



20 A 24 DE MAIO DE 2018 SALVADOR – BA – BRASIL

PROJETO DE UM MOTOR STIRLING SOLAR PARA APLICAÇÃO DE BOMBEAMENTO E IRRIGAÇÃO EM PEQUENAS PROPRIEDADES

Adriano Souza da Costa, adrianosouza@unifesspa.edu.br¹

Dr. Franco Jefferds dos S. Silva, franco.silva@unifesspa.edu.br¹

¹Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará-Unifesspa, Instituto de Geociências e Engenharias - IGE

Resumo: Este trabalho apresenta o projeto do protótipo inicial de um motor Stirling que opera através do aproveitamento da energia solar. O projeto tem como principal aplicação, a produção de um sistema de bombeamento de água em pequenas propriedades rurais. O motor funciona a partir da diferença de temperatura entre os pistões quente e frio, produzida pela concentração de radiação solar. Portanto, além do motor Stirling, o conjunto é composto por um concentrador solar e uma bomba d'água de baixo custo.

Palavras-chave: Agricultura familiar, Motor Stirling, bombeamento, irrigação, radiação solar

1. INTRODUÇÃO

Os sistemas usuais de bombas acionados por motores elétricos ou motores à combustão interna que usam gasolina ou diesel como combustíveis, apresentam grande custo de instalação e de consumo elétrico ou de combustível. KELMAN (2005), como exemplo, mostra que para rios como o São Francisco o custo energético pode alcançar o valor de R\$ 0,10/m³ de volume de água bombeada, o que representa um valor bastante elevado para a atividade de agricultura familiar. Uma opção para economizar é o aproveitamento de uma

energia alternativa como a energia solar, aplicada a sistemas de bombeamento alternativo através de um motor *Stirling* que pode ter a radiação solar como fonte de energia.

A região Marabaense possui dois períodos característicos quanto a quantidade de chuvas e, conseqüente disponibilidade de água e luz solar. Segundo DE MORAES (2005) e de Meteorologia. (2014) os dois períodos são: o verão amazônico, período de estiagem, que ocorre de maio a outubro e proporciona uma disponibilidade de 184 h de sol mensal e o período chuvoso, de novembro a abril, com disponibilidade de 130 h/mês de sol. Portanto, observa-se que no período de estiagem, no qual há maior necessidade de bombeamento de água, têm-se também maior disponibilidade de luz solar, que pode ser aproveitada para suprir as demandas energéticas do sistema de bombeamento de água.

Neste trabalho tem-se como pressuposto que no período de maior estiagem há uma boa oportunidade de utilização da energia solar para aplicação em sistemas de bombeamentos, suprimindo a necessidade de captação de água para utilização na irrigação e nas criações que ocorrem nas pequenas propriedades rurais de agricultura familiar.

LODI (2011) citando ?, coloca que a radiação solar direta normal mínima requerida para um projeto de geração elétrica a partir de energia solar concentrada é 5,5 kWh/m² dia, chamada DNI - *Direct Normal Irradiance*. No Atlas Solarimétrico do Brasil, Chiguera *et al.* (2000), a região de Marabá apresenta valores de DNI iguais a 3,3 kWh/m² dia no período chuvoso e podendo chegar a 6,1 kWh/m² dia no período de estiagem. Os valores de DNI no período de estiagem permitem a utilização de um ciclo termodinâmico *Stirling* e um motor para acionamento de um sistema de bombeamento. O motor Stirling é um sistema regenerativo de ciclo fechado que apresenta boas capacidades, com alta eficiência termodinâmica, baixos níveis de emissões graças a possibilidade de controle da fonte externa de calor que pode ser calor gerado pela luz solar Araoz *et al.* (2015). Conforme, dados climatológicos (Sistema de Monitoramento, 2017) mostram que a temperatura do ar no município de Marabá no sudeste do Pará apresenta pequena variação sazonal, com temperaturas médias anual de 301 K.

Quando ao motor Stirling Jokar and Tavakolpour-Saleh (2015) explica que é um motor de combustão externa, tendo em vista que o seu conceito foi proposto por Robert Stirling em 1816 (Reino Unido, patente no. 4081). Seu pressuposto, afirma que as máquinas de ciclo Stirling operam com um ciclo termodinâmico regenerativo fechado, com compressão e expansão cíclica de um fluido de trabalho a diferentes níveis de temperatura. Finkelstein (2001) cita ?, que desenvolveu o primeiro motor Stirling LTD (Low-Temperature Difference) convencional que operava com uma diferença de temperatura de 15 K, tal modelo foi reproduzido conforme a Fig. 1, com o objetivo de entender e facilitar na manipulação do processo de funcionamento do motor Stirling.

