

## **ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DA UTILIZAÇÃO DE BOMBAS DE CALOR TERMOELÉTRICAS PARA AQUECIMENTO DE ÁGUA RESIDENCIAL**

**Ricardo Nicolau Nassar Koury, koury@ufmg.br<sup>1</sup>**

**Luiz Machado, luizm@demec.ufmg.br<sup>2</sup>**

**Leonardo Ribeiro Lobato Bicalho,<sup>3</sup>**

**Claudio de Oliveira Mendonca, com@ufmg.br<sup>4</sup>**

<sup>1,2,3,4</sup> UFMG, Escola de Engenharia, Departamento de Engenharia Mecânica, Av. Antônio Carlos, 6627 – Campus Pampulha, Belo Horizonte, MG, CEP 31270-901

**Resumo:** A crescente preocupação com a preservação do meio-ambiente e a necessidade de se procurar fontes e equipamentos para compor a matriz energética de cada país levam a busca por alternativas técnicas inteligentes. Um dos ramos que busca a evolução é o da refrigeração e nela vem-se desenvolvendo uma tecnologia alternativa, a termoeletricidade. O efeito termoelétrico é dado pela transformação direta de energia térmica (diferença de temperatura) em eletricidade e vice-versa. Os estudos desenvolvidos pelos cientistas Thomas Seebeck e Jean Charles Peltier comprovaram, no início do século XIX, que quando um par termoelétrico, inicialmente à mesma temperatura é alimentado por corrente contínua, uma diferença de temperatura é gerada nas junções sendo que uma delas se resfria e a outra se aquece. O objetivo deste trabalho é construir e testar um protótipo de pequeno porte de bomba de calor, trata-se de uma contribuição aos estudos de aquecimento e refrigeração utilizando termoeletricidade desenvolvidos no Laboratório de Refrigeração do DEMEC / UFMG. O plano de testes experimentais foi elaborado com base em metodologia proposta pela literatura e executado no Laboratório de Refrigeração supra citado. O protótipo preliminar de bomba de calor projetado e construído tem capacidade para aquecer 3 litros de água de 25°C até 40 °C em 53 minutos por meio de um módulo termoelétrico com 41 J/s de potência. Os testes experimentais constantes do plano foram realizados, dentre esses o aquecimento do mesmo volume de água por meio de uma resistência elétrica introduzida no protótipo, com a mesma potência do módulo citado, a fim de se comparar a eficiência dos sistemas. Finalmente concluiu-se que há viabilidade técnica, mas ainda não há viabilidade econômica para a utilização deste tipo de equipamento em aquecimento residencial. A grande vantagem do sistema termoelétrico em relação àquele com resistência elétrica é que o primeiro pode ser programado para funcionar fora do horário de pico de utilização de energia elétrica. Os resultados experimentais obtidos servirão de base para a construção de um próximo protótipo em escala real.

**Palavras-chave:** termoeletricidade; Bomba de calor

### **1. INTRODUÇÃO**

O conceito de desenvolvimento sustentável assumiu notável importância a partir de meados do séc. XX quando o tema passou a ser discutido em diversos fóruns mundiais. A incidência de episódios climáticos severos tais como ciclones e furacões tornou-se mais freqüente e estudos mostraram que a temperatura média do planeta está subindo expondo um alarmante cenário batizado de aquecimento global.

As formas tradicionais de obtenção de energia passaram a ser questionadas, em especial a energia oriunda da queima de combustíveis fósseis. Há um nítido confronto de interesses econômicos mundiais inseridos nas questões ambientais.

Em 2001, o Brasil atravessou um episódio de crise energética que obrigou todos os consumidores a racionarem seu consumo de energia elétrica. Os investimentos para suprir a demanda de consumo não vêm sendo feitos há décadas. Com isso, o estudo de fontes de energias alternativas se acelerou e o interesse em equipamentos desta natureza, com baixo consumo energético e menos poluidores, assumiu importância especialmente nas residências.

De acordo com o Ministério de Minas e Energia, 22% do consumo total de energia elétrica no Brasil é utilizada pelo segmento residencial e, desta parte, a maioria é gasta com o aquecimento de água para banho (Procel, 2008). Deve-se destacar que existe ainda a questão do horário de pico no consumo. O tradicional chuveiro elétrico, vilão no consumo

doméstico, é acionado nas residências principalmente das 18h às 21h quando a indústria e o comércio ainda não encerraram as suas atividades e quando o consumo para iluminação de ambientes está no seu auge.

