



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
CÂMPUS CARAÚBAS
CURSO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA

JOSÉ BARROSO DE CARVALHO NETO

**APLICAÇÃO DO EFEITO SEEBECK NA CONVERSÃO DA ENERGIA
TÉRMICA EM ELÉTRICA**

CARAÚBAS-RN

2018

JOSÉ BARROSO DE CARVALHO NETO

**APLICAÇÃO DO EFEITO SEEBECK NA CONVERSÃO DA ENERGIA TÉRMICA
EM ELÉTRICA**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade Federal Rural
do Semiárido - UFERSA, Câmpus
Caraúbas, para a obtenção do Título de
Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Orientador: Prof. Dr. Rudson de Souza
Lima - UFERSA.

CARAÚBAS-RN

2018

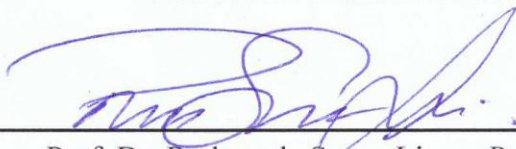
JOSÉ BARROSO DE CARVALHO NETO

**APLICAÇÃO DO EFEITO SEEBECK NA CONVERSÃO DA ENERGIA TÉRMICA
EM ELÉTRICA**

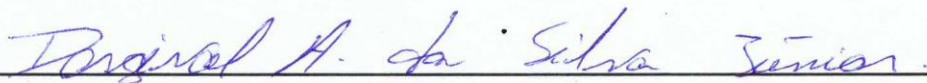
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
à Universidade Federal Rural do Semiárido -
UFERSA, Câmpus Caraúbas, para a
obtenção do Título de Bacharel em Ciência e
Tecnologia.

APROVADO EM: 17 de abril de 2018

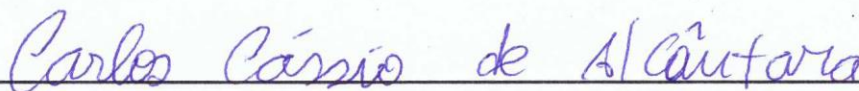
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Rudson de Souza Lima - Presidente



Prof. Dr. Dorgival Albertino da Silva Júnior - Membro



Prof. Ms. Carlos Cassio de Alcantara - Membro

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

N469a NETO, JOSÉ BARROSO DE CARVALHO.
APLICAÇÃO DO EFEITO SEEBECK NA CONVERSÃO DA
ENERGIA TÉRMICA EM ELÉTRICA / JOSÉ BARROSO DE
CARVALHO NETO. - 2018.
30 f. : il.

Orientador: RUDSON DE SOUZA LIMA.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e
Tecnologia, 2018.

1. TERMOPARES. 2. SEEBECK. 3. ENERGIA. 4.
TENSÃO. I. LIMA, RUDSON DE SOUZA , orient. II.
Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

AGRADECIMENTOS

A vida ensina três fatos importantes: ser humilde para admitir seus erros, inteligente para aprender com eles e maduro para corrigi-los. Por isso, mesmo que a caminhada seja difícil e cheia de barreiras, continue firme, se errou, conserte seu erro e tente novamente, só assim você será capaz de conquistar seus objetivos e realizar seus sonhos.

Acima de tudo e de todos agradeço a Deus, pois sem a sua graça divina não teríamos vida para correr atrás do que desejamos e também por me dar paciência para aguentar os enfermos rotineiros permanecendo ao meu lado durante todo esse tempo.

Aos meus pais, Edivá Barroso Leal de Carvalho e Marilene Rodrigues Moura Barroso, por me trazer ao mundo e me proporcionar uma herança que ninguém jamais poderá roubar: o conhecimento, Além de me ensinar ter respeito e amor pelo próximo, como também meus princípios éticos e morais. A família é a base, obrigado por tudo. Amo muito vocês.

A minha irmã Maria Vitória, que sempre esteve comigo cuidando de mim e me ajudando da forma que era capaz. Agradeço-lhe pelos momentos compartilhados, pois um irmão é um presente de Deus, e desde sua chegada ao mundo, minha vida ficou mais feliz.

Aos meus avós paternos e maternos: José Barroso de Carvalho (*in memória*) e Maria Leal e Carvalho - Sebastião Ludgero Rodrigues Gomes e Maria do Socorro Moura (*in memória*), estes que por vontade de Deus não estão mais presentes fisicamente, saibam que nunca me esquecerei de vocês. Aos meus tios, tias, primos, primas, Padrinhos, Madrinhas e minha afilhada, obrigado a todos por me apoiarem e me ajudarem sempre que precisei.

Também aos meus amigos que fiz na universidade agradeço por todo apoio e ajuda nessa caminhada: Francisco Leôncio, Daniel Queiroga, Felipe Menezes e Matheus Dantas. São poucos, mas são verdadeiros, obrigados rapazes, vou levar vocês sempre comigo.

Quero fazer um agradecimento também aos meus amigos da minha cidade natal Picos-PI, aos principais: Andreia, Samuel, Lucas, Dorgival, Wilsin, Juninho e Misael. E tantos outros que participaram de alguma forma da minha caminhada, e que sei que vou poder contar sempre que precisar. A minha querida parceira, amiga, companheira, conselheira, orientadora, professora e namorada Dalanny Maria Herculano, que vem há muito tempo apoiando minhas escolhas e incentivando para que eu consiga realizar meus sonhos, até nos momentos mais difíceis está ao meu lado.

E gostaria de finalizar agradecendo aos meus professores da UFERSA que me ajudaram a obter conhecimento, e a idealizar um futuro promissor através de projetos com pesquisas, e principalmente ao meu orientador Dr. Rudson de Souza Lima, que me ajudou bastante no projeto pesquisado e me ajudará em pesquisas futuras, sem seu auxílio e contribuição nada disso seria possível.

