

ABSORVEDOR SOLAR BASEADO EM LIGA QUASICRISTALINA APLICADO EM GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Vinícius Silva Oliveira (UFPB) - vinicius.silvaoliveira@cear.ufpb.br

Cleonilson Protasio Souza (UFPB) - protasio@cear.ufpb.br

Marcelo Miranda Camboim (UFPB) - marcelo.camboim@cear.ufpb.br

Bruno Alessandro Silva Guedes de Lima (UFPB) - bruno.guedes@ct.ufpb.br

Orlando Rocha Baiocchi (UWT) - baiocchi@uw.edu

Resumo:

Este trabalho apresenta um gerador solar de energia elétrica baseado em absorvedores térmicos revestidos com liga quasicristalina. As ligas quasicristalinas são compostas de quasicristais (QC) que são nova classe de materiais sólidos com estrutura ordenada, semelhante aos cristais, mas não apresentam periodicidade como os cristais. As ligas quasicristalinas apresentam propriedades similares aos materiais cerâmicos, tais como baixa condutividade térmica e elétrica e elevada dureza. Neste trabalho, amostras de cobre foram revestidas por um filme em escala nanométrica de ligas quasicristalinas resultando em uma superfície com alta absorvência da radiação solar e com emitância no espectro infravermelho. Como resultado, foi obtido um absorvedor térmico que combinado com outro bloco não-revestido, foi possível a obtenção de um gradiente de temperatura significativo, como comprovado experimentalmente. Com o uso de TEGs, que são dispositivos de estado sólido que, baseado no efeito Seebeck, convertem gradiente de temperatura em tensão elétrica, combinado com a estrutura proposta do absorvedor térmico solar desenvolvido, é possível a geração de energia elétrica. Resultados experimentais em baixa escala demonstram o funcionamento do gerador solar proposto.

Palavras-chave: *Gerador Solar de Energia Elétrica, Quasicristais, Absorvedor Térmicos Solar.*

Área temática: *Conversão Térmica com Concentradores*

Subárea temática: *Coletores concentradores e sistemas para conversão térmica em média temperatura*

ABSORVEDOR SOLAR BASEADO EM LIGA QUASICRISTALINA APLICADO EM GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Vinicius Silva Oliveira – vinicius.silvaoliveira@cear.ufpb.br

Marcelo Miranda Camboim – marcelo.camboim@cear.ufpb.br

Cleonilson Protasio de Souza – protasio@cear.ufpb.br

Universidade Federal da Paraíba, Departamento de Engenharia Elétrica

Bruno Alessandro Silva Guedes de Lima – bruno.guedes@ct.ufpb.br

Universidade Federal da Paraíba, Departamento de Engenharia Mecânica

Orlando Baiocchi – baiocchi@uw.edu

University of Washington Tacoma, School of Engineering and Technology

Resumo. Este trabalho apresenta um gerador solar de energia elétrica baseado em absorvedores térmicos revestidos com liga quasicristalina. As ligas quasicristalinas são compostas de quasicristais (QC) que são uma nova classe de materiais sólidos com estrutura ordenada, semelhante aos cristais, mas não apresentam periodicidade como os cristais. As ligas quasicristalinas apresentam propriedades similares aos materiais cerâmicos, tais como baixa condutividade térmica e elétrica e elevada dureza. Neste trabalho, amostras de cobre foram revestidas por um filme em escala nanométrica de ligas quasicristalinas resultando em uma superfície com alta absorvância da radiação solar e com emitância no espectro infravermelho. Como resultado, obteve-se um absorvedor térmico que, combinado com outro bloco não-revestido, foi possível a obtenção de um gradiente de temperatura significativo, como comprovado experimentalmente. Com o uso de TEGs, que são dispositivos de estado sólido que, baseado no efeito Seebeck, convertem gradiente de temperatura em tensão elétrica, combinados com a estrutura proposta do absorvedor térmico solar desenvolvido, é possível a geração de energia elétrica. Resultados experimentais em baixa escala demonstram o funcionamento do gerador solar proposto.

Palavras-chave: Gerador Solar de Energia Elétrica, Quasicristais, Absorvedor Térmicos Solar.

1. INTRODUÇÃO

O Sol pode ser considerado uma fonte de energia quase ilimitada e, dependendo da forma que é aproveitada, essa fonte apresenta ser bastante amigável ao meio-ambiente. Devido a isto, é de grande interesse o estudo e desenvolvimento de formas de captação dessa energia. As duas principais formas de captura da energia proveniente do Sol são: a fotovoltaica e a térmica (KRAEMER, 2011). No contexto de captação de energia solar térmica, há diferentes maneiras. A primeira ocorre por meio da captação de radiação solar para aquecimento de água para uso doméstico ou industrial, sem que haja uma transdução para energia elétrica. Outra forma é a captação termosolar (ou energia solar concentrada) em que ocorre inicialmente a produção de calor para depois ocorrer a conversão de calor em energia elétrica. Em uma menor escala, existe o processo de aproveitamento da energia térmica solar por meio de geração termelétrica direta à semicondutor, que é fundamentada pelo fenômeno físico chamado efeito Seebeck, em que consiste na geração de energia elétrica quando uma junção pn é submetida a uma diferença de temperatura (ENESCU, 2019).

Na geração termelétrica à semicondutor, o dispositivo responsável pela transdução de energia é chamado gerador termelétrico (ou simplesmente TEG). Um TEG, usualmente conhecido também como célula de Peltier devido ao seu efeito contrário (produção de calor por meio de energia elétrica), é um dispositivo de estado sólido formado por dois substratos de cerâmica, uma matriz de junções semicondutoras pn , e o seu funcionamento é baseado no efeito Seebeck, que converte a energia térmica (precisamente, a diferença de temperatura ou gradiente térmico ΔT) em energia elétrica, fenômeno denominado de efeito termoelétrico (VÉRAS, 2015). Os substratos de cerâmica são bons condutores de calor e oferecem alta resistência elétrica e, entre os substratos, estão dispostos um conjunto de termopares semicondutores do tipo n e p que estão conectados eletricamente em série e termicamente em paralelo, como ilustrado na Figura 1. O TEG comercial usado neste trabalho tem seus pares pn termoelétrico feitos de Bi_2Te_3 . A tensão elétrica gerada é proporcional a diferença de temperatura aplicada às faces do TEG e a constante de proporcionalidade é chamada de coeficiente de Seebeck, que, para modelos comerciais, são da ordem de dezenas de $mV/^\circ C$ (DALOLA, 2008).

