didática os estudantes recordaram as aplicações das Leis da Termodinâmica, a Lei Zero está relacionada ao conceito de Equilíbrio Térmico, tal conhecimento está presente no funcionamento de termômetro e no reconhecimento de escalas termométricas. Acredita-se que os estudantes terão condições de relacionar os efeitos Termoelétricos e as Pastilhas Peltier aos sistemas de controle de temperatura que utilizam medições elétricas (medidas de tensão), juntamente com o conceito de Equilíbrio Térmico, ao monitorar a temperatura.

- **Q06 - Qual a relação da Primeira Lei da Termodinâmica com o funcionamento de pastilhas Peltier? (Existe ou não existe? É possível aplicar?)**

A Primeira Lei da Termodinâmica está relacionada com transformação de energia, após apresentação dos Efeitos Termoelétricos e do funcionamento de Refrigeradores, os estudantes terão tido contato com várias formas de energia. Espera-se que este conhecimento esteja presente na relação do conteúdo de sala de aula com o cotidiano do estudante e que ao responder este item o estudante possa, minimamente, resgatar as transformações de energia que estão contempladas na Primeira Lei da Termodinâmica, mas que também possa citar os novos conceitos apresentados.

- **Q07 - Qual a relação da Segunda Lei da Termodinâmica com o funcionamento de Pastilhas Peltier? (Existe ou não existe? É possível aplicar?)**

Uma das motivações iniciais da proposta é o funcionamento de Refrigeradores (funcionamento de uma geladeira convencional), tal conhecimento está diretamente ligado à aplicação da Segunda Lei da Termodinâmica e o funcionamento de Máquinas Térmicas. Compreender o modelo de funcionamento da geladeira confirma a aprendizagem de conceitos da Termodinâmica e mostrar que houve tal aprendizagem é útil para o seguimento da proposta. Afinal, é partindo de um modelo de refrigeração conhecido que a proposta didática apresenta os conceitos de Termoeletricidade. Portanto, espera-se que os estudantes apresentem respostas convincentes neste item, para que assim, a sequência de atividades propostas na metodologia também seja confirmada.

- **Q08 - A apresentação dos efeitos termoelétricos foi útil para o conteúdo estudado? Tal apresentação ajudou a fixar com conceitos de termodinâmica?**

Questão investigativa e espera-se que a sequência didática proposta, seguindo os encaminhamentos metodológicos, possa proporcionar aos estudantes uma Aprendizagem Significativa sobre novos conceitos (Termoeletricidade), mas também se propõe a verificar se os estudantes realmente se apropriaram dos conceitos de Termodinâmica. Com as respostas afirmativas neste item pode-se afirmar que o modelo proposto é plausível e pode ser replicado em práticas de ensino.

- **Q09 - Você considera importante o conhecimento de novas tecnologias em uma disciplina de ensino de Ciências (Exemplos: química, física, biologia)?**

A proposta de apresentar os Efeitos Termoelétricos (Peltier e Seebeck) como nova tecnologia está fundamentada na prática da componente curricular Física, que raramente contempla este assunto em uma turma do Ensino Médio. Acredita-se que após apresentar as Pastilhas Peltier e suas aplicações tecnológicas, os estudantes possam compreender a necessidade de atividades práticas e a importância de se conhecer novas tecnologias para o Ensino de Ciências. Ao confrontar esta resposta com a resposta do Questionário Diagnóstico (Q08) espera-se um crescimento significativo na importância dada pelos estudantes, ao conhecimento de novas tecnologias.

Apêndice C – Investimento no Protótipo

Neste apêndice estão apresentados os valores unitários referente à lista de materiais apresentados no Capítulo 02 – seção 2.1.1. Valor atualizado em 05/2019. Apresentam-se também sugestões de materiais alternativos.

Quadro C1 – Lista dos materiais utilizados na construção do protótipo e para 3 etapas em separado, o valor unitário de cada material, e sugestões de materiais alternativos.

Material Utilizado	Valor Aproximado	Sugestões
1 Caixa de isopor (15 × 15) cm; altura 11 cm);	R\$ 4,00	Utilizou-se este tamanho para facilitar a montagem. É possível resfriar ambientes com maior volume, mas será necessária uma adaptação dos dispositivos elétricos.
2 Cooler com um dissipador metálico acoplado (70 × 70) mm; espessura 25 mm	R\$ 25,00 Valor Unitário	Verificar dimensões. A escolha por este modelo ocorreu devido ao tamanho das Pastilhas Peltier. Lembrando que pode-se utilizar lixo eletrônico e reaproveitar <i>cooler</i> de computador.
2 Cooler (50 × 50) mm; espessura 10 mm	R\$ 15,00 Valor Unitário	Verificar dimensões. A escolha por este modelo ocorreu devido ao tamanho das Pastilhas Peltier. Lembrando que pode-se utilizar lixo eletrônico e reaproveitar <i>cooler</i> de computador.
4 Pastilhas Peltier Modelo TEC1 - 12706 (40×40) mm; espessura 4 mm;	R\$ 20,00 Valor Unitário	Verificar as dimensões. Optou-se por este tamanho pelo fácil manuseio e pela compatibilidade com o tamanho dos <i>coolers</i> .
Soprador Térmico (Marca/Modelo: <i>Instruthem</i> 1600 W)	R\$ 150,00	É possível substituir por um secador de cabelos. Em caso do uso do secador de cabelos sugerimos modelos profissionais, pois são dotados de maior potência.
Termômetro Laser Digital Infravermelho (Marca/Modelo: <i>Incoterm</i> ST – 600)	R\$ 50,00	Alguns Multímetros têm a função de medida de temperatura, pode-se aproveitar este modelo.
1 Fonte de tensão 12 V	R\$ 30,00	Assim como os <i>coolers</i> é possível utilizar lixo eletrônico e reaproveitar a fonte de alimentação de um computador.

Pasta térmica	R\$ 20,00 Embalagem com 5 gramas.	Existem várias marcas e composições diferentes. Sugerimos marcas que contenham prata (Ag) em sua composição para melhorar a condutividade.
4 pilhas AA (1,5 V cada)	R\$ 10,00 Embalagem com 4 pilhas.	Podem ser substituídas por uma bateria de 9 V.
1 Suporte para as 4 pilhas com fios	R\$ 5,00	Pode ser substituído por um suporte para bateria 9V.
Fios e conexões elétricas	R\$ 15,00	Utilizou-se cerca de 1 metro de fio. Acrescenta-se “jacaré”, para as conexões, e fita isolante. Para facilitar montagem e desmontagem não utilizamos solda. A solda pode melhorar a eficiência do dispositivo.

Apêndice D: Produto Educacional

Neste apêndice, apresenta-se o material técnico gerado desse trabalho de Mestrado, sendo este um material didático-pedagógico com o objetivo de ser utilizado separadamente da dissertação.



PRODUTO EDUCACIONAL - Material Didático-Pedagógico

O USO DE UM PROTÓTIPO DE REFRIGERADOR COM PASTILHAS PELTIER: UMA PROPOSTA DIDÁTICA PARA O PROCESSO ENSINO-APRENDIZAGEM DAS LEIS DA TERMODINÂMICA E INTRODUÇÃO AOS CONCEITOS DE TERMOELETRICIDADE

Lucas Campanholi Junior

Produto Educacional da Dissertação de Mestrado apresentado ao Programa de Pós-Graduação do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – Polo UEM, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientadora: Profa. Dra. Hatsumi Mukai

Maringá - PR
Maio, 2019

Apresentação

Prezado Professor,

Este material contém um guia para realização de uma prática pedagógica, que utiliza as fases da construção e funcionamento de um protótipo de refrigerador com pastilhas de *Peltier* juntamente com uma proposta de ensino voltada para o Ensino Médio.

O texto tem como objetivos relacionar o funcionamento de um modelo de refrigeração termoelétrica com os conceitos prévios apresentados nas aulas de Termodinâmica, ao longo do 2º ano do Ensino Médio, conforme prevêem os parâmetros curriculares (PCN's); e apresentar a tecnologia empregada no funcionamento das pastilhas Peltier.

Inicialmente apresentamos todo processo de construção de um protótipo de refrigerador, procurando utilizar materiais recicláveis, diminuindo o custo de construção, bem como as principais aplicações deste modelo de refrigeração, para dar consistência aos argumentos do professor e indicar a relevância deste trabalho. Em seguida, apresenta-se uma proposta didática para apresentação em sala de aula. Este texto também contém os principais conceitos prévios que devem ser abordados e a aplicação de questionários como método avaliativo. Esta proposta é prevista para duração de 04 aulas com duração de 50 minutos, cada, tempo que julgamos adequado para aplicação do experimento.

Este material estará disponível para *download* na página do MNPEF/DFI/UEM (<http://www.dfi.uem.br/dfimestrado/?q=node/60>) e pode ser adaptado de acordo com a realidade de cada série pelo docente interessado.

Maringá, maio de 2019.

Lucas Campanholi Junior

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	111
1- APARATO EXPERIMENTAL.....	114
1.1 Materiais Utilizados	115
1.2 Guia de Montagem do Aparato Experimental	116
2- PROPOSTA DIDÁTICA	122
2.1 Objetivos.....	123
2.2 Contextualização no PCN's	123
2.3 Etapas da Proposta Didática	124
2.3.1 Momentos Pedagógicos e seus objetivos aplicados à Proposta Didática....	124
2.3.2 Organização da Proposta Didática.....	124
2.4 Metodologia para Aplicação da Proposta Didática.....	125
2.4.1 Problematização – Abordagem Teórica.....	126
Aula 01 – Problematização Inicial.....	126
Aula 02 – Problematização Inicial.....	127
2.4.2 Organização da Aprendizagem Abordagem Experimental	127
Aula 03 – Organização do Conhecimento	128
2.4.3 Atividade Avaliativa.....	136
Aula 04 – Aplicação do Conhecimento.....	137
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	139
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	141
APÊNDICE A – Questionário Diagnóstico	143
APÊNDICE B – Questionário Avaliativo.....	146
APÊNDICE C – Material de Apoio	150
APÊNDICE D – Investimento no Aparato Experimental	181

INTRODUÇÃO

O Produto Educacional contém um guia para realização de uma prática pedagógica que utiliza as fases de construção e funcionamento de um protótipo de refrigerador com pastilhas Peltier como uma proposta de ensino voltada para o Ensino Médio.

Os modelos de refrigeração discutidos em Física, no ensino médio, são consequência de trocas de calor e do estudo da Termodinâmica, porém, já existem no mercado, e provavelmente no cotidiano dos educandos, dispositivos que se utilizam dos efeitos termoelétricos como uma alternativa para controle de temperatura e refrigeração de ambientes.

A termoeletricidade não é um tema recorrente no ensino da escola básica, os programas de ensino, neste período escolar, não contemplam os conceitos e aplicações deste tema. Em decorrência da necessidade do uso de experimentação no ensino de Física e da importância dos conceitos envolvendo termoeletricidade foi proposto um aparato experimental que pudesse aproximar o aluno de situações práticas.

O dispositivo construído é definido como um Protótipo de refrigerador e tem como finalidade a análise qualitativa de uma alternativa viável para um sistema de refrigeração e a possibilidade de demonstração de seu funcionamento em sala de aula. Algumas características que direcionaram o projeto: a facilidade para encontrar os materiais, aproveitar material de lixo eletrônico, pequenas dimensões (para facilitar o transporte), a capacidade de funcionar com baixa tensão elétrica e a capacidade de resfriar o volume interno de um recipiente de forma satisfatória.

Inicia-se com a apresentação do aparato experimental constituído de um guia para a montagem de um protótipo de refrigerador, seguido de uma proposta didática para sua aplicação, e averiguação do conhecimento adquirido (subsunçores) sobre as Leis da Termodinâmica e os conceitos neles envolvidos, baseada na teoria de aprendizagem de David Ausubel.

Sua teoria tem como conceito central a Aprendizagem Significativa, baseada em conhecimentos prévios chamados se “subsunçores” que são fundamentais no processo de assimilação de novos conceitos. Resumidamente, a aprendizagem significativa “é o processo por meio dos quais novas informações adquirem significado por interação (não associação) com aspectos relevantes preexistentes na estrutura cognitiva” (MOREIRA, 1999, p.161).

Para Ausubel, durante o processo instrucional, a estrutura cognitiva será o fator mais importante a ser considerado, ou seja, o processo ensino-aprendizagem deve partir do que o sujeito já sabe. Para facilitar esse entendimento, Moreira (2006) apresenta o papel do professor, agrupado em quatro tarefas fundamentais (MOREIRA, 2006, p.170):

- 1) Identificar a estrutura conceitual e proposicional da matéria de ensino;
- 2) Identificar quais os subsunçores relevantes à aprendizagem do conteúdo a ser ensinado;
- 3) Diagnosticar aquilo que o aluno já sabe (quais subsunçores estão disponíveis na estrutura cognitiva);
- 4) Ensinar utilizando recursos e princípios que facilitem a aquisição da estrutural conceitual da matéria de ensino de uma maneira significativa.

Denomina-se a aprendizagem diante da concepção ausubeliana como Aprendizagem Verbal Significativa Receptiva. Verbal, pois, a linguagem é fator importante no processo. Receptiva, porque aprendizagem por recepção é o mecanismo humano por excelência, em qualquer área do conhecimento.

Após o conhecimento desta teoria da aprendizagem, procurou-se adotar uma metodologia para favorecer o diagnóstico dos conceitos prévios adquiridos pelos estudantes, buscando propiciar uma aprendizagem significativa no decorrer da proposta apresentada, adotou-se, então, os Três Momentos Pedagógicos, apresentados por Delizoicov²², Angotti²³ e Pernambuco²⁴ (2011) e citados no Capítulo 2 deste PE.

A partir das etapas da montagem do protótipo de refrigerador a base de pastilhas *Peltier*, o intuito é que os alunos adquiriram novos conhecimentos relacionados à Termoeletricidade, um assunto não visto, mas que existe deste a década de 1800, e que evoluiu com a chegada dos semicondutores, tendo como utilização em (Danvic, 2019): mini-refrigeradores, bebedouros, assentos automobilísticos, equipamento de tirar umidade,

²² Demétrio Delizoicov Neto, doutor em Educação pela USP-SP (1991), professor na UFSC. Fonte: currículo lattes <http://buscatextual.cnpq.br/buscatextual/visualizacv.do?id=K4785428E6>;

²³ Jose Andre Peres Angotti, doutor em Ensino de Ciências/Física - Instituto de Física - IFUSP e Faculdade de Educação - FEUSP da Universidade de São Paulo (1991). Professor na UFSC. Fonte: currículo lattes - <http://buscatextual.cnpq.br/buscatextual/visualizacv.do?id=K4785428J3>;

²⁴ Marta Maria Castanho Almeida Pernambuco (?-2018). Doutora em Educação pela Universidade de São Paulo (1994), era Professora da UFRN – faleceu em 14/05/2018. Fonte: <http://portal.sbpnet.org.br/noticias/tributo-a-educadora-marta-pernambuco/>.

refrigerador portátil de latinhas de bebida, e principalmente em aplicações industriais. Inclusive patente brasileira para uso em adegas (MOURA, 2010).

É importante salientar que não se trata de um protótipo com objetivo de ser produzido comercialmente, é concebido com a função didática de apresentar situações de Termodinâmica e Termoeletricidade para alunos e professores. Bem como, o fato de que há muitas pesquisas e construção de protótipos de refrigeradores análogos, disponíveis em trabalhos acadêmicos, de onde surgiu a ideia de utilizar a sua reprodução para fins didáticos.

Para o uso da construção deste protótipo de refrigerador para fins didáticos, optou-se por primeiramente trabalhar com quatro bancadas, em que a exposição dos materiais ocorre de forma construtiva: na primeira bancada os alunos tomam conhecimento da pastilha *Peltier*, e realizam algumas medidas; na segunda bancada realizam medidas, mas agora com um aquecedor, na terceira bancada realizam medidas como um refrigerador e na quarta e última bancada o funcionamento do protótipo de refrigerador acompanhando a diminuição de temperatura dentro do mesmo. E, para cada etapa sugere-se que os materiais e parte do sistema montado. Para isso, apresenta-se na sequência a lista de materiais necessários para as 04 bancadas. Bem como para a montagem de 1 protótipo de refrigerador completo, e testá-lo.

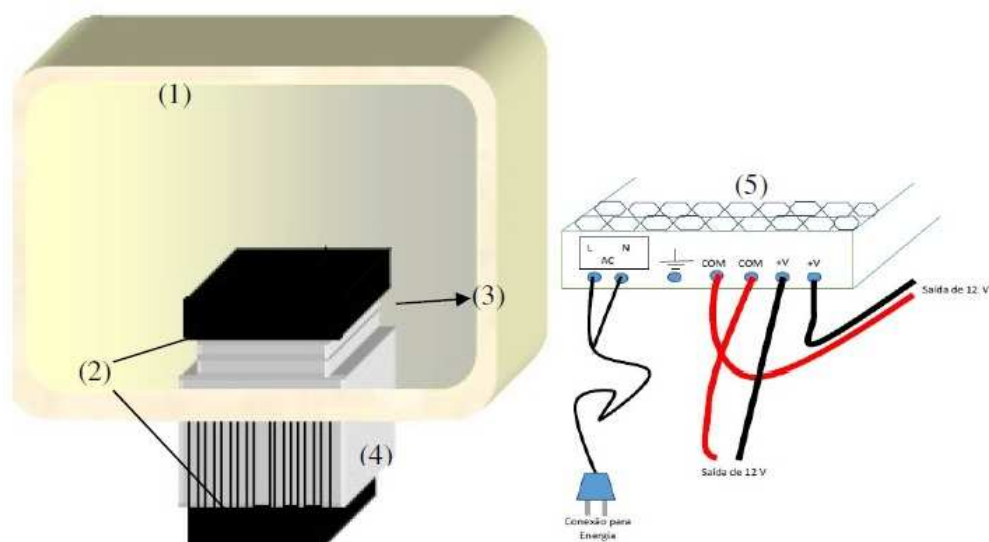
Este PE está apresentado da seguinte forma: Capítulo 1 o Aparato Experimental contendo os materiais utilizados e um guia de montagem. No Capítulo 2 a Proposta Didática para aplicação das etapas da Montagem do Protótipo de Refrigerador e a Metodologia para aplicação da PD. As referências, seguidas de três apêndices – no Apêndice A – o Questionário Diagnóstico seguido das possíveis respostas; no Apêndice B – o Questionário Avaliativo também seguido das possíveis respostas, no Apêndice C um texto de Apoio da teoria envolvida no Produto Educacional e por fim no Apêndice D uma tabela contendo um orçamento do investimento da construção do protótipo, bem como materiais alternativos.

1. APARATO EXPERIMENTAL

Para a construção do protótipo de refrigerador procurou-se utilizar materiais de fácil acesso, e reaproveitamento de outros materiais. Inicia-se esta apresentação com a lista dos materiais utilizados. As dimensões informadas foram às utilizadas no protótipo utilizado na sala de aula, mas podem-se utilizar outros tamanhos desde que seja proporcional para que consiga obter o resfriamento necessário. A ideia original do protótipo adotada para o presente trabalho foi desenvolvida pelo Grupo de Magnetismo do DFTE/UFRN, citado na sua dissertação de mestrado, página 124, de Edvaldo de Oliveira Alves²⁵, 2007.

No presente trabalho, utiliza-se o desenho esquemático (Figura 1.1) constituído de uma caixa de isopor (1), 2 *coolers* (2); 2 pastilhas Peltier (3), sendo que cada pastilha está ligada juntamente com um *cooler* à (5) fonte de tensão (12 V) que possui duas saídas (Figura 1.7 (b)), e (4) o dissipador de calor.

Figura 1.1 – Desenho esquemático da montagem do protótipo de um refrigerador, em que: (1) Caixa de Isopor; (2) *Coolers*; (3) Duas Pastilhas Peltier; (4) Dissipador de calor; (5) fonte de tensão.



Fonte: Autor e H. Mukai.

²⁵“Prof. Edvaldo de Oliveira Alves (Mará) professor efetivo da UEPB desde 1993 e lecionava diversas disciplinas para os cursos de graduação da UEPB. Ele era docente dos programas de pós-graduação em Ciências e Tecnologia Ambiental (UEPB) e Mestrado Nacional profissional em Ensino de Física. Ao longo de sua carreira, contribuiu com diversas funções administrativas da UEPB, incluindo mais recentemente, a direção do Centro de Ciências e Tecnologia.”. Faleceu em maio de 2018. Fonte: Igo Paulino UAF/CCT/UFCEG - SBF, 2018.

1.1 Materiais Utilizados:

Apresenta-se nesta subseção, duas listas de materiais, sendo a primeira a utilizada para construção do protótipo, que depois de pronto ficará disponível na última bancada (4º estágio), e a segunda, chamada de lista complementar, os materiais necessários para as bancadas da aplicação dos três estágios iniciais dos 4 propostos no PE. A indicação das dimensões e marcas é opcional desde que respeitadas às especificações para que fique adequado entre as dimensões e dispositivos utilizados na sua construção. Ressaltamos que o Apêndice D traz um quadro com valor aproximado de cada item e algumas sugestões para montagem ou substituição dos materiais.

Lista de Materiais – para 1 protótipo do refrigerador:

- 1 Caixa de isopor (Dimensões: (15 x 15) cm; altura 11 cm);
- 1 *Cooler* (Dimensões: (70 x 70) mm; espessura 25 mm) com um dissipador metálico acoplado;
- 1 *Cooler* (Dimensões: (50 x 50) mm; espessura 10 mm);
- 2 Pastilhas *Peltier* - Modelo TEC1 - 12706 ((40 x40) mm; espessura 4 mm; Tensão 12 V e Potência máxima 60 W - dados fornecidos pelo fabricante);
- Soprador Térmico (Marca/Modelo: *Instruthem* 1600 W);
- Termômetro Laser Digital Infravermelho (Marca/Modelo: *Incoterm* ST – 600);
- 1 Fonte de tensão 12 V (fonte chaveada de 12 V, 10 A e 120 W);
- 2 pares de fios de conexão;
- 2 pares de jacarés;
- Pasta térmica;
- Abraçadeiras plásticas (nylon);
- 2 parafusos de fixação (diâmetro: 3 mm e comprimento 50 mm).

Como informado, a próxima lista são dos materiais complementares utilizados para cada estágio da construção do refrigerador. Sendo esses referentes aos 3 primeiros estágios, uma para cada bancada. Essa será a forma apresentada para os alunos, estágio por estágio, sendo o 4º estágio (4ª bancada) a do protótipo pronto, cuja lista foi apresentada anteriormente.

Lista de materiais complementar:

- 1 *Cooler* (Dimensões: (70 x 70) mm; espessura 25 mm) com um dissipador metálico acoplado;
- 1 *Cooler* (Dimensões: (50 x 50) mm; espessura 10 mm);
- 2 Pastilhas *Peltier* - Modelo TEC1 - 12706 ((40 x40) mm; espessura 4 mm; Tensão 12 V e Potência máxima 60 W - dados fornecidos pelo fabricante);
- 4 pilhas AA (1,5 V cada) ou uma bateria de 9 V;
- 1 Suporte para as 4 pilhas com fios, ou 1 suporte para a bateria de 9 V com fios.
- 4 pares de fios de conexão;
- 4 pares de jacarés;

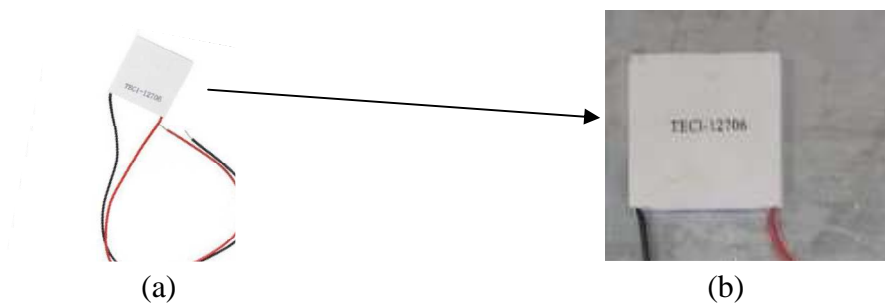
A seguir, apresenta-se um guia de montagem do Protótipo e os testes realizados durante o mesmo.

