

USO DE UM CONCENTRADOR SOLAR PARABÓLICO DE FOCO FIXO DE 0,30 m² PARA PASTEURIZAR ÁGUA EM BATELADAS

Tiago Batista Cerqueira tiagobhc@gmail.com
Marco Antônio De Oliveira Domingues maodomingues@gmail.com
Marília Regina Costa Castro Lyra mariliarcastro@uol.com.br
Instituto Federal de Pernambuco (IFPE)

Resumo. Os paradigmas atuais no combate às mudanças climáticas e promoção do desenvolvimento sustentável tem impulsionado o desenvolvimento de inovações que fazem uso das fontes energéticas renováveis. Neste cenário a energia solar se destaca em virtude de sua abundância, disponibilidade e por ser limpa e versátil, podendo ser aplicada desde em grandes a pequenos projetos, inclusive por meio de tecnologias sociais para satisfazer demandas locais como para cozer, aquecer, pasteurizar e dessalinizar água. Entre os modelos de concentradores solares, o concentrador solar de disco parabólico de foco fixo (de Scheffler) se diferencia devido a proposta de manter o foco sempre estacionado à frente do painel refletor, graças ao mecanismo de rastreamento solar diário automático e de ajuste sazonal, tornando assim mais cômodo o seu uso. Esta tecnologia pode ser construída em todos tamanhos e ser utilizada para diversos fins. Neste estudo foi avaliada a utilização de um concentrador de Scheffler de 0,30m² para pasteurizar água em sistema de bateladas, isto é, para eliminar os indicadores de contaminação microbiológica da água, como uma proposta de sistema alternativo de abastecimento individual. Foram realizados dois ensaios, cada um com volume de água e tempo de exposição solar diferentes. Embora não tenha sido possível fazer análises em laboratórios para comprovar a desinfecção da água, foi constatado que conforme as referências, a água foi aquecida a temperaturas suficientes para a realização da pasteurização solar.

Palavras-chave: Energia solar; Tecnologias sociais; Disco de Scheffler; Sistema de abastecimento alternativo individual; Tratamento da água.

1. INTRODUÇÃO

O aquecimento global e as mudanças climáticas têm proporcionado impactos adversos em todo o planeta. Os danos ambientais decorrentes das pressões antrópicas sobre o sistema climático podem se tornar irreversíveis, aumentar o estado de vulnerabilidade social e ocasionar consequências ainda mais graves caso medidas não sejam tomadas para a mitigação e adaptação.

Diante deste cenário, a difusão de tecnologias que fazem uso de fontes renováveis de energia é essencial para a mitigação do efeito estufa e na construção do desenvolvimento sustentável. Dentre as fontes renováveis, a energia solar se destaca por ser um recurso abundante, gratuito, limpo e versátil, podendo ser destinada em aplicações térmicas ou na produção de eletricidade desde em grandes atividades industriais a pequenos projetos domésticos e comerciais.

Uma das vantagens da energia solar é a possibilidade de utilizá-la localmente para suprir diversas necessidades primárias de energia através de sistemas simples e de baixo custo. Deste modo, é possível utilizar tecnologias sociais para a desinfetar e dessalinizar a água para o consumo, para cozinhar, secar, desidratar, aquecer águas sanitárias e ambientes, produzir eletricidade, entre outros fins, promovendo assim a qualidade e inclusão socioambiental e reduzindo a situação de vulnerabilidade social em zonas remotas e carentes.

Portanto, diante dos novos paradigmas socioambientais e inovações tecnológicas, os aparelhos solares têm se tornado cada vez mais difundidos e acessíveis (ALVES, 2014). As tecnologias heliotérmicas, são dispositivos que coletam ou concentram a luz do sol e faz uso de suas propriedades térmicas.

Nos coletores a área de absorção é a mesma que intercepta a luz solar, consistindo em uma tecnologia apropriada quando não se necessita de temperaturas muito elevadas (próximas aos 100°C), sendo muito utilizada em aquecedores d'água e em fornos solares do tipo caixa. Por sua vez, os concentradores são formados por superfícies maiores com propriedades óticas que convergem a luz solar para uma área menor, denominado de foco (ANEEL, 2005; KALOGIROU, 2009).

