

Artigo

Viabilidade técnica da regeneração de energia térmica utilizando pastilhas Peltier em motores térmicos.

Heverton Azevedo Dantas ^[1], Zoroastro Torres Vilar ^[2] e Romulo Pierre Batista dos Reis ^[3]

^[1] Universidade Federal Rural do Semiárido, Engenharia Mecânica; heverton_50@hotmail.com

^[2] Universidade Federal Rural do Semiárido, Engenharia Mecânica; zoroastro@ufersa.edu.br

^[3] Universidade Federal Rural do Semiárido, Engenharia Mecânica; romulopierre@ufersa.edu.br

Data da defesa: 12/05/2023;

Resumo: A necessidade mundial pela aplicação de energia de fontes renováveis, bem como e a redução do uso de combustíveis fósseis, além do foco em eficiência energética. Motiva o aproveitamento de energias, normalmente desperdiçadas, para a regeneração energética de motores a combustão como uma forma de redução no seu consumo de combustível. O calor pode ser uma boa fonte para produzir energia a partir dele, com isso este projeto objetiva aumentar a eficiência de motores de combustão interna através da regeneração da energia térmica. Através dessa pesquisa será especificado o tipo de pastilha aplicada para a proposta de geração de energia assim como uma estimativa de energia que poderá ser gerada. A geração de energia elétrica através de diferença de temperatura (efeito Seebeck), a ideia consiste em aplicar pastilhas termoeletricas em motores de combustão interna para regenerar parte da energia térmica perdida durante o processo de combustão. Essa energia poderá ser reaproveitada para geração de hidrogênio através células de hidrogênio que será injetada na câmara de combustão do motor como combustível ou usada para a alimentação, alimentando uma bateria com a energia produzida. Com isso, pretende-se diminuir a solicitação do alternador, gerando, assim, uma redução do consumo de combustível.

Palavras-chave: Energia térmica; Calor; pastilhas Peltier.

1. INTRODUÇÃO

Jean Charles Athanase Peltier nasceu em 1785, em Ham na França, tendo falecido em Paris em 1845. Foi um físico que se iniciou apenas aos 30 anos, terminando uma carreira como fabricante de relógios. Foram numerosos estudos, grande parte é dedicada à eletricidade atmosférica (relâmpagos), intensidade luminosa (das descargas atmosféricas), temperatura da água no estado de levitação térmica (spheroidal state) e também o estudo do ponto de ebulição a grandes altitudes. Mas o seu nome ficará sempre associado ao efeito térmico de juntas, num circuito elétrico, a sua grande descoberta experimental conhecida por efeito Peltier [1].

Em busca de novas tecnologias para geração de energia, surgem novos conceitos de aproveitamento de energia ou aumento na eficiência dos processos, uma vez que a maioria deles possuem grandes perdas de energia, geralmente em forma de calor, em razão disso, a utilização de geradores termoeletricos em variados setores tem se tornado uma nova opção para o reaproveitamento dessa energia desperdiçadas.

Os geradores termoeletricos se utilizam dos efeitos de Peltier, Seebeck e Thomson, para realizar uma conversão direta de energia térmica para energia elétrica, a partir de um gradiente de temperatura.

Embora já tenha estudos relacionados à geração de energia elétrica através de diferença de temperatura (efeito Seebeck). A ideia consiste em aplicar pastilhas termoeletricas em motores de combustão interna para regenerar parte da energia térmica perdida durante o processo de combustão. Essa energia será reaproveitada para geração de hidrogênio através células de hidrogênio que será injetada na câmara de combustão do motor como combustível ou usada para a alimentação, recarregando uma bateria com a energia produzida. Com isso, pretende-se diminuir a solicitação do alternador, gerando, assim, uma redução do consumo de combustível. Outra possibilidade é a utilização para carregar baterias de veículos híbridos. Por mais que a indústria automotiva esteja caminhando para a utilização de motores elétricos, além da poluição gerada pelo descarte da

bateria utilizadas nessa tecnologia, a sua produção apresenta-se como um processo mais poluidor que o processo de fabricação dos carros convencionais. Os "veículos elétricos" são apresentados como solução às poluições emitidas por veículos movidos a motores de combustão interna, entretanto além de ser um produto que gera uma poluição elevada no processo produtivo (principalmente das baterias utilizadas para o armazenamento de energia), a energia elétrica utilizada para o carregamento das baterias poderá ser proveniente de geradores termoeletricos que fazem uso de combustíveis fósseis.

Este projeto objetiva aumentar a eficiência de motores de combustão interna através da regeneração de energia térmica perdida em motores de combustão interna.

Foi utilizado um dispositivo termoeletrico que é um componente eletrônico baseado em semicondutores capaz de converter uma entrada de tensão em uma diferença de temperatura que pode ser usado para aquecimento ou resfriamento. Por outro lado, quando uma diferença de temperatura é aplicada ao dispositivo, ele tem a capacidade de produzir diferença de potencial elétrico. O substrato cerâmico é feito de semicondutores dopados tipo-p e tipo-n, que possuem respectivamente lacunas livres e elétrons livres, os semicondutores são conectados eletricamente em série e termicamente em paralelo, os elementos semicondutores são unidos por bons condutores como o cobre e, soldados entre duas placas cerâmicas, que possuem a função de proteger mecanicamente o módulo e prover isolamento elétrico. Para que a transmissão de calor de cada um deles ocorra na mesma direção, todos são colocados termicamente em paralelo, e o fato de estarem eletricamente em série permite o aumento da tensão elétrica a ser aplicada. Na Figura 1 tem-se a vista interna de uma pastilha Peltier. [7]