1.2 Guia para Montagem do Aparato Experimental

A pastilha *Peltier* é um dispositivo termoelétrico, que atua resfriando ou aquecendo, dependendo da forma como se faz as conexões de seus terminais à fonte de alimentação, gerando uma diferença de temperatura. Durante a fase de pesquisa e elaboração do Protótipo de refrigerador, vários testes foram feitos para otimizar o processo de refrigeração pelo autor do presente trabalho. Na sequência apresenta-se a sua utilização na montagem do protótipo de refrigerador:

1) Na etapa inicial foram utilizadas pastilhas Peltier, de dimensões (40 × 40× 4) mm e Potência máxima 60 W (dados fornecidos pelo fabricante). A característica do modelo: Uma foto de pastilha Peltier está apresentada na Figura 1.2. E, as informações que o mesmo possui gravado em um de seus lados: TEC1 – 12706 – C: Tamanho C-padrão (*standard*) e S-pequeno (*small*), 1 – estágios (normalmente 1) – 127 significa quantidades de acoplamentos (P e N) – quanto mais acoplamentos mais condutores, e o último dígito no caso 06 (razão da corrente – normalmente de 6 a 9 A).

Figura 1.2 – (a) Imagem fotográfica de uma pastilha Peltier em destaque (b) as informações do modelo – TEC1-12706 que foi usado no presente trabalho.

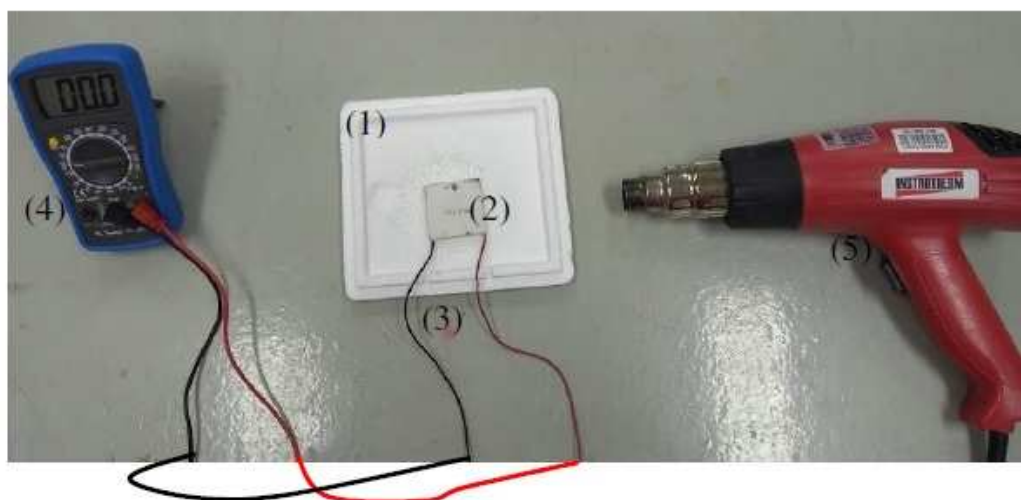


Fonte: Arquivo do Autor

Nesta primeira montagem foram realizados testes, para se familiarizar com o dispositivo, etapa de suma importância para entender o aquecimento e resfriamento das pastilhas, aplicaram-se diferentes valores de tensão para observar seu comportamento.

Para isso, inicialmente conecte a pastilha ao multímetro (posicione o botão seletor em V), o polo positivo (fio vermelho) e negativo (fio preto), conforme Figura (1.3 (3)). Para aquecer use o soprador térmico (5).

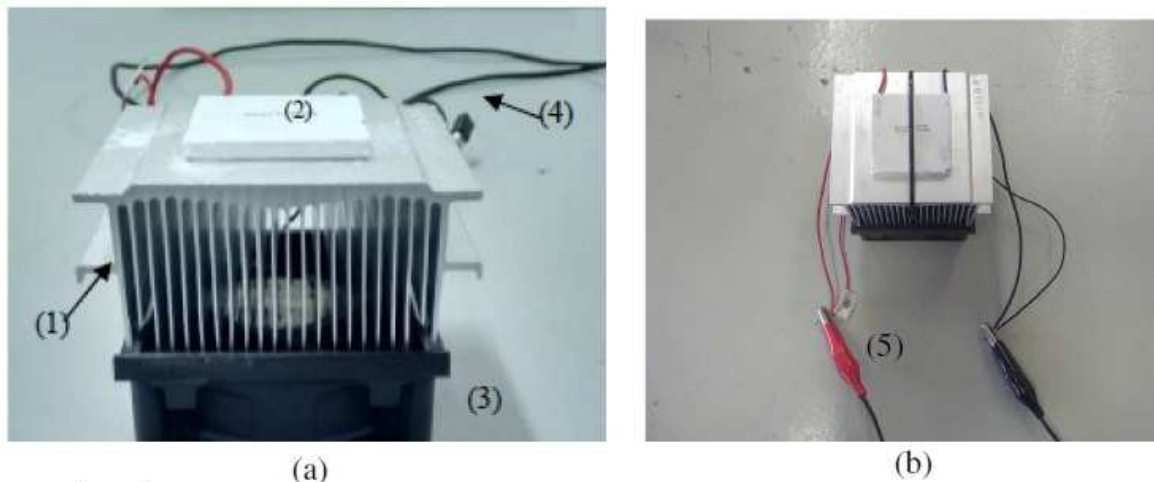
Figura 1.3 – Imagem fotográfica da montagem preliminar, análise da pastilha *Peltier*. (1) Tampa da caixa de isopor usada como apoio e (2) o dispositivo Peltier e (3) os fios para conexão externa (para um (4) multímetro (voltímetro)). E, ao lado o soprador térmico (5).



Fonte: Arquivo do autor

2) De posse do terminal de resfriamento utilizado em processadores de computador, contendo um *cooler* (ventilador) e um dissipador metálico (Figura 1.4 (a)). A escolha do dissipador se baseou no formato compatível com a pastilha Peltier, e este é fixado ao terminal no lado oposto ao do *cooler*. Entre a pastilha e o dissipador aplicou-se uma pasta térmica contendo prata (Ag), com o objetivo de facilitar a condução de calor entre as superfícies. A ligação entre o *cooler* e a pastilha foi feita em paralelo (Figura 1.4 (b)).

Figura 1.4 – Imagem fotográfica da Pastilha Peltier acoplada ao terminal de resfriamento. (a) Em que: (1) Dissipador de calor, com o cooler (3) na parte inferior ao mesmo, (2) a pastilha Peltier acoplada ao mesmo por meio de pasta térmica ao dissipador, e em (4) os fios de conexão do próprio sistema, mostrado em destaque na imagem (b) a ligação em paralelo, e (5) os fios que vem da fonte de tensão (não mostrada na figura);

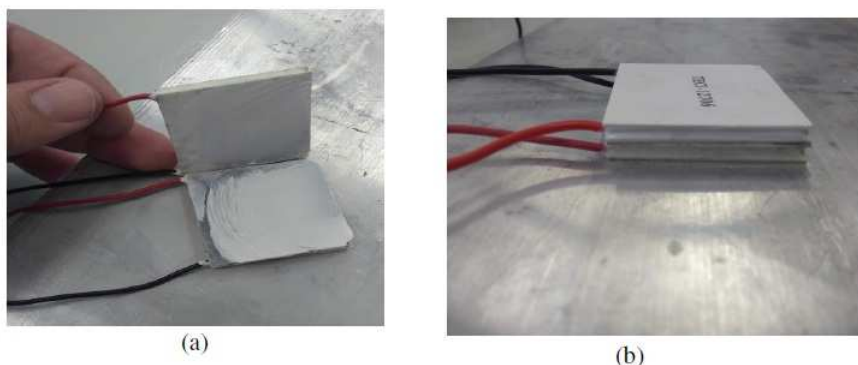


Fonte: Arquivo do autor.

Conectando os fios da fonte (item (5) na Figura (1.4 (b))), observou-se o funcionamento desta montagem, e verificou-se que em um intervalo de tempo de 1 minuto o lado frio da pastilha atinge 8,7°C, quando a temperatura ambiente é aproximadamente 20°C.

3) Nessa etapa, foram utilizadas 2 pastilhas Peltier (A e B), de dimensões (40 × 40× 4) mm e Potência máxima 60 W, acopladas uma a outra por meio de pasta térmica (este deve ficar espalhado de forma homogênea por toda pastilha (Figura (1.5 (a))). Ficaram em contato a parte quente de A, pasta térmica, e a parte fria da pastilha B (Figura (1.5 (b))). Os fios foram conectados a uma fonte de tensão 12 V (volts) e corrente contínua.

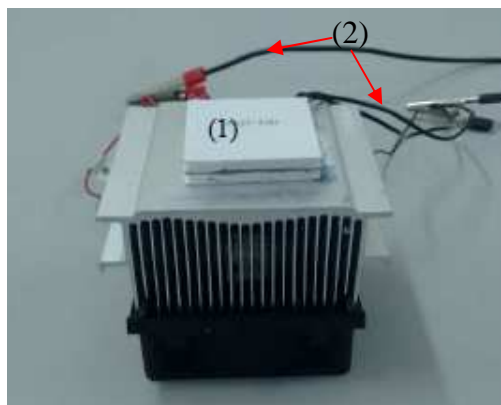
Figura 1.5 – Imagem fotográfica da (a) pasta térmica nas duas pastilhas Peltier; (b) As duas placas acopladas em cascata.



Fonte: Arquivo do autor.

Repete-se o procedimento do item 2), agora com as duas pastilhas Peltier (como mostrado na Figura 1.6). Para o seu funcionamento, unem-se os fios de acordo com as cores, e conecta-se por meio de jacarés (2) e fios à fonte de tensão.

Figura 1.6 – Imagem fotográfica da montagem do sistema de resfriamento com duas pastilhas Peltier (1) acoplada uma a outra por meio da pasta térmica. E, (2) indicado pelas setas vermelhas as conexões dos fios à fonte de tensão (não aparece na foto).



Fonte: Arquivo do autor

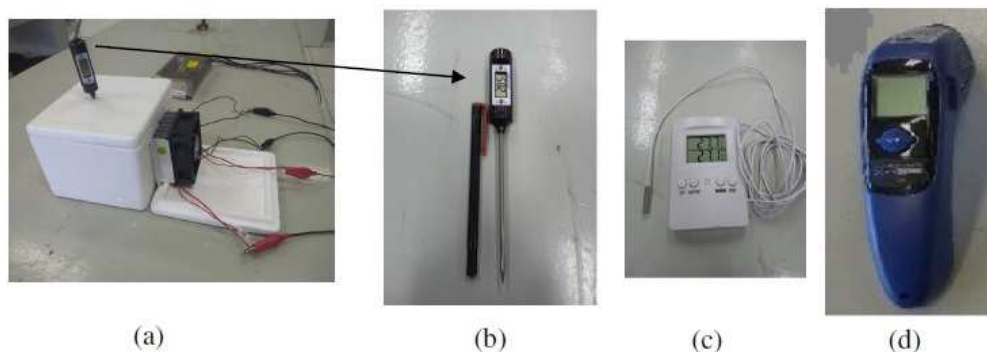
Acerca do funcionamento desse módulo, observou-se que em um intervalo de tempo de 1 minuto o lado frio da pastilha atinge 2°C, quando a temperatura ambiente é aproximadamente 20°C.

4) Para que o protótipo de refrigerador fique pronto, encaixou-se todo o sistema descrito no item 3), na lateral de uma caixa de isopor, onde foi feito um corte do tamanho do sistema de resfriamento de forma que não haja perda de calor.

A partir deste ponto, iniciaram-se os testes no sistema (ambiente) fechado. Para isso, utilizaram-se diferentes tipos de termômetros digitais (como o modelo vareta TP101 ou o com fio – Figura (1.7 (b) e (c)) respectivamente), colocados dentro da caixa de isopor para acompanhar a temperatura interna (como o da Figura 1.7 (a)). Mas, estes não possibilitaram obter dados estáveis de temperatura, e por fim adotou-se o a *laser* (Figura (1.7 (c))). É importante antes de adquirir um termômetro observar qual o limite de temperatura²⁶ que o mesmo consegue medir.

²⁶Por exemplo: Termômetro Digital Retangular -50 °C a + 50 °C - Termômetro Digital Retangular -50 °C a + 50 °C.

Figura 1.7- Imagens fotográficas do protótipo e termômetros testados. (a) Protótipo - uso do termômetro (b) Modelo Vareta TP101 e mais 2 dos tipos de termômetros digitais utilizados – (c) de fio com leitor a parte (sem marca) e (d) Laser Digital Infravermelho (Marca/Modelo: Incoterm ST – 600);



Fonte: Arquivo do autor.

Durante esta fase percebe-se que a temperatura dentro da caixa estabilizava, após atingir um limite mínimo, em seguida começava a aumentar. Esta constatação conduziu a um novo conjunto de testes e novas leituras sobre o funcionamento do sistema.

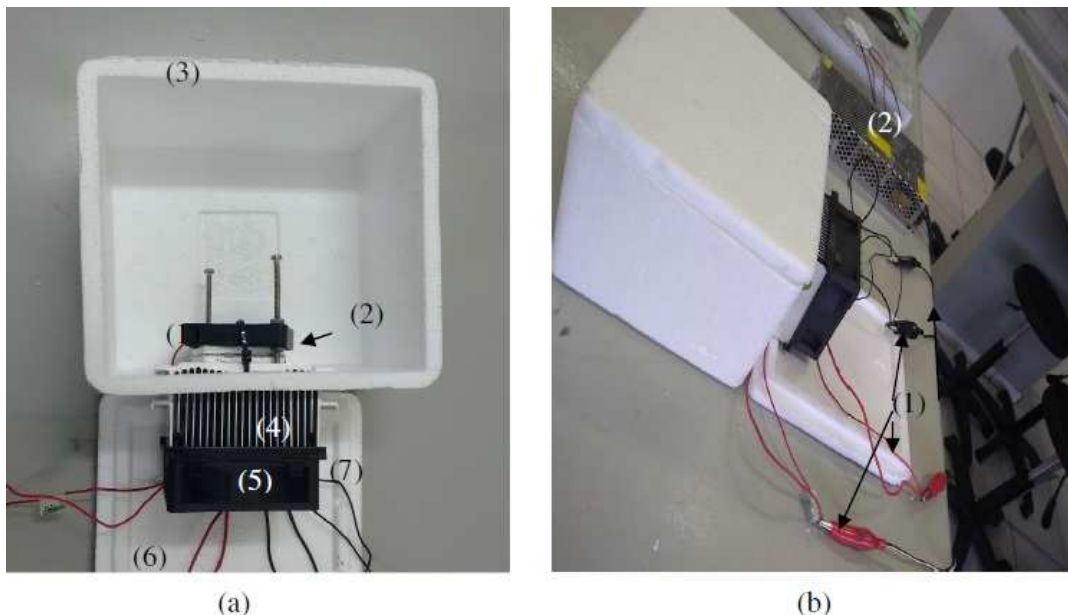
5) Após o processo descrito anteriormente, as soluções plausíveis foi melhorar a convecção do ar dentro da caixa, para isso fez-se necessária a introdução do segundo *cooler* (ventilador) interno à caixa, e melhorar o sistema de troca de calor no lado quente da pastilha.

Tal mudança do original (Alves, 2007) possibilitou a melhoria no funcionamento do terminal de refrigeração (Figura (1.8)): (1) *cooler* interno, (2) pastilhas Peltier, (3) caixa de isopor; (4) sistema para dissipação de calor, (5) *cooler* externo, (6) fios de conexão. Uma tampa de isopor (7) foi colocada como base de apoio para o dissipador.

Cada pastilha foi ligada em paralelo (Figura (1.8 (b) – (1)) com cada um dos *coolers*. Utilizando-se assim as duas saídas da fonte de tensão chaveada (Figura (1.8 (b) – (2))).

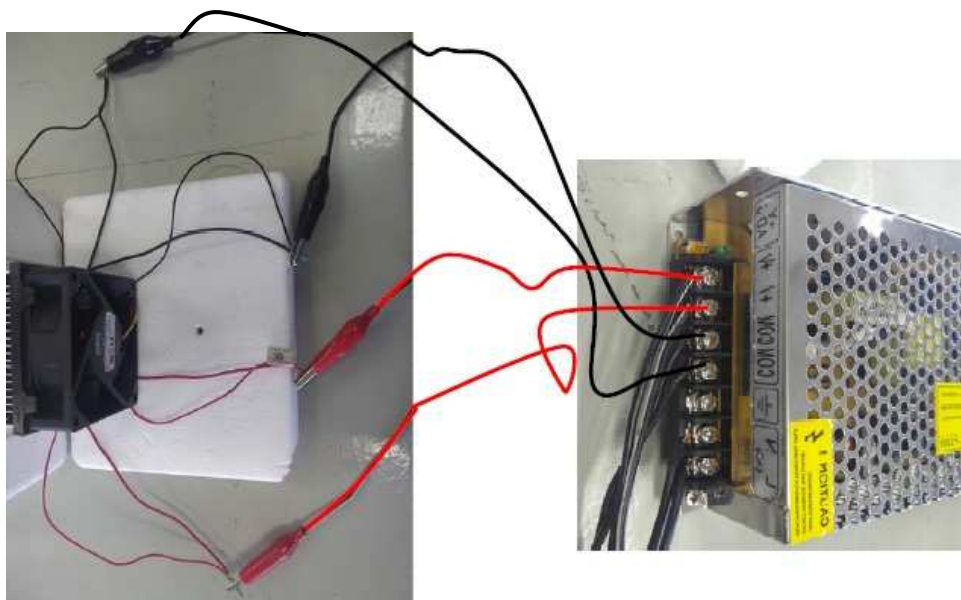
Na Figura 1.9 está apresentada uma foto mostrando como fazer as conexões do refrigerador para a fonte chaveada sob outro ângulo de visão.

Figura 1.8 – Imagem fotográfica, do Protótipo de refrigerador: (a) aberto - (1) cooler interno, (2) pastilhas Peltier, (3) caixa de isopor; (4) sistema para dissipação de calor, (5) cooler externo, (6) fios de conexão, tampa de isopor (7) colocada como base de apoio para o dissipador. (b) fechado e a visão das conexões (1) ao fundo a fonte chaveada (2).



Fonte: Arquivo do autor

Figura 1.9 – Imagem apresentando as conexões para a fonte de tensão: fio vermelho positivo e preto negativo (conexões ilustrativas para diferenciar).



Fonte: Arquivo do Autor, e adaptação de H. Mukai.

Na próxima seção, apresenta-se a Proposta Didática, utilizando as etapas de montagem do Protótipo de refrigerador com pastilhas *Peltier*, explorando o funcionamento dos componentes que a constituem.

2. PROPOSTA DIDÁTICA

Ao abordar práticas para o ensino de Física, inserir experimentos e situações do cotidiano há o intuito de encontrar alternativas para desafiadora tarefa de ensinar. Diante deste contexto, a atuação do docente perante os jovens contribui para sua formação como pessoa, Brasil, informa que:

“[...] supõe-se que se esteja preparando o jovem para ser capaz de lidar com situações reais, crises de energia, problemas ambientais, manuais de aparelhos, concepções de universo, exames médicos, notícias de jornal, e assim por diante.” (BRASIL, 2002, p.4)

Desta forma, a presente proposta sugere que o professor faça intervenções apresentando objetos e informações conhecidas pelo estudante. Para tal, espera-se que o professor consiga verificar a aprendizagem dos conteúdos de Termodinâmica, acrescente conceitos de Termoeletricidade, bem como a inclusão de um aparato experimental para alcançar maior compreensão de seus alunos. Na parte de aprendizagem que os alunos adquiram conhecimento que permitam lidar com as situações reais, conforme citado anteriormente (Brasil, 2002).

Portanto, foi elaborada uma proposta didática baseada nos Três Momentos Pedagógicos apresentados por Delizoicov, Angotti e Pernambuco, 2011, E estão divididos em: problematização inicial, organização do conhecimento e aplicação do conhecimento:

Problematização Inicial: “Apresentam-se situações reais que os alunos conhecem e presenciam e que estão envolvidas nos temas, embora também exijam, para interpretá-las, a introdução dos conhecimentos contidos nas teorias científicas. Organiza-se este momento de tal modo que os alunos sejam desafiados a expor o que estão pensando sobre as situações. Inicialmente, a descrição feita por eles prevalece, para o professor poder ir conhecendo o que eles pensam. A meta é problematizar o conhecimento que os alunos vão expondo, de modo geral, com base em poucas questões propostas relativas ao tema e às situações significativas, questões inicialmente discutidas *num pequeno grupo*, para, em seguida, serem exploradas as posições dos vários grupos, com toda a classe, *no grande grupo*.” (DELIZOICOV, ANGOTTI e PERNAMBUCO, 2011, p. 200)

Organização do Conhecimento: “Os conhecimentos selecionados comonecessários para compreensão dos temas e da problematização inicial são sistematicamente estudados neste momento, sob a orientação do professor. As mais variadas atividades são então empregadas, de modo que o professor possa desenvolver a conceituação identificada como fundamental para uma compreensão científica das situações problematizadas. É neste momento que a resolução de problemas e exercícios, tais como os propostos em livros didáticos, pode desempenhar sua função formativa na apropriação de conhecimentos específicos.....” (DELIZOICOV, ANGOTTI e PERNAMBUCO, 2011, p. 201)

Aplicação do conhecimento: “Destina-se, sobretudo, a abordar sistematicamente o conhecimento que vem sendo incorporado pelo aluno, para analisar e interpretar tanto as situações iniciais que determinaram seu estudo como outras situações que, embora não estejam diretamente ligadas ao motivo inicial, podem ser compreendidas pelo mesmo conhecimento. [...] A meta pretendida com este momento, é muito mais a de capacitar os alunos ao emprego dos conhecimentos, no intuito de formá-los para que articulem, constante e rotineiramente, a conceituação científica com situações reais, do que simplesmente encontrar uma solução ao empregar algoritmos matemáticos que relacionam grandezas ou resolver qualquer outro problema tipicamente dos livros textos. [...] o suporte teórico fornecido pela ciência – é que estão em pauta neste momento.”(DELIZOICOV, ANGOTTI e PERNAMBUCO, 2011, p. 202)

Nesses, os conceitos abordados estão diretamente ligados a um tema central e os demais conceitos estruturantes de acordo com as PCN’s. No caso deste material, os momentos pedagógicos serão apresentados na composição da Proposta Didática.

2.1 Objetivos

- Verificar os fenômenos físicos envolvidos no funcionamento de um refrigerador construído a base de pastilhas *Peltier*.
- Utilizar os estágios de construção do protótipo de refrigerador como instrumento de investigação de aprendizagem sobre as leis da Termodinâmica e introdução conceitos de Termoeletricidade.

2.2 Contextualização no PCN’s

Segundo orientações dos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN’s) o conteúdo abordado nesse trabalho tem como:

- **Tema Central:** Calor, ambiente e usos de energia.
- **Unidades temáticas:**
 - Fontes e trocas de calor;
 - Tecnologias que usam calor: motores e refrigeradores;
 - O calor na vida e no ambiente.

2.3 Etapas da Proposta Didática

Nesta seção apresentam-se as etapas da Proposta Didática e como elas se relacionam com os Momentos Pedagógicos de Delizoicov e Angotti (1991) e _____, Pernambuco (2011), em seguida descreve-se o objetivo de cada um destes momentos.

2.3.1 Momentos Pedagógicos e seus objetivos aplicados à PD

Para que uma proposta tenha êxito é importante planejamento e organização, confrontar a prática com os encaminhamentos metodológicos é sempre útil neste processo. Portanto, segue a relação dos objetivos esperados em cada fase da atividade.

