



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO – CENTRO
ACADÊMICO DO AGRESTE
NÚCLEO DE FORMAÇÃO DOCENTE

Estudo dos Efeitos Termoelétricos – Atividades Experimentais e Roteiros para Ensino

EDUARDO HENRIQUE BEZERRA DA SILVA

Caruaru, PE.
Março de 2017



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO – CENTRO
ACADÊMICO DO AGRESTE
NÚCLEO DE FORMAÇÃO DOCENTE

Estudo dos Efeitos Termoelétricos – Atividades Experimentais e Roteiros para Ensino

EDUARDO HENRIQUE BEZERRA DA SILVA

Dissertação realizada sob orientação do Prof^o Dr^o Luís Henrique Vilela Leão e apresentada à bancada examinadora como requisito parcial à obtenção do título de Graduado Licenciado em Física pelo Núcleo de Formação Docente do Centro Acadêmico do Agreste da Universidade Federal de Pernambuco.

Caruaru, PE
Março de 2017

Catálogo na fonte:
Bibliotecária – Simone Xavier CRB/4 - 1242

S586e Silva, Eduardo Henrique Bezerra da.
Estudo dos efeitos termoelétricos e roteiros para ensino. / Eduardo Henrique Bezerra da Silva. – 2017.
84f. il. ; 30 cm.

Orientador: Luiz Henrique Vilela Leão
Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Federal de Pernambuco, CAA, Licenciatura em Física, 2017.
Inclui Referências.

1. Termoeletricidade. 2. Dispositivos condutores. 3. Experimentos. I. Leão, Luiz Henrique Vilela Leão (Orientador). II. Título.

371.12 CDD (23. ed.) UFPE (CAA 2017-044)

**PARECER DA BANCA EXAMINADORA DE DEFESA NA
DISCIPLINA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO II**

**Eduardo Henrique Bezerra Da
Silva**

Título

***“Estudo dos Efeitos Termoelétricos – Atividades
Experimentais e Roteiros para Ensino”***

A comissão examinadora composta pelos professores: **LUIS HENRIQUE VILELA LEÃO**, NICIT/UFPE; **JOÃO FRANCISCO LIBERATO DE FREITAS**, NICIT/UFPE; **AUGUSTO CÉSAR LIMA MOREIRA** sob a presidência do primeiro, consideram o graduando **EDUARDO HENRIQUE BEZERRA DA SILVA APROVADO**.

PAULO HENRIQUE RIBEIRO PEIXOTO
Coordenador do Curso de Física - Licenciatura

LUIS HENRIQUE VILELA LEÃO
1º Examinador orientador

JOÃO FRANCISCO LIBERATO DE FREITAS
2º Examinador

AUGUSTO CÉSAR LIMA MOREIRA
3º Examinador

Caruaru, 06 de março de 2017

Este trabalho é dedicado a minha mãe, a meu pai, minha irmã, os meus amigos e
minhas amigas.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a minha mãe, meu pai e minha irmã, que sempre acreditaram em mim, me apoiando e lutando junto comigo para que eu alcançasse meus objetivos.

A minha querida professora de física do Ensino Médio, Magda Cristina, que acreditou no meu potencial e me fez apaixonar pela física, com o seu modo de ensinar e falar de física com muita paixão.

A minha professora de história do Ensino Médio, Gloria Maria, que tanto contribui mediando conhecimento para formação de minha consciência política e social.

Aos meus amigos e amigas da graduação que tanto me apoiaram nessa jornada e que levarei pra vida. Ao Richard Fernandes, que me ajudou a estabelecer a consciência do mundo. Ao Manoel Felix, que eu tanto aprendi a admirar e acreditar, e por tanto acreditar em mim também. Ao Bruno Henrique, que se mostrou um grande amigo e confidente nessa reta final da graduação.

Aos meus professores da graduação que muito dedicaram-se em cumprir seu ofício com excelência em formar ótimos profissionais.

Gostaria de agradecer, especialmente, ao meu orientador Luís Leão, que teve tanta paciência comigo e mais do que orientar, me ajudou, para construção e conclusão de todas as partes desse trabalho. Muito obrigado, professor Luís.

Enfim, este trabalho é dedicado a todos que acreditaram em mim. Essa vitória não é apenas minha.

“É mais fácil desintegrar um átomo do que um preconceito.” Albert Einstei

RESUMO

Com a crescente demanda do consumo energético mundial e questões ambientais atuais, os tipos e fontes de energias alternativas ganham ainda mais evidência. Uma delas é a energia Termoelétrica, que consiste na convenção de energia térmica em energia elétrica e vice versa. Um dos meios de obter essa finalidade é fazendo uso de materiais termoelétricos, um dos principais são os módulos termoelétricos, construídos através de junções de materiais semicondutores ou condutores, térmicos e elétricos. Neste trabalho, foi realizado um estudo sobre a história e desenvolvimento da termoeletricidade e seus dispositivos, além de uma revisão teórica dos efeitos termoelétricos, como o Seebeck, Peltier e Thomson. Assim, possibilitando o conhecimento necessário para a elaboração de atividades experimentais, visando estudar tais efeitos e desenvolver uma proposta de ensino para o ensino médio, com roteiros experimentais. Pois, é reconhecida a importância das atividades experimentais como importante ferramenta no processo de ensino aprendizagem de física de maneira significativa.

Palavras-chave: Termoeletricidade, Dispositivos Termoelétricos, Efeitos Termoelétricos.

ABSTRACT

With increasing demand for global energy consumption and current environmental issues, the types and sources of alternative energy are gaining even more evidence. One is a Thermoelectric energy, which contains a convention of thermal energy in electric energy and vice versa. One of the means of achieving this purpose is to make use of thermoelectric materials, one of the main ones being the thermal modules, constructed through joints of semiconductor materials or conductors, thermal and electrical. In this work, a study was carried out on the history and development of thermoelectricity and its devices, as well as a theoretical revision of thermoelectric effects, such as Seebeck, Pelitier and Thomson. Thus, to provide the necessary knowledge for the elaboration of experimental experiments, aiming to study such effects and develop a teaching proposal for high school, with experimental scripts. For, the importance of experimental activities as an important tool in the teaching of physics is recognized in a significant way.

Keywords: Thermoelectricity, Thermoelectric Devices, Thermoelectric Effects.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Refrigerador e Gerador termoelétricos.....	28
Figura 2. Módulo Termoelétrico.....	29
Figura 3(a). Thomas Johann.....	30
Figura 3(b). Representação da bussola imá usada por Seebeck em seus experimentos.....	30
Figura 4. Experimento realizado por Seebeck.....	31
Figura 5(a). Gustav Magnus.....	32
Figura 5(b) Esquematização de um Termopar.....	32
Figura 6(a). Jean Charles Athanase.....	33
Figura 6(b). Esquematização do experimento feito por Peltier.....	33
Figura 7(a). Willian Thomson.....	34
Figura 7(b). Efeito Thomson em um condutor.....	34
Figura 8. Módulos Termoelétricos.....	36
Figura 9. Termopar em um gerador termoelétrico.....	37
Figura 10. Esquematização de um Módulo Termoelétrico.....	38
Figura 11. Sistema de refrigeração de um chip eletrônico.....	39
Figura 12. Microdispositivos termoelétricos.....	40
Figura 13. Sistema de recuperação de calor.....	42
Figura 14. Caixas de transportes de medicamentos.....	43
Figura 15(a). Lancheira Termoelétrica.....	44
Figura 15(b). Frigobar Termoelétrico.....	44
Figura 16. Missões espaciais usando geradores termoelétricos de radioisótopos.....	45
Figura 17. RTG usado na Voyager 1 e 2.....	46
Figura 18. Voyager 1.....	46
Figura 19. Esquematização do CCS.....	47
Figura 20. Sistema de recuperação de energia térmica em carros.....	48
Figura 21. Pastilha Peltier.....	49
Figura 22. Esquema do experimento de geração de tensão por uma diferença de temperatura da Placa Peltier.....	51
Figura 23. Imagens do experimento de geração de tensão por uma diferença de temperatura da Placa Peltier.....	52
Figura 24. Gráfico da Tensão em função da diferença de temperatura na Placa Peltier.....	53
Figura 25. Módulo Termoelétrico.....	54
Figura 26. Esquematização do experimento de aquecimento e resfriamento de reservatórios.....	55
Figura 27(a). Reservatórios com a mesma quantidade de água.....	56
Figura 27(b). Sistema em funcionamento.....	56
Figura 28. Gráfico da temperatura no reservatório que resfria em função do tempo.....	57
Figura 29. Gráfico da temperatura no reservatório que aquece em função do tempo.....	57
Figura 30. Gráfico da temperatura no reservatório que resfria em função do tempo.....	57
Figura 31. Associação de dissipadores à Placa Peltier.....	60
Figura 32. Esquematização da Geladeira Peltier.....	61
Figura 33(a). Associação de Placa Peltier aos Dissipadores de Calor.....	62

Figura 33(b). Interior do Refrigerador Peltier.....	62
Figura 33(c). Geladeira Peltier montada.....	62
Figura 34. Efeito Seebeck em um condutor.....	63
Figura 35. Esquematização do experimento para o efeito Seebeck.....	64
Figura 36(a). Voltímetro.....	66
Figura 36(b). Aparato Experimental experimental, visão lateral.....	66
Figura 36(c). Aparato Experimental, visão superior.....	66
Figura 37. Tensão gerada na amostra de cobre em função da diferença de temperatura nas suas extremidades.....	66
Figura 38. Tensão gerada na amostra de alumínio em função da diferença de temperature nas suas extremidades.....	67
Figura 39. Ajuste linear para as medidas da amostra de cobre.....	67
Figura 40. Ajuste linear para as medidas da amostra de alumínio.....	68
Figura 41. Esquematização de um Termopar.....	71
Figura 42. Esquematização da união de dois tempores.....	71
Figura 43 (a). Termopares de Cobre e Alumínio.....	72
Figura 43 (b) Junção de Alumínio e Cobre.....	72
Figura 44. Tensão gerada durante o aquecimento de uma das junções em função da diferença de temperatura.....	74
Figura 45. Tensão gerada durante o resfriamento de uma das junções em função da diferença de temperatura.....	74
Figura 46. Aparato experimental aquecendo uma das junções.....	75
Figura 47. Junção do termopar submetida à chama de uma vela.....	75
Figura 48. Esquematização do sistema de dupla junção.....	76
Figura 49. (a) e (b) Termopares nos calorímetros cos os termômetros....	77
Figura 50. Tensão gerada em função da diferença de temperatura das junções.....	79
Figura 51. Tensão gerada em função da diferença de temperatura das junções.....	80

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Diferença de temperatura entre as faces e tensão nos terminais da Placa Peltier.....	52
Tabela 2. Valores da temperatura nos reservatórios, corrente e resistência na Placa Peltier.....	56
Tabela 3. Medidas de tensão e diferença de temperatura nas extremidades do condutor, no experimento para o efeito Seebeck.....	65
Tabela 4. Coeficientes Seebeck, teórico e experimental, e erro percentual.....	68
Tabela 5. Condutividade Térmica das amostras metálica.....	69
Tabela 6. Tensão na placa, temperatura na junção sobre a placa e tensão gerada.....	73
Tabela 7. Diferença de temperatura entre as junções e a tensão gerada.....	73
Tabela 8. Diferença de temperatura entre as junções e tensão gerada.....	78

LISTA DE ABREVIATURAS

CCS	Controle de Climatização Controlada (do inglês <i>Climate Control Seat</i>)
EUA	Estados Unidos da América (do inglês <i>United States of America</i>)
MEC	Ministério da Educação
PCN	Parâmetros Nacionais Curriculares
MMRTG	Multimissão gerador termoelétrico de radioisótopo (do inglês <i>Multi-Mission Radioisotope Thermoelectric Generator</i>)
NASA	Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço (do inglês <i>National Aeronautics and Space Administration</i>)
ONU	Organização Das Nações Unidas (do inglês <i>United Nations</i>)
PCNEM	Curriculares Nacionais para o Ensino Médio
PSSC	Comité de Estudos de Ciências Físicas (do inglês <i>Physical Science Study Committe</i>)
RTG	Geradores Termoelétricos de Radioisótopos (do inglês <i>radioisotope thermoelectric generator</i>)
TEC	Refrigerador Termoelétrico (do inglês <i>thermoelectric cooler</i>)
TEG	Gerador Termoelétrico (do inglês <i>thermoelectric generator</i>)
VOCs	Compostos Voláteis Em Suspensão (do inglês <i>Volatile Organic Compounds</i>)

LISTA DE SÍMBOLOS

e^-	Carga Elementar do Elétron	[C]
V	Diferença de Potencial Elétrico	[V]
α_s	Coeficiente Seebeck	[V/K]
T_1	Temperatura da Junção Aquecida do Termopar	[°C]
T_2	Temperatura da Junção Resfriada do Termopar	[°C]
T_q	Temperatura da face que esquenta da Placa Peltier	[°C]
T_f	Temperatura da face que resfria da Placa Peltier	[°C]
T_Q	Temperatura da junção no calorímetro com água quente	[°C]
T_R	Temperatura da junção no calorímetro de referência	[°C]
q	Quantidade de Calor	[J]
α_P	Coeficiente Peltier	[w/A]
I	Intensidade da corrente que atravessa as junções	[A]
α_T	Coeficiente Thomson	[V/K]
R	Resistência	[Ω]
Q	Quantidade de Calor	[J]
H	Corrente de Calor	[J/s]
C	Capacidade Calorífica	[cal/°C]

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	16
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA: ENSINO EM FÍSICA.....	19
2.1. ENSINO DE FÍSICA NO BRASIL.....	19
2.2. ENSINO DE FÍSICA E A LEGISLAÇÃO.....	21
2.3. EXPERIMENTAÇÃO E O ENSINO DE FÍSICA.....	23
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA: TERMOELETRICIDADE.....	24
3.1. ENERGIA TERMOELÉTRICA.....	24
3.2. HISTÓRIA DA TERMOELETRICIDADE E DOS MATERIAIS TERMOELÉTRICOS.....	25
3.3. EFEITOS TERMOELÉTRICOS.....	29
3.3.1. EFEITO SEEBECK.....	29
3.3.2. EFEITO PELTIER.....	32
3.3.3. EFEITO THOMSON.....	34
3.4. DISPOSITIVOS E MÓDULOS TERMOELÉTRICOS.....	36
3.5. APLICAÇÕES.....	40
3.5.1. GERAÇÃO DE ENERGIA.....	41
3.5.2. PROCESSOS INDUSTRIAIS.....	41
3.5.3. SERVIÇOS MEDICINAIS.....	43
3.5.4. INDÚSTRIA AEROSPAÇIAL.....	44
3.5.5. INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA.....	46
4. ELABORAÇÃO E DESENVOLVIMENTOS DAS ATIVIDADES EXPERIMENTAIS.....	49
4.1. ATIVIDADE EXPERIMENTAL 01: GERAÇÃO DE ENERGIA USANDO PLACA PELTIER.....	50
4.2. ATIVIDADE EXPERIMENTAL 02: PLACA PELTIER E REVERSIBILIDADE DE EFEITO.....	54
4.3. ATIVIDADE EXPERIMENTAL 03: REFRIGERADOR PELTIER.....	60
4.4. ATIVIDADE EXPERIMENTAL 04: EFEITO TERMOELÉTRICO EM CONDUTOR HOMOGÊNEO.....	63
4.5. ATIVIDADE EXPERIMENTAL 06: ESTABILIDADE DA GERAÇÃO DE TENSÃO EM UM TERMOPAR.....	70
4.6. ATIVIDADE EXPERIMENTAL 05: EFEITO TERMOELÉTRICO EM UM TERMOPAR.....	76
5. CONCLUSÃO.....	81
6. REFERÊNCIAS.....	82

1. INTRODUÇÃO

O ensino de física enfrenta bastantes dificuldades no processo de ensino aprendizagem dos seus conteúdos, muitas vezes pela quantidade de informação, nível de abstração e conexão com o dia a dia dos estudantes de maneira clara. A forma de ensino tradicional ainda é predominante, com aulas expositivas, onde muitas vezes o professor limita-se apenas ao uso do quadro e ao livro texto adotado. Assim, a disciplina se mostra pouco atrativa para os estudantes que acabam criando aversão por ela. Desta forma, elaborar e aplicar novas metodologias para o ensino de física se fazem cada vez mais necessário. As atividades experimentais mostram um caminho para superar estes obstáculos, onde o professor faz um elo entre teoria e prática, desafiando os alunos a testarem seus conhecimentos e avaliarem suas próprias teorias, fazendo com que elas convirjam para o saber científico aceito, visando uma contribuição importante para uma aprendizagem significativa.

De acordo os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) de Física do Ensino Médio, é indispensável aprofundar a questão da “produção” e utilização de diferentes formas de energia em nossa sociedade. Este destaque do PCN tem como objetivo fazer com que os estudantes adquiram as competências necessárias para a análise dos problemas relacionados aos recursos e fontes de energia no mundo contemporâneo, desde o consumo doméstico ao quadro de produção e utilização nacional, avaliando necessidades e impactos ambientais. Assim, calor, ambiente, fontes e usos de energia sinalizam, como tema estruturador, sendo um dos principais objetivos pretendidos para o estudo dos fenômenos térmicos. Nesse caminho, o tema aqui trabalhado se mostra pertinente ao currículo do ensino de física [1].

Os experimentos desenvolvidos neste TCC seguem uma análise essencialmente fenomenológica e qualitativa de alguns efeitos termoelétricos. Estes experimentos são utilizados para elaborar uma proposta de ensino voltada ao ensino médio, com roteiros experimentais adaptados de modo a tornar o conteúdo teórico mais acessível aos estudantes e permitindo que as atividades passem ser um momento mais interessante e atrativo, de forma que o estudante tenha uma postura ativa no processo de aprendizagem.

Com a crescente superpopulação, algumas questões importantes são levantadas e geram preocupação, como a demanda de consumo de energia da matriz energética e seus impactos ambientais. Em média, por ano, o número de habitantes na Terra cresce em 80 milhões de habitantes, o que equivale a toda população Alemã, por exemplo. Atualmente, o número de habitantes está em torno de 7,45 bilhões e estima-se que até 2050, esse número alcance os 9,6 bilhões, segundo projeções da ONU [2].

Com isso, cresce a demanda do consumo de energia, tanto pelas grandes indústrias quanto pelos grandes centros urbanos, que cada vez mais se expandem. Nesse contexto, existe um grande interesse em novas fontes de energias renováveis e sustentáveis, ou seja, que atenda as necessidades humanas com mais eficiência e sem comprometer o meio ambiente.

Nos últimos anos, o Brasil foi o terceiro país do mundo com maior crescimento do consumo de energia renovável, isso devido ao aumento da geração por meio de outras fontes renováveis e alternativas. A energia renovável responde por 18% da matriz mundial, a meta da Organização das Nações Unidas (ONU) é que chegue em 36% em 2030. No Brasil, esse tipo de energia responde a 48%, por causa da energia hidrelétrica [3].

No final da década de 90, as usinas termelétricas ganharam bastante importância na matriz energética brasileira, principalmente como complementação da matriz hidráulica, tendo uma participação considerável de 25% na geração. As termelétricas diminuem a dependência brasileira das hidrelétricas. Também reduzem o risco de racionamento em caso de escassez de chuvas ou diminuição dos volumes de água nos reservatórios [4].

Para entender um pouco sobre a energia termoelétrica é preciso alguns conhecimentos sobre os efeitos termoelétricos. Estes efeitos estão relacionados à conversão de calor em energia elétrica, e vice versa, os quais podem ocorrer em determinadas junções de materiais diferentes, semicondutores ou condutores elétricos, submetidos a determinadas condições. Estes efeitos também surgem quando um gradiente de temperatura age sobre um condutor, o aquecimento de um lado gera uma concentração de n elétrons livres na banda de condução da região aquecida e isso gera uma diferença na densidade de portadores nos lados do material e para reestabelecer o equilíbrio os portadores do lado aquecido tendem a

se difundirem para o lado não aquecido, desta forma contribuindo para a condutividade elétrica. Estes fluxos e seus potenciais associados são caracterizados por constituírem processos não reversíveis. Em contraste, efeitos termoelétricos como: Seebeck, Peltier e Thomson podem ser termicamente reversíveis [5]. Esses últimos serão o objeto de estudo longo deste trabalho.

Na indústria, existem dispositivos que funcionam à base desses efeitos, como é o caso dos geradores e refrigeradores termoelétricos, esses dispositivos são capazes de transformar energia térmica em energia elétrica, e vice versa, através dos efeitos Seebeck e Peltier. Estes dispositivos, em sua maioria, são formados por semicondutores do tipo $-n$ e do tipo $-p$ conectados eletricamente em série e termicamente em paralelo, os quais são dispostos entre dois substratos de cerâmica [5]. Estes dispositivos são geralmente chamados de Módulos Termoelétricos.

O trabalho, aqui relatado, apresenta um conjunto de atividades experimentais, as quais tem o intuito de fazer uma demonstração dos efeitos termoelétricos e nesses experimentos, uma das partes integrantes fundamentais foi um dispositivo termoelétrico à base de efeito Peltier, conhecido também como placa Peltier. Esta placa tem uma grande variedade e versatilidade quanto a seu uso, sendo principalmente utilizada em refrigerações de muitos utensílios de nosso cotidiano, como: refrigeradores de água, frigobares, caixas de transporte de medicamentos médicos, lancheiras, entre tantos.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA: ENSINO EM FÍSICA

2.1. ENSINO DE FÍSICA NO BRASIL

A educação, de maneira geral, pode ser entendida como o processo pelo qual os indivíduos constroem conhecimentos e atitudes necessárias para que eles tenham condições de se integrar à sociedade. Essa integração não significa apenas o domínio puro e simples dos conhecimentos, mas, sim, o seu entendimento, também sob o ponto de vista filosófico, no qual educação e sociedade estão vinculadas, uma influenciando a outra [6].

Perante esse modo de ver a educação, entende-se que o ensino de Ciências, e, neste caso específico, o de Física, precisa ser redimensionado, iniciando-se por uma real e efetiva proposta curricular, que o torne objeto de estudo, desde as séries iniciais, até o final do ensino médio e, ainda que os currículos e as metodologias de ensino sejam renovados, ultrapassando a visão de disciplina vinculada à memorização de nomenclaturas e a listas intermináveis de fórmulas. Esta nova concepção faz-se tão necessária quanto urgente, uma vez que o sistema educacional brasileiro, em particular o ensino de Ciências (Física), encontra-se em vias de colapso [7].

