

Universidade Estadual de Campinas

UNICAMP

Instituto de Física Gleb Wataghin

F 609 – Tópicos em Ensino de Física I

1º Semestre de 2013

Relatório Final de Atividades

**Efeito Peltier-Seebeck: gerando eletricidade por
diferença de temperatura.**

Data: 10/06/2013



Aluno: Luis Carlos Kakimoto RA 880521

Email: l880521"@ dac.unicamp.br

Orientador: Prof. Dr. Abner Siervo (IFGW)

Email: asiervo "@ ifi.unicamp.br

Coordenador: Prof. Dr. José J. Lunazzi (IFGW)

1 – Resumo:

Esse trabalho apresenta um conjunto de experimento simples para demonstrar o efeito Peltier-Seebeck , a saber a geração de diferença de potencial a partir da diferença de temperatura.

2 - Introdução

Denominamos por efeito Seebeck a geração de eletricidade a partir da diferença de temperaturas. O efeito inverso, ou seja, a geração de diferença de temperatura a partir de eletricidade é denominada efeito Peltier. E usual aos livros científicos se referirem a ambos os efeitos como duas faces de um mesmo fenômeno denominado de efeito Peltier-Seebeck.

O efeito Peltier-Seebeck tem grande utilidade em diversos processos industriais, como por exemplo, no controle e estabilização térmica dos laser semicondutores utilizados em telecomunicações.

Esse projeto tem por objetivo demonstração a geração de eletricidade a partir de uma diferença de temperatura.

O experimento em um conjunto de 03 experimentos:

O primeiro experimento consiste na confecção de um termopar conforme mostrado na Figura 1 [1] [2]. O termopar é construído a partir de duas junções de metais distintos (por exemplo, Cobre e Ferro). Essas junções são coladas em contato com líquidos em temperaturas diferentes (como água gelada e água quente), a diferença de temperatura entre as junções faz surgir uma diferença de potencial nos terminais A e B das junções. Essa diferença de potencial é indicada através de um medidor.

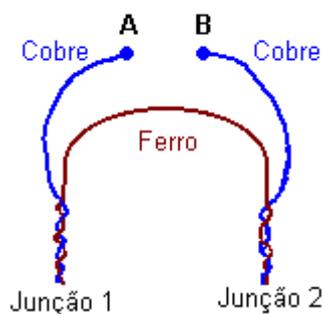


Figura 01 – Termopar

Uma segunda montagem com vários termopares associados para gerar uma maior diferença de potencial é apresentada na figura 02 [3]. Assim pode-se

além da demonstração e explicação do Efeito Seebeck- Peltier apresentar-se também o conceito de associação de fontes de tensão.

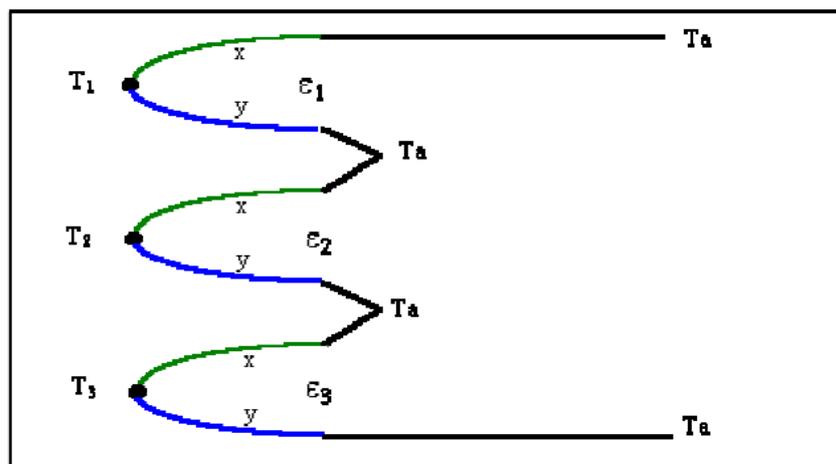


Figura 02 – Associação de termopares.

A terceira montagem procura fazer a conexão entre o experimento científico e as aplicações tecnológicas. Nessa montagem dois reservatórios térmicos a temperaturas diferentes (nesse caso dois copos plásticos contendo líquidos a temperaturas diferentes) que por meios das placas de cobre são ligados a um dispositivo Peltier comercial. A variação de temperatura induz uma diferença de potência no dispositivo. Essa diferença de potencial será aplicada nos terminais de um mini-motor DC que tem ao seu eixo uma hélice metálica, conforme visto na figura 03.

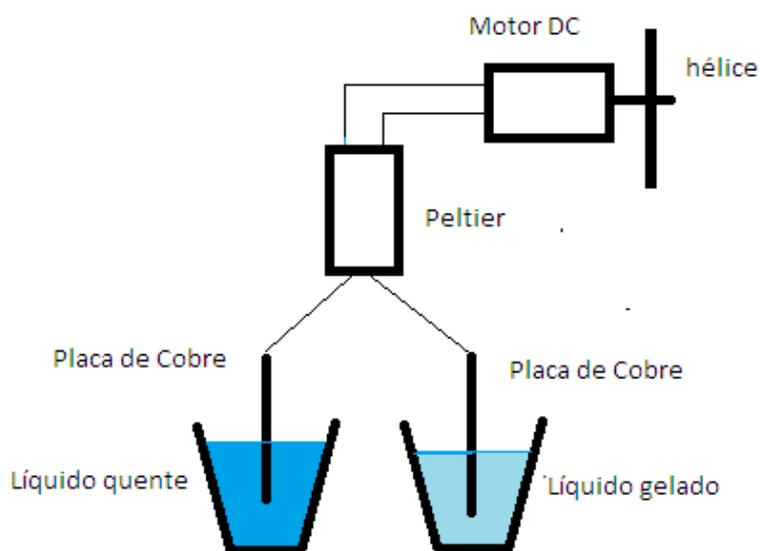


Figura 03 – Montagem do experimento 03

3 - Originalidade do Projeto:

Comentário a respeito das referências pesquisadas:

- [1] Apresenta de forma didática e com linguagem acessível a descrição do efeito Peltier-Seebeck e como pode ser feito um experimento que comprove a geração de eletricidade através da temperatura. A idéia é apresentada em termos da conversação de energia térmica em energia elétrica.
- [2] Descreve passo a passo a experiência do Efeito Seebeck e os problemas encontrados na sua execução. Interessante do ponto de vista de quem precisa reproduzir o experimento.
- [3] Esse material é mais voltado para o estudo dos termopares. Apresenta uma abordagem mais adequada ao ensino superior, pois trata da modelagem matemática do fenômeno e das práticas para confecção e utilização de termopares em instrumentação.
- [4] Apresenta o experimento do efeito Seebeck utilizando um conjunto de placas de cobre conectadas às faces de um dispositivo Peltier. As placas são emersas em duas fontes de temperatura: uma quente (café) e outra fria (água gelada) o Peltier é conectado a um motor DC que tem em seu eixo uma hélice acoplada.
- [5] Nesse experimento o dispositivo Peltier é colocado entre uma placa de alumínio e um dissipador. A placa está em contacto com uma vasilha contendo gelo e o dissipador está em contacto com o ar. Os terminais do Peltier estão conectados a um motor. Um voltímetro e um amperímetro são usados para medir a corrente e a tensão no motor DC. A variação de temperatura é intensificada colocando-se a palma da mão no dissipador e depois com o uso de um maçarico e um aquecedor de cabelo o processo é repetido.
- [6] Experimento similar ao mostrado nas referências [4] e [5], usa um motor com uma roda de carrinho acoplado e um multímetro para verificar a tensão gerada. Menos explicativo que os anteriores, faz uso de um isqueiro como fonte de calor.
- [7] Em inglês esse vídeo apresenta o efeito Peltier num contexto de aplicação (sistemas de refrigeração)
- [8] Apresenta o experimento já pronto fazendo uso de água quente e fria como fonte térmica e utilizando um motor com hélice na ponta. Chama mais a atenção para o efeito do que para a montagem. Esse vídeo não tem som.
- [9] Em espanhol, esse vídeo explica a diferença dos fenômenos Peltier e Seebeck e mostra passo a passo o experimento de efeito Seebeck utilizando um termopar que é aquecido e fornece até 2 mV de tensão. Utiliza também um

conversor Peltier comercial que faz funcionar um pequeno motor entre fonte de água quente (utiliza um radiador para transferir o calor para o Pelitier) Consegue até 2 V de tensão DC que alimenta o motor.

[10] Essa referência apresenta um efeito correlato o Efeito Mpemba que consiste em observar o congelamento de duas massas de água em temperaturas diferentes, uma maior e outra menor e constatar que a massa de água em maior temperatura congela mais rápido que a de menor temperatura.

[11] Nesse vídeo indicado pelo coordenador da disciplina, uma aluna de ensino médio canadense construiu uma lanterna utilizando um peltier e tendo como fonte de calor o corpo humano. O projeto é simples e interessante para ser mostrado a alunos do ensino médio.

Essa experiência já foi apresentada em [1] a [4] com variações apresentadas nas referências [5] a [9]. No entanto nenhum experimento foi desenvolvido na disciplina de F609, sendo o experimento mais aparentado apresentado em [10].

Além da originalidade o projeto apresenta-se como sendo de montagem simples e de custo relativamente baixo, sendo, além disso, de uso prático para o ensino de conversão de energia para alunos do ensino médio.

4- Atividades Desenvolvidas:

Num primeiro momento foram realizadas as seguintes etapas:

1 – Foram comprados um conversor Peltier, fios e no lugar do motor DC optou-se por um cooler de computador com alimentação de 12V (ver figura 04)

2 – Tentou-se reproduzir a montagem da figura 01 colocando o termopar entre duas fontes de calor: um copo com água e gelo e outro com água fervente e tentou-se medir a diferença de potencial entre os terminais do termopar (ver figuras 05 e 06)

3 – Para verificar se o funcionamento do Peltier comercial colocou-se o dispositivo entre duas fontes de calor e mediu-se a diferença de potencial entre seus terminais (ver figura 07).

E as principais dificuldades encontradas foram:

1- Conseguir verificar o nível de tensão gerado pelo termopar. O multímetro empregado tinha escala mínima de 200 mV DC. Será necessário utilizar-se um equipamento que possa aferir tensões na ordem de micro Volts, para garantir que o problema apresentado não está no aparelho de medição.

2- Tentar usar outros fios em conjunto com o fio de cobre para se determinar um termopar com maior diferença de potencial.

3- Para se verificar o efeito foi necessário fazer-se as modificações apresentadas na figura 06. Como a tensão gerada é baixa, ela não é suficiente para fazer girar o cooler. Pode-se tentar encontrar outro dispositivo Peltier ou pode-se substituir o cooler por um multímetro para verificação da geração da tensão.

Ficando como pendências:

1- Fazer funcionar o termopar. Utilizando um multímetro mais preciso e fontes de calor maiores. A referência [9] utiliza fogo para aquecer a junção.

2 – Fazer um conjunto em série de termopares como mostrado na referência [3] e medir a tensão total gerada.

3 – Tentar encontrar um motor DC de até 2 V de alimentação como mostrado na referência [9] tentar reproduzir a experiência mostrada nesse vídeo.

Em função das pendências:

1 – Procurou-se encontrar outros materiais para se testar o efeito. Optou-se por fazer a junção com fio de Ferro e Constantan (figura 8) e testou-se com o mesmo multímetro conseguiu-se medir uma tensão nos terminais da junção quando esta é colocada em um banho de gelo (figura 9) e de água quente (figura 10).

2 – Uma vez que constatado que a junção Ferro-Constantan apresentava um efeito mensurável com a instrumentação disponível, fez a montagem da junção conforme [1] (figura 11), obtendo-se a medição da tensão gerada por efeito Seebeck (figura 12).

3 – Foi feita a associação em série das junções conforme [3] (figura 13) e verificou-se que a tensão gerada é maior que a gerada por uma única junção (figura 14).

4 – Conectando o experimento com a aplicação tecnológica conseguiu-se um termopar industrial do tipo k (Junção Cromel-Alumel) [3] (figura 15) e testou-se seu funcionamento (figura 16). Esse termopar também será mostrado na apresentação.

5 – Finalmente para fazer o Peltier comercial funcionar adequadamente e acionar um motor DC, foi primeiramente utilizado um dissipador térmico colocado dentro de uma cuba de gelo e sobre esse colocado o Peltier. Para aquecer a face do Peltier que não estava em contacto com o dissipador, utilizou-se um maçarico de cozinha. Obteve-se assim uma tensão de 3 V suficiente para acionar um pequeno motor DC de mesma tensão. O resultado pode ser observado nas figuras 17 a 19.

Com isso todas as etapas pretendidas nesse projeto foram atingidas

Em seguida foram executadas as seguintes tarefas:

- 1 Organização dos componentes para transporte e apresentação ao público conforme disposto no programa da disciplina. Especial atenção para o transporte e armazenamento do gelo e da água quente.
- 2 Elaboração do painel de apresentação: As informações apresentadas no painel se encontram em anexo.
- 3 Apresentação: A apresentação dos experimentos ocorreu no dia 12 de junho no período das 16:00 às 18:00 hs no Instituto de Física Gleb Watagin da Unicamp. A experiência foi apresentada a um público composto de professores, funcionários e alunos do instituto além de estudantes de outros cursos da Unicamp e do ensino médio.
- 4 Elaboração de um vídeo da experiência: por sugestão do professor orientador foi elaborado um vídeo onde se apresenta a experiências. As figuras 20 à 25 contem os resultados da experiência extraídos do vídeo. O vídeo foi gravado em um DVD que será anexado ao material do experimento.