- i) **Problematização Inicial:** contextualizar a proposta, revisar conceitos considerados pré-requisitos, fazer uma avaliação diagnóstica dos conceitos prévios sobre Termodinâmica e apresentar os modelos de refrigeração que serão estudados.
- ii) **Organização do Conhecimento:** apresentar explicações sobre as leis da Termodinâmica, ilustrar o funcionamento de uma geladeira, introduzir novos conceitos sobre Termoeletricidade, e resgatar os conceitos que foram estudados ao longo do ano letivo.
- iii) **Aplicação do Conhecimento:** relacionar teoria e prática, explicar o funcionamento dos modelos estudados, verificar se houve apropriação dos conceitos, confirmar se houve êxito na proposta didática.

Os encaminhamentos metodológicos, baseados nos Momentos Pedagógicos supracitados, aparecem em trabalhos recentes sobre o ensino de ciências, dentre tantos é importante citar Fernandes (2016) como referência para dinâmica deste trabalho.

Segundo Muenchen e Delizoicov (2012) os “Três Momentos Pedagógicos” não estão restritos a atuação em sala de aula, e podem ser apresentados de maneira ampla no processo de ensino-aprendizagem.

2.3.2 Organização da Proposta Didática

Esta Proposta Didática é uma prática de ensino organizada em 04 aulas e tem como base os Três Momentos Pedagógicos, como mostra o Quadro 2.1:

Quadro 2.1 – Organização da Proposta Didática, relacionando a aula, o momento pedagógico e a atividade proposta.

Aula	Momento Pedagógico	Atividade Proposta
01	Problematização Inicial	Discussão sobre os conceitos de Termodinâmica e aparelhos de refrigeração.
01	Problematização Inicial	Questionário Diagnóstico (Apêndice A).
01	Problematização Inicial	Exercício sobre a potência útil de um refrigerador.
02	Problematização Inicial	Discussão sobre a questão: “Como funciona sua geladeira?”
02	Organização do Conhecimento ¹	Vídeo sobre o ciclo de refrigeração de uma geladeira convencional.
02	Problematização Inicial	Questionamentos sobre objetos e instrumentos que pode refrigerar um ambiente.
02	Problematização Inicial	Apresentação das Pastilhas <i>Peltier</i>
03	Organização do Conhecimento	Introdução aos conceitos de termoeletricidade, efeito <i>Peltier-Seebeck</i> (Apêndice C)
03	Organização do Conhecimento	Atividade Experimental: Estágio 1
03	Organização do conhecimento	Atividade Experimental: Estágio 2
03	Organização do conhecimento	Atividade Experimental: Estágio 3
03	Organização do conhecimento	Atividade Experimental: Estágio 4
04	Aplicação do Conhecimento	Discussão sobre a questão: “Existe relação entre as leis da termodinâmica e o funcionamento de um refrigerador dotado de pastilhas <i>Peltier</i> ?”
04	Aplicação do Conhecimento	Questionário Avaliativo (Apêndice B)
04	Aplicação do Conhecimento	Discussão sobre o Quadro 2.2: “Vantagens e Desvantagens da refrigeração <i>Peltier</i> ”
04	Aplicação do Conhecimento	Sugestão de Pesquisa: Vídeo sobre a construção de um refrigerador <i>Peltier</i> (Canal “Canal Manual do Mundo” no <i>YouTube</i>)
04	Aplicação do Conhecimento	Confecção de um relato das atividades propostas

Fonte: O autor.

2.4 Metodologia para Aplicação da Proposta Didática

¹ Esse momento foi incluso entre os itens de problematização, devido o aluno estar nesse momento organizando o seu conhecimento por meio do vídeo e não contextualizando uma proposta.

A seguir, será apresentada a proposta didática baseada nos Três Momentos Pedagógicos (Delizoicov, Angotti e Pernambuco, 2011), apresentados no início deste capítulo, juntamente com a discriminação das atividades, orientações e as sugestões de como utilizá-la. As atividades estão organizadas em ordem cronológica: problematização, apresentação teórica, apresentação experimental e atividade avaliativa.

2.4.1 Problematização - Abordagem Teórica

Tomou-se como pré-requisito que os alunos tenham participado das aulas sobre Termodinâmica, mais especificamente sobre as Leis da Termodinâmica e que tivessem sido apresentados aos conceitos do funcionamento de máquinas térmicas e refrigeradores (Disponível no Apêndice C – Texto de Apoio).

Aula 01 - Problematização Inicial

- Fazer uma abordagem, sobre os conceitos de Termodinâmica, previstos como pré-requisitos para esta atividade, inserir alguns questionamentos e informações importantes;
- Apresentar o Questionário Diagnóstico (Apêndice A) e solicitar que os alunos respondam de acordo com suas concepções. Os possíveis tipos de respostas e/ou análise das questões aplicadas estão apresentados no Apêndice A;
- Apresentar o modelo de refrigeração de acordo com as leis da termodinâmica. Leis, equações, cálculo de eficiência do refrigerador convencional.
- Finalizar com a atividade: “*Considere um refrigerador, cujo compressor tenha potência útil de 5 KW. Se durante cada minuto de funcionamento a serpentina transfere para o ambiente externo $4,5 \cdot 10^5$ J de calor, qual será a eficiência percentual deste modelo de refrigerador será?*”

Resposta:

Sabendo a Potência útil e o tempo de funcionamento, podemos calcular o trabalho recebido pelo refrigerador:

$$P_u = \frac{W}{\Delta t}$$

Logo,

$$\begin{aligned} W &= P_u \Delta t \\ W &= (5 \times 10^3) 60 \\ W &= 3 \times 10^5 \text{ J} \end{aligned}$$

Utilizando a primeira Lei da termodinâmica ($Q - W = \Delta U$), para processos cíclicos ($\Delta U = 0$):

$$|Q_q| - |Q_f| = W$$

Calculamos o calor retirado do reservatório frio:

$$4,5 \times 10^5 - 3 \times 10^5 = |Q_f|$$

$$|Q_f| = 1,5 \times 10^5 \text{ J}$$

A eficiência de um refrigerador é dada pela razão entre o calor retirado do reservatório frio e o trabalho recebido pelo refrigerador:

$$e = \frac{|Q_f|}{W}$$

Calculamos:

$$e = \frac{1,5 \times 10^5}{3 \times 10^5}$$
$$e = 0,5$$

ou seja, a eficiência desse refrigerador equivale a 50%.

- Recolher as atividades para análise das respostas e preparar a próxima atividade. Levar em consideração as concepções espontâneas durante o levantamento de dados.

Aula 02 – Problematização Inicial

- Iniciar com questionamentos sobre o funcionamento de modelos de refrigeração convencionais: Ex.²: “*Como funciona a geladeira de sua casa?*”

- Apresentar instrumentos que utilizam gás refrigerante e compressor para refrigeração: aparelho de ar condicionado, geladeira, freezer, etc.

- Introduzir vídeo explicativo sobre o ciclo de refrigeração em uma geladeira convencional:

Sugestão: <https://www.youtube.com/watch?v=VHrfwDax3GA>

(Acesso em 06 de junho de 2018)

- Acrescentar questionamentos sobre máquinas de refrigeração:

Ex.³: “*Quais máquinas ou eletrodomésticos você conhece, que podem refrigerar um ambiente?*”

- Apresentar as pastilhas de Peltier como alternativa para refrigeração, informar que este dispositivo será nosso objeto de estudo nas próximas atividades.

Ex.⁴: “*Conhece uma pastilha Peltier? Sabe como funciona? Quais são suas aplicações no cotidiano?*”

- Sugestão coletar as impressões e frases ditas pelos alunos, para um melhor diagnóstico do processo de ensino e aprendizagem.

² Espera-se que o aluno responda relacionando o funcionamento da geladeira ao funcionamento de refrigeradores, fazendo referências às Leis da Termodinâmica.

³ Ar condicionado de caixa e tipo “split”, Geladeira, Freezer, Bebedouro,...etc...

⁴ Pergunta investigativa, não se sabe quais são os conhecimentos prévios dos estudantes, portanto, acredita-se que não apresentarão resposta afirmativa neste momento.

2.4.2 Organização da aprendizagem– Abordagem Experimental

Nesta seção se apresenta como a atividade experimental foi organizada. Seguindo o objetivo de apresentar novos conceitos, tomou-se o cuidado para que os estudantes pudessem interagir com o experimento.

Aula 03 – Organização do Conhecimento

Neste momento é importante utilizar o laboratório de Física (ou de Ciências) para obter um melhor aproveitamento, pois é possível preparar as bancadas com os materiais antecipadamente. As bancadas são apropriadas com barra de tomadas e há espaço para que o grupo possa se posicionar em volta do mesmo, sem atrapalhar os que estejam em outra bancada. Em caso de não dispor de um laboratório pode-se utilizar a própria sala de aula, a sugestão é que possa montar bancadas (ou mesas agrupadas) para que os alunos trabalhem em equipe.

Para a organização do conhecimento propõem-se a seguinte sequência:

- Introduzir os conceitos de termoeletricidade, efeitos *Peltier* e *Seebeck*, utilizar um texto de apoio (Apêndice C), caso seja necessário.
- Dividir os alunos em grupos. (Sugestão: no máximo 05 alunos por grupo)
- Montar as bancadas com os quatro (04) estágios propostos a seguir, para que os alunos possam transitar pela sequência proposta.
- Solicitar aos alunos que anotem as impressões, concepções e conclusões de cada estágio.

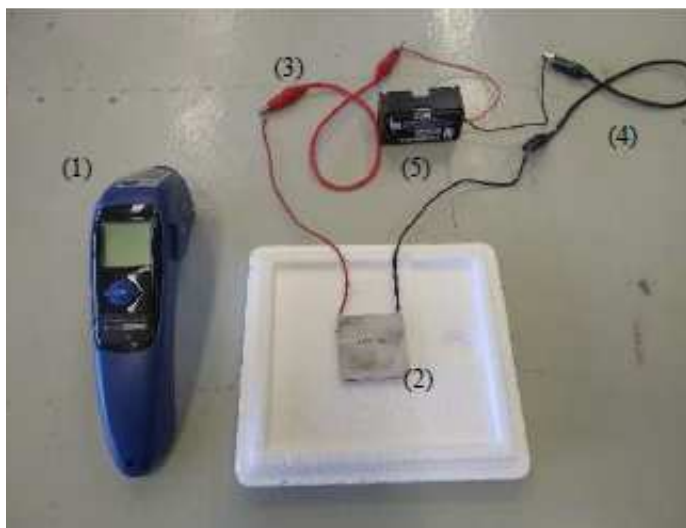
Segue o roteiro para acompanhar cada estágio:

- ESTÁGIO 1: Conhecendo o Efeito Peltier - Verificação da variação de temperatura - aquecimento da pastilha

Na primeira bancada deixar disponível para os alunos uma pastilha Peltier, fixada em um material isolante (para facilitar o manuseio – no caso foi a tampa da caixa de isopor, pode ser substituída por uma tábua de madeira), um suporte com fios para 04 pilhas de 1,5 V cada (item (5) na Figura (2.1)). Poderia também utilizar uma bateria de 9 V com o respectivo

suporte com fios e um termômetro infravermelho⁵ (item (1)) na Figura (2.1), além dos fios conectores (item (2) na Figura (2.1)).

Figura 2.1 - Foto da montagem experimental para o ESTÁGIO 1: (1) Termômetro digital infravermelho; (2) Pastilha Peltier sobre um material isolante (tampa da caixa de isopor), ligada por meio de fios de conexão por meio de jacarés ((3) e (4)) a uma (5) fonte de tensão (4 pilhas de 1,5 V).



Fonte: Arquivo do autor

Orientar para que os estudantes acoplem a bateria aos terminais da pastilha, utilizando os cabos com conectores, e com o termômetro direcionado à pastilha, acompanhem o evento.

Uma sugestão é que os integrantes do grupo possam filmar (com um celular) a evolução da temperatura no termômetro e podem inclusive construir uma tabela (como por exemplo, a Tabela 2.1) utilizando o tempo do vídeo. Ou mesmo ir acompanhando utilizando um cronômetro.

Tabela 2.1 – Dados da atividade experimental (Estágio 1). Os dados de tempo em segundos (s) são sugestões.

Tempo (s)	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5
Temperatura (°C)							

Fonte: O autor

Observação: É necessário cuidado com a segurança, pois, o aquecimento da pastilha acontece rapidamente. Por isso, aconselha-se a tomar medidas nos primeiros 6 segundos, por segurança, e para não causar danos à pastilha.

⁵ Caso tenha um termopar (já vem com alguns multímetros) coloque-o em contato com a pastilha Peltier fixado com fita adesiva e a outra extremidade conecte ao multímetro na escala de temperatura. Este pode substituir o termômetro. Um vídeo que mostra como utilizar um multímetro, para este propósito está Disponível no *You Tube*:<https://www.youtube.com/watch?v=X4k_a8fkf2I> - postado por AndreCisp/2014.

Exemplo de Resultado – Estágio 1: Na Tabela 2.1 a – apresenta-se um exemplo de resultado da variação da Temperatura (°C) no tempo (s). A parte de análise gráfica é uma sugestão, à explicação desta etapa aos alunos, de forma quantitativa.

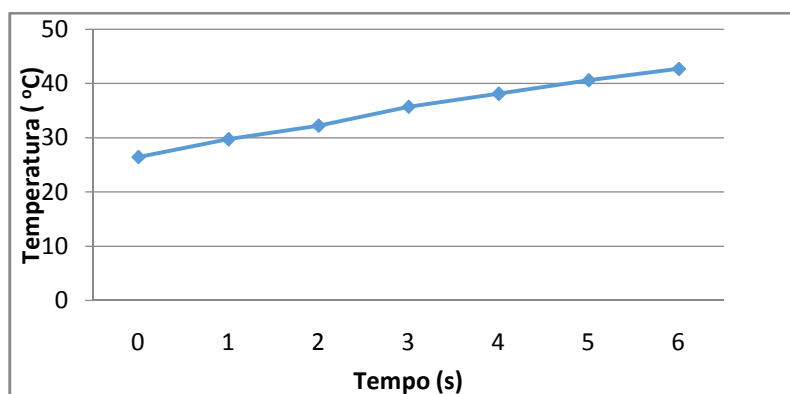
Tabela 2.1 a – Exemplo de resposta: Dados da atividade experimental (Estágio 1). Medida de tempo (s) versus temperatura em (°C).

Tempo (segundos)	0,0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0
Temperatura (°C)	26,4 (temperatura ambiente)	29,7	32,2	35,7	38,1	40,6	42,7

Fonte: o autor

Como sugestão fica a análise gráfica. Para isso, confecciona-se o gráfico com um programa (no caso Excel), ou diretamente no papel milimetrado. Pode-se ver a relação entre a variação da temperatura versus tempo (Figura 2.1a). Ajustando pelo método dos mínimos quadrados (Mukai e Fernandes, 2018, p. 26) obtém-se a seguinte relação $T = 26,9 + 2,74 t$, logo o cronômetro foi acionado quando a temperatura estava a 26,9 ° C, e a taxa de variação de 2,74 °C/s na média. Ressaltando que essa taxa é somente para ter uma noção da relação da temperatura com o tempo nos seis primeiros segundos, ou seja, que o aquecimento é bem rápido, e da dificuldade em coletar os dados.

Figura 2.1a – Taxa de variação da Temperatura pelo tempo. Gráfico do tempo (s) versus temperatura (°C), a reta em azul é um guia de olho.

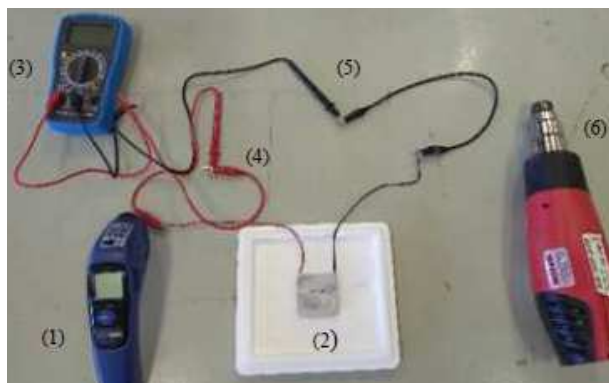


Fonte: O autor e Excell 2007 ©

- ESTÁGIO 2: Conhecendo o Efeito *Peltier/Seebeck* – Verificação da variação da diferença de potencial

Na próxima bancada (Bancada 2), disponibilizar uma pastilha Peltier, os fios de conexão, um soprador térmico e um multímetro (Figura 2.2).

Figura 2.2 - Foto da montagem experimental para ESTÁGIO 2: (1) Termômetro digital infravermelho; (2) Pastilha Peltier ligada ao multímetro (3) por meio de fios conectores e auxílio de jacarés (4) e (5); (6) soprador térmico.



Fonte: Arquivo do autor

- **ESTÁGIO 2.1** - Conectar em paralelo os fios do multímetro aos terminais da pastilha Peltier, Figura (2.2) itens (4) e (5), posicione o botão do seletor do aparelho direcionado para escala de 2 volts (V), ligar o multímetro.
- **ESTÁGIO 2.2** - Direcionar o soprador térmico (Figura (2.2) item (6)) para a pastilha (Figura (2.2) item (2)), estimulando, com ar quente, a parte de cerâmica da pastilha e observar a leitura da diferença de potencial (ddp), medida em Volts, apresentada pelo multímetro.
- **ESTÁGIO 2.3** - Seguindo a sugestão do ESTÁGIO 1, também é possível construir uma tabela (Tabela 2.2), utilizando a filmagem feita por um aparelho celular, esta tabela contempla a comparação entre tempo e diferença de potencial (ddp).

Tabela 2.2 – Dados da atividade experimental (Estágio 2). Os dados do tempo em segundos (s) são sugestões.

Tempo (s)	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5
ddp (volts)							

Fonte: O autor

Observação: o soprador térmico (item (6) da Figura 2.2) também pode atingir temperaturas elevadas e o cuidado com a segurança dos estudantes neste estágio também é importante. Não direcionar o soprador para a pele ou partes do corpo.

Exemplo de Resultado do Estágio 2: Apresenta-se a seguir um exemplo de resultado (Tabela 2.2a) e uma sugestão de análise gráfica que pode ser realizado com os alunos, dependendo do tempo disponível para o mesmo.

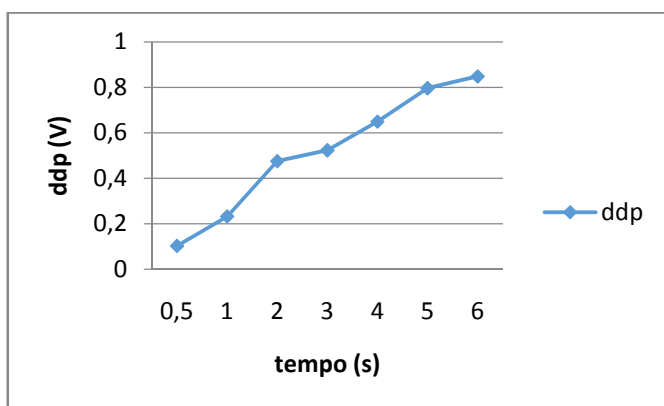
Tabela 2.2 a - Exemplo de resposta: Dados da atividade experimental (Estágio 2). Dados do tempo em segundos (s).

Tempo (s)	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0
d.d.p. (volts) Escala 2V	0.102	0,232	0,475	0,523	0,649	0,796	0,848

Fonte: O autor

Analisando como a ddp em Volts (V) variou com o tempo, confeccionou-se um gráfico ddp (V) × t(s) (Figura (2.2a)). Vemos que à medida que o tempo passa a ddp aumenta, devido à variação de temperatura entre a fonte quente e fria, sendo esta uma característica do efeito *Seebeck*. Ajustando a reta pelo método dos mínimos quadrados (Mukai e Fernandes, 2018, p. 26) $V = 0,11 + 0,13 t$, assim obteve-se uma taxa de variação de 0,13 V/s. Novamente, lembrando que tal análise é somente dos 6 segundos iniciais, posteriormente isso pode ter outro comportamento.

Figura 2.2a – Gráfico da ddp (V) x tempo (s) confeccionados com os dados da Tabela 2.2a. A linha azul é apenas um guia de olho.



Fonte: O autor e Excell 2007 ©

Outra sugestão é unir os dados da Etapa 1 com a Etapa 2 para os mesmos tempos, e realizar uma análise ddp versus temperatura, somente para ter uma ideia do que está ocorrendo nestes segundos iniciais.

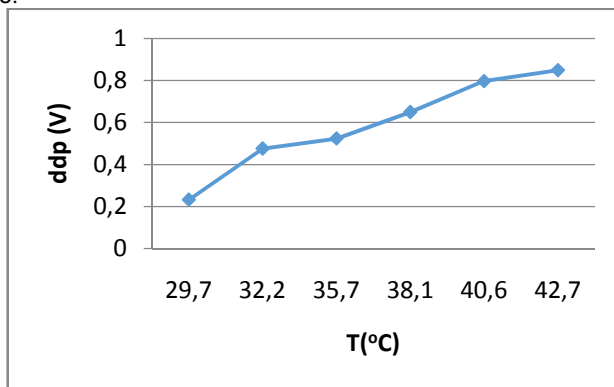
Relacionando os dados dos Estágios 1 e 2: A Tabela 2.2b, apresenta os dados da temperatura extraídos da Tabela 2.1a, com ddp extraídos da Tabela 2.2a, para os mesmos tempos. O gráfico da Figura 2.2b, é uma sugestão de análise destes dados. A inclinação da reta fornece a taxa de variação da ddp pela variação de temperatura.

Tabela 2.2b - Exemplo de resposta: Dados da atividade experimental (Estágios 1 e 2). Dados do tempo em segundos (s), da Temperatura (T) em °C e ddp em Volts (V). Confeccionado com os dados de mesmo tempo das Tabelas (3.2a) e (3.3a).

Tempo (s)	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0
T (°C)	29,7	32,2	35,7	38,1	40,6	42,7
ddp (Volts) Escala 2V	0,232	0,475	0,523	0,649	0,796	0,848

Fonte: O autor

Figura 2.2b – Gráfico da ddp (V) versus temperatura (T) em °C confeccionado com os dados da Tabela 2.2b. A linha azul é um guia de olho.



Fonte: O autor e Excell 2007 ®

Verifica-se assim, que ao aquecer um lado da pastilha, aumentou a diferença de temperatura entre os lados da pastilha e por isso aumenta a ddp registrada. Exemplo: lado frio 25°C - lado quente 30°C medimos 0,4 Volts; lado frio 25°C - lado quente 40°C medimos 0,7 Volts. Lembrando que há um limite de estabilização de temperatura. Ajustando pelo método dos mínimos quadrados (Mukai e Fernandes, 2018, p.26) $V = - 1,1 + 0,05 T$, indicando uma taxa de variação 0,05 V/°C, na média para os 6 segundos iniciais.

- ESTÁGIO 3: Apresentar um Terminal de Resfriamento.

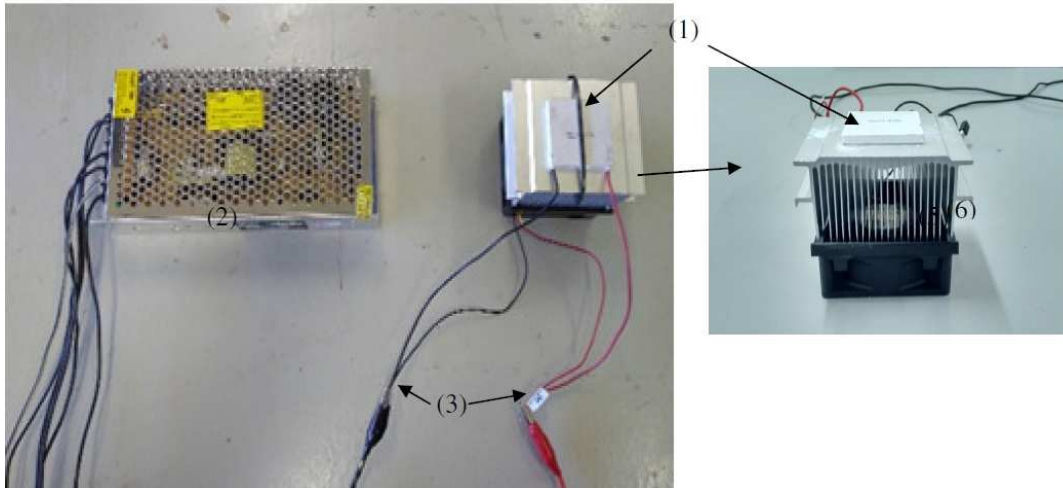
A montagem disponível na terceira bancada deve ser previamente preparada pelo professor.