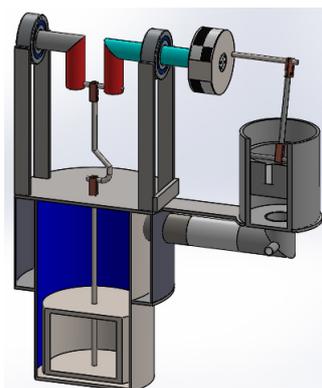


Figura 1: Motor Stirling

Reader and Hooper (1983) propôs um motor movido a energia solar Stirling com um sistema de bombeamento de água e Orda and Mahkamov (2004) desenvolveu uma bomba d'água solar térmica LTD para utilização em países em desenvolvimento, utilizando o motor Stirling e placa solar plana coletora. Ressaltando que seus trabalhos experimentais revelaram a viabilidade do bombeamento de água sob baixa diferença de temperatura. É importante destacar que o motor Stirling funciona como um compressor térmico que trabalha a partir da expansão e compressão de um gás mantido no interior dos cilindros. No motor Stirling a energia térmica é transferida de uma fonte de calor externa para o fluido de trabalho. A Fig. 2 mostra o diagrama $P - v$ do ciclo Stirling nos quais são evidenciados os quatro processos reversíveis em série.

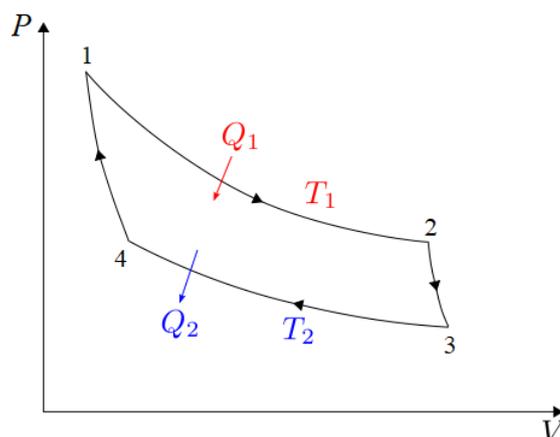


Figura 2: Ciclo Stirling

De acordo com Viana *et al.* (2013), estes processos do ciclo Stirling são:

- 1 → 2 : Expansão a temperatura constante que ocorre devido ao fornecimento de calor da fonte externa;
- 2 → 3 : Regeneração a volume constante que ocorre devido à transferência de calor interna do fluido de trabalho para o regenerador;
- 3 → 4 : Compressão a temperatura constante que ocorre devido à rejeição de calor para o meio externo;
- 4 → 1 : Regeneração a volume constante que ocorre devido à transferência de calor interna do regenerador de volta para o fluido de trabalho.

2. METODOLOGIA

2.1 Temperatura média da microrregião de Marabá

Dados solarimétricos disponíveis em sites como agritempo (Sistema de Monitoramento, 2017) apontam as seguintes temperaturas média do ano de 2017 para a microrregião de Marabá.

Ademais, segundo ?, obteve-se uma temperatura média para a mesma microrregião equivalente a 300 K , valor relativamente próximo ao obtido anteriormente. Portanto, nos cálculos apropriados, será adotada a temperatura média descrita na Tabela 1.

Tabela 1: Temperatura média da microrregião marabaense ao longo do ano de 2017. Fonte: agritempo (Sistema de Monitoramento, 2017)

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Maio	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
T (K)	300	300	300	301	301	300	300	302	302	302	300	300	301

2.2 Fluido de trabalho

Em testes teóricos, normalmente, usa-se na formulação, um gás ideal para modelar o fluido de trabalho. A equação de estado relaciona: Pressão (P), Temperatura (T) e volume específico (v). A Eq. 1 prevê o comportamento de P , T e v .