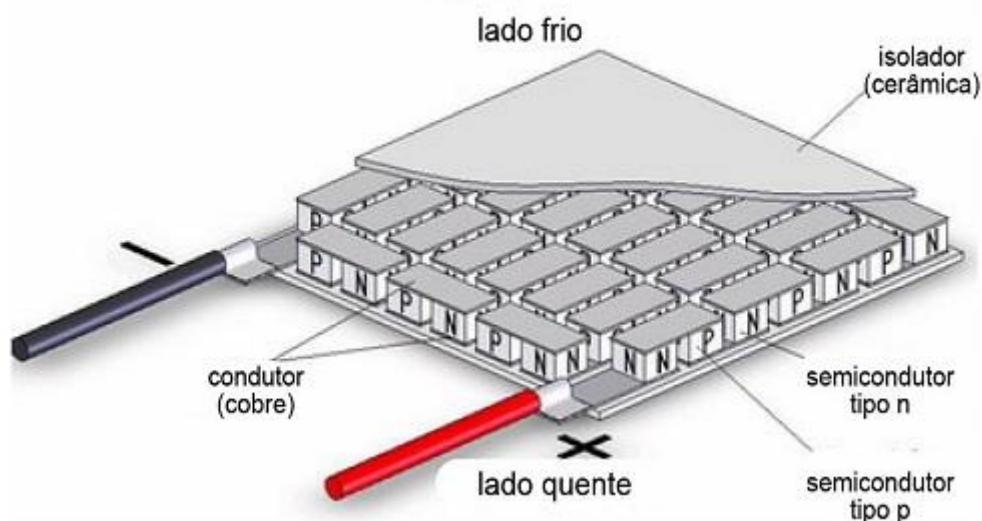


Figura 1. Vista interna de uma pastilha Peltier [4]

O mercado possui uma grande variedade dos módulos e estão disponíveis em tamanhos que variam de 0,8 × 0,8 cm a aproximadamente 4 × 4 cm.

Os Geradores Termoeletricos funcionam explorando um gradiente de temperatura entre os dois lados do gerador. Quando pegamos um pedaço de metal, aquecemos uma extremidade e simultaneamente resfriar a outra. Os elétrons circundando os átomos de metal na extremidade quente terá mais energia do que os elétrons na extremidade mais fria. Isso significa que os elétrons quentes estarão balançando mais rápido do que isso na extremidade fria, e eles tenderão a se mover mais rápido em direção à extremidade fria mais rápido do que os elétrons frios se moverão para a ponta quente. Eventualmente, a extremidade fria se tornará mais carregada negativamente, e a extremidade quente se tornará positivamente carregada. Este fenômeno onde uma diferença de temperatura pode criar uma tensão é chamado de efeito termoeletrico. Então isso parece simples, mas um grande problema é que a tensão produzida é absolutamente minúscula. [4]

Isso pode ser resolvido conectando os módulos em série entre si através de ligação dos fios positivos (vermelho) e os negativos (preto) dos fios, em algumas aplicações usa-se o módulo de multiestágios, isto é, vários módulos termicamente em série para obtenção de um maior ΔT . Os fios opostos na extremidade são deixados soltos à medida que será útil na obtenção da floração, mas instável voltagem. As tensões finais serão

altas e instáveis devido a módulo Peltier sendo conectado em série e gradual mudança na diferença de temperatura ao longo de um período de tempo.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para realização dos testes, foram utilizados módulos termoeletrônicos comerciais do tipo TEC, isto é, módulos que são utilizados para refrigeração, através do efeito peltier, e não como termogeradores. As TEGs são específicas para geração de energia, de preço mais elevado, e difíceis de encontrar no mercado. Já as TECs são encontradas com mais facilidade e com preço reduzido. A fabricação das TECs e TEGs são muito parecidas com apenas algumas características alteradas.

Foram utilizadas três pastilhas do modelo TEC1-12706. A Figura 2 mostra o modulo utilizado.

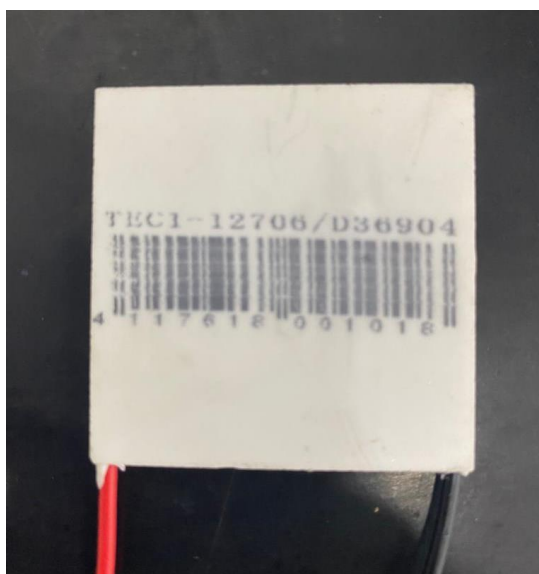


Figura 2. – Modulo peltier TEC1-12706

Foi desenvolvida uma bancada para caracterização da capacidade de geração de energia, simulando o funcionamento de um motor térmico. Para o desenvolvimento da bancada utilizamos os seguintes equipamentos: dois banhos termostáticos para o controle térmico do fluido, um foi usado para resfriamento do fluido, e o outro para aquecimento, foi usado mangueiras para transportar o fluido, dois dissipadores de calor, uma bomba usada para produzir o movimento do fluido, três pastilhas peltier, uma pasta térmica que consegue absorver e transferir o calor do dissipador para a pastilha peltier, dois ganchos tipo sargento para prender as pastilhas entre os dissipadores, doze resistores de 10 Ω e 5 watts, por fim o sistema de aquisição de dados e computador que foi utilizado para coletar informações para análise de temperaturas, diferença de potencial, Amperagem e potência.