A taxa de concentração (C) destes aparelhos é dada pela razão entre a superfície refletora pelo foco ($C = A_{\text{refletora}}/A_{\text{foco}}$), onde quanto maior este fator, mais energia é concentrada no ponto focal. Os fatores que influenciam no rendimento de uma tecnologia de concentração solar são de origem climáticas e geográficos, por exemplo os índices solarimétricos e de temperatura ambiente, e fatores de projetos, como, fator de concentração, características óticas e térmicas dos materiais (FUNK, 2000). A Figura 1 apresenta o fluxo energético e os parâmetros envolvidos na conversão da radiação solar em energia térmica (SOUZA FILHO, 2008; MACEDO NETO, 2011; MEDEIROS JÚNIOR, 2016).

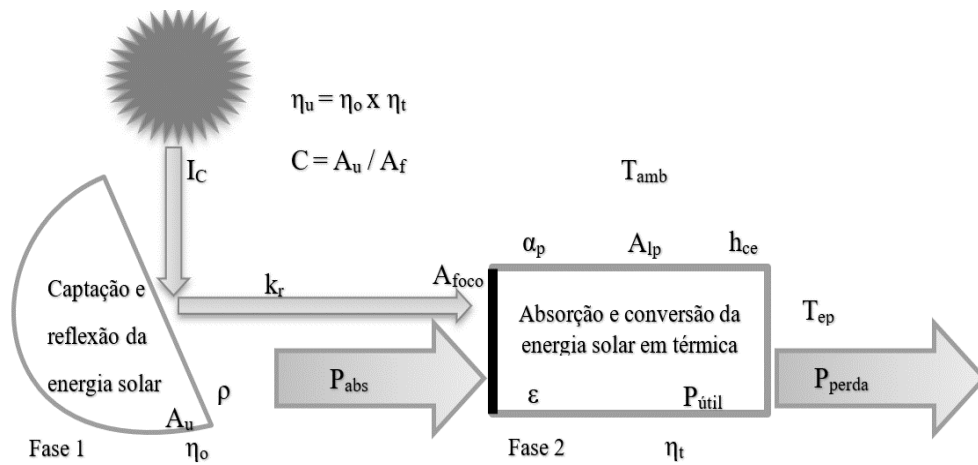


Figura 1. Fluxo energético no sistema de concentração solar e de conversão da radiação solar em energia térmica
Fonte: Autoria própria, 2018.

Onde:

$P_{\text{útil}}$ – potência térmica útil (W)
 P_{abs} – potência máxima absorvida (W)
 P_{perda} – energia perdida ao ambiente (W)
 η_U – eficiência útil da conversão da radiação solar em energia térmica
 η_o – eficiência ótica do sistema de captação de energia solar
 η_t – eficiência de conversão térmica
 C – fator de concentração
 A_u – área útil da superfície refletora do concentrador (m^2)
 A_{foco} – área do foco (m^2)
 A_{lp} – área lateral da panela ou do receptor (m^2)

I_c – radiação instantânea interceptada na superfície refletora (W/m^2)
 k_r – fração da radiação refletida (%)
 ρ – refletividade da superfície do concentrador (%)
 α_p – absorvidade do receptor (%)
 T_{amb} – temperatura ambiente ($^{\circ}C$)
 T_{ep} – temperatura externa da panela ou recipiente ($^{\circ}C$)
 ε – emissividade do absorvedor (capacidade do corpo emitir energia infravermelha) (%)
 h_{ce} – coeficiente de convecção entre a superfície do absorvedor e ar ambiente ($W/m^2 \cdot ^{\circ}C$)

Dentre os modelos de concentradores solares, os discos parabólicos se diferem pela peculiaridade de serem modular, podendo ser construído em diversas dimensões e com diferentes materiais, o que possibilita uma pluralidade de aplicações, como em fogões solares, sistemas térmicos e na produção de eletricidade. Os discos parabólicos possuem a propriedade óptica de convergir a incidência solar sobre sua área de abertura para um ponto focal e geralmente possuem sistemas de rastreamento solar, obtendo assim maiores fatores de concentração (KALOGIROU, 2009). A singularidade deste modelo, acarreta uma grande oportunidade em suprir carências energéticas em comunidades rurais, inclusive sobre a forma de tecnologias sociais.