Diante disso, a sociedade moderna passa por um momento de reeducação de seus hábitos em especial dos de consumo. As empresas passaram a enxergar neste ponto uma importante estratégia de marketing e os termos responsabilidade sócio-ambiental e sustentabilidade vieram à tona nas principais campanhas publicitárias. Assim, o desenvolvimento de tecnologia de equipamentos que apresentem maior eficiência energética, que possam trabalhar fora do horário de pico e, desta forma, que contribuam para a redução dos impactos ao meio ambiente é de grande interesse para o país.

Este trabalho faz parte de um projeto do Grupo de Refrigeração do DEMEC-UFMG no âmbito do qual já foi desenvolvido um Trabalho de Graduação do aluno do curso de graduação em Engenharia Mecânica da UFMG, Tiago Antunes Vieira de Menezes, que projetou, construiu e testou preliminarmente um mini-refrigerador termoelétrico. (Menezes,2007) .

Pretende-se então projetar, construir e realizar testes experimentais preliminares de uma bomba de calor termoelétrica para aquecer 3 litros de água por meio de módulo termoelétrico e realizar uma análise básica de viabilidade técnica sobre a utilização residencial deste tipo de equipamento comparado-o com o sistemas de aquecimento tradicionais.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Em 1834, o cientista francês Jean Charles Athanase Peltier observou o fenômeno inverso daquele apresentado por Seebeck, isto é, se as junções do par termoelétrico (Fig. 1) estivessem inicialmente à mesma temperatura e fosse incluída uma fonte de corrente contínua no circuito, uma diferença de temperatura seria gerada nas junções, sendo que uma delas se resfriaria e a outra seria aquecida. O sentido da corrente é que definia se a junção aquecia ou resfriava.

Utilizando um par termoelétrico de antimônio e bismuto, Peltier conseguiu congelar uma gota de água (Menezes, 2007).

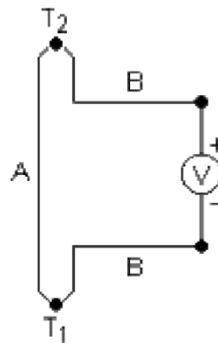


Figura 1. Efeito Peltier

O coeficiente de Peltier depende do material e da temperatura da junção sendo independente da forma ou dimensão de tais materiais. A quantidade de calor absorvida pela junção fria ou liberada pela junção quente pode ser expressa matematicamente por (Costa,1982):

$$Q = \pi_{AB} \cdot I \cdot t \quad (2.1)$$

$$\pi_{AB} = \pi_A - \pi_B \quad (2.2)$$

onde:

$Q$ : quantidade de calor absorvida ou liberada (Joules);

$\pi_A$ : coeficiente de Peltier do material A (volts);

$\pi_B$  : coeficiente de Peltier do material B (volts);

$\pi_{AB}$ : coeficiente de Peltier entre o material A e o material B (volts);

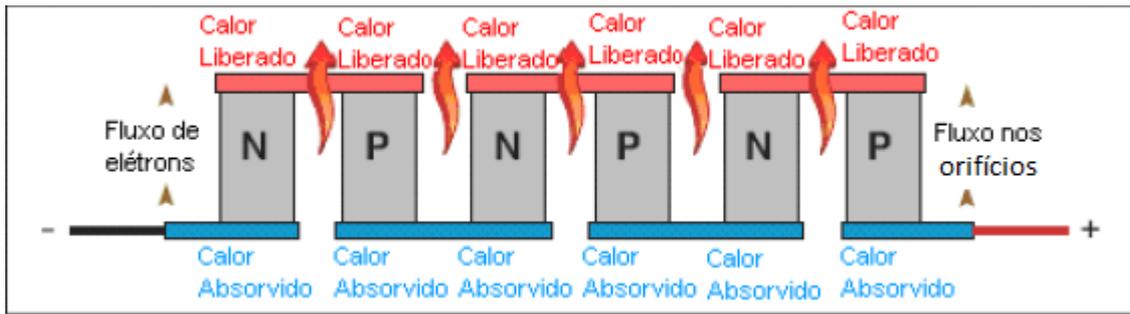
$I$  : corrente elétrica que percorre o circuito (ampères);

$t$  : tempo que o circuito permanece ligado à fonte ( segundos).

### 2.1. Configuração do Sistema Termoelétrico

Os pares termoelétricos são formados por 2 elementos semicondutores, usualmente telureto de bismuto altamente dopado para criar estruturas do tipo n ou do tipo p. O calor absorvido na junção fria é transferido para uma junção quente a uma taxa proporcional à corrente que passa através do circuito e ao número de pares semicondutores (Stockholm,1993).

Geralmente os pares são combinados em uma pastilha onde eles são conectados eletricamente em série e termicamente em paralelo conforme mostrado na Fig. 2.