RESUMO

Os termopares são dispositivos elétricos de bastante aplicabilidade na indústria, em que tem como principais características a durabilidade e a sensibilidade à temperatura, seu funcionamento baseia-se no fenômeno termoelétrico conhecido como Efeito Seebeck, em que ao juntar-se uma das extremidades de um par de fios condutores e submeter uma diferença de temperatura entre as extremidades, obtêm-se como consequência uma diferença de potencial produzida de forma termoelétrica. O objetivo desse estudo consiste em analisar o desenvolvimento e funcionamento de um sistema de conversão de energia térmica em elétrica a partir do Efeito Seebeck. Para isso foram realizados testes quantitativos com o intuito de verificação dos valores gerados de tensão elétrica para uma associação em série em que foi utilizada uma quantidade limitada de termopares do tipo K. O método de pesquisa utilizado para o desenvolvimento do projeto foi o experimental, com a realização de testes para análise e apuração dos resultados. Os elementos conclusivos apontam que foram satisfatórios os testes realizados, pois o valor de tensão gerada saiu acima dos padrões esperados para tal configuração, sendo desta forma constatada a real veracidade do efeito pesquisado e total efetivação do objetivo de estudo.

Palavras-chave: Termopares. Seebeck. Energia. Tensão.

ABSTRACT

Thermocouples are electrical appliances of considerable applicability in industry, whose main characteristics are durability and sensitivity to temperature, their operation is based on the thermoelectric phenomenon known as Seebeck Effect, in that when joining one of the ends of a pair of conductive wires and subjecting a temperature difference between the ends results in a thermoelectric potential difference. The objective of this study is to analyze the development and operation of a system of conversion of thermal energy to electric from the Seebeck Effect. For this, quantitative tests were carried out with the purpose of verifying the generated electric voltage values for a series association in which a limited amount of type K thermocouples was used. The research method used for the experimental design was the performance of tests for analysis and calculation of the results. The conclusive elements point out that the tests performed were satisfactory, since the generated voltage value exceeded the expected standards for such a configuration, being thus verified the real veracity of the researched effect and total effectiveness of the study objective.

Keywords: Thermocouples. Seebeck. Energy. Voltage.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Representação do Efeito Seebeck.....	5
Figura 2: Representação do Efeito Peltier.....	5
Figura 3: Designação dos tipos de termopares.....	6
Figura 4: Associação em série.....	7
Figura 5: Associação em paralelo.....	7
Figura 6: Esquema da Primeira Lei da Termodinâmica.....	8
Figura 7: Materiais utilizados.....	9
Figura 8: Madeiras com corte 60x60 mm no centro e furos de 5 mm nos cantos	11
Figura 9: Protótipo pronto após toda montagem.....	11
Figura 10: Demonstração de posicionamento.....	12
Figura 11: Sistema montado.....	12
Figura 12: Valor da tensão gerada pelo termopar tipo K.....	14
Figura 13: Temperatura das placas em função do tempo.....	16
Figura 14 Valor de tensão para as diferenças de temperatura.....	18

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 OBJETIVOS	2
1.1.1 GERAL	2
1.1.2 ESPECÍFICOS.....	2
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	3
2.1 EFEITO TERMOELÉTRICO	3
2.2 EFEITO SEEBECK.....	3
2.3 EFEITO PELTIER.....	4
2.4 TERMOPARES.....	5
2.4.1 CIRCUITOS ESPECIAIS.....	5
2.4.1.1 ASSOCIAÇÃO EM SÉRIE.....	6
2.4.1.2 ASSOCIAÇÃO EM PARALELO.....	6
2.5 PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA.....	7
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	8
3.1 DESCRIÇÃO DO TIPO DE PESQUISA.....	8
3.2 PROCEDIMENTOS DE COLETA E ANÁLISE DE DADOS.....	8
3.3 DETERMINAÇÃO DO TIPO DE TERMOPAR.....	12
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	13
4.1 FALHAS QUE DIFICULTARAM/ATRAPALHARAM O VALOR DO RESULTADO FINAL.....	13
4.2 FATORES QUE DETERMINARAM AS GERAÇÕES DE TENSÕES	13
4.3 RESULTADOS OBTIDOS ATRAVÉS DO EXPERIMENTO REALIZADO.....	16
4.3.1 VARIAÇÕES NA TENSÃO.....	16
4.3.2 VALOR DA TENSÃO MÉDIA GERADA.....	16
5. CONCLUSÕES.....	18
6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUTOS.....	18
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	19

1. INTRODUÇÃO

O efeito termoelétrico descoberto, em 1821, por Thomas Seebeck surgiu quando ele colocou dois metais condutores com diferentes temperaturas em contato com uma de suas extremidades, descobrindo uma diferença de potencial elétrico (DIEHL, 2013). E, de acordo com Kakimoto (2013), esse efeito físico é denominado de efeito Seebeck, que se refere à geração de eletricidade a partir de uma diferença de temperatura.

A partir desse fenômeno físico surgiram-se os termopares, que é um sensor de temperatura formado por um par de condutores elétricos que podem ser ligas metálicas, metais ou outros tipos de condutores. Ademais, para evitar as grandes combinações que podem surgir para formação de um termopar, a NBR 12771 padronizou os tipos de materiais que podem ser utilizados e estabeleceu tabelas de referências que devem ser seguidas na conversão da energia térmica em elétrica (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1999).

Então, compreende-se que os termopares estão relacionados ao calor cedido de um material, que é uma forma de energia. Por isso, presume-se que, segundo a primeira lei da termodinâmica, aquele calor não será totalmente perdido. Já que, a primeira Lei da Termodinâmica nada mais é do que o princípio da conservação da energia. Por meio dessa perspectiva, a energia não pode ser criada e tampouco destruída durante a realização de um processo, podendo apenas mudar de forma, ou seja, ser transformada em outra forma de energia (BOLES; ÇENGEL, 2013).