Meio a tantos modelos de concentradores de disco parabólico, o concentrador de Scheffler se diferencia devido a proposta de manter o foco sempre estacionado à frente do painel refletor. Esta inovação tecnológica surgiu com o propósito inicial de tornar mais cômodo o uso da energia solar no processo de cozimento de alimentos, sobretudo em comunidades rurais em países em desenvolvimento, embora também haja grande potencial para o setor industrial (SCHEFFLER, 2006).

O desenho do painel baseia-se em um segmento lateral de uma parábola em revolução cortado por um plano paralelo ao zênite, correspondente ao feixe de luz, formando uma antena offset. Assim, a luz solar é convergida lateralmente ao foco, possibilitando a conveniência de se ter o foco sobre um local sombreado enquanto o aparelho funciona sob o Sol (DELGADO, 2015).

O concentrador opera sobre um eixo paralelo ao eixo polar terrestre, que percorre sobre o centro do refletor e do ponto focal. Logo, este eixo tem inclinação igual ao ângulo de latitude local, com o propósito de anular o ângulo zenital latitudinal e interceptar a incidência solar perpendicularmente. Este prato refletor gira sobre o eixo de referência no sentido Leste-Oeste acompanhando o movimento aparente do Sol, garantindo que o foco fique estático ao longo do dia (OELHER; SCHEFFLER, 1994; SCHEFFLER, 2006).

A geometria do refletor foi desenvolvida à inclinação solar de 0° , isto é, durante os equinócios. Como o ângulo de incidência solar altera $\pm 23,5^{\circ}$ durante os solstícios, o concentrador de Scheffler conta com um mecanismo de ajuste sazonal que adequa o formato da parábola e sua inclinação sobre o eixo de rotação com o intuito de manter o foco fixo durante todo o ano (COVENTRY; ANDRAKA, 2017). A Figura 2 apresenta um esboço do protótipo.

Pode soar complicado, mas na prática este ajuste é simples, sendo realizado manualmente uma ou duas vezes por semana por meio de duas alavancas posicionadas na extremidade superior e inferior do refletor. Tais alterações óticas fazem com que a área útil refletora seja maior na estação de inverno do que na estação de verão. Embora haja perdas na qualidade ótica do concentrador devido imprecisões na conformação da parábola durante os ajustes, ainda assim é

possível atingir temperaturas elevadas com este modelo (OELHER; SCHEFFLER, 1994; MUNIR; HENSEL; SCHEFFLER, 2010).

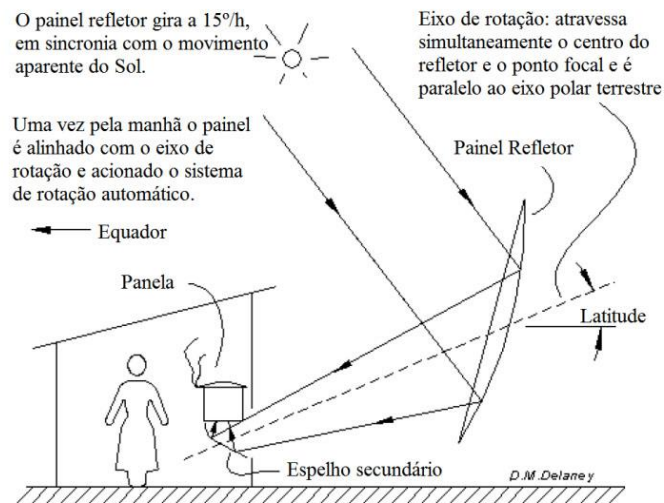


Figura 2. Representação do concentrador solar modelo de Scheffler
Fonte: adaptado de Delaney, 2009.

Uma característica relevante é a versatilidade de destinação da energia concentrada pontualmente de modo estacionário. Existem diversas aplicações em fase de experimento e outras já consolidadas e em pleno uso. Exemplos de testes com avaliações positivas são os casos do uso do concentrador para torrar cacau, em casa de farinha de mandioca, extração de óleos vegetais, preparo de alimentos, padarias comunitárias, entre outras. Concentradores de Scheffler são também amplamente empregados para produção de vapor, expandindo ainda mais o leque de serventia desta tecnologia, inclusive no setor industrial (GADHIA, GADHIA, 2009; MÜLLER, 2009; DELGADO, 2015; SANTOS, 2015).