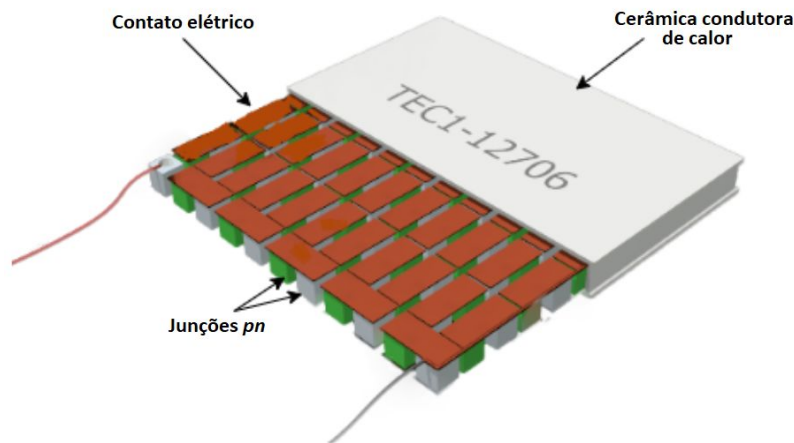


Figura 1 - Estrutura de um gerador termoelétrico a semicondutor. Fonte: modelo TEC1-12706 da EVERREDtronics Ltd.

O principal contraponto para a utilização da geração termelétrica à semicondutor como fonte renovável de energia atrativa é a sua baixa eficiência, que assume valores entre 5 e 15% (ENESCU, 2019). Este rendimento depende de fatores como propriedades do material e temperatura de operação. O estudo de materiais que apresentam melhores propriedades, como por exemplo, um coeficiente de Seebeck mais elevado, maior condutividade elétrica e menor condutividade térmica, vêm sendo desenvolvidos ao longo dos anos (LEBLANC, 2014).

Uma outra alternativa para melhorar a eficiência dos geradores termelétricos a semicondutor é a utilização de concentradores térmicos. Estes são responsáveis por elevar o fluxo de calor a partir de propriedades ópticas. Estas aplicações podem ser implementadas com a utilização de lentes para amplificação do fluxo de calor solar e assim elevar a temperatura sob o TEG, como apresentado em Kraemer *et al.* (2016) e Li *et al.* (2019).

Uma outra solução, proposta neste trabalho, consiste na utilização de revestimento com superfícies seletivas de radiação solar. Uma superfície seletiva possui propriedades como alta absorvância para o espectro solar e baixa emitância no espectro infravermelho, assim absorve mais energia do ambiente e perde menos energia em forma de calor para o ambiente, como apresentado por Jiang *et al.* (2018).

Embora nos dias atuais, a geração termelétrica à semicondutor não possua aplicações em larga escala, essa tecnologia é bastante promissora em aplicações de colheita de energia. Colheita de energia é definida como a técnica que engloba a captura de pequenas quantias de energia do meio ambiente nas formas de luz, calor, campo magnético, etc, a conversão para energia elétrica, o armazenamento e condicionamento da energia para alimentação de dispositivos eletrônicos de baixo consumo, tais como, nós sensores em uma rede de monitoramento (SOUZA, 2016).

Este trabalho propõe a utilização de um filme fino de uma liga quasicristalina como superfície seletiva de radiação solar aplicado a um sistema de colheita de energia solar termoelétrica.

2. COLHEITA DE ENERGIA SOLAR TÉRMICA

Nas seções seguintes, serão detalhados os conceitos de colheita de energia e as bases conceituais para este novo tipo de material, que são as ligas quasicristalinas. Além disso, será apresentada uma solução encontrada para o uso de liga quasicristalina como superfície seletiva de radiação solar e sua aplicação no desenvolvimento de um sistema de colheita de energia solar termoelétrica.

2.2 Colheita de energia

Colheita de energia ou *Energy Harvesting* são técnicas de captação e de armazenamento de energia disponível no ambiente envolta do dispositivo a ser alimentado (BAROUDI, 2012; HARB, 2011; TIANQING, 2014), por exemplo, energia luminosa, energia de vibrações mecânicas, energia térmica, fluxo de água, eólica, movimento humano, RF, indução magnética, entre outras.

O advento da área de pesquisa em colheita de energia deu-se pelo avanço do desenvolvimento tecnológico da indústria microeletrônica que possibilitou a fabricação de circuitos integrados com dimensões e consumo de energia reduzidos e que, dessa forma, impulsionou estudos e desenvolvimento de fontes de energia autônomas de forma a alimentá-los sem a necessidade de baterias ou de fontes de energia externas (FLORENTINO, 2011; GALAYKO, 2007; LE, 2006; LU, 2004).

Os sistemas de colheita de energia são constituídos, em geral, por três estágios distintos, são eles: a fonte de energia a ser utilizada para manter a aplicação; o circuito utilizado para colheita de energia, constituído por um transdutor para captar a energia da fonte e convertê-la em energia elétrica, cujo projeto depende do tipo de fonte utilizada, um circuito para condicionamento da energia de saída do transdutor, para que atenda aos critérios necessários para alimentar a carga em questão e uma possível etapa de armazenamento de energia; e, por fim, a carga que consumirá a energia fornecida.