Consiste em um terminal de resfriamento dotado de um ventilador (*cooler*), juntamente com um dissipador de calor de alumínio (ambos utilizados em computadores) parte inferior ao item (1) em destaque na Figura 2.3.

A Figura 2.3 mostra que junto ao dissipador (6) está acoplada a pastilha Peltier (1), conforme descrito seção 1.2 (item 2) e 3)). Este sistema é ligado a uma fonte de tensão (2) que forneça 12 volts e 10 A (Ampère). A ligação é feita por conectores (3) colocando o *cooler* (5) e a pastilha (1) em paralelo, para que recebam a mesma diferença de potencial.

Os estudantes munidos novamente de um termômetro digital e direcionando-o para a pastilha Peltier podem acompanhar a mudança de temperatura da pastilha.

Figura 2.3 – Foto para montagem experimental do ESTÁGIO 3: Pastilha Peltier (1) acoplada ao dissipador de calor (6) e cooler (5). Na imagem à esquerda tem-se: (2) a fonte de tensão e (3) os fios de conexão entre o sistema e a fonte.



Fonte: Arquivo do autor.

Novamente a instrução é acompanhar a variação de temperatura utilizando um celular para registrar os dados, e preencher uma tabela (Sugestão: Tabela 2.3).

Tabela 2.3 – Dados da atividade experimental (ESTÁGIO 3). Os dados de tempos em segundos (s) são sugestões.

Tempo (s)	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5
Temperatura (°C)							

Fonte: O autor

Exemplo de Resultado do Estágio 3: A Tabela 2.3a, apresenta um exemplo de resultado do resfriamento desse sistema de resfriamento. O gráfico da Figura 2.3a é uma sugestão de análise.

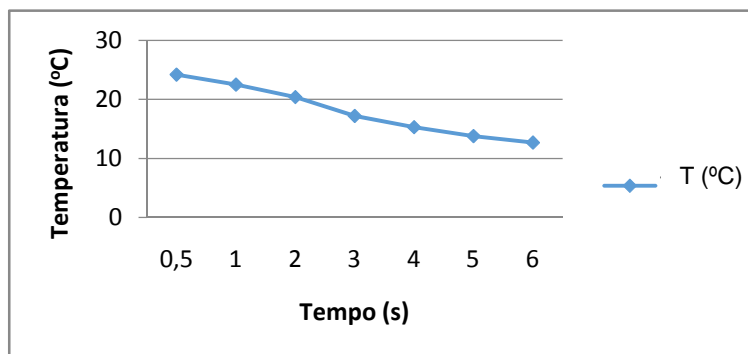
Tabela 2.3a – Exemplo de respostas: Dados da atividade experimental (ESTÁGIO 3). Os dados de tempos em segundos (s) são sugestões, $T_a = 26^\circ\text{C}$ (temperatura ambiente).

Tempo (s)	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0
Temperatura (°C)	24,2	22,5	20,4	17,2	15,3	13,8	12,7

Fonte: o autor

Continuando com a sugestão da análise gráfica (Figura 2.3a). Vemos que a temperatura é inversamente proporcional ao tempo. Indicando o resfriamento.

Figura 2.3a – Gráfico da temperatura T (°C) versus tempo t (s) – taxa de resfriamento de um terminal de resfriamento. A linha azul é um guia de olho.



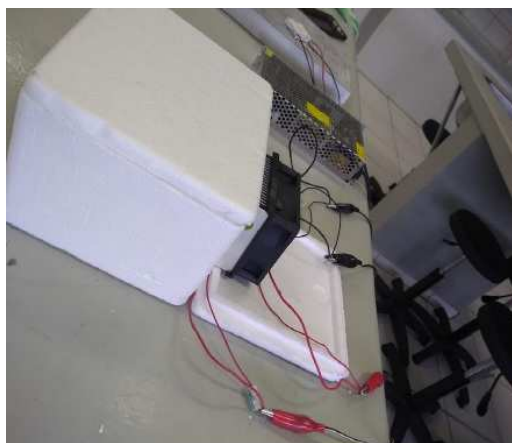
Fonte: O autor e Excell 2007 ®

Ajustando os dados pelo método dos mínimos quadrados (Mukai e Fernandes, 2018, p.26) obtém-se $T = 24,6 - 2,14 t$, ou seja, a taxa de resfriamento do sistema de refrigeração é de $-2,14$ °C/s na média. Novamente lembrando que este é o comportamento inicial, seis primeiros segundos, após isso, a tendência é cerca de 2 minutos até o sistema estabilizar para as pastilhas *Peltier* utilizadas.

- ESTÁGIO 4 – Apresentar o sistema de refrigeração utilizando o terminal de resfriamento

A apresentação na quarta bancada é a do protótipo de refrigerador (Figura (2.4 (a))) dotado de um ambiente isolado. Para isso, utilizou-se uma caixa de isopor e de um terminal de refrigeração (como o apresentado no ESTÁGIO 3) encaixado em uma das laterais do mesmo através de um orifício do tamanho do terminal. A Figura (2.4 (b)) mostra o mesmo sem a tampa.

Figura 2.4 - Imagem fotográfica do Protótipo do refrigerador (a) tampado e com a fonte de tensão ao lado e (b) em destaque aberto (ESTÁGIO 4).



Fonte: Arquivo do autor.

Este estágio pode ser apenas demonstrativo (um experimento que aborde qualitativamente o resfriamento causado dentro do recipiente), devido ao tempo de aula. Os alunos podem simplesmente sentir a diferença de temperatura entre o ambiente e a mão dentro da caixa. Tomando o cuidado para não bater na parte de refrigeração.

Sugestão: que o professor coloque algum elemento (Experimento 2.1) para experimentar a variação de temperatura dentro do protótipo de refrigerador.

Experimento 2.1 - *Colocar um copo com água (em temperatura ambiente) dentro do protótipo e deixar o terminal de refrigeração ligado a fonte de tensão (equipamento ao lado do refrigerador mostrado na Figura (2.4 (a))). Para isso direcionar o termômetro para a água (sem a tampa da caixa de isopor) e acompanhar a variação da temperatura. Se com a tampa de isopor, faça um orifício na mesma, tal que seja possível encaixar o termômetro. Nesse caso, colocar o sensor de temperatura em contato com o líquido e acompanhar a leitura do lado de fora do protótipo, como mostrado na Figura (2.4 (a)).*

Um exemplo do comportamento da variação de temperatura no tempo de um sistema similar é apresentado na Figura 10 do trabalho de (DALL'AGNOL, NIENCHERSKI, KRAEMER e TATSCH, 2010, p.11) em que construíram uma geladeira *Peltier*.

Encerrar esta etapa fazendo com que os estudantes analisem os dados obtidos e comparem as tabelas preenchidas. Instruí-los para que possam descrever suas próprias percepções sobre os conceitos de Termodinâmica e Termoeletricidade, abordados durante experimento.

- Solicitar para que os alunos respondam a seguinte pergunta⁶: “*Quais os conceitos físicos estudados em termologia e termodinâmica você conseguiu identificar, durante esta atividade experimental?*”

Por fim, como sugerido na teoria de aprendizagem e a metodologia adotada, segue a atividade avaliativa.

2.4.3 Atividade Avaliativa

A partir da 4ª aula inicia a atividade avaliativa, que é aplicar o conhecimento adquirido por meio das etapas da construção/funcionamento do protótipo de refrigerador (Aula 03).

⁶Exemplos de respostas: Temperatura, Medidas de Temperatura, Convecção, Leis da Termodinâmica, Funcionamento de Refrigeradores, Máquinas Térmicas, etc.

Aula 04 - Aplicação do conhecimento

- Iniciar a atividade fazendo um levantamento dos conceitos apresentados, destacar: Leis da Termodinâmica, funcionamento de refrigeradores, conceitos de Termoeletricidade e aplicação das pastilhas Peltier.

- Abrir um debate para que os estudantes possam opinar quais as possibilidades de melhorar a refrigeração, dentro do sistema/ambiente fechado, apresentado na Aula 03 – Estágio 4.

- Perguntar aos estudantes⁷: “*Existe relação entre as leis da Termodinâmica e o funcionamento de um refrigerador com pastilhas Peltier?*”

- Anotar as respostas e impressões.

- Aplicar o Questionário Avaliativo (Apêndice B), instruir os alunos para responder individualmente e recolher no final da atividade. No Apêndice B também estão apresentadas as possíveis respostas e análises das questões propostas.

- Apresentar a tabela de comparação (Quadro 2.2) que mostra as vantagens e desvantagens do uso da refrigeração com pastilhas *Peltier* em relação aos refrigeradores residenciais/convencionais, cujo funcionamento é a base de a motor elétrico (compressor).

Quadro 2.2 – Vantagens e desvantagens da refrigeração a base de pastilhas Peltier.

VANTAGENS	x	DESVANTAGENS
• Refrigeração localizada.		• Má eficiência dos dissipadores de calor.
• Pouca manutenção necessária.		• Grande quantidade de calor em pequenas áreas.
• Dispensa uso de gases refrigerantes.		• Utilizam altos valores de corrente contínua de baixa tensão, isto eleva o custo de instalação.
• Ausência de ruídos.		• Necessidade de um salto tecnológico para que possam ser utilizados em grande escala.
• Durabilidade.		
• Capacidade de gerar energia elétrica.		
• Funcionam em qualquer orientação.		

Fonte: Informações extraídas das referências - Moura, 2010 e Danvic, 2019.

- Para encerrar a atividade, fica como sugestão para os estudantes o vídeo de montagem de um refrigerador Peltier, “*Como fazer uma geladeira caseira que chega a 5,6°C (geladeira Peltier)*”, disponível no canal do YouTube “*Manual do Mundo*”.

⁷Exemplo de resposta: Sim. O sistema envolve o conceito de temperatura e entra em equilíbrio térmico que estão inclusos na lei zero da termodinâmica. O processo na 1ª lei da termodinâmica envolve conceitos de calor e trabalho, funciona entre duas temperaturas, e por fim funciona como uma “máquina térmica”, no sentido de fornecer um coeficiente de desempenho como um refrigerador, satisfazendo a segunda lei da termodinâmica.

- Link do vídeo: <https://www.youtube.com/watch?v=O7NuMwVCdt0>
(Acesso em 06 de julho de 2018).
- Pedir um relato das atividades para cada grupo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A elaboração deste Produto Educacional pelo autor foi proposta para desenvolvimento do trabalho de dissertação de mestrado no programa de Pós-Graduação no Mestrado Profissional Nacional em Ensino de Física (MNPEF) do polo da Universidade Estadual de Maringá (UEM), no Paraná. Dentre os objetivos firmados para esta proposta, desejou-se cumprir o papel de aproximar a vivência do docente, no cotidiano da escola, à pesquisa científica desenvolvida neste programa.

Quanto a importância de propostas de ensino, que sugerem práticas que podem ser replicadas e abordagens teóricas importantes destacam-se, neste trabalho: o uso de teorias de aprendizagem no cotidiano escolar; a importância da experimentação para o ensino de Física; e a proximidade entre o cotidiano do estudante de Ensino Médio (público alvo deste trabalho).

Para que a aplicação da proposta didática concluísse com êxito, adotou-se um aporte teórico que se baseia em conhecimentos prévios dos estudantes. Com isso, se pensou na sequência de atividades das propostas e a disposição das ações ao longo das aulas, utilizando a teoria de Aprendizagem Significativa, de David Ausubel, juntamente com os encaminhamentos metodológicos propostos por Delizoicov, Angotti e Pernambuco, denominados de “Três Momentos Pedagógicos”.

Acredita-se que ao replicar as ações propostas no trabalho os usuários possam proporcionar aos seus alunos uma Aprendizagem Significativa, construída pela interação do estudante com um aparato experimental que visa investigar a aprendizagem de conceitos de Termodinâmica e introduzir conceitos de Termoeletricidade.

As escolhas desses assuntos estão fundamentadas na experiência do autor e na percepção das ações docentes propostas em trabalhos científicos sobre o Ensino de Física. No que diz respeito aos assuntos de Termoeletricidade, vale afirmar, que na maioria dos programas de ensino, tais conceitos não estão contemplados, para estudantes do Ensino Médio.

Para sua aplicação, sugerem-se formas complementares de análise dos dados, de acordo com a série acadêmica do público alvo.

Bem como, enfatiza-se que os refrigeradores (compressão e *Peltier*) são processos diferentes, e isto faz com que tanto o docente e o aluno discutam sobre os conceitos físicos envolvidos, e de forma mais profunda, pois se pode ampliar inclusive para o nível universitário, como aplicação de semicondutores, em estudos que envolvam Estado Sólido.

Portanto, espera-se que haja uma contribuição para os docentes que utilizarem este material como fonte de pesquisa, e como uma opção no processo ensino-aprendizagem em sua prática profissional e que as ações, aqui propostas, sejam úteis no cotidiano escolar. E, deseja-se que esta proposta possa servir como fomento de novas práticas, de trocas de experiências e discussões, visando a melhoria no processo de ensino-aprendizagem.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, Edvaldo de Oliveira. Propriedades Físicas do Semicondutor Bi_2Te_3 . Dissertação. 131 fls. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, RN, 2007. Disponível no site: <<ftp://ftp.ufrn.br/pub/biblioteca/ext/bdtd/EdvaldoOA.pdf>>, Acesso em: 15 de Julho de 2017.

ANDRECISP – You tube: Multímetro Digital com teste de capacitômetro e temperatura, 2014. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=X4k_a8fkf2I> Acesso em: 19 de fevereiro de 2019.

BRASIL Parâmetros Nacionais para o Ensino Médio: orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais: Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Secretaria de Educação Média e Tecnológica/MEC, Brasília, 2002.

DALL'AGNOL, Anderson; NIENCHESKI, Henrique Zuardi; KRAEMER, Kassius. **Geladeira Peltier**. 2009. Trabalho do Conclusão de Curso (Graduação). 23 fls. Curso de Escola de Engenharia, Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2009.

DANVIC. Equipamentos Danvic Ltda. 2019. Disponível em: <<http://www.peltier.com.br/index.php?url=home>>. Acesso em 19 de Fevereiro de 2019.

DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A; PERNAMBUCO, M. M. Ensino de Ciências: fundamentos e métodos. Coleção Docência em Formação. 4ª ed. São Paulo : Cortez 2011.

EMBRACO – YouTube: Ciclo de refrigeração em uma geladeira convencional, 2016. Disponível Em : <<https://www.youtube.com/watch?v=VHrfwDax3GA>>. Acesso em 06 de Junho de 2017.

FERNANDES, Silvana. **O Ensino de Física Térmica a partir de um modelo didático de coletor solar**. 2016. Dissertação (Mestrado). 144 fls. Curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, Programa de Pós Graduação em Ensino de Física, Universidade Federal de Santa Catarina, Araranguá, SC, 2016.

MANUAL do Mundo – You Tube: Como fazer uma geladeira caseira que chega a 5,6°C (geladeira Peltier), 2018. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=O7NuMwVCdt0>>. Acesso em 06 de Junho de 2017.

MOREIRA, M. A. Teorias de Aprendizagem. São Paulo: EPU, 1999.

MOREIRA, M. A.; MASINI, E. A. S. Aprendizagem significativa: a teoria de aprendizagem de David Ausubel. 2ª ed. São Paulo : Centauro Editora, 2006.

MOURA, J. A.de S. Filmes nanométricos de FeN e AlN crescidos por sputtering e aplicações do efeito Peltier. Tese. 200 fls. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, RN, 2010.

MUENCHEN, C.; DELIZOICOV, D. Os três momentos pedagógicos e o contexto de produção do livro “Física”. *Ciência e Educação*. Bauru, v. 20, n. 3, p. 617-638, 2014.

MUKAI, H. e FERNANDES, P. R. G., *Manual de Laboratório de Física Experimental I*. Departamento de Física. Universidade Estadual de Maringá, p. 26 e 27, 2018.

PAULINO, I. Nota de Falecimento, 2018. Disponível em: <<http://www.sbfisica.org.br/v1/home/index.php/pt/acoincete/710-nota-de-falecimento-prof-edvaldo-de-oliveira-alves-mara>>. Acesso em 22 de fevereiro de 2019.

FELTRIN, E. R. As novas tecnologias aplicadas ao ensino de física numa perspectiva construtivista. *Anais. Congresso Nacional Interdisciplinar em experiências educativas 20 a 22 de maio de 2015*.

APÊNDICE A: Questionário Diagnóstico



Universidade Estadual de Maringá
Departamento de Física
Programa Nacional de Mestrado Profissional em Ensino de Física

Nome (opcional): _____

Idade _____ Sexo: M ___ F ___

Responda as questões que seguem a respeito dos conceitos de termodinâmica, refrigeração e termoeletricidade.

Q01- Você já estudou as leis da termodinâmica? Quais são? Dê exemplos.

Q02- Quais são as máquinas de refrigeração que você conhece?

Q03- Você sabe como funciona a geladeira de sua casa? Explique.

Q04- Você conhece algum dispositivo que relacione eletricidade e energia térmica (calor)? Dê Exemplos.

Q05- O que se entende a respeito do termo: TERMOELETRICIDADE?

Q06- Conhece algum tipo de aparelho que utiliza um método de refrigeração sem o uso de gás refrigerante e o processo de compressão? Conhece Aparelhos que utilizam pastilhas de cerâmica para resfriamento?

Q07- Já estudou ou já foi informado a respeito dos efeitos Seebeck e Peltier? Conhece algum dispositivo que funcione utilizando estes efeitos?

Q08- Você considera importante o conhecimento de novas tecnologias em uma disciplina de ensino de Ciências (Exemplos: química, física, biologia)?

RESPOSTAS ESPERADAS:

- **Q 01- Você já estudou as leis da termodinâmica? Quais são? Dê exemplos.**

A proposta deste trabalho sugere que a proposta didática, juntamente com aplicação de um experimento, esteja alocada na sequência dos conteúdos desenvolvidos pelo docente da componente curricular Física no Ensino Médio, logo após a discussão sobre as Leis da Termodinâmica, espera-se

então que os estudantes possam enunciar as Leis da Termodinâmica (1ª e 2ª leis) com exemplos de situações apresentadas.

No caso da Primeira Lei da Termodinâmica, que o estudante possa relacionar a transformação da Quantidade de Calor em outras formas de energia, essencialmente é importante que o estudante perceba quando, e em quais situações, pode haver transformação de energia térmica em Trabalho. Os exemplos mais utilizados nos livros didáticos estão relacionados com transformações gasosas, em que a expansão/compressão de um gás representa o Trabalho realizado/recebido.

Com relação à Segunda Lei da Termodinâmica o que se espera do estudante de Ensino Médio é que compreenda o funcionamento de Máquinas Térmicas, relacionando-o com os enunciados desta lei. Que o estudante possa reconhecer que o Trabalho realizado neste modelo de máquina é consequência da transferência de energia entre o reservatório de maior temperatura (fonte quente) e o reservatório de menor temperatura (fonte fria) enquanto opera em ciclo.

- **Q 02- Quais são as máquinas de refrigeração que você conhece?**

Consequência dos conhecimentos da Segunda Lei da Termodinâmica, os refrigeradores são apresentados, como Máquinas Térmicas que operam com o ciclo invertido. Esta questão sugere que os estudantes possam apresentar este tipo de objeto em seu cotidiano. Exemplos: Geladeira, Freezer, Aparelho de Ar Condicionado, Refrigeradores de Água (bebedouros), etc.

- **Q 03- Você sabe como funciona a geladeira de sua casa? Explique.**

Espera-se que os estudantes possam explicar o funcionamento de uma geladeira convencional utilizando os conceitos de Termodinâmica e relacionado especificamente com a aplicação da Segunda Lei da Termodinâmica e com o conceito envolvido nos Refrigeradores. Ressaltando que, na proposta didática a apresentação e funcionamento de refrigeradores serão após a apresentação do presente questionário.

- **Q04 - Você conhece algum dispositivo que relacione eletricidade e energia térmica (calor)? Dê Exemplos.**

Esta questão está relacionada com os conceitos de Termoeletricidade que serão apresentados durante a proposta didática, tem caráter investigativo, pois não se têm conhecimento, de quais são os conhecimentos prévios dos estudantes. Porém, sabe-se que os conceitos de Termoeletricidade não estão contemplados nos programas de Ensino Médio. Normalmente, os estudantes relacionam Energia Térmica e Energia Elétrica quando o professor de Física apresenta os conceitos de Eletricidade e funcionamento de resistores. Tal assunto está contemplado, na maioria dos currículos, após o estudo de fenômenos térmicos. Portanto, um prognóstico é que os estudantes tenham dificuldade em apresentar exemplos sobre termoeletricidade.

- **Q 05 - O que se entende a respeito do termo: TERMOELETRICIDADE?**

Novamente, assim como na questão anterior, os conceitos de Termoeletricidade não são de conhecimento dos estudantes, pelo menos para maioria deles. Por isso, acredita-se que poucos estudantes consigam explicar o termo. Não podemos descartar que o significado da palavra TERMOELETRICIDADE está subentendido e que alguns estudantes possam relacionar fenômenos térmicos e fenômenos elétricos.

- **Q 06 - Conhece algum tipo de aparelho que utiliza um método de refrigeração sem o uso de gás refrigerante e o processo de compressão? Conhece Aparelhos que utilizam pastilhas de cerâmica para resfriamento?**

Seguindo a investigação sobre assuntos envolvendo Termoeletricidade a expectativa é que poucos consigam responder esta questão e dar exemplos. Considera-se que a maioria dos estudantes não tenham tido contato com equipamentos de aplicação da Termoeletricidade, em especial, equipamentos de refrigeração.

- **Q 07- Já estudou ou já foi informado a respeito dos efeitos Seebeck e Peltier? Conhece algum dispositivo que funcione utilizando estes efeitos?**

A questão 7 é sequência da questão 6, portanto, a expectativa de respostas para este item está diretamente relacionada, ou seja, os estudantes que não responderem a questão anterior terão dificuldades em apresentar resposta satisfatória.

- **Q 08 - Você considera importante o conhecimento de novas tecnologias em uma disciplina de ensino de Ciências (Exemplos: química, física, biologia)?**

Esta questão também tem caráter investigativo, espera-se que os estudantes reconheçam a importância do conhecimento de novas tecnologias no Ensino de Ciência. E, também por não se têm um conhecimento prévio de qual será a quantidade de respostas afirmativas, pois este fato também depende do histórico de cada estudante e de como lhes foi apresentado tal conhecimento ao longo de sua vida escolar.

Apêndice B: Questionário Avaliativo



Universidade Estadual de Maringá
Departamento de Física
Programa Nacional de Mestrado Profissional em Ensino de Física

Nome (opcional): _____

Idade _____ Sexo: M ___ F ___

Responda as questões que seguem a respeito dos conceitos de refrigeração e termoeletricidade.

Q01- Você já estudou as leis da termodinâmica? Quais são? Dê exemplos.

Q02- Quais são as máquinas de refrigeração que você conhece? Você sabe como funciona a geladeira de sua casa? Explique.

Q03- Você conhece algum dispositivo que relacione eletricidade e energia térmica (calor)? Dê Exemplos.

Q04- O que você entende a respeito do termo: TERMOELETRICIDADE?