O ensino de Física passou a ser objeto de preocupação e, portanto, de investigação, a partir da década de 1960, após a implementação nos Estados Unidos e, logo após, na América Latina, inclusive no Brasil, do projeto Physical Science Study Committee, o PSSC. Nesse período, o entusiasmo com o desenvolvimento da ciência e da tecnologia postulou ao ensino de Ciências, em particular à Física, o lema de disciplina cujo objetivo estava na inserção dos jovens nas carreiras científicas. Entretanto, com o aumento significativo dos conteúdos de Física a serem ensinados na formação básica dos estudantes, os professores e, conseqüentemente, os investigadores de educação, passaram a se preocupar com o baixo desempenho desses estudantes. Como consequência, promovem-se conferências, encontros, simpósios, cursos de Pós-graduação e publicações em

periódicos, com o intuito de discutir tal problemática, estabelecendo, no Brasil, o início do ensino de Física como área de pesquisa [7].

No Brasil, inicialmente, identifica-se o modelo tradicional de ensino-aprendizagem, com aulas essencialmente expositivas, teóricas e inquestionáveis, pouco envolvendo a relação teoria prática. Era exigida a assimilação dos conhecimentos transmitidos e a avaliação utilizava o famoso questionário. A eficácia do trabalho era medida pela quantidade de conteúdos [7].

A partir da década de 1960, o modelo de ensino passa a ser centrado na redescoberta, que pregava a participação ativa dos estudantes. Mas a concepção de ensino de ciência continuava baseada na transmissão, assimilação e reprodução. Mesmo com as Feiras de Ciências e a realização de experimentos científicos para a “descoberta” de determinados fenômenos, em sala de aula prevalecia o ensino por transmissão/recepção, sendo reforçado a concepção empirista/indutivista. Na década de 1970, surge uma nova visão de ensino de Ciências, com o movimento denominado de “concepções alternativas”, apoiada na concepção construtivista de ensino-aprendizagem [7].

O construtivismo influenciou enormemente as pesquisas no ensino de Ciências, defendendo que os estudantes têm ideias alternativas e pessoais, influenciadas pelo contexto e que em sala de aula é necessário resgatar estes conceitos para então discutir o “novo”. Mas, de concreto, houve pouca alteração, principalmente no Brasil e, após seu apogeu, no final da década de 1970 e início de 1980, inicia-se o “movimento de mudança conceitual”, direcionando as pesquisas nacionais para o conflito cognitivo. Os professores deveriam criar exemplos de situações de conflito em sala de aula, sempre que possível, para que os alunos insatisfeitos buscassem a mudança conceitual, ou seja, a substituição dos conhecimentos. Entretanto, novamente, em sala de aula pouca coisa se efetivou, continuando o ensino de Ciências baseado na transmissão/recepção [7].

Assim, todas as propostas de alteração do modelo de ensino desenvolvido desde o século XIX, não passam de indicativos, de investigações, pouco contribuindo para a qualificação do ensino desta componente curricular. Os documentos oficiais foram igualmente recheados pelas novas propostas pedagógicas, mas de efetivo nada pode ser observado. Situação presente até os dias atuais, no qual se buscam novas perspectivas, diferentes das anteriores, mas

que tenham em mente o que já se pesquisou e de que forma estas concepções estiveram associadas ao ensino de Ciências, conforme será resgatado e detalhado na sequência [7].

2.2. ENSINO DE FÍSICA E A LEGISLAÇÃO

Com relação às novas tendências para o ensino de Física dois documentos são referências para a discussão: as Diretrizes Curriculares para os Cursos de Graduação e os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio - PCNEM. Com relação ao ensino médio, o destaque fica por conta do último, os PCNEM e seus correlatos, ao enfatizarem um ensino por competências e habilidades destacando que o “novo ensino médio” e, no caso, o “novo ensino de Física”, deve buscar “uma Física muito diferente daquela que não passa de treinamento para o vestibular. Um enorme desafio, com grandes implicações para a formação inicial e continuada de professores de Física.” [8]

Ante as dificuldades de implementação dos rumos fornecidos pelo PCNEM nas escolas, o MEC organizou as Orientações Curriculares para o Ensino Médio, obra editada em 2006, cujo texto busca apresentar um conjunto de reflexões que alimente a prática docente. Pode-se dizer que o documento abre as portas para a discussão de procedimentos didático-metodológicos que buscam viabilizar a nova legislação nas escolas. Segundo o mesmo “[...] a Física deve buscar no ensino médio é assegurar que a competência investigativa, resgate o espírito questionador, o desejo de conhecer o mundo em que se habita. Não apenas de forma pragmática, como aplicação imediata, mas expandindo a compreensão do mundo, a fim de propor novas questões e, talvez, encontrar soluções.” Na continuidade do documento, é destacada a importância da “Física ser entendida como cultura, na medida em que a escola tem o dever de assegurar o acesso da população a uma parcela dos saberes produzidos.” [7].

A utilização do livro texto, principalmente, das apostilas, assim como a ênfase na preparação para os exames vestibulares são, para muitos professores, indicativos de qualificação e mudanças no ensino. Entretanto, tais recursos devem

ser entendidos, segundo as novas orientações curriculares, como um dos objetivos didáticos, entre outros. Neste sentido, os diversos materiais devem ser utilizados como forma de alcançar a autonomia intelectual dos nossos estudantes sem, contudo, se prender a um modelo fechado mas, sim, buscar alternativas que contribuam para esse processo, como a internet, os livros paradidáticos, as revistas especializadas, os materiais para desenvolver práticas experimentais e as novas tecnologias [7].

Tudo isso deverá estar presente no ideário pedagógico do professor, como indicativo de mudanças no ensino de Física, que deixa de ter mera aplicação para o vestibular e passa a apresentar-se sob nova metodologia, pelo menos no entender da nova legislação nacional [7].

2.3. EXPERIMENTAÇÃO E O ENSINO DE FÍSICA

O cotidiano do ser humano é bastante ligado à experiência, às suas interações sócio ambientais. Já a experimentação é atitude do homem que busca organizar seus pensamentos na construção de elementos que lhe forneçam respostas sobre as coisas que o rodeiam e sobre si mesmo. Experiência, portanto, está ligada ao que vivemos todo dia e a experimentação ao processo científico. Este último é uma atividade historicamente construída pelos investigadores para uso exclusivo na construção do conhecimento científico. Porém, são objetos/ferramentas utilizadas para construir conhecimentos (do senso comum ou científico); conhecimentos diferentes na estrutura e na validade, que se constituem a partir de motivações e de critérios diferentes, mas que possuem pontos de intersecção comuns, manifestados nos processos de produção individuais [9].

Quando o estudante é apresentado à ciência e ao conhecimento científico, tem apenas como bagagem sua concepção de mundo, construída, pelo senso comum. Isto significa que o instrumento processual de seu domínio para elaborar explicações a respeito do mundo físico que o rodeia se restringe, predominantemente, à experiência livre e especulativa permeada pela sua tradição sócio cultural. Mas, não se deve descartar o que o estudante traz, pois ajudar no desenvolvimento de formas

mais produtivas de aprendizagem, assim como também associar esse conhecimento à atividades experimentais pois, de certa forma, isso aproximaria aquilo que o aluno conhece do conhecimento cientificamente aceito [9].

O uso de atividades experimentais como estratégia de ensino de Física tem sido apontado por professores e alunos como uma das maneiras mais frutíferas de minimizar as dificuldades relativas a aprender e a ensinar Física de modo significativo. Se a mente do indivíduo se encontra mais para a assimilação de coisas concretas, nesse momento, a experimentação no laboratório constitui-se um poderoso recurso instrucional e instrumental para possibilitar ao estudante o aprendizado significativo do assunto, além de despertar habilidades técnicas de investigação experimental. Pode ainda ser usada para estreitar o elo com a teoria, embora com limitações, com muitas observações na natureza Física do nosso cotidiano, e até para motivar o aluno para o estudo da Física [9].

Muitos pesquisadores em ensino de física defendem que o trabalho experimental é um meio por excelência para a criação de oportunidades para o desenvolvimento dos alunos. Os alunos também devem estar motivados para a execução de trabalhos experimentais, em qualquer nível de ensino, é preciso que a tarefa que os professores lhes proporcionem seja apelativa, que constitua um desafio, um problema ou uma questão que o aluno veja interesse em resolver, que se sinta motivado para encontrar uma solução. O desenvolvimento de atividades experimentais pode ser uma possibilidade de transição dos modelos tradicionais de ensino para a construção de formas alternativas de ensinar Física [9].

Logo esse trabalho, apresenta um conjunto de atividades experimentais voltadas ao ensino e sua aplicabilidade em sala de aula. Levando em consideração que os experimentos são uma excelente ferramenta, no ensino de física, por diminuírem o nível de abstração dos conteúdos trabalhados e a maneira como as quais atividades são conduzidas, visa fazer com que os próprios estudantes sejam protagonistas no processo de ensino aprendizagem. Assim, contribuindo para uma metodologia de ensino de física menos tradicional, onde o estudante tenha uma postura ativa no processo de ensino aprendizagem e na construção do próprio do conhecimento, de modo que ele possa ser significativo.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA: TERMOELETRICIDADE

3.1. ENERGIA TERMOELÉTRICA

A Termoeletricidade, ou termoeletricidade, é a eletricidade gerada pela conversão de energia térmica em energia elétrica. Essa energia térmica muitas vezes resulta do calor gerado a partir da queima de algum tipo de combustível – que pode ser fóssil, como carvão, petróleo, gás, ou orgânico, como biomassa –, ou por meio da fissão nuclear. O calor gerado em uma usina termoelétrica produz vapor à alta pressão, que é usado para movimentar uma turbina e nela a energia térmica é, então, convertida em energia elétrica. Outro método também de obter energia termoelétrica é por meio dos geradores termoelétricos, que usam a diferença de temperatura entre meios ou superfícies para isso [10].

A geração termoelétrica é de longa data amplamente conhecida na produção de energia elétrica. As primeiras unidades de geração de eletricidade vêm do final do século XIX, e eram alimentadas por carvão mineral, matéria prima abundante na Europa e nos Estados Unidos. Até hoje, o suprimento de energia elétrica proveniente de térmicas a carvão é significativo em países industrializados. Apesar das pressões ambientais para minimizar a emissão de gases e de VOCs (compostos voláteis em suspensão) originados durante a queima do carvão, este tem se mantido competitivo pelo fato de ser uma fonte de energia barata que se reflete no custo do kWh gerado e no rápido retorno do capital investido [11].

O abastecimento de energia elétrica foi introduzido no Brasil em 1879, logo após a invenção de geradores de eletricidade, acompanhando os desenvolvimentos técnicos na Inglaterra e nos Estados Unidos. Na época, as usinas eram todas hidrelétricas, utilizando a energia hidráulica de quedas d'água, ou de correntes rápidas de água para movimentar turbinas hidrelétricas. Mais tarde, entraram no mercado brasileiro geradores movidos a vapor, produzindo energia em usinas termoelétricas a partir da queima de combustíveis fósseis. O primeiro serviço público de iluminação municipal foi inaugurado em Campos, no Rio de Janeiro, em 1883, com energia gerada em usina termoelétrica [10].

No Brasil, em 2010, aproximadamente 79% da energia era gerada nas cerca de 450 usinas hidrelétricas, grandes e pequenas, que produziam 86.700 milhões de kilowatts. O restante da nossa energia se originava, naquele ano, de usinas termoelétricas, sendo que a queima de combustíveis fósseis, como carvão, gás, óleo diesel, óleo combustível e gás contribuíam com 14% e a queima de biomassa com 4%; de usinas nucleares, que produziam 2%; e da energia eólica, gerada pela força dos ventos, que contribuía com 1% do total [10].

A abundância de recursos hídricos no Brasil e o elevado grau de tecnologia de construção de usinas que se desenvolveu no país foram fatores determinantes para que as hidrelétricas predominassem em nosso modelo energético. Como a energia hidrelétrica é sujeita a variações sazonais de pluviosidade, a construção de reservatórios de água permite a geração de eletricidade quando chove pouco. Ainda assim, podem ocorrer períodos críticos que justifiquem a geração com outras fontes energéticas além da hidrelétrica [10].

3.2. HISTÓRIA DA TERMOELETRICIDADE E DOS MATERIAIS TERMOELÉTRICOS

Por volta de 1990, uma combinação de fatores – notavelmente as preocupações ambientais com relação aos fluidos refrigerantes inseridos na atmosfera e o interesse no resfriamento eletrônico - levou a uma renovação na atividade científica e tecnologia de refrigeração alternativa. Mecanismos de resfriamento estreitamente relacionados, efeitos termomagnéticos e emissão termiônica, que é o processo pelo qual os portadores de carga, como elétrons ou íons, movem-se sobre uma superfície ou algum tipo de barreira de energia por indução de calor. O tema comum é a presença de correntes elétricas e térmicas acopladas, de modo que também é possível usar os efeitos para gerar energia a partir de uma diferença de temperatura [13].

A física e a ciência dos materiais termoelétricos desenvolveram-se principalmente durante os períodos de fortes atividades industriais. Nas três décadas entre 1821 a 1851, os efeitos térmicos básicos foram descobertos e

entendidos macroscopicamente, e sua aplicabilidade à termometria, geração de energia e refrigeração foram reconhecidas. A única contribuição duradoura nos próximos 80 anos foi a derivação da termoeletrica de Alterkirch. Então, no final da década de 1930, começaram 20 anos de progresso que levou a uma compreensão microscópica da termoeletricidade e do desenvolvimento dos materiais atuais. Essas descobertas ampliaram o campo por mais de uma década, porém as atividades diminuíram por volta de 1970 [13].

Atualmente, o ressurgimento da pesquisa visa trazer um avanço que alterará substancialmente a prática da refrigeração eletrônica. Já, porém, está claro que esta pesquisa tem o selo de sua época, como foi o caso do trabalho entre 1820 a 1850 e 1940 a 1960. Uma agitação de atividade mostrando uma conexão entre eletricidade e magnetismo cercou a descoberta recorrente de Seebeck da tensão termelétrica, e ele, erroneamente, incorporou o magnétismo em sua explicação do fenômeno. Do trabalho de Carnot e Claussius, Kelvin deduziu que o fluxo de calor reversível descoberto por Peltier deveria ter uma "entropia" associada a ele. Ele foi capaz de mostrar que o coeficiente descoberto por Seebeck era a medida da entropia associada à corrente elétrica [13].

Outra compreensão dos materiais termoelétricos aguardava o desenvolvimento da teoria quântica e sua aplicação às propriedades eletrônicas e térmicas dos semicondutores. Aproveitando essa base, equipes de pesquisa termoelétricas focaram na física e ciência dos materiais dos semicondutores conhecidos na época. Quanto ao mundo atual, há dois temas unificadores extraídos da física e da ciência dos materiais: a descoberta de novos materiais com maior complexidade química e fabricação de material em dispositivos de formatos submicrométricos [13].

Devido à sua eficiência, as extensas aplicações de materiais termoelétricos têm sido limitadas a campos especializados onde a satisfação, em vez do custo, é uma consideração importante. Considerando o custo inicial de se estabelecer um sistema termoelétrico, as aplicações termoelétricas com a atual eficiência de conversão são mais adequadas para aplicações em pequena escala. O desenvolvimento de novos materiais termoelétricos com alta eficiência é um dos principais fatores para ampliar a gama de aplicações termoelétricas em média e grande escala. Um "avanço" é necessário para se melhorar a figura de mérito dos materiais termoelétricos (curva que descreve o desempenho termoelétrico dos materiais) [14].

Um grande esforço tem sido feito na pesquisa e desenvolvimento de materiais com melhor eficiência e vários métodos têm sido utilizados. Estes incluem superestrutura de rede, tratamento de plasma, segmentação de material e nanotecnologia. Apesar do sucesso da obtenção de materiais termoelétricos com boa figura de mérito, a dificuldade de comercialização é a barreira para a maior parte desses materiais desenvolvidos em laboratórios de pesquisas [14].

Os dispositivos que podem converter energia elétrica em gradiente de temperatura, ou de modo contrário, produzir energia elétrica a partir de um gradiente de temperatura, são chamados de dispositivos termoelétrico. Com o efeito termoelétrico conhecido, em torno de 1885, a possibilidade de utilizá-lo para a geração de eletricidade foi considerada por Rayleigh, sendo o primeiro a calcular a eficiência, porém os cálculos foram considerados incorretos. Altenkirch desenvolveu corretamente o equacionamento para a teoria de refrigeração e geração termoelétrica, o que mais tarde resultaria no desenvolvimento da chamada teoria moderna da termoeletricidade [15].

Esta teoria considera que bons materiais termoelétricos devem possuir alto coeficiente de Seebeck, alta condutividade elétrica e baixa condutividade térmica a fim de minimizar perdas por aquecimento, esses termos serão explorados mais adiante [15].

Um dispositivo termoelétrico pode ser utilizado tanto para arrefecimento como para geração de energia. Geralmente, sua construção consiste dos arranjos de semicondutores do tipo N e P, em que em contato com uma fonte de calor em um lado e um dissipador de calor do outro lado, eletricidade é produzida, que pode ser convertida em arrefecimento ou aquecimento por inversão da direção da corrente, conforme mostrado na Figura 1. [16].

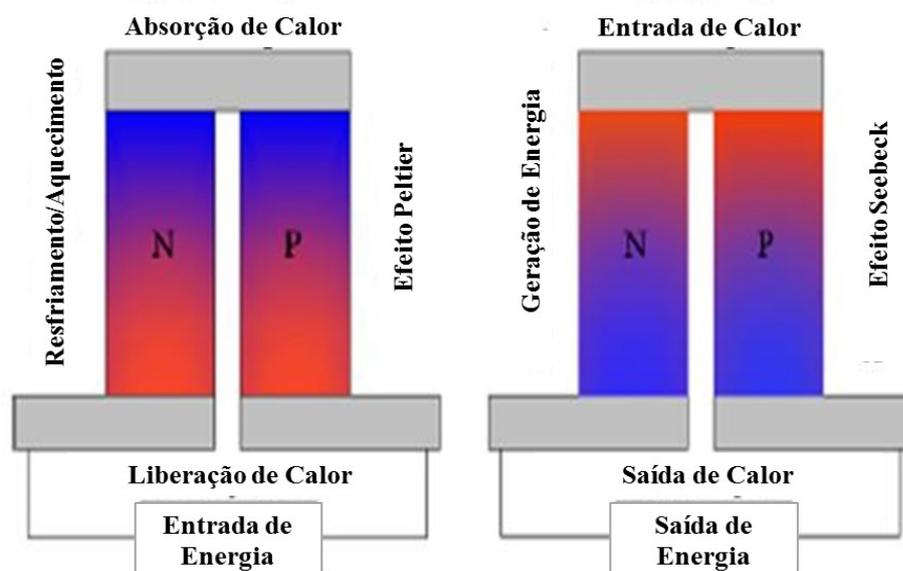


Figura 1. Refrigerador e Gerador termoelétricos.

Apesar da baixa eficiência de conversão de cerca de 10%, quando usados como geradores de energia, eles são fortemente vantajosos devido à ausência de peças móveis. Isso os torna mais confiáveis e duráveis em comparação com as tecnologias convencionais de energia. Além disso, eles são usados sem liberar qualquer poluente para o ambiente durante as operações. Assim, eles são ideais para aplicações em muitas áreas e em escalas diferentes, substituindo os tradicionais métodos de refrigeração e geração de energia [14].

Em dispositivos termoelétricos típicos, os materiais N e P são eletricamente conectados em série e conectados termicamente em paralelo na forma de matrizes planas chamadas módulos. A Figura 2 mostra um par de termopares em um módulo termoelétrico que funciona como gerador de energia. Quando há um gradiente de temperatura através do par P e N, os elétrons carregados negativamente (e^-) no terminal n e os buracos positivamente carregados (e^+) no terminal p movem-se da fonte de calor para o dissipador de calor e conduzem o calor para o frio fim. Conseqüentemente, um fluxo de corrente é obtido a partir da distribuição de carga inicialmente uniforme [14].

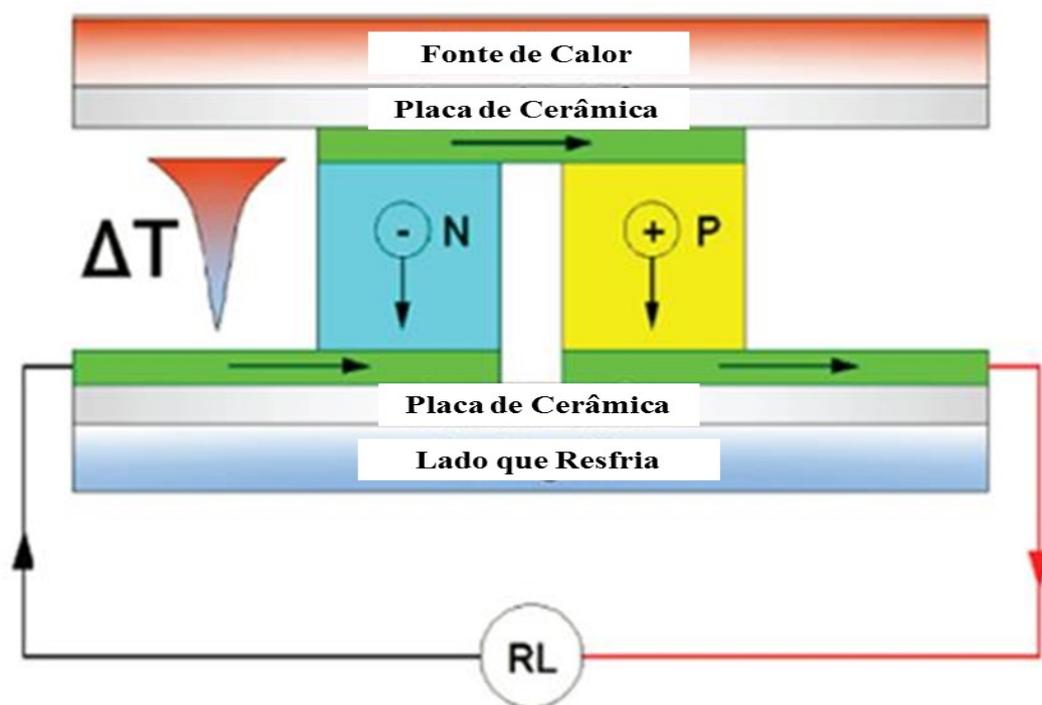


Figura 2. Módulo Termoelétrico

3.3. EFEITOS TERMOELÉTRICOS

Quatro fenômenos acontecem simultaneamente quando dois metais ou semicondutores diferentes são conectados e as suas junções estão a temperaturas diferentes, são eles: Efeito Seebeck, Efeito Peltier, Efeito Thomson e Efeito Volta. Esses efeitos são chamados de Efeitos Termoelétricos, pois existe uma relação entre as condições térmicas e elétricas nos materiais. Ao longo deste trabalho, os três primeiros efeitos serão abordados [19].