Diante desses argumentos, o efeito Seebeck poderia ser uma ferramenta para fazer essa conversão. Para isso ser testado ou concluído sua eficácia, surge o questionamento – Como funciona um sistema de conversão da energia térmica em elétrica a partir do efeito Seebeck? Para obter respostas, será necessária a pesquisa experimental desses componentes abordados, em que irá definir as formas de monitoramento e de observação dos efeitos que a variável produz no objeto (GIL, 2002).

Sob essa perspectiva, este trabalho justifica-se pela capacidade de reutilização da energia. Em que, àquela energia que seria cedida em forma de calor ao ambiente, será transformada em outra forma, seguindo os princípios da primeira lei da termodinâmica. Consequentemente, após a sua conversão e seu reaproveitamento, podem-se desenvolver pesquisas e projetos para sua adequação em outros sistemas elétricos ou mecânicos.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 GERAL

Analisar o desenvolvimento e funcionamento de um Sistema de conversão de energia térmica em elétrica a partir do efeito Seebeck.

1.1.2 ESPECÍFICOS

Para atingir o objetivo geral, os seguintes objetivos específicos foram traçados:

- Identificar o termopar a ser utilizado baseando-se na tabela da NBR-12771, e desenvolver testes a fim de quantificar o valor de tensão gerado para cada diferença de temperatura;
- Verificar como se desenvolve a conversão da energia térmica em elétrica;
- Constatar suas aplicabilidades e seus benefícios socioeconômicos.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo será apresentada uma breve revisão sobre os principais assuntos relacionados com o desenvolvimento do projeto. Inicia-se por um sucinto histórico com o conceito e surgimento do Efeito Termoelétrico, como também seus efeitos relacionados. Ademais é feita uma abordagem sobre o principal assunto relacionado com o desenvolvimento do projeto que é o Efeito Seebeck e também, uma breve explicação do Efeito Pelteir que é o fenômeno contrário ao Seebeck. Por conseguinte, tem-se a definição de termopares juntamente com a tabela que reje sua padronização e, finaliza-se com o sistema associado às transferências de calor que é a Termodinâmica e a sua primeira lei, que será bastante utilizada para entendimento do projeto.

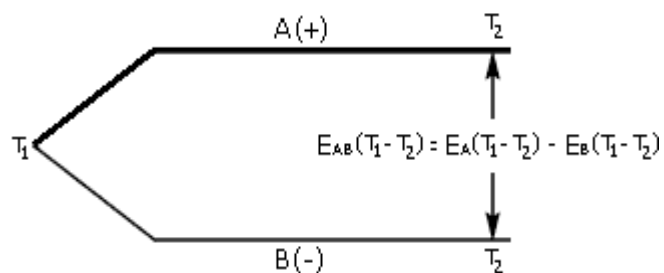
2.1 EFEITO TERMOELÉTRICO

O efeito termoelétrico descoberto em 1821 por Thomas Seebeck surgiu quando ele colocou dois metais condutores com diferentes temperaturas em contato uma de suas extremidades, fazendo com que aparecesse dessa forma uma diferença de potencial elétrico (DIEHL, 2013). O efeito da Termoeletricidade se refere à conversão de energia térmica em energia elétrica, através de um princípio físico descoberto por ele próprio, denominado Efeito Seebeck.

2.2 EFEITO SEEBECK

Quando junta-se uma das extremidades de dois materiais diferentes (Figura 1), sendo estes condutores ou semicondutores, é então formado um tipo de conexão que é usualmente conhecida como par termoelétrico ou termopar, e ao aplicar nessas junções uma diferença de temperatura, é possível conseguir dessa forma uma diferença de potencial (DDP) elétrica que é proporcional à diferença de temperatura entre a junta quente e junta fria. E de acordo com Kakimoto (2013), esse efeito físico é denominado de efeito Seebeck, que se refere à geração de eletricidade a partir de uma diferença de temperatura.

Figura 1: Representação do Efeito Seebeck

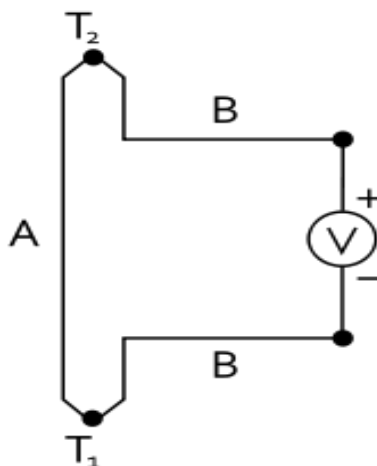


Fonte: Consistec

2.3 EFEITO PELTIER

De forma contrária ao Seebeck, o Efeito Peltier ocorre quando é submetida ao termopar uma tensão elétrica, de modo fazer que o fluxo de elétrons se movimente de um lado para o outro, e assim transforma a movimentação de elétrons em uma diferença de temperatura (Figura 2), que é proporcional a DDP aplicada no sistema, ou seja, uma diferença de temperatura é gerada a partir de uma corrente elétrica (KAKIMOTO, 2013).

Figura 2: Representação do Efeito Peltier



Fonte: Wikipedia

2.4 TERMOPARES

O termopar é um sensor de temperatura formado por um par de condutores elétricos que podem ser ligas metálicas, metais e outros tipos de condutores. Para evitar as grandes combinações que podem surgir para formação de um termopar, a NBR 12771 padronizou os tipos de materiais que podem ser utilizados e estabeleceu tabelas de referências (Figura 3) que devem ser seguidas na conversão da energia térmica em elétrica (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1999).

Figura 3: Designação dos tipos de termopares

Letra de código	Termoelemento	
	Positivo	Negativo
R	Platina - 13% ródio	Platina
S	Platina - 10% ródio	Platina
B	Platina - 30% ródio	Platina - 6% ródio
J	Ferro	Cobre-níquel
T	Cobre	Cobre-níquel
E	Níquel-cromo	Cobre-níquel
K	Níquel-cromo	Níquel-mangânês-silício-alumínio
N	Níquel-cromo-silício	Níquel-silício

Fonte: NBR 12771, 1999, p. 2.