5- Lista de Componentes:

- Fio de Ferro
- Fio de Constantan
- Termopar comercial tipo K
- Dispositivo de Efeito Peltier Comercial.
- Motor DC 3 V
- Multímetro Digital
- Dissipador térmico.
- Copo com água quente.
- Copo com gelo
- Bandeja com gelo
- Maçarico culinário

6 – Fotos do Experimento:

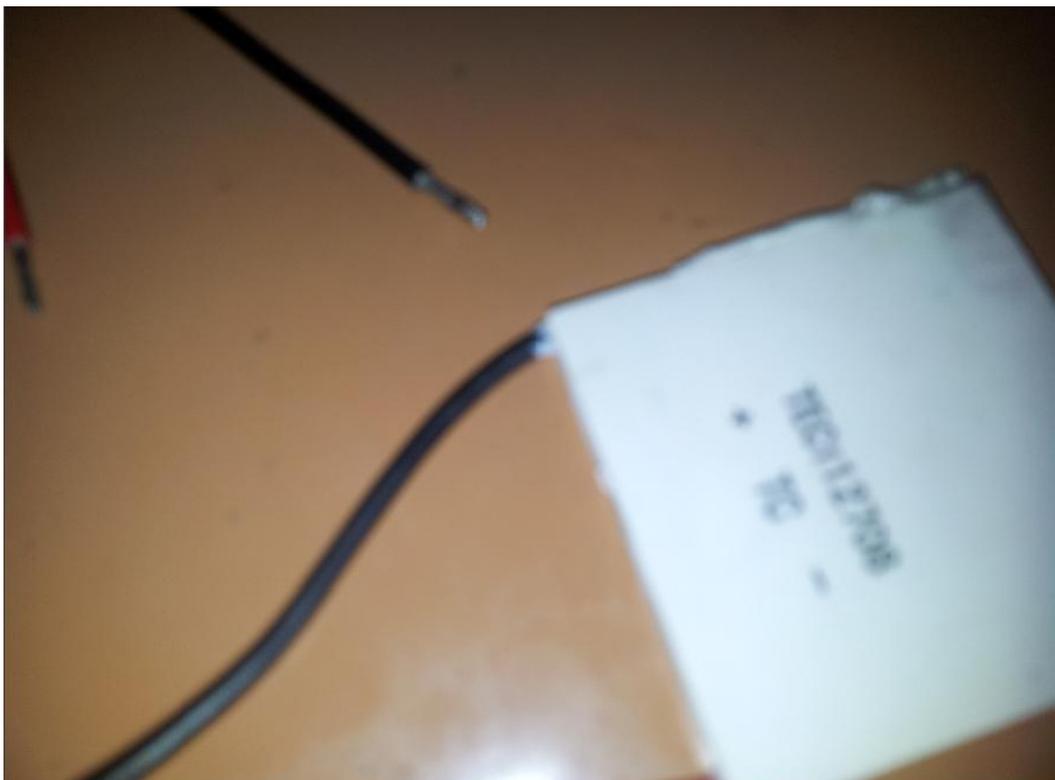


Figura 04 – Peltier comercial

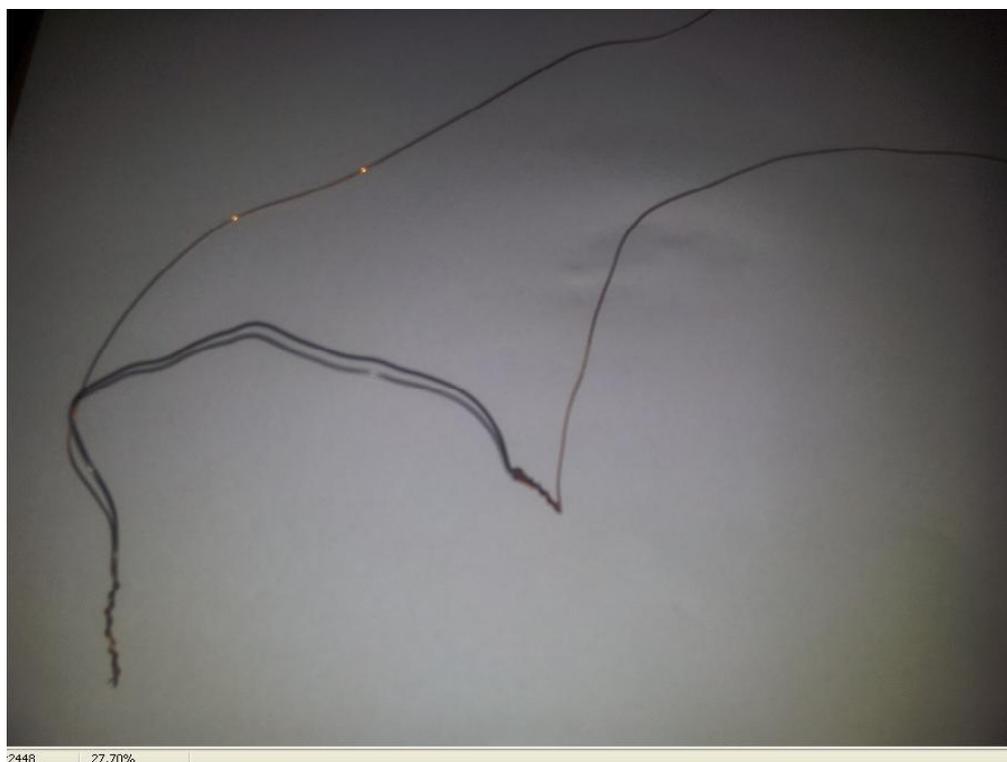


Figura 05 – Termopar feito de fios de cobre e arame



Figura 06 – Tentativa de se reproduzir o experimento da Figura 01.

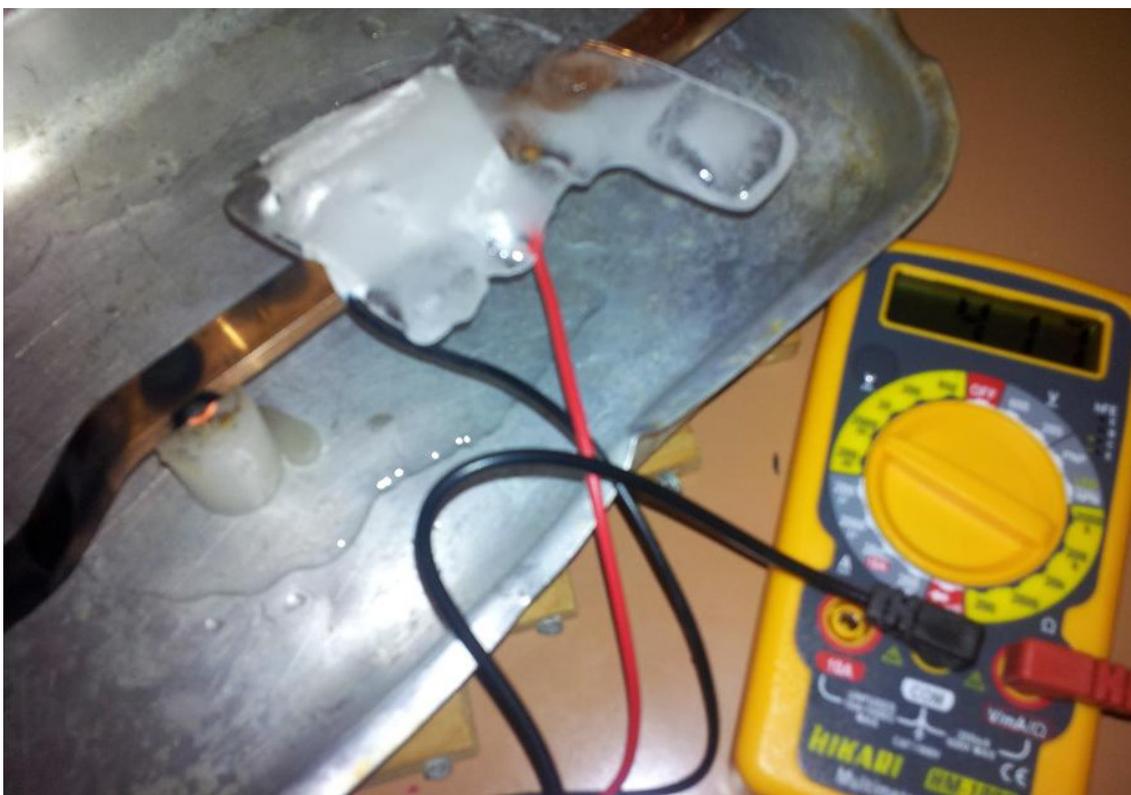


Figura 07 – Experimento utilizando o Peltier Comercial.

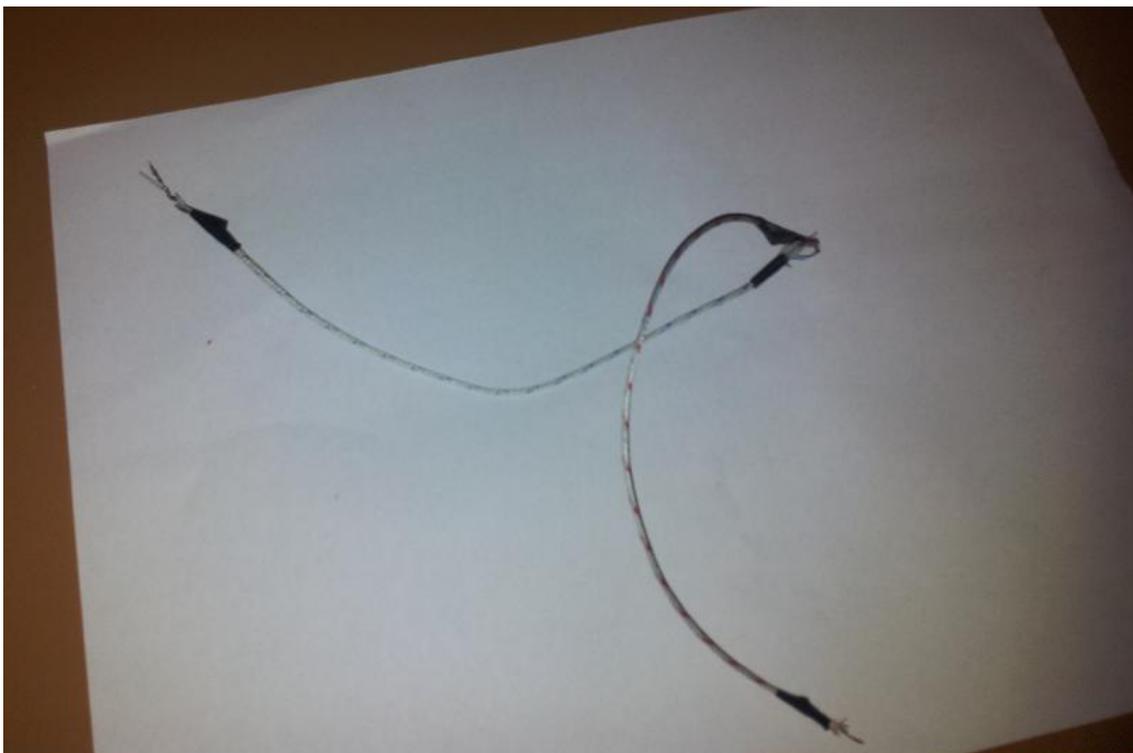


Figura 08 – Junção Ferro- Constantan

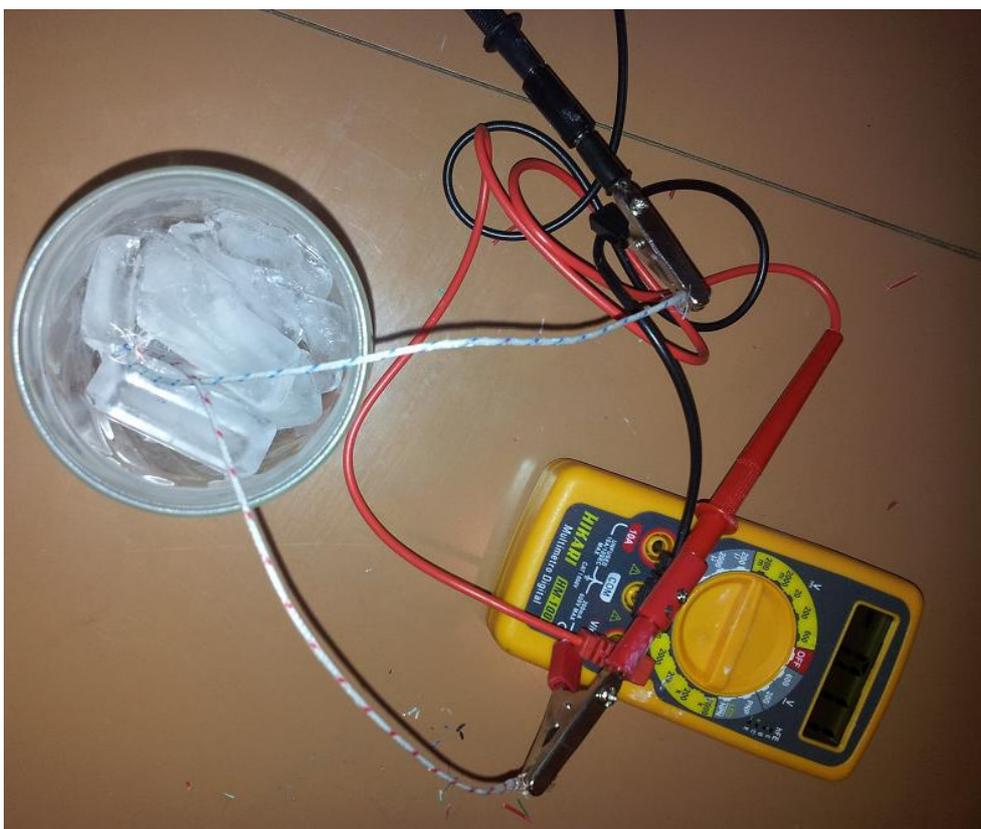


Figura 09 – Teste da junção com fonte fria

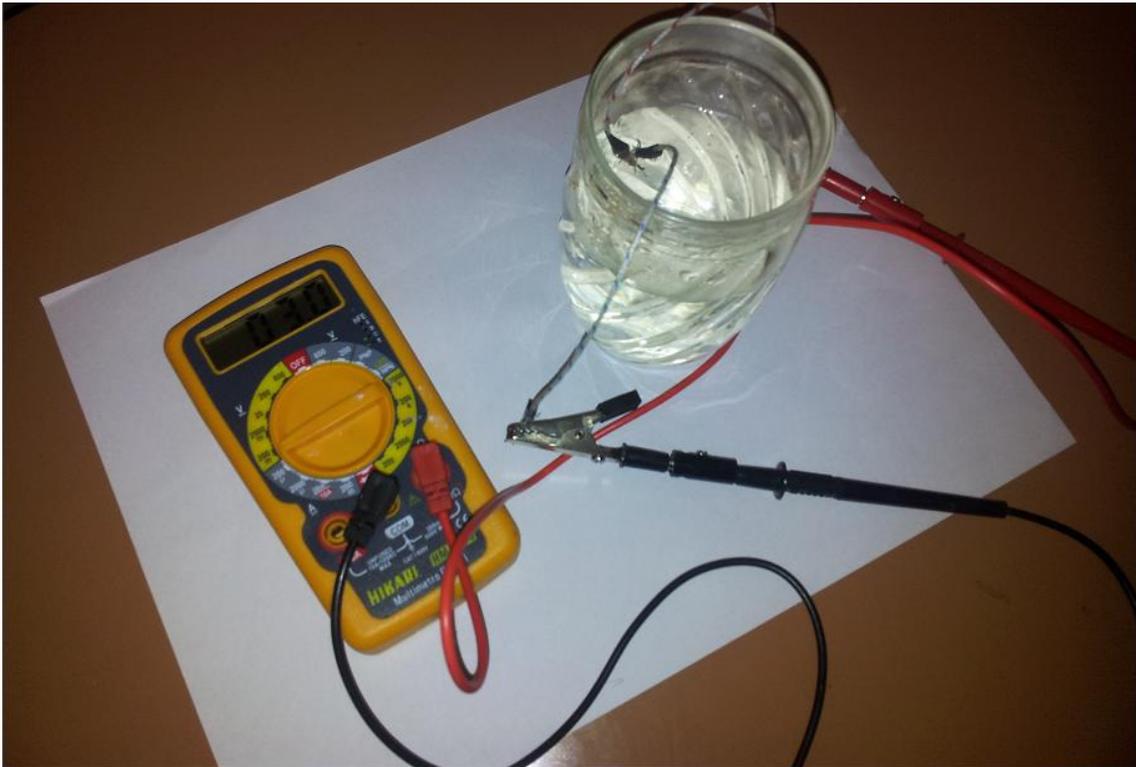


Figura 10 – Teste da Junção com fonte quente



Figura 11 – Junção Ferro-Constantan conforme referência [1]