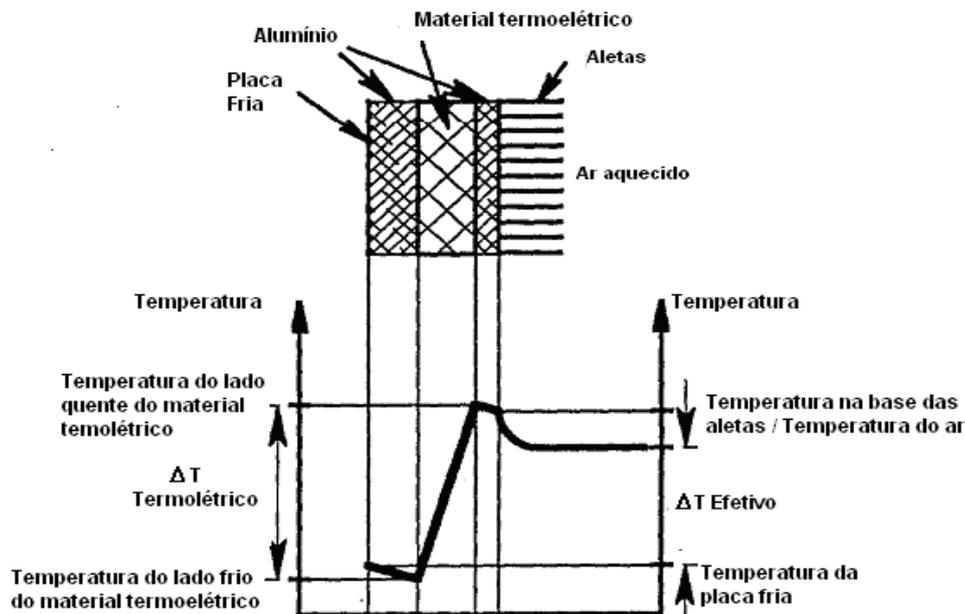
**Figura 2 - Construção interna de uma pastilha termoeétrica (Romani, 2007)**

A configuração de um sistema termoeétrico típico projetado para aquecer um volume de ar utiliza duas combinações de ventilador e dissipador de calor instalados entre o lado quente e o lado frio de um conjunto com uma ou mais pastilhas termoeétricas. Neste caso o calor é insuflado para o volume a ser aquecido. O dissipador menor é utilizado junto ao ambiente externo para coletar calor (Rowe, 1995).

Para o projeto de um sistema termoeétrico é necessário definir parâmetros tais como a temperatura da superfície fria; temperatura da superfície quente; quantidade de calor cedido pela superfície quente da pastilha termoeétrica. Se o objeto a ser aquecido está em contato íntimo com a superfície quente da pastilha termoeétrica, a temperatura desejada do objeto pode ser considerada a temperatura da superfície quente da pastilha. Há situações onde o objeto a ser aquecido não está em íntimo contato com a superfície quente da pastilha. Neste caso, há um problema de transferência de calor a ser solucionado (Stockholm, 1993).

A temperatura da superfície quente é definida por dois parâmetros importantes: temperatura do volume ao qual o calor será transmitido e eficiência do trocador de calor que está entre a superfície quente da pastilha e o volume.

As temperaturas entre as fontes quente e fria e a diferença entre elas são parâmetros muito importantes e podem ser determinados experimentalmente com precisão se o projeto opera como desejado. A fig. 3 representa um perfil de temperatura típico através de um sistema termoeétrico (Stockholm, 1993).



**Figura 3 - Distribuição de Temperatura entre placa fria e o fluido aquecido (Stockholm, 1993).**

O parâmetro mais difícil de quantificar é a quantidade de calor (QC) a ser absorvida na superfície fria da pastilha termoeétrica. Todas as cargas térmicas do sistema termoeétrico devem ser consideradas. Estas cargas térmicas incluem, dentre outros, a carga térmica do dispositivo eletrônico (efeito Joule) e a carga térmica da condução através de qualquer objeto em contato com as superfícies das pastilhas. Em alguns casos os efeitos de radiação térmica também devem ser considerados (Stockholm, 1993).

Dispositivos termoeletricos são capazes de produzir, sem carga, diferenas de temperatura da ordem de 70 °C. Diferenas de temperatura maiores podem ser conseguidas através de cascata de pastilhas (Romani, 2007).

## 2.2. Aplicabilidade dos M3dulos Termoeletricos

Os m3dulos termoeletricos v3em sendo utilizados em sistemas de refrigera3o de pequeno porte e em gera3o de pot3ncia para componentes eletr3nicos. Algumas aplica3es mais sofisticadas s3o encontradas na ind3ustria b3lica e aeroespacial. A utiliza3o deste sistema para o aquecimento 3 pouco difundida. (Romani, 2007).