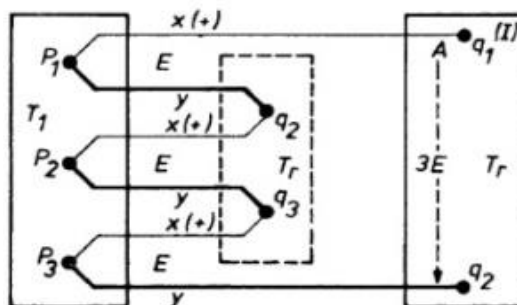
2.4.1 CIRCUITOS ESPECIAIS

Segundo Borchardt e Gomes (1979), para uma combinação de vários termopares, existem duas formas de fazer essas associações, em série que será somada a força eletromotriz (f.e.m) gerada por cada termopar, e em paralelo, que é utilizada para se determinar um valor médio gerado.

2.4.1.1 ASSOCIAÇÃO EM SÉRIE

Também chamada de termopilha, nessa associação (Figura 4) será somado os valores de f.e.m gerada por cada termopar, e assim tem-se um valor final total muito maior que o gerado por somente um termopar, logo, quanto mais termopares forem associados, maior será a f.e.m final (BORCHARDT; GOMES, 1979).

Figura 4: Associação em série

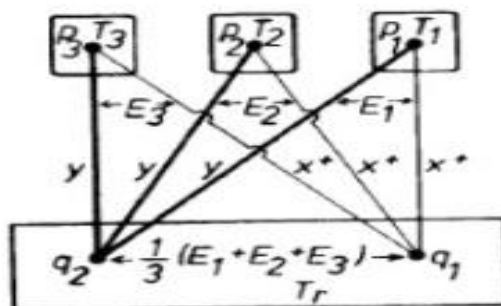


Fonte: Borchardt e Gomes, 1979, p. 18.

2.4.1.2 ASSOCIAÇÃO EM PARALELO

Na associação em paralelo (Figura 5), é realizada uma ligação diferente entre os termopares de modo que é feita uma média entre todos os valores gerados por cada termopar, e assim tem-se um valor final relativo baixo de tensão, já que nesse caso a intensão não seria de se obter um valor maior, e sim de determinar somente um valor médio.

Figura 5: Associação em paralelo



Fonte: Borchardt e Gomes, 1979, p. 19.

2.5 PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA

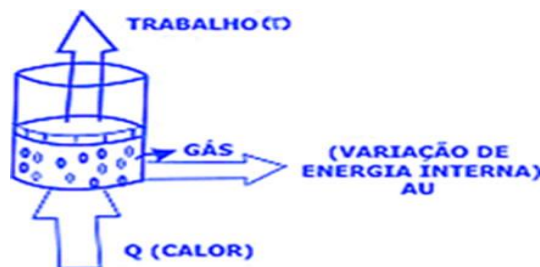
A primeira Lei da Termodinâmica está relacionada ao balanço energético entre as energias iniciais e finais de um sistema, nada mais é do que o princípio da conservação da energia, desse modo, quando um sistema recebe calor ele pode variar sua energia interna e/ou realizar trabalho (Figura 6). A energia não pode ser criada e muito menos destruída durante a realização de um processo, podendo apenas mudar de forma, ser transformada em outra forma de energia (BOLES; ÇENGEL, 2013).

Oliveira (2005) concorda citando que, embora uma parte do trabalho seja transformada em calor, não quer dizer que todo o trabalho que será dissipado, será transformado em calor, mas uma parte é conservada, seguindo o princípio da conservação da energia.

Seguindo esse princípio da conservação, o balanço de energia para qualquer sistema pode ser definido da seguinte forma: “A variação líquida (aumento ou diminuição) na energia total de um sistema durante um processo é igual à diferença entre a energia total recebida e a energia total rejeitada pelo sistema durante o processo” (ÇENGEL, GHAJAR, 2012 pag. 11).

Um sistema não necessariamente irá transferir para outro somente calor como é de costume ser pensado, a energia pode ser transferido por meio do calor, trabalho e também por fluxo de massa, sendo que a energia total do sistema será as somas das energias internas, cinética e potencial. Energia é uma propriedade, e por conta disso seu valor não se altera, a menos que o estado que se encontre o sistema mude, assim, a variação de energia de um sistema será nulo se o estado não mudar durante o processo, seguindo um regime permanente, em que a taxa de energia transferida que entra em um sistema será igual à taxa de energia que sai dele (ÇENGEL, GHAJAR, 2012).

Figura 6: Esquema da Primeira Lei da Termodinâmica



Fonte: MOREIRA (2012)

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Nessa etapa será evidenciada a descrição do tipo de pesquisa, bem como uma abordagem sucinta do campo pesquisado, identificando as peculiaridades relacionadas ao desenvolvimento do projeto e sua veracidade. Subsequente a tais dados, serão apresentados os procedimentos de coleta e análise dos resultados, juntamente com análise do tipo de termopar a ser utilizado.

3.1 DESCRIÇÃO DO TIPO DE PESQUISA

O método de pesquisa utilizado para o desenvolvimento do projeto será o experimental, que segundo Gil (2002) “consiste em determinar um objeto de estudo, selecionar as variáveis que seriam capazes de influenciá-los, definir as formas de controle e de observação dos efeitos que a variável produz no objeto” (GIL, 2002, p.47).

Buscou-se diversos sites e livros atualizados sobre o assunto abordado. Também monografias, artigos publicados, e normas técnicas regulamentadoras para uma melhor exatidão, eficiência e livre de erros que pode vir a surgir. Dessa forma, buscar embasamento claro e conciso de ideias acerca do conteúdo.

3.2 PROCEDIMENTO DE COLETA E ANÁLISE DE DADOS

O experimento em questão foi realizado na UFERSA Campus de Caraúbas no laboratório de química geral. Pois, neste contava com todos os equipamentos necessários para sua realização, e teve como supervisão a professora Guymmann Clay responsável pelo local.