Em síntese, um circuito utilizado para colheita de energia é composto por:

- Coletor de energia: transdutor de energia que converte uma dada energia primária em eletricidade.
- Circuito de condicionamento de energia: subsistema composto por circuitos de condicionamento de energia (retificadores, conversores CC/CC, reguladores de tensão, etc.) e circuito de gestão de energia (controlador de carga, monitoramento de energia, etc.).
- Dispositivo de armazenamento: bateria (caso ainda necessário) ou supercapacitor. É importante observar que, de acordo com a capacidade do sistema de colheita de energia projetado, o dispositivo de armazenamento pode até mesmo não ser utilizado.

Entre várias propostas de colheita de energia, tais como as baseadas em energia solar, piezeletricidade, RF, indução magnética, a colheita de energia térmica por meio de geradores termoelétricos (HARB, 2011) está sendo classificada como uma das soluções mais promissoras para aproveitar e converter diferenças de temperatura em energia elétrica e, nos últimos anos, o número de aplicações de colheita de energia baseada em termoeletricidade tem aumentado bastante.

Atualmente vários estudos científicos e tecnológicos focam em TEGs (*Thermoelectric Generator*) como transdutor para colheita de energia, pois técnicas de colheita de energia térmica baseadas em TEG são especialmente atrativas pela ideia, por exemplo, da geração de energia elétrica a partir de gradiente térmico encontrados em diferentes lugares, tais como indústrias, prédios, etc.

2.1 Ligas quasicristalinas

Quasicristais formam uma nova classe de materiais sólidos caracterizados por possuírem uma estrutura ordenada, o que os assemelha aos cristais, entretanto não apresentam periodicidade. Uma outra característica dos cristais é que apresentam padrões de simetria incompatíveis com a teoria clássica da cristalografia. As ligas quasicristalinas são ligas metálicas complexas formadas por pelo menos três elementos, entretanto apresentam propriedades similares aos materiais cerâmicos como baixa condutividade térmica e elétrica e elevada dureza, e isto se deve a sua estrutura cristalina não usual (DUBOIS, 2005).

Uma interessante propriedade das ligas quasicristalinas foi descoberta por Eisenhammer *et al.* (1998) que desenvolveu uma superfície seletiva para radiação solar baseada em quasicristal. Neste trabalho, amostras de cobre foram revestidas por um filme em escala nanométrica formado por camadas de ligas quasicristalinas constituídas por AlCuFe ou AlCuFeCr e entre elas uma fina camada de Al_2O_3 , resultando em uma superfície com absorvância para a radiação solar igual a 0,91 e emitância no espectro infravermelho igual a 0,05 a 120 °C.

Devido a sua elevada dureza, é bastante difícil a obtenção de ligas quasicristalinas em formas maciças, sendo a maior parte de suas aplicações na forma de pó ou revestimento superficial. Dentre as técnicas de revestimento superficial, a aspersão térmica hipersônica (HVOF-*High Velocity Oxygen Fuel*) apresenta vasta aplicação industrial como isolamento elétrico e proteção a corrosão. A espessura do revestimento por aspersão térmica é da ordem de dezenas a centenas de micrometros.

A abordagem deste trabalho trata-se da utilização de uma superfície seletiva de radiação solar implementada pelo revestimento via aspersão térmica hipersônica de uma liga quasicristalina de AlCuFeB em escala micrométrica.

2.2 Coletor de energia

O coletor de energia solar térmica proposto é baseado no TEG comercial modelo TEC1-12706, cujo coeficiente de Seebeck é em torno de 50 mV/°C. A configuração de coletor proposta é apresentada na Figura 2. Sua estrutura física é formada por dois blocos de cobre distintos dispostos verticalmente em sanduíche com um gerador termoelétrico, os blocos possuem uma área de 16 cm², e as mesmas dimensões do gerador termelétrico. Na parte superior do coletor é posto um bloco de cobre de espessura 5 mm e totalmente revestido pela liga quasicristalina adotada, essa que irá atuar como absorvedor de calor. Adotou-se uma espessura de 5 mm visando minimizar a resistência térmica, pois este bloco também tem a função de reservatório de calor. Na parte inferior do coletor é posto um bloco de cobre de 25 mm de espessura, que irá atuar como dissipador de calor. Foi utilizado pasta térmica como interface entre os blocos e o gerador termoelétrico. O conceito deste coletor é baseado nas propriedades de alta absorvância e baixa emitância do revestimento por um filme fino de uma liga quasicristalina. Além disso, a massa do dissipador é 5 vezes maior do que a do bloco superior, e o calor dissipado provocará um incremento menor de temperatura na parte inferior, de forma que a

temperatura do bloco inferior será menor do que a temperatura superior quando o coletor for submetido à radiação térmica. Esta diferença de temperatura causará a geração de energia elétrica.

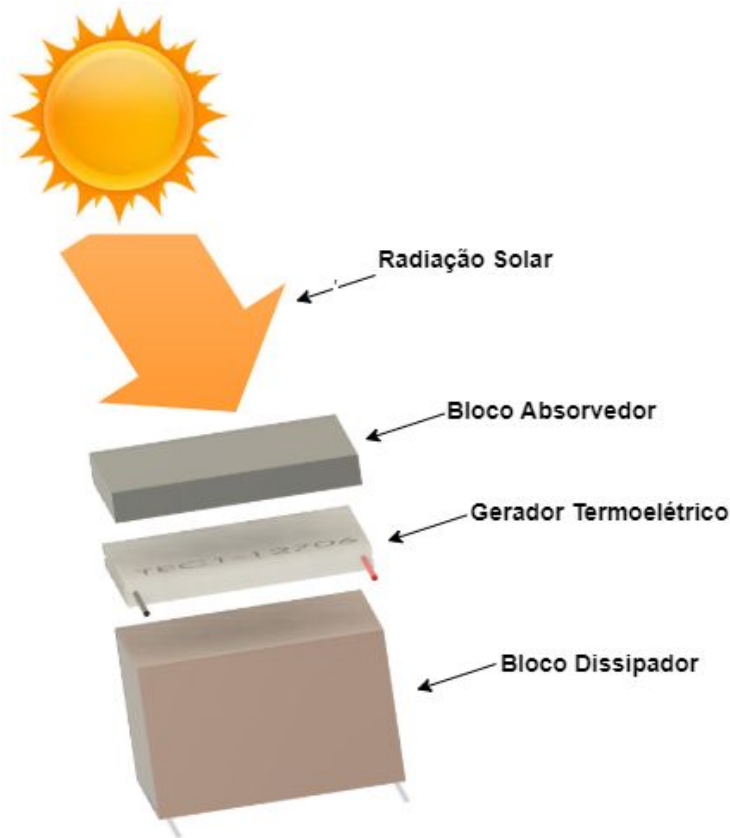


Figura 2 - Vista explodida do coletor de energia solar termelétrica proposto.