As principais vantagens da utiliza3o de sistemas com esta tecnologia s3o: poucas partes m3veis; tamanhos e pesos reduzidos; controle preciso de temperatura; durabilidade; aus3ncia de ru3dos; capacidade de gerar energia el3trica (efeito Seebeck) (Menezes, 2007).

Entre as desvantagens deve-se salientar o alto custo dos m3dulos termoeletricos e o baixo rendimento. Outro inconveniente 3 a utiliza3o de correntes cont3nuas de baixa tens3o e alta corrente que acaba elevando os custos da instala3o (Costa, 1982).

Interessante observar que, apesar da import3ncia de mecanismos alternativos para bombas de calor, n3o existem muitos trabalhos publicados sobre a utiliza3o dessas para aquecimento de 3gua residencial.

## 3. METODOLOGIA

Terminada a etapa inicial de busca por fontes cient3ficas para a constru3o da revis3o bibliogr3fica, iniciou-se a idealiza3o do prot3tipo para testes experimentais . Primeiramente construiu-se um esboo do aquecedor termoeletrico para 3gua que deveria conter um recipiente com paredes isoladas termicamente, onde seria instalado um m3dulo termoeletrico associado a um dissipador de calor acompanhado por um ventilador acoplado a fim de aumentar o fluxo de ar.

A etapa seguinte do projeto, que est3 detalhada nos itens a seguir, 3 baseada na escolha dos materiais, c3lculo da carga t3rmica e especifica3o dos equipamentos.

### 3.1. Materiais

O recipiente dever3 armazenar a 3gua e suportar a instala3o do m3dulo termoeletrico. Deve-se ressaltar a necessidade de isolamento t3rmico adequado na superf3cie externa a fim de minimizar as perdas de calor para o ambiente. Outro detalhe significativo diz respeito 3 fixa3o do m3dulo termoeletrico 3 parede do recipiente com a utiliza3o de pasta t3rmica.

Diante de algumas possibilidades, em fun3o do oramento dispon3vel optou-se por um recipiente de alum3nio com capacidade de 3 l, revestido externamente por manta t3rmica e placas de poliestireno expandido conforme apresentado na Fig. 4.



**Figura 4 – Recipiente de alum3nio utilizado (esquerda) e prot3tipo j3 isolado (direita)**

### 3.2. Modelo Matem3tico

Para o c3lculo da carga t3rmica considerou-se que o recipiente n3o est3 exposto 3 luz solar e, desta forma, a transfer3ncia de calor por radia3o foi desprezada. Considera-se que a temperatura interna da 3gua 3 de 35°C e a temperatura do ar ambiente 3 25°C. O aquecedor el3trico, utilizado como refer3ncia nos testes, tem formato cil3ndrico com dimens3es externas (considerando o isolamento t3rmico): 0,210 mm de altura e 0,230 mm de di3metro.

O calor transferido do recipiente para o ambiente 3 dado pela Equa3o 3.1 (Sonntag & Borgnakke, 2003):

$$\frac{\Delta T}{R_t} = \frac{T_{int} - T_{ext}}{R_t} = Q \quad (3.1)$$

Onde:

$Q$  : calor cedido do recipiente para o ambiente externo (W);

$T_{int}$ : temperatura da água no interior do recipiente (°C);

$T_{ext}$ : temperatura do ar externo (°C);

$R_t$ : resistência térmica total (K/W);

A Resistência térmica total, composta pela resistência térmica de convecção do ar ambiente contra as placas de isopor e pela resistência térmica de condução através do isolamento térmico, foi calculada utilizando-se as relações conhecidas da transferência de calor para a convecção natural livre e o valor da condução através das camadas da parede foram retiradas da literatura como pode ser visto na eq. 3.2 (Incropera & Dewitt, 2003). A resistência interna a convecção natural foi desprezada.

$$R_t = R_{conv} + R_{cond} = \left( \frac{1}{h \cdot A_{isop}} + \frac{L_{isop}}{k_{isop} \cdot A_{isop}} + \frac{L_{manta}}{k_{manta} \cdot A_{manta}} + \frac{L_{alum}}{k_{alum} \cdot A_{alum}} \right) \quad (3.2)$$

Onde:

$R_t$  : resistência térmica total (K/W);

$A_{isop}$  : área da superfície externa do isopor (  $m^2$  );

$h$  : coeficiente de transmissão de calor por convecção (  $W / m^2 \cdot K$  );