Para o desenvolvimento desta pesquisa foram utilizados os materiais listados pela figura 7 e realizada toda a montagem do sistema para a coleta de dados.

Figura 7a: Bico de Bunsen



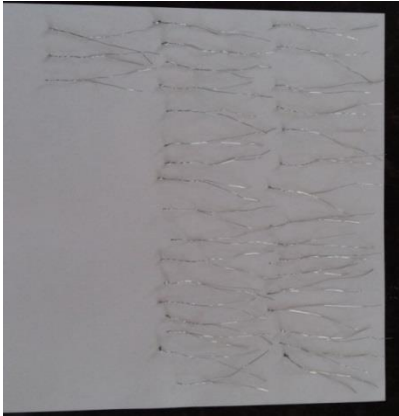
Fonte: o autor

Figura 7b Tripé com tela de amianto



Fonte: o autor

Figura 7c: Fios termopares do tipo K



Fonte: o autor

Figura 7d: Fonte de tensão



Fonte: o autor

Figura 7e: Multímetro digital



Fonte: o autor

Figura 7f: Placas de alumínio 100x100 mm



Fonte: o autor

Figura 7g: Cooler de 12 V



Fonte: o autor

Figura 7h: Termômetro digital



Fonte: o autor

**Figura 7i: Madeiras do tipo MDF
100x100 mm**



Fonte: o autor

**Figura 7j: Barras roscadas 5x85 mm com
porcas e arruelas 5 mm**



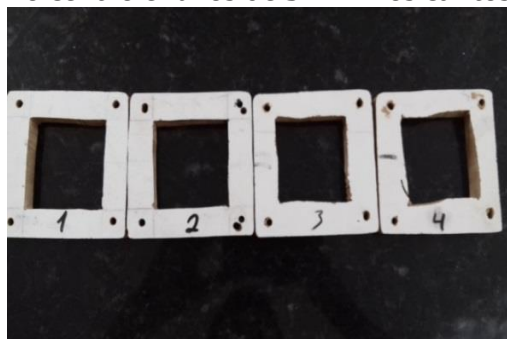
Fonte: o autor

A montagem do sistema completo foi dividida em duas partes, na primeira foi montado o protótipo no qual ficaram as madeiras, as placas de alumínio e os termopares. E no segundo momento foram conectados todos os dispositivos que envolveram o sistema, para que só assim fosse possível realizar o experimento, observam-se as etapas a seguir:

- 1ª Parte: Montagem do protótipo

Para a montagem do protótipo, primeiro foram feitos cortes quadrados de tamanho 60x60 mm no centro da madeira e furos de 5 mm nos cantos, e empilhadas na ordem que está representada na Figura 8. Entre as madeiras 1-2 e 3-4, ficaram as placas de alumínio com todos os 36 termopares utilizados já soldados em série, e por fim colocaram-se as barras roscadas juntamente com as porcas e arruelas para segurar bem todo o protótipo (Figura 9).

**Figura 8: Madeiras com corte 60x60 mm
no centro e furos de 5 mm nos cantos**



Fonte: o autor

Figura 9: Protótipo pronto



Fonte: o autor

Figura 10: Demonstração de posicionamento



Fonte: o autor

- 2ª Parte: Montagem do sistema

A montagem do sistema foi feita da seguinte forma: primeiro ligou-se a fonte de calor que é o bico de Bunsen. Em seguida, o tripé com a tela de amianto foi utilizado para que fosse possível distribuir uniformemente o calor recebido. E logo após, colocou-se o protótipo devidamente montado com as duas placas de alumínio juntamente com um cooler na sua parte superior a fim de esfriá-lo, como demonstra a Figura 11.

Figura 11: Sistema montado



Fonte: o autor

3.3 DETERMINAÇÃO DO TIPO DE TERMOPAR

Para a escolha do termopar a ser utilizado no experimento foi determinado dois critérios de seleção: a sua disponibilidade no mercado e o seu valor gerado para cada temperatura. Pois, essas são as duas principais características que definem o melhor tipo e aquele com menor custo para se trabalhar.

- Maior disponibilidade no mercado

O termopar do tipo K é um dos mais utilizados pela indústria, pois além do seu baixo preço comparado aos demais, o seu conjunto de filamentos que o compõem tem uma maior sensibilidade à temperatura, tanto para baixas quanto altas temperaturas, sendo esta a principal condição aos sensores de temperatura.

- Valor gerado para cada temperatura

De acordo com a NBR-12771, existe uma tabela (Figura 21) em que se pode verificar a força eletromotriz, também chamada de DDP, para cada temperatura em graus Celsius. Nela, os valores de DDP apresentados são muito baixos, na ordem de microvolts ou milésimos de milivolts ($10^{-6} V$), pois ela faz referência à utilização de somente um termopar, mas ao juntar uma quantidade significativa de termopares como foi realizado no experimento em questão, pode-se conseguir gerar uma boa quantidade de força eletromotriz.