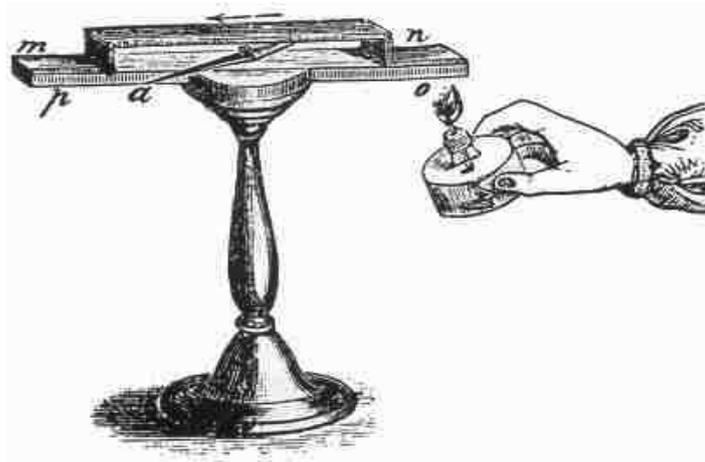
3.3.1. Efeito Seebeck

Entre 1821 e 1823, Thomas Johann Seebeck, Figura 3(a), descobriu que um circuito fechado feito a partir de dois metais diferentes, com junções em diferentes

temperaturas desviava o ponteiro de uma bússola imã, Figura 3(b), o que o levou a acreditar que esse efeito seria devido a um magnetismo induzido pela diferença de temperatura nas junções e que se relacionaria com o campo magnético da Terra. No entanto, rapidamente foi percebido que uma “Força Termoelétrica” induzia uma corrente elétrica e que pela Lei de Ampere desviaria o imã. Especificamente, a diferença de temperatura produz um potencial elétrico (tensão) que conduziria uma corrente elétrica em um circuito fechado. Hoje, esse fenômeno é conhecido como efeito Seebeck [20].



(a)



(b)

Figura 3. (a) Thomas Johann. (b) Representação da bússola imã usada por Seebeck em seus experimentos.

O experimento realizado por Seebeck, da Figura 3(a), encontra-se mais detalhado na Figura 4, que consiste em uma estrutura de dois tipos de metais, o bismuto como base e um arco de cobre, e entre suas junções foi introduzida uma agulha magnética. Uma das junções do bismuto com o cobre foi aquecida e a outra resfriada [17].

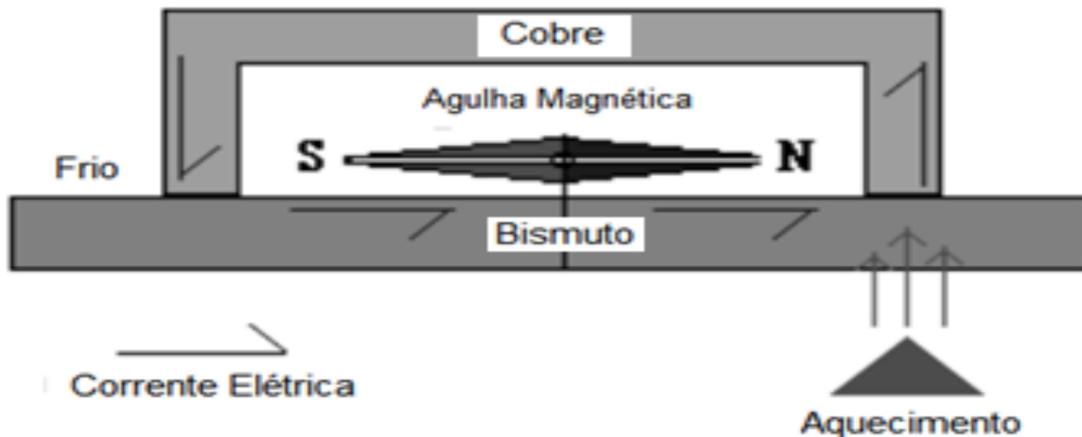


Figura 4. Experimento realizado por Seebeck.

A diferença de temperatura entre as extremidades do material provoca um movimento de elétrons da região de maior nível de energia térmica para a região de menor nível de energia térmica, fazendo assim surgir uma concentração de íons positivos na região oposta e isso gera a diferença de potencial elétrico entre elas [17].

O valor da tensão produzida nesse efeito é proporcional à diferença de temperatura em que se encontram as junções e a constante de proporcionalidade é conhecida como o coeficiente Seebeck. Assim, pode-se estabelecer a seguinte relação:

$$V = \alpha_s \cdot \Delta T = \alpha_s \cdot (T_1 - T_2) \quad (1)$$

Onde:

- V = diferença de potencial gerada entre as junções;
- α_s = coeficiente Seebeck;
- T_1 = Temperatura da junção aquecida;
- T_2 = Temperatura da junção resfriada;

O coeficiente Seebeck muitas vezes é chamado de “termopoder”, embora esteja mais relacionado ao potencial do que ao poder. Em 1851, Gustav Magnus, Figura 5(a), descobriu que a tensão de Seebeck não depende da distribuição da temperatura ao longo dos metais entre as junções, ou seja, só depende de T_1 e T_2 ,

uma indicação de que o termopoder é uma função de estado da termodinâmica. Esta é a base física para um termopar, que é usado frequentemente para medição de temperatura [20].

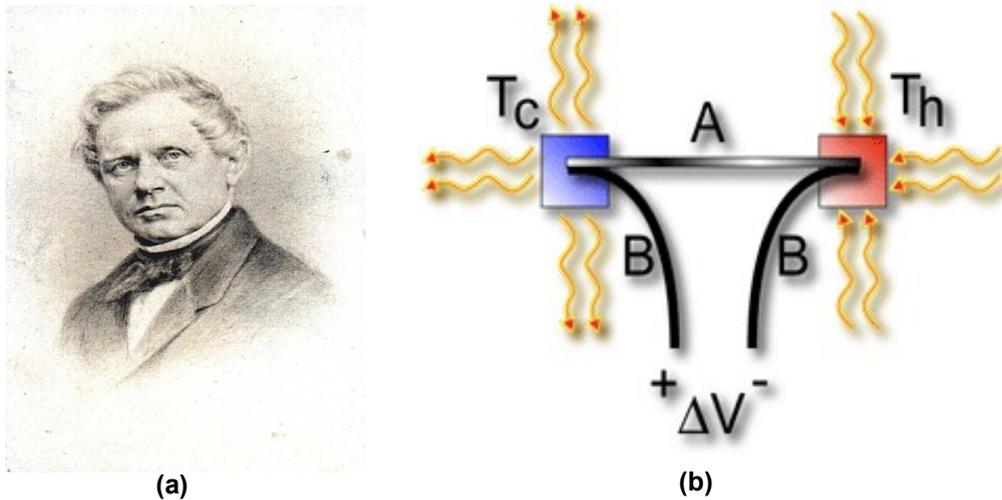


Figura 5. (a) Gustav Magnus. (b) Esquemática de um Termopar

Na Figura 5(b), a diferença de tensão produzida através dos terminais de um circuito aberto constituído de um par de metais diferentes, A e B, cujas duas junções são mantidas a diferentes temperaturas, é diretamente proporcional à diferença de temperatura da junção quente e fria, T_h e T_c , respectivamente. Tem-se a relação:

$$V = \alpha_s \cdot (T_h - T_c) \quad (2)$$

Seebeck pesquisou muitos materiais diferentes: elementos, ligas e minerais, incluindo combinação de antimônio com zinco, minerais de calcogéneto como PbS e arseneto de cobalto e fez uma ordenação qualitativa do seu efeito Seebeck relativo[20].

3.3.2. Efeito Peltier

Jean Charles Athanase Peltier, Figura 6(a), um relojoeiro francês e físico na outra parte do tempo, em 1834, descobriu um novo efeito termoelétrico ao introduzir

correntes elétricas externas em um termopar de bismuto-antimônio em um dos experimentos construídos por Seebeck, observando que uma das junções esfriava enquanto a outra esquentava devido à passagem de pequenas correntes. Conseqüentemente, a junção que resfriava absorvia calor do meio, enquanto a outra emitia. Em 1838, Lenz observou que ao se inverter o sentido da corrente, a junção que antes resfriava, agora passava a esquentar, assim aquecendo o meio [19].

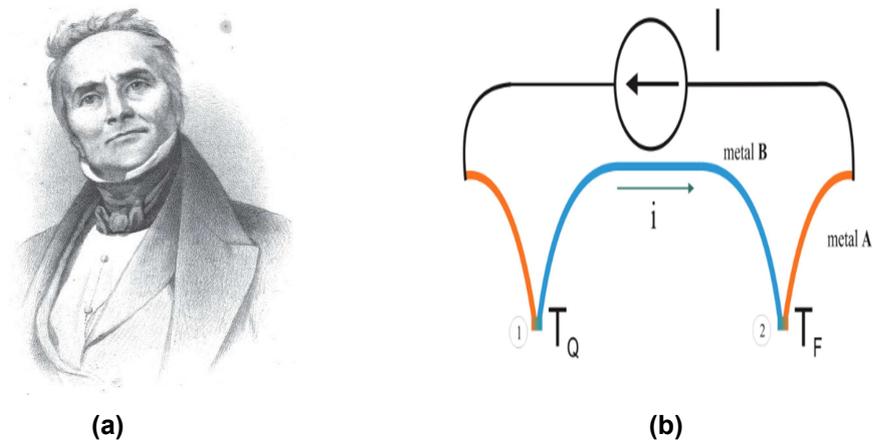


Figura 6. (a) Jean Charles Athanase. (b) Esquemática do experimento feito por Peltier.

Na Figura 6(b), está esquematizado de maneira simplificada o experimento feito por Peltier, com a passagem da corrente I pelas junções dos metais A e B, provocava um aquecimento na junção 1, enquanto era provocado um resfriamento da junção 2, assim as junções estando com temperaturas diferentes, uma mais quente e a outra fria, T_q e T_f , respectivamente. Foi observado então, que a intensidade da corrente era proporcional a quantidade de calor que era absorvida do meio por uma das junções, então definiu-se o coeficiente Peltier pela seguinte relação [20]:

$$q = \alpha_p \cdot I \quad (3)$$

Onde:

- q = quantidade de calor absorvida do meio;
- α_p = coeficiente Peltier;
- I = Intensidade da corrente que atravessa as junções.

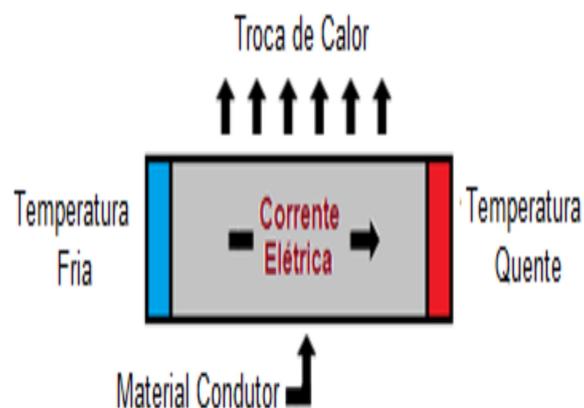
Para obter-se um efeito contrário ao efeito Peltier, basta o aquecimento ou resfriamento externo das junções. Quando uma junção é mantida à temperatura constante e a outra aquecida por uma fonte de energia externa, ainda obtemos uma corrente elétrica em uma direção, sem que estejam ocorrendo outros efeitos termoelétricos. Agora, se a junção que estava a uma temperatura constante, chamada de junção de referência, permanecer assim enquanto a outra junção é resfriada a uma temperatura menor que a da junção de referência, o sentido da corrente é invertido. Deste modo os efeitos Seebeck e Peltier estariam intimamente relacionados, assim o coeficiente Seebeck dos materiais estaria também relacionado com a taxa de absorção ou liberação de calor da junção [20].

3.3.3. Efeito Thomson

Depois dos trabalhos de Peltier, vinte anos mais tarde, Willian Thomson (que viria a ser conhecido como Lord Kelvin), Figura 7(a), descobriu a relação entre o efeito Seebeck e o efeito Peltier, onde os coeficientes dos dois efeitos estão relacionados através da termodinâmica. Ele também constatou a existência de outro fenômeno, mas esse se daria ao longo de um condutor homogêneo [20].



(a)



(b)

Figura 7. (a) Willian Thomson. (b) Efeito Thomson em um condutor.

Nesse efeito, que ficou conhecido como Efeito Thomson, tem-se a reversibilidade de aquecimento e resfriamento quando existe um fluxo de corrente elétrica no condutor, juntamente com um gradiente de temperatura ao longo do mesmo [21].

O condutor, Figura 7(b), tem dois terminais, um quente e o outro frio. Se o terminal quente for conectado a um potencial elétrico maior que o do terminal frio, acontecerá um aquecimento do material devido a corrente que flui em direção da extremidade de menor potencial elétrico. A esse efeito foi dado o nome de efeito Thomson Positivo [16].

Agora, se o terminal mais frio do condutor for conectado a um potencial maior que o do lado mais quente, haverá um resfriamento. Pois a corrente elétrica flui de forma inversa. E esse efeito foi chamado de Efeito Thomson Negativo [16].

No efeito Thomson, a quantidade de transferência de calor em um condutor tem uma relação de proporcionalidade da transferência de calor com a diferença de temperatura dos terminais e a corrente elétrica:

$$q = \alpha_T \cdot I \cdot \Delta T = \alpha_T \cdot I (T_q - T_f) \quad (4)$$

Onde:

- q = quantidade de calor absorvida do meio;
- α_T = coeficiente Thomson;
- I = intensidade da corrente que atravessa o condutor;
- T_q = temperatura da extremidade mais quente;
- T_f = temperatura da extremidade mais fria;

O efeito Thomson também relaciona os efeitos Seebeck e Peltier através da seguinte relação:

$$\alpha_p = \alpha_s \cdot T \quad (5)$$

ou seja, o coeficiente Peltier é igual ao coeficiente Seebeck multiplicado pela temperatura absoluta. A única exceção é quando um supercondutor apresenta resistência zero à passagem da corrente elétrica [21].

3.4. DISPOSITIVOS E MÓDULOS TERMOELÉTRICOS

Os dispositivos termoeétricos, comumente chamados de módulos termoeétricos, são compostos por materiais semicondutores do tipo P e N, arranjados de forma a possibilitar um aumento da densidade de corrente, devido aos efeitos termoeétricos que neles ocorrem, o que propicia uma maior potência de saída. Os materiais mais usados na fabricação são telúrio, antimônio, germânio e prata, que no processo são dopados quimicamente. Essa dopagem, muito comum de ser usada nos semicondutores, garante um aumento na corrente gerada por estimularem ainda mais o fluxo de elétrons ao longo do material, quando submetidos a uma diferença de potencial elétrico [19].

Dois tipos de dispositivos termoeétricos são os mais encontrados no mercado, os que funcionam pelos efeitos [22]:

- Peltier: são células usadas na refrigeração ou aquecimento e também são chamados de refrigeradores termoeétricos, refrigeradores Peltier, ou ainda, TEC (em referência ao termo inglês “thermoelectric cooler”);
- Seebeck: são células usadas para geração de corrente elétrica e também são chamadas de geradores termoeétricos, ou ainda, TEG (em referência ao termo inglês “thermoelectric generator”)

Os módulos termoeétricos comerciais são fabricados para diferentes valores de diferença de temperatura, tamanhos e potências. Além disso, eles apresentam como pontos favoráveis a seu uso o fato da baixa manutenção, confiabilidade, leveza e a grande variedade de seu uso. Na Figura 8, temos exemplos de alguns modelos de módulos termoeétricos comerciais [16].



Figura 8. Módulos Termoelétricos.

Os dispositivos termoelétricos são formados por mais de um par de semicondutores, dentro deles cada um dos semicondutores são chamados de termoelementos e um par de termoelementos forma um termopar. O funcionamento do termopar pode se comparar ao funcionamento do dispositivo termoelétrico. Os termopares são dispositivos que quando suas junções encontram-se em diferentes temperaturas, uma corrente elétrica é produzida, conforme a esquematização na Figura 9 [23].

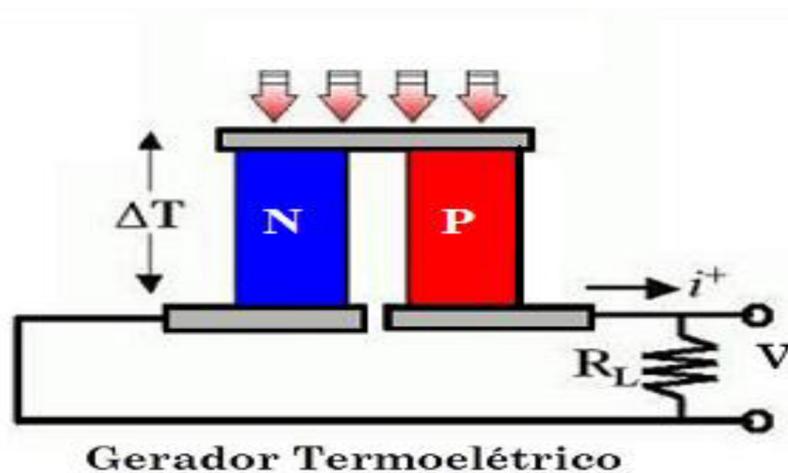


Figura 9. Termopar em um gerador termoelétrico.

Dentro do módulo, os elementos semicondutores dos termopares são conectados entre si através de bons condutores elétricos e soldados entre duas placas de cerâmicas, que possuem função de proteger mecanicamente o módulo e prover um isolamento elétrico. Todas as junções são percorridas pela mesma corrente, as junções que estão aquecendo ficam todas soldadas na mesma placa de cerâmica, análogo para as junções que resfriam. O que implica que todos os termopares constituintes estão eletricamente em série e paralelos termicamente. Assim, o dispositivo terá uma face aquecendo enquanto a outra resfria, ou seja, uma absorvendo e outra emitindo calor, conforme a Figura 10 [24].

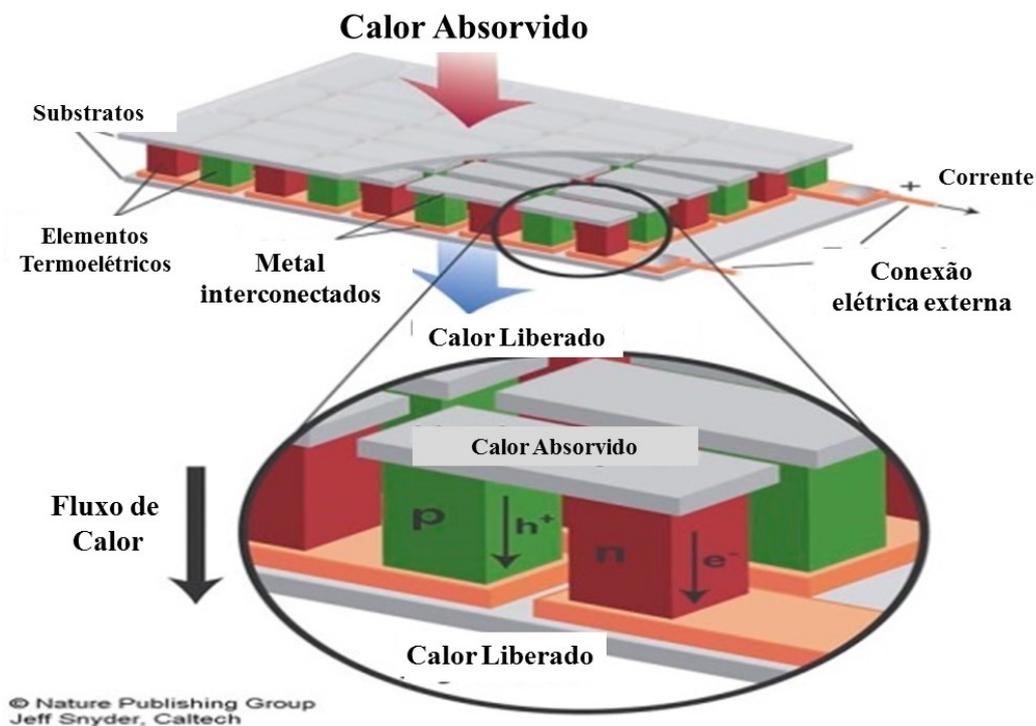


Figura 10. Esquemática de um Módulo Termoelétrico

Os geradores e refrigeradores termoelétricos tem grande semelhança quanto a seu princípio de funcionamento. Nos geradores, quando o gradiente de temperatura é aplicado ao material, os portadores de cargas livres presentes na face quente do módulo tendem a se difundirem em direção a face fria. Esse processo resulta num acumulo de carga elétrica no lado frio, gerando uma diferença de potencial. A carga elétrica será positiva se as cargas livres citadas acima forem “lacunas” e negativa quando estas forem elétrons [26].

As dimensões desses módulos variam de 3 mm de lado por 4 mm de espessura, até 60 mm de lado por 5 mm de espessura. A taxa de calor bombeado máxima varia de 1 a 125 W. A máxima diferença da temperatura entre o lado quente e frio pode alcançar o 70 °C, contendo de 3 a 127 termopares. Existem alguns dispositivos termopares que são dispostos em série (cascata) funcionando em vários estágios com a finalidade de obter diferenciais de temperatura maiores (até 130 °C). A temperatura mais baixa alcançada na prática é de aproximadamente -100°C [23].