$$Pv = nRT \quad (1)$$

Onde, R é a constante do gás. Esse valor é específico para cada tipo de gás e é determinado por:

$$R = \frac{R_u}{M} \quad (2)$$

Em que R_u é Constante Universal dos Gases e M é a massa Molar. Quando um gás obedece a Eq. 1, ele é chamado de Gás Ideal. Todavia, há restrições para o uso dessa equação, principalmente quando sua temperatura e pressão estão perto do ponto crítico ou da zona de saturação. Um a medida do desvio do gás real da situação de gás ideal é denominado Fator de Compressibilidade (Z), BOLES and ÇENGEL (2013), obtido por meio da Eq. 3, a seguir.

$$Z = \frac{Pv}{RT} \quad (3)$$

Quando o gás é ideal, $Z = 1$ e obtemos a Eq. 1 novamente. Com isso, torna-se relativa a decisão do que é estar próximo do ponto crítico e da região de saturação. Assim, pode-se normalizar a temperatura e pressão atuantes em respeito ao ponto crítico, utilizando-se as Eq. 4.

$$T_r = \frac{T}{T_c} \quad (4)$$

$$P_r = \frac{P}{P_c} \quad (5)$$

I - Quando a pressão reduzida P_r é menor que 1, o fluido opera em baixas pressões.

II - Quanto o fluido opera em altas temperaturas, a temperatura reduzida T_r é maior que 2.

Conforme Santos (2016), em um motor stirling, os gases a serem utilizados normalmente são Hidrogênio, Hélio e Ar, por possuírem temperaturas baixas no ponto crítico em aproximadamente 33,15 K, 5,15 K e 132,15 K, respectivamente, (BOLES and ÇENGEL, 2013). No motor as temperaturas variarem entre 298,15 a 1273,15 K, logo, a condição II é satisfeita e é possível utilizar a eq 1 no modelo.

2.3 Fonte de Energia - Radiação Solar

Segundo Yaïci and Entchev (2014), a energia solar é uma das fontes alternativa de energia renovável mais atrativa, pois é a mais abundante e inesgotável fonte de energia do planeta. A radiação solar pode ser utilizada diretamente como fonte de energia térmica, para aquecimento de fluidos e ambientes e para geração de potência mecânica ou elétrica. Conforme descrito por Aksoy *et al.* (2015), atualmente, difundido em diferentes tecnologias, há várias maneiras de converter a energia solar em outras modalidades de energia, como com células fotovoltaicas, canal parabólico, coletores, torres solares e coletores parabólicos do prato, etc. O aproveitamento térmico para aquecimento de fluidos pode ser feito com o uso de coletores ou concentradores solares. Os coletores solares são os mais usados em aplicações de aquecimentos residenciais e comerciais e os concentradores solares destinados a aplicações que requerem temperaturas mais elevadas (do Brasil, 2008).

Os concentradores solares são uma boa opção para utilização fornecimento de calor nos ciclos Stirling, onde energia solar pode ser convertida para aplicações de bombeamento como é o caso. Segundo estudos de Aksoy *et al.* (2015) para temperaturas abaixo de 950° C a performance do motor Stirling movido a energia solar é superior por exemplos às aplicações com turbinas a gás, o que corrobora a conclusão de que para conversão de energia solar em pequenas escalas o uso de coletores solares é uma boa opção. Coletores solares planos são normalmente utilizados nos motores Stirling LTD para fornecimento do calor necessário para o ciclo.

Reader and Hooper (1983) propuseram um motor movido a energia solar Stirling como um sistema de bombeamento de água. Orda and Mahkamov (2004) desenvolveram uma bomba de água solar térmica LTD que utiliza o motor Stirling e placa solar plana coletora e revelaram a viabilidade do bombeamento de água a baixa diferença de temperatura.

A *radiação* é um processo pelo qual o calor é transmitido de um corpo a alta temperatura para um de mais baixa quando tais corpos estão separados no espaço, ainda que exista vácuo entre eles, Morishita and da Barrosa (2004). Esta forma de energia se assemelha à radiação da luz, diferindo-se apenas nos comprimentos de onda. A transmissão do calor radiante ocorre na forma de quanta de energia, Kreith *et al.* (2012). Todos os corpos que possuem temperatura absoluta diferente de zero emitem calor radiante, no entanto, dependendo da composição do corpo e de outros requisitos, esta quantidade pode variar. Para os corpos chamados irradiadores perfeitos, ou corpos negros, esta quantidade de calor emitida por irradiação por unidade de tempo pode ser escrita como segue a Eq. 6:

$$Q_k = \sigma \cdot A_{conc} \cdot T_{trab}^4 \quad (6)$$

Em que A_{conc} é a área de concentração de radiação solar e T_{trab} é a temperatura de trabalho da fonte de calor.