Figura 12 – Verificação do Efeito Seebeck com a junção

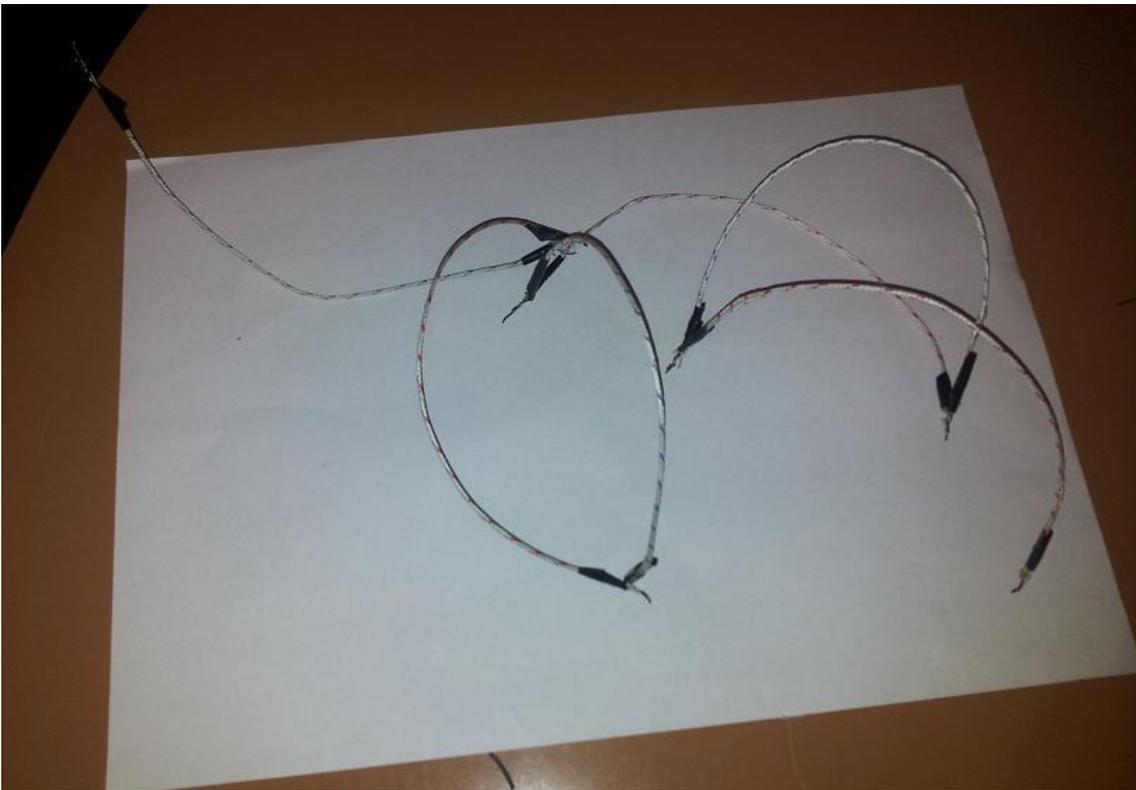


Figura 13 – Junções em série conforme referência [3]



Figura 14 – Verificação do Efeito Seebeck com as junções em série.



Figura 15 – Termopar comercial tipo k [3]



Figura 16 – Visualização do Efeito Seebeck no termopar industrial

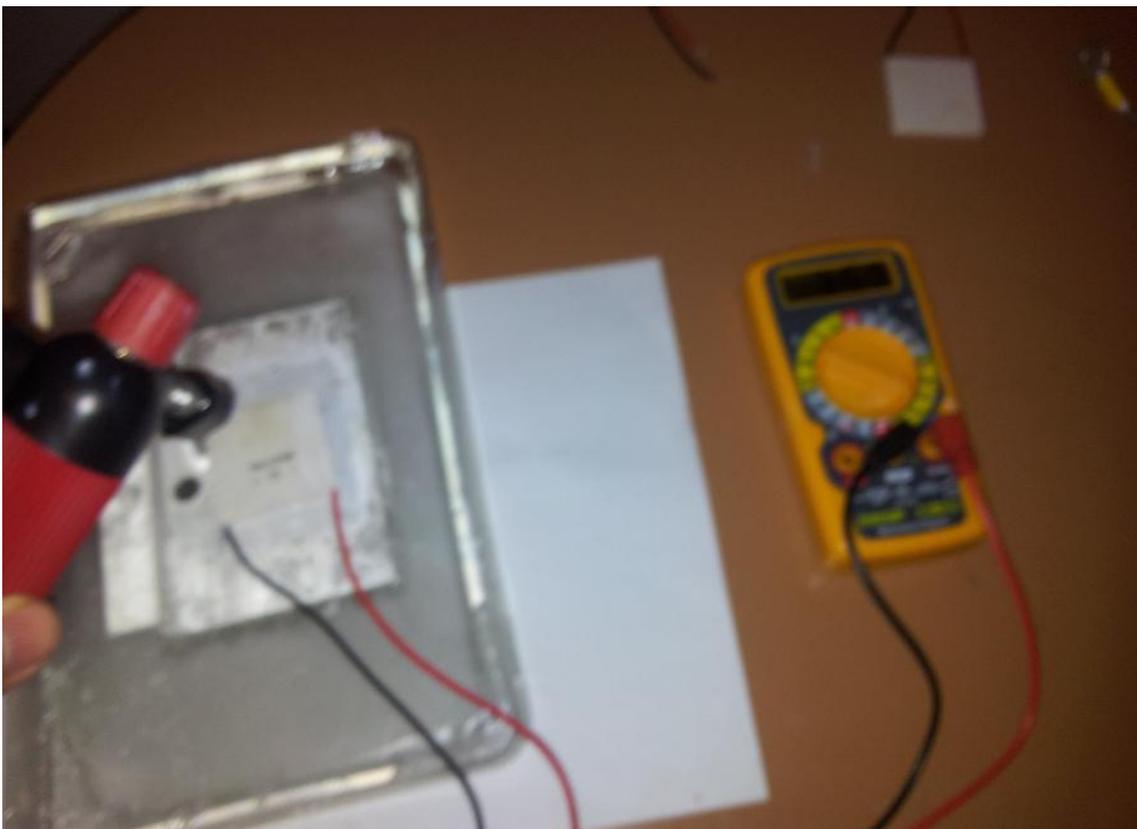


Figura 17 – Visualização do funcionamento do Peltier Comercial

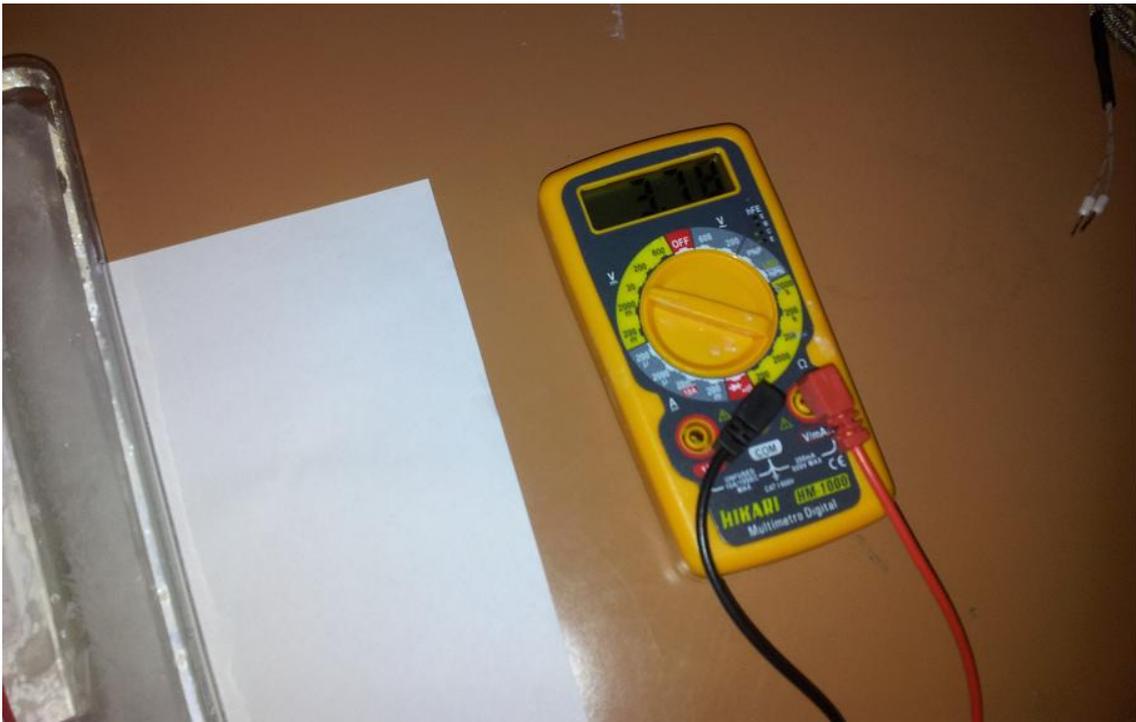


Figura 18 – Detalhe da tensão gerada pelo Peltier Comercial

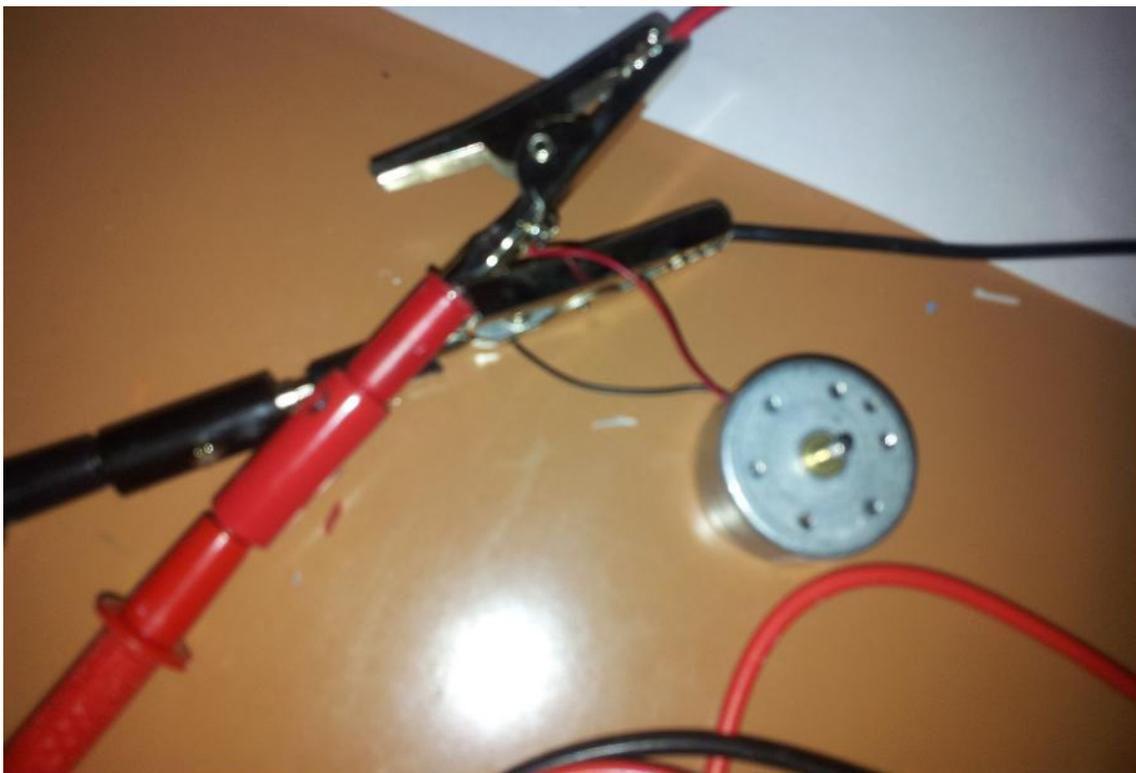


Figura 19 – Detalhe do funcionamento do motor DC.

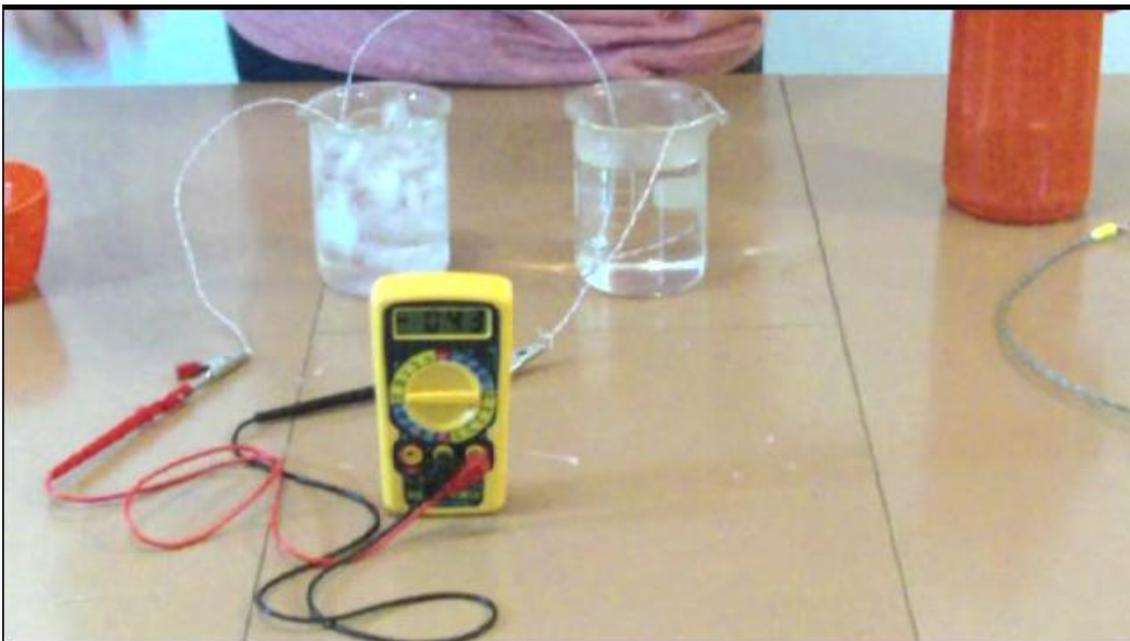


Figura 20 – Visualização do Efeito Seebeck em uma junção metálica extraída do vídeo gerado.