Os dissipadores de calor foram conectados nas mangueiras que estão ligadas nos banhos termostáticos, o primeiro usado para resfriamento e o outro usado para aquecimento, entre eles foram colocados três pastilhas peltier conectadas em série, foi inserida pasta térmica para ajudar na transferência de calor dos dissipadores para as pastilhas peltier, os dois ganchos tipo sargento foram utilizados para prender as pastilhas entre os dissipadores. Foram conectados seis termopares entre os módulos e os dissipadores de calor para monitoramento da temperatura, três no lado quente e dois no lado frio, além disso, foram conectados quatro fios no circuito montado com os resistores, dois fios para aquisição da amperagem e os outros dois fios para aquisição da potência. A Figura 3 mostra o diagrama esquemático da montagem experimental.

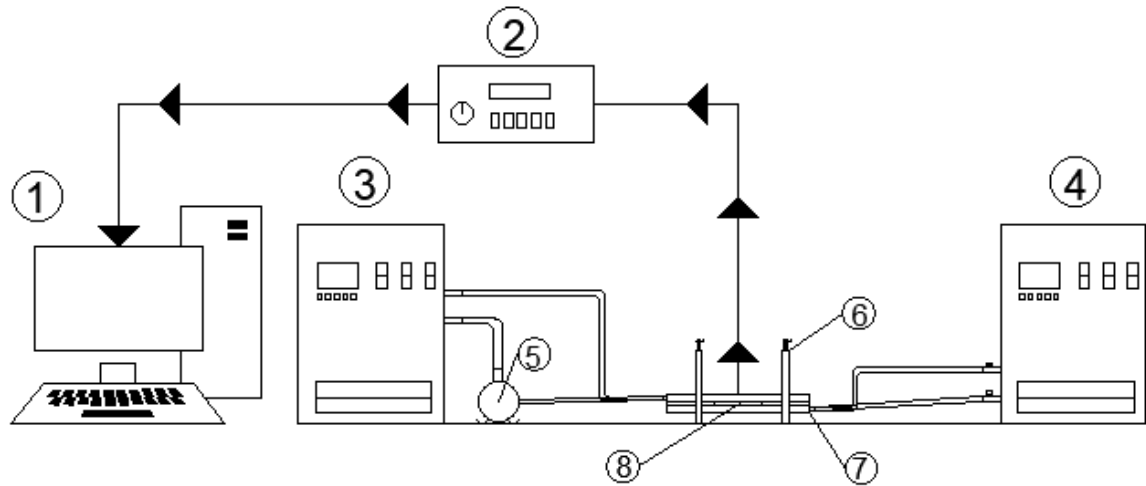


Figura 3. Diagrama esquemático da montagem experimental.

1. Computador
2. Sistema de aquisição de dados
3. Banho termorregular (responsável pelo resfriamento)
4. Banho termorregular (responsável pelo aquecimento)
5. Bomba
6. Grampo sargento
7. Dissipador de calor
8. Pastilhas Peltier

A Figura 4 mostra uma fotografia da montagem experimental.



Figura 4. Fotografia da montagem experimental.

Na Figura 5 temos uma imagem mais detalhada da montagem experimental.



Figura 5. Detalhamento da montagem experimental.

O banho termorregular responsável pelo resfriamento esta configurado para resfriar o fluido a 25°C (temperatura ambiente) e o banho termorregular responsável pelo aquecimento esta configurado para aquecer o fluido a 90°C. Este arranjo começa a produzir tensão em algum tempo sem fazer barulho e os módulos Peltier em si pode trabalhar facilmente por uma longa vida útil sem quaisquer falhas.

Foi montado um circuito onde foram ligados em serie três associações em paralelo, a primeira associação foi utilizada como amperímetro, é composta por oito resistores de 10 Ω e 5 watts em paralelo, essa formação equivale a 1,25 Ω e 40 watts, a segunda é formada por dois resisto de 10 Ω e 5 watts, e a terceira é formada por dois resisto de 10 Ω e 5 watts, o circuito completo foi utilizado como carga. A Figura 6 mostra o sistema montado.

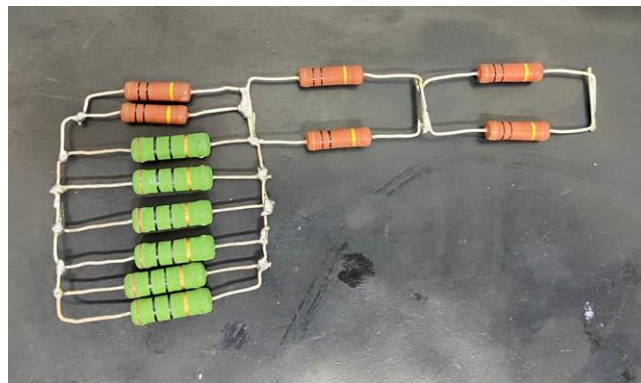


Figura 6. Circuito.