Como o lado frio do dispositivo contrai superficialmente e o lado quente expande, os aparatos que possuem área quadrada de lado superior a 50 mm

geralmente sofrem estresse térmico induzido (o que pode gerar um curto-circuito em certos pontos na conexão elétrica), assim eles não são comumente utilizados [23].

Portanto, esses dispositivos não devem ser usados independentemente. Para aumentar sua eficiência e durabilidade, eles podem ser conectados com aparatos de troca térmica, como dissipadores de calor. A teoria básica e a operação dos sistemas termoelétricos foram desenvolvidas por muitos anos. Os sistemas termoelétricos são geralmente microbombas de calor ou os pequenos geradores de potência que seguem as leis da termodinâmica da mesma maneira que bombas de calor mecânicas, compressores do vapor associados com os refrigeradores convencionais, ou qualquer outro instrumento utilizado para transferir energia. Abaixo, na Figura 11, temos um esquema de um sistema termoelétrico resfriando um chip de microcomputador, como exemplo [23].

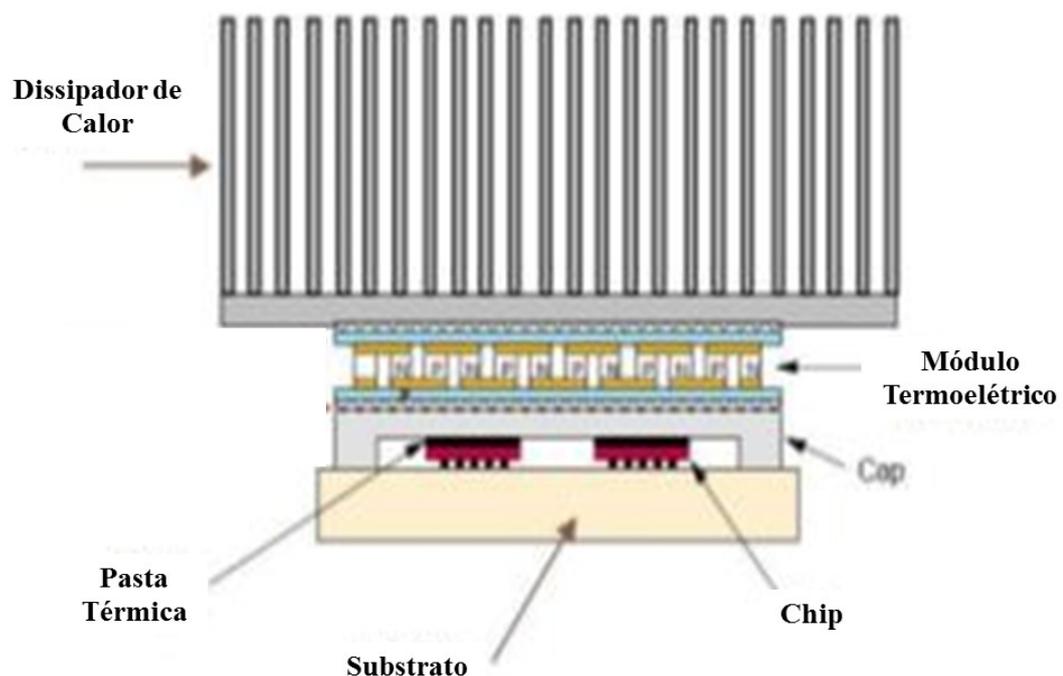


Figura 11. Sistema de refrigeração de um chip eletrônico.

Como o avanço tecnológico, a capacidade de fabricar termoelementos semicondutores cada vez menores permitiu a produção de geradores e refrigeradores termoelétricos extremamente pequenos, os microdispositivos termoelétricos. Esses operam com fluxos de calor mais elevados (calor/área) que

podem beneficiar certas aplicações. Várias técnicas têm sido utilizadas para produzi-los, na Figura 12 temos exemplos de alguns desses microdispositivos [15].

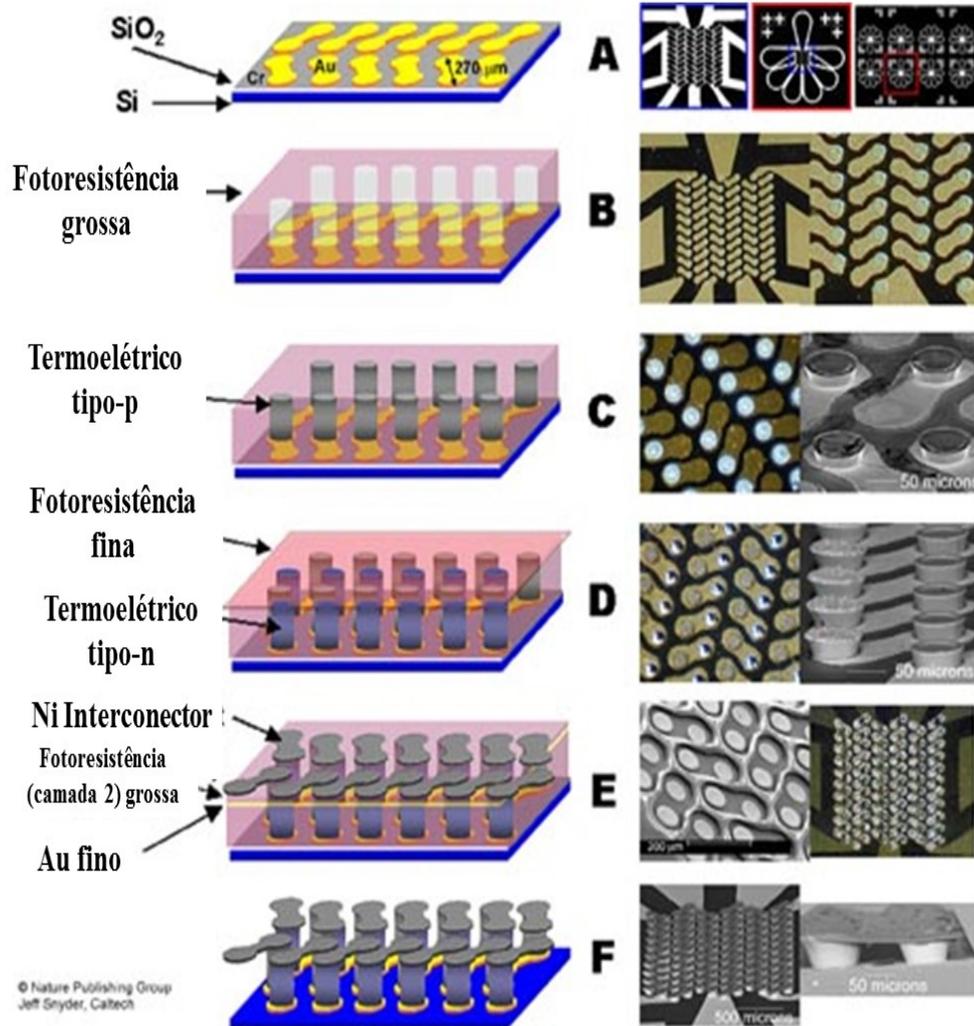


Figura 12. Microdispositivos termoeétricos.

3.5. APLICAÇÕES

Os dispositivos termoeétricos apresentam diversas vantagens para seu uso e por isso têm sido usados em diversas áreas, como aplicações aeroespaciais, na indústria automotiva, nos serviços médicos, em dispositivos eletrônicos, nas instalações residenciais e na detecção de temperatura, por exemplo [25].

Se comparados as células fotovoltaicas, as quais também usam tecnologia verde (não poluentes), a geração de energia tem uma menor eficiência na conservação. No entanto, devido ao grande potencial de geração de energia através de radiação solar e por outros dos vários tipos de fontes de calor, assim como a sua confiabilidade de funcionamento por longo período sem manutenção, tornaram esses dispositivos tecnicamente atrativos [25].

3.5.1. Geração de Energia

No quadro do consumo da energia mundial, o calor leva uma boa parcela, desempenhando um papel fundamental. Além da produção de energia elétrica, ele também pode ser usado como objeto final, como por exemplo, no aquecimento residencial. O calor também é um desperdício na transformação de energia, como por exemplo, na geração ou transporte de energia elétrica [25].

Mais de 60% da energia produzida nos EUA não é utilizada, sendo a maior parte desta encontrada na forma de calor residual onde um dos principais contribuintes está no setor de transporte, onde apenas 20% da energia do combustível acabam sendo uma energia útil. Os materiais termoelétricos permitem a conversão direta entre energia térmica e elétrica, podendo assim recuperar parte dessa energia perdida [25].

O calor será encontrado em quase todas as aplicações de energia e representará uma parcela substancial de perdas de energia. A Recuperação de calor perdido é um passo crucial na redução de nossas necessidades energéticas. Melhorar a eficiência térmica deve ser uma atividade importante para reduzir as emissões de dióxido de carbono, porque sua implementação, em muitos casos, realmente economizam dinheiro [25].

3.5.2. Processos Industriais

Na maioria dos processos industriais, têm-se etapas em que ocorre uma grande perda de energia na forma de calor, sem nenhum aproveitamento. Muitas vezes parte desse calor é usado para algum fim específico ou, simplesmente, são consequências das atividades de produção. Nesse contexto, a termoelectricidade pode ser bastante útil na reutilização dessa energia térmica desperdiçada.

Um exemplo, seria as indústrias de processamento de ferro e aço, onde há grande capacidade de se realizar tomadas de alguns pontos para o reaproveitamento da energia térmica e converte-la em energia elétrica através da utilização de módulos termoeletricos. A Figura 13 mostra uma aplicação para recuperação de calor em fundições através da instalação de módulos termoeletricos para geração de energia através da água utilizada para o resfriamento da escória, onde, a superfície quente é recebida diretamente da água proveniente dos jatos de lavagem da escória e a fria a partir do bombeamento da água fria [11].

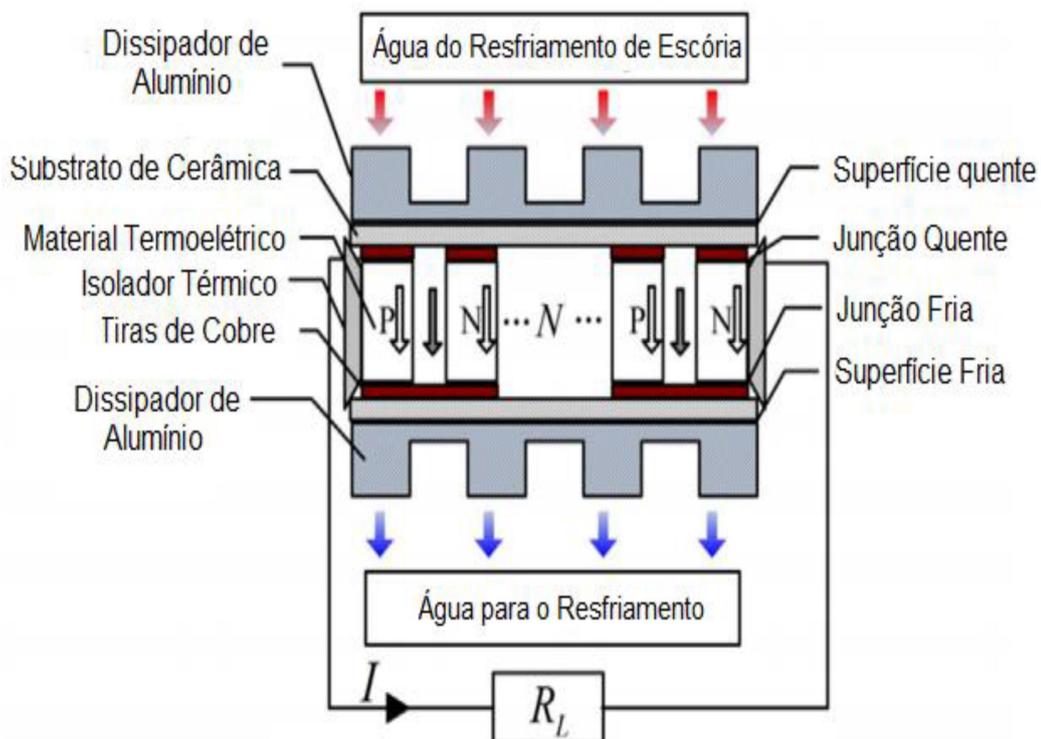


Figura 13. Sistema de recuperação de calor.

3.5.3. Serviços Medicinais

Na área médica, é importante manter vacinas, medicamentos, sangue e outros produtos biológicos dentro de determinadas temperaturas estáveis, para fim de armazenamento e transporte. Para isso, foram desenvolvidos vários tipos de kits médicos de resfriamento termoelétricos controlados por microprocessadores, Figura 14. Alguns deles possuem módulos termoelétricos que operam numa tensão de 12 V, fonte DC, e corrente de 4A [26].



Figura 14. Caixas de transportes de medicamentos.

Em regiões remotas de países em desenvolvimento, como a Índia e China, este novo método mostra uma tendência na forma de transporte de produtos médicos. Para indústria alimentar, alguns alimentos precisam permanecer em determinadas temperaturas durante o transporte e armazenamento, alguns equipamento também usam dispositivos termoeletricos, por exemplo, lancheiras e figrobares termoelétricos [26].



Figura 15. (a) Lancheira Termoelétrica. (b) Frigorifer Termoelétrico

3.5.4. Indústria Aeroespacial

Explorações em locais hostis e inacessíveis, como espaço, avanços na física médica, implantação de sistemas de vigilância marinhos e terrestres, requerem recursos e fontes de energia elétrica de longa duração. Sem partes móveis, sem dependência de posição e de boa adaptabilidade para várias fontes de calor, os geradores termoelétricos apresentam uma ótima alternativa de uso. Sendo bastante desenvolvidos pelo programa espacial dos EUA, eles têm sido usados pela NASA (National Aeronautics and Space Administration) para fornecer energia elétrica para espaçonaves desde 1961 [26].

Os sistemas termoelétricos de geração de energia tem um grande potencial de aplicação para um grande número de diferentes classes, especialmente missões espaciais. À medida que as pesquisas continuam nas conversões de energia para configurações e projetos específicos, a geração de energia elétrica continua mostrando grande força para missões espaciais de curto e longo prazo [26].

Para missões de Exploração Espacial, particularmente para além do planeta Marte, a luz do sol é muito fraca para alimentar uma nave espacial com painéis solares. Em vez disso, a energia elétrica é fornecida convertendo o calor de uma fonte de calor em eletricidade usando geradores termoelétricos. Esses geradores

termoelétricos de radioisótopos (RTG) têm sido usados pela NASA em uma variedade de missões como Apollo, Pioneer, Viking, Voyager, Galileo e Cassini, Figura 16 [25].

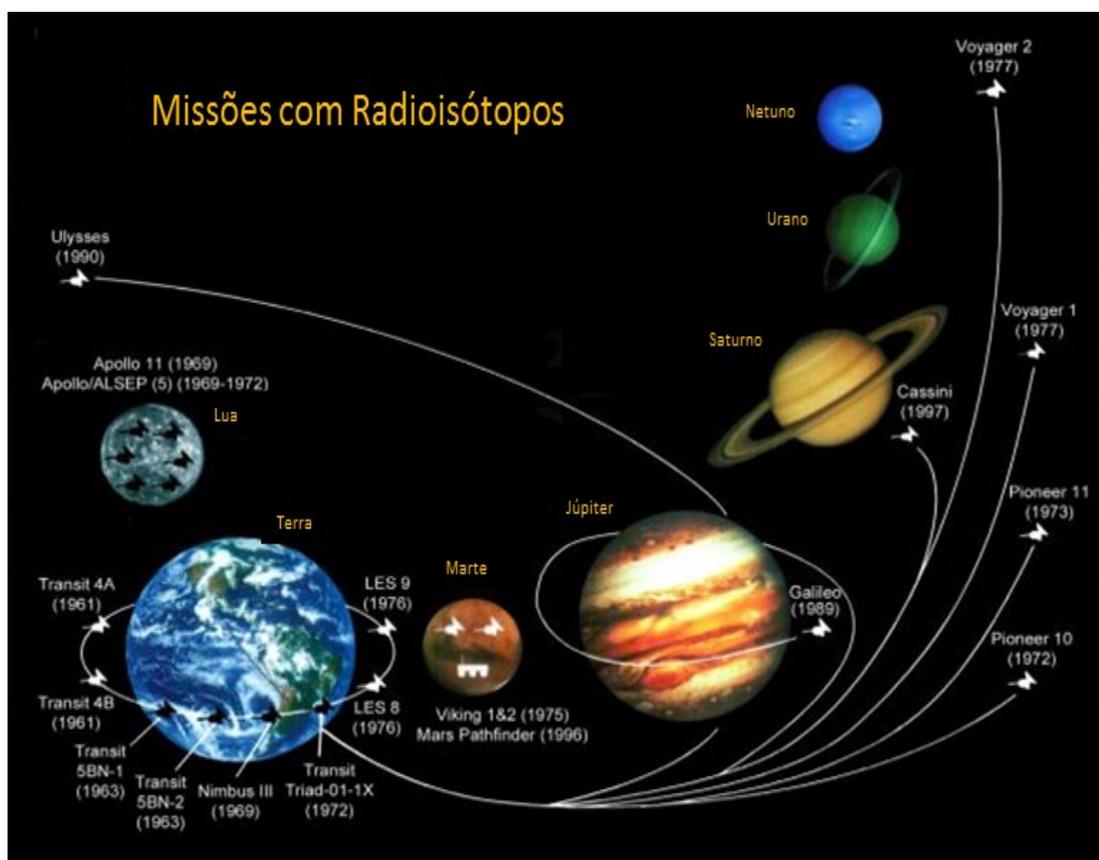


Figura 16. Missões espaciais usando geradores termoelétricos de radioisótopos.

Sem partes móveis, as fontes de energia da Voyager ainda estão em operação, permitindo que a nave espacial continue fazendo descobertas científicas após mais de 35 anos de operação. O rover Curiosity em Marte é o primeiro rover alimentado por energia termoelétrica, usando um Multi-Mission RTG (MMRTG). Na Figura 17, temos um Gerador Termoelétrico Radioisotopo usado na Voyager 2 e 1, Figura 18 [25].

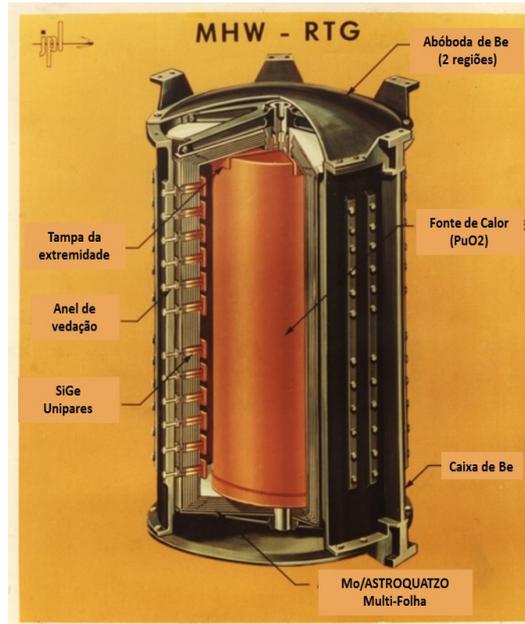


Figura 17. RTG usado na Voyager 1 e 2.



Figura 18. Voyager 1.

3.5.5. Indústria Automobilística

O assento climatizado (CCS – Climate Control Seat) permite que cada utilizador efetue o ajuste de temperatura que deseja qualquer que seja a condição de tempo e em qualquer época do ano, utilizando para isso um microprocessador electrónico e sensores de temperatura colocados em posições que recolhem os

dados térmicos para o microprocessador, Figura 19. Reduzindo assim o consumo de energia, na utilização do ar condicionado, uma vez que o mesmo pode ser regulado para uma temperatura ligeiramente mais elevada (condição de verão) ou mais baixa (condição de inverno), pela utilização dos dispositivos termoelétricos nos assentos [21].

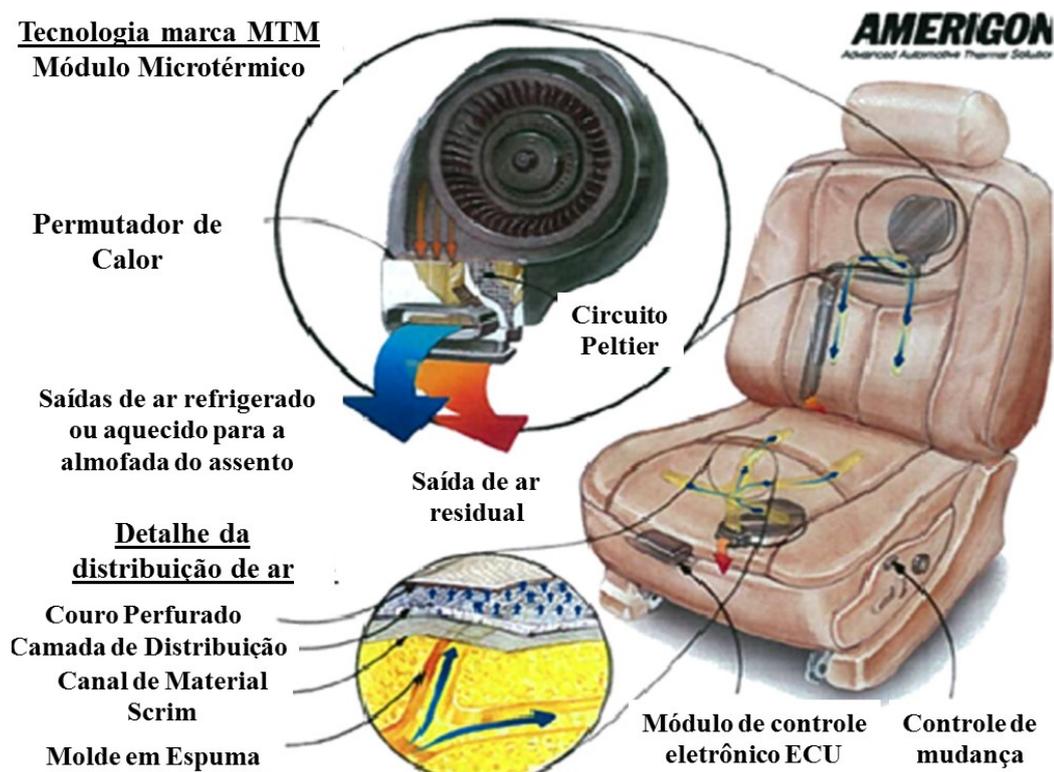


Figura 19. Esquematização do CCS.