Figura 12: Valor de tensão gerado pelo termopar tipo K

Força eletromotriz térmica μV											
0	0	39	79	119	158	198	238	277	317	357	0
10	397	437	477	517	557	597	637	677	718	758	10
20	798	838	879	919	960	1 000	1 041	1 081	1 122	1 163	20
30	1 203	1 244	1 285	1 326	1 366	1 407	1 448	1 489	1 530	1 571	30
40	1 612	1 653	1 694	1 735	1 776	1 817	1 858	1 899	1 941	1 982	40
50	2 023	2 064	2 106	2 147	2 188	2 230	2 271	2 312	2 354	2 395	50
60	2 436	2 478	2 519	2 561	2 602	2 644	2 685	2 727	2 768	2 810	60
70	2 851	2 893	2 934	2 976	3 017	3 059	3 100	3 142	3 184	3 225	70
80	3 267	3 308	3 350	3 391	3 433	3 474	3 516	3 557	3 599	3 640	80
90	3 682	3 723	3 765	3 806	3 848	3 889	3 931	3 972	4 013	4 055	90
100	4 096	4 138	4 179	4 220	4 262	4 303	4 344	4 385	4 427	4 468	100
110	4 509	4 550	4 591	4 633	4 674	4 715	4 756	4 797	4 838	4 879	110
120	4 920	4 961	5 002	5 043	5 084	5 124	5 165	5 206	5 247	5 288	120
130	5 328	5 369	5 410	5 450	5 491	5 532	5 572	5 613	5 653	5 694	130
140	5 735	5 775	5 815	5 856	5 896	5 937	5 977	6 017	6 058	6 098	140
150	6 138	6 179	6 219	6 259	6 299	6 339	6 380	6 420	6 460	6 500	150
160	6 540	6 580	6 620	6 660	6 701	6 741	6 781	6 821	6 861	6 901	160
170	6 941	6 981	7 021	7 060	7 100	7 140	7 180	7 220	7 260	7 300	170
180	7 340	7 380	7 420	7 460	7 500	7 540	7 579	7 619	7 659	7 699	180
190	7 739	7 779	7 819	7 859	7 899	7 939	7 979	8 019	8 059	8 099	190
200	8 138	8 178	8 218	8 258	8 298	8 338	8 378	8 418	8 458	8 499	200
210	8 539	8 579	8 619	8 659	8 699	8 739	8 779	8 819	8 860	8 900	210
220	8 940	8 980	9 020	9 061	9 101	9 141	9 181	9 222	9 262	9 302	220
230	9 343	9 383	9 423	9 464	9 504	9 545	9 585	9 626	9 666	9 707	230
240	9 747	9 788	9 828	9 869	9 909	9 950	9 991	10 031	10 072	10 113	240
250	10 153	10 194	10 235	10 276	10 316	10 357	10 398	10 439	10 480	10 520	250
260	10 561	10 602	10 643	10 684	10 725	10 766	10 807	10 848	10 889	10 930	260
270	10 971	11 012	11 053	11 094	11 135	11 176	11 217	11 259	11 300	11 341	270
280	11 382	11 423	11 465	11 506	11 547	11 588	11 630	11 671	11 712	11 753	280
290	11 795	11 836	11 877	11 919	11 960	12 001	12 043	12 084	12 126	12 167	290

Fonte: NBR 12771, 1999, p. 45.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção serão apresentados os resultados e discussão obtidos a partir da análise do experimento. A priori, serão apresentadas as falhas que dificultaram o valor do resultado final, em seguida serão apresentados os fatores que determinaram as gerações de tensões e, por fim, serão demonstrados os resultados obtidos através do experimento realizado.

4.1 FALHAS QUE DIFICULTARAM O VALOR DO RESULTADO FINAL

Durante a execução do experimento, houve dois fatores que dificultaram, e de certa forma atrapalharam a real medição pelos aparelhos, que foi a variação da chama do bico de bunsen que mudava os valores da temperatura constantemente e, também, a passagem do calor para a placa fria, aumentando sua temperatura.

- Variação da chama em função da ventilação

Por não ter um total controle sobre o calor fornecido para o experimento, a temperatura apresentada na placa quente teve diversas medições, essas variações ocorreram porque a chama do bico de bunsen não ficava totalmente estável em uma temperatura, já que a ventilação do local agia sob a chama em alguns momentos, impedindo que fosse feita uma medida mais precisa de sua temperatura.

- Propagação do calor

Outro fator que dificultou as reais medições foi a falta de um isolamento térmico entre as placas inferior e superior, o calor gerado pelo bico era propagado para a placa fria, dessa forma aumentava sua temperatura, pois o cooler que foi utilizado não tinha potência suficiente para compensar esse aumento resfriando-a, então a placa fria que deveria estar em uma temperatura baixa, ficou com uma temperatura maior que a do ambiente que era de 22 °C, fazendo com que diminuísse a diferença entre as duas placas.

4.2 FATORES QUE DETERMINARAM AS GERAÇÕES DE TENSÕES

Todo o experimento está diretamente relacionado a somente um fator, a diferença de temperatura, ela diz o quanto de tensão é gerada e se as ligações feitas entre os termopares

estão totalmente corretas. Então, foram analisadas as temperaturas nas extremidades do protótipo a qual uma foi aquecida e a outra resfriada, após isso, verificados seus valores e comprovados com a literatura.