A Figura 7 mostra o diagrama do circuito montado.

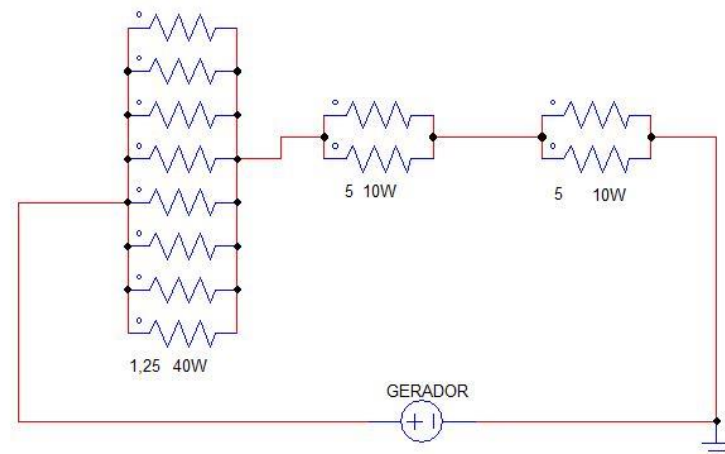


Figura 7. Diagrama do circuito.

3. MODELAMENTO MATEMÁTICO

Uma grande quantidade de calor residual nos motores permanece não utilizada. Portanto, pode ser uma boa fonte de energia para gerar potência. Veremos o modelamento matemático do gerador termoelétrico.

3.1 Tensão gerada

A tensão gerada é proporcional à diferença de temperatura entre a face quente e a de menor temperatura à qual o módulo é submetido. Cada junção p-n produz uma tensão na ordem de millivolts (mV), sendo a tensão total multiplicada pelo número de junções (N), conforme apresentado pela Equação 1:

$$V_i = N * (T_h - T_c) * (\alpha_p - \alpha_n) \quad (1)$$

Onde:

$\Delta T = (T_h - T_c)$, é a diferença de temperatura entre as junções. T_h é a temperatura no lado quente e T_c no lado frio.

$\alpha = \alpha_p - \alpha_n$, é o coeficiente de Seebeck, expresso em $V/^\circ C$, onde α_p e α_n são propriedades dos materiais dos condutores do módulo.

Sendo assim, a diferença de potencial para o módulo como um todo será dada pela Equação 2, onde α é o coeficiente Seebeck global do módulo.

$$V_i = \Delta T * \alpha \quad (2)$$

3.2 Potencia dissipada

A potencia dissipada é toda energia termica que ta sendo perdida pela pastilha no momento em que ela ta transformando energia termica em eletrica, isso ocorre porque é uma grandeza física que mede a quantidade de calor que é transferido para os seus arredores a cada segundo. A potência dissipada é uma grandeza escalar medida em Watts (W).

A Figura 8 mostra um circuito elétrico equivalente de um modulo termoeletrico onde V_i é a tensão gerada, R_i é a Resistencia interna do modulo e V_0 é a tensão nos terminais do modulo.

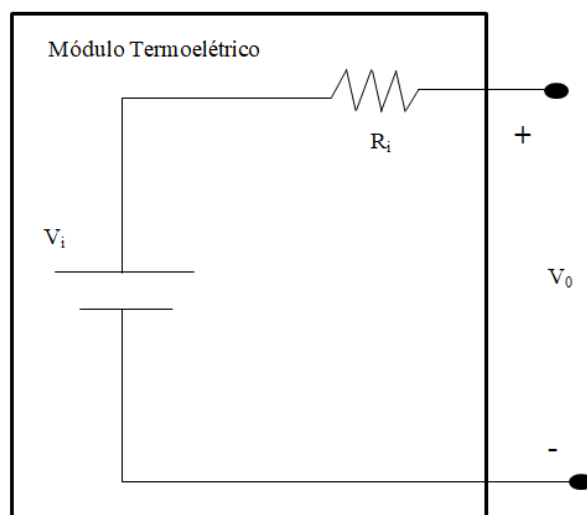


Figura 8. - Circuito elétrico correspondente de um módulo termoeletrico convencional

Quando nenhuma carga é ligada ao circuito, não haverá corrente elétrica, então $V_R = 0$ então, $V_i = V_0$.

Agora quando ligado uma carga (R_L) ao circuito, podemos determinar a corrente (I_L), que vai influir na Equação 3. A Figura 9 mostra um circuito elétrico correspondente de um módulo termoeletrico, com carga conectada.

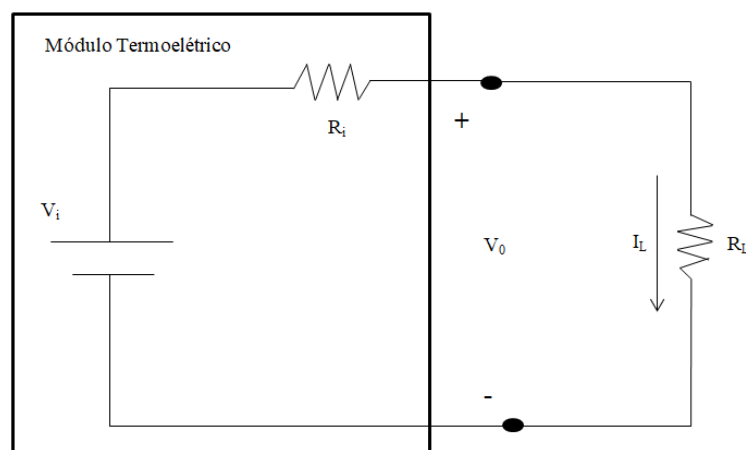


Figura 9. - Circuito elétrico correspondente de um módulo termoeletrico, com carga conectada

$$I_L = \frac{V_i}{(R_i + R_L)} \quad (3)$$

A tensão na carga (V_L) é a tensão gerada menos a queda de tensão interna do módulo, pode ser apresentada conforme a Equação 4.