A implementação de geradores termoelétricos partindo de gases de escape dos automóveis tem como principal objetivo a melhoria do rendimento global do veículo e a redução do consumo de energia, além de diminuir a quantidade de gases poluentes do efeito estufa liberados na atmosfera. Assim, os geradores recuperariam parte da energia térmica desperdiçada na queima de combustível, conforme esquematização na Figura 20. Várias marcas automotivas vêm anunciando avanços no desenvolvimento desse sistema de reaproveitamento, chegando a anunciarem uma recuperação de 5% do consumo de combustível [21].

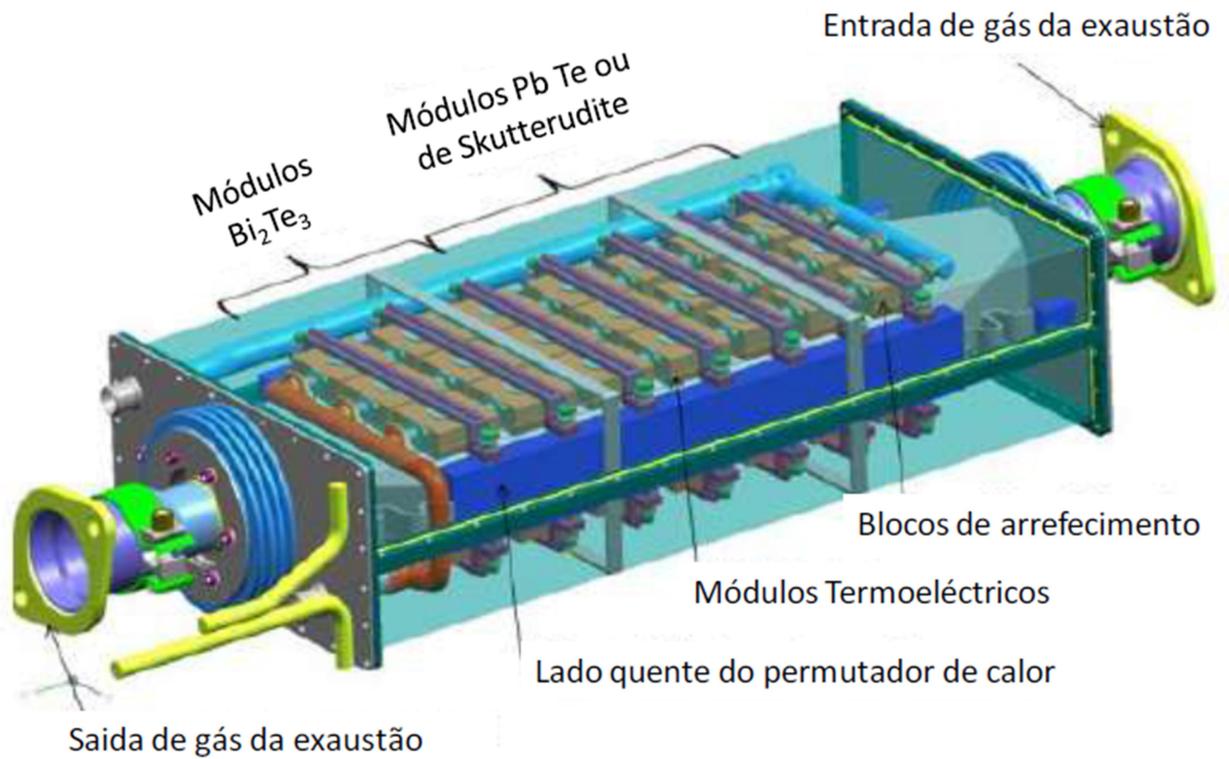


Figura 20. Sistema de recuperação de energia térmica em carros.

4. ELABORAÇÃO E DESENVOLVIMENTOS DAS ATIVIDADES EXPERIMENTAIS

Para o estudo qualitativo e fenomenológico dos efeitos termoelétricos, abordados na fundamentação teórica deste trabalho, foram elaboradas atividades experimentais para uma demonstração e análise prática por meio da elaboração e construção de aparatos experimentais .

Foram construídos 6 aparatos, dentre eles, 5 tiveram como parte integrante e fundamental o módulo termoelétrico do modelo TEC1-12706, que custa em média R\$ 30,00, também chamado de placa Peltier ou pastilha Peltier, Figura 21, que tem a capacidade de aquecer e esfriar objetos em minutos com a simples alimentação dos seus terminais [28].

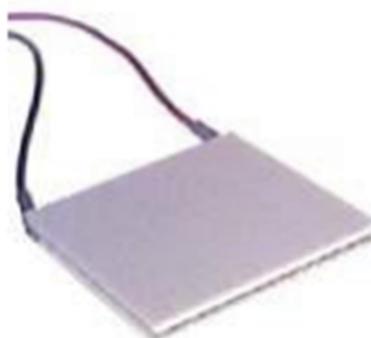


Figura 21. Pastilha Peltier.

Ao inverter a alimentação o efeito será o contrário, ou seja, um lado da pastilha Peltier esfriará e outro aquecerá. Isso permite uma vasta aplicação em projetos como cooler de CPUs, mini-refrigeradores e aquecedores de água. Esta pastilha Peltier TEC1-12706 é selada industrialmente [28].

Após ligar a pastilha Peltier, um dos seus lados irá aquecer rapidamente, enquanto o outro lado resfriará, contudo para que não entre em equilíbrio e comprometa a pastilha é necessário um dissipador de calor do lado quente [28].

O modulo TEC1-12706 tem as seguintes especificações [29]:

- Faixa de temperatura: -30 a 70 Celsius;
- Tensão de operação: 0-15,2VDC;
- Corrente de operação: 0-6A;
- Potência máxima: 60W;
- Dimensões: 40 x 40mm;

4.1. ATIVIDADE EXPERIMENTAL 01: GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA USANDO PLACA PELTIER

O módulo refrigerador termoelétrico, ou placa Peltier, quando atravessado por uma corrente elétrica, produz uma diferença de temperatura entre suas faces. Isso acontece devido ao efeito Peltier, de modo que, uma face absorve calor, enquanto a outra emite. Mas, se esta placa é submetida a uma diferença de temperatura nas suas faces, o efeito inverso acontece, o efeito Seebeck. Assim, nos terminais da placa surgirá uma tensão capaz de estabelecer uma corrente num circuito fechado [19].

Esta atividade experimental tem como objetivo verificar a geração de energia através do efeito Seebeck em um módulo termoelétrico quando suas faces são submetidas a banhos térmicos com diferentes temperaturas, através da construção de um aparato experimental para que medidas dessa diferença de temperatura e tensão produzida, nos terminais do modulo, sejam analisadas e constatada a proporcionalidade entre essas grandezas.

Os seguintes materiais foram utilizados:

- 2 reservatórios de isopor de mesmo tamanho;
- Água quente e água à temperatura ambiente;
- 2 Termômetros digitais espeto TP-101;
- Placa Peltier Tec1-12706 12 Volts;
- Voltímetro Digital 979MD ;

Neste experimento a placa Peltier foi justaposta entre dois reservatórios térmicos com as faces voltadas para lados diferentes. Os reservatórios foram feitos de caixas de isopor de dimensões 14cmx11cmx8cm. Para medir-se as temperaturas dos banhos foram feitos orifícios na tampa de cada um dos reservatórios e introduzidos termômetros neles, os quais permaneciam em contato com a água dos reservatórios. Nos terminais da placa foi conectado um voltímetro, o qual foi utilizado para a medida da diferença de tensão elétrica entre eles. O arranjo experimental pode ser visto no esquema da Figura 22.

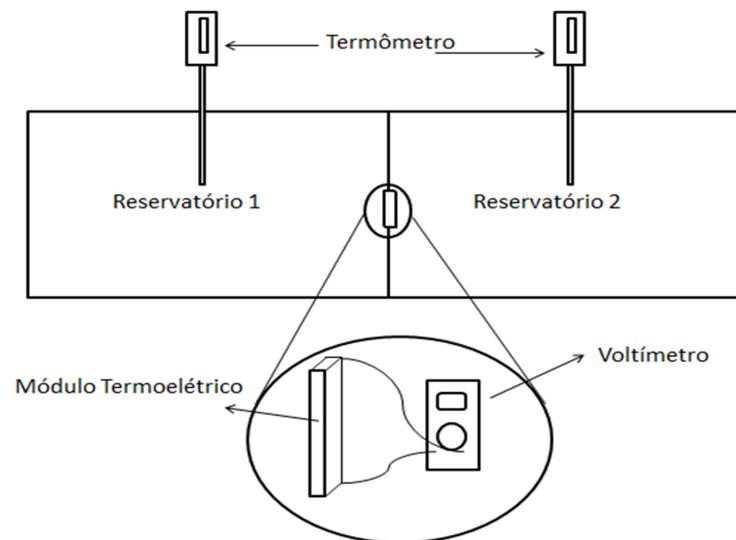


Figura 22. Esquema do experimento de geração de tensão por uma diferença de temperatura da Placa Peltier.

Em uma caixa foi posta água à temperatura ambiente e na outra água quente, em seguida as caixas foram fechadas, conforme Figura 29.



Figura 23. Imagens do experimento de geração de tensão por uma diferença de temperatura da Placa Peltier.

Durante o processo, a temperatura em cada reservatório foi indicada pelos termopares e a diferença entre ambas anotadas, a cada minuto, no intervalo de 30 minutos. Alguns valores da voltagem produzida nos terminais da placa, também foram anotados, Tabela 1.

Tempo (min)	Diferença de temperatura entre as faces	Voltagem (mV)
1	48,5	1,21
5	44,9	1,14
10	40,5	1,03
15	37	0,95
20	33,8	0,86
25	31,2	0,78
30	28,8	0,71

Tabela 1. Diferença de temperatura entre as faces e tensão nos terminas da Placa Peltier.

Para análise do efeito de geração de energia elétrica, foi estudada a tensão elétrica gerada, ou a voltagem, nos terminais da cerâmica termoelétrica em função da diferença de temperatura entre as suas faces cerâmicas devido aos banhos térmicos. A dependência da diferença de potencial elétrico entre os terminais da placa em relação a diferença de temperatura pode ser observada no gráfico mostrado na Figura 24. Este gráfico mostra um comportamento aproximadamente linear da relação entre a tensão gerada e a diferença de temperatura nas faces. Assim, quanto maior for essa diferença, maiores tensões serão produzidas.

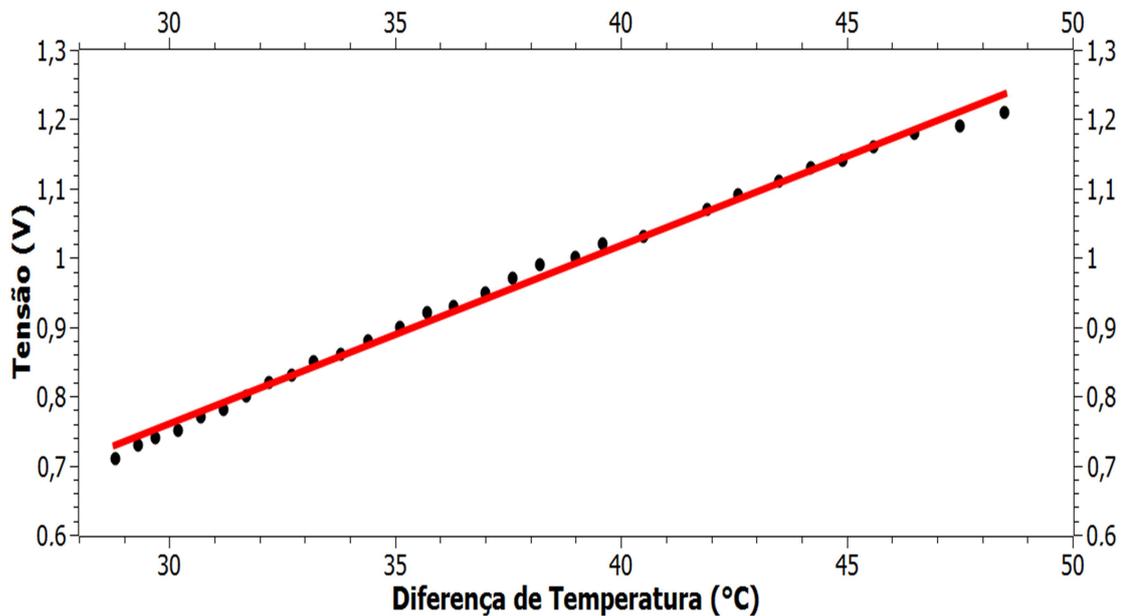


Figura 24. Gráfico da Tensão em função da diferença de temperatura na Placa Peltier.

Usando o software Scidavis, no gráfico acima, encontramos a reta que melhor se ajusta aos pontos experimentais, fornecendo um coeficiente angular de 0,02578 que equivale a taxa de conversão da diferença de temperatura em tensão elétrica, ou seja, 0,02578 V/°C.

O aparato experimental mostra-se satisfatório, pois é possível verificar a geração de energia elétrica devido ao efeito Seebeck que ocorre nos termopares no interior da placa Peltier quando suas faces são submetidas a uma diferença de temperatura, além de fornecer medidas das grandezas capazes de oferecer um ótimo ajuste linear, comprovando a relação de proporcionalidade entre elas.

Este experimento pode ser levado pronto para sala de aula ou ser construído pelos próprios estudantes em laboratório. Assim, pondo em prática suas habilidades e agilidades. Recomenda-se que o aparato seja usado depois de uma exposição teórica sobre os efeitos termoelétricos, enfatizando o efeito Seebeck, para que então os estudantes comprovem o saber científico trabalhado na prática. Eles devem realizar medidas da tensão produzida e da diferença de temperatura, usando folhas de papel milimetrado ou algum software, para construção de um gráfico com essas

grandezas, para então fazer um ajuste linear e encontrar a inclinação reta e dar significado a esse resultado.

4.2. ATIVIDADE EXPERIMENTAL 02: PLACA PELTIER E A REVERSIBILIDADE DO EFEITO

Ao submeter-se os terminais de uma placa peltier a uma diferença de potencial elétrico, gera-se uma corrente elétrica que flue através dela. Esta corrente, por sua vez, passará por todos os termopares que constituem a placa, pois eles estão conectados eletricamente em série. Estes mesmos termopares estão termicamente conectados em paralelo, uma vez que todas as junções de termoelementos que aquecem estão voltadas para a mesma placa de cerâmica do módulo (lado quente), o mesmo acontece com as junções que esfriam (lado frio), Figura 25 [27].

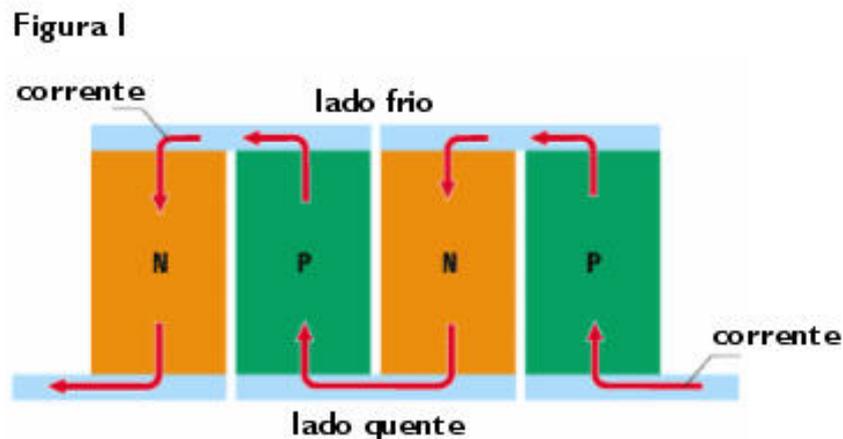


Figura 25. Módulo Termoelétrico

Com a diferença de temperatura entre as faces estabelecida, se a fonte de tensão for retirada, ainda haverá uma tensão nos terminais da placa, sendo esta gerada pelo efeito Seebeck. Este resultado é suficiente para mostrar a reversibilidade desses efeito termoelétricos.

Este experimento tem como objetivo estudar o aquecimento e o resfriamento de reservatórios devido à ação de um módulo termoelétrico conectado a uma fonte de tensão, além de observar a reversibilidade dos efeitos Peliter e Seebeck que nele ocorre e averiguar o fato da taxa de consumo de energia pelo módulo se manter aproximadamente a mesma durante seu funcionamento.

Os seguintes materiais foram utilizados:

- 2 reservatórios de isopor de mesmo tamanho;
- Água;
- 2 Termômetros digitais espeto TP-101;
- Placa Peltier Tec1-12706 12 Volts;
- Fonte de alimentação AC DC ajustável BEST-602D;

A placa peltier é posicinada entre as dois reservatório conforme o esquema abaixo, Figura 26. Os termômetros são introduzidos pela tampa e os terminas do módulo ligados a uma fonte de tensão.

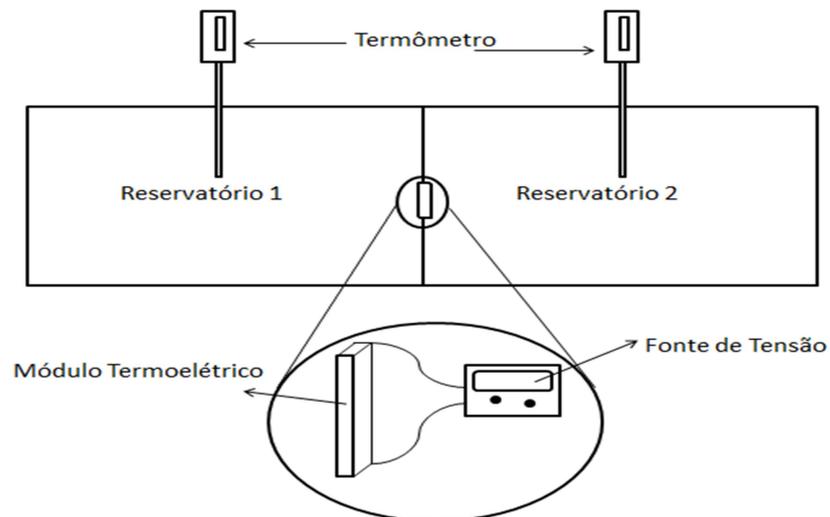


Figura 26. Esquematização do experimento de aquecimento e resfriamento de reservatórios.

Em seguida, a mesma quantidade de água é colocada dentro dos reservatórios, Figura 27(a), os quais são fechados, Figura 27(b).



Figura 27. (a) Reservatórios com a mesma quantidade de água. (b) Sistema em funcionamento.

A tensão foi fixada em 10,01V e, a cada minuto, a diferença de temperatura entre os reservatórios foram medidas com os termômetros. A corrente que atravessa a placa também foi medida. Alguns valores das medições estão na tabela abaixo.

Tempo (min)	Lado que resfria $T_1(^{\circ}\text{C})$	Lado que aquece $T_2(^{\circ}\text{C})$	Diferença de Temperatura (T_2-T_1)	Corrente na placa (A)	Resistência da placa (Ω)
1	25,8	26,5	0,7	2,73	3,666667
5	24,7	29,6	4,9	2,73	3,666667
10	23,6	34,1	10,5	2,65	3,777358
15	22,9	37,9	15	2,62	3,820611
20	22,3	41,4	19,1	2,59	3,864865
25	21,9	44,4	22,5	2,56	3,910156
30	21,6	47,3	25,7	2,56	3,910156

Tabela 2. Valores da temperatura nos reservatórios, corrente e resistência na Placa Peltier.

Todas as medidas realizadas da temperatura dos reservatórios, que resfria e aquece, estão nos gráficos da Figura 28 e 29, respectivamente, a diferença de temperatura entre os reservatórios está no gráfico da Figura 30.

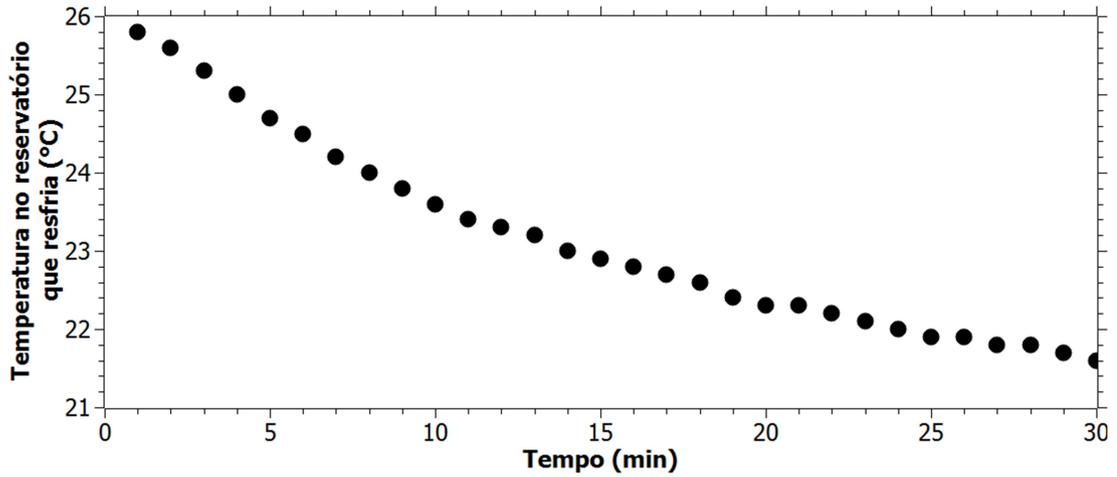


Figura 28. Gráfico da temperatura no reservatório que resfria em função do tempo.