$L_{isop}$  : espessura da parede de isopor (m);

$k_{isop}$  : condutividade térmica do isopor (W/m.K);

$L_{manta}$  : espessura da manta térmica (m);

$k_{manta}$ : condutividade térmica da manta térmica (W/m.K);

$A_{manta}$ : área da superfície da manta térmica (  $m^2$  );

$L_{alum}$  : espessura da parede de alumínio (m);

$k_{alum}$  : condutividade térmica do alumínio (W/m.K);

$A_{alum}$  : área da superfície externa de alumínio (  $m^2$  );

Tem-se então que:  $R_t = 4,01$  K/W

Logo, pela equação 3.1 obtém o calor transferido do recipiente para o ambiente,  $Q = 1,246$  W.

O Calor absorvido pela água ( $Q_{agua}$ ) pode ser obtido segundo a relação entre massa (m), calor específico (c) e diferença de temperatura ( $\Delta t$ ), como mostrado na equação 3.3.

$$Q_{agua} = m \cdot c \cdot \Delta t \quad (3.3)$$

Assim, para uma massa de 3Kg e uma variação de temperatura de 10 K, como  $c = 4190$  J / Kg.K (Halliday, Resnick & Kran, 2007), temos que  $Q_{agua} = 125,7$  KJ.

### 3.3. Módulo Termoelétrico

De acordo com os cálculos desenvolvidos no item 3.2, pôde-se escolher o módulo termoelétrico capaz de se dequar às condições pretendidas. Optou-se por utilizar-se um módulo de 50 W de potência máxima, coeficiente de Seebeck de 0,0513V/K e dimensões 40 x 40 x 3,6 mm . Assim tem-se 50W – 1,25W (perdas) = 48,75 W

Com isso, teoricamente serão necessários 4578 s ( 43 min ) para elevar a temperatura do volume de 3 litros de água em 10°C.

O módulo termoelétrico foi instalado na parte inferior do recipiente tendo em vista a diferença de massa específica da água quente e da água fria que faz com que esta última fique por baixo. Assim a água fria fica em contato direto com o dissipador de calor do aquecedor enquanto a água quente atinge a parte superior do recipiente.

Como dissipadores foi usado o próprio recipiente de alumínio na fonte quente e um dissipador aletado com ventilação forçada na fonte fria. Para se reduzir as resistências térmicas de contato em ambos os lados do módulo foi aplicado pasta térmica.

### 3.4. Planejamento dos Testes Experimentais

O planejamento de testes experimentais seguiu as etapas de: identificação das variáveis e parâmetros a serem medidos; seleção da técnica de medição bem como os equipamentos medidores utilizados; metodologia para os dados obtidos experimentalmente. (Figliola & Beasley, 1995)

As variáveis medidas neste experimento foram: temperatura, tempo, volume, corrente elétrica e tensão elétrica. Todos estes parâmetros são controláveis. O controle das variáveis é um fator importante, isto é, elas devem apresentar valor constante num dado ponto de medição. (Figliola & Beasley, 1995).

A bancada de experimentos (Figura 5) contou com o protótipo escolhido, com uma fonte de corrente contínua de computador com saída de tensão de 12V. Fabricante: Topdek, modelo LC-AT, um termômetro digital de vareta com resolução de 0,1°C, faixa de medição: de -10°C a +200°C. Fabricante: ETL, modelo MV-363, um multímetro digital. Com resolução: 0,01 V; 0,01 A. Fabricante: ICEL, modelo MD-5770, um relógio cronômetro. Com resolução: 0,01s. Fabricante: Oregon, modelo HR102, uma resistência elétrica de 40W , 110V. Fabricante: Master Ind., modelo Máster 40 (utilizada em aquários ornamentais) e um medidor de volume. Com resolução: 0,250 l.

Com relação à resistência elétrica utilizada, buscou-se no mercado um dispositivo de baixa potência, semelhante ao módulo termoeletrico utilizado. Inicialmente a idéia era instalar esta resistência na parte externa inferior do recipiente de alumínio de modo a repetir as condições de transferência de calor observadas na instalação do módulo termoeletrico. Contudo, não foi encontrada uma alternativa que atendesse a estes requisitos. Desta forma, escolheu-se uma resistência elétrica utilizada para aquecimento de água em aquários ornamentais que funciona submersa na água.