$$V_L = I_L * R_L = V_i - I_L * R_i \quad (4)$$

Reescrevendo a Equação 4 em termos de diferença de temperatura e do coeficiente de Seebeck, substituindo I_L pela Equação 3 e V_i pela Equação 2, assim temos a Equação 5.

$$V_L = \Delta T * \alpha - \frac{\Delta T * \alpha}{(R_i + R_L)} * R_i \quad (5)$$

A potência dissipada na carga é dada pela Equação 6:

$$P_L = I_L^2 * R_L \quad (6)$$

Se substituirmos a Equação 3 na Equação 6, encontraremos a potencia gerada em função da tensão gerada. A resistência interna do módulo e resistência da carga, que é expressa pela Equação 7:

$$P_L = \frac{V_i * R_L}{(R_i + R_L)^2} \quad (7)$$

Por fim, para encontrar a potencia dissipada na carga em função da diferença de temperatura entre as faces da pastilha, basta substituir a Equação 2 na Equação 7, e podemos expressar conforme mostra a Equação 8:

$$P_L = \frac{\alpha^2 * \Delta T^2 * R_L}{(R_i + R_L)^2} \quad (8)$$

3.3 Coeficiente de performace

O desempenho de um módulo termoelétrico pode ser caracterizado pelo efeito Seebeck (α), pela resistência interna (R_i) e pela condutância térmica (K). [2]

A condutância térmica da pastilha é dada em função da condutância térmica de cada junção p-n. Cada junção contém uma determinada área (S), uma condutividade térmica (k) e um comprimento (L). Como os elementos p-n têm iguais volumes a condutância térmica é igual para ambos, podendo ser expressa pela Equação 9:

$$K = \frac{k * S}{L} \quad (9)$$

De acordo com Hsiao et al (2010), as taxas calor recebido (Q_h) e calor removido (Q_c) podem ser calculadas pelas Equações 10 e 11. [2]

$$Q_h = \alpha * I_L * T_h + K * (T_h - T_c) - \frac{1}{2} * I_L^2 * R_i \quad (10)$$

$$Q_c = \alpha * I_L * T_c + K * (T_h - T_c) - \frac{1}{2} * I_L^2 * R_i \quad (11)$$

Onde:

$\alpha * I_L * T_h$ = Calor referente ao efeito Peltier

$K * (T_h - T_c)$ = Bombeamento de calor entre dois reservatórios térmicos

$I_L^2 * R_i$ = Potência dissipada

O rendimento é obtido através da relação da potência elétrica de saída (P_L) com a potencia térmica (q), conforme a Equação 12:

$$\eta = P_L / Q_h \quad (12)$$

De acordo com Phillips (2009) Q_h pode ser definido como o calor transferido através da pastilha e é dado pela Equação de Fourier (Equação 13) utilizada para se obter fluxo de calor transferido por condução. A expressão que calcula o rendimento é definida pela Equação 14, onde dx é a espessura do módulo. [3]

$$\dot{Q} = -k * A * \frac{dt}{dx} \quad (13)$$

$$\eta = \frac{I_L^2 * R_i * dx}{k * A * \Delta T} \quad (14)$$

Substituindo o termo $I_L^2 * R_i$ da equação 14 pela Equação 8, temos o rendimento em função da diferença de temperatura entre as faces do módulo, expresso pela Equação 15.

$$\eta = \frac{\alpha^2 * \Delta T * dx}{k * A * (R_L + R_i)^2} \quad (15)$$

4. RESULTADOS E DISCURSÕES

Foram traçados os gráficos das temperaturas da face quente, das temperaturas da face fria, das diferenças de temperatura entre as faces, todas em função do tempo como observado nas Figuras 10, 11, 12 respectivamente.

A Figura 10 mostra o gráfico das temperaturas da face quente.

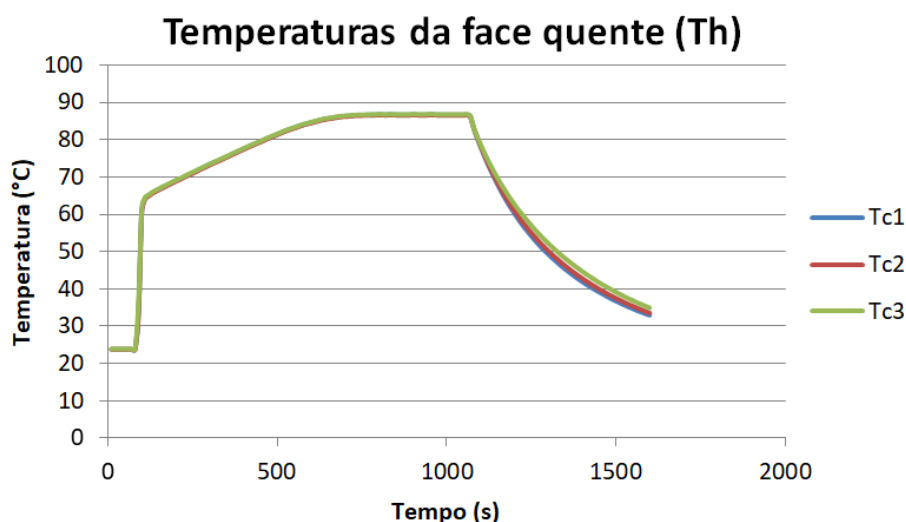


Figura 10. - Temperatura do lado quente (Th) x Tempo

A Figura 11 mostra o gráfico das temperaturas da face fria.