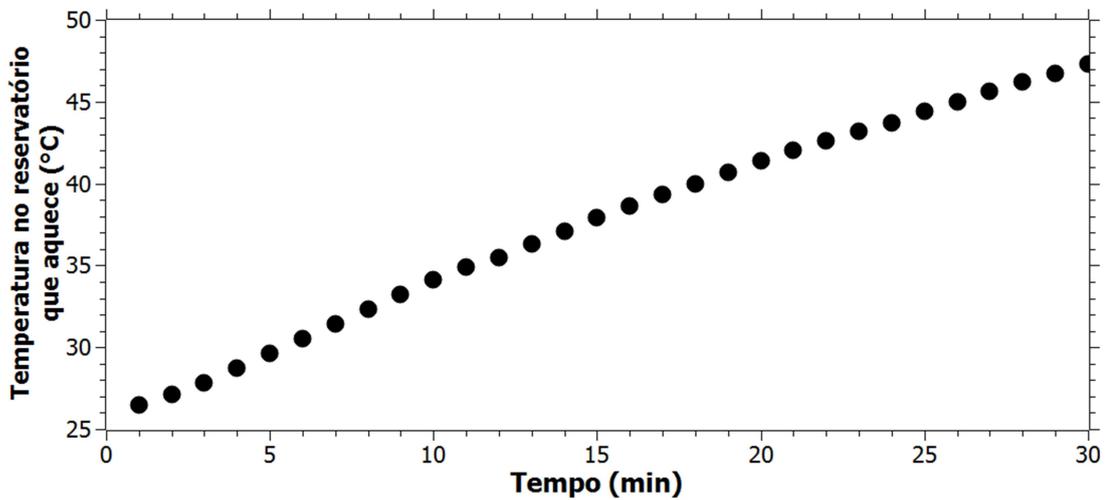


Figura 29. Gráfico da temperatura no reservatório que aquece em função do tempo.

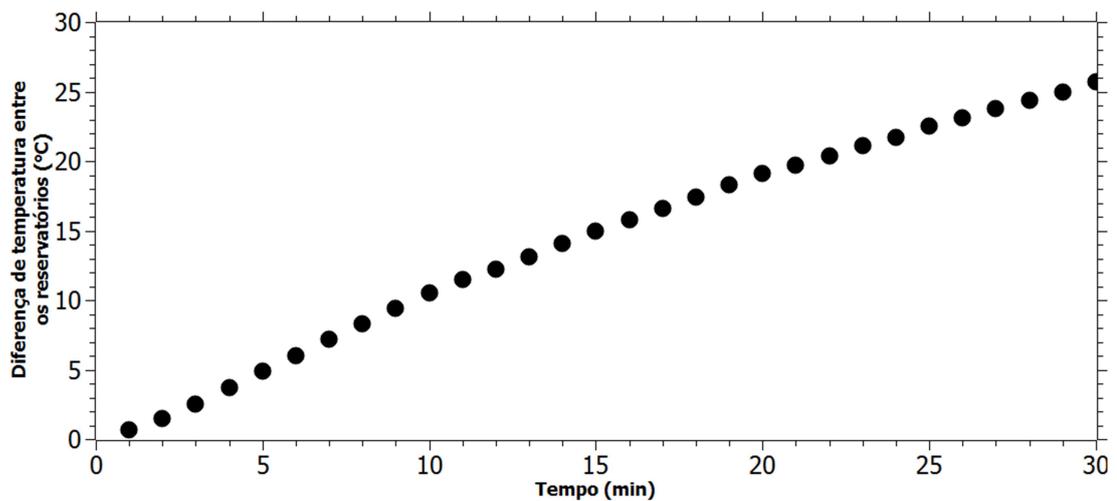


Figura 30. Gráfico da temperatura no reservatório que resfria em função do tempo.

No reservatório que resfria, de acordo com a Figura 35, é possível ver um decaimento exponencial da temperatura, isso é condizente com a lei do Resfriamento de Newton. De acordo com essa lei, o resfriamento ocorre pela perda de calor do corpo para um banho térmico em menor temperatura [30].

Seja T a temperatura de um objeto aquecido e T_a a temperatura ambiente, quando a diferença de temperaturas ($T - T_a$) não é muito grande, uma quantidade de calor dQ é transferida do objeto para o ambiente, durante um intervalo de tempo dt , de modo que a taxa de transferência de calor ou corrente de calor H é proporcional à diferença de temperaturas, isto é [33],

$$H = \frac{dQ}{dt} = \alpha A(T - T_a) \quad (6)$$

em que α é uma constante que depende da condutividade térmica entre os sistemas e A é a área de contato. No caso de um objeto homogêneo, de massa m e calor específico c , transfere para o ambiente, durante esse intervalo de tempo, a quantidade infinitesimal de calor $dQ = -m c dT$, em que dT corresponde à variação de temperatura, devido ao resfriamento do mesmo. Então, pode-se escrever [33]:

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{mcdT}{dt} = \alpha A(T - T_a) \quad (7)$$

$$\frac{dT}{dt} = -\frac{\alpha A}{mc}(T - T_a) = -\frac{1}{\tau}(T - T_a) \quad (8)$$

em que τ é uma constante característica dos sistemas.

Supondo que a temperatura do objeto seja T_o no instante inicial t_o , e à temperatura T no instante $t > t_o$, integra-se a equação diferencial Eq.(8), chegando-se ao resultado:

$$T = T_a + (T_o - T_a)e^{(-\frac{t-t_o}{\tau})} \quad (9)$$

ou

$$\Delta T = \Delta T_o e^{-\left(\frac{\Delta t}{\tau}\right)} \quad (10)$$

Um das condições para validade dessa lei, é que a temperatura do reservatório para o qual o objeto perde calor se mantenha constante, isso vale para o reservatório que esfria, a temperatura decai exponencialmente pelo fato da perda de calor para a face fria do módulo termoelétrico, a qual manteve sua temperatura constante pelo fato da tensão nos terminais da Placa Peliter ter sido mantida constante.

Similarmente a Lei do Resfriamento de Newton, também tem-se a Lei do Aquecimento de Newton, que segue o mesmo raciocínio do resfriamento. Porém, no reservatório que esquenta, no aparato experimental, o aumento da temperatura apresenta um comportamento ainda não claramente exponencial e observando o gráfico, da Figura 36, é possível ver que, para a maioria dos pontos experimentais, o melhor ajuste seria o linear. Por tanto, para o período de tempo adotado no experimento, a lei do aquecimento, nesse caso, não pode ser confirmada com satisfação. Talvez pelo fato da diferença de temperatura entre a placa e o reservatório ser consideravelmente alta em relação a taxa de absorção de calor do reservatório, a constante de tempo para o aquecimento seja maior ou a lei não possa ser aplicada.

Assim, é possível ver o efeito termoelétrico oferecido pela placa, de uma face absorvendo calor enquanto a outra emite para os reservatórios refletindo em suas temperaturas, o gráfico da Figura 30 evidencia isso. Durante o processo também foi possível ver que a resistência oferecida pela placa se mantém numa pequena faixa de variação, tendo assim uma resistência equivalente aproximadamente ôhmica, o que implica que a taxa de energia consumida pela placa é aproximadamente a mesma para manter o efeito termoelétrico acontecendo.

Ao retirar a fonte de tensão, como a diferença de temperatura entre os reservatórios já está estabelecida, isso já é suficiente para que o efeito inverso aconteça, ou seja, tem uma diferença de potencial nos terminais da placa devido ao efeito Seebeck.

Depois de uma exposição teórica sobre os efeitos Peltier, Seebeck e o funcionamento dos módulos termoelétricos, esse aparato experimental pode ser construído pelos alunos ou ser levado já pronto para sala de aula. Onde eles serão orientados a fixar uma tensão nos terminais da pastilha Peltier, anotarem as temperaturas dos reservatórios e a corrente no circuito no decorrer do tempo, para

então esboçarem gráficos com essas medidas, semelhantes aos apresentados aqui, usando folhas de papel milimetrado ou algum software, em laboratório, e em seguida interpretarem esses resultados. Além da abordagem de conteúdos da termoeletricidade, o aparato pode ter uma abordagem voltada ao estudo dos sistemas termodinâmicos, trabalhando conteúdos como a Lei do resfriamento e aquecimento de Newton.

4.3. ATIVIDADE EXPERIMENTAL 03: REFRIGERADOR PELTIER

O módulo termoeletrico tem muitas aplicações relacionadas a refrigeração, para isso basta aplica uma tensão necessária para que um dos lados da placa Peliter comece absorver calor do meio e conseqüentemente resfriar o que se deseja. Associando-se à placa a dois dissipadores de calor, haverá um aumento da eficiência, pois evita-se que aconteça troca de calor direta entre as faces cerâmicas deste dispositivo, conforme a Figura 31.

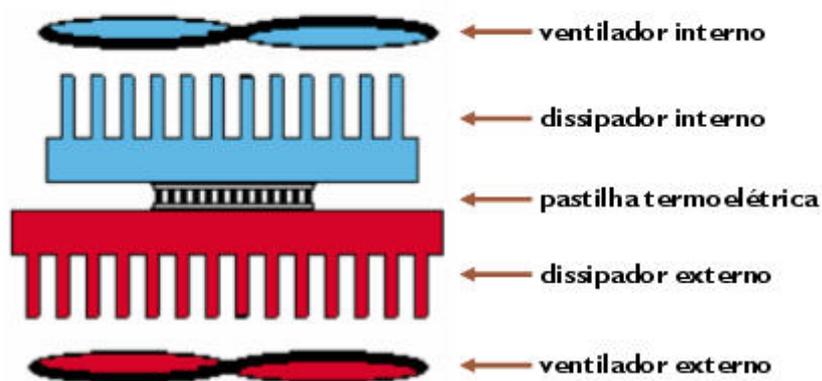


Figura 31. Associação de dissipadores à Placa Peltier.

Partindo desse princípio, será construído um protótipo de uma geladeira, onde será utilizada uma placa Peltier para resfriar o interior de um reservatório.

Os seguintes materiais foram utilizados:

- 1 reservatório de isopor;
- 1 Termômetro digital espeto TP-101;
- Placa Peltier Tec1-12706 12 Volts;
- 2 Fontes de alimentação AC DC ajustável BEST-602D
- 2 dissipadores de calor;
- 2 cooler;
- 1 placa de alumínio;

A caixa de isopor foi posta na posição vertical e na face voltada para cima foi feita uma abertura para pôr-se a placa Peltier. Na parte de cima da placa, foi posto um dissipador de calor associado a um cooler. Na parte de dentro caixa, a placa Peltier foi posta em contato com uma placa de alumínio, que tem área igual a da face voltada pra cima da caixa, e nela fixada um dissipador de calor, também associado a um cooler, Figura 32.

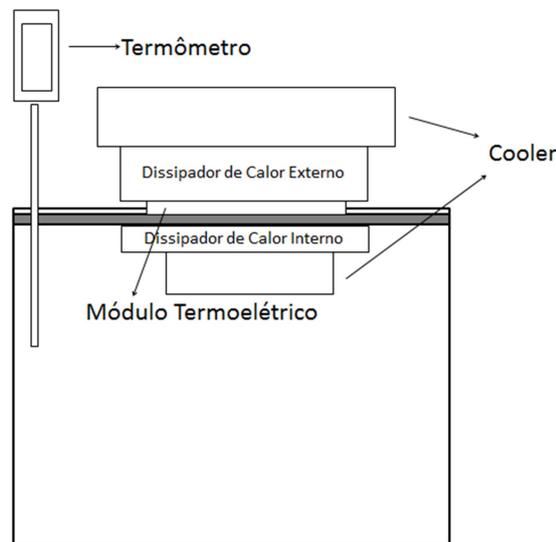
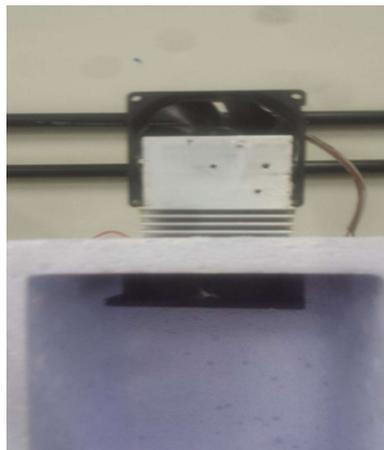


Figura 32. Esquematização da Geladeira Peltier.

Os dois coolers são ligados a uma fonte de tensão, enquanto a placa Peltier ligada a outra (nesse caso, também poderíamos ter usado uma única fonte de tensão). O termopar é introduzido por um orifício feito na caixa, para acompanhar o a temperatura no interior do reservatório. A Figura 33(a) mostra a parte do aparato responsável pela refrigeração, a Figura 33(b) o interior do Sistema já montado e na Figura 33(c) o Sistema já em funcionamento.

Ligando-se o sistema, é possível acompanhar, usando-se o termômetro, uma queda de 3°C da temperatura do interior da caixa num intervalo de 5 minutos o que já é o suficiente para os objetivos do experimento. A eficiência do refrigerador pode ser aumentada através da melhora do contato térmico do lado frio da placa Peltier com o interior da caixa.



(a)



(b)



(c)

Figura 33. (a) Associação de Placa Peltier aos Dissipadores de Calor. (b) Interior do Refrigerador Peltier. (c) Geladeira Peltier montada.

Esse aparato experimental pode ser usado em sala de aula como um projeto desenvolvido pelo professor juntos aos estudantes, pois a sua montagem é mais interessante do ponto de vista didático do que apenas observar o seu funcionamento. Esse processo levará os alunos compreenderem o princípio da construção de um sistema de refrigeração além de aprenderem e usarem suas habilidade com circuitos elétricos simples.

4.4. ATIVIDADE EXPERIMENTAL 04: EFEITO TERMOELÉTRICO EM CONDUTOR HOMOGÊNEO

Não são apenas junções de semicondutores ou metais diferentes que experimentam efeitos termoelétricos sob determinadas condições, isso também pode acontecer ao longo de um condutor elétrico homogêneo. Quando um condutor está submetido a um gradiente de temperatura, ou seja, tem pontos ao longo dele com temperaturas diferentes, entre estes pontos surge uma diferença de potencial elétrico, Figura 34. Esse fenômeno é o efeito Seebeck [17].

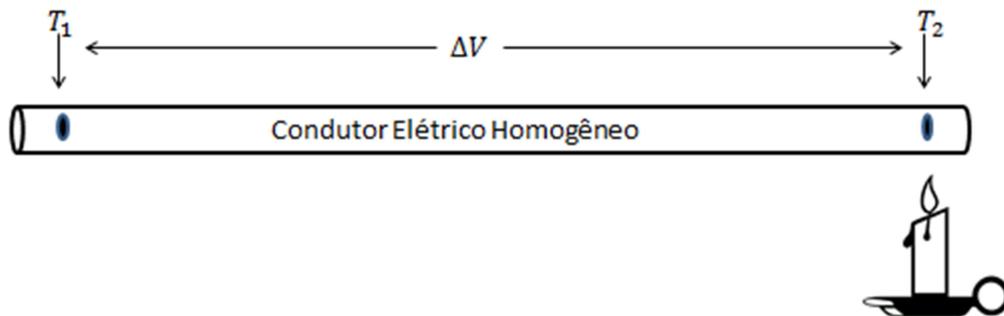


Figura 34. Efeito Seebeck em um condutor.

Neste experimento foi elaborado um aparato experimental, capaz de gerar um gradiente de temperatura ao longo de um condutor e verificar a diferença de potencial entre os pontos que experimentam temperaturas diferentes. O objetivo proposto foi de observar e comparar o efeito Seebeck em diferentes materiais e analisar seus coeficientes Seebeck através das medidas realizadas, com o esboço de gráficos e ajustes lineares e com construção de tabelas para melhor acompanhar o comportamento das amostras durante o experimento.

Os seguintes materiais foram utilizados:

- Dissipador de Calor;
- 2 Termômetros digitais espeto TP-101;

- Placa Peltier Tec1-12706 12 Volts;
- 2 Fontes de alimentação AC DC ajustável BEST-602D;
- Voltímetro digital Agilent DMM 6 1/2 Digit Multimeter;
- Amostras Metálicas de Cobre e Alumínio;

Com a placa Peltier conectada a uma fonte de tensão, tem-se que quando uma tensão constante é aplicada a seus terminais, a temperatura do lado quente é mantida constante. Desta forma a temperatura pode ser controlada em uma das extremidades do condutor elétrico quando o mesmo é colocado em contato térmico com esta face do módulo Peltier. A outra extremidade do condutor é conectada termicamente a um dissipador de calor de alumínio a temperatura ambiente, de forma a gerar fluxo contínuo e não uniforme de calor ao longo do condutor, e impedindo que ele atinja uma mesma temperatura ao longo de seu comprimento. Aqui, tanto a placa Peltier quanto o dissipador térmico funcionam como banhos térmicos, onde a temperatura é mantida constante. Um dos termômetro é posto na placa Peltier e o outro no dissipador de calor. Um voltímetro é conectado as extremidades do condutor, Figura 35.

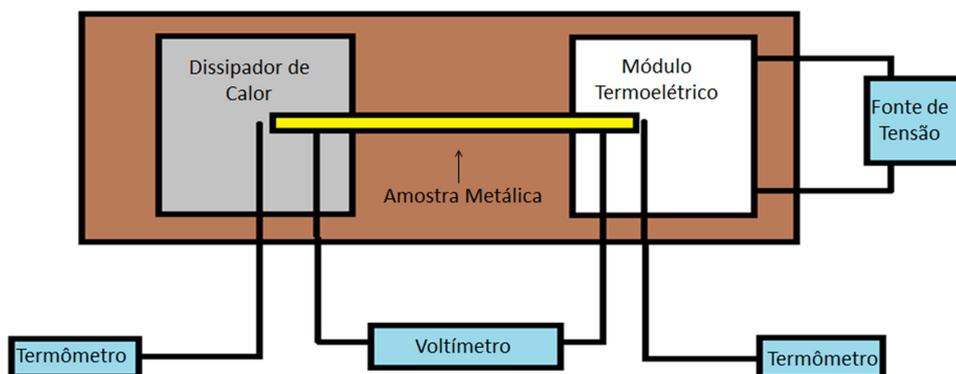


Figura 35. Esquemática do experimento para o efeito Seebeck.

A temperatura na placa Peltier é igual a temperatura da extremidade quente do condutor, a temperatura na extremidade fria é igual a temperatura do dissipador. No procedimento experimental, a tensão na placa é variada entre 0 e 5V, em passos de 0,25V, e a tensão gerada nas extremidades do condutor é medida no momento em

que a temperatura se estabiliza. Para o experimento, dois tipos de amostra metálica, cobre e alumínio, foram utilizadas.

Tensão fornecida (V)	Diferença de Temperatura nos terminais do fio de Cobre (°C)	Tensão gerada nos terminais do fio de Cobre (mV)	Diferença de Temperatura nos terminais do fio de Alumínio(°C)	Tensão gerada nos terminais do fio de Alumínio (mV)
1,00	6,5	0,008	4,5	0,008
2,00	12,3	0,016	11,7	0,022
3,00	20,9	0,023	17,4	0,030
4,00	32,3	0,028	28,4	0,057
5,00	41,6	0,033	40,0	0,075

Tabela 3. Medidas de tensão e diferença de temperatura nas extremidades do condutor, no experimento para o efeito Seebeck.

Neste experimento, foi utilizado um voltímetro especial, capaz de medir voltagem numa escala de microvolts, Figura 36(a). Para os materiais utilizados, o coeficiente Seebeck é bastante pequeno, o que ocasiona a geração de tensão da ordem de microvolts para o intervalo de temperaturas utilizado. Além disto, muitos agentes externos podem interferir na medida. Por exemplo, a passagem de calor de uma extremidade a outra do condutor poderia sofrer alguma perda deste calor para o meio. A figura 36(b) e 36(c) mostram o aparato experimental construído em funcionamento.

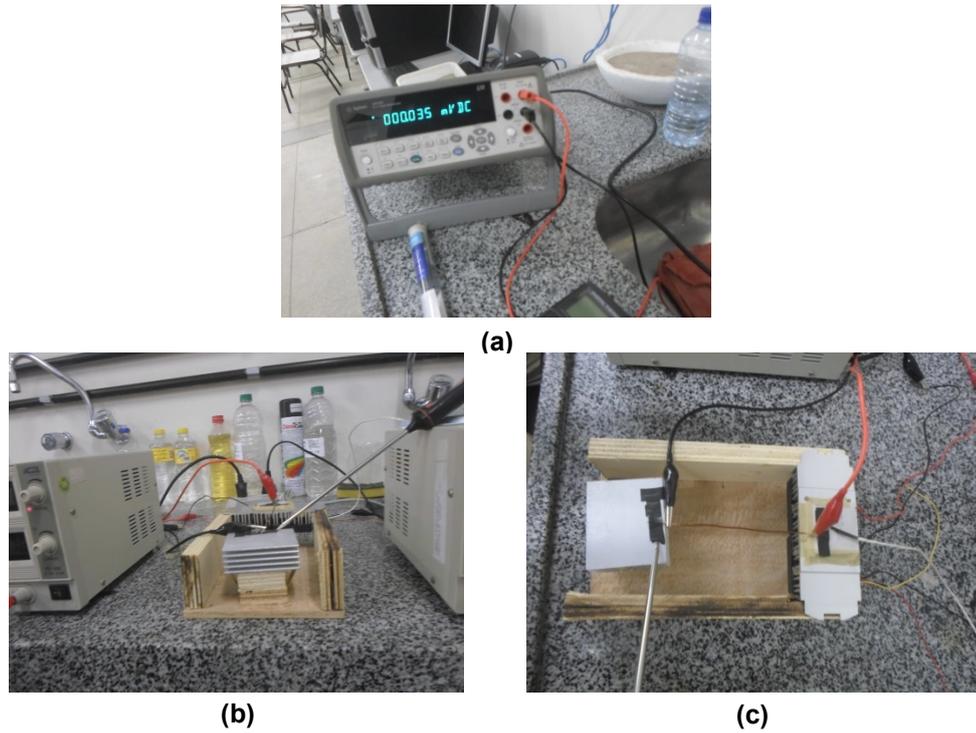


Figura 36. (a) Voltímetro. (b) Aparato Experimental experimental, visão lateral. (c) Aparato Experimental, visão superior.

Todas as medidas realizadas durante o experimento com as amostras de cobre e de alumínio estão, respectivamente, nos gráficos das figuras 37 e 38.