Figura 21 – Detalhe mostrando o nível de tensão nos terminais da junção metálica extraída do vídeo.



Figura 22 - Visualização extraída do vídeo gerado do Efeito Seebeck em junções metálicas em série.



Figura 22 - Detalhe extraído do vídeo mostrando o nível de tensão nos terminais das junções metálicas em série (após estabilização).



Figura 23 - Detalhe extraído do vídeo mostrando o nível de tensão nos terminais do termopar comercial.

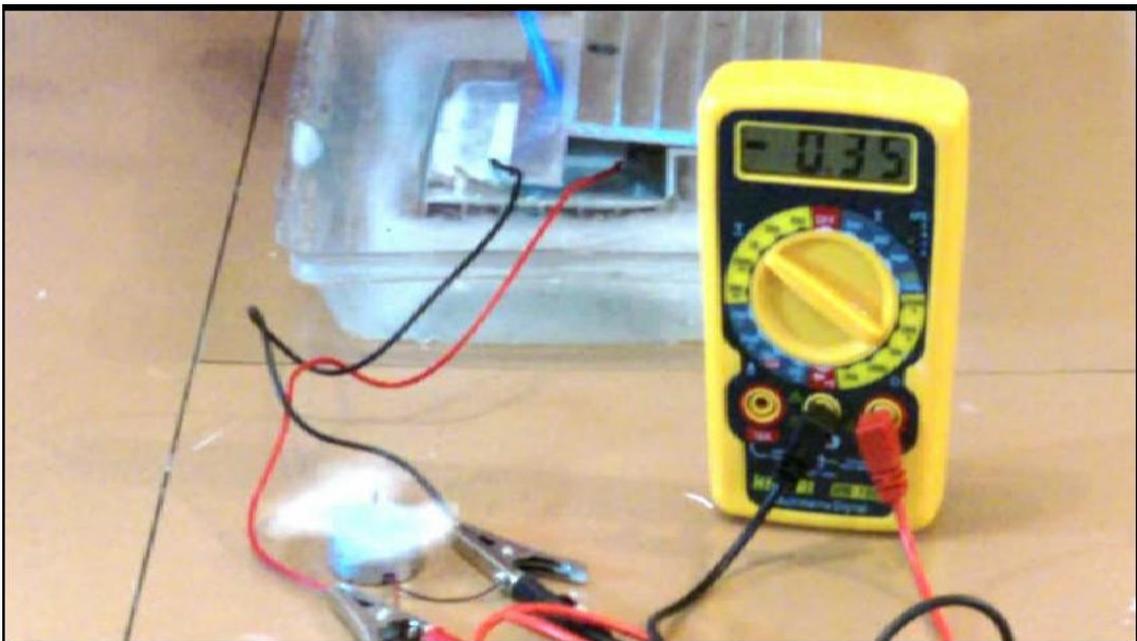


Figura 25 - Detalhe extraído do vídeo mostrando o acionamento de um motor DC a partir do aquecimento de um dispositivo Peltier.

6 - Referências:

- [1] ____, “Como transformar energia elétrica em energia térmica”, postado em 15/09/2008 em <http://fisicomaluco.com/experimentos/2008/09/15/como-transformar-energia-termica-em-energia-eletrica/>, acessado em 07/04/2013.
- [2] RRTD, “Efeito Seebeck”, postado em 10/06/2008 em <http://rrtd.blogspot.com.br/>, acessado em 07/04/2013.
- [3] Waintraub, F; Mourão F; “Termopares: Teorias e Técnicas” em <http://www.peb.ufrj.br/cursos/eel710/Termopar.pdf>, acessado em 07/04/2013.
- [4] YouTube: *Efeito Peltier//Peltier Effect*, postado em 24/04/2009, em <http://www.youtube.com/watch?v=CSmRMt-LmWc>, acessado em 29/03/2013.
- [5] Youtube: *Generate electricity from your body heat*, postado em 5/04/2009, em <http://www.youtube.com/watch?v=pglOUXKyzFE>, acessado em 29/03/2013.
- [6] Youtube: *Peltier as a thermoelectric generator (TEG)*, postado em 27/08/2009, em <http://www.youtube.com/watch?v=VQxYoJ-X--8>, acessado em 29/03/2013.
- [7] Youtube: *Demo of the Seebeck Effect*, postado em 01/06/2012, em http://www.youtube.com/watch?v=bt5o_rn0FmU, acessado em 29/03/2013.
- [8] Youtube: *Thermoelectric (Peltier--Seebeck) Effect Demonstration*, enviado em 07/06/2012, em <http://www.youtube.com/watch?v=jlMERuu4liU>, acessado em 29/03/2013.
- [9] Youtube: *Efecto Seebeck Peltier. Crear electricidad del calor*, publicado em 17/11/2012, em <http://www.youtube.com/watch?v=9GBvMf-FDIQ>, acessado em 29/03/2013.
- [10] Da Cunha, D.B. “*Projeto Mpemba*”, publicado em junho 2010 em http://www.ifi.unicamp.br/~lunazzi/F530_F590_F690_F809_F895/F809/F809_s em1_2010/DaniloB-RichardLanders_f:609_RF4.pdf, acessado em 29/03/2013.
- [11] ____ https://www.acontecendoaqui.com.br/canadense-de-15-anos-cria-lanterna-que-funciona- apenas-com-o-calor-das-maos/?utm_source=spacemail&utm_medium=email&utm_content=Jornal+Brasilalemanha+contato%40brasilalemanha.com.br&utm_campaign=Edi%E7%E3o+2.185 acessado em 15/07/2013

DECLARAÇÃO

Meu orientador, o Prof. Abner Siervo concorda com o expressado nesse relatório e deu a seguinte opinião:

O Sr. Kakimoto planejou e executou o experimento demonstrativo de geração de eletricidade via energia térmica pelo efeito Seebeck-Peltier. O mesmo fez um extenso estudo bibliográfico e de outros experimentos que podem ser encontrados na internet, em particular em vídeos do Youtube. Mostrou de forma bastante prática as diferenças em ddp que pode ser obtida pela junção de diferentes materiais e finalmente a possibilidade de gerar diferenças de potencial apreciáveis (~3V) usando um dispositivo Peltier comercial e diferença de temperatura facilmente atingida com água quente e água gelada. Todas as etapas planejadas foram atingidas de forma que este tipo de experimento demonstrativo para conversão de energia possa ser facilmente apresentado ao público em geral..

Considero que os objetivos foram atingidos com êxito.

Apêndice

Nas páginas à seguir estão anexados em ordem as referências [1] a [3] e ao final o material usado no painel de apresentação.

[Experimentos de Física](#)

Como transformar energia térmica em energia elétrica.

[Aluguel de Geradores 24hs](#)

www.geradoreshertz.com.br

Casamentos, Desligamentos CPFL,
Shows, Industrias, Manutenção, Vendas



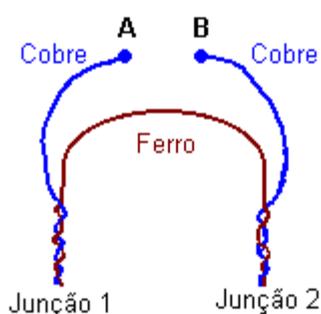
Anúncios Google

Objetivo:

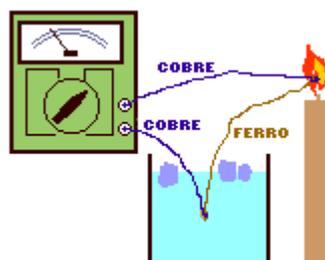
Mostrar como se converte energia do calor em energia elétrica. Construir um termômetro termo-elétrico.

Descrição:

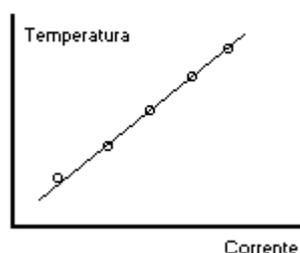
Em 1821, o físico alemão Thomas Seebeck descobriu que, juntando as pontas de dois fios de metais diferentes (ferro e cobre, por exemplo), e mantendo as junções em temperaturas diferentes, surgia uma corrente elétrica pelos fios.



Vamos reproduzir essa experiência. Use fios de cobre e ferro, sem encapsamento. Enrole fortemente as pontas, formando junções cobre/ferro. Pode-se melhorar o contato entre os metais com um pingo de solda na junção. Coloque uma das junções dentro de um jarro com água e gelo. Encoste a outra junção na chama de uma vela. Ligue as pontas soltas dos fios de cobre a um medidor de voltagem ou corrente elétrica. Pode ser, por exemplo, seu medidor da [Experiência Anterior](#). Observe que o medidor acusa uma pequena corrente. Apague a vela ou separe a junção da chama e observe como a corrente elétrica diminui.



Com esse arranjo, você pode fazer um termômetro. Mantenha uma das junções na mistura água-gelo que está a zero graus. Coloque a outra junção dentro de um recipiente com água destilada. Ponha um termômetro calibrado que possa medir temperaturas acima de 100 graus dentro da água nesse recipiente. Aqueça o recipiente em um fogão ou placa quente. À medida que a água for aquecendo, anote, simultaneamente, a temperatura medida no termômetro e a corrente do termopar. Depois, faça um gráfico mostrando a voltagem em função da temperatura. Esse gráfico será a calibração de seu termômetro termoeletrico.



Análise:

O efeito Seebeck relaciona diferenças de temperatura em diferentes junções de metais com potenciais elétricos. Esse efeito é fraco para a produção de eletricidade, se comparado com geradores químicos ou mecânicos, mas é muito útil para medir temperaturas com boa precisão. Também é usado em aplicações especiais onde outros tipos de geradores são impraticáveis. Por exemplo, a sonda interplanetária Voyager 2, que fotografou Júpiter e outros planetas distantes, tinha um gerador termoeletrico. Uma das junções era aquecida por elementos radiativos. Esse foi o modo mais conveniente para gerar eletricidade pois baterias químicas seriam muito pesadas e descarregariam muito depressa. Painéis solares seriam inúteis pois o Sol estava muito distante. O gerador termoeletrico foi a melhor opção e, pode crer, ainda hoje está funcionando.

Material:

Fios de cobre, ferro, níquel e outros metais diversos.

Um medidor de voltagem ou corrente. Pode ser o galvanômetro da experiência anterior.

Um recipiente com água e gelo.

Uma vela.

Um aquecedor conveniente. Pode ser um fogareiro de acampamento ou um aquecedor elétrico.

Dicas:

Calibre cuidadosamente seu termopar para usos futuros em outras experiências.

Gostou? Agora é Curtir e Tuitar !



Relacionados Recomendados

- [Como converter energia química em elétrica](#)
- [Como fazer uma pilha de frutas.](#)
- [Como produzir corrente elétrica com materiais caseiros.](#)
- [Associação de resistores em série e em paralelo.](#)
- [Maneira experimental de identificar materiais condutores e isolantes.](#)

2 Comments



Frans Leeuwenberg November 28th, 2008 at 1:29 pm

Caro Daniel, interessante seu blog. Talvez voce poderia me explicar como funciona a geração de energia elétrica, quando se bomba agua esquentada no subsolo durante o verão. No inverno se faz o contrário, bombeando este agua quente para cima e gerar energia elétrica a partir da mudança de temperatura deste agua. Alguem na Holanda me falou que estão experimentando com este princípio. Voce poderia me explicar, não sou físico mas biologo.
cordialmente, Frans



Josué Miranda April 12th, 2009 at 6:43 pm

Olá daniel, Muito bem explicado, só ressaltando que este fenômeno trata-se de um fenômeno químico, trata-se da oxidação por calor diferencial, e com o tempo compromete a estrutura quimica do material. Por isso que este fenômeno não pode gerar energia para uso comercial, e sim para pequenos sinais, lembrando que para gerar energia eletrica desta maneira, teriamos que não ter apenas o calor, e sim a diferença de temperatura.

Outra coisa frans, esta técnica que vc citou corresponde a tecnica utilizada nos Geisers (não sei como escreve). E as vezes é necessario utilizar outros produtos na agua para que se possa diminuir o ponto de ebulição.

Deixe seu comentario

Your comment

Nome (required)

e-mail (required)

Website

Comentar!

Você Precisa Ler

- [Foguete de Garrafa Pet](#)
- [Motor Eletrico Simples](#)
- [Como Fazer uma Pilha](#)
- [Experimentos](#)

Novidades

- [Melhor Tablet do Mercado](#)
- [Tablet Motorola Xoom](#)
- [Mochilas Escolares e o Futuro dos Jovens](#)
- [Como Levantar Pesos Corretamente nos Exercícios](#)
- [Um Livro que Recomendo: Ágape](#)
- [Dicas para Adestramento de Cães online](#)

Assine



- [Politica de Privacidade](#)

Copyright © 2013. Todos Direitos Reservados

Efeito Seebeck -

Projeto IEE - Contato rrtd.eletrica@gmail.com

terça-feira, 9 de dezembro de 2008

Avaliação da Disciplina:

O grupo embasado nas colocações resolveu fazer uma avaliação que demonstre aspectos positivos e negativos, e contrabalançar esses pontos, observando a relevância dos mesmos.

Aspectos positivos:

- Iniciação em projetos.
- Perpectivas iniciais na profissão.

Esses dois aspectos são chaves ao nosso ver para um curso de engenharia, neles podemos observar se estamos no caminho que realmente desejamos.

Não observamos nenhum aspecto negativo em relação a existencia da matéria, porém temos algumas ressalvas de como ela foi dirigida nesse semestre, acreditamos que alguns aspectos foram falhos e sugerimos mudanças.

- Melhoria na infra-estrutura para confecção do projeto.
- Melhor planejamento para o dia da apresentação.

Contudo, salvando essas pequenas excessões a atuação dos professores foi perfeita e de grande valia para o grupo. Agradecemos desde já pelo ensinamento passado.

Auto avaliações dos alunos:

Daniel Alves Vilela : Nota 10

- Cumprimento de prazos combinados pelos grupos;
- Pró- atividade ;
- Domínio satisfatório do conteúdo;

Tendo em vista que realizei com todas as metas , essa é minha nota.

Renato Roquette : Nota 10

- Colaboração relevante nas práticas;
- Pesquisas sobre o efeito seebeck;
- Cumprimento de prazos combinados pelos grupos;

Nome: Thiago Virgílio de Magalhães Neto

Nota: 10

Justificativa: Acredito que participei das várias etapas do projeto: procura por fontes de pesquisa, material para a confecção do protótipo e montagem, algumas postagens no blog, participação na elaboração do relatório e na entrevista com o engenheiro eletricitista.