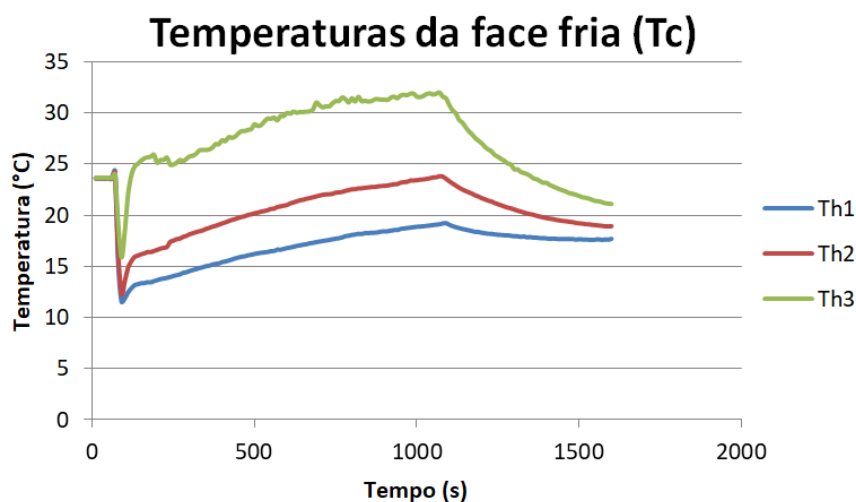
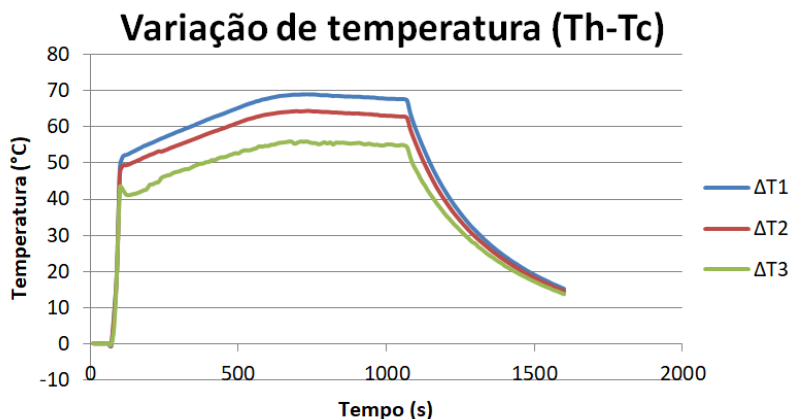


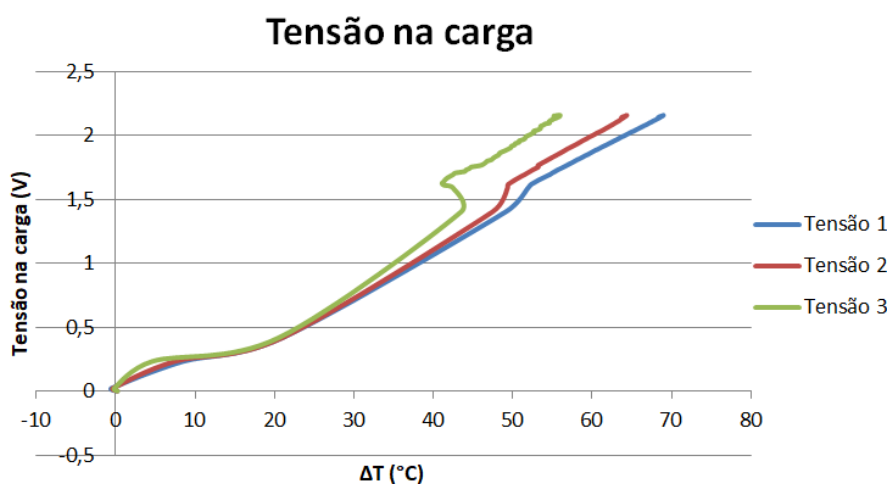
Figura 11. - Temperatura do lado frio (T_c) x Tempo

O gráfico da diferença de temperatura (ΔT) é ilustrado pela Figura 12.

Figura 12. – Diferença de temperatura (ΔT) x Tempo

Analisando a Figura 10 podemos perceber que todas as três temperaturas da face quente não tem nenhuma variação considerável, já na Figura 11 verifica-se que há variação nas temperaturas, isso porque Th3 estar próximo à entrada do fluido quente no dissipador de calor com isso ocorre à interferência térmica que faz com que Th3 tenha uma temperatura um pouco maior, consequentemente Th2 também vai ter sua temperatura um pouco elevada, pois estar ao lado de Th3. Na Figura 12 temos a diferença de temperatura (ΔT) em função do tempo, podemos verificar que as curvas são semelhantes à Figura 11 e que o $\Delta T1$ tem a maior diferença de temperatura.

O gráfico da Figura 13 apresenta a curva da tensão na carga em função da diferença de temperatura entre as faces quente e fria para os três módulos conectados em série e com a carga resistiva conectada.