2.3 Circuito de condicionamento de energia

O nível de tensão gerada por TEG quando submetido a pequenos gradientes térmicos é insuficiente para fornecer energia a um dispositivo eletrônico, sendo necessário a utilização de circuitos de elevadores de tensão, como um conversor Boost. No contexto de colheita de energia, os circuitos de condicionamento de energia, além de elevar níveis de tensão, também gerenciam o armazenamento de energia e o consumo para a carga.

O LTC3108 é um circuito integrado regulador de tensão de baixíssimo consumo e alta eficiência desenvolvido pela Linear Technology cuja função é elevar baixíssimos níveis de tensão (de 20 mV a 400 mV) para um valor de tensão usualmente utilizado na alimentação de dispositivos eletrônicos de baixo consumo. O valor da tensão de saída do LTC3108 pode ser selecionado entre, 2,35 V, 3,3 V, 4,1 V e 5 V. O LTC3108 é alimentado pela tensão de entrada gerada pelo coletor de energia, dispensando o uso de fontes de alimentação (ANALOG DEVICES, 2019).

Um capacitor deve ser conectado a saída do LTC3108 para armazenar energia, e posteriormente esta energia ser transferida à carga. Além disso, o circuito gerencia a energia transferida à carga, monitorando a tensão do capacitor e permitindo que a transferência de energia ocorra enquanto a tensão de saída esteja entre o intervalo 91 e 100% da tensão de referência. Isso torna o LTC3108 bastante eficiente para condicionar energia para cargas pulsadas com modo de hibernação, como um nó sensor. O diagrama simplificado do regulador de tensão é ilustrado na Figura 3.

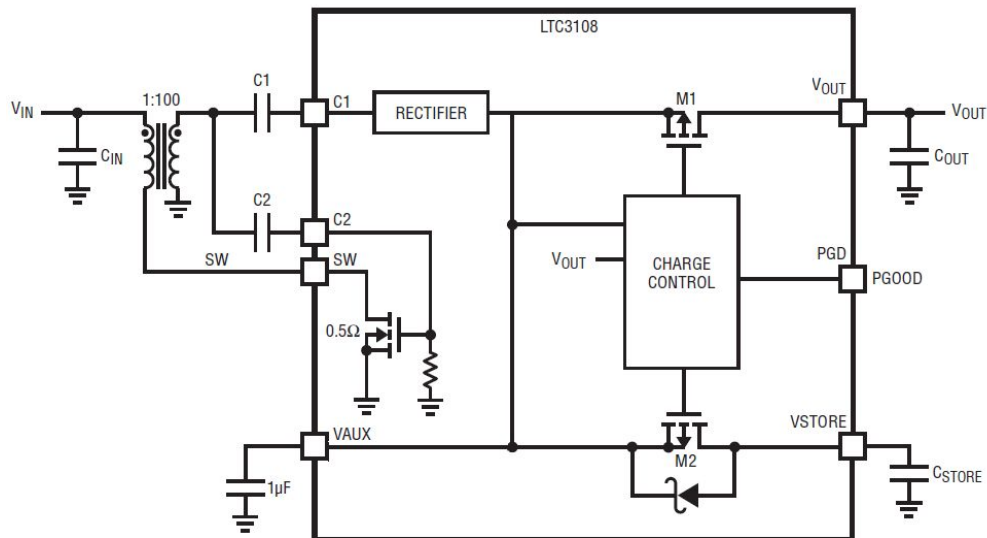


Figura 3 - Circuito simplificado do LTC3108 .(ANALOG DEVICES, 2019).

3. EMULAÇÃO SOLAR

Para avaliar o desempenho de geração de energia elétrica do coletor desenvolvido, foi proposto um experimento para a emulação da irradiação solar em dois diferentes cenários. O primeiro consistiu em um típico dia ensolarado caracterizando a condição ideal para colheita de energia solar, e o segundo consistiu em um dia nublado com grandes variações de irradiância ao longo dia, sendo assim considerado um caso com más condições para captura de energia.

Os dados de irradiância solar foram obtidos a partir de um banco de dados desenvolvido em estudo realizado pelo Laboratório de Energias Alternativas da Universidade Federal do Ceará. Este banco de dados integra um sistema de monitoramento de uma planta fotovoltaica instalada na cidade de Fortaleza (CE), que foi desenvolvido por Pereira (2019) e que fornece valores de irradiância solar adquiridos a cada minuto.

Para a realização do experimento proposto, foi desenvolvido um aparato de baixo custo baseado em uma lâmpada halógena de 500 W utilizada como fonte de calor. Esta classe de lâmpada foi escolhida devido a seu espectro luminoso possuir características similares a radiação solar, sobretudo na faixa do infravermelho. A calibração da lâmpada foi realizada utilizando um solarímetro (modelo SL100 da *Kimo Instruments*) para obter os valores de irradiância fornecidas pela lâmpada. Em conjunto a este instrumento, foi utilizado um transformador variável (modelo TDGC2-2 da JNG Inc) para controlar a tensão fornecida à lâmpada e conseqüentemente a potência. De forma que para cada valor de irradiância obtido no banco de dados, um correspondente valor de tensão elétrica foi ajustado pelo sistema proposto. O sistema proposto está ilustrado na Figura 4.