Roger Bento: 10

Pesquisa teórica e de viabilidade da experiência, pesquisa das aplicações (principalmente sobre o uso do efeito Seebeck em



Thomas Johann Seebeck (1770 - 1831)

Arquivo do blog

- ▼ 2008 (11)
 - ▼ Dezembro (1)
 - [Avaliação da Disciplina: O grupo embasado nas colo...](#)
 - ▶ Novembro (1)
 - ▶ Outubro (5)
 - ▶ Setembro (4)

Equipe R.R.T.D

[Equipe R.R.T.D -](#)

Roger Bento:
 revolucionario_90@hotmail.com; Renato
 Roquette: renatohoxy@yahoo.com.br;
 Thiago Magalhães:
 thiagovmneto@gmail.com; Daniel Alves:
 d.alves.vilela@gmail.com; 1ºperíodo de
 Engenharia Elétrica :
 rrtd.eletrica@gmail.com

[Visualizar meu perfil completo](#)

Blogs Favoritos

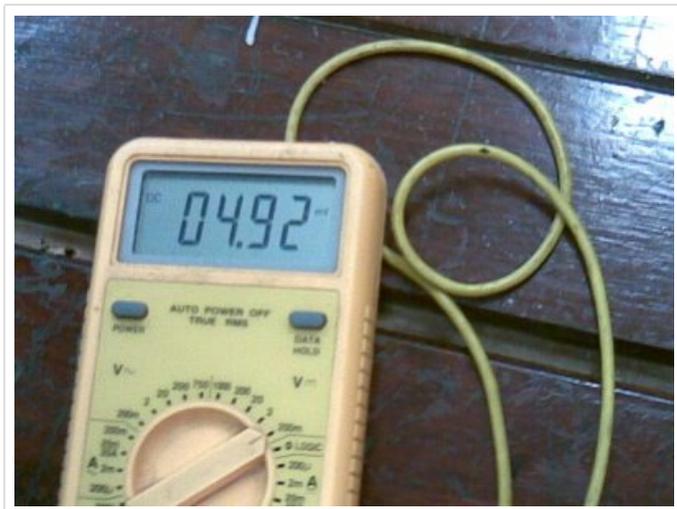
[LACTEA-PROJETOS](#)

satélites), participação na elaboração do relatório, organizador da entrevista.

Observação: Contrariando o comentário do professor Paulo Cezar Ventura, no post anterior, o grupo já entregou o relatório do projeto. No dia 01/12 .

Postado por [Equipe R.R.T.D](#) - às 12/09/2008 02:13:00 PM Um comentário:

terça-feira, 18 de novembro de 2008



Boa noite,

Hoje nos reunimos na aula de Introdução à Engenharia Elétrica, onde inicialmente apresentamos novamente a proposta do nosso projeto ao monitor Damato, que acabou por nos dar algumas idéias para a apresentação do projeto. Em seguida, fomos para o LACTEA, onde fizemos um novo experimento fazendo a associação em série dos metais. A tensão gerada, como era de se esperar, foi maior, mas não o suficiente para acender um LED. Conseguimos gerar quase 5 mV (como evidenciado na foto acima), porém necessitávamos de atingir cerca 1.5 V, que é aproximadamente o valor mínimo para se acender um LED. Dessa forma, o grupo optou por abandonar a idéia de acender o LED e vamos nos dedicar na conclusão do trabalho e na apresentação sobre a parte teórica do Efeito Seebeck, além de demonstrá-lo através de um experimento.

Cronograma:

- Conclusão do relatório
- Realizar a entrevista com um engenheiro eletricista

Postado por [Equipe R.R.T.D](#) - às 11/18/2008 02:08:00 PM 2 comentários:

quinta-feira, 30 de outubro de 2008





Confeccionamos a apresentação multimídia. Esta semana esperamos decidir se continuaremos com a idéia de acender o LED, pois a tensão necessária é muito elevada para o Efeito Seebeck, e precisaremos de um número muito grande de células interligadas em série para atingir essa tensão.

Cronograma:

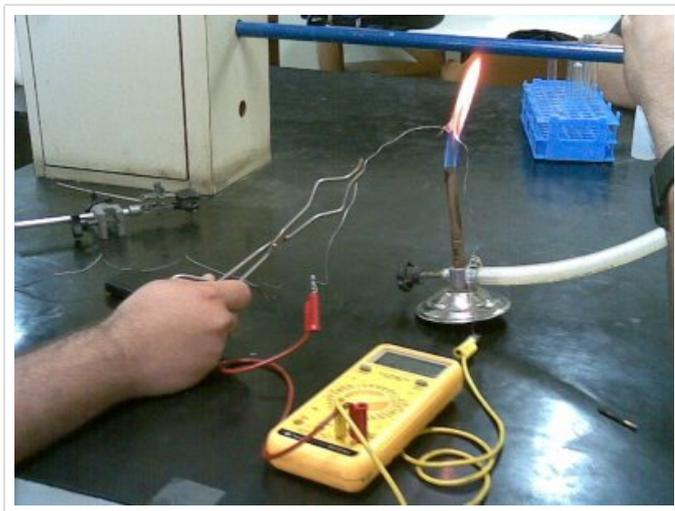
- Terminar relatório do trabalho
- Decidir sobre o experimento prático

Postado por [Equipe R.R.T.D](#) - às [10/30/2008 05:49:00 AM](#)

[Um comentário:](#)

terça-feira, 21 de outubro de 2008

Terceiro Teste



Belo Horizonte, 21 de outubro de 2008

Bom dia,

Na semana que se passou, estivemos no laboratório de química testando o Efeito Seebeck, utilizando o Bico de Bunsen, infelizmente não obtivemos o sucesso desejado.

Durante o experimento supervisionado pelo professor Vítório e auxiliado pela sua monitora Ana Elisa, tentavamos utilizar a maior temperatura disponível, porém o multímetro se comportava de maneira muito oscilante tanto em módulo quanto no sentido da voltagem.

Não conseguimos descobrir a razão dessa variação, como estamos na Semana de Ciência & Tecnologia(C&T), não teremos aula, o grupo então decidiu dedicar-se a apresentação multimídia, até que seja discutido o problema com o orientador.

Cronograma:

- Confeccionar a estrutura da apresentação multimídia.

Postado por [Equipe R.R.T.D](#) - às [10/21/2008 03:34:00 AM](#)
[Nenhum comentário:](#)

quarta-feira, 15 de outubro de 2008

Segundo Teste



Belo Horizonte, 15 de Outubro de 2008

Boa tarde,

Ontem mais uma vez o grupo se reuniu no LACTEA, onde fizemos mais um teste, por indicação feita por e-mail pelo prof. Flávio, onde foram utilizados dois fios de mesmo material, no caso o Ferro. Pelo resultado do teste, visto pela foto acima, pudemos constatar que a tensão gerada era desprezível, com valores muito próximos de zero, o que comprova a veracidade do Efeito Seebeck.

Entramos em contato com o Vitório (prof. Química). Conseguimos marcar com ele para possivelmente no dia 16/10 (quinta-feira) realizarmos um teste no Laboratório de Química, onde utilizaremos o Bico de Bunsen com o intuito de conseguir uma maior variação de temperatura e dessa forma gerar maior tensão. Vamos fazer a medição da tensão gerada e analisarmos se será possível com esse valor acender um LED.

Cronograma:

Para semana que se passa:

Entramos em contato com alguém responsável pelo Laboratório de Eletrotécnica, para conseguirmos mais um pedaço de fio Cromel.

-Pesquisar LEDs que trabalham com valores de tensão de ordens mais baixas possíveis.

caso o valor da corrente gerada no teste utilizando o Bico de Bunsen não for viável para acender um LED, iremos pesquisar fios de outros materiais, com o intuito de obter uma tensão maior.

Início da formulação do material necessário para o desenvolvimento do slide que será utilizado na apresentação do grupo.

Início da organização do trabalho escrito e da bibliografia utilizada.

att,

Roger, Renato, Thiago e Daniel.

Postado por [Equipe R.R.T.D](#) - às [10/15/2008 12:37:00 PM](#)
[Nenhum comentário:](#)

terça-feira, 7 de outubro de 2008

Complemento da semana

Belo Horizonte 07 de Outubro de 2008



O primeiro teste foi realizado com sucesso. Hoje fizemos apenas com intuito de ter o primeiro contato prático com o efeito, utilizando liga de ferro/cromel e como fonte de calor usando uma vela.

att,

Roger , Renato, Thiago e Daniel

Postado por [Equipe R.R.T.D](#) - às [10/07/2008 01:32:00 PM](#)
[Nenhum comentário:](#)

segunda-feira, 6 de outubro de 2008

Primeiros desafios.

Belo Horizonte, 06 de outubro de 2008

Bom dia,

O grupo nessa semana teve o formulário do projeto analisado pelos professores de IEE, algumas sugestões foram feitas pelos mesmos e aceitas por nós, e em breve serão incluídas no formulário.

O grupo tem como programação testar a funcionalidade do Efeito Seebeck , no decorrer da semana que se passa, estamos encontrando grandes dificuldades para encontrar em lojas o *Constantan*, para ser usado no teste. Ainda hoje pretendemos visitar laboratórios do CEFET-MG para aquisição deste material.

Outra dificuldade encontrada pelo grupo, é a conclusão de que não conseguiremos atingir a voltagem necessária para acender um Led com o Efeito Termoelétrico, estamos pensando em:

Utilizar um amplificador, porém seria contraditório pois utilizaremos uma quantidade **muito** superior a produzida.

Desenvolver vários dispositivos de transformação de energia através do Efeito Seebeck em série.

Cronograma:

Para a semana que se passa:

- Testar o efeito Seebeck através de Constantan e Ferro
- Decidir qual mecanismo usar para resolvermos o problema da voltagem.
- Contactar o laboratório de química, para desenvolvimento da experiência utilizando o *bico de bunsen*.

att,

Roger, Renato, Thiago e Daniel.

Postado por [Equipe R.R.T.D](#) - às [10/06/2008 08:11:00 AM](#)

[Nenhum comentário:](#)

[Início](#)

[Postagens mais antigas](#)

Assinar: [Postagens \(Atom\)](#)

Termopares: Teoria e Técnicas

Fábio Waintraub
Rodrigo Mourão

Resumo

Dentre os vários sensores de temperatura encontrados atualmente, sem exagero os termopares são os mais versáteis. Além de uma fácil construção e processos simples de fabricação em escala industrial, a sua grande eficiência se encontra na vasta faixa de operação e na grande diversidade de modelos para cada faixa de temperatura. Neste texto se encontra parte da história, teoria, técnicas de compensação, medição e algumas aplicações dos termopares.

1. INTRODUÇÃO

• *Termopares são sensores que de acordo com um gradiente de temperatura entre seus terminais apresenta uma tensão elétrica análoga.*

O físico *Thomas Johann Seebeck*, além de colaborar com pesquisas à fotografia a cores e na criação da amálgama de potássio, em 1821 publicou os resultados de experimentos em que a agulha de uma bússola fora defletida quando arranjada próxima a uma malha fechada composta por dois condutores heterogêneos, quando uma das junções da malha era aquecida.

Seebeck investigou o fenômeno em um grande número de materiais, (inclusive alguns em que hoje chamamos de semicondutores), e os catalogou em ordem de magnitude do produto $\alpha\sigma$, onde α é o coeficiente de Seebeck e σ a condutividade elétrica. O coeficiente de Seebeck é expresso em milivolts por grau (mV/°C), ou frequentemente por $\mu\text{V}/\text{K}$.

O efeito pode ser resumido pela relação:

$$V \cong \alpha(T_Q - T_F)$$

Onde:

V : tensão nos terminais.

T_Q: temperatura do terminal quente.

T_F: temperatura do terminal gelado.

α : coeficiente de Seebeck (ou Potência Termoelétrica).

Os valores da potência termoelétrica são obtidos por uma relação não linear dada pela *Série de Seebeck* formada de maneira semelhante à série termoelétrica atual e, caso Seebeck tivesse aplicado o primeiro e último termos de suas séries em um termopar, ele poderia ter convertido energia térmica em eletricidade na época de 1821 com uma eficiência de aproximadamente três

por cento, um pouco menor que as máquinas a vapor da atualidade.

Cerca de doze anos depois, um efeito complementar foi descoberto por *Jean Charles Athanase Peltier* que observou mudanças de temperatura nas proximidades da junção entre os condutores heterogêneos na presença de uma corrente. Embora Peltier tenha usado o efeito Seebeck em seus experimentos como uma fonte de correntes baixas, ele falhou ao notar a natureza fundamental de suas observações, relacionar o efeito Peltier com as descobertas de Seebeck. Apenas em 1838 Lenz notou a verdadeira natureza do efeito Peltier, em que dependendo da direção da corrente, calor é absorvido ou fornecido na junção entre os dois condutores; e demonstrou isso congelando água em uma junção de bismuto e derretendo o gelo apenas revertendo o sentido da corrente.

2. EFEITO SEEBECK-PELTIER

2.1. EFEITO TERMOELÉTRICO

Quando um condutor metálico é submetido a uma diferença de temperatura, em suas extremidades surge uma força eletromotriz, cujo valor tipicamente não excede a ordem de grandeza de milivolts. Este fenômeno ocorre em função da extremidade mais quente ter elétrons com maior energia cinética, e estes passam a se acumular no lado mais frio. (Fig. 2.1)

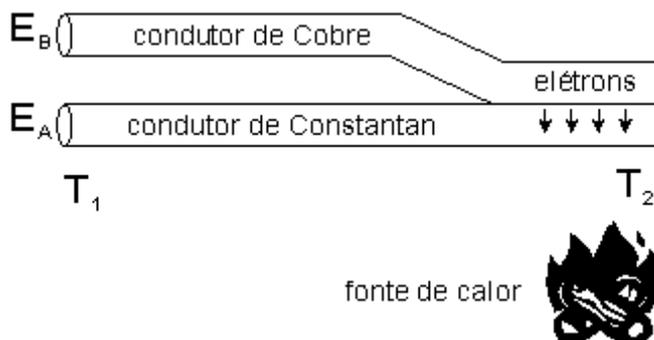


Fig.2.1 Efeito termoelétrico

2.2. EFEITO SEEBECK

Consideremos dois metais submetidos à mesma diferença de temperatura entre suas extremidades. Em cada um deles surgirá uma força eletromotriz. Verificou-se que quando os metais são unidos em uma das suas extremidades (Fig. 2.2) se observa uma força eletromotriz entre as extremidades separadas, cujo valor corresponde à diferença entre os valores da f.e.m. que surge em cada um dos metais.