Q05- Qual a relação da Lei Zero da Termodinâmica com o funcionamento de pastilhas Peltier? (Existe ou não existe? É possível aplicar?)

Q06- Qual a relação da Primeira Lei da Termodinâmica com o funcionamento de pastilhas Peltier? (Existe ou não existe? É possível aplicar?)

Q07- Qual a relação da Segunda Lei da Termodinâmica com o funcionamento de pastilhas Peltier? (Existe ou não existe? É possível aplicar?)

Q08- A apresentação dos efeitos termoelétricos foi útil para o conteúdo estudado? Tal apresentação, ajudou fixar com conceitos de termodinâmica?

Q09- Você considera importante o conhecimento de novas tecnologias em uma disciplina de ensino de Ciências (Exemplos: química, física, biologia)?

RESPOSTAS ESPERADAS:

- **Q01 - Você já estudou as leis da termodinâmica? Quais são? Dê exemplos.**

Após a apresentação do funcionamento de Refrigeradores, relacionando com as Leis da Termodinâmica e destacando as discussões que foram propostas durante o processo, espera-se que todos os estudantes consigam enunciar tais leis, confirmando uma das propostas deste trabalho, que é verificar a aprendizagem deste assunto.

As Leis da Termodinâmica foram utilizadas como conhecimento prévio dos estudantes para esta proposta, ancorar novos conhecimentos aos anteriores é algo de suma importância para corroborar o embasamento teórico adotado para a sequência didática, segundo Ausubel, quando isto acontece é possível reconhecer que houve uma Aprendizagem Significativa.

- **Q02 - Quais são as máquinas de refrigeração que você conhece? Você sabe como funciona a geladeira de sua casa? Explique.**

Considerando que os estudantes estarão mais familiarizados com o assunto, citar exemplos de equipamentos do cotidiano (Geladeira, Freezer, Ar condicionado, Bebedouros,...) passará a ser algo mais fácil para eles. Com isso, esta questão visa reconhecer a proximidade dos estudantes com aplicações do conteúdo da componente curricular em seu cotidiano, acredita-se que a maioria deles consiga explicar com propriedade o funcionamento de uma geladeira, levando em consideração o conhecimento teórico sobre as Leis da Termodinâmica.

- **Q03 - Você conhece algum dispositivo que relacione eletricidade e energia térmica (calor)? Dê Exemplos.**

Uma das hipóteses iniciais desta proposta é que os estudantes tenham pouco conhecimento sobre dispositivos que relacionem eletricidade e fenômenos térmicos. Nesta questão começa a investigação sobre a aprendizagem dos novos conceitos propostos e acredita-se que os estudantes consigam apresentar as Pastilhas Peltier como exemplos e enunciar algumas aplicações tecnológicas (Exemplos: terminais de refrigeração, controle de temperatura, etc.).

- **Q04 - O que você entende a respeito do termo: TERMOELETRICIDADE?**

Questão de suma importância para a proposta, pois é a oportunidade que os estudantes terão de mostrar que se apropriaram de um novo conceito e suas respectivas aplicações. Respostas que relacionem os conceitos de Termoeletricidade e que façam menção aos efeitos Peltier e Seebeck serão ótimos indícios de que houve uma aprendizagem significativa. Espera-se que os estudantes consigam apresentar tais relações e assim contribuir para confirmar os encaminhamentos metodológicos. Os Três Momentos Pedagógicos de Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2011), são apresentados como alternativa para o Ensino de Ciências, e se as respostas forem satisfatórias para este item pode-se afirmar que tal metodologia alcançou considerável eficácia na presente proposta.

- **Q05 - Qual a relação da Lei Zero da Termodinâmica com o funcionamento de pastilhas Peltier? (Existe ou não existe? É possível aplicar?)**

Durante a aplicação do experimento e da proposta didática os estudantes recordaram as aplicações das Leis da Termodinâmica, a Lei Zero está relacionada ao conceito de Equilíbrio Térmico, tal conhecimento está presente no funcionamento de termômetro e no reconhecimento de escalas termométricas. Acredita-se que os estudantes terão condições de relacionar os efeitos Termoelétricos e as Pastilhas Peltier aos sistemas de controle de temperatura que utilizam medições elétricas (medidas de tensão), juntamente com o conceito de Equilíbrio Térmico, ao monitorar a temperatura.

- **Q06 - Qual a relação da Primeira Lei da Termodinâmica com o funcionamento de pastilhas Peltier? (Existe ou não existe? É possível aplicar?)**

A Primeira Lei da Termodinâmica está relacionada com transformação de energia, após apresentação dos Efeitos Termoelétricos e do funcionamento de Refrigeradores, os estudantes terão tido contato com várias formas de energia. Espera-se que este conhecimento esteja presente na relação do conteúdo de sala de aula com o cotidiano do estudante e que ao responder este item o estudante possa, minimamente, resgatar as transformações de energia que estão contempladas na Primeira Lei da Termodinâmica, mas que também possa citar os novos conceitos apresentados.

- **Q07 - Qual a relação da Segunda Lei da Termodinâmica com o funcionamento de Pastilhas Peltier? (Existe ou não existe? É possível aplicar?)**

Uma das motivações iniciais da proposta é o funcionamento de Refrigeradores (funcionamento de uma geladeira convencional), tal conhecimento está diretamente ligado à aplicação da Segunda Lei da Termodinâmica e o funcionamento de Máquinas Térmicas. Compreender o modelo de funcionamento da geladeira confirma a aprendizagem de conceitos da Termodinâmica e mostrar que houve tal aprendizagem é útil para o seguimento da proposta. Afinal, é partindo de um modelo de refrigeração conhecido que a proposta didática apresenta os conceitos de Termoeletricidade. Portanto, espera-se que os estudantes apresentem respostas convincentes neste item, para que assim, a sequência de atividades propostas na metodologia também seja confirmada.

- **Q08 - A apresentação dos efeitos termoelétricos foi útil para o conteúdo estudado? Tal apresentação ajudou a fixar com conceitos de termodinâmica?**

Questão investigativa e espera-se que a sequência didática proposta, seguindo os encaminhamentos metodológicos, possa proporcionar aos estudantes uma Aprendizagem Significativa sobre novos conceitos (Termoeletricidade), mas também se propõe a verificar se os estudantes realmente se apropriaram dos conceitos de Termodinâmica. Com as respostas afirmativas neste item pode-se afirmar que o modelo proposto é plausível e pode ser replicado em práticas de ensino.

- **Q09 - Você considera importante o conhecimento de novas tecnologias em uma disciplina de ensino de Ciências (Exemplos: química, física, biologia)?**

A proposta de apresentar os Efeitos Termoelétricos (Peltier e Seebeck) como nova tecnologia está fundamentada na prática da componente curricular Física, que raramente contempla este assunto em uma turma do Ensino Médio. Acredita-se que após apresentar as Pastilhas Peltier e suas aplicações tecnológicas, os estudantes possam compreender a necessidade de atividades práticas e a importância de se conhecer novas tecnologias para o Ensino de Ciências. Ao confrontar esta resposta com a resposta do Questionário Diagnóstico (Q08) espera-se um crescimento significativo na importância dada pelos estudantes, ao conhecimento de novas tecnologias.

APÊNDICE C: Texto de Apoio

Neste material de apoio apresenta-se uma revisão teórica dos principais conceitos referentes ao conteúdo da teoria da componente curricular Física que envolve o presente trabalho.

C.1 CONCEITOS E AS LEIS DA TERMODINÂMICA

Apresentar-se-á um referencial teórico sobre os principais conceitos de Termodinâmica envolvidos neste contexto, lembrando que um dos objetivos deste trabalho é verificar a aprendizagem de tais elementos. Para resgatar tais enunciados baseou-se nos textos de Mark W. Zemansky (1978) e David Halliday, Robert Resnick e Jearl Walker (2012) em nível de graduação e as Orientações Educacionais Complementares aos PCN's organizados pelo Ministério da Educação (que destacam os objetivos de tal assunto para estudantes do Ensino Médio), os livros didáticos de Ensino Médio entre eles: “termologia, ótica, ondulatória”, de José Roberto Bonjorno e coautores (2016), “Compreendendo a Física”, de Alberto Gaspar (2016), bem como, “Os Fundamentos da Física”, Volumes 2 e 3, de Francisco Ramalho Junior e coautores (1976).

Para tratar de tópicos de Termodinâmica, em nível de Ensino Médio, se faz necessário enunciar alguns conceitos básicos, são eles: Temperatura, Calor e Energia Interna. Tomou-se como base autores de livros de Ensino Médio (Bonjorno, 2016 e Ramalho, 1976) para usar uma linguagem mais próxima da realidade dos estudantes, que são o público-alvo desta proposta.

Bonjorno (2016, p.12) explica que: “a **Temperatura**, é um indicador da energia cinética média das moléculas de um corpo”. Quanto maior a energia cinética média das moléculas de uma substância, maior será a sua temperatura, independente do estado da matéria (sólido, líquido ou gasoso). As moléculas de acordo com a estrutura da matéria e sua organização podem ter energia cinética de rotação, de vibração e de translação, além de contar com a energia potencial de interação entre as mesmas.

Define-se, então, como **Energia Interna** a soma das energias cinéticas e potencial dessas moléculas, ou seja, a energia total.

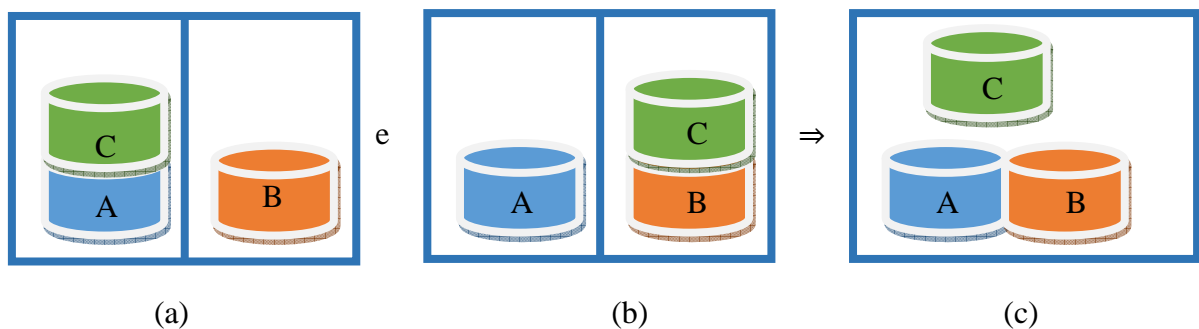
Por fim, apresenta-se o conceito de **Calor** como: “a energia térmica trocada entre dois corpos mediante uma diferença de temperatura entre eles”. Destaca-se que a transição de

calor entre os corpos tem um fluxo que é estabelecido e não se inverterá espontaneamente, ou seja, sempre o calor será transmitido do corpo de maior energia para o corpo de menor energia. Estes conceitos servem de embasamento para poder resgatar os enunciados das Leis da Termodinâmica.

Na **Lei Zero da Termodinâmica**, faz-se referência ao conceito de equilíbrio térmico e temperatura. A constatação de sistemas em equilíbrio se dá pela relação entre as temperaturas dos mesmos, ou seja, sistemas que não estão em equilíbrio térmico não terão a mesma temperatura. O embasamento deste conceito se dá pela propriedade matemática que postula: *se $A=C$ e $B=C$, então $A=B$.*

Fato esse, que é comprovado experimentalmente quando se analisa temperatura de diferentes corpos (A, B e C), cujo sistema está isolado termicamente como ilustrado na Figura C.1. Em que: (a) O corpo A está em equilíbrio térmico com um corpo C , que estão termicamente isolados do corpo B e (b) o corpo B está em equilíbrio térmico com um corpo C isolado termicamente do corpo A . Então, (c) o corpo A e o corpo B estão em equilíbrio térmico entre si e terão a mesma temperatura de B . Em termos de temperatura: $T_A = T_C$ e $T_B = T_C \Rightarrow T_A = T_B$ que é igual a T_C . Os quadros em azul indicam o isolamento térmico.

Figura C.1 - Desenho esquemático indicando o que informa a Lei zero da Termodinâmica. Em que: A, B e C , indicam os corpos cujas temperaturas (T_A, T_B e T_C) estão em análise: (a) $T_A = T_C$ e (b) $T_B = T_C \Rightarrow$ (c) $T_A = T_B = T_C$. Os quadros em azul indicam o isolamento térmico.



Fonte: Figura adaptada da referência (Halliday; Resnick; Walker, 2012).

Portanto, em um sistema isolado termicamente, a Lei Zero da Termodinâmica, formulada na década 1930, informa que: “Se dois corpos A e C estão separadamente em equilíbrio térmico com um terceiro corpo B , então A e C estão em equilíbrio térmico entre si.” (HALLIDAY ; RESNICK ; WALKER; p.185, 2012), sendo o corpo $C=T$ um termopar, um sensor de temperatura ou um termômetro. E assim, surgiu o conceito de temperatura. Como as duas próximas leis dependem desse conceito, esta foi denominada de Lei Zero.

A seguir, apresenta-se a primeira lei da termodinâmica, enunciada por Rudolph Clausius na Alemanha e independentemente por Kelvin (William Thompson - Lord Kelvin) na Escócia, em torno de 1849-1850. Ambos informam o que Sadi Carnot já havia citado sobre a primeira e a segunda lei antes em seus artigos, mas, esses só foram descobertos após sua morte (1832) e divulgados por Kelvin.

Conforme citado por Roque (2012), a lei informa que: “Quando um sistema sofre uma transformação, a soma algébrica das diversas variações de energia, do fluxo de calor, do trabalho efetuado, entre outros, é independente do mecanismo dessa transformação. Ela só depende do estado inicial e final do sistema” (ROQUE, p. 17, 2012). Posteriormente, o termo energia interna foi atribuída por Kelvin, embora Clausius já a tenha introduzido conceitualmente.

Logo, no enunciado da **Primeira Lei da Termodinâmica**, relacionam-se três tipos de energia: a Quantidade de Calor (Q) recebida (ou cedida) pelo sistema, a Variação de Energia Interna (ΔU) que depende somente do estado do material (temperatura, pressão e volume) e o Trabalho Termodinâmico (W) realizado (sobre ou pelo sistema) ao longo do processo. Tais grandezas são medidas em Joule (J), segundo o Sistema Internacional de Medidas. Esta relação se configura numa equação que representa a conservação de energia (Equação (C.1 (a) e (b))):

$$Q - W = \Delta U \quad (\text{C.1a})$$

ou, na forma diferencial:

$$dQ - dW = dU. \quad (\text{C.1b})$$

Neste caso, diferentemente do caso da mecânica, o trabalho (W) depende da trajetória. Assim, no caso da termodinâmica, a Equação (C.1) é dada por uma relação em que um lado há duas grandezas (Q e W) que separadamente dependem da trajetória, e do outro uma (ΔU) que independe da trajetória, somente dos pontos inicial e final do processo termodinâmico. Indicando assim, que a quantidade $Q - W$ é a mesma, independem do processo, mas elas individualmente, ou qualquer outra combinação entre Q e W são dependentes do processo. Portanto, a principal propriedade física na 1ª Lei da Termodinâmica, é o de energia interna (U).

É importante observar que tais grandezas são expressas em termos matemáticos e que o sinal positivo ou negativo para cada uma implica em diferentes transformações. A seguir, apresentam-se as definições matemáticas e as variações dos sinais.

➤ Quanto à Quantidade de Calor (Q): em materiais sólidos é representada pela Equação (C.2):

$$Q = m c \Delta T, \quad (\text{C.2})$$

sendo m a massa do corpo e c o calor específico do corpo em questão, e para gases

$$Q = n c \Delta T$$

em que, n é o número de moles, o calor específico, $c = c_V$ a volume constante ou $c = c_P$ a pressão constante, dependendo de como ocorre o processo. A unidade de c é J/K, no SI. O calor depende se absorvido ou cedido pelo sistema:

- $Q > 0$, (positivo) o sistema recebe calor;
- $Q < 0$, (negativo) o sistema cede calor;
- $Q = 0$ não haverá troca de calor com o sistema, configurando uma transformação adiabática.

Sua unidade é Joule (J) no SI, assim como a energia.

➤ Quanto ao Trabalho Termodinâmico (W): este também está relacionado à transferência de energia. Não depende da temperatura e sim da força que o realiza. Como a força envolve a pressão (P) e a área da seção transversal (A) de onde a força está atuando em um deslocamento Δy , $F = PA$, a equação do trabalho, $W = F\Delta y$, expresso em termos da pressão (P) que é uma grandeza sempre positiva e da área A, e considerando variação de volume $\Delta V = A\Delta y$, fornece a Equação (C.3):

$$W = P\Delta V = P (V_2 - V_1). \quad (\text{C.3})$$

- Se $V_2 > V_1 \Rightarrow W > 0$, o sistema realiza trabalho;
- Se $V_2 < V_1 \Rightarrow W < 0$, o sistema recebe trabalho; e
- Se $V_2 = V_1 \Rightarrow W = 0$ o sistema não recebe, nem realiza trabalho.

Um processo que ocorre a pressão constante é denominado de Isobárica, e a que ocorre com volume constante de Isovolumétrica ou Isocórica. As unidades no SI são: Pressão é dada em Pascal (Pa), volume em m^3 , área em m^2 , força em Newton (N), Δy em (m).

Em um diagrama Pressão (P) versus Volume (V), a área abaixo da curva representa numericamente o trabalho (W) realizado sobre ou pelo sistema.

➤ Quanto à Variação da Energia Interna (ΔU): Esta é uma grandeza diretamente dependente da temperatura para os gases ideais (Lei de Joule). Em um processo que tenha

ocorrido da variação de uma temperatura (T_1) à uma temperatura (T_2), sendo essa dada em Kelvin (K) no SI:

- Se $T_2 > T_1 \Rightarrow \Delta T > 0 \Rightarrow \Delta U > 0$, a energia interna do sistema aumenta;
- Se $T_2 < T_1 \Rightarrow \Delta T < 0 \Rightarrow \Delta U < 0$, a energia interna do sistema diminui; e
- Se $T_2 = T_1 \Rightarrow \Delta T = 0 \Rightarrow \Delta U = 0$, não há variação da Energia Interna, esta grandeza está diretamente ligada à variação de temperatura do sistema.

Esta convenção de sinais apresentada é aceita pela maioria dos autores.

Analisando as Equações (C.1) para os diversos tipos de processos da termodinâmica:

- Processo adiabático: Não há troca de calor com o meio ($Q = 0$ ou $dQ = 0$), sistema termicamente isolado, tal que a Equação (C.1): $-W = \Delta U$;
- Processo isotérmico: Temperatura constante ($T_f = T_i$) $\Rightarrow \Delta U = 0$, e a Equação (C.1): $W = dQ = Q$;
- Processo Isovolumétrico ou isocórico: O volume de mantém constante, ($V_f = V_i$) tal que o trabalho (Equação (C.3)) é igual a zero ($W = 0$). E, a Equação (C.1) fica escrita como $Q = \Delta U$;
- Processo cíclico: a variação da energia interna é nula ($\Delta U = 0$), a Equação (C.1) fica escrita como $\Delta Q = W$;

Embora a primeira Lei da Termodinâmica expresse a conservação de energia, a sua ocorrência espontânea é muito improvável, pois a maioria dos processos naturais é irreversível, como por exemplo, o calor flui espontaneamente de uma temperatura de maior valor (corpo quente) para uma de menor (corpo frio), mas o processo inverso não ocorre. Assim foi necessário mais uma Lei que explique este comportamento que é a Segunda Lei da Termodinâmica. Como informado por Ramalho e coautores (1976): “*Ela apresenta um caráter estatístico, estabelecendo que os sistemas evoluam espontaneamente, segundo um sentido preferencial, tendendo para um estado de equilíbrio.*” (RAMALHO e coautores, 1976, p. 146).

Tal que, para a **Segunda Lei da Termodinâmica** vale apresentar dois enunciados importantes (Zemansky, 1978):

- O primeiro atribuído ao Físico Alemão, Rudolf Clausius (1822 - 1888):

“É impossível obter um processo cujo único resultado seja a passagem espontânea de calor de um reservatório para outro reservatório com temperatura maior”.

- O segundo atribuído ao Físico-matemático e Engenheiro Britânico, o Irlandês William Thompson (1824 – 1907), conhecido no Brasil com Lord Kelvin e ao Físico alemão Max Karl Ernst Ludwig Planck (1858-1947), conhecido como o enunciado de Kelvin-Planck:

“É impossível dispor de processo cíclico cujo único resultado seja o de converter calor, extraído de um único reservatório, totalmente em trabalho”.

Estes enunciados são baseados em experimentos que permitiram a explicação de sistemas cíclicos, que já haviam sido explicitados por Carnot. Esse assunto é o tratado na próxima subseção (C.1.1).

C.1.1 Máquinas Térmicas

Nicolas Léonard Sadi Carnot (1796 – 1832) descreveu com propriedade o modelo teórico para o funcionamento de máquinas térmicas (Figura C.2 (a)), cujo funcionamento configura a máquina de maior rendimento possível entre duas temperaturas, representada pelo ciclo de Carnot (Figura C.2 (b)).

A segunda lei da Termodinâmica implica a não existência de uma máquina térmica ideal (Figura C.2 (c)), em que todo calor inserido no sistema seja convertido totalmente em trabalho espontaneamente.

Em máquinas térmicas a variação da energia interna é nula ($\Delta U = 0$), pois, o processo é cíclico ($U_f = U_i$), tal que a primeira lei da Termodinâmica, Equação (C.4), fica descrita da seguinte forma (Equação C.4):

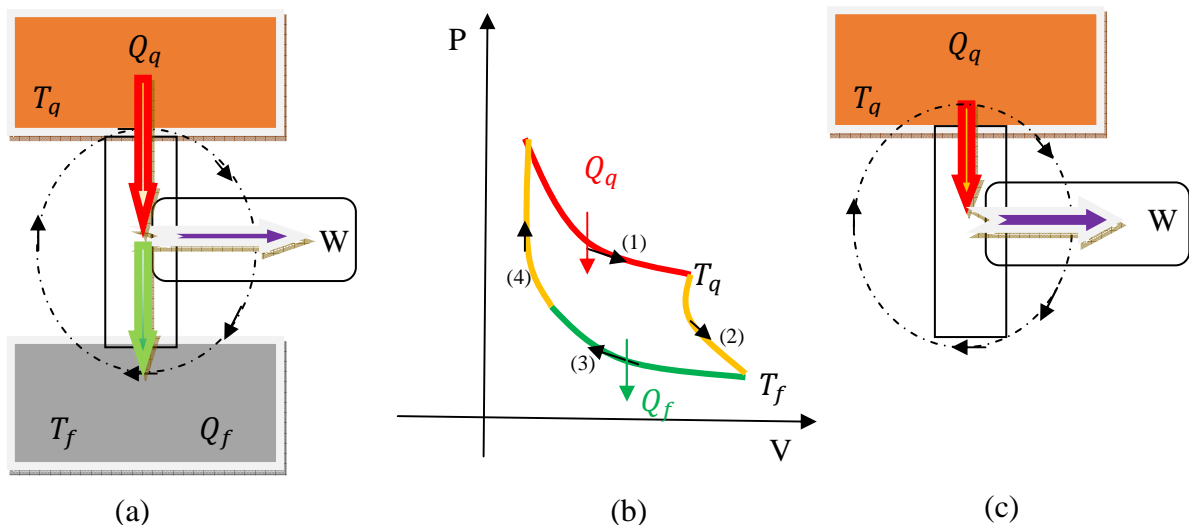
$$\Delta Q = W . \quad (C.4)$$

Sendo a variação de calor (ΔQ) dada pela Equação (C.5):

$$|Q_q| - |Q_f| = W \quad (C.5)$$

Esta equação podendo ser traduzida como: o Trabalho (W) realizado por uma máquina é a diferença entre quantidade de calor (Q_q) transferida da fonte quente (T_q) e quantidade de calor (Q_f) transferida para o reservatório frio (T_f).