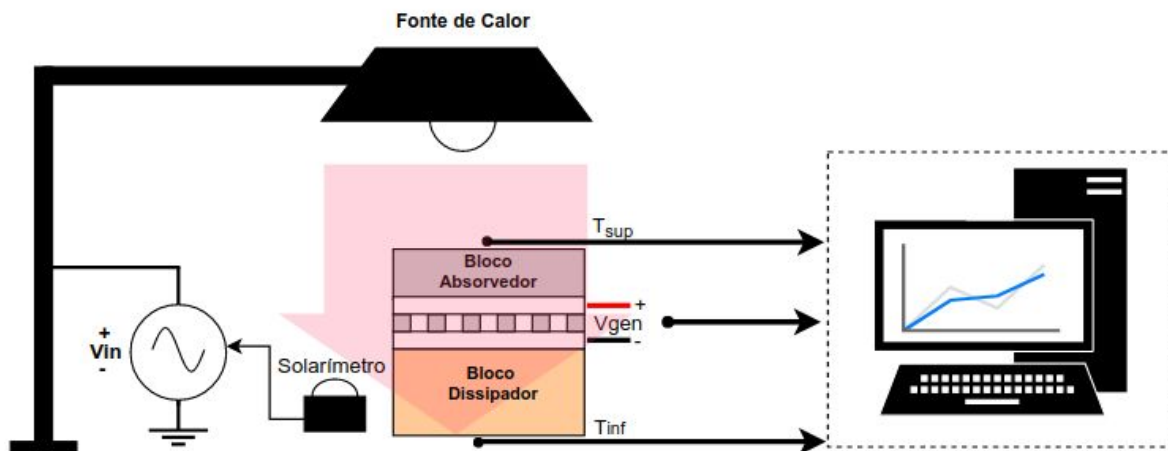


Figura 4 - Aparato experimental proposto para a emulação da irradiação solar.

A estrutura desenvolvida foi capaz de emular a irradiação solar por um período de 10 horas (6h30 - 16h30), correspondendo ao intervalo de tempo em que o banco de dados registrou valores não nulos de irradiação solar. O dia ensolarado escolhido foi 2 de Janeiro de 2019, enquanto que o dia nublado foi o dia 5 de Abril de 2019. O comportamento da irradiação solar para cada um dos dias escolhidos está ilustrado na Figura 5.

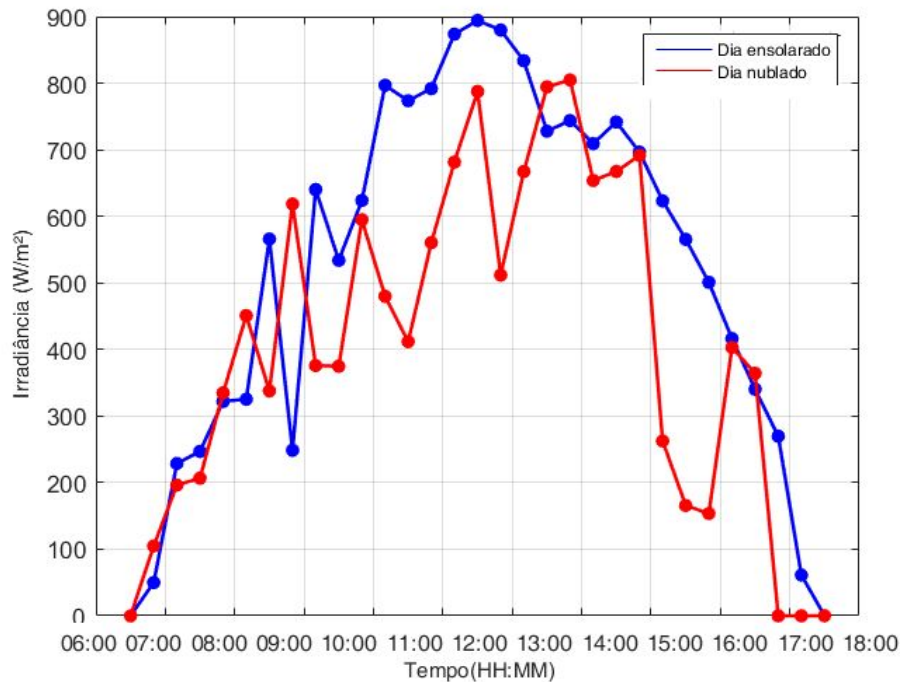


Figura 5 - Padrões de irradiação solar emulados no experimento.

O coletor em avaliação foi fixado a 20 cm abaixo da fonte de calor e esta posição foi mantida durante todo o experimento. Durante a emulação, a tensão gerada e as temperaturas superior e inferior do coletor foram mensuradas, processadas e visualizadas em tempo real por meio de uma aplicação desenvolvida no software livre OCTAVE (similar ao MatLab). As medições de temperatura foram realizadas utilizando sensores LM35 da Texas Instruments, que possui uma sensibilidade de 10 mV/°C.

4. RESULTADOS

Os valores selecionados de irradiação solar para o dia ensolarado foram emulados com um erro quadrático médio de 1,693 W/m², enquanto os valores selecionados de irradiação solar para o dia nublado foi emulado com um erro quadrático médio de 1,219 W/m². O experimento proposto comprovou a eficiência da utilização da liga quasicristalina como superfície seletiva de radiação solar em condições favoráveis e em condições consideradas adversas para a colheita de energia solar. Para o cenário ideal de um dia bem ensolarado, a temperatura da superfície seletora atingiu 68 °C, conforme ilustrado na Figura 6, valor bem superior ao bloco de dissipador.