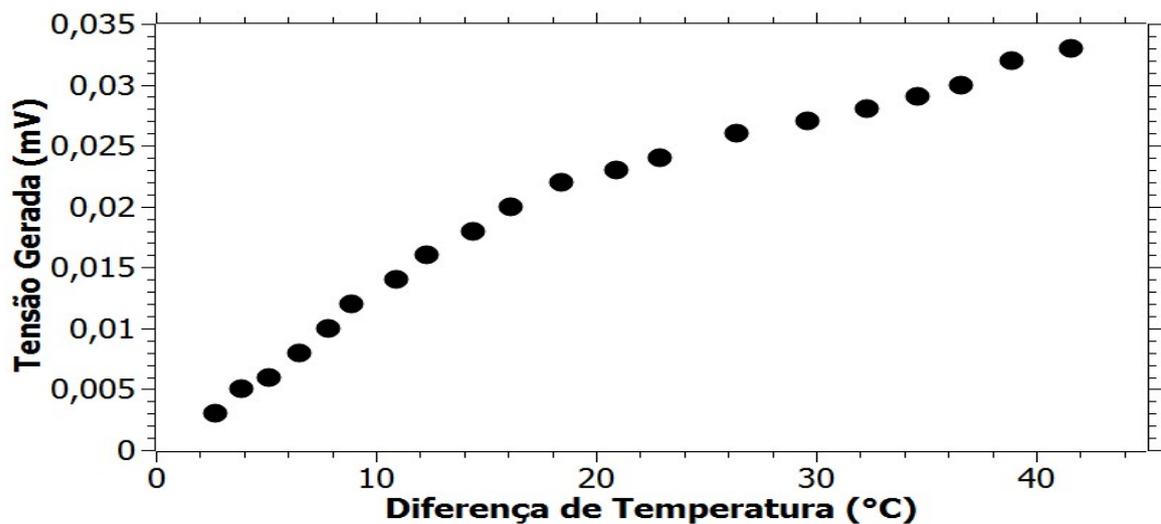


Figura 37. Tensão gerada na amostra de cobre em função da diferença de temperatura nas suas extremidades.

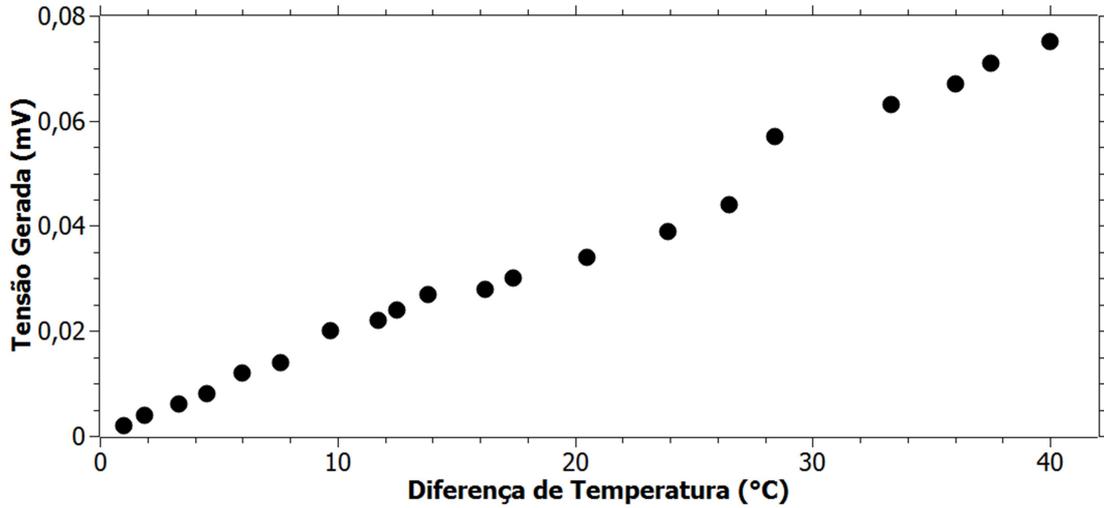


Figura 38. Tensão gerada na amostra de alumínio em função da diferença de temperatura nas suas extremidades.

Usando o software Scidavis para fazer um ajuste linear nos gráficos, das Figuras 37 e 38, obtém-se retas cujo o coeficiente angular correspondem aos coeficientes Seebeck da cada material, conforme mostrado nas figuras 39 e 40.

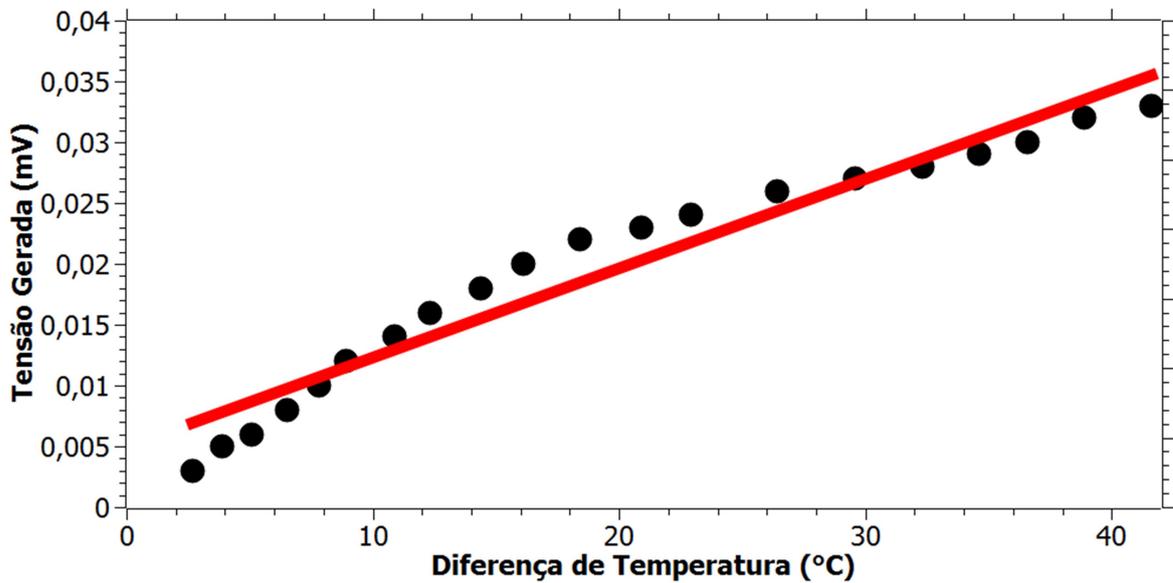


Figura 39. Ajuste linear para as medidas da amostra de cobre.

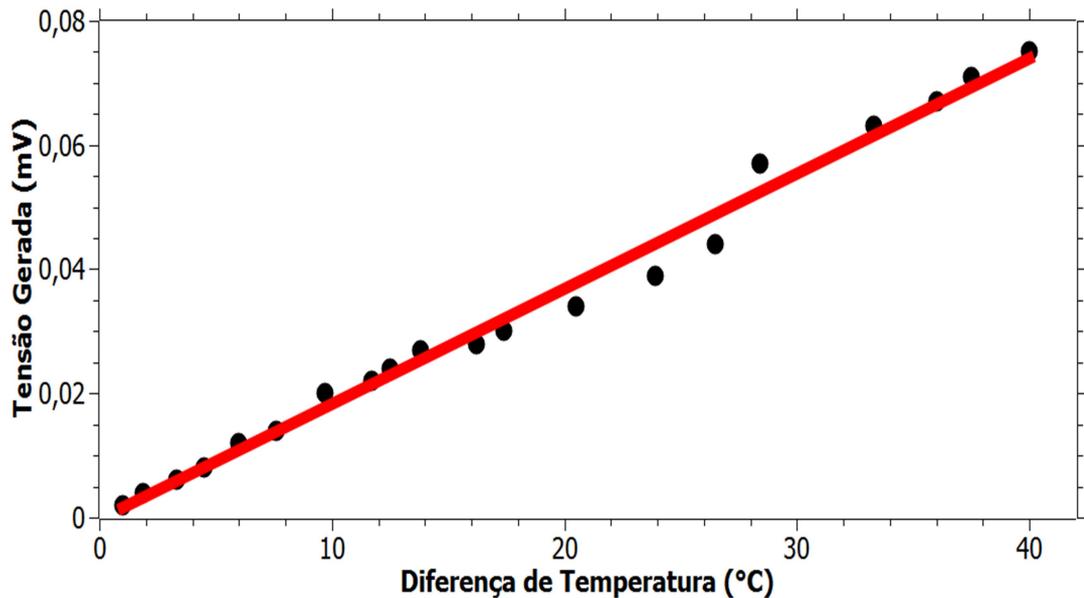


Figura 40. Ajuste linear para as medidas da amostra de alumínio.

Esses valores encontrados foram comparados com os valores dos coeficientes aceitos na literatura científica [22], conforme a Tabela 4.

	Cobre	Alúminio
Coeficiente Seebeck – Valor Teórico ($\mu V/K$)	6,5	3,5
Coeficiente Seebeck – Valor Experimental ($\mu V/K$)	7,3	1,8
Erro Percentual (%)	12,3	48,7

Tabela 4. Coeficientes Seebeck, teórico e experimental, e erro percentual.

Os erros percentuais presentes na Tabela 4 foram calculados usando a seguinte expressão:

$$\text{Erro Percentual} = \left| \frac{\text{Valor Experimental} - \text{Valor Teórico}}{\text{Valor Teórico}} \right| \times 100\% \quad (6)$$

O valor experimental do coeficiente Seebeck encontrado para o cobre é razoavelmente próximo do valor teórico, portanto para ele o aparato experimental mostra-se eficaz, o mesmo não acontece para amostra de alumínio, que teve esse valor experimental aproximadamente 50% menor do que o teórico. Esse fato pode

ser devido a diferença significativa entre a condutividade térmica das amostras, conforme a Tabela 5, pois a do cobre é bem maior que a do alumínio e esse fato favoreceu o estabelecimento do fluxo de calor necessário para observar-se o efeito Seebeck, desse modo o acúmulo de calor ao longo do alumínio teve importantes efeitos nas medidas feitas pela instrumentação usada. Além disto o alumínio utilizado pode ter uma grande quantidade de outros componentes, desta forma não sendo alumínio puro.

Amostra Metálica	Condutividade Térmica (w/ m.K)
Cobre	393
Alumínio	238

Tabela 5. Condutividade Térmica das amostras metálica.

O formato geométrico das amostras era diferente, enquanto amostra de cobre tinha um formato cilíndrico, fio, a amostra de alumínio tinha um formato retangular. Esse fato não impossibilita a comparação entre o efeito Seebeck que nelas ocorriam e seus respectivos coeficientes, pois a tensão Seebeck não depende da distribuição da temperatura ao longo das extremidades metais por ser uma função de estado da termodinâmica.

Analisando as tabelas e os gráficos, a proposta é bem sucedida pois permite claramente visualizar o efeito Seebeck e ainda compara-lo em diferentes materiais, pois para diferença de temperaturas menores, mais tensão foi gerada no alumínio, em relação ao cobre. Isto já era esperado, uma vez que esse efeito também tem relação com a condutividade térmica do material, sendo mais expressivos em materiais com condutividade térmica maiores.

Esse aparato experimental pode ser levado já construído para sala de aula ou para o laboratório, onde o alunos teriam apenas de testar os efeitos em amostras de diferentes materiais condutores elétricos e térmicos. Também podem ser usados materiais isolantes, para que a ausência do efeito seja averiguada. Sobre orientação do professor, as medidas feitas pelos estudantes podem seguir as análises e argumentações aqui feitas. Portanto, essa atividade permite a abordagem de efeitos

relacionados a termoeletricidade, como o efeito Seebeck, e a termodinâmica, ao discutir como a condutividade térmica afeta o fenômeno observado.

4.5. ATIVIDADE EXPERIMENTAL 05: EFEITO TERMOELÉTRICO EM UM TERMOPAR

Um termopar é um dispositivo formado por uma junção de dois condutores ou semicondutores de materiais diferentes. Quando esta junção é submetida a uma temperatura diferente da temperatura de referência existente nos terminais dos condutores que a formam, uma diferença de tensão surge nestes terminais devido ao Efeito Seebeck, conforme esquematização da Figura 41, onde é representado um termopar do tipo *Alumel-Cromel*. *Alumel* e *Cromel* são duas ligas metálicas formadas por diferentes materiais (*Alumel*: 95%Ni (Níquel) e 5%Al (Alumínio) e *Cromel*: 90%Ni (Níquel) e 10%Cr (Cromo)). No termopar, ambos os fios são sujeitos a mesma diferença de temperaturas entre suas extremidades (T_{sense} e T_{ref}). Apesar do par de eletrodos estar sob a mesma diferença de temperatura, os fios tendo compostos diferentes, experimentam o surgimento, através do efeito Seebeck, de diferentes tensões na extremidade em T_{ref} . A diferença de potencial entre os fios em T_{ref} é então medida com o auxílio de um voltímetro e seu valor é proporcional a T_{sense} . Na Figura 41, dois elétrodos de cobre são utilizados como elétrodos de prova. Uma vez que ambos os elétrodos são do mesmo material (neste caso cobre) e estão sob as mesmas temperaturas em suas extremidades (T_{ref} e T_{meter}), a tensão gerada através deles por efeito Seebeck é a mesma e desta forma a diferença de potencial, devido a estes elétrodos, no multímetro é nula. Para que o termopar funcione como um sensor para medida de temperatura, uma calibração é feita relacionando-se a diferença de potencial que surge entre os fios do par e a diferença de temperatura entre as extremidades dos mesmos (T_{sense} e T_{ref}).

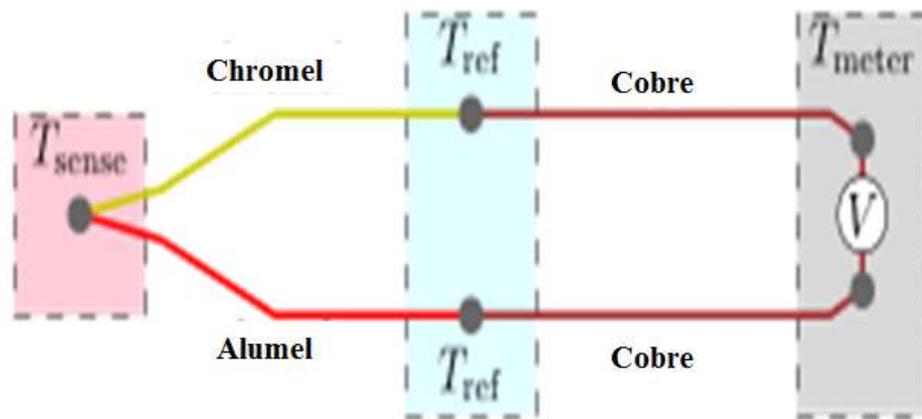


Figura 41. Esquemáticação de um Termopar.

Neste experimento foi construído um aparato experimental semelhante ao da Figura 42, com dois termopares, onde suas junções foram submetidas a diferentes temperaturas e o potencial gerado foi observado.

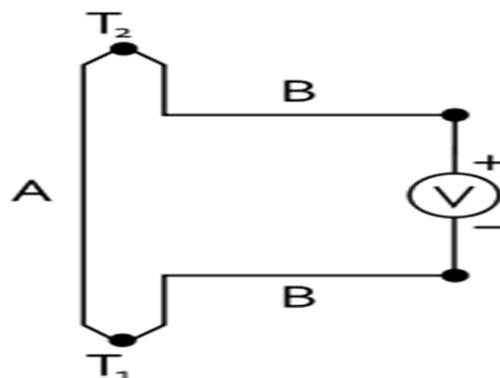


Figura 42. Esquemáticação da união de dois termopares.

Os seguintes materiais foram utilizados:

- 2 pedaços de fios de cobre;
- 1 pedaço de fio de alumínio;
- 2 Termômetros digitais espeto TP-101;
- Placa Peltier Tec1-12706 12 Volts;
- 2 Fontes de alimentação AC DC ajustável BEST-602D;

- Voltímetro digital Agilent DMM 6 1/2 Digit Multimeter;
- 1 vela;

Nas extremidades do fio de alumínio, foram feitas duas junções com os fios de cobre, voltando a Figura 42, os fios de cobre são o material B, enquanto o fio de alumínio é o material A, conforme Figura 43.



Figura 43. Termopares de Cobre e Alumínio. (b) Junção de Alumínio e Cobre

Então as extremidades dos termopares construídos foram ligadas a um voltímetro, fechando assim o circuito. Uma das junções foi mantida a temperatura ambiente, funcionando como T_{ref} enquanto a outra foi, por contato térmico, aquecida e resfriada pela Placa Peltier (neste caso, T_{sense}). É importante ressaltar que quando a placa Peltier é submetida a uma tensão fixa, a temperatura em ambas as faces se estabiliza em um valor constante. O termopar (termômetro) foi fixado nessa mesma junção.

Algumas definições são tomadas para este experimento:

T_1 = junção que é aquecida ou resfriada em contato com a placa Peltier;

T_2 = junção de referência à temperatura ambiente;

Na Tabela 6 estão os valores da tensão fixada na placa e os valores das temperaturas da junção sobre ela e a tensão gerada nos terminais dos termopares.

Tensão Na Placa (V)	Temperatura da Junção $T_1(^{\circ}\text{C})$	Tensão gerada nos terminais do Termpar (mV)
AQUECENDO A JUNÇÃO		
0,00V	28,2	0,000
1,00V	32,1	0,017
2,00V	36,3	0,035
3,00V	45,5	0,067
4,00V	52,4	0,088
RESFRIANDO A JUNÇÃO		
0,00V	28,2	0,000
1,00V	26,0	0,010
2,00V	23,3	0,022
3,00V	21,5	0,030
4,00V	20,0	0,039

Tabela 6. Tensão na placa, temperatura na junção sobre a placa e tensão gerada.

A temperatura da outra junção permaneceu à temperatura ambiente durante o experimento, que foi $T_2 = 28,2^{\circ}\text{C}$. A Tabela 7 traz a diferença de temperatura entre as junções e a tensão gerada por conta disso:

Módulo da diferença de temperatura entre as junções ($^{\circ}\text{C}$)	Tensão gerada nos terminais dos Term pares(mV)
AQUECENDO A JUNÇÃO	
0	0,000
2,2	0,010
5	0,022
6,7	0,030
8,2	0,039
RESFRIANDO A JUNÇÃO	
0	0,000
3,9	0,017
8,1	0,035
17,3	0,067
24,2	0,088

Tabela 7. Diferença de temperatura entre as junções e a tensão gerada.

Esboçando as medidas da Tabela 7 e fazendo um ajuste linear, usando o software Scidavis, é possível observar que a tensão gerada durante o aquecimento, Figura 44, e o resfriamento, Figura 45, de uma das junções, a tensão gerada nos dois casos é proporcional a diferença de temperatura entre as junções, como já era esperado.

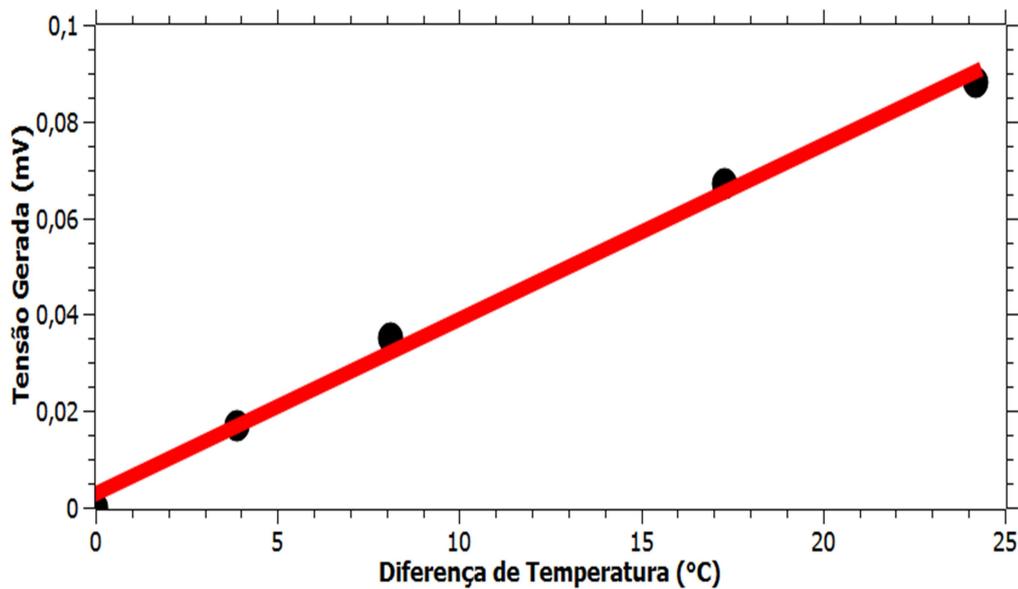


Figura 44. Tensão gerada durante o aquecimento de uma das junções em função da diferença de temperatura.

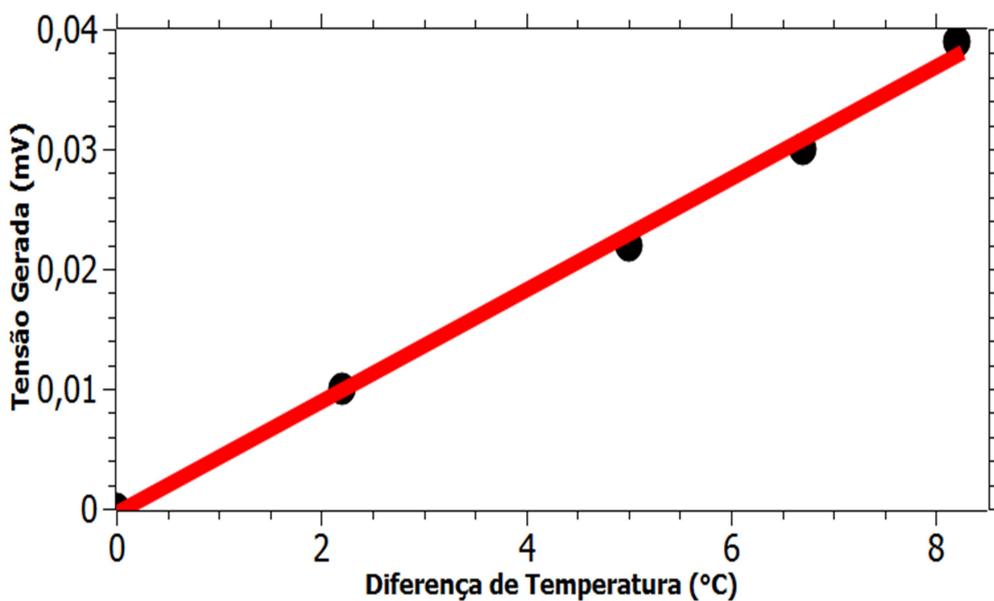


Figura 45. Tensão gerada durante o resfriamento de uma das junções em função da diferença de temperatura.