Figura C.2 Desenho esquemático representando o funcionamento de Máquinas Térmicas. (a) Máquina térmica real; (b) Máquina de Carnot representado pelo ciclo de Carnot; e (c) uma máquina ideal. Em que: em vermelho, o reservatório quente, de maior temperatura (T_q), que insere calor (Q_q) no sistema, no caso de uma máquina real (a) uma parte realiza trabalho (W) e outra é eliminada no reservatório de menor temperatura (T_f) em forma de quantidade de calor (Q_f). (b) que depende somente dos reservatórios de temperatura quente e fria. (c) todo calor inserido (Q_q) no sistema realiza trabalho (W), indicando que não há eliminação de calor. Em todos os casos o processo deve ser cíclico, indicado pelo círculo tracejado em (a) e (c) e em (b) por dois processos isotérmicos (1) e (3) (em vermelho e verde, respectivamente) e dois adiabáticos (2) e (4) (em amarelo), no diagrama $P \times V$.



Fonte: Figuras adaptadas da referência (Halliday, Resnick, Walker, 2012).

O rendimento (η) de uma máquina que opera em ciclos pode ser definido pela razão entre a energia útil e sua energia total, neste caso, para uma máquina térmica, podemos escrever a razão entre Trabalho (W) e a quantidade de calor recebida (adquirida) da fonte quente (Q_q), Equação (C.6).

$$\eta = \frac{\text{Energia Útil}}{\text{Energia Adquirida}} = \frac{|W|}{|Q_q|} = 1 - \frac{|Q_f|}{|Q_q|} . \quad (\text{C. 6})$$

No caso da máquina de Carnot, representada pelo ciclo de Carnot, em que o processo realizado na máquina térmica, consta de dois processos adiabáticos alternados por dois processos isotérmicos ($T=\text{cte}$), ou seja, na ilustração da Figura C.3 (b): Processo (1) expansão

– insere calor (Q_q) no sistema e (3) compressão – rejeita calor (Q_f) são os adiabáticos e os processos (2) e (4) são os isotérmicos. E, Carnot demonstrou⁸ que para este ciclo (Equação (C.7)):

$$\frac{Q_q}{T_q} = \frac{Q_f}{T_f} . \quad (\text{C.7})$$

As quantidades de calor trocadas na máquina são proporcionais às suas respectivas temperaturas absolutas, tal que o rendimento (Equação (C.7)) depende somente das temperaturas absolutas dos reservatórios (Equação (C.8)):

$$\eta = 1 - \frac{T_f}{T_q} . \quad (\text{C.8})$$

Assim, Carnot mostra que o resultado da Equação (C.8) é o limite teórico de qualquer máquina térmica. Isto pode ser observado se supormos um rendimento de 100%, obtém-se que $T_f = 0 \text{ K}$, o que implica que a máquina deveria operar entre uma fonte quente e fria a 0 K.

No caso da **máquina térmica ideal**, seria a representada na Figura (C.3(c)). Nesse caso, $W = Q_q$, então a razão $|W/Q_q|$ na Equação (C.6) será igual a 1, ou seja, fornece um rendimento (η) de 100%, o que não existe. Levando ao seguinte enunciado para a segunda lei da termodinâmica: “**Não existem máquinas térmicas perfeitas**”.

A seguir, vejamos o caso dos refrigeradores que é o assunto do presente trabalho.

C.1.2 Refrigeradores Convencionais

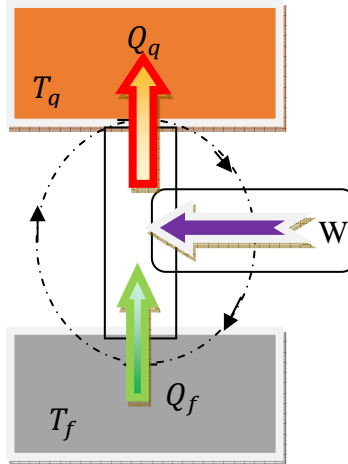
Os refrigeradores convencionais são representados como máquinas térmicas que operam em ciclos, porém, os ciclos ocorrem em sentido contrário, se comparados a uma máquina térmica convencional. Tal funcionamento só é possível porque o ciclo de um refrigerador recebe Trabalho (W) de um sistema externo.

Para exemplificar o funcionamento de um refrigerador convencional, pode-se utilizar uma geladeira doméstica, que recebe uma quantidade de energia, o Trabalho (W), do

⁸ É possível demonstrar esta equação, utilizando a equação que representa a primeira lei da termodinâmica para os processos adiabáticos e isotérmicos e unir os resultados.

compressor (sistema externo) e assim consegue, por meio de um sistema de troca de calor, retirar calor Q_f do seu interior, calor da fonte fria (T_f), e eliminar calor Q_q para o meio externo, que é o reservatório quente (T_q) (Figura C.3).

Figura C.3 – Desenho esquemático representando o funcionamento de um Refrigerador Convencional. Em que o sistema recebe energia em forma de Trabalho (W) e assim transfere energia (Q_f) da fonte de menor temperatura (T_f) para a fonte de maior temperatura (T_q) em termos de Q_q .



Fonte: Figura adaptada da referência (Halliday, Resnick, Walker, 2012).

A eficiência de um refrigerador é dada pela razão entre a quantidade de calor retirada da fonte fria (Q_f) e o Trabalho recebido (W), em cada ciclo (Equação (C.9)).

$$e = \frac{\text{Energia Utilizada}}{\text{Energia Adquirida}} = \frac{|Q_f|}{|W|} = \frac{Q_f/\Delta t}{W/\Delta t} = \frac{P_{util}}{P_W}. \quad (\text{C.9})$$

E, para o refrigerador de Carnot a eficiência depende apenas dos valores das temperaturas dos reservatórios quente e frio, e é dada por (Equação (C.10)):

$$e_{Carnot} = \frac{T_f}{T_q - T_f}, \quad (\text{C.10})$$

A eficiência (Equação (C.9)) de um ar condicionado é aproximadamente 2,5. E, de uma geladeira aproximadamente 5.

A segunda lei para refrigeradores: “Não existe uma série de processos cujo único resultado seja transferir espontaneamente energia na forma de calor de uma fonte fria para uma fonte quente (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, p. 262, 2012). Ou seja: “**Não existe refrigerador perfeito**”.

No caso de um refrigerador, denominado de geladeira, a primeira construída foi em 1856, pelo Australiano James Harrison (1816-1893), conhecido por esse feito de “Pai da refrigeração”. Este funcionava pelo método da compressão a vapor.

No Brasil, o primeiro refrigerador foi construído por Guilherme Holderegger e Rudolf Stutzer, em Brusque – SC, no ano de 1947. Estes eram movidos a querosene. Em 15/07/1950 surge a primeira empresa de refrigeradores do Brasil a CONSUL, de uma sociedade de Holderegger, Stutzer e Wittich Freitag, em Joinville, SC (Frigorífico, 2019).

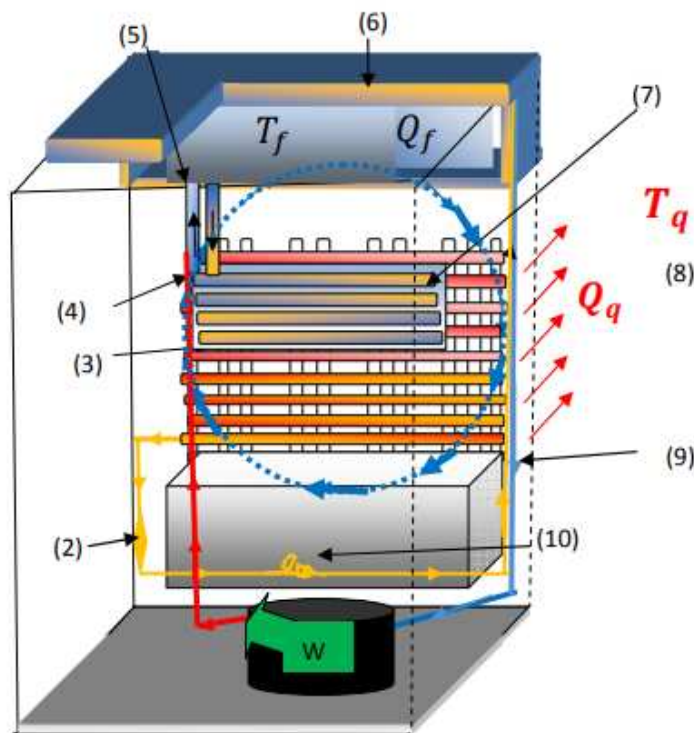
O princípio de funcionamento de geladeiras: utiliza a evaporação de um líquido para a absorção de calor. Semelhante a quando molhamos a pele com álcool (volátil) e conforme este evapora a sensação é de gelado.

As geladeiras atuais são constituídas de um motor (compressor), uma serpentina na parte exterior – “atrás” da geladeira, e uma oculta na parte interior no dito “congelador” chamada de evaporador, um capilar, e do gás circulante (Figura C.4). Nessa serpentina oculta, circula um gás de fácil evaporação, como por exemplo, o gás freon⁹ cuja temperatura de evaporação é de – 40 °C ou a amônia¹⁰ que possui a temperatura de evaporação de – 32 °C. Atualmente se utiliza o tetrafluoretano (CF_3CH_2F), não prejudicial à camada de ozônio. Quando a temperatura aumenta na parte interna da geladeira, aumenta-se a pressão do gás por meio do compressor, o que eleva sua temperatura. O gás aquecido direciona-se para o condensador (tubos visíveis na parte de trás da geladeira), ao trocar calor com a temperatura ambiente, o gás irá condensar dentro da serpentina. O gás agora no estado líquido ao passar pela válvula de expansão (capilar na Figura C.4) fará com que ocorra uma brusca diminuição da sua pressão e com isso muda instantaneamente de estado novamente para o gasoso e à temperatura inicial de – 32 °C (auto resfriamento ou arrefecimento em termos técnicos) e mantendo nesta temperatura retornando ao congelador, e o ciclo reinicia.

⁹ O gás freon, descoberta por Thomas Midgely Jr e Charles Franklin Kettering em 1926. Patentado pela empresa Frigidaire em 1928 e produzidos desde 1930, pelas empresas General Motors e Du Pont. É um gás a base dos gases denominados de CFCs (combinações orgânicas de Cloro Fluor e Carbono). Entre suas principais características estão a não toxicidade, inodoros, não inflamáveis, e não corrosivos. Usado como agente refrigerante ou gás propulsor de aerossóis, pouco tóxico e quando disperso na alta atmosfera é um dos principais responsáveis pela destruição progressiva da camada de ozônio. Fonte: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Freon>.

¹⁰ Utilizado em refrigeração 1800 - 1929, mas por ser altamente tóxico, assim como os gases: Cloreto de Metil e Dióxido de Enxofre, todos utilizados para o mesmo fim, e devido a acidentes de vazamento, os refrigeradores deveriam ser mantidos ao ar livre. E, surgiu a busca de outros tipos de gases não tóxicos, que é onde entra o gás freon, citado na nota de rodapé 2. Fonte: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Freon>.

Figura C.4- Desenho esquemático apresentando as partes de uma geladeira convencional. (1) Compressor, onde realiza trabalho (W); (2) Filtro secador; (3) Condensador; (4) linha de descarga (por onde o fluido em forma de gás sobe devido a alta pressão); (5) sentido do fluido na forma líquida ou mista; (6) evaporador principal, do lado externo (laterais, parte superior e inferior) do congelador situa o sistema de circulação do fluido; (7) evaporador secundário (placa fria); (8) fonte quente (ambiente); (9) linha de sucção (fluido na forma gasosa, baixa pressão); (10) tubo capilar.



Fonte: O autor e H. Mukai.

As situações explicitadas estão contempladas nas Orientações dos PCN's e estão de acordo com os assuntos estudados durante o Ensino Médio.

As próximas sessões tratam de Eletricidade e dos Efeitos Termoelétricos sobre as quais está baseada a construção do dispositivo utilizado no protótipo do refrigerador.

C.2 ELETRICIDADE

Para a compreensão de termoeletricidade e para a montagem do protótipo do refrigerador e efetuar as principais conexões para realizar as leituras necessárias, nesta seção apresentam-se brevemente algumas definições e as informações básicas. A referência básica utilizada neste capítulo foi o volume 3 da referência (Ramalho e coautores, 1976).

C.2.1 Conceitos e Definições

A corrente elétrica é constituída por elétrons livres em um movimento ordenado, quando o sistema é submetido a uma diferença de potencial (ddp). Essa diferença de potencial é gerada por um gerador elétrico (por exemplo: pilha, bateria e outras fontes de tensão), cuja unidade é Volts (V), em homenagem a Alessandro Giuseppe Anastásio Volta (1745-1827), Físico Italiano, conhecido pela pilha de Volta (1800). Já a unidade da corrente elétrica é Ampère (A), em homenagem a André Marie Ampère (1775-1836) de origem francesa, matemático, que dedicou aos fenômenos eletromagnéticos de forma empírica, trabalho este publicado em 1826. A intensidade de corrente é dada pela Equação (C.11) da intensidade média de corrente e a Equação (C.12) da intensidade de corrente instantânea:

$$i_m = \frac{\Delta q}{\Delta t} \quad , \quad (C.11)$$

$$i_{inst.} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta q}{\Delta t} \quad . \quad (C.12)$$

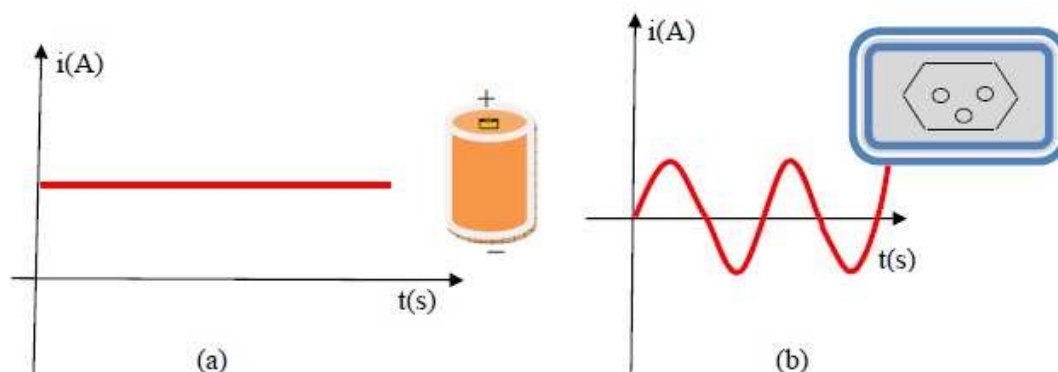
Sendo que, $\Delta q = ne$, é a variação de carga (q) dada pelo número de elétrons (n) de carga (e), que atravessa uma seção transversal por onde percorre (fio), por unidade de tempo, Δt . A carga elétrica (q) tem como unidade o Coulomb (C) em homenagem a Charles Coulomb (1736-1806) também de origem francesa, físico e que construiu em 1784 a balança de torção o que permitiu medir a força entre cargas elétricas.

A corrente é classificada de duas formas: corrente contínua e corrente alternada. Esses conceitos são importantes para o uso de equipamentos eletrônicos. Quando se diz corrente contínua, esse fato está associado ao gerador de corrente contínua¹¹ (CC ou DC). Um exemplo é a pilha ou bateria que fornece corrente contínua, o comportamento gráfico é o apresentado na Figura (C.5 (a)).

Já no caso da corrente alternada (CA), que é assim denominado por variar de intensidade e sentido alternadamente (Figura (C.5 (b)) em relação ao tempo. Um exemplo de gerador de CA, é o que chega na tomada de nossas casas. Para esse tipo de fonte, é importante saber a frequência desta oscilação, no caso de residências é de 60 Hertz (Hz). Lembrando que: Hz = ciclos/segundo.

¹¹ CC – Corrente Contínua, ou DC do Inglês *Direct Current*.

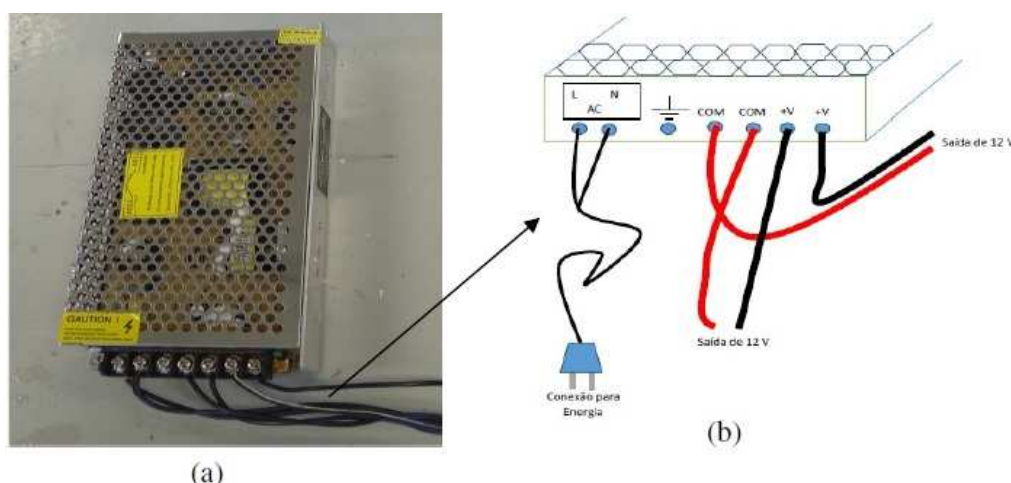
Figura C.5 - Desenhos esquemáticos indicando o comportamento da variação da corrente elétrica (i) em Ampère (A) no tempo (t) em segundos (s). Em (a) corrente contínua (com exemplo o gerado por uma pilha, em que + e - o polo positivo e negativo, respectivamente) e (b) corrente alternada como a que chega da tomada de residencial.



Fonte: Figura adaptada da referência (RAMALHO e coautores, 1976)

Assim, para escolher uma fonte, devem-se verificar as seguintes informações: tipo, tensão, corrente e potência, de acordo com a sua utilização. Exemplo: Fonte chaveada 12 V; 10 A; 120 W (Figura C.6 (a)). E, as saídas para as conexões externas estão apresentadas na Figura C.6 (b). Logo, é importante saber a nomenclatura que consta no equipamento, no caso: L – linha (positivo); N – Negativo, e será a saída da fonte para conectá-la à tomada de rede. Além de outras informações como indicado na legenda da Figura C.6 item (b).

Figura C.6: (a) Imagem fotográfica de uma fonte de tensão chaveada de 12 V, 10 A e 120 W. E, em destaque (b) um desenho esquemático dos pontos de ligação: L – Linha (positivo); N – Negativo; AC – Corrente Alternada; símbolo de Terra; COM (negativo - algumas fontes vêm com a notação -V) e +V (Positivo). Nesta fonte há duas saídas de 12 V.



Fonte: (a) Arquivo do autor. (b) elaborada por H. Mukai.

A potência é dada por (Equação (C.13))

$$P = i V, \quad (\text{C.13})$$

em que: i representa a intensidade da corrente elétrica em (A), V a diferença de potencial fornecida pela fonte em (V) e P é a potência medida em Watts (W), em homenagem ao Matemático e Engenheiro Britânico James Watt (1736 - 1819).

A próxima subseção trata de um efeito, denominado Efeito Joule, existente na termodinâmica, eletricidade e termoeletricidade, visto que em todos envolve calor dissipado.

C.2.2 Efeito Joule

Um conceito importante para o presente trabalho é o efeito Joule. Este é um efeito de transformação de energia elétrica em energia térmica (explica como o calor é dissipado durante o funcionamento de um circuito elétrico). Esse efeito aparece em equipamentos que usam resistência elétrica, como por exemplo: chuveiros elétricos, aquecedores elétricos, ferro de passar roupa, lâmpadas incandescentes, fusíveis, entre outros. Ocorre em materiais condutores e é um efeito da colisão entre os elétrons livres com os átomos do material condutor, transferindo parte da energia elétrica que recebem da fonte (gerador), e se transformam em calor que aumenta a temperatura do condutor (resistor). A equação que representa a dissipação de calor de um resistor é dada por:

$$P = R i^2, \quad (\text{C.14})$$

em que, P é a potência dissipada em Watts (W), R a resistência em Ohm (Ω) e i a corrente elétrica em Ampère (A), no sistema internacional de unidades (SI).

A Equação (C.14) surge da Lei de Ohm, que relaciona a diferença de potencial (V), que é a causa do movimento das cargas elétricas (q), com o efeito, que é a passagem da corrente elétrica (i) pelo condutor, representada matematicamente como (Equação C.15):

$$V = R i \quad (\text{C.15})$$

ao ser substituída na Equação (C.13). Na Equação (C.14) e na Lei de Ohm (Equação (C.15)), aparece a letra R , que se refere à resistência elétrica de um resistor. Recebe esse nome por oferecer resistência a passagem de corrente elétrica. Sua unidade é Ohm (Ω), em homenagem ao Físico, Alemão George Simon Ohm (1787-1854). Essa lei que leva o seu nome é de 1827.

Um fator importante é que a resistência elétrica de um resistor depende do material que é feito bem como de suas dimensões, e é representada pela equação (C.16):

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad , \quad (C.16)$$

sendo ρ a resistividade do material, (depende da substância/material que é constituído); l representa o comprimento do resistor e A representa a sua área da secção reta.

Tabela C.1 – Resistividade de alguns materiais condutores, semicondutores e isolantes.

Material	$\rho(\Omega mm^2/m)$ a $T = 20^\circ C$
Alumínio (99,9%)	0,0284
Alumínio temperado	0,0288
Alumínio	0,0278
Antimônio (Sb)	0,4170
Bismuto (Bi)	1,300
Borracha	10^{17}
Chumbo	0,2114
Cobre eletrolítico	0,0167
Cobre recozido normal	0,0173
Constantan (Cu 60% – Ni 40%)	0,5000
Estanho	0,1195
Ferro puro comercial	0,0970
Ferro fundido	0,9200
Latão (Cu 60% – Zn 40%)	0,818
Mica	10^{15}
Ouro	0,022
PET	10^{26}
Prata (Ag)	0,0158

Fonte: EDUFER, <http://www.edufer.com.br> – Acesso em 20/02/019.

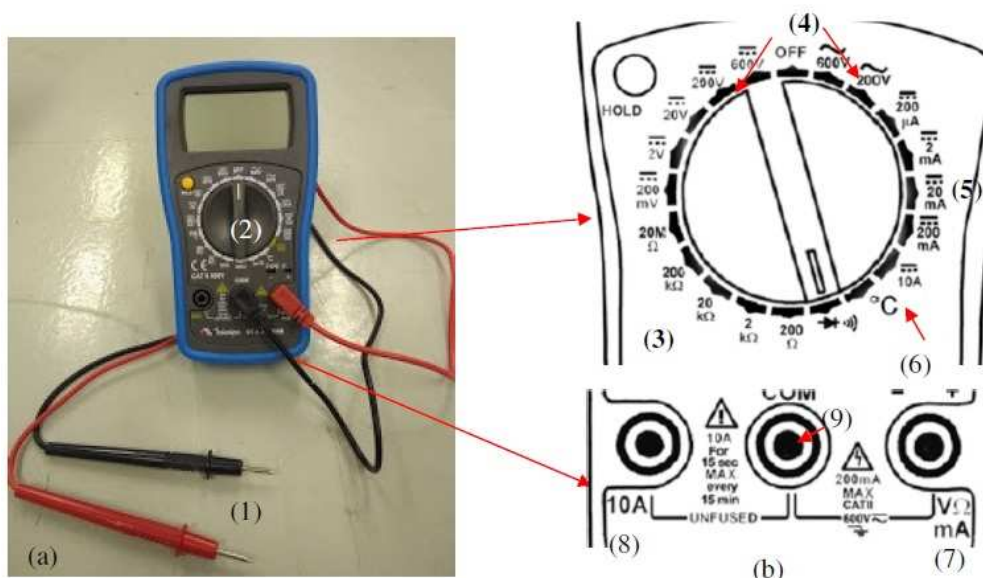
Influência do Tipo de Material: Considere um material condutor de cobre normal ($\rho = 0,0173\Omega mm^2/m$) com 1,0 m de comprimento e seção transversal de $0,5 mm^2$, usando a Equação (C.16) terá uma resistência de: $0,0346 \Omega$. Se o material fosse de ouro, $\rho = \frac{0,022\Omega mm^2}{m}$, (com mesmo comprimento e seção transversal de área) a resistência será de $0,044 \Omega$. Logo, o cobre possui uma resistência/resistividade menor que a do ouro. Como a resistividade é menor, então a condutividade elétrica ($\sigma = \frac{1}{\rho}$) é maior no caso do cobre do que a do ouro. Logo, o fato de se utilizar fios de cobre é por ser mais condutor em relação ao de ouro, além de ser menos dispendioso. Mas, em alguns casos utiliza-se o ouro, por ser menos oxidante. O fator condutividade será importante nos dispositivos *Peltier*. Nesse caso há também a condutividade térmica, que será apresentado na seção C.4.