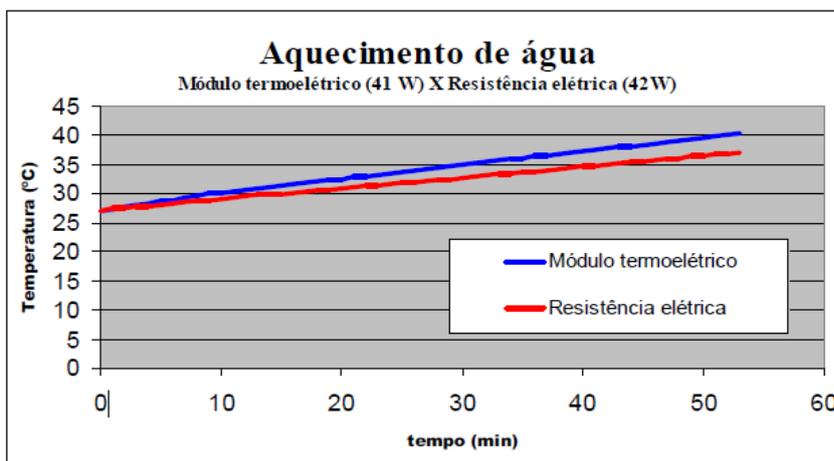
Figura 5 – Bancada de experimentos (à direita, detalhe da resistência elétrica)

## 4. RESULTADOS E ANÁLISES

Realizaram-se testes de aquecimento utilizando-se o módulo termoeletrico e a resistência elétrica nas mesmas condições a fim de comparar o desempenho destes dispositivos no aquecimento de um volume de 3 l.

Em todos os ensaios, o termômetro foi instalado de modo a medir a temperatura da água na região central do recipiente. Sabe-se que a densidade da água varia com a sua temperatura. Contudo, busca-se um valor médio que, para efeitos didáticos, corresponde àquela temperatura obtida caso o volume estivesse em constante agitação.

A Figura 6 mostra a comparação entre a variação da temperatura da água obtida com a resistência em relação aquela obtida com o módulo termoeletrico.

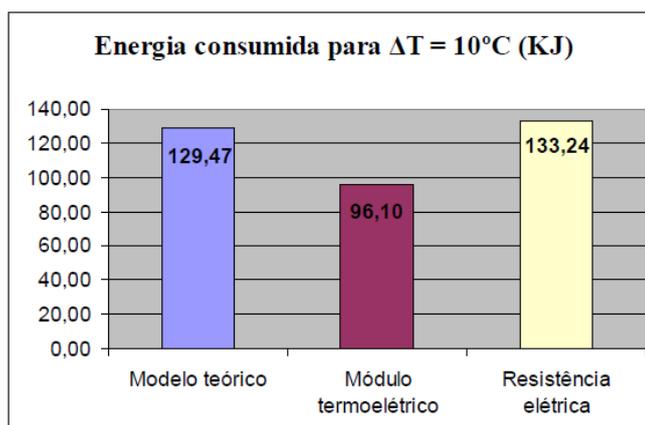


**Figura 6 – Aquecimento termoeletrico X Aquecimento por efeito Joule.**

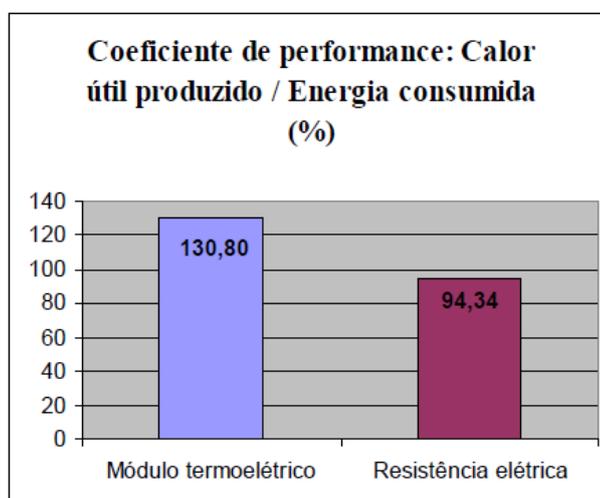
O modelo teórico inclui a energia necessária para o aquecimento de  $\Delta T=10^{\circ}\text{C}$  da água que é 125,7 kJ (item 3.2) somados às perdas conforme calculado no item 3.2. Como está sendo utilizado uma fonte de energia de cerca de 40W, as perdas de 1,246 W calculadas no referido item implicam em 3% do total fornecido. Assim O valor de 129,47 J apresentado na Figura 7 é o resultado de  $125,7 + 3\%$ .

A energia consumida pelo módulo termoeletrico e pela resistência eletrica foi obtida a partir do produto da potência (corrente medida versus tensão medida) e o tempo consumido.

A partir da energia efetivamente consumida e do calor útil produzido (125,7kJ), pode-se estabelecer o coeficiente de desempenho do aquecedor (Fig. 8) quando opera através do módulo termoeletrico e quando opera através da resistência eletrica.