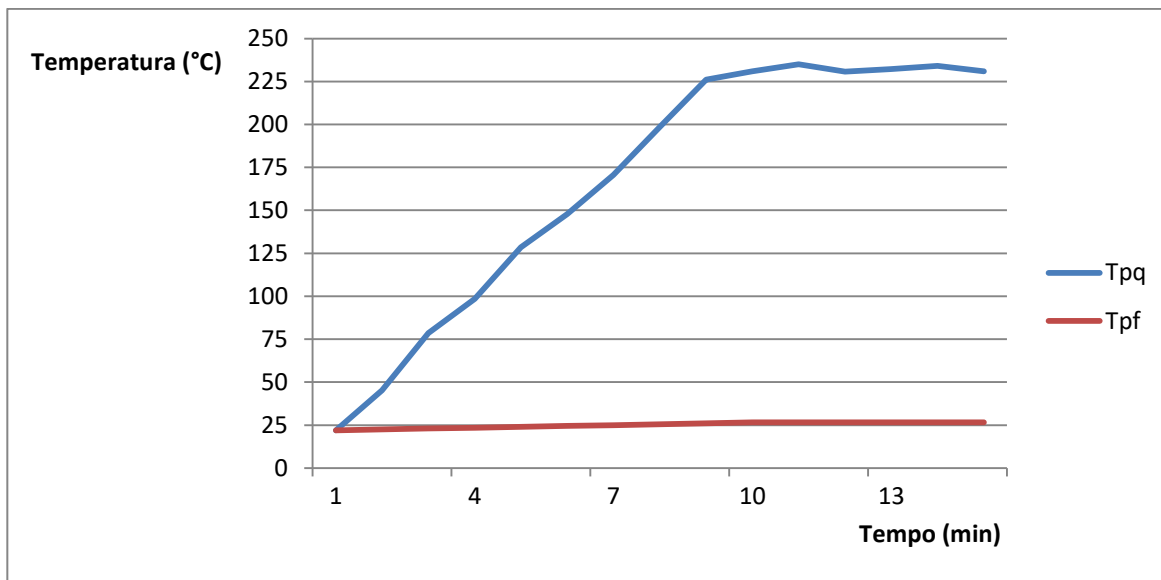
- Temperatura da placa quente

A temperatura apresentada na placa quente, o qual recebeu o calor fornecido pelo bico de bunsen, sofreu algumas variações na sua medição, com valores entre 198,5 °C e 235 °C, variações estas por conta que foram feitas várias medições em certos intervalos de tempo, e a chama do bico de busen não estabilizava. Após a primeira medição, os dados foram analisados e registrados para comprovação.

- Temperatura da placa fria

No início do experimento, a placa fria estava à temperatura ambiente com 22 °C, mas com o decorrer do tempo, por conta da propagação como já foi mencionado anteriormente, a sua temperatura teve um pequeno aumento, mesmo sendo resfriada pelo cooler. Após cerca de 10 min decorrentes, ela permaneceu um pouco mais estável em 26,6 °C, mesmo depois de varias medições realizadas. Subsequente à segunda medição, os valores foram analisados e registrados para sua comprovação.

A figura 13 esquematiza como a temperatura de cada placa se comportou no decorrer no tempo. Pode-se observar que a temperatura da placa quente (Tpq) teve um crescimento quase linear nos dez primeiros minutos, após isso ela demonstrou poucas mudanças no seu valor, com poucas alterações acima dos 225 °C, pois este foi o valor máximo fornecido pelo bico de bunsen para o sistema. A temperatura da placa fria (Tpf) praticamente não teve alterações, no início comportou-se com pequenas modificações, até se estabilizar durante todo o resto do experimento.

Figura 13: Temperatura das placas em função do tempo

Fonte: o autor

Como o calor fornecido para a placa quente chegou ao seu pico máximo, logo não se pode afirmar que a temperatura da placa fria permanecerá constante mesmo aumentando-se a temperatura da placa quente, mas que com poucas variações na placa quente, a fria tende a se estabilizar ao longo do tempo. Mas isso só ocorre se continuar com irradiações de temperatura, caso tenha um isolante térmico no meio das placas, há sim uma estabilização de temperatura fria mesmo com um crescente aumento da parte quente.

- Diferença de temperatura

Considerando as temperaturas apresentadas nas extremidades superior (placa fria) e inferior (placa quente) do protótipo, pode-se comprovar que surgiu uma diferença de temperatura bastante alta entre elas, e foi justamente isso que se buscou para uma ótima efetivação do experimento.

Fazendo um valor médio entre as temperaturas da placa quente e subtraindo pela da placa fria para assim ter uma diferença de temperatura, foi encontrado um valor médio de 190 °C, valor este extremamente alto para algo mais usual de ser trabalhado. Por ser um experimento baseado em estudos, já verifica-se uma eficácia na construção, montagem e execução do sistema.

4.3 RESULTADOS OBTIDOS ATRAVÉS DO EXPERIMENTO REALIZADO

4.3.1 VARIAÇÕES NA TENSÃO

De acordo Kakimoto (2013), o efeito Seebeck acontece devido a uma diferença de temperatura entre as extremidades dos termopares. Depois de feita toda a experimentação pode-se perceber que houve uma grande diferença de temperatura e, consequentemente, uma geração de DDP, no qual apareceram variações nos seus valores entre 0.832 mV e 1.326 mV.

As variações de tensões apresentadas ocorreram por decorrência do ponto 4.2, fazendo com que o valor não permanecesse constante no decorrer do tempo. Logo, não foi possível ser registrado os valores de tensões gerados para cada temperatura, mas puderam ser registrados os valores mínimos e máximos que foram possíveis de serem gerados pelo sistema.

4.3.2 VALOR DA TENSÃO MÉDIA GERADA

Como foram apresentados diversos valores de tensão ao longo do experimento, não verificada-se um valor exato, mas pode-se estipular um valor médio gerado, e assim determinar uma real geração de DDP para o experimento.

Com os valores apresentados na menor e maior tensão, tem-se uma média de 1,079 V de tensão. Valor este consideravelmente maior que o estipulado antes de ser iniciado o experimento que seria de 0,216 V. Logo, verifica-se um aumento considerável de 399,54% no valor da tensão gerada, mas deve-se considerar que anteriormente foi estabelecida uma temperatura máxima de 100 °C, inferior à exposta no experimento.

Portanto, este valor médio gerado deve ser considerado aceitável dito sua diferença de temperatura, e com isso, para que se possa ter uma boa tensão a fim de ser reaproveitável, dada a baixa temperatura máxima de 100 °C, que seria uma razoável de ser trabalhada no dia-a-dia, deve-se utilizar de um aumento no número de termopares para assim obter uma tensão considerável para utilização.