Apresentado estes conceitos, segue-se em como realizar as medidas elétricas, de tensão, corrente e resistência.

C.2.3 Medidas Elétricas

O equipamento básico utilizado para aferir os valores de corrente, tensão e resistência é chamado de **multímetro** (Figura (C.8)). Este possui as funções de amperímetro (medir corrente), voltímetro (tensão) e ohmímetro (resistência). Alguns modelos mais recentes tem a função de aferir temperatura, ou seja, ser utilizado como um termômetro. Apresenta-se na Figura (C.8) uma foto do multímetro utilizado na aplicação do Produto Educacional (PE), ressaltando que há vários modelos da mesma marca, ao utilizar recomenda-se que se leia o manual e siga as instruções do mesmo.

Figura C.7 – Imagem fotográfica (a) de um multímetro da marca Minipa utilizado na aplicação do PE, com (1) os cabos conectores (denominados de ponteiros), em que quando a escala seletora (2) estiver em (3) estará na posição de ohmímetro, em (4) como voltímetro (CC ou CA), e em (5) como amperímetro (neste caso a posição dos conectores (6) e (7) deve ser em (10A) ou (mA) dependendo do tipo de medidas). E, (9) o COM sempre conectado para qualquer uma dessas medidas a ser realizada. Além disso, (6) para medidas de temperatura com o auxílio de um fio com um termopar na outra extremidade.



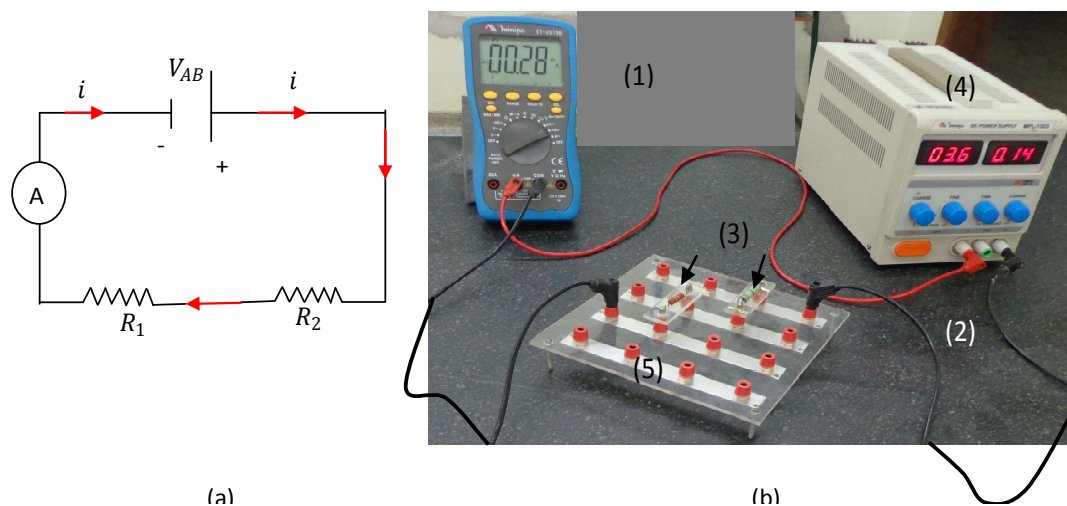
Fonte: (a) Arquivo do autor. (b) Adaptada do Manual do multímetro – Minipa ET 1110.

Normalmente, por convenção, se utiliza o cabo de conexão com ponteira vermelha como positivo (+) e com a ponteira preta o negativo (-). Os locais para conectar a outra extremidade do fio de medição, o indicado por COM (Figura (C.7 (b)) item (9)) vai a extremidade preta e a vermelha no que se deseja aferir: V/Ω/ mA, (Figura (C.7 (b)) item (7))

para medir tensão ou resistência ou corrente na escala de mA , e há mais um local de conexão que é para aferição de corrente de 20 A. (Figura (C.7 (b)) item (8)). Sempre girar o botão seletor (Figura (C.7 (a)) item (2)) para o tipo de medida que se deseja fazer.

Para medir corrente o multímetro na escala de amperímetro deve ser ligado em série no circuito, como no exemplo da Figura (C.8), (a) esquema do circuito, e (b) mesma ligação nos equipamentos. Observando a Figura (C.8 (b)) acompanhando o circuito apresentado em (a): o fio vermelho sai da fonte conecta e ao multímetro (1), do multímetro sai um fio preto que está conectado no outro ponto da *protoboard* (5), tendo os resistores no meio (3), e na outra extremidade da *protoboard* sai um fio preto conectado a fonte de tensão (4), formando uma ligação em série. Caso não se tenha a *protoboard* utilizar os jacarés para fazer as conexões.

Figura C.8- Desenho esquemático ilustrando: (a) um amperímetro (A) ligado em série em um circuito elétrico. Sendo, R_1 e R_2 , as resistências, e V_{AB} a ddp fornecida pelo gerador (fonte de tensão) e i representando por meio da seta a direção de circulação da corrente elétrica. Indicado no sentido convencional do polo positivo para o negativo. E, (b) Imagem fotográfica das conexões nos equipamentos do circuito apresentado em (a), Amperímetro (1); (2) fios de conexão; (3) resistores; (4) fonte de tensão; (5) *protoboard* (placa de conexão) - Materiais do DFI/UEM – Laboratório Didático¹² de Física Experimental III.



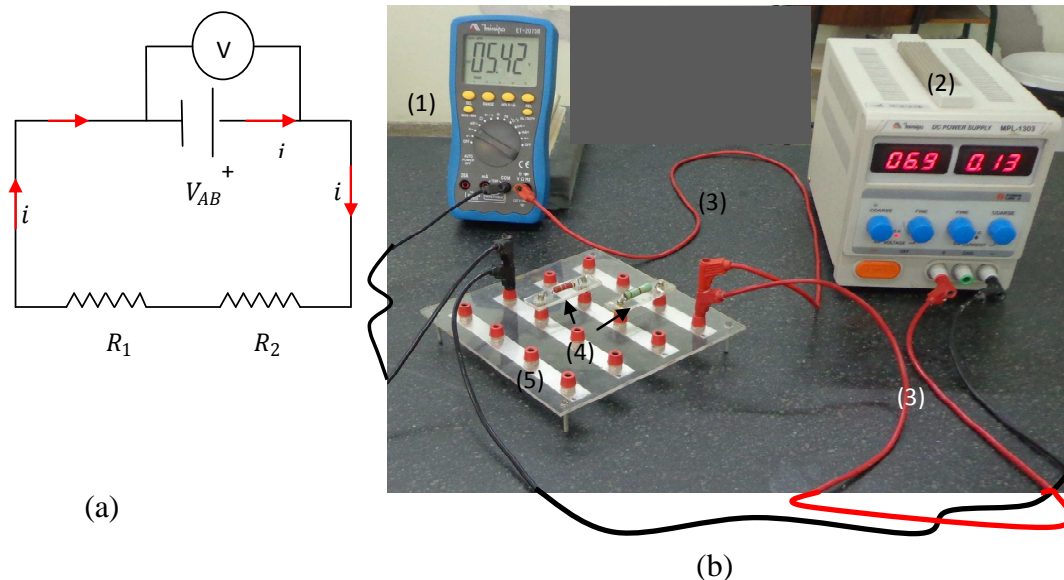
Fonte: (a) O autor. (b) Arquivo de H. Mukai.

E, para medir a tensão coloca-se o multímetro em paralelo ao circuito, nos pontos aonde se quer aferir, como no exemplo da (Figura (C.9), (a) o circuito e (b) uma foto da ligação nos equipamentos desse mesmo circuito: observando que o fio vermelho sai da fonte

¹² Nas Figuras C.8 (b) e C.9 (b): A fonte é uma fonte de tensão DC, o multímetro da **Minipa** – modelo ET 2075 , a *protoboard* construído no departamento, com os resistores encaixados em série, e os fios de conexão.

conecta em um dos terminais da *protoboard* (5), na qual conecta-se sobreposto um outro fio vermelho que conecta ao multímetro (1). Do multímetro sai um fio preto que está conectado no outro ponto da *protoboard* sobreposto a um fio preto que vem da fonte de tensão, formando uma ligação em série. Entre os dois pontos de conexão na *protoboard* estão os dois resistores (4). Caso não se tenha a *protoboard* utilizar os jacarés para fazer as conexões.

Figura C.9: (a) Desenho esquemático ilustrando de um voltímetro (V) ligado em paralelo em um circuito elétrico. Sendo, R_1 e R_2 as resistências e V_{AB} a ddp fornecida pelo gerador e i representação da direção da corrente elétrica pela seta em vermelha. Indicado no sentido convencional do polo positivo para o negativo. (b) Imagem fotográfica da ligação fios de conexão (3) com os equipamentos (1) Voltímetro (multímetro na escala V), (2) Fonte de tensão, (4) resistores fixadas a uma *protoboard* (5), Materiais do DFI/UEM – Laboratório Didático de Física experimental III.



Fonte:(a) O autor. (b) Arquivo de H. Mukai.

A próxima seção trata dos principais conceitos que envolvem o efeito termoelétrico, em que é baseado o dispositivo utilizado no protótipo de refrigerador.

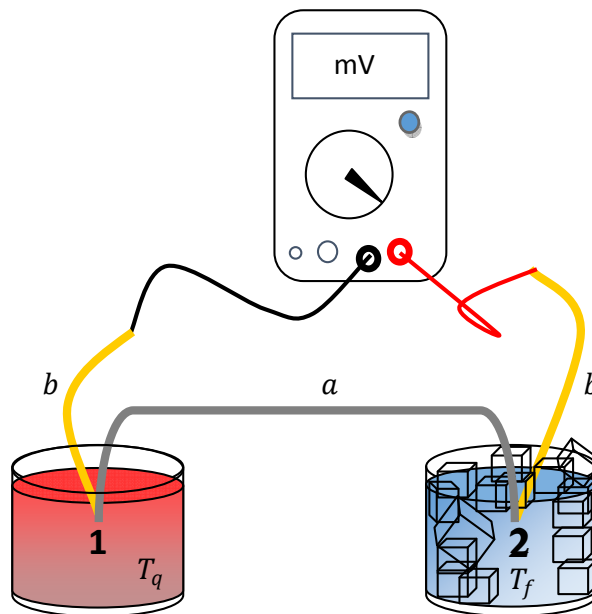
C.3 TERMOELETRICIDADE E EFEITOS TERMOELÉTRICOS

Os efeitos conhecidos como termoelétricos, além do efeito joule (dissipação de calor), provêm da conexão entre metais ou os materiais denominados de semicondutores de diferentes tipos, formando duas junções. Quando cada junção é mantida a temperaturas diferentes um quente e o outro frio, simultaneamente surgem os seguintes efeitos: *Seebeck*, *Peltier*, *Thompson* e *Volta* (FIALHO, 2008). Esses fenômenos, juntamente com o efeito Joule, resumem o que se entende por Termoelétricidade.

A Termoeletricidade e seus efeitos são estudados quando ocorre a transformação mútua entre energia térmica e energia elétrica. A Física se familiarizou com estes conceitos no início do século XIX. Um dos personagens importantes deste período é o físico Alessandro Volta, por ter desenvolvido a partir de pares de condutores elétricos a primeira pilha elétrica, verificando que existe uma diferença de potencial da ordem de volts quando dois metais estão em contato (FIALHO, 2008).

Em 1821, Thomas Johann Seebeck (1770-1831), descobriu que um circuito formado por dois condutores diferentes em temperaturas diferentes (um quente e outra fria), produz uma diferença de potencial (Efeito Seebeck) (Figura C.10). Esse evento é tratado como a descoberta do efeito termoelétrico. Tal fenômeno possibilita medidas precisas de temperaturas em dispositivos chamados de termopares.

Figura C.10 – Imagem ilustrativa sobre o Efeito Seebeck. Em que, um recipiente com água quente (T_q) em que está inserido a junção 1, conectada a um recipiente com gelo (T_f) em que está inserido a junção 2; ambas as junções de dois tipos de materiais condutores ou semicondutores a e b , e um multímetro representado a leitura da tensão gerada em mV.



Fonte: O autor e H. Mukai.

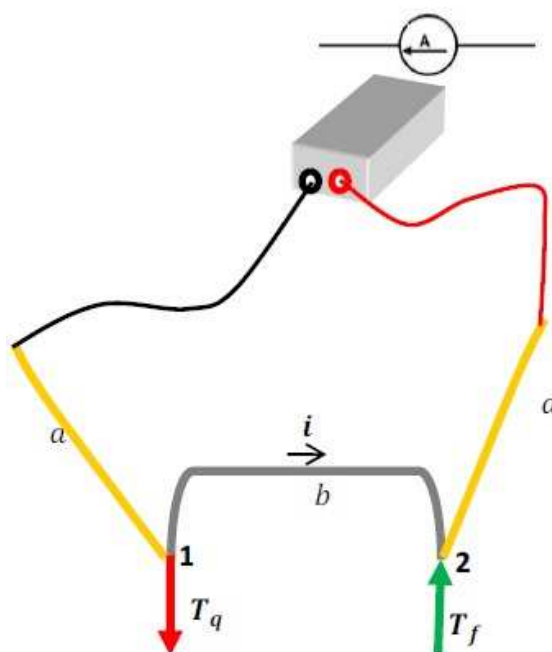
A diferença de potencial (V) gerada por meio da diferença de temperatura (ΔT), pelo efeito *Seebeck* é representada pela Equação (C.17):

$$V = \alpha_{ab} \Delta T \quad (\text{C.17})$$

em que α_{ab} é tratado como coeficiente *Seebeck*, medido em Volt/Kelvin (V/K). Quando esse valor é positivo a corrente elétrica flui da temperatura maior para temperatura menor, caso seja negativo o sentido da corrente se inverte.

Em 1834, o francês Jean Charles Athanase Peltier, descobriu que ao passar uma corrente elétrica por uma junção entre dois semicondutores de propriedades diferentes, o calor é dissipado ou absorvido pela junção, neste processo o sentido da corrente é quem determina se há aquecimento ou resfriamento na junção. Fenômeno também conhecido como Força eletromotriz de Peltier, seria o reverso do efeito *Seebeck*, denominado Efeito *Peltier* (ilustrada na Figura C.11).

Figura C.11- Imagem ilustrativa de um circuito fechado representando o Efeito Peltier. (b) Desenho ilustrativo em que, a corrente gerada por uma fonte, 1 representa a junção (do material condutor ou semicondutor *a* com outro *b*) referente ao lado que aquecerá (T_q); 2 representa a junção (do material *b* com o material *a*) referente ao lado que ficará fria (T_f), e *i* representa a corrente e seu sentido pela seta em preto. A seta em vermelho indica a liberação de calor e a em verde a absorção de calor.



Fonte: O autor e H. Mukai.

A quantidade de calor (Q) absorvida (ou liberada) pelas junções por meio do efeito *Peltier* é representada matematicamente por meio da Equação (C.18):

$$Q = \pi_{ab} i t \quad , \quad (C.18)$$

tal que, π_{ab} representa o coeficiente de Peltier entre o material condutor ou semicondutor, A e B, medido em volts (V), i é a corrente elétrica que percorre o circuito, em Ampère (A) e t é o tempo que o circuito permanece ligado, em segundos (s). Quando o coeficiente π_{ab} é positivo a junção 1 esquenta e a junção 2 esfria se a corrente passa no sentido de 1 para 2.

Jean Peltier, portanto, não relacionou o fenômeno observado ao efeito Seebeck, mas o efeito observado ficou batizado com seu nome, e também pode ser tratado como um fenômeno único, o dito efeito *Peltier - Seebeck*, e corroboram a experiência de Volta.

Em 1857, Sir William Thomson (Lord Kelvin) concluiu baseado nos efeitos *Seebeck* e *Peltier*, que a taxa de produção de calor está relacionada com a corrente elétrica imposta ao semicondutor e que esta cria uma distribuição por igual de temperatura em cada condutor (efeito Thomson). Ele representou uma relação linear entre a força eletromotriz produzida nos pares termoeletricos e a temperatura. Sua teoria representa a relação entre o coeficiente *Seebeck* e *Peltier* (Equação C.19):

$$\pi_{ab} = \alpha_{ab} T . \quad (\text{C.19})$$

Os estudos sobre termoeletricidade avançaram ao longo dos séculos XIX e XX, em busca de aprimorar a utilização por intermédio da manipulação de semicondutores. Uma melhor condutividade térmica, visto que se a condutividade¹³ for alta, o mesmo dissipa, não gerando a diferença de temperatura. A diminuição das perdas de energia pode promover uma alternativa para a produção de calor, bem como para a refrigeração em diferentes escalas e aplicações tecnológicas.

Teixeira (2007) sugere no XXXV Congresso Brasileiro de Educação para Engenharia (COBENGE) o desenvolvimento de um refrigerador dotado de terminais termoeletricos, com objetivo de criar e validar estratégias de controle na área de refrigeração.

Koury, Machado (2010) apresentaram no VI Congresso Nacional de Engenharia Mecânica (CONEM) um estudo sobre a viabilidade técnica da utilização de aquecedores e refrigeradores termoeletricos. Neste estudo os autores corroboram a eficácia destes sistemas e comparam o poder de refrigeração termoeletrica com o de um refrigerador convencional (geladeira) ao construir um protótipo com módulos Peltier.

¹³ Lembrando que condutividade é oposto a resistividade, como no exemplo entre condutividade e resistividade elétrica citada na subsecção 1.32, o raciocínio é equivalente.

Moura (2010) fez o depósito via uma empresa, de uma patente relacionada a uma adega construída com os módulos *Peltier*. A patente denominada “Adega refrigerada por células *Peltier*” foi parte de seu trabalho de doutorado.

Após esses exemplos, segue como são confeccionadas as pastilhas termoelétricas (módulos termoelétricos).

C.3.1 Módulos Termoelétricos

Os módulos ou pastilhas termoelétricas são construídos com pares de materiais semicondutores ligados em série e revestidos por duas placas de superfícies planas constituídas de cerâmica. Uma placa cobre as junções do lado de maior temperatura e a outra cobre o lado com menor temperatura. Entre elas circula uma corrente elétrica. São dispositivos compactos capazes de produzir energia elétrica ou manter a diferença de temperatura entre as placas quando aplicada uma diferença de potencial.

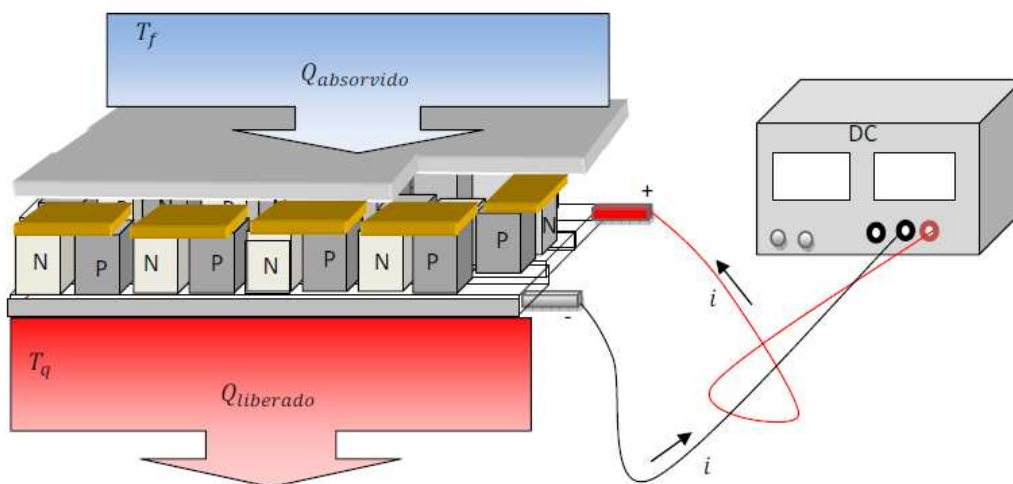
Tais módulos são apresentados como a melhor maneira de utilizar o efeito Peltier como refrigeração em maior escala. O material usado como condutor elétrico entre os semicondutores¹⁴ posicionados em paralelo é o cobre (Cu).

Já em relação aos semicondutores os mais comuns são pequenos blocos (largura de 1,0 a 1,5 mm) compostos de *telureto de bismuto*¹⁵ (Bi_2Te_3) dopados: os do tipo P com Antimônio (Sb), facilitando a recepção de elétrons e a do tipo N com Selênio (Se), que facilite a doação de elétrons (Alves, 2007). Estes são dispostos alternadamente, entre duas placas de cerâmica (isolantes), como representados na Figura C.12. A conexão de todo o sistema é feito por meio de solda.

¹⁴ Ainda relacionado a Tabela 1.1 que apresentou exemplos de resistividade de condutores, semicondutores e isolantes, vejamos quais seriam os limites de suas condutividades ($\sigma = 1/\rho$): Condutores, no caso os metais, como Cobre, Ouro, tipicamente tendo condutividades da ordem de 10^7 a 10^8 (Ωm)⁻¹. No outro extremo, os isolantes elétricos, como borracha, PET, situando-se entre 10^{-10} e 10^{-20} (Ωm)⁻¹; estes são os isolantes elétricos. E, os semicondutores são os materiais com condutividades intermediárias, geralmente entre 10^{-6} a 10^4 (Ωm)⁻¹. No sistema internacional de unidades a condutividade é dada em siemens/m.

¹⁵ Material semicondutor, composto por Bismuto e Telúrio, sendo um pó cinza. Torna-se um material termoelétrico quando utilizado em liga metálica com Antimônio ou Selênio. Fonte: https://pt.wikipedia.org/wiki/Telureto_de_bismuto - visitado em 20/02/2019.

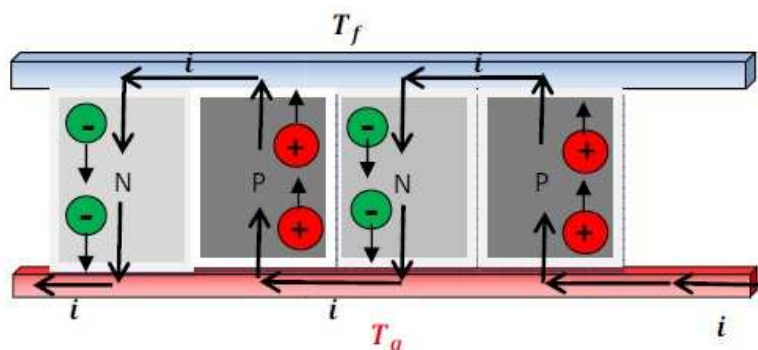
Figura C.12- Desenho esquemático de um Módulo Peltier (pastilhas termoelétricas), dispostos entre duas placas de cerâmica (a parte superior o lado frio (T_f), e a inferior o lado quente (T_q)), blocos de material semiconductor de forma alternada tipo P (Bismuto-Telureto-Antimônio (BiTeSb)) e, tipo N (Bismuto-Telureto-Selenium (BiTeSe)), conectados aos pares por placas condutoras em cor mostarda. Nesse há os terminais conectores (+ e -) para uma fonte de corrente, no caso indicado por uma fonte DC.