2.3.1 Coletor Solar

Coletores de energia solar são dispositivos trocadores de calor que tem por função transformar a irradiação solar em energia térmica para o uso em processos térmicos ou também para geração de eletricidade Oliveira Junior (2015). Segundo Santos (2016) os mecanismos mais conhecidos são os coletores térmicos que podem ou não ser envidraçados e podem também ter concentradores parabólicos ou tubos de vácuo. Para Hafez *et al.* (2016), o prato solar parabólico é um dos métodos mais importantes que utilizam o calor solar como fonte para geração de eletricidade.

Em algumas aplicações o prato solar rastreia a direção do sol para focar o calor no receptor de uma unidade geradora. Esta tecnologia é bastante utilizada por conta da capacidade de geração de até dezenas de kW de potência. Outro fator que influencia no seu uso é o tamanho e o baixo peso quando aplicados, por exemplo, com os motores Stirling Hafez *et al.* (2016). Para Aksoy *et al.* (2015) o coletor de prato parabólico pode concentrar a radiação solar em um receptor montado no motor térmico. O receptor converte a radiação solar em calor e transfere este calor para um fluido de trabalho que funciona com o motor térmico, este converte a energia recebida em trabalho ou em eletricidade através de mecanismos de conversão ou geradores conforme a configuração do sistema.

De acordo com Gil *et al.* (2015) nos motores Stirling, que operam através da energia solar, pode-se utilizar um espelho coletor de forma parabólica para concentrar e focar a luz solar em um ponto na extremidade quente do motor Stirling, desta forma, a energia é transferida para o fluido de trabalho. A Figura 3 ilustra o esquema de um motor Stirling conectado a um concentrador solar parabólico.



Figura 3: **Motor Stirling acoplado a um concentrador parabólico**

A área total da superfície do concentrador (A_{conc}) solar dada em metros quadrados é determinada pela Eq. 7. Esta superfície refletirá os raios em um ponto focal do coletor onde estará localizado o gás de trabalho do motor Stirling. Ao receber energia por irradiação, o gás se expande e produz trabalho mecânico que por conseguinte entrará em um ciclo.

$$A_{conc} = \frac{\pi D_{con}^2}{4} \quad (7)$$

Para este trabalho, usou-se uma antena parabólica conforme a Fig. 4 com diâmetro de $0,60m$ e área superficial, segundo a Eq. 7 de aproximadamente $0,29m^2$. Já o absorvedor tem diâmetro de $0,032m$, enquanto sua área corresponde a $0,003m^2$. Portanto, a taxa de concentração geométrica (C_g) pode ser obtida a partir da seguinte relação:

Para produzir uma superfície refletora nesta parábola, foram utilizadas lâminas de espelhos de vidro, cada uma possuindo 1 cm^2 de área, A superfície da parábola foi recoberta com micro espelhos utilizando um adesivo líquido à base de polímero, a fim de garantir a fixação mesmo em condições climáticas agressivas.

$$C_g = \frac{A_a}{A_r} \quad (8)$$

Em que os termos (A_a) e (A_r) são as áreas da abertura do coletor e do receptor, respectivamente. Portanto, a taxa de concentração geométrica é de 96,66. Segundo ?, esta relação é conhecida como eficiência de concentração e, quanto maior, melhor será o aproveitamento da energia solar pelo coletor. Para concentradores parabólicos circulares, o valor de C_g na varia entre 100 e 5000.



Figura 4: Antena Parabólica utilizada como concentrador solar

2.4 Determinação da energia gerada pelo motor Stirling

Todos os processos termodinâmicos para a conversão de calor em trabalho mecânico dependem dos níveis de temperatura. O fluido de trabalho é expandido a fim de gerar trabalho mecânico e a energia gerada pelo motor Stirling acoplado ao sistema de bombeamento de água pode ser obtida tendo como parâmetros conhecidos as temperaturas ambiente e aquelas alcançadas no coletor solar.