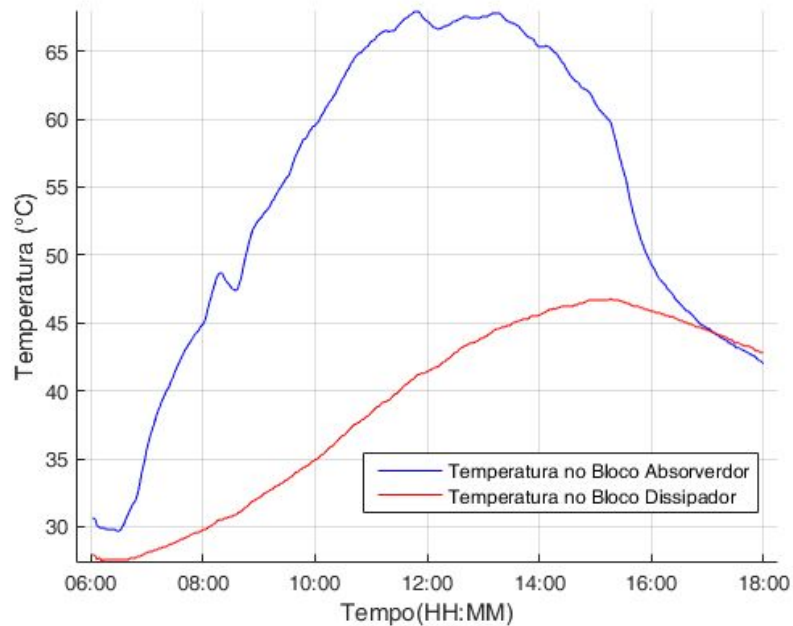


Figura 6 - Dados obtidos para as temperaturas nas superfícies superior e inferior do coletor de energia.

A diferença de temperatura sobre o coletor atingiu um pico de $27,33\text{ }^{\circ}\text{C}$ e a tensão gerada foi de $246,33\text{ mV}$, conforme está ilustrado na Figura 7. Com isso, o coletor proposto apresentou um pico de densidade superficial de energia de $15,4\text{ mV}/\text{cm}^2$. Além disto, o valor da tensão gerada foi superior a 20 mV durante a maior parte do período de incidência solar, com isso, boa parte da energia gerada pode ser aproveitada para fornecer energia a circuitos de baixíssimo consumo. O nível médio da tensão gerada que pode ser aproveitada foi de $167,85\text{ mV}$.

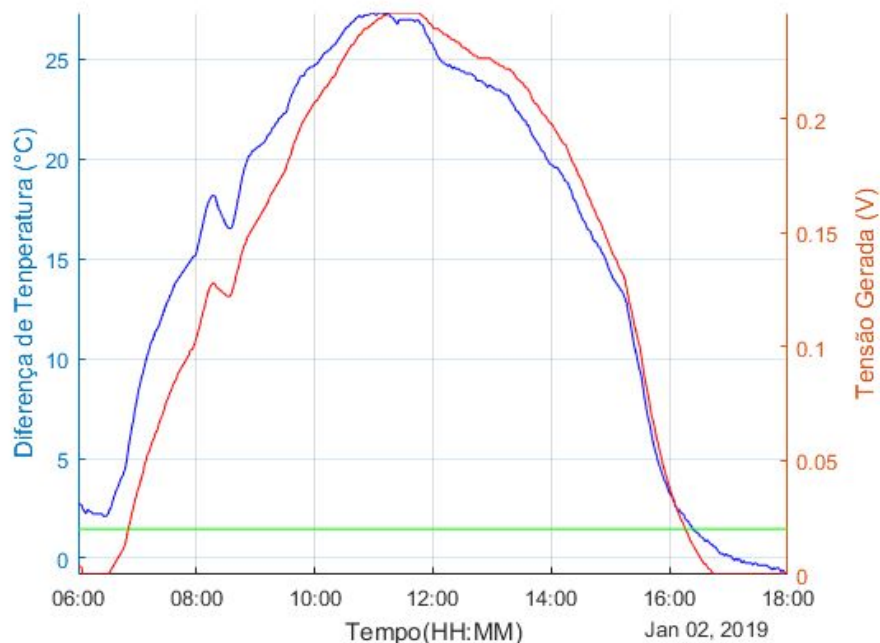


Figura 7 - Resultados experimentais: em azul a diferença de temperatura sobre o coletor, em vermelho a tensão elétrica gerada e em verde o limiar mínimo para aproveitamento de tensão elétrica.

Para o cenário adverso de um dia nublado, diferente do esperado, a temperatura da superfície seletora atingiu níveis de temperatura tão altos quanto os do primeiro caso avaliado, atingindo um pico de $66\text{ }^{\circ}\text{C}$, conforme ilustrado na Figura 8.

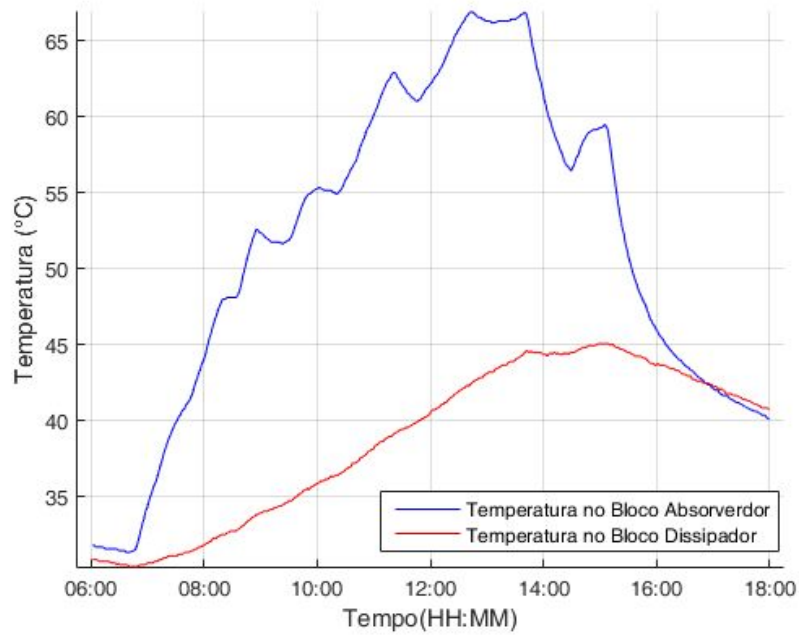


Figura 8 - Dados obtidos para as temperaturas nas superfícies superior e inferior do coletor de energia.