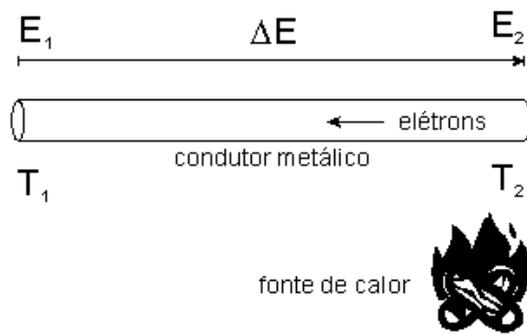


Fig.2.2 *Efeito Seebeck*

Este fenômeno é conhecido como *Efeito Seebeck*, a configuração acima corresponde ao sensor de temperatura conhecido como termopar ou par termoelétrico. Os elementos que constituem o termopar são definidos como termoelementos. Em função da polaridade da força eletromotriz V_{BA} , "A" é o termoelemento negativo e "B" o termoelemento positivo do termopar.

Na configuração de um termopar a extremidade onde ocorre a união dos termoelementos é denominada junção de medição, a outra é denominada junção de referência. Se a temperatura da junção de referência for fixada em 0°C , então o valor da f.e.m. dependerá somente da temperatura da junção de medição. O conhecimento desta relação permite utilizar o termopar como um sensor de temperatura.

Uma vez que o valor da f.e.m. gerada por um termopar depende da natureza dos termoelementos que o compõem, é interessante definir uma grandeza física que caracterize a f.e.m. gerada por uma combinação específica de termoelementos.

Esta grandeza, conforme visto rapidamente antes recebe o nome de coeficiente de Seebeck. Ela fornece a informação quanto à sensibilidade do termopar, isto é, qual o valor da variação da força eletromotriz de um termopar quando o gradiente de temperatura ao qual ele está submetido varia.

2.3. LEIS DA TERMOELÉTRICA

2.3.1. LEI DO CIRCUITO HOMOGÊNEO.

Se o termopar é formado por termoelementos homogêneos, o valor da força eletromotriz gerada depende somente da diferença de temperatura entre a junção de medição e a junção de referência. Então:

- O valor da força eletromotriz não depende do comprimento do termopar.
- O valor da força eletromotriz não depende do diâmetro dos termoelementos que compõe o termopar.
- O valor da força eletromotriz não depende da distribuição da temperatura ao longo do termopar.

No entanto, quando a utilização do termopar na medição de temperaturas é muito freqüente, o termopar deixa de apresentar a sua usual homogeneidade, necessitando de correções e compensações.

2.3.2. LEI DAS TEMPERATURAS INTERMEDIÁRIAS.

$$V_{AB}(T_1 - T_3) = V_{AC}(T_1 - T_2) + V_{CB}(T_2 - T_3)$$

Esta lei permite que o valor da força eletromotriz termoelétrica dependa unicamente da temperatura da junção de medição, com a junção de referência a 0°C.

Usualmente a junção de referência encontra-se à temperatura ambiente, não é prático querer mantê-la a 0°C como, por exemplo, em um banho de gelo, estando o termopar numa planta industrial.

No entanto é possível contornar essa dificuldade utilizando uma compensação da temperatura ambiente, que nada mais é do que acrescentar ao sinal do termopar uma força eletromotriz com valor correspondente àquele que o termopar geraria com sua junção de medição à temperatura ambiente e sua junção de referência a 0°C, ou seja:

$$V_{AB}(T) = V_{AB}(T - 0^\circ C) + V_{AC}(T - T_{\text{AMBIENTE}}) + V_{CB}(T_{\text{AMBIENTE}} - 0^\circ C)$$

2.3.2. LEI DOS MATERIAIS INTERMEDIÁRIOS.

A soma algébrica das forças termoelétricas em um circuito composto de um número qualquer de materiais heterogêneos **é igual a zero se todas as junções estão na mesma temperatura.**

3. VOLTAGEM X TEMPERATURA

A relação entre voltagem e temperatura no termopar é não linear e pode ser aproximada pelo polinômio:

$$\Delta T = \sum_{n=0}^N \alpha_n V^n$$

Os coeficientes são dados de n igual a zero até um número entre cinco e nove.

Para se atingir uma medida mais precisa nos sensores a equação é realizada através de um controlador digital, no qual existe uma tabela com os valores dos coeficientes guardados.

Como exemplo, temos uma tabela com os valores dos coeficientes para o termopar tipo K:

N	Tipo K
0	0.226584602
1	24152.10900
2	67233.4248
3	2210340.682
4	-860963914.9
5	4.83506x1010
6	-1.18452x1012
7	1.38690x1013
8	-6.33708x1013

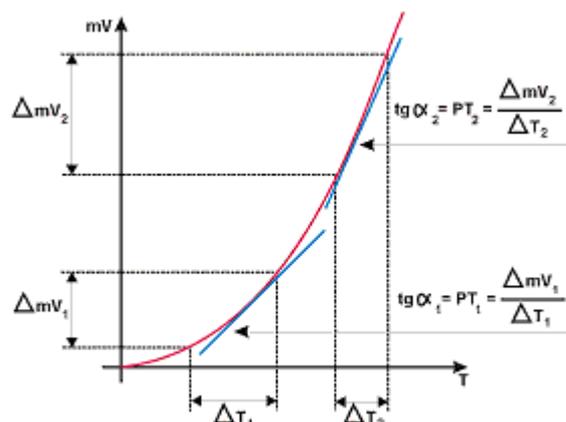
4. POTÊNCIA TERMOELÉTRICA

É a relação que expressa a quantidade de milivoltagem, gerada a cada grau celcius de variação de temperatura.

A expressão matemática que define a potência termoelétrica é:

$$Pt = mV / ^\circ C$$

Como a milivoltagem gerada por 1°C de variação é um número muito pequeno e como a variação da **F.E.M.** gerada em função da temperatura não é linear, é usual definir-se a potência termoelétrica média no intervalo de utilização de cada termopar e multiplicar-se este valor por 100°C.



A potência termoelétrica é uma grandeza útil na caracterização e comparação de termopares.

5. TIPOS DE TERMOPARES

Como dito anteriormente a grande versatilidade dos termopares está justamente na grande variedade de modelos e faixas de operação. A seguir são descritos os termopares inicialmente os mais comuns e baratos e por último os mais caros próprios para aplicações de altíssimas temperaturas.

5.1. Tipo T (Cobre – Constantan)

- Termoelemento pos (TP): Cu100%
- Termoelemento neg (TN): Cu55%Ni45%
- Faixa de utilização: -270°C a 400°C
- f.e.m. produzida: -6,258 mV a 20,872mV.

Pode ser utilizado em atmosferas inertes, oxidantes ou redutoras. Devido à grande homogeneidade com que o cobre pode ser processado, possui uma boa precisão. Em temperaturas acima de 300°C, a oxidação do cobre torna-se muito intensa, reduzindo sua vida útil e provocando desvios em sua curva de resposta original.

5.2. Tipo J (Ferro – Constantan)

- Termoelemento pos (JP): Fe99.5%
- Termoelemento neg (JN): Cu55%Ni45%
- Faixa de utilização: -210°C a 760°C
- f.e.m. produzida: -8,096 mV a 42,919mV.

Pode ser utilizado em atmosferas neutras, oxidantes ou redutoras. Não é recomendado em atmosferas de alto teor de umidade e em baixas temperaturas (o termoelemento JP torna-se quebradiço). Acima de 540°C o ferro oxida-se rapidamente. Não é recomendado em atmosferas sulfurosas acima de 500°C.

5.3. Tipo E (Cromel – Constantan)

- Termoelemento pos (EP): Ni90%Cr10%
- Termoelemento neg (EN): Cu55%Ni45%
- Faixa de utilização: -270°C a 1000°C
- f.e.m. produzida: -9,835mV a 76,373mV.

Pode ser utilizado em atmosferas oxidantes, inertes ou em vácuo, não devendo ser utilizado em atmosferas alternadamente oxidantes e redutoras. Dentre os termopares usualmente utilizados é o que possui maior potência termoelétrica, bastante conveniente quando se deseja detectar pequenas variações de temperatura.

5.4. Tipo K (Cromel – Alumel)

- Termoelemento pos (EP): Ni90%Cr10%
- Termoelemento neg (EN): Ni95%Mn2%Si1%Al12%
- Faixa de utilização: -270°C a 1200°C
- f.e.m. produzida: -6,458mV a 48,838mV.

Pode ser utilizado em atmosferas inertes e oxidantes. Pela sua alta resistência à oxidação é utilizado em temperaturas superiores a 600°C, e ocasionalmente em temperaturas abaixo de 0°C. Não deve ser utilizado em atmosferas redutoras e sulfurosas.

5.5. Tipo S

- Termoelemento pos (SP): Pt90%Rh10%
- Termoelemento neg (JN): Pt100%
- Faixa de utilização: -50°C a 1768°C
- f.e.m. produzida: -0,236 mV a 18,693mV.

Pode ser utilizado em atmosferas inertes e oxidantes, apresentando uma estabilidade, ao longo do tempo em altas temperaturas, muito superior à dos termopares não constituídos de platina. Seus termoelementos não devem ficar expostos a atmosferas redutoras ou com vapores metálicos. Não é recomendada a utilização dos termopares de platina em temperaturas abaixo de 0°C devido à instabilidade na resposta do sensor. Em temperaturas acima de 1400°C ocorre um fenômeno de crescimento dos grãos, tornando-os quebradiços.

5.6. Tipo R

- Termoelemento pos (RP): Pt87%Rh13%
- Termoelemento neg (RN): Pt100%
- Faixa de utilização: -50°C a 1768°C
- f.e.m. produzida: -0,226 mV a 21,101mV.

Possui as mesmas características do termopar tipo S, sendo em alguns casos preferível a este por ter uma potência termoelétrica 11% maior.

5.7. Tipo B

- Termoelemento pos (RP): Pt70,4%Rh29,6%
- Termoelemento neg (RN): Pt93,9%Rh6,1%
- Faixa de utilização: 0°C a 1820°C
- f.e.m. produzida: -0,000 mV a 13,820mV.

Pode ser utilizado em atmosferas oxidantes, inertes e, por um curto espaço de tempo, no vácuo. Normalmente é utilizado em temperaturas superiores a 1400°C, por apresentar menor difusão de ródio do que os tipos S e R. Para temperaturas abaixo de 50°C a força eletromotriz termoelétrica gerada é muito pequena.

6. DIFERENTES FORMAS DE ASSOCIAÇÃO

6.1. SÉRIE

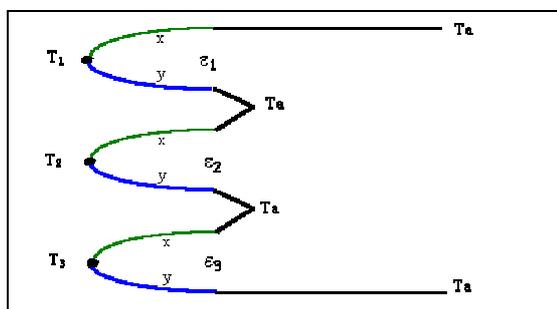


Fig.6.1 - Termopilha (associação em série de termopares)

Na termopilha, ou associação em série de termopares (ver Figura 6.1) a força eletromotriz (f.e.m.) lida no instrumento é $\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3$, ou seja, equivale à

soma das "f.e.m." dos diversos termopares que a constituem.

A associação em série é principalmente usada nas medições de pequenas diferenças de temperaturas (ou quando se pretende usar os termopares como "conversores termo-elétricos").

6.2. PARALELO

Quando se deseja medir a temperatura média (associação em paralelo de fontes de tensão CC - na realidade esse é um valor aproximado, o cálculo correto é mais complexo) de um circuito usa-se a associação em paralelo de termopares, conforme mostra a Figura 6.2. Neste caso:

$$\varepsilon = (\varepsilon_1 + \varepsilon_2) / 2$$

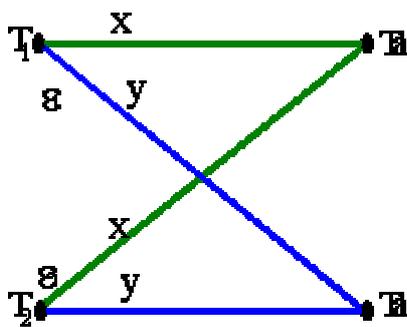


Fig.6.2 - Associação em paralelo de termopares

6.3. DIFERENCIAL

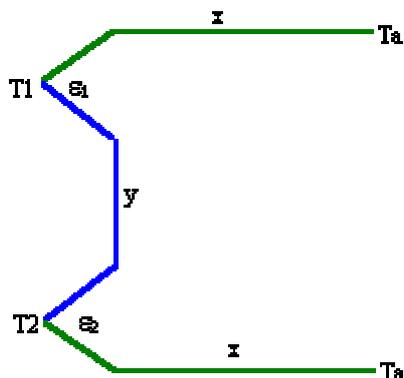


Fig.6.3 - Termopar diferencial

Quando se está interessado em diferenças de temperatura e não nos valores absolutos (por exemplo, as diferenças de temperatura existentes na

câmara de um forno), é usual efetuar a montagem do chamado "termopar diferencial" (ver Figura 6.3).

O nome do termopar diferencial é uma redundância, pois todo o termopar mede diferença de temperatura; neste caso tem-se apenas uma montagem um pouco diferente do termopar convencional.

7. CONSIDERAÇÕES PRÁTICAS (INTRUMENTAÇÃO).

Existem várias questões práticas pertinentes no uso dos termopares, nesta seção algumas das mais importantes serão discutidas. O conhecimento da seção dois será utilizado algumas vezes nesta.

7.1. FIOS DE COMPENSAÇÃO

Na maioria dos casos, sobretudo em aplicações industriais, o instrumento de medida e o termopar necessitam estar relativamente afastados. Desta forma, os terminais do termopar poderão ser conectados a uma espécie de cabeçote, e, a partir deste cabeçote, são adaptados fios de compensação (praticamente com as mesmas características dos fios do termopar, porém mais baratos) até o instrumento, conforme mostra a Figura 7.1:

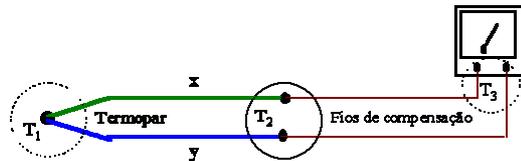


Fig.7.1 - Termopar com fios de compensação

Na montagem apresentada na Figura 7.1, o sinal lido no instrumento é proporcional a $(T_1 - T_3)$, já que os fios de compensação possuem as mesmas características do termopar (é como se existisse um único termopar). Note que, se os fios fossem de cobre (fios comuns) o sinal lido pelo instrumento seria proporcional a $(T_1 - T_2)$.