Com base na temperatura média anual da Tab. 1, tem-se que a temperatura ambiente é de 301 K e a partir de análise experimental, conseguiu-se uma temperatura de trabalho de 400 K . A entrega estimada de água pelo sistema é de aproximadamente $0,480\text{ m}^3/\text{dia}$. A seguir são apresentadas as equações utilizadas para o cálculo de parâmetros relevantes na estimativa realizada.

O total de horas previsto de funcionamento do sistema de bombeamento será conforme Eq. 9. Em que D é o número de dias do mês, H é a quantidade de horas de um dia e β é o fator multiplicador de horas úteis.

$$h = \beta DH \quad (9)$$

Podemos calcular a diferença entre as temperaturas do trabalho do fluido aquecido e temperatura ambiente, Eq. 10.

$$\Delta T = T_q - T_i \quad (10)$$

O calor fornecidos Q será dado pela Eq. 11. Em que m é a massa de água e C_p é o calor específico

$$Q = mC_p\Delta T \quad (11)$$

A eficiência de Carnot, η_{carnot} , do ciclo será dada pela Eq. 12.

$$\eta_{carnot} = 1 - \frac{T_i}{T_q} \quad (12)$$

A potência do motor é então calculada pela Eq. 13.

$$P = Q\eta_{carnot} \quad (13)$$

E a energia produzida, E , é dada pela Eq. 14.

$$E = Ph \quad (14)$$

É importante ressaltar que as perdas na transmissão mecânica não são computadas e toda a energia gerada é convertida em trabalho de eixo, e por meio do mecanismo de funcionamento da bomba d'água, que opera por diferença de pressão produzida no interior do motor, ocorre o deslocamento de água seja do poço, rio até o local de armazenamento ou uso contínuo.

A fim de obter a taxa de transferência de calor para o motor, a eficiência, a potência e a produção de energia e o volume de fluido de trabalho, aplicou-se as equações pertinentes para os seguintes dados de entrada disposto na Tabela 2, sabendo-se que a temperatura média do ar no estado inicial é equivalente a 299.15 K e o volume inicial de $0,00047\text{ m}^3$ de ar.

Tabela 2: Tabela de calor específico do ar a pressão constante

Temperatura final T_f (K)	Calor específico do ar a pressão constante c_p (KJ/kg.K)
373,15	1,022
400,00	1,025

Aplicando as eq. 9 a 14, obtém-se os parâmetros de um projeto aerotermodinâmico básico mostrados na Tabela 3.

Tabela 3: Resultados obtidos para a energia produzida para o mês de agosto.

dias h	ΔT (K)	Q (kW)	η_{carnot}	P (kW)	E (kWh)
31	98	6.027	0,24	1.476	878,5

3. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Para montar o sistema de bombeamento de água, inicialmente, construiu-se o protótipo do motor Stirling tipo gama a partir de materiais reciclados, conforme mostrado na Fig. 5(a). Este motor é composto por chassi, pistão de deslocamento e trabalho, cilindros, hastes, trocador de calor, volante e virabrequim. Posteriormente, construiu-se a bomba de água, Fig. 5(b), composta por tubos, diafragma, recipientes para passagem de ar e armazenamento de água e esferas. Além disso, construiu-se o concentrador solar, para tal fim, utilizou-se uma antena parabólica de 60 mm e partículas de espelhos de 10×10 mm, Fig. 5(c). Sendo que o projeto da bomba d'água foi fornecido por colaborador desse trabalho José (2018) e o motor Stirling de material reciclado construído com o auxílio do manual disponibilizado online Wagner (2018).

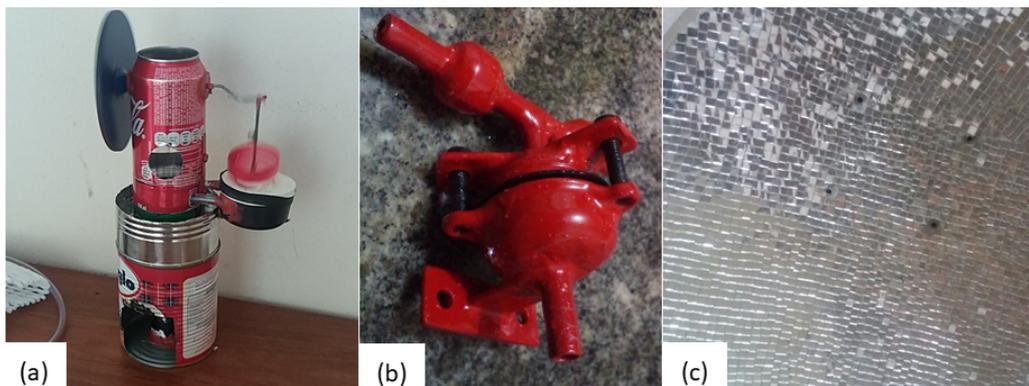


Figura 5: (a) Motor Stirling, (b) bomba d'água e (c) concentrador solar.