**Figura 7 – Comparativo de energia consumida**



## Figura 8 - COP do aquecedor operando com resistência elétrica e módulo termoeletrico

Analisando-se a Fig. 8 é possível observar que o dispositivo operando com módulo termoeletrico trabalha efetivamente como uma bomba de calor levando o calor do ambiente externo para a água. Esta é a explicação física para esta “energia extra” que proporciona COP superior a 100% no aquecimento termoeletrico.

### 4.1. Incerteza das Medições

Dentre as variáveis envolvidas no experimento, mediu-se diretamente temperatura, tempo, volume, corrente elétrica e tensão elétrica. Indiretamente obteve-se a potência. Desta forma, a principal fonte de incerteza observada nas medições diretas foi a resolução dos instrumentos de medição. Todas as incertezas padrão combinadas e as incertezas expandidas colocadas em tabelas de balanço de incerteza respectivas à cada variável e foram obtidas a partir das seguintes relações (Gonçalves, 2004):

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + \dots + u_p^2} \quad (4.1)$$

$$U_{95\%} = K_{95\%} \cdot u_c \quad (4.2)$$

Para a temperatura a incerteza é de  $\pm 0,1^\circ\text{C}$ .

Para o Tempo a incerteza é de  $\pm 0,01\text{s}$ .

Para o volume a incerteza é de  $\pm 0,1\text{l}$ .

Para a tensão Elétrica a incerteza é de  $\pm 0,01\text{V}$ .

Para a corrente Elétrica a incerteza é de  $\pm 0,01\text{A}$ .

Para a potência Elétrica:

A potência elétrica (P) é obtida a partir dos valores de tensão (V) e corrente elétrica (I).

$$P = V \cdot I$$

Como se trata de uma medição indireta onde as variáveis são dependentes, a incerteza padrão é calculada pela equação 4.3 (Gonçalves,2004).

$$u(P) = \left| \frac{\partial P}{\partial V} \right| \cdot u(V) + \left| \frac{\partial P}{\partial I} \right| \cdot u(I) \quad (4.3)$$

onde:

u(P): incerteza padrão combinada associada à potência;

u(V): incerteza padrão combinada associada à tensão elétrica;

u(I): incerteza padrão combinada associada à corrente elétrica;

Mais uma vez tem-se  $v = \infty \rightarrow K_{95\%} = 2$  (Gonçalves, 2004)

Assim sendo, a potência elétrica obtida experimentalmente é de  $41,9 \pm 0,7\text{ W}$  para a resistência elétrica e de  $41,1 \pm 0,1\text{ W}$  para o módulo termoeletrico. Os cálculos detalhados das incertezas podem ser encontrados em (BICALHO,2008).

## 5. CONCLUSÃO

A análise do sistema de aquecimento termoeletrico montado indicou a existência de viabilidade técnica uma vez que o mecanismo termoeletrico se mostrou mais eficiente do que o resistivo.

Este trabalho contribuiu para os estudos da tecnologia termoeletrica baseado nos princípios do efeito Seebeck / Peltier desenvolvidos no Laboratório de Térmica do Departamento de Engenharia Mecânica da UFMG. Os objetivos propostos no início deste trabalho foram atingidos obtendo-se êxito no desenvolvimento do protótipo inicial e na análise experimental de sua operação.

Deve-se ressaltar que a tecnologia de semicondutores (matéria-prima dos módulos termoeletricos) vem se desenvolvendo bastante nos últimos anos gerando processos de fabricação menos onerosos. Desta forma, há uma boa

perspectiva de redução nos preços destes equipamentos, preço o qual torna inviável economicamente a utilização desses dispositivos.

A utilização de energia elétrica para o aquecimento de água vem se mostrando cada vez menos aceitável em nosso país tendo em vista o desenvolvimento vertiginoso das aplicações de energia solar e a “nobreza” da eletricidade que poderia ser poupada para demais aplicações.

Sugere-se para trabalhos futuros a tentativa de construção de um protótipo de aquecedor termoelétrico que permita o contato direto do dissipador de calor com a água. Para tanto deve-se dispensar especial atenção à vedação nas bordas do dissipador de calor onde este é instalado no recipiente. Esta construção certamente obteria resultados mais favoráveis já que a resistência térmica seria reduzida e o COP do aquecedor termoelétrico seria elevado.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BICALHO, Leonardo Ribeiro Lobato. Estudo da Viabilidade Técnica e Econômica da Utilização de Bombas de Calor Termoelétricas para Aquecimento de Água Residencial. Trabalho de Graduação. DEMEC – UFMG, 2008.