A diferença de temperatura sobre o coletor atingiu um pico de $24,52\text{ }^{\circ}\text{C}$ e a tensão gerada foi de $219,35\text{ mV}$, conforme está ilustrado na Figura 9. Embora em condição adversa, o pico de tensão gerado correspondeu a 89% da tensão gerada no caso ideal. Com isto o coletor proposto apresentou um pico de densidade superficial de energia de $13,7\text{ mV/cm}^2$. O nível médio da tensão gerada que pode ser aproveitada foi de $144,05\text{ mV}$. Novamente, a energia gerada pode ser aproveitada por circuitos condicionadores.

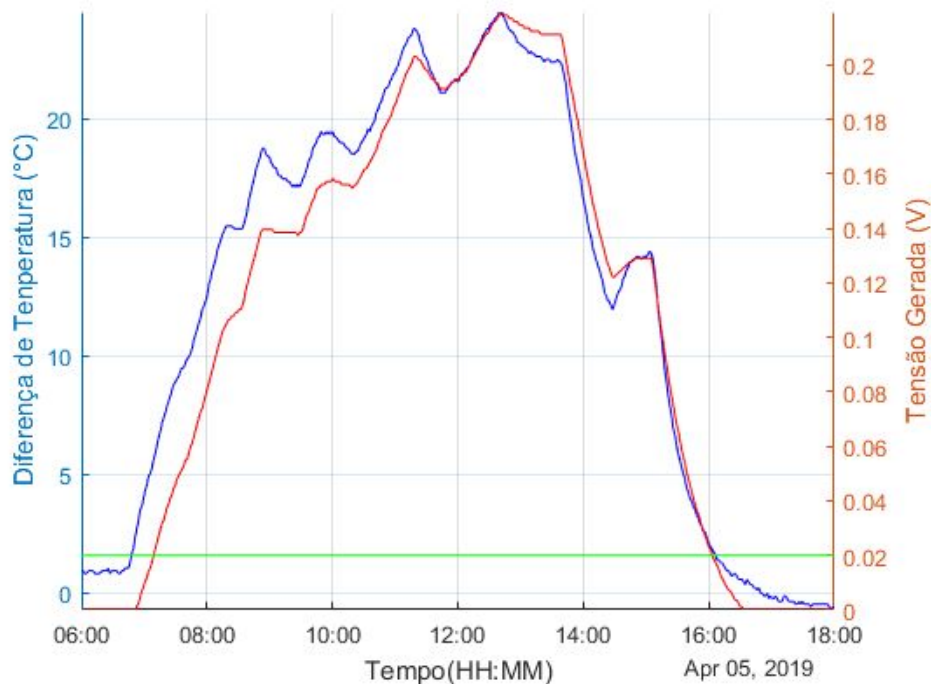


Figura 9 - Resultados experimentais: em azul a diferença de temperatura sobre o coletor, em vermelho a tensão elétrica gerada e em verde indicando o limiar mínimo para aproveitamento de tensão elétrica.

4.1 Regulação de Tensão

A regulação da tensão gerada pelo coletor foi realizada utilizando o circuito integrado LTC3108. A principal aplicação do LTC3108 é condicionar a tensão de entrada para alimentar cargas pulsadas como, por exemplo, nós sensores que alternam o modo de operação entre ativo (transmitindo ou recebendo) e inativo (*sleep*). Uma das atuais tecnologias de comunicação sem fio de rede ampla e baixa potência é a LoRa. Neste trabalho foi utilizada uma placa de desenvolvimento Adafruit Feather M0+ equipada com um microcontrolador ARM Cortex M0+ e um rádio LoRa RFM95. O consumo de corrente do dispositivo de acordo com o modo de operação do rádio LoRa é mostrado na Tabela 1. Nos testes realizados, o modo de operação do dispositivo alternou-se entre transmissão e *sleep*, habilitando o modo de transmissão quando a tensão de saída for igual a 3,3 V e desabilitando-o quando a tensão de saída for igual a 3 V.

A Feather M0+ foi configurada para transmitir a uma potência de 100 mW na banda de 900 MHz e consome 130 mA durante 70 ms para enviar um pacote de 20 bytes. Para realizar essa transmissão, é necessário que seja conectado um capacitor de mínimo 28 mF. Admitindo que o valor médio da corrente de saída do LTC3108 durante a carga do capacitor (em modo *sleep*) é 400 μ A, o LTC3108 estará habilitado para alimentar a carga a cada 92,4 segundos.

Tabela 1 - Consumo de corrente do dispositivo de acordo com o modo de operação.
Fonte: (ADAFRUIT, 2019).

Modo de Operação	Consumo de Corrente
<i>Sleep</i>	300 μ A
Transmissão (20 dBm)	130mA
Recepção	40mA

Desta forma o coletor solar termelétrico com um absorvedor térmico baseado em liga quasicristalina demonstrou sua aplicabilidade em distintos cenários.

5. CONCLUSÕES

Neste trabalho foi apresentado um novo gerador solar de energia elétrica baseado em absorvedores térmicos revestidos com liga quasicristalina. Foi descrita a estrutura do gerador solar proposto e seu princípio de funcionamento. Além disso, foi desenvolvido uma plataforma para o teste do gerador a fim de comprovar seu funcionamento em escala laboratorial. Os resultados experimentais comprovam a obtenção de um gradiente de temperatura causada pela aplicação da liga quasicristalina comprovando suas características de alta absorvência da radiação solar e baixa emitância no espectro infravermelho (características de absorvedores térmicos). Em adição, foi montado um esquema de transdução direta de gradiente de temperatura em tensão elétrica por meio de TEGs (geradores termoelétricos à semicondutor). O coletor proposto gerou níveis de tensão superiores ao mínimo necessário de acordo com o estado da técnica em circuitos condicionadores para colheita de energia. Atualmente, a pesquisa está direcionando esforço para aplicação em média e alta escala de geração de energia.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio financeiro do programa PRONEX fomentado pela Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado da Paraíba (FAPESQ-PB) e pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) sob termo de concessão N° 009/2019. Os autores também agradecem pelo apoio ao CNPq (Processo N° 309371/2019-8), ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Sistemas Micro e Nanoeletrônicos (INCT NAMITEC, Proc. 573738/2008-4) e ao Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica PIBIC/CNPq/UFPB).