Por fim, desenhou-se em CAD (Computer Aided Design) todos os componentes do sistema de bombeamento, incluindo motor e bomba, mostrados na Fig. 6.

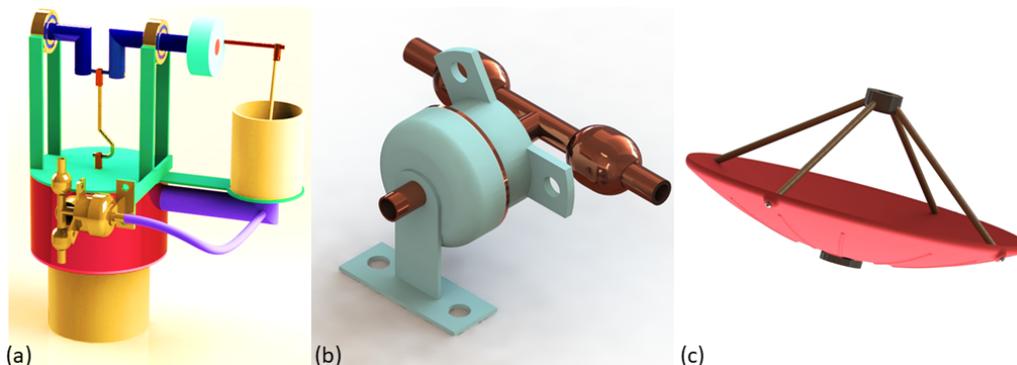


Figura 6: Motor Stirling com bomba d'água, bomba d'água e antena.

Com os primeiros teste e as análises experimentais realizados obteve-se como resultados uma eficiência de 24% e pressupõe-se que o motor Stirling em projeto apresenta uma boa capacidade de deslocamento de massa de água comparável a outros trabalhos como o de ? que apresentou uma eficiência de 22,5% utilizando fontes geotérmicas de calor.

4. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos com os primeiros testes realizados demonstram que a conversão de radiação solar em trabalho mecânico é bastante viável por meio de um sistema motor stirling, coletor solar e bomba d'água. A região onde se pretende aplicar o sistema em projeto tem ampla disponibilidade de horas de sol e existe resultado positivo na relação custo benefício já que o motor pode ser construído até mesmo de material reaproveitado. Assim, torna-se possível desenvolver protótipo para atender as demandas de bombeamento de água em propriedades rurais.

5. AGRADECIMENTOS

Ao Programa Institucional de Bolsas de Extensão - PIBEX, Pró-reitoria de Extensão e Assuntos estudantis (Proex), Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará (Unifesspa), Laboratório de Análise, Projeto, Simulações e Engenharia (APSE) do curso de Engenharia Mecânica do Instituto de Geociências e Engenharias (IGE) da Unifesspa e ao Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial – SENAI.