Tendo em vista que os fios de compensação possuem praticamente as mesmas características dos fios do termopar é fundamental não trocá-los (em termos de polaridade) na hora de montar o termopar, nem trocar os fios no terminal do instrumento. Caso você tenha dúvidas a respeito da polaridade dos fios de compensação basta seguir as especificações do fabricante (normalmente obedecem a um código de cores) ou então conectar uma de suas extremidades e aquecer a união, observando no instrumento a polaridade do sinal, como se fosse um termopar.

7.2. MEDIÇÃO DA TENSÃO DO TERMOPAR

Infelizmente a medição da tensão de Seebeck não pode ser feita

diretamente, é necessário conectar um voltímetro ao termopar (Fig.7.2), e este agora faz parte do circuito termoelétrico, trazendo algumas considerações interessantes.

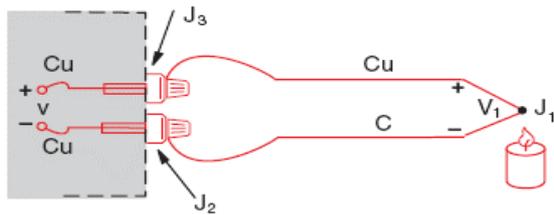


Fig.7.2 - Termopar com voltímetro.

O circuito equivalente se encontra na figura 7.3.

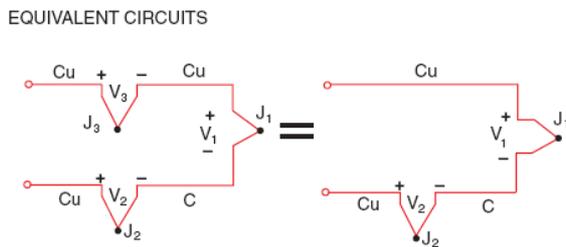


Fig.7.3 - Circuito equivalente

O ideal seria que o voltímetro mensurasse apenas V_1 , porém ao conectar o voltímetro para obter a medida da saída da junção J_1 , se cria mais duas junções metálicas: J_2 e J_3 .

Como J_3 é uma junção de cobre para cobre, pela lei do circuito homogêneo, não há fluxo térmico ($V_3 = 0$), porém na junção J_2 nada pode ser feito e a medição será proporcional a diferença entre J_1 e J_2 .

Uma forma de resolver o problema é mergulhando a junção J_2 em um banho de gelo para forçar 0° na junção J_2 (Fig.7.4).

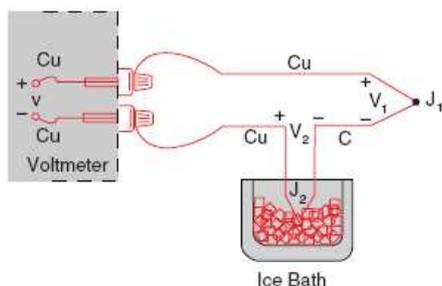


Fig.7.4 - Solução com banho de gelo

Notamos na figura 7.4 que:

$$V = (V_1 - V_2) \cong \alpha(T_{J_1} - T_{J_2}) = \alpha T_{J_1}$$

Portanto, uma vez conhecida tensão da junção de referência em $J_2 @ T_2 = 0^\circ\text{C}$, simplesmente somamos esse valor à medição e agora o termopar consegue o valor da temperatura em J_1 com boa precisão.

7.3. RETIRANDO O BANHO DE GELO

Além de não ser desejado, e inaceitável em algumas aplicações, o banho de gelo não é a melhor alternativa. O banho de gelo pode ser substituído por um termoresistor em uma câmara isotérmica que mantém as duas junções do voltímetro na mesma temperatura, criando um efeito semelhante ao do banho de gelo, mas em qualquer temperatura dentro da faixa do termistor.

Uma pergunta clássica e muito natural seria por que utilizar um termopar, se já se tem um termistor para medir a temperatura. Relembrando as idéias iniciais do texto, o termopar é usado em situações onde nenhum termistor opera em boas condições, então é justificável utilizar o termopar, mesmo sendo necessário um termistor de precisão.

7.4. COMPENSAÇÃO EM HARDWARE

A solução anterior pode ser acoplada a um sistema que recebe os valores do termistor e faz os ajustes necessários na medição do voltímetro (digital), essa é chamada a compensação em software.

Existe uma segunda alternativa tão válida quanto à anterior que consiste em anexar um pequeno circuito que regula a tensão na junção de referência para que seja igual à tensão em temperatura de 0°C . (Fig.7.5).

Esse circuito é chamado de referência por ponto de gelo eletrônico. Além do circuito demonstrado, existem outros mais práticos e modernos.

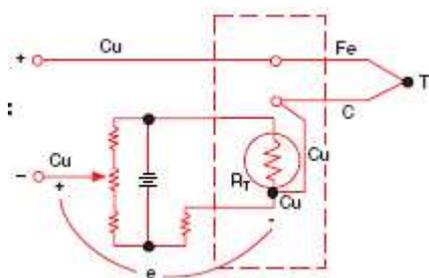


Fig.7.5 - Circuito com ponto de gelo eletrônico.

8. ERROS DE MEDIÇÃO

Abaixo a tabela mostra os erros admissíveis para os termopares de classe standard e classe especial e suas faixas de operação, baseado na NORMA ASTM E 230. Estes erros estão expressos em graus Celsius e em porcentagem da temperatura que está sendo medida.

Tipo de termopar	Faixa de Temperatura [C°]	Limite de erro padrão	Limite de erro especial
T	0-370	0.75%	0.40%
J	0-760	0.75%	0.40%
E	0-870	0.50%	0.40%
K/N	0-1260	0.75%	0.40%

Tipo de termopar	Faixa de Temperatura [C°]	Limite de erro padrão	Limite de erro especial
S/R	0-1480	0.25%	0.10%
B	870-1700	0.50%	0.25%

9. SELEÇÃO DE TERMOPARES

A escolha de termopares para um determinado serviço deve ser feita considerando-se todas as possíveis características e normas exigidas pelo processo.

9.1. FAIXA DE TEMPERATURA

A faixa de temperatura do termopar deve ser compatível com àquela do processo.

9.2. POTÊNCIA TERMOELÉTRICA

Escolher o termopar que melhor responde ao intervalo de temperatura específico do processo no qual será aplicado.

9.3. PRECISÃO

Para plena confiabilidade na medida, devemos considerar particularidades importantes que afetam a precisão da medida:

- 9.3.1. Homogeneidade dos fios;
- 9.3.2. Estabilidade do sinal do termopar;
- 9.3.3. Reprodutividade do termopar.

9.4. CONDIÇÕES DE TRABALHO

Termopar R, S, E e K são fortes contra oxidação, mas fracos para redução. Já os tipos J e T são fortes contra redução e fracos contra a oxidação. Portanto, o termopar escolhido para uso deve obedecer às condições de trabalho do ambiente.

9.5. VELOCIDADE DE RESPOSTA

Em certos processos, alguns parâmetros, como velocidade de resposta, definição de ponto de medida e adaptabilidade, constituem-se em pontos de importância, devendo ser cuidadosamente determinados.

9.6. CUSTOS

Deve-se proceder com rigor na escolha de um termopar em função de um melhor aproveitamento de material disponível em relação ao investimento aplicado.

9.7. VIDA ÚTIL

Para aumentar a durabilidade do termopar, deve-se observar as características específicas do meio a ser medido, tais como corrosividade, fluxo de massa, efeitos mecânicos e faixa de temperatura, para então definir área seccional dos fios do termopar, seu tipo e sua proteção mais adequada.

10. TERMÔMETRO DIGITAL (EXEMPLOS)

A escolha de termopares para um determinado serviço deve ser feita considerando-se todas as possíveis características e normas exigidas pelo processo.

10.1. SEM COMPENSAÇÃO

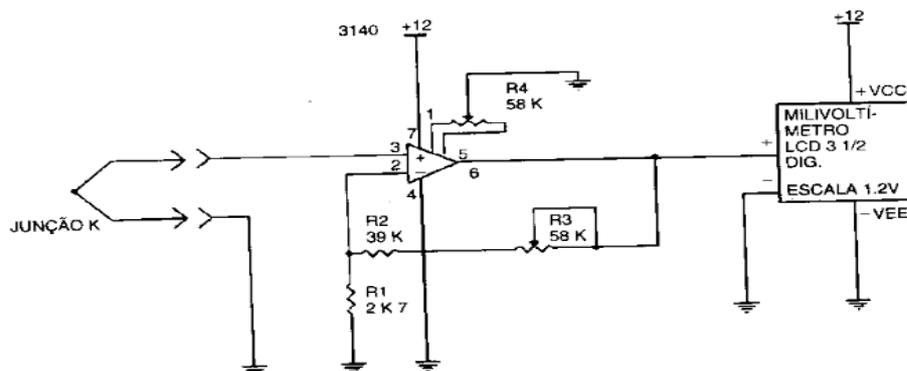


Fig.10.1 - Termômetro digital de baixo custo utilizando termopar para medir temperaturas até 1200°C.

Como sabemos existe uma boa linearidade em todos os espectros de funcionamento dos termopares, o que facilita o processamento das tensões de saída através de simples milivoltímetros digitais ou analógicos.

Conhecendo-se a curva ou a tabela equivalente do termopar torna-se bastante fácil medir a temperatura; para isso, basta medir a tensão do termopar e procurar na tabela a temperatura respectiva.

Se quisermos que a temperatura seja mostrada num display de LED's ou LCD ou mesmo num sistema analógico, devemos amplificar o sinal devidamente e enviá-lo para o display. A amplificação deverá ser feita de tal maneira que a tensão de saída do amplificador seja de mesmo valor absoluto da temperatura respectiva, pois assim a leitura será direta, eliminando a necessidade de tabelas.

O circuito da **fig.10.1** mostra um desses circuitos que, utilizando uma junção tipo K, mede a temperatura de um forno de cerâmica com temperatura máxima de 1.200°C.

Para calcular o ganho, devemos primeiro estipular a escala em que o milivoltímetro vai trabalhar. O sistema mostrado na **fig.10.1** utiliza um milivoltímetro de três e meio dígitos na escala de zero a 1,200 volts. Isso quer dizer que quando a temperatura estiver a 1.200°C, o display deverá indicar 1,200V para lermos essa tensão como se fosse a temperatura em graus centígrados. Sabemos que uma junção K colocada a 1.200°C deverá produzir uma tensão de 48,828mV. Assim, o ganho do amplificador deverá ser tal que ao colocarmos essa tensão em sua entrada, ele produzirá em sua saída 1,200 volts. Trabalhando assim, colocamos a precisão máxima do aparelho em torno de 1.200°C. Como a curva da Junção K não é exatamente linear, para outras temperaturas não obteremos muita precisão. Portanto, devemos sempre fazer o cálculo do ganho para a temperatura em que queremos a precisão máxima.

Se quisermos neste circuito a mesma precisão para outras temperaturas, a única solução é fazer várias escalas e cada escala ter seu próprio ganho.

Para fazer o ajuste exato do sistema mostrado na **fig.10.1** deveremos primeiro "curto-circuitar" a entrada e calibrar zero na saída através do ajuste de offset, ou seja, o R4. O passo seguinte é colocar o sensor numa temperatura conhecida e ajustar o ganho através do resistor R3 até obter a leitura desejada. A temperatura padrão utilizada para calibração deverá ser o mais próximo possível daquela em que se deseja a precisão máxima.

Como já visto anteriormente, quando trabalhamos com pares bimetálicos, devemos ter sempre em mente que outras junções bimetálicas adicionais colocadas no circuito do sensor também irão produzir tensões que variam com a temperatura. No caso da junção K, por exemplo, haverá

necessariamente uma junção cobre-castantán e uma ferro-cobre devido ao contato elétrico dos fios do sensor com os bornes de cobre do restante do circuito elétrico. Como todas essas junções também produzem tensões, a tensão final a ser medida pelo medidor será a soma delas todas, o que produzirá erro de medida, principalmente devido ao fato de que cada uma das junções adicionais varia diferentemente com a temperatura.

Para o caso de medidas de altas temperaturas, como, por exemplo, o circuito da **fig.10.1**, isso não constituiria problema, pois a temperatura da junção “quente” é muito maior do que a temperatura das duas “junções frias”, portanto a variação destas não ocasionará erros perceptíveis nas medidas.

Por outro lado, para medidas de temperaturas mais baixas, ou mesmo para medidas em que se deseja maior precisão, devemos eliminar completamente as variações de temperatura das junções frias.

10.2. COMPENSAÇÃO COM BANHO DE GELO

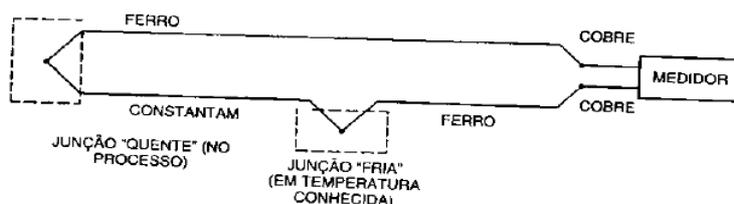
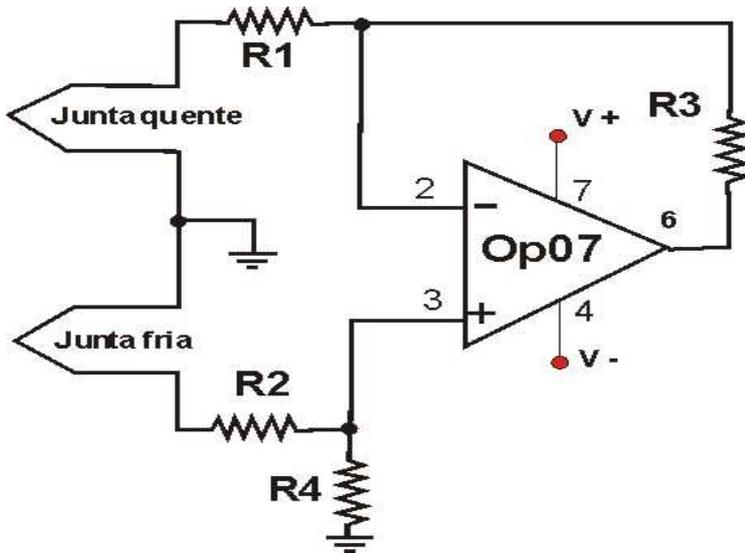


Fig.10.2 - montagem utilizada para eliminar variações de tensão das junções adicionais.

Para eliminar o efeito das outras junções, idealizou-se a montagem da **fig.10.2**, que utiliza duas junções, conhecidas como quente e fria. A junção quente é que será colocada no meio cuja temperatura queremos medir. A junção fria ficará numa temperatura conhecida e vai propiciar junções iguais, com tensões opostas nos terminais de cobre dos sistemas de aquisição. É usual colocar a junção fria numa caixa com gelo mantida a zero grau. Assim, a tensão da junção fria será zero volt e somente a junção quente será levada em conta.