Fonte: Figura adaptada pelo autor e por H. Mukai da referência (Alves, 2007).

A montagem de cada par de semicondutores define o fluxo de calor que ocorre entre as placas, normalmente o elemento tipo P tem o coeficiente *Seebeck* positivo e o elemento N tem o coeficiente negativo. Essa estrutura também define o sentido da corrente que atravessa os semicondutores (Figura C.13), bem como a temperatura das superfícies quente (T_q) ou fria (T_f).

Figura C.13– Representação esquemática do módulo termoelétrico utilizado para refrigeração. Em que a seta preta representa o sentido da corrente elétrica, i (indicado também o fluxo de elétrons, os positivos em vermelho e negativos em verde) ao passar pelos semicondutores N e P. Liberando calor na parte inferior (em vermelho) T_q , e absorvendo calor na parte superior (em azul) T_f .



Fonte: Figura adaptada pelo Autor e por H. Mukai da referência (Moura, 2010).

Os pares termoelétricos, semicondutores do tipo N e P, são conectados em série (eletricamente) e em paralelo (termicamente).

Os módulos (ou pastilhas) de Peltier são construídos de maneira compacta e se utilizam destes conceitos em sistemas de refrigeração, o desempenho de tais módulos é definido pelo quociente entre a taxa de remoção de calor da junção fria em relação à potência elétrica aplicada ao circuito. Assim, como visto nas máquinas térmicas que possuem um rendimento (Equação (C.6)) e nos refrigeradores que possuem uma eficiência (Equação (C.9)), estes sistemas possuem o coeficiente de desempenho (COP) (HEIKES; URE JR, 1961 *apud* SILVA, 2010) representado por φ , é representado pela Equação (C.20):

$$\varphi = \frac{Q_{\text{absorvido}}}{\text{Potência}} \quad (\text{C.20})$$

Porém, a eficiência de um dispositivo termoelétrico depende de três fatores: a condutividade térmica (k), a condutividade elétrica (σ) e o coeficiente *Seebeck* (α). A relação entre eles configura uma grandeza definida como “Figura de Mérito”, representado pela letra Z (Equação C.21):

$$Z = \frac{\alpha^2 \sigma}{k} \quad (\text{C.21})$$

Assim, é possível perceber que quanto maior a resistividade elétrica (menor a condutividade elétrica σ) do material, maior é o aquecimento por efeito Joule (apresentado na subseção C.2.2). Fato este que resulta em uma pior eficiência, representada pela Figura de Mérito (Z). O coeficiente de desempenho (COP), Equação (C.20), também depende das propriedades dos materiais utilizadas para definir a Figura de Mérito. Um bom material termoelétrico deve ter uma elevada “Figura de Mérito”. (CAMARGO, 1999).

A condutividade térmica citada na Equação (1.21) é dada pela seguinte equação (C.21a):

$$k = \frac{\Delta Q}{A \Delta t} \frac{L}{\Delta T} \quad (\text{C.21a})$$

Na Tabela C.2 apresenta-se a condutividade elétrica (σ) e a condutividade térmica (k) de alguns materiais condutores e semicondutores. Sendo o último valor o da condutividade térmica da cerâmica (alumina = óxido de alumínio) utilizada no Peltier.

Tabela C.2 – Dados da condutividade elétrica e térmica de alguns materiais.

Materiais	$\sigma \left(\frac{1}{\Omega m} \right) a 20^{\circ} C$	$k \left(\frac{W}{mK} \right) a 20^{\circ} C$
Ferro	$10,31 \cdot 10^6$	$5,5 \cdot 10^{-3}$
Alumínio	$37,03 \cdot 10^6$	$3,91 \cdot 10^{-3}$
Ouro	$45,46 \cdot 10^6$	$3,4 \cdot 10^{-3}$
Cobre	$59,88 \cdot 10^6$	$3,93 \cdot 10^{-3}$
Prata	$63,29 \cdot 10^6$	$3,8 \cdot 10^{-3}$
Antimonio (Sb)	$2,40 \cdot 10^6$	24,3
Bismuto (Bi)	$0,769 \cdot 10^6$	7,87
Al_2O_3	-	33

Fonte: Empresas: EDUFER, <http://www.edufer.com.br> e JOMON cerâmicas, <http://www.jomon.com.br/especificacoes-tecnicas> – Acesso em 20/02/019;

Uma foto de pastilha Peltier está apresentada na Figura C.14. As informações que o mesmo possui gravado em um de seus lados: TEC1 – 12706 – C: Tamanho C-padrão (*standard*) e S- pequeno (*small*), 1 – estágios (normalmente 1) – 127 significa quantidades de acoplamentos (P e N). Quanto mais acoplamentos, mais condutores. O último dígito, no caso 06 indica a razão da corrente (normalmente de 6 a 9 A).

Figura C.14– Imagem fotográfica de uma pastilha Peltier - modelo – TEC1-12706 que foi usado no presente trabalho.



Fonte: Arquivo do Autor

Desempenho do consumo elétrico (Eletrolab, 2017):

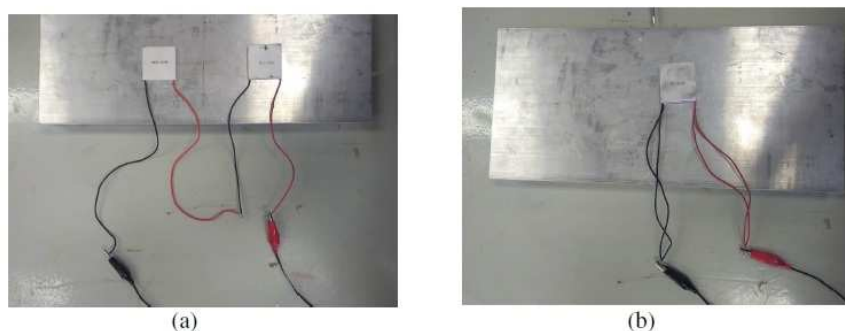
Sabendo que cada pastilha Peltier tem um consumo de 5 a 6 A, observa-se que um circuito com duas pastilhas Peltier (A e B) conectados em cascata (A sobre B, ficando em contato: lado quente de A, pasta térmica e lado frio de B) ligados em série, fornece um consumo de 3 A e temperatura de $-5^{\circ} C$, sendo que em paralelo o consumo é maior,

estabilizando em 9 A e temperatura de 13°C. Portanto o desempenho elétrico para a situação em cascata é melhor em uma ligação em série.

Para melhorar o desempenho o ideal é escolher um dissipador maior e um *cooler* maior para assoprar a parte fria e outro na parte quente acoplada ao dissipador de calor. Este fato pode ser visto no *YouTube*: <https://www.youtube.com/watch?v=X2c1syUYrxw>. Acesso em 02 de Fevereiro de 2018.

Outros tipos de ligações podem ser feitos e analisados, como os apresentados nas Figuras C.15 (a) em série e (b) em paralelo, mas não em cascata.

Figura C.15 – Imagem fotográfica de uma ligação em série e outra em paralelo, mas sem ser em cascata.



Fonte: Arquivo do autor.

Lembrando de conectar as pastilhas em um dissipador de calor acoplado a *coolers*. Um vídeo mostrando esses casos, pastilhas separadas, é o do *You Tube*: “Pastilhas Peltier Melhor Resultado em Série, Paralelo ou direto na Fonte? Teste 2 Definitivo”, 2018. <<https://www.youtube.com/watch?v=EFZ5CZR5HQk>>. Acesso em 20/02/2019. Nesse vídeo o apresentador usa um *cooler* maior, obtendo os seguintes resultados: em paralelo o tempo de 1 a 2 minutos estabilizou em 15 °C em cada pastilha, e recebeu 0,7 A. Já em série estabilizando em - 8 °C no tempo de 2 minutos, e direto na fonte atingiu a temperatura de -20 °C, por 2 minutos. Quando o dissipador é pequeno (melhor em série), pois, aumenta a amperagem e diminui da voltagem.

Dentre as vantagens da utilização desses dispositivos para refrigeração, destacam-se a refrigeração localizada (devido às dimensões de cada módulo), pouca manutenção necessária, pois, não contém partes mecânicas móveis e dispensa uso de gases refrigerantes. Possui uma tecnologia que implica em durabilidade e ausência de ruídos, durabilidade, capacidade de gerar energia elétrica (Efeito *Seebeck*) e funcionam em qualquer orientação, com ou sem gravidade.

Quanto às desvantagens e dificuldades para utilizar a refrigeração termoelétrica é importante citar a má eficiência dos dissipadores de calor. A pastilha *Peltier* fornece uma grande quantidade de calor em pequenas áreas, o que dificulta a dissipação e reduz a performance dos módulos de refrigeração. Modelos atuais utilizam valores altos de correntes contínuas de baixa tensão, mas isso eleva o custo de sua instalação.

Recentemente os terminais termoelétricos têm sido utilizados em situações que exigem controle de temperatura e em aparelhos de refrigeração de pequeno porte. Além de refrigeração de componentes eletrônicos, em geral, são instalados em sistemas que não necessitam de alta potência. Para estas situações o sistema termoelétrico pode ser bastante viável, pois, o mesmo apresenta mais vantagens quando comparado a outros processos (HEIKES; URE JR, 1961).

Ainda existe um grande potencial para ser explorado com a refrigeração termoelétrica, como: sistemas de ar condicionado (doméstico e automotivo), transportes de produtos perecíveis, conforto térmico de superfícies, higrômetros de ponto de orvalho, aquecimento de água, entre outros. Tais avanços estão condicionados ao desenvolvimento de novas tecnologias e possivelmente se tornarão alternativas para competir com sistemas de bombas de calor e compressão a vapor.

Na próxima seção é apresentado um paralelo entre os refrigeradores a base de compressão e o por pastilhas Peltier.

C.5 REFRIGERADORES: COMPRESSÃO E PELTIER

Nesta seção é apresentada uma comparação entre o “funcionamento” de um refrigerador por compressão (subseção C.1.2) com um por pastilhas Peltier (subseção C.3.1).

Como já foram citados neste trabalho, os sistemas de refrigeração, de cada modelo apresentado, são baseados em conceitos físicos diferentes e sua adaptação tecnológica é identificada em equipamentos, também, muito diferente.

Ao citar os conceitos que explicam o funcionamento de refrigeradores, na seção C.1.2 deste mesmo capítulo, destacam-se: a necessidade de um compressor, que fornece energia (W) para máquina funcionar, a transferência de calor, que ocorre entre a temperatura quente e temperatura fria, que ocorre por meio de um fluido (gás) que circula pela tubulação, e seu

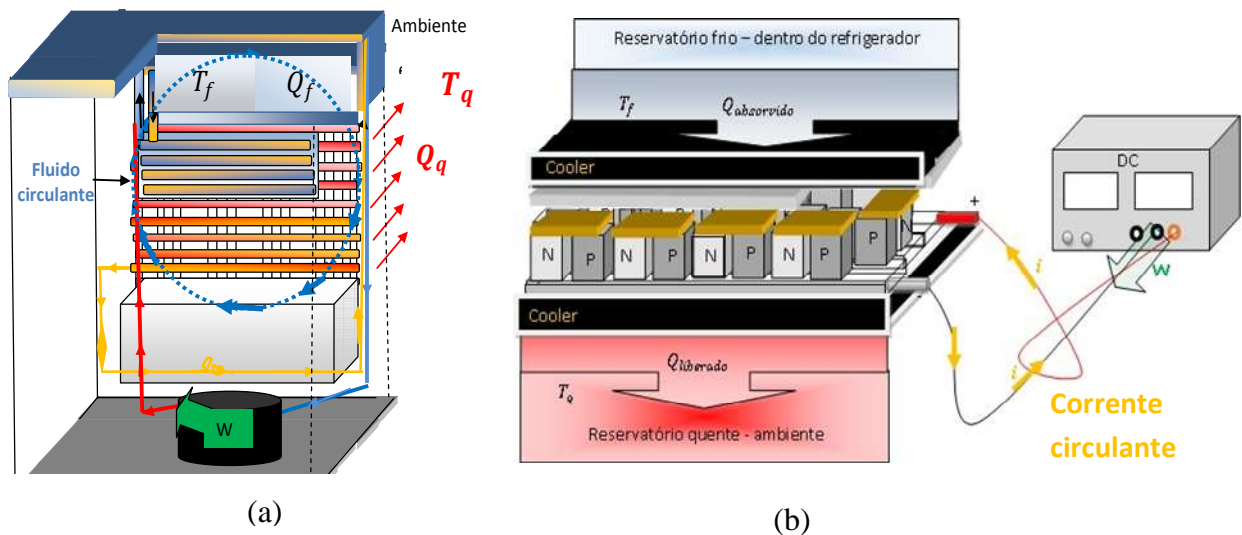
funcionamento acontece em ciclos, ou seja, este processo recomeça a cada determinado intervalo de tempo.

Sobre o funcionamento dos módulos termoeletricos (pastilhas Peltier), citados na seção C.3.1, pode-se dizer que: partindo de uma fonte de energia elétrica (fonte de tensão), a corrente elétrica, que tem um único sentido, passa pelos materiais semicondutores provocando uma queda na diferença de potencial (consequência da disposição das junções (tipo N e P)), que provoca a diferença de temperatura. Esse é um processo fechado, o sistema é alimentado continuamente. Ainda, pode-se dizer que tem um limite no intervalo de tempo entre a temperatura quente e a temperatura fria.

Mesmo diante de tantas diferenças, é possível fazer uma analogia entre os sistemas de refrigeração, como se vê na Figura C.16 (a) e (b), em que se apresentam propositalmente os sistemas organizados para que possamos elencar as semelhanças:

- i) Ambos recebem energia/trabalho (W) de uma fonte externa e a potência de funcionamento depende deste fator;

Figura C.16 - Desenho esquemático das semelhanças do funcionamento de um refrigerador: (a) por compressão – trabalho (indicado em verde) realizado pelo motor, o reservatório Frio – congelador/interior da geladeira, o reservatório quente – Ambiente e, o fluido circulante: um gás; e em (b) com pastilhas *Peltier* – o “trabalho” (em verde) realizado pela fonte de tensão, o reservatório frio – dentro do refrigerador, reservatório quente – o ambiente e o “fluido circulante” no caso uma corrente circulante: elétrons (lembrando que os elétrons circulam em sentido oposto à indicação da corrente).



Fonte: O autor e H. Mukai.

- ii) Realizam transformação de energia, ou seja, transforma o trabalho recebido em energia térmica;

- iii) Trabalham com duas temperaturas (quente (T_q) e fria (T_f)), durante o funcionamento o lado frio retirando calor (interior do refrigerador), enquanto o lado quente rejeitando calor (meio exterior);
- iv) Necessitam de um movimento de uma “substância” que justifique a diferença de temperatura: para o refrigerador o movimento do gás (fluido), para as pastilhas Peltier o movimento de elétrons (representado pela corrente i). Lembrando que o fluxo de elétrons é o oposto ao indicado na Figura 1.17, que indica o sentido da corrente (i).

Por fim, relembrem-se as referências sobre teorias de ensino-aprendizagem adotadas neste trabalho e citadas na seção C.1. Ambas as teorias, tratam de conhecimentos prévios dos estudantes, para que possam aprender novas informações. Este fato justifica a analogia aqui apresentada, entre os sistemas de refrigeração, pois, parte-se do princípio que os estudantes entendam o funcionamento de um refrigerador convencional, para em seguida, aprender o funcionamento do sistema *Peltier* e seus respectivos conceitos.

As referências apresentadas a seguir, são referentes a esse texto de apoio.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, Edvaldo de Oliveira. Propriedades Físicas do Semicondutor $BI_2 Te_3$. Dissertação. 131 fls. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, RN, 2007. Disponível no site: <<ftp://ftp.ufrn.br/pub/biblioteca/ext/bdtd/EdvaldoOA.pdf>>, Acesso em: 15 de Julho de 2017.

BONJORNO, J.R. e coautores. **Física: termologia, óptica, ondulatória**. 3. ed. Coleção Física. São Paulo FDT, 2016.

CAMARGO, J. R. **Parâmetros básicos para avaliação da eficiência de um refrigerador que utiliza o sistema termelétrico**. In: XIX Congresso Brasileiro de Aplicações de Vácuo na Indústria e na Ciência – XIX CBRAVIC. Campinas, SP, 1999.

EDUFER, **Tabela de Resistividade de Materiais** - Disponível em: <<http://www.edufer.com.br/tabela-de-resistividade-dos-materiais-condutores-semicondutores-e-isolantes/>> Acesso em 20/02/2019.

EDU ventiladores - ventilador e um pouquinho de tudo - You Tube:**Pastilhas Peltier Melhor Resultado em Série Paralelo ou direto na Fonte? Teste 2 Definitivo**.2018. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=EFZ5CZR5HQk>>. Acesso em 20 de Fevereiro 2019.

ELETROLAB - YouTube: **Pastilhas Peltier - Ligações em série e paralelo!!** 2017. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=X2c1syUYrxw>>. Acesso em 02 de Fevereiro de 2018.

FERRO, M. da G. D. e PAIXÃO, M. do S. L. **Psicologia de Aprendizagem Fundamentos Teóricos – metodológicos dos processos de construção do conhecimento** – EDUEP, 1ª Edição, 2017.

FIALHO, A. B., **Automação hidráulica: projeto. Dimensionamento e análise de circuitos.** 5. ed. Erica, São Paulo 2008.

FREON, In: **Wikipédia: a enciclopédia livre.**Wikipedia, 2019. Disponível em: <<https://pt.wikipedia.org/wiki/Freon>>. Acesso em 21 de Fevereiro de 2019.

FRIGORÍFICO, In: **Wikipédia: a enciclopédia livre.**Wikipedia, 2019. Disponível em:<<https://pt.wikipedia.org/wiki/Frigor%C3%ADfico>>. Acesso em 21 de Fevereiro de 2019.

GASPAR, A. **Compreendendo a Física.** V.2 Ondas, Ótica, Termodinâmica. 3. ed.. São Paulo: Ática, 2016.

HALLIDAY, D.; RESNICK R.; WALKER, J. **Fundamentos da Física.** Volume 2 . 12ª edição. Editora: LTC, 2012.

HEIKES, R. R.; URE, R. W. JR. **Thermoelectricity. Science and engineering.** New York; London : Interscience Publishers, 1961.

JOMON cerâmicas avançadas. **Ficha Térmica Alumina.** .< <http://www.jomon.com.br/>> . Acesso em 20 de fevereiro 2019.

KOURY, R. N. N; MACHADO L.; BICALHO, L. R. L.; MENDONÇA, C. de O. **Estudo da viabilidade técnica e econômica da utilização de bombas de calor termoelétricas para aquecimento de água residencial.** VI Congresso Nacional de Engenharia Mecânica – VI CONEM – 18 a 21 de Agosto – Campina Grande, PB, 2010. Disponível em: <<http://www.abcm.org.br/anais/conem/2010/PDF/CON10-0330.pdf>>. Acesso em 05 de novembro de 2018.

MOURA, J. A. de S. **Filmes nanométricos de FeN e AlN crescidos por sputtering e aplicações do efeito Peltier.** Tese. 200 fls. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, RN, 2010.

RAMALHO, F. Jr.; dos Santos, J. IVAN C.; Ferraro, G. NICOLAU; Soares, de TOLEDO P. A., **Os fundamentos da física vol.2. Termologia, Geometria da Luz e Ondas,** 1ª edição, Editora Moderna, SP, 1976;

_____. **Os fundamentos da física vol. 3. Eletricidade,** 1ª edição, Editora Moderna, SP, 1976;

ROQUE, A. 5910170 – **Física II – Ondas, Fluidos e Termodinâmica** – USP, Aula 23, 2012. Disponível em <sisne.org/Disciplinas/Grad/Fisica2FisMed/aula23.pdf>. Acesso em 22 de Janeiro de 2019.

SILVA, J. **Como funciona um sistema básico de refrigeração (Frigorífico)**, 2013, disponível em <<http://dicasesquemas.blogspot.com/2013/04/como-funciona-um-sistema-basico-de.html>>. Acesso em 16 de Janeiro de 2019.

TEIXEIRA, C.A.; LEAL, A.B.; ZANICOSKI, B. P.S. **Concepção de um mini refrigerador Peltier para uso como ferramenta no Ensino de Engenharia**. XXXV Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia –XXXV COBENGE – 10 a 13 de Setembro – Curitiba, PR, 2007. Disponível em: <<http://www.abenge.org.br/cobenge/arquivos/12/artigos/411-Carlos%20Alberto%20Teixeira.pdf>>. Acesso em 06 de Julho de 2017.

ZEMANSKY, M. W. **Calor e Termodinâmica**. 5. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1978. Traduzido por Benedito Carlos Pinto Breda.

Apêndice D – Investimento do Protótipo

Neste apêndice estão apresentados os valores unitários referente à lista de materiais apresentados no Capítulo 01 – seção 1.1. Valor atualizado em 05/2019. Apresentam-se também sugestões de materiais alternativos.

Quadro D1 – Lista dos materiais utilizados na construção do protótipo e para 3 etapas em separado, o valor unitário de cada material, e sugestões de materiais alternativos.

Material Utilizado	Valor Aproximado	Sugestões
1 Caixa de isopor (15 × 15) cm; altura 11 cm);	R\$ 4,00	Utilizou-se este tamanho para facilitar a montagem. É possível resfriar ambientes com maior volume, mas será necessária uma adaptação dos dispositivos elétricos.
2Cooler com um dissipador metálico acoplado (70 × 70) mm; espessura 25 mm	R\$ 25,00 Valor Unitário	Verificar dimensões. A escolha por este modelo ocorreu devido ao tamanho das Pastilhas Peltier. Lembrando que pode-se utilizar lixo eletrônico e reaproveitar <i>cooler</i> de computador.
2Cooler (50 × 50) mm; espessura 10 mm	R\$ 15,00 Valor Unitário	Verificar dimensões. A escolha por este modelo ocorreu devido ao tamanho das Pastilhas Peltier. Lembrando que pode-se utilizar lixo eletrônico e reaproveitar <i>cooler</i> de computador.
4 Pastilhas Peltier Modelo TEC1 - 12706 (40×40) mm; espessura 4 mm;	R\$ 20,00 Valor Unitário	Verificar as dimensões. Optou-se por este tamanho pelo fácil manuseio e pela compatibilidade com o tamanho dos <i>coolers</i> .
Soprador Térmico (Marca/Modelo: <i>Instruthem</i> 1600 W)	R\$ 150,00	É possível substituir por um secador de cabelos. Em caso do uso do secador de cabelos sugerimos modelos profissionais, pois são dotados de maior potência.
Termômetro Laser Digital Infravermelho (Marca/Modelo: <i>Incoterm</i> ST – 600)	R\$ 50,00	Alguns Multímetros têm a função de medida de temperatura, pode-se aproveitar este modelo.
1 Fonte de tensão 12 V	R\$ 30,00	Assim como os <i>coolers</i> é possível utilizar lixo eletrônico e reaproveitar a fonte de alimentação

		de um computador.
Pasta térmica	R\$ 20,00 Embalagem com 5 gramas.	Existem várias marcas e composições diferentes. Sugerimos marcas que contenham prata (Ag) em sua composição para melhorar a condutividade.
4 pilhas AA (1,5 V cada)	R\$ 10,00 Embalagem com 4 pilhas.	Podem ser substituídas por uma bateria de 9 V.
1 Suporte para as 4 pilhas com fios	R\$ 5,00	Pode ser substituído por um suporte para bateria 9V.
Fios e conexões elétricas	R\$ 15,00	Utilizou-se cerca de 1 metro de fio. Acrescenta-se “jacaré”, para as conexões, e fita isolante. Para facilitar montagem e desmontagem não utilizamos solda. A solda pode melhorar a eficiência do dispositivo.