Desta forma, é possível verificar o efeito Seebeck nos termopares aqui construído, onde diferenças de temperaturas nas junções foram capazes de gerar diferença de potencial nos terminais do mesmo. A Figura 46 mostra o aparato experimental construído.

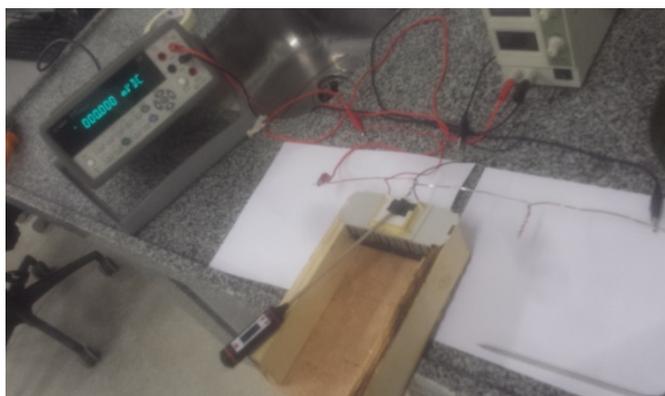


Figura 46. Aparato experimental aquecendo uma das junções.

Ainda usando o mesmo aparato, uma das junções foi submetida a uma forte fonte de calor, Figura 47, uma vela, e a tensão gerada registrada no multímetro cresceu rapidamente, atingindo um pico de 728mV em menos de dois minutos. Assim que a vela é removida, foi possível ver o decréscimo da tensão.



Figura 47. Junção do termopar submetida à chama de uma vela.

Este experimento pode ser montado pelos estudantes em laboratório com orientação dos professores, os termopares podem ser construídos com metais diferentes dos que aqui foram utilizados e as medidas a serem realizadas podem seguir os procedimentos aqui executados. Esse experimento serve para abordar o efeito Seebeck na geração de energia elétrica, o princípio do funcionamento dos geradores termoelétricos que consistem numa união de um número maior de termopares e a idéia básica do funcionamento e utilização de termopares como termômetros.

4.6. ATIVIDADE EXPERIMENTAL 06: ESTABILIDADE DA GERAÇÃO DE TENSÃO EM UM TERMOPAR

Os termopares são sensores de temperatura de fácil uso e obtenção, além disto, são amplamente utilizados na ciência e na indústria. Eles são baseados no efeito Seebeck, "simples", robusto, não precisam de baterias e medem faixas de temperaturas muito amplas. Constituídos, basicamente, através de uma junção entre condutores diferentes, que submetida a determinadas temperaturas, irá produzir em seus terminas uma diferença de tensão específica.

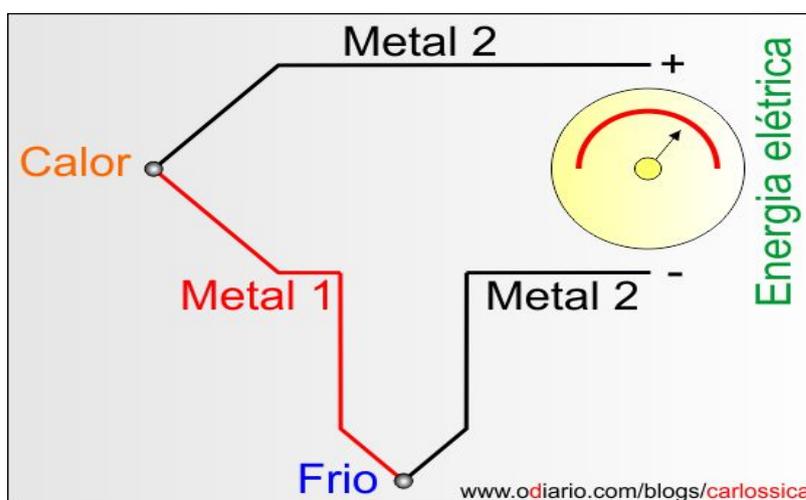


Figura 48. Esquemática do sistema de dupla junção.

Este experimento tem como proposta principal mostrar que ao manter o valor da diferença de temperatura uma junção aproximadamente constante, teremos uma tensão gerada aproximadamente constante, fato que está em concordância com os estudos dos coeficientes Seebeck de diferentes junções, que se a diferença de temperatura é constante, a tensão gerada é também constante. Para isto utilizar-se-á o sistema de duas junções, o qual já foi anteriormente introduzido neste TCC e conforme a Figura 48.

Os seguintes materiais foram utilizados:

- 2 pedaços de fios de cobre;
- 1 pedaço de fio de alumínio;
- 2 calorímetros;
- 2 Termômetros digitais espeto TP-101;
- Voltímetro digital Agilent DMM 6 1/2 Digit Multimeter;
- Água aquecida e água a temperatura ambiente;

Com o pedaço de alumínio e os pedaços de cobre foram construídos os termopares, Figura 43, em seguida cada junção foi posta dentro de calorímetros diferentes, um com água à temperatura ambiente e outro com água quente. Através de um orifício na tampa de cada calorímetro, junto com as junções, foram introduzidos os termômetros, e os terminais do sistema de dupla junção construído foram conectados ao voltímetro, conforme a Figura 49.



(a)



(b)

Figura 49. (a) e (b) Termopares nos calorímetros cos os termômetros.

Algumas definições são tomadas para este experimento:

T_R = Temperatura da junção na água à temperatura ambiente;

T_Q = Temperatura da junção na água quente;

Depois de montado, as temperaturas em cada calorímetro foram medidas a cada 30s, que equivale a temperatura das junções, juntamente com a tensão produzida, esses valores estão na Tabela 8.

Tempo (min)	Temperatura na junção de referência T_R (°C)	Temperatura na junção quente T_Q (°C)	Diferença de temperatura nas junções (°C)	Tensão produzida (mV)
0,5	27,3	72,3	45	0,276
1,0	27,3	72,1	44,8	0,273
1,5	27,3	71,8	44,5	0,272
2,0	27,3	71,5	44,2	0,271
2,5	27,3	71,4	44,1	0,270
3,0	27,3	71,2	43,9	0,270
3,5	27,3	70,9	43,6	0,269
4,0	27,3	70,7	43,4	0,267
4,5	27,3	70,6	43,3	0,266
5,0	27,3	70,4	43,1	0,266
5,5	27,3	70,2	42,9	0,266
6,0	27,3	70,0	42,7	0,265
6,5	27,3	69,8	42,5	0,263
7,0	27,3	69,6	42,3	0,261
7,5	27,4	69,3	41,9	0,261
8,0	27,4	69,1	41,7	0,260
8,5	27,4	68,9	41,5	0,259
9,0	27,4	68,7	41,3	0,259
9,5	27,4	68,6	41,2	0,257
10,0	27,4	68,4	41,0	0,256

Tabela 8. Diferença de temperatura entre as junções e tensão gerada.

Pela Tabela 8 é possível observar uma ótima estabilidade na tensão quando a diferença de temperatura pouco varia e isso vai de encontro com a discussão teórica aqui feita. Esse comportamento também é observado no gráfico da Figura 50, plotado com os dados da Tabela 8. Se os calorímetros tivessem melhor isolamento térmico, a estabilidade apresentada ainda seria melhor.

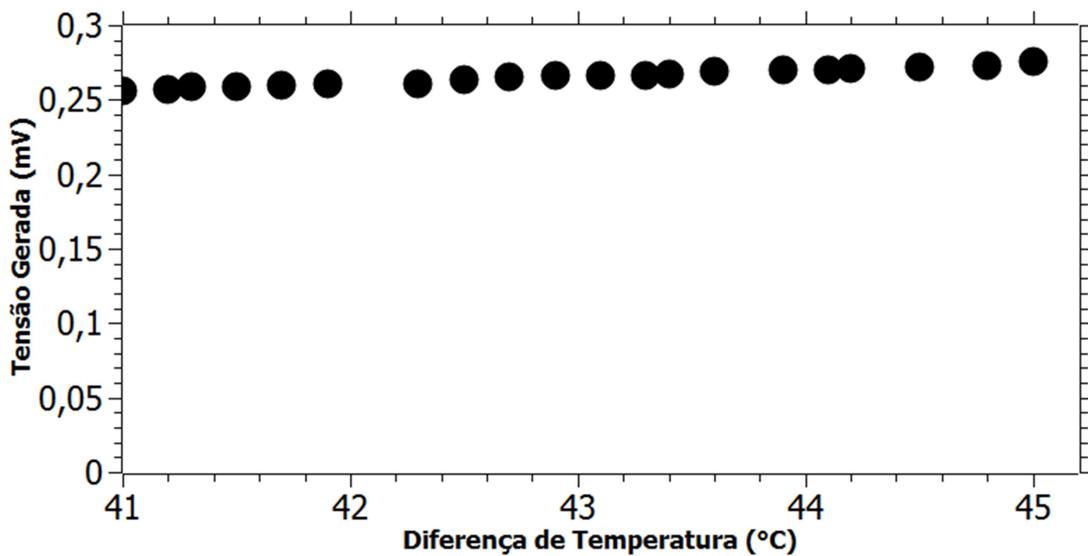


Figura 50. Tensão gerada em função da diferença de temperatura das junções.

A pequena variação da tensão gerada ocorre também de maneira proporcional a pequena variação da diferença de temperatura entre as junções. Esse fato fica mais evidente quando a escala do eixo vertical do gráfico da figura 49 tem a sua escala reduzida, conforme mostrado na figura 51.

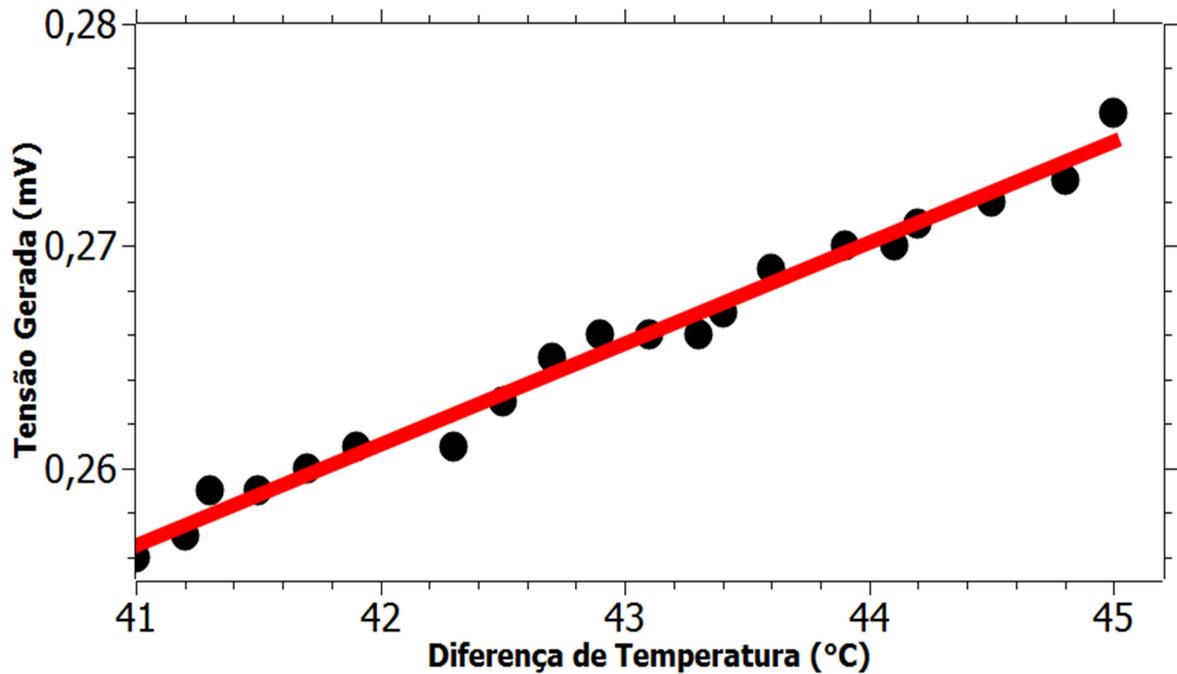


Figura 51. Tensão gerada em função da diferença de temperatura das junções.

Esse experimento pode ser montado pelos estudantes em laboratório onde podem ser usados outros materiais diferentes na construção das junções e então analisar-se as medidas e esboçar gráficos para observar o comportamento da tensão gerada. Este aparato permite trabalhar temas como efeito Seebeck, condutividade térmica e geração de energia com termopares.

5. CONCLUSÃO

Neste trabalho foi realizado um resgate histórico do desenvolvimento da termoeletricidade e dos materiais termoelétricos, partindo das descobertas dos principais efeitos termoelétricos pelos estudos de Seebeck, Peltier e Thomson. Isto proporcionou uma fundamentação teórica para entender-se o funcionamento dos dispositivos termoelétricos, suas principais aplicações e prováveis utilizações. Além disso, estabeleceu-se uma base para elaboração das atividades experimentais que aqui foram apresentadas, realizadas e estudadas.

Tomando-se a importância das atividades experimentais com um meio facilitador para potencializar as chances de um processo de ensino e aprendizagem que seja realmente significativo e acessível aos estudantes, saindo do contraste de ensino de física tradicional, as atividades aqui desenvolvidas foram planejadas com um caráter demonstrativos e qualitativo voltadas ao ensino médio.

Nessas atividades, os efeitos Seebeck, Peltier e Thomson foram abordados e observados de forma abrangente, indo de encontro com a discussão teórica feita na Fundamentação Teórica deste trabalho, de maneira sutil e intencionalmente seguindo uma ordem proposital para geração de conhecimentos que possam ancorar os novos acerca do tema.

Mesmo tendo como principal alvo os estudantes da educação básica, isso não descarta a hipótese dos mesmos experimentos serem aplicados, estudados e analisados em nível de curso superior. Para isso, seria necessário um refinamento nos aparatos experimentais construídos, uma vez que a instrumentação usada para medição apresenta medidas em escalas convenientes para o estudo dos efeitos.

Em tempos de grandes avanços tecnológicos e de crescente demanda do uso de energia em escala mundial, as questões ambientais se fazem cada vez mais presente na busca de novas fontes de energia alternativas, e a termoeletricidade mostra um caminho bastante vantajoso, não apenas por ter muitos de seus dispositivos aplicados a refrigeração, mas por sua atuação em larga escala na geração e cogeração de energia que traria significativos avanços, tanto econômico quanto na oferta da matriz energética mundial.

6. REFERÊNCIAS

- [1] **PCN+ - Ensino Médio. Disponível** em: <http://www.sbfisica.org.br/arquivos/PCN_FIS.pdf>. Acesso em: 11 nov. 2016
- [2] **WORLD POPULATION 2012. Disponível** em: <http://www.un.org/en/development/desa/population/publications/pdf/trends/WPP2012_Wallchart.pdf>. Acesso em: 08 nov. 2016
- [3] **Banco Mundial Elogia Brasil Por Energia Renovável.** Disponível em: <http://istoe.com.br/302130_BANCO+MUNDIAL+ELOGIA+BRASIL+POR+ENERGIA+RENOVAVEL/>. Acesso em: 09 nov. 2016
- [4] **Matriz Energética Brasileira. Disponível** em: <<http://www.neoenergia.com/Pages/O%20Setor%20EI%C3%A9trico/MatrizEnergetica.aspx>>. Acesso em: 09 nov. 2016
- [5] KAWANO, M. S.; PATYK, R. L.; TERADA, G. G.; SACCON, F. A. M. **Identificação do tipo de dopagem de um semicondutor utilizando o efeito termoelétrico.** Revista Tecnológica da FATEC-PR, v.1, n.6, p. 174 - 226, jan./dez., 2015
- [6] SAVIANI, D. (1996). **Escola e Democracia.** 30 ed. Campinas: Autores Associados.
- [7] ROSA, C. W; ROSA, A. B; **O ensino de ciências (Física) no Brasil: da história às novas orientações educacionais.** Revista Iberoamericana de Educación / Revista Ibero-americana de Educação. ISSN: 1681-5653. n.º 58/2. Jan 2012.
- [8] MORTIMER, E. **Linguagem e formação de conceitos no ensino de ciências.** Belo Horizonte: Editora UFMG. 2000.
- [9] Alves, V. F; **A inserção de atividades experimentais no ensino de Física em nível médio: em busca de melhores resultados de aprendizagem.** Dissertação
- [10] **Termoeletricidade E A Energia Nuclear No País.** Disponível em: <http://www.iee.usp.br/sites/default/files/biblioteca/producao/2012/Livros/goldembergt_emeletricidade.pdf>. Acesso em: 14 jan. 2017
- [11] TURDERA, E. M. V. **Disponibilidade de energia termelétrica a gás natural na Região Centro-Oeste.** Dourados, MS : UFGD, 2009.
- [12] HUMEL, V. **Potenciais aplicações de módulos termoelétricos.** 2014. 47f. Dissertação (Graduação do curso de Engenharia Industrial Química). Universidade De São Paulo Escola De Engenharia De Lorena – Eel/Usp, Lorena.
- [13] Nolas, G.S., Sharp, J. Goldsmid, H.H., **Thermoelectrics: basis principles and new materials developments.** Springer Science & Business Media: 2001.
- [14] Riffat, S.B.; MA, Xiaoli. **Thermoelectrics: a reviews of presente and potencial applications.** Applied Thermal Energy, p.913-935, n. 8, 2003.
- [15] Becker, M. P.; **Automatização De Um Sistema Aracterizador De Dispositivos Termoelétricos.** Dissertação (Graduação em Engenharia Mecatrônica). Universidade Federal de Santa Catarina - Joinville, 2016.
- [16] Isidoro, C. L.; **Desenvolvimento De Uma Bancada Didática Para Estudo Dos Efeitos Termoelétricos Aplicados Na Engenharia.** 2015. 140f. Dissertação (do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais – PPGEM,). UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL – Porto Alegre.
- [17] ROWE, D.M. **CRC Handbook of Thermoelectrics.** 701 p. Editora CRC Press: 1995.

- [18] **Aplicações Tecnológicas do Efeito Peltier.** Disponível em: <http://www.univasf.edu.br/~joseamerico.moura/index_arquivos/Cap6.pdf> Acesso em: 25 jan. 2017.
- [19] Mello, H. A.; Biasi, R. S; **Introdução à Física dos Semicondutores.** 138 p. Edgard Blucher LTDA;INL, 1975.
- [20] **Brief History of Thermoelectrics.** Disponível em: <<http://www.thermoelectrics.caltech.edu/thermoelectrics/history.html>> Acesso em: 27 jan. 2017
- [21] FERNANDES, A. E. S. S; **Conversão de Energia com Células de Peltier.** 2012. 119 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas de Potência), Faculdade de Ciência e Tecnologia – Universidade Nova de Lisboa, Caparica, 2012. Disponível em: <<http://docplayer.com.br/596590-Conversao-de-energia-com-celulas-de-peltier.html>>. Acesso em 28 jan. 2017
- [22] PINDADO, R. H. **Climatización Mediante Células Peltier.** 2008. 237 f. Dissertação (Graduação) - Curso de Engenharia Industrial, Universidad Pontificia Comillas, Madrid, 2008. Disponível em: <<http://www.iit.upcomillas.es/pfc/resumenes/48c66604d0038.pdf>>. Acesso em: 28 jan. 2017
- [23] SOUZA, D. H. C. **Otimização do Uso de Refrigeradores Termoelétricos em Processos de Refrigeração.** 2007. 71 f. Dissertação (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade de Brasília, Brasília, 2007. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAE3v0AD/refrigeradores-termoeletricos?part=2>> Acesso em: 28 jan. 2017
- [24] AUDIFFRED, D. B. S. **Utilização De Dispositivos Termoelétricos Para Geração De Energia Elétrica Em Nanosatélites.** Dissertação (Graduação) – Curso de Graduação em Engenharia Aeroespacial, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2015. Disponível: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/133965/Diego_TCC.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 28 jan. 2017
- [25] **Thermoelectrics for Energy.** Disponível em: <<http://www.thermoelectrics.caltech.edu/thermoelectrics/sustainability.html>>. Acesso em: 28 jan. 2017.
- [26] Zheng, X. F; Liu, C. X.; Yan, Y. Y; Wang, Q. **A review of thermoelectrics research – Recent developments and potentials for sustainable and renewable energy applications** Article (PDF Available) in Renewable and Sustainable Energy Reviews 32:486–503 · April 2014.
- [27] **Pastilha De Efeito Peltier.** Disponível em: <http://www.peltier.com.br/index.php?url=faq#hash_block-1>. Acesso em: 30 Jan. 2017
- [28] **Pastilha Termoelétrica Peltier Tec1-12706 Cooler.** Disponível em: <<http://www.filipeflop.com/pd-14171a-pastilha-termoeletrica-peltier-tec1-12706-cooler.html>>. Acesso em: 22 de Fev. 2017
- [29] **Thermoelectric Cooler Tec1-12706.** Disponível em: <<http://www.hebeiltd.com.cn/peltier.datasheet/TEC1-12706.pdf>>. Acesso em: 22 de Fev. 2017.
- [30] **O Estudo Da Lei De Resfriamento De Newton Na Abordagem Lcp.** Disponível em: <<http://www.cibem7.semur.edu.uy/7/actas/pdfs/776.pdf>>. Acesso em: 23 de Fev. 2017.

- [31] **Introdução Ao Cálculo De Erros Nas Medidas De Grandezas Físicas.** Disponível em: <http://fisica.uc.pt/data/20072008/apontamentos/apnt_221_1.pdf>. Acesso em: 24 de Fev. 2017
- [32] **Materiais Elétricos E Magnéticos.** Disponível em: <<http://www.antoniolima.web.br.com/aulas/Resistividade.html>>. Acesso em: 24 de Fev. 2017
- [33] CAMPOS, A. A. ; ALVES, E. S. ; SPEZIALI, N.L. **Física Experimental Básica na Universidade.** 2^a Ed. Belo Horizonte: Ed UFMG 2008.