COSTA, Ênio Cruz da. Refrigeração, Cap. 7: Refrigeração Termoelétrica., 3ª ed. Edgard Blücher Ltda, São Paulo, 1982. p. 215-221

FIGLIOLA, Richard S.; BEASLEY, Donald E.. Theory and Design for Mechanical Measurements. Second Edition. John Wiley & Sons Inc. 1995.

GONÇALVES, Armando Albertazzi. Metrologia. UFSC – LABMETRO. Florianópolis, 2004.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; KRAN, Kenneth. Fundamentos de Física: Eletromagnetismo Volume 3 - Ed. LTC. 7ª Ed. 2007.

INCROPERA, F. P.; DEWITT, D.P., Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa. Ed. LTC. Quinta Edição.. Rio de Janeiro, 2003.

MENEZES, Thiago Antunes Vieira. Contribuição ao Estudo sobre a Viabilidade Técnica da Utilização de Aquecedores e Refrigeradores Termoelétricos. Trabalho de Graduação. DEMEC – UFMG, 2007.

PROCEL, Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica. Controle de Demanda. Disponível em <http://www.eletrobras.com/elb/procel/main.asp>. Acesso em 06/04/2008.

ROMANI, Rubens - APLICAÇÕES DE EFEITOS TERMOELÉTRICOS NA INDÚSTRIA AERONÁUTICA. 8º Congresso Iberoamericano de Engenharia Mecânica. Cusco 2007.

ROWE, D.M. - Handbook of thermoelectrics: CRC Press, Boca Raton, FL. 1995

SONNTAG, Richard E.; BORGNAKKE, Claus. Introdução à Termodinâmica para Engenharia. Ed. LTC, Rio de Janeiro, 2003.

STOCKHOLM, J.G. - How to use Thermoelectrics for Cooling - Modular Approach ,SCT-93 Short Course on Thermoelectrics, Yokohama-shi, Japan, (1993) - disponível em <http://www.its.org/system/files/Stockholm-Lecture7-SCT93.pdf> .Acesso em 13/04/2008.

## DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

Os trabalhos escritos em português ou espanhol devem incluir (após direitos autorais) título, os nomes dos autores e afiliações, o resumo e as palavras chave, traduzidos para o inglês e a declaração a seguir, devidamente adaptada para o número de autores.

# STUDY OF TECHNICAL AND ECONOMIC FEASIBILITY OF THE USE OF THERMOELECTRIC HEAT PUMPS FOR RESIDENTIAL WATER HEATING

Ricardo Nicolau Nassar Koury, koury@ufmg.br<sup>1</sup>

Luiz Machado, luizm@demec.ufmg.br<sup>2</sup>

Leonardo Ribeiro Lobato Bicalho,<sup>3</sup>

Claudio de Oliveira Mendonca, com@ufmg.br<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup> UFMG, Escola de Engenharia, Departamento de Engenharia Mecânica, Av. Antônio Carlos, 6627 – Campus Pampulha, Belo Horizonte, MG, Brazil CEP 31270-901

**Abstract.** *The growing concern about preserving the environment and the need to seek sources and equipment for the energy matrix of each country take the search for alternatives intelligent techniques. One of the branches that search evolution is refrigeration and it has developed an alternative technology, the thermoelectricity. The thermoelectric effect is given by the direct transformation of thermal energy (temperature difference) into electricity and vice versa. The studies carried out by the scientists Thomas Seebeck and Jean Charles Peltier proved in the early nineteenth century, that when a thermocouple, initially at the same temperature is fed by direct current, a temperature difference is generated in the joints, one of which cools while other heats. This work aims to build and test a small prototype heat pump. This is a contribution to the studies of heating and cooling using thermoelectricity developed in the Refrigeration Laboratory at DEMEC / UFMG. The experimental test plan was based on the methodology proposed by the literature and performed at the Laboratory cited above. The early heat pump prototype designed and built has a capacity of 3 liters of warm water 25 ° C to 40 ° C in 53 minutes through a thermoelectric module with 41 J / s of power. Experimental tests planned were made, among them heating the same volume of water through an electrical resistance introduced into the prototype with the same power module above, in order to compare the efficiency of systems. Finally it was concluded that there are technical, but there is no economic viability for the use of such equipment in residential heating. The great advantage of the thermocouple in relation to that of electrical resistance is that the former can be programmed to run off peak of electricity use. The experimental results provide a basis for building a near full-scale prototype.*

**Keywords:** Thermoelectricity, Heat Pump

## RESPONSIBILITY NOTICE

The authors are the only responsible for the printed material included in this paper.