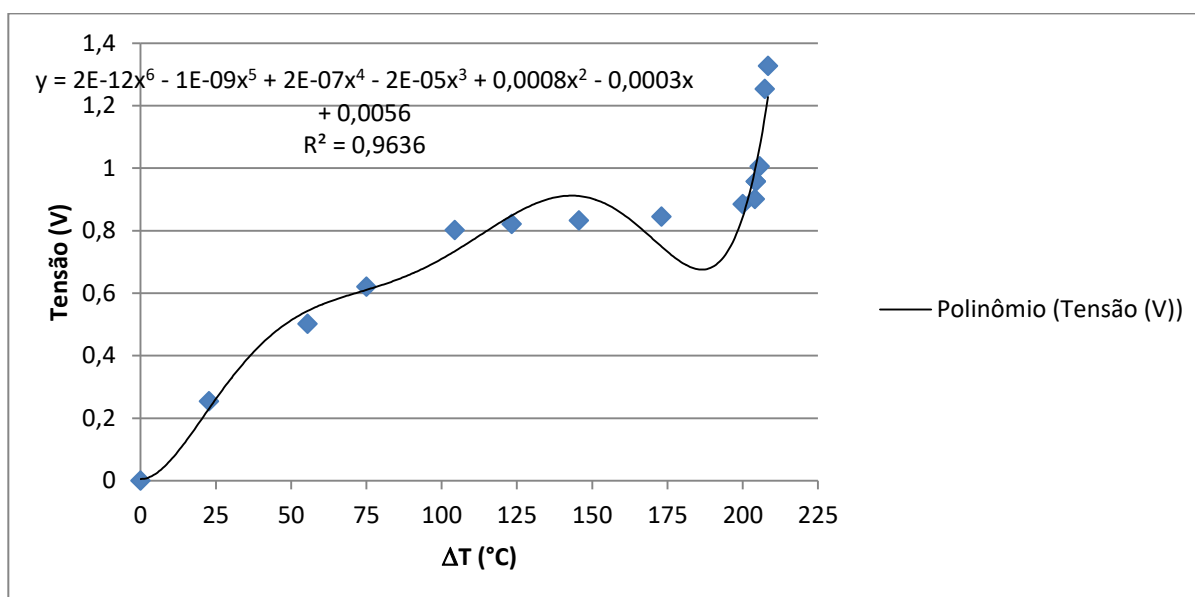
Na figura 14 está representado como a tensão variou para cada diferença de temperatura, observa-se que até o ponto em que a variação é de 100 °C, teve um crescimento quase linear do valor da tensão, dito isso, pode-se afirmar que para pequenas variações de temperatura, tem-se um crescimento diretamente proporcional de tensão.

A segunda parte do gráfico remete a faixa entre 100 °C e 200 °C, neste momento aferi-se que o valor da tensão permaneceu quase que constante. Logo, para variações dentro

dessa faixa de valores, o valor da tensão é aproximadamente o mesmo com muito poucas mudanças em seus valores.

Na terceira parte do gráfico, a partir dos 200 °C nota-se que os valores de tensões tiveram um crescimento exponencial, chegando ao um valor máximo no momento em que a variação de temperatura chegou ao seu extremo. Com isso, pode-se confirmar que a tensão tem uma relação com a variação de temperatura, que dependendo do seu valor, tem-se um crescimento linear, exponencial ou com poucas variações de modo a parecer quase constante.

Figura 14: Valor de tensão para as diferenças de temperatura



Fonte: o autor

5. CONCLUSÕES

Visto a importância da energia elétrica na sociedade atual, fazer a verificação de um sistema que a gera através de conversões de outras energias, é de suma necessidade para garantir um futuro melhor para a população que está por vir. Para este trabalho, por meio de experimentação e testes quantitativos, verificou-se um sistema baseado no efeito físico chamado de Seebeck, no qual utiliza a energia térmica para gerar eletricidade.

Conclui-se que o experimento foi realizado com sucesso, pois foi provada através de dados que é possível a conversão da energia térmica em elétrica a partir do Efeito Seebeck, em que foi gerado valores acima do esperado, com isso, uma real autenticidade do efeito pesquisado. Podem-se realizar estudos futuros para uma utilização dessa tensão gerada, como também para aprimoramento do sistema, de forma a evitar os erros e falhas na execução ou montagem do sistema.

6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Abordagem mais profunda acerca do assunto pesquisado, com buscas em artigos, dissertações e teses tanto nacionais, quanto internacionais.
- Utilizar uma fonte de calor com fornecimento constante e sem variações.
- Fazer uso de um isolante térmico entre as placas de modo a poder bem isolar o calor que é transferido para a placa fria.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12771: Termopares - Tabelas de referência**. Rio de Janeiro, 1999.

BOLES, Michael A.; ÇENGEL, Yunus A. **Termodinâmica**. Tradução: Paulo Maurício Costa Gomes; revisão técnica: Antônio Pertence Júnior. 7. ed. Porto Alegre: AMGH, 2013.

BORCHARDT, I.; GOMES, A. **Termopares**. Porto Alegre: Sagra, 1979.

ÇENGEL, Yunus A.; GHAJAR, Afshin J. **Transferência de Calor e Massa: Uma Abordagem Prática**. Adaptado por Mehmet Kanoglu; tradução: Fátima A. M. Lino; revisão técnica: Kamal A. R. Ismail. 4. Ed. Porto Alegre: AMGH, 2012.

CONSISTEC. **Termopares**. Disponível em: <<http://www.consistec.com.br/paginas/informacoestecnicas/termopares/leis.html>>. Acesso em: 12 fev. 2018.

DIEHL, Luís I. **Análise de diferentes configurações de termopar para medição de temperaturas próximas a cordões de solda**. 2013. 20f. Trabalho de Conclusão de Curso (Monografia). Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2013.

GIL, Antonio C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

KAKIMOTO, Luis C. **Efeito Peltier-Seebeck: gerando eletricidade por diferença de temperatura**. Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP. Campinas. SP, 2013.

MOREIRA, Nando. **Primeira Lei da Termodinâmica**. 2012. Disponível em: <<http://www.novidadediaria.com.br/cultura/primeira-lei-da-termodinamica>>. Acesso em 25 jan. 2018.

PELEGRINI, Marcos. **NBR 12771 - Termopares - Tabelas de referencia.pdf**. Disponível em: <<http://docs12.minhateca.com.br/387816745,BR,0,0,NBR-12771---Termopares---Tabelas-de-referencia.pdf>>. Acesso em 13 fev. 2018.

SAVI, Arlindo Antônio; COLUCCI, Cesar Canesin. **Termodinâmica**. Maringá: Eduem, 2010. 131p.: il. [Coleção Formação de Professores em Física - EAD, v. 10].

WIKIPEDIA. **Efeito Peltier**. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Efeito_Peltier>. Acesso em 15 jan. 2018.