REFERÊNCIAS

Adafruit., 2019, “ Datasheet: Adafruit Feather M0+ Radio with LoRa Radio Module”. Electronic Publication.
Analog Devices, 2019, “Datasheet: LTC3108 Ultralow Voltage Step Converter and Power Manager ”. Electronic Publication

- Baroudi, U., Qureshi, A. U. d., Mekid, S. and Bouhraoua, 2012, A. "Radio Frequency Energy Harvesting Characterization: An Experimental Study," 2012 IEEE 11th International Conference on Trust, Security and Privacy in Computing and Communications, Liverpool, pp. 1976-1981.
- Chen, J. et al., 2017, Enhanced efficiency of thermoelectric generator by optimizing mechanical and electrical structures. *Energies*, v. 10, n. 9, p. 1–15. ISSN 19961073.
- Dalola, S. et al., 2009, Characterization of thermoelectric modules for powering autonomous sensors. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, IEEE, v. 58, n. 1, p. 99–107. ISSN 00189456.
- Dubois, J. M., 2005, *Useful Quasicrystals*. World Scientific Publishing.
- Eisenhammer, T., Nolte, H., Assmann, W., Dubois, J. M., 1999, Preparation and properties of solar selective absorbers based on AlCuFe and AlCuFeCr thin films: industrial aspects, *Materials Research Society Symposium - Proceedings*, vol. 553, pp. 435–446.
- Enescu, D. 2019, *Thermoelectric Energy Harvesting: Basic Principles and Applications*. Intech, p.1- 38.
- Florentino, H., Freire, R. C. S. and Florentino, C. "Optimization of control switch for energy harvest circuit using electrostatic charges," in *Circuits and Systems (APCCAS)*, 2010 IEEE Asia Pacific Conference., pp. 668–671.
- Galayko, D., Pizarro, R., Basset, P. and Paracha, A., 2007, "AMS modeling of controlled switch for design optimization of capacitive vibration energy harvester," in *Behavioral Modeling and Simulation Workshop*, 2007. BMAS 2007. IEEE International, pp. 115–120.
- Harb, A., 2011. Energy harvesting: State-of-the-art, *Renewable Energy*, vol. 36, no. 10, pp. 2641–2654.
- Jiang, D. et al., 2018, Titanium nitride selective absorber enhanced solar thermoelectric generator (SA-STEG). *Applied Thermal Engineering*, Elsevier, v. 141, n. 2, p. 828–834, ISSN 13594311
- Kraemer, D. et al., 2016, Concentrating solar thermoelectric generators with a peak efficiency of 7.4%. *Nature Energy*, v. 1, n. 11, 2016. ISSN 20587546.
- Kraemer, D. et al., 2011, High-performance flat-panel solar thermoelectric generators with high thermal concentration. *Nature Materials*, Nature Publishing Group, v. 10, n. 7, p. 532–538, ISSN 14764660.
- Le, T., Mayaram, K., and Fiez, T., 2006, Efficient far-field radio frequency power conversion system for passively powered sensor networks, in *Custom Integrated Circuits Conference*, 2006. CICC '06. IEEE, pp. 293–296.
- LeBlanc, S., 2014, Thermoelectric generators: Linking material properties and systems engineering for waste heat recovery applications. *Sustainable Materials and Technologies*, Elsevier B.V., v. 1, p. 26–35
- Li, L. et al., 2019, Combined solar concentration and carbon nanotube absorber for high performance solar thermoelectric generators. *Energy Conversion and Management*, Elsevier, v. 183, p. 109–115
- Lu, F., Lee, H. P. and Lim, S. P., 2004, Modeling and analysis of micro piezoelectric power generators for micro-electromechanical-systems applications, *Smart Materials and Structures*, vol. 13, no. 1, p. 57.
- Pereira, R. I.; Jucá, S. C.; Carvalho, P. C., 2019, IoT embedded systems network and sensors signal conditioning applied to decentralized photovoltaic plants. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, Elsevier Ltd, v. 142, p. 195
- Souza, C. P. et al., 2016, On Harvesting Energy from Tree Trunks for Environmental Monitoring. *International Journal of Distributed Sensor Networks*.
- Wu, T., Yang, H. C., 2014, RF energy harvesting with cooperative beam selection for wireless sensors. *Wireless Communications Letters*, IEEE, pg. 585–588.
- Véras, J. C. C., Vieira, D. A., Melo, 2015, E. C. S. e Souza, C. P. An automatic thermal cycling based test platform for thermoelectric generator testing, 2015 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC) Proceedings, Pisa, pp. 1949-1953. doi: 10.1109/I2MTC.2015.7151580

QUASICRYSTALLINE-BASED SOLAR ABSORBER APPLIED IN ELECTRIC ENERGY GENERATION

Abstract. *In this work, a solar electric generator based on thermal absorbers is introduced. The thermal absorber is coated by a quasicrystalline alloys in which are a new class of solid materials presenting an ordered structure, as crystals, but do not have periodicity like crystals. Quasicrystalline alloys have properties like ceramic materials, such as low thermal and electrical conductivity and high hardness. In this work, a copper bar was coated with a nanoscale film of a quasicrystalline alloy resulting in a surface with high solar radiation absorbance and low infrared emission. As a result, a thermal absorber was obtained. This was combined with an uncoated copper bar that produced a significant temperature gradient. Using Thermoelectric Generators (TEGs), which are solid state devices based on the Seebeck effect that convert temperature gradient into electrical voltage, combined with the proposed solar thermal absorber structure, some amount of electric energy was generated. Small scale experimental results show the results obtained from the proposed solar generator.*

Keywords: *Solar electric generator, Quasicrystals, Solar thermal absorber.*