Na realidade, não é indispensável utilizar zero grau na junção fria. Qualquer temperatura serve desde que seja conhecida. Neste caso, o procedimento seria verificar no gráfico qual a tensão para a temperatura da junção fria e subtrair esta tensão esta da tensão proveniente da junção quente. Essa subtração pode ser feita matematicamente ou eletronicamente.



Esse circuito está na configuração Subtrator, fazendo: $R1=R2=R3=R4$;

O ganho da entrada inversora é: $- R3 / R1$;

Logo: $- 1$;

E ganho da entrada não inversora é: $1 + R3 / R1 = 2$;

Como a tensão da junta fria está dividida por 2, através de $R2 + R4$, resulta ganho = 1;

E a Saída do Op07 = Junta Quente - Junta Fria;

Logo: ganho unitário;

Além do mais, está para aplicação científica, onde a junta fria deverá estar imersa em gelo fundente (zero °C).

10.3. COMPENSAÇÃO EM HARDWARE

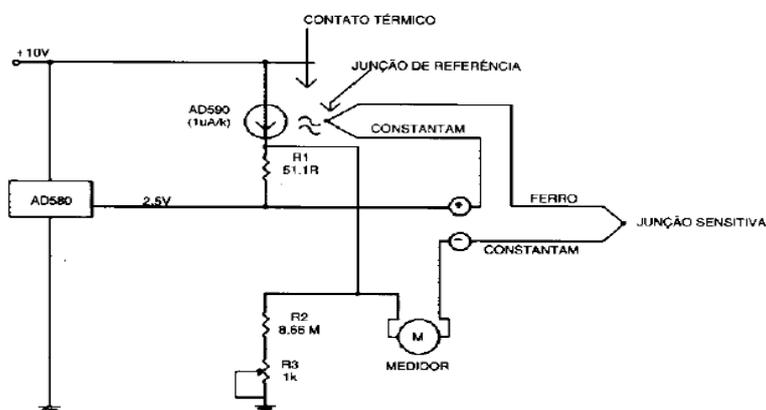


Fig.10.3: Sistema de medição de temperatura utilizando uma junção do tipo J e um transdutor de temperatura do tipo semiconductor para subtrair eletronicamente a tensão da “junção fria”.

O circuito da **fig.10.3** utiliza um sensor de temperatura a semiconductor para monitorar a temperatura da junção fria e subtrair eletronicamente este valor da tensão proveniente da outra junção. Neste circuito, o AD590 funciona como uma fonte de corrente controlada por temperatura e está termicamente ligado a junção fria. O AD580 é um diodo Zener com compensação de temperatura, utilizada aqui para fornecer uma tensão de referência. R1 transforma a corrente de $1 \mu\text{A}/^\circ\text{C}$ do AD590 para $51,5 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ de modo a compatibilizá-lo com a junção do tipo J aqui utilizada. R2 e R3, juntamente com o AD580, subtraem o offset de $273,16 \mu\text{A}$ do AD590 a 0°C (273K).

O medidor pode ser digital ou analógico, com impedância de entrada maior do que $10\text{K}\Omega$ e um bom CMRR a 60Hz.

11. INFORMAÇÕES ADICIONAIS E FABRICANTES

Após uma busca em www.google.com, foram encontrados diversos fabricantes bem como uma infinidade de produtos. Na busca mais abrangentes foram encontradas 391 empresas fabricantes de termopares e mais de 1273 tipos. A princípio todos estão dentro das especificações listadas e enumeradas acima, mas não foi possível a verificação completa. Dentre os fabricantes mais comuns podem ser encontrados:

Empresas com sedes nacionais:



Outras empresas:



Entre diversas outras.

12. BIBLIOGRAFIA E REFERÊNCIAS

ROWE, D.M.;BHANDARI, C.M. – Modern Thermoelectrics, Prentice-Hall-1983.

GRISA, Elaine; SUZIN, Evandro; FEIER, Rafael – Sensores de Temperatura – Universidade de Caixias do Sul.

www.omega.com – z021-032.pdf – Reference Temperatures.

PARK,John; MACKAY, Steve – Practical Data Acquisition for Instrumentation and Control Systems. Elsevier – 2003.

Tumanski, S. – Principles of Electrical Measurement, Taylor & Francis Group – 2006.

<http://www.pgie.ufrgs.br/portalead/nucleo/HPLMM/mec017/termopar2.htm>

http://www.termopares.com.br/teoria_sensores_temperatura_termopares_potencia_termoeletrica/

http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC0000000022004000200045&script=sci_arttext

<http://www.automacaoindustrial.com/instrumentacao/temperatura/termopares.php>

<http://www.asm51.eng.br/phpbb/viewtopic.php?t=6573&sid=8f85bcc4ebfcf22f1ce3dd71155b05e>

<http://www.nei.com.br/guia/resultado.aspx?o=h&w=281920&wBusca=Termopares&area=fornecedores&l=pt-br>

<http://www.directindustry.es/fabricante-industrial/termopar-61240.html>

Efeito Peltier-Seebeck: gerando eletricidade por diferença de temperatura

Aluno: Luis Carlos Kakimoto RA 880521

Email: 1880521@dac.unicamp.br

Orientador: Prof. Dr. Abner Siervo (IFGW)

Email: asiervo@if.unicamp.br

Coordenador: Prof. Dr. José J. Lunazzi (IFGW)

F609 - Tópicos em Ensino de
Física I

1

Resumo

Esse trabalho apresenta um conjunto de experimento simples para demonstrar o efeito Peltier-Seebeck , a saber a geração de diferença de potencial a partir da diferença de temperatura.

Objetivo

1. Apresentar o efeito Peltier –Seebeck por meio de experimentos simples e de fácil compreensão para o público em geral.
2. Conectar o fenômeno físico com aplicações tecnológicas e de uso cotidiano.

F609 - Tópicos em Ensino de
Física I

2

Efeito Peltier-Seebeck

- O efeito Peltier é a produção de um gradiente de temperatura em duas junções de dois condutores (ou semicondutores) de materiais diferentes quando submetidos a uma tensão elétrica em um circuito fechado (conseqüentemente, percorrido por uma corrente elétrica). Quando uma corrente é aplicada, o calor move de um lado ao outro – onde ele deve ser removido com um dissipador. Se os pólos elétricos forem revertidos, o dispositivo que usa deste princípio se tornará em um excelente aquecedor.
- É também conhecido como Força eletromotriz de Peltier e é o reverso do efeito Seebeck em que ocorre produção de diferença de potencial devido a diferença de temperatura neste mesmo tipo de circuito.
- Estes dois efeitos podem ser também considerados como um só e denominado de efeito Peltier-Seebeck ou efeito termelétrico. Na verdade, são dois efeitos que podem ser considerados como diferentes manifestações do mesmo fenômeno físico [11].

F609 - Tópicos em Ensino de Física I

3

Efeito Peltier-Seebeck

- Os representantes do efeito Peltier, e por extensão do efeito Seebeck, no quesito prático são os termopares: dispositivos que geram corrente elétrica a partir de duas junções de metais diferentes em diferentes temperaturas, ou que fazem o processo inverso. Por isso são usados para indicação, controle e alteração de temperatura em muitos processos industriais.
- O efeito Peltier é utilizado em coolers em que usando uma diferença de potencial se pode transferir calor da junção fria para quente aplicando-se a polaridade elétrica adequada (É um refrigerador no sentido termodinâmico da palavra).
- Em geral o material semicondutor é telureto de bismuto altamente dopado para criar semicondutores tipo P e tipo N. Ao circular corrente pelas junções calor é transferido de uma para outra e o dispositivo funciona como um refrigerador sem partes móveis [11].

F609 - Tópicos em Ensino de Física I

4

Etapas do Projeto

1. **Levantamento Bibliográfico:** Utilizando a internet como ferramenta de busca, procurou-se por experimentos simples voltados para um público leigo e que pudessem ser reproduzidos. As referências bibliográficas [1] a [9] indicam os principais experimentos pesquisados.
2. **Elaboração do Experimento e Montagem:** Optou-se inicialmente pela montagem da experiência da referência [1], no entanto o termopar formado por fio de cobre e ferro acabou por ser substituído por um termopar formado por fio de ferro e constantan que mostrou-se mais eficaz. Com base na referência [3] procurou-se testar a eficácia de uma associação série de termopares. Para mostrar a aplicação desse efeito na área tecnológica optou-se por apresentar também o funcionamento de um termopar comercial, neste caso um termopar tipo K (junção de fios Cromel e Alumel) e o funcionamento de um dispositivo Peltier semicondutor operando entre duas fontes térmicas e gerando uma tensão que alimenta um pequeno motor DC como nas referências [4] a [9].
3. **Apresentação**
4. **Relatório Final**

F609 - Tópicos em Ensino de Física I

5

Lista de Componentes

- Fio de Ferro
- Fio de Constantan
- Termopar comercial tipo K
- Dispositivo de Efeito Peltier Comercial.
- Motor DC 3 V
- Multímetro Digital
- Dissipador térmico.
- Copo com água quente.
- Copo com gelo
- Bandeja com gelo
- Maçarico culinário

F609 - Tópicos em Ensino de Física I

6

Procedimentos

1. Com dois fios de constantan e um de ferro monte o termopar da figura 1.
2. Com os terminais A e B conectados a um multímetro, coloque a junção 1 em um copo com gelo e a outra junção num copo com água fria. Observe a diferença de potencial registrada no multímetro (Figura 2).
3. Com dois fios de constantan e um de ferro faça uma nova junção e conecte-a em série com o termopar anterior (Figura 03).
4. Repita o passo 2 e observe a diferença de potencial registrada no multímetro.

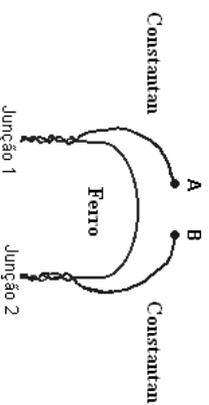


Figura 1 - Termopar [3]

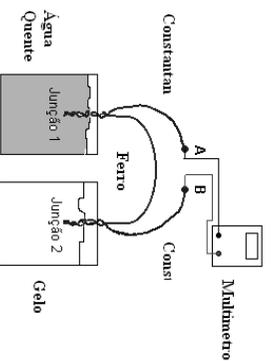


Figura 02 - Teste do Termopar

F609 - Tópicos em Ensino de Física I

7

1. Coloque o medidor de um termopar comercial em um copo com gelo. Conecte o termopar a um multímetro e observe a diferença de potencial. Figura 04
2. Coloque o termopar num copo com água quente e repita o processo.
3. Utilizando um dispositivo Peltier Comercial coloque-o sobre um dissipador colocado numa cuba com gelo. Conecte os terminais do Peltier a um motor DC de 3V e a um multímetro.
4. Com um maçarico de cozinha aqueça a superfície do Peltier que não está em contacto com o dissipador. Observe a tensão no multímetro atingir os 3V e o motor ser acionado. (Fig 05)

Procedimentos

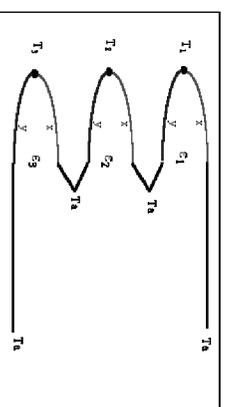


Figura 03 - Associação em série de Termopares [3]

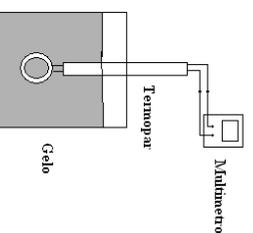


Figura 14 - Termopar Industrial

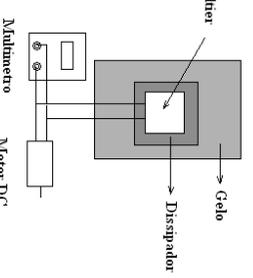


Figura 15 - Peltier Comercial

F609 - Tópicos em Ensino de Física I

8

Conclusões

- O projeto conseguiu atingir o objetivo proposto, ou seja, criar um conjunto de experimentos simples que apresentem o efeito Peltier-Seebeck a um público geral e que conectem esse conceito físico com as aplicações tecnológicas e do cotidiano.
- O desenvolvimento do projeto proporcionou um maior conhecimento das técnicas usadas para a confecção dos termopares e das medidas de grandezas em sistemas com fontes térmicas.

F609 - Tópicos em Ensino de Física I

9

Referências:

- [1] ____, “Como transformar energia elétrica em energia térmica”, postado em 15/09/2008 em <http://fisicomaluco.com/experimentos/2008/09/15/como-transformar-energia-termica-em-energia-elétrica/>, acessado em 07/04/2013.
- [2] RRTD, “Efeito Seebeck”, postado em 10/06/2008 em <http://rrtd.blogspot.com.br/>, acessado em 07/04/2013.
- [3] Waintraub, F.; Mourão F; “Termopares: Teorias e Técnicas” em <http://www.pob.ufri.br/cursos/eel/10/Termopar.pdf>, acessado em 07/04/2013.
- [4] YouTube: *Efeito Peltier//Peltier Effect*, postado em 24/04/2009, em <http://www.youtube.com/watch?v=C5mRMT-LmWg>, acessado em 29/03/2013.
- [5] Youtube: *Generate electricity from your body heat*, postado em 5/04/2009, em <http://www.youtube.com/watch?v=pq1OUXKyzFE>, acessado em 29/03/2013.
- [6] Youtube: *Peltier as a thermoelectric generator (TEG)*, postado em 27/08/2009, em <http://www.youtube.com/watch?v=VQxYqJ-X-8>, acessado em 29/03/2013.
- [7] Youtube: *Demo of the Seebeck Effect*, postado em 01/06/2012, em http://www.youtube.com/watch?v=b15o_m0FmU, acessado em 29/03/2013.
- [8] Youtube: *Thermoelectric (Peltier--Seebeck) Effect Demonstration*, enviado em 07/06/2012, em <http://www.youtube.com/watch?v=ilMERuU4ilU>, acessado em 29/03/2013.
- [9] Youtube: *Efecto Seebeck Peltier. Crear electricidad del calor*, publicado em 17/11/202, em <http://www.youtube.com/watch?v=9GBvWt-FDIQ>, acessado em 29/03/2013.
- [10] Da Cunha. D.B. “Projeto Mpermbá”, publicado em junho 2010 em http://www.if.unicamp.br/~lunazzi/F530_F590_F690_F809_F895/F809/F809 sem1_2010/DanieloB-RichardLanders t:609_RF4.pdf, acessado em 29/03/2013.
- [11] ____, “Efeito Peltier” em http://pt.wikipedia.org/wiki/Efeito_Peltier acessado em 12/05/2013.

F609 - Tópicos em Ensino de Física I

10