Figura 13. – Tensão na Carga x diferença de temperatura (ΔT)

Os resultados comprovam que a tensão gerada é proporcional à diferença de temperatura entre as faces, conforme demonstrado pela Equação 1, podemos perceber que a tensão gerada é baixa para ser utilizada como recurso para carregamento da bateria, a maior tensão gerada foi de 2,16 Volts com um ΔT de 68,3 °C.

Uma das variáveis mais importantes nesse sistema é a potência elétrica que o sistema é capaz de fornecer à carga. Essa grandeza pode ser observada e analisada na Figura 14, cujas informações comprovam o modelamento apresentado nesse trabalho, ou seja, quanto maior for a diferença de temperatura entre os lados da

placa, maior será a potência elétrica que o sistema será capaz de fornecer à carga. Pode-se comprovar a veracidade da Equação 8, a qual diz que para um valor de carga pré-estabelecido a potência de saída do sistema será diretamente proporcional ao quadrado diferença de temperatura, o que justifica uma curva exponencial.

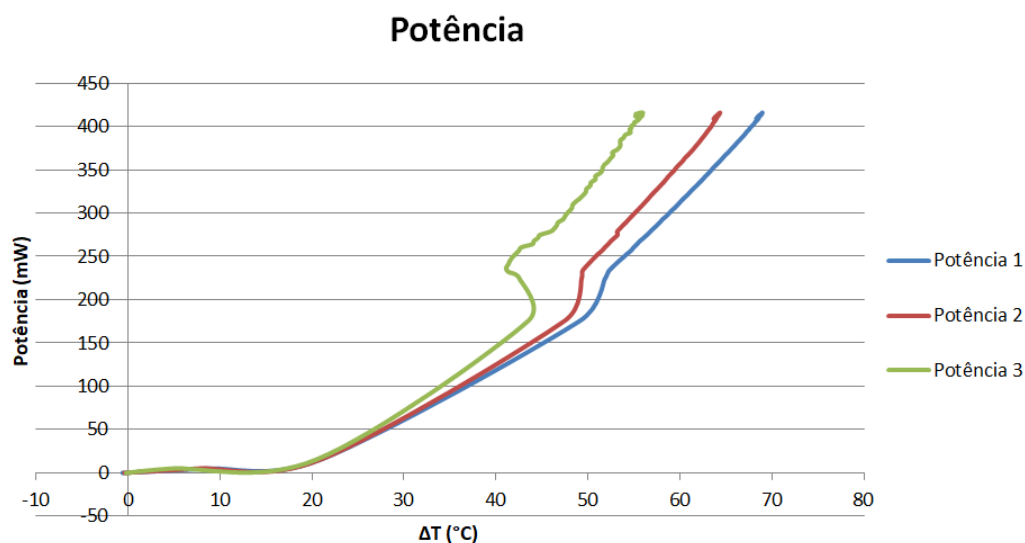


Figura 14. – Potência x diferença de temperatura (ΔT)

Analisando a Figura 14 vemos que no maior ΔT (68,3 °C) a máxima potencia alcançada foi de 415,174mW, que é considera uma potencia muito baixa.

Para validação do sistema foi feito uma verificação com dois multímetros, um serviu para verificar a tensão do amperímetro e o outro para verificar a corrente gerada, os dados obtidos foram comparados com os dados aquisitados através do sistema de aquisição de dados.

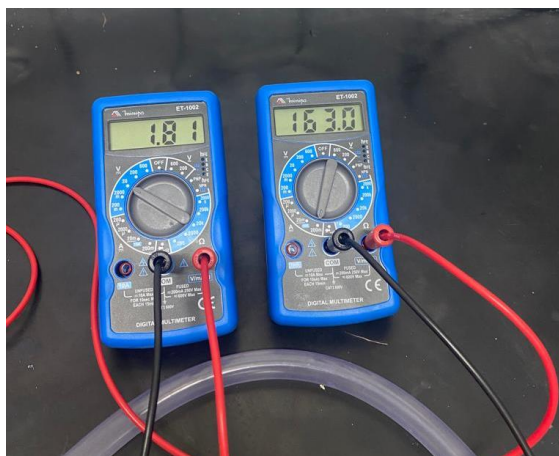


Figura 15. – Valores de tensão no amperímetro e corrente medidos no multímetro

Foi verificada a tensão no amperímetro de 1,81 volts, e corrente de 0.163 A, através da lei de ohm podemos definir potencia de acordo com a Equação 16:

$$P = V \times I \quad (16)$$

Com isso, temos:

$$P = 1,81 \times 0,163 = 0,29503 \text{ W}$$

A Figura 16 mostra os valores obtidos através do sistema de aquisição de dados.