a

6. REFERÊNCIAS

- Aksoy, F., Karabulut, H., Çınar, C., Solmaz, H., Özgören, Y.Ö. and Uyumaz, A., 2015. “Thermal performance of a stirling engine powered by a solar simulator”. *Applied Thermal Engineering*, Vol. 86, pp. 161–167.
- Araoz, J.A., Salomon, M., Alejo, L. and Fransson, T.H., 2015. “Numerical simulation for the design analysis of kinematic stirling engines”. *Applied energy*, Vol. 159, pp. 633–650.
- BOLES, M. and ÇENGEL, Y., 2013. “Termodinâmica. 7ª edição”. São Paulo: AMGH Editora.
- Chigueru, T. et al., 2000. “Atlas solarimétrico do brasil: Banco de dados solarimétricos”. *Universitária da UFPE*.
- de Meteorologia., I.N., 2014. “Como customizar o abntex2”. <http://www.inmet.gov.br/>. URL <http://www.inmet.gov.br/webcdp/climatologia/normais/imagens/normais/planilhas/Precipitacao>
- DE MORAES, B.C.e.a., 2005. “Variação espacial e temporal da precipitação no estado do pará.” Technical report, Acta Amazon.
- do Brasil, A.d.E.E., 2008. “Agência nacional de energia elétrica”. *ANEEL, Brasília, Brasil. 3aEd.*
- Finkelstein, T., 2001. “Air engines: the history, science, and reality of the perfect engine/theodor finkelstein, allan j”. *Organ.*
- Gil, R., Monné, C., Bernal, N., Muñoz, M. and Moreno, F., 2015. “Thermal model of a dish stirling cavity-receiver”. *Energies*, Vol. 8, No. 2, pp. 1042–1057.
- Hafez, A., Soliman, A., El-Metwally, K. and Ismail, I., 2016. “Solar parabolic dish stirling engine system design, simulation, and thermal analysis”. *Energy Conversion and Management*, Vol. 126, pp. 60–75.
- Jokar, H. and Tavakolpour-Saleh, A., 2015. “A novel solar-powered active low temperature differential stirling pump”. *Renewable Energy*, Vol. 81, pp. 319–337.
- José, R., 2018. “Bomba d água para motor stirling”. <https://www.youtube.com/watch?v=YHXahCFyWVo&feature=KELMAN>, Jerson; RAMOS, M., 2005. “Custo, valor e preço da água utilizada na agricultura.” *Revista de gestão de água da América Latina*, Vol. 2, pp. 39–48.
- Kreith, F., Manglik, R.M. and Bohn, M.S., 2012. *Princípios de transferencia de calor*. Cengage Learning Editores.
- LODI, C., 2011. “Perspectivas para a geração de energia elétrica no brasil utilizando a tecnologia solar térmica concentrada.” Technical report, Universidade Federal do Rio de Janeiro/Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia.
- Morishita, H. and da Barrosa, M.R., 2004. “Princípios fundamentais da transferência de calor”.
- Oliveira Junior, G.B.d., 2015. “Construção e avaliação térmica de um sistema concentrador parabólico com seguidor solar”.
- Orda, E. and Mahkamov, K., 2004. “Development of “low-tech” solar thermal water pumps for use in developing countries”. *Journal of solar energy engineering*, Vol. 126, No. 2, pp. 768–773.
- Reader, G. and Hooper, C., 1983. “Stirling engines, e. & fn spon”.
- Santos, A.C.Á., 2016. “Análise numérica de modelos adiabático e não adiabático em um motor stirling”.
- Sistema de Monitoramento, A., 2017. “Agritempo”. <http://www.agritempo.gov.br/>. URL <https://www.agritempo.gov.br/agritempo/index.jsp>.
- Viana, L.A.V., Lima, A.C. and dos Santos Rabelo, S., 2013. “A utilização de softwares no ensino da termodinâmica”. *Revista Edu. Tec.*, Vol. 1, No. 1.
- Wagner, L., 2018. “Como fazer motor stirling caseiro passo a passo - as do stirling engine”. <https://www.youtube.com/watch?v=itZDyNGpZVs&feature=youtu.be>.
- Yaïci, W. and Entchev, E., 2014. “Performance prediction of a solar thermal energy system using artificial neural networks”. *Applied thermal engineering*, Vol. 73, No. 1, pp. 1348–1359.

7. RESPONSABILIDADE AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

DESIGN OF A STIRLING SOLAR ENGINE FOR SMOKE PROPERTIES PUMPING AND IRRIGATION APPLICATION

Adriano Souza da Costa, adrianosouza@unifesspa.edu.br¹

Dr. Franco Jefferds dos S. Silva, Franco.silva@unifesspa.edu.br¹

¹Federal University of South and Southeast of Pará-Unifesspa, Institute of Geosciences and Engineering - IGE

Abstract: *This work presents the initial prototype design of a Stirling engine that operates through the use of solar energy. The project has as main application water pumping in small rural properties. The engine operates from temperature difference between the hot and cold pistons, produced by the concentration of solar radiation. In addition to Stirling engine the assembly consists of a solar concentrator and a low-cost water pump.*

Keywords: *Family agriculture, Stirling engine, pumping, irrigation, solar radiation.*