107 <Vamp> (VDC)	109 <VRL> (VDC)	901 <Corrente> (AAC)	902 <Potência> (mWAT)
0,19338435	1,7296664	0,15470748	267,59233
0,1946329	1,7408431	0,15570632	271,0602728
0,19595882	1,7527117	0,156767056	274,7674532
0,19728074	1,7645803	0,157824592	278,4941659
0,19848527	1,7753313	0,158788216	281,9016899
0,19977387	1,7868542	0,159819096	285,5734229
0,2010611	1,7984301	0,16084888	289,2754673
0,20228698	1,809354	0,161829584	292,8070051
0,20353553	1,8205175	0,162828424	296,4319954
0,20459466	1,8300044	0,163675728	299,5273024
0,20582187	1,8409948	0,164657496	303,1335939
0,20693303	1,8509474	0,165546424	306,4177231
0,20804819	1,8609532	0,166438552	309,7343559
0,20930341	1,8721566	0,167442728	313,4790083
0,21048394	1,8827345	0,168387152	317,0283004
0,21174583	1,8940177	0,169396664	320,8402799
0,21294903	1,9047953	0,170359224	324,4994492
0,21407486	1,9148543	0,171259888	327,937733

Figura 16. – Valores medidos através do sistema de aquisição de dados

Na Figura 16 podemos verificar que quando o valor de tensão no amperímetro for 0,18205175 Volts, temos uma corrente de 0,162828424 A, e uma potencia 0,2964319954 W. Comparando os dados podemos perceber que são bem próximos e a margem de erro não ultrapassa 5%.

5. CONCLUSÃO

Analisando os resultados obtidos, observou-se que os parâmetros mais importantes a serem observados e monitorados no sistema de geração de energia por conversão direta são: a temperatura do lado quente e do lado frio, e consequentemente o ΔT , a tensão gerada (V) e a potência elétrica do circuito.

Com o desenvolvimento deste trabalho, conclui-se que a implementação de sistemas de geração de energia elétrica por conversão termoeletrônica direta, baseado em módulos termoeletrônicos para a recuperação de calor que é desperdiçado pelo motor à combustão é possível, e pode realmente ser uma solução, mas no processo estudado mostra resultados de baixa eficiência quanto ao objetivo desejado. Com uma vasta gama de aplicações possíveis os módulos termoeletrônicos possuem um grande potencial tecnológico, uma vez que com investimentos em pesquisas de novos materiais é esperado um ganho em eficiência, assim como a redução de custos. Assim, acredito que em um futuro próximo a geração de energia através dessas placas pode se tornar uma boa solução para o aumento da eficiência do motor a combustão sem gerar processos com grandes perdas térmicas. A simplicidade de aplicação é sem sombra de dúvidas uma vantagem, bem como a rápida colocação em serviço do sistema estudado.

Como proposta de trabalho futuro tem-se: realização de ensaios com módulos do tipo TEGs que são específicas para geração de energia, montagem de modelo experimental utilizando o ambiente veicular, para confirmar resultados obtidos em bancada de testes.

6. AGRADECIMENTOS

Quero agradecer primeiramente a Deus, pela caminhada que tracei até aqui e por sempre me dar forças para eu alcançar todos os meus objetivos. E também aos meus pais Heniflan Edson Dantas e Geilza Azevedo da Silva Dantas por sempre me incentivar, me ajudar nos momentos difíceis, sempre estiveram e estão ao meu lado sem medir esforços para me ensinar o melhor caminho a se seguir, ao meu Irmão Hericles José Azevedo Dantas, pelo apoio, companheirismo, incentivo. Obrigado por tudo que vocês fizeram por mim, não existem palavras para descrever o que sinto por vocês. Ao meu orientador Prof. Dr. Zoroastro Torres Vilar, pelo apoio, incentivo para realização deste trabalho, pela paciência e empenho, por todas as sugestões dadas para qualificação e conclusão desse trabalho. Quero agradecer ao Prof. Dr. Romulo Pierre Batista Dos Reis, pela ajuda, disponibilidade de acompanhar este trabalho, por todas as sugestões e ensinamentos que foram fatores fundamentais para a realização desse trabalho. A toda a minha família, primos, tios, que sempre me ajudaram e

torceram para que eu pudesse chegar até aqui, principalmente minha avó Hermínia Azevedo Dantas que sempre me ajudou e incentivou; venho agradecer também a minha namorada Julia Raquel Dantas de Medeiros, pelo incentivo, muitas vezes eu pensei que não iria conseguir e você sempre mostrou que eu sou capaz, sempre apoiou minhas decisões, por me aturar quando eu precisei você é uma das pessoas que sabe tudo que passei para chegar aqui, obrigado a todos, amo muito vocês. Quero agradecer também aos amigos de curso, que tornam a vida acadêmica mais divertida, alegre e que estão sempre prontos a ajudar, e a todos os outros colegas que me acompanham no dia a dia.

7. REFERÊNCIAS

- [1] Communications, S. (2010).(s.d.). NNDB. Acesso em 17 de Outubro de 2022, disponível em NNDB: <https://www.nndb.com/people/685/000097394/>
- [2] HSIAO, Y.Y.; CHANG, W.C.; CHEN, S. L., A mathematic model of thermoelectric module with applications on waste heat recovery from automobile engine. *Energy*. v. 35, p. 1447-1452, 2010.
- [3] PHILLIPS, S. S., Characterizing the thermal efficiency of thermoelectric modules. Tese de Bacharelado, Massachusetts Institute of Technology, Massachusetts, EUA, 2009.
- [4] Renge, S. (2017). A Review on Generation of Electricity using. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, 1-5.
- [5] SANTOS, L. P., Análise de desempenho de um gerador termoelétrico baseado no efeito Seebeck. Dissertação de Mestrado, Universidade de Taubaté, Taubaté, 2010.
- [6] Vadhel, D. (2017). ENERGY GENERATION FROM PELTIER MODULE BY UTILIZING HEAT. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 1-5.
- [7] Debortolli, M. A. Estudo da utilização das células de Peltier com rastreamento de máxima potência para geração de energia elétrica. [S.L.] Universidade do Estado de Santa Catarina, 2016.