Outra opção de uso deste aparato é no tratamento térmico de água, recurso essencial à vida. A distribuição de água não é uniforme pelo globo terrestre. O semiárido brasileiro por exemplo, sofre com limitada disponibilidade de recurso hídrico, e ainda em muitos casos a água disponível não se encontra em condições adequadas para o consumo humano. Dado os altos índices de radiação solar direta no semiárido brasileiro, uma alternativa sustentável é usufruir da energia solar por meio do concentrador de Scheffler para a dessalinização e a desinfecção da água pelo processo de pasteurização (DAVID; SILVA; VIEIRA, 2014; JESUS et al, 2015).

Um dos indicativos da qualidade microbiológica da água é a ausência de bactérias coliformes termotolerantes, como a *Escherichia coli*. Segundo as diretrizes para a qualidade da água potável da Organização Mundial da Saúde (WHO, 2011) e conforme disciplinado pela Portaria da ANVISA 2.914 de 2011 sobre o padrão de potabilidade, é necessária a adoção de medidas que eliminem a presença destes indicadores de contaminação fecal na água destinado ao consumo humano. Tais microrganismos patogênicos são sensíveis ao calor, de modo que ao aquecer a água a temperaturas acima de 60°C por um intervalo de tempo ocorre um processo físico de desinfecção chamado pasteurização (SANDEC; EAWAG, 2002).

Em experimentos em condições controladas, Rodrigues (2011) concluiu que os indicadores coliformes totais e *E. coli* foram desinfetados das amostras d'água a temperatura de 60°C por 15 minutos. Por sua vez, Carielo (2011) constatou em suas pesquisas de pasteurização solar da água com aquecedor solar, a completa inativação de coliformes totais e *E. coli* de amostras de um riacho nas seguintes combinações de temperatura e tempo de exposição: 55°C por 1 hora, 60°C por 45 minutos, 65°C por 30 minutos, 75°C por 15 minutos, e 85°C por 15 segundos. Concluiu-se que a medida que a temperatura da água aumenta o tempo necessário para a destruição dos agentes patogênicos é reduzido.

Diante do exposto, este trabalho teve como objetivo construir e avaliar a eficiência e o desempenho de um protótipo de concentrador solar parabólico de foco pontual fixo de 0,30m² (Concentrador de Scheffler) e um forno receptor para a desinfecção da água por meio da pasteurização solar (SOPAS).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho foi uma pesquisa experimental que envolveu a prototipação em escala reduzida e avaliação de um concentrador solar parabólico de foco pontual fixo de 0,30 m² de superfície refletora teórica para o processo de pasteurização solar da água em sistema de bateladas. Para reduzir as perdas térmicas com o ambiente, os recipientes com água foram colocados dentro de um forno receptor de 18 litros.

Este protótipo baseou-se no modelo de Concentrador Solar de Scheffler. Por conta do sistema de ajuste sazonal que altera a inclinação e o formato da parábola deste modelo de acordo com o ângulo de incidência solar, é preciso calcular o fator de abertura para saber a área refletora útil para cada dia do ano (Equação 1) (DELGADO, 2015).

Considerando que a mudança do ângulo de incidência solar seja constante durante o ano, somasse 23,50° para o solstício de verão e subtraísse 23,50° para o solstício de inverno.

$$\text{Fator de abertura} = \cos \left(43,23^\circ \pm \frac{\text{Inclinação solar}}{2} \right) \quad (1)$$

Onde:

Inclinação solar – Valor entre ± 23,50°

Contudo, é adequado primeiramente subtrair 10% da área total devido a possíveis imprecisões durante a construção e imperfeições da superfície refletora, e então é multiplicado o resultado pelo fator de abertura (Equação 2).

$$A_u = (A_t - 10\%) \cdot \text{fator de abertura} \quad (2)$$

Onde:

A_u – área útil da superfície refletora do concentrador (m²)

A_t – área refletora teórica (total)

Fator de abertura – $\cos (43,23^\circ \pm 11,75^\circ)$

A área do ponto focal do concentrador solar é calculada pela Equação 3.

$$A_f = \pi \cdot r^2 \quad (3)$$

Onde:

A_f – área do foco (m²)

π – pi

r – raio da circunferência

O fator de concentração é calculado pela razão entre a área refletora útil pela área do foco (Equação 4). No caso deste modelo de concentrador, o fator de concentração é variável conforme o ângulo de incidência solar e depende das equações anteriores para determinar a área refletora útil.

$$C = \frac{A_u}{A_f} \quad (4)$$

Onde:

C – fator de concentração

A_u – área útil da superfície refletora do concentrador (m²)

A_f – área do foco (m²)

Durante os ensaios foram registrados a temperatura ambiente, da água, do espaço interno e da parede externa do forno receptor e do foco a cada dez minutos para estimar o desempenho térmico do sistema. Devido à falta de instrumentos que meçam dados solarimétricos, utilizou-se nesta pesquisa a fórmula de Angstrom para estimar a radiação solar diária média durante os ensaios (Equação 5) (TIBA, 2000; PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2000).

$$\frac{Q_g}{Q_o} = a + b \cdot \frac{n}{N} \quad (5)$$

Onde:

Q_g – radiação solar global diária (MJ.m².dia)

Q_o – radiação solar global diária no topo da atmosfera (MJ.m².dia)

a e b – são coeficientes determinados por análises estatísticas de regressão para cada local

n – média mensal de insolação diária (h)

N – média mensal da duração astronômica do dia (fotoperíodo) (h)

Valores médios por mês e para algumas latitudes de fotoperíodo (N) e de radiação média solar global sem interferência da atmosfera (Q_o) são apresentados no trabalho de Pereira, Angelocci e Sentelhas (2000). A média de insolação diária (n) pode ser encontrado no Atlas Solarimétrico do Brasil (TIBA, 2000). Os coeficientes a e b dependem da latitude e das condições de transmitância atmosférica do local. Contudo em localidades em que não se tem dados

disponíveis para os coeficientes a e b, a radiação solar global diária pode ser calculada pela fórmula de aproximação dado pela Equação 6 (PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2000).

$$\frac{Q_g}{Q_o} = 0,29 \cdot \cos \Phi + 0,52 \cdot \frac{n}{N} \quad (6)$$

Onde:

- Q_g – radiação solar global diária (MJ.m².dia)
- Q_o – radiação solar global diária no topo da atmosfera (MJ.m².dia)
- Φ – latitude local expressa em graus e décimos
- n – média mensal de insolação diária (h)
- N – média mensal da duração astronômica do dia (fotoperíodo) (h)

Para converter o resultado da equação acima de MJ.m².dia para Wh/m².dia, basta dividi-lo por 0,0036. A relação de Angstrom resulta no valor médio mensal de radiação solar global diária, contudo, em projetos de concentração solar o componente relevante é a radiação solar direta. Diante disso, neste estudo foi considerado como radiação solar direta diária 80% da radiação solar global diária estimada (LION FILHO, 2007; RAMOS FILHO, 2011; SOUZA, 2014). Por fim, o valor da radiação solar direta interceptada pelo painel refletor (I_c) usado para calcular a potência absorvida (P_{abs}) foi da razão entre a radiação solar direta diária pela média mensal de insolação diária (Equação 7).

$$I_c = \frac{\text{radiação solar direta diária}}{n} \quad (7)$$

Onde:

- I_c – radiação solar direta interceptada na superfície refletora (W/m²)
- n – média mensal de insolação diária (h)

Para mesurar o desempenho do sistema utilizou-se a metodologia adotada nos estudos de Lion Filho (2007), Ramos Filho (2011), Souza Filho (2008), Macedo Neto (2011), Souza (2014) e Medeiros Júnior (2016). Assim, potência útil (W) do sistema é definida pela diferença entre a energia absorvida pela energia perdida no receptor (Equação 8). A potência absorvida é calculada pela Equação 9, enquanto a potência perdida pela Equação 10.

$$P_{\text{útil}} = P_{\text{abs}} - P_{\text{perda}} \quad (8)$$

$$P_{\text{abs}} = I_c \cdot A_u \cdot k_r \cdot \rho \cdot \alpha_p \quad (9)$$

$$P_{\text{perda}} = h_{ce} \cdot A_{lp} \cdot (T_{ep} - T_{amb}) \quad (10)$$

Onde:

- $P_{\text{útil}}$ – potência térmica útil (W)
- P_{abs} – potência máxima absorvida (W)
- P_{perda} – energia perdida ao ambiente (W)
- I_c – radiação solar direta interceptada na superfície refletora (W/m²)
- A_u – área útil da superfície refletora do concentrador (m²)
- k_r – fração da radiação refletida (%)
- ρ – refletividade da superfície do concentrador (%)
- α_p – absorvidade do receptor (%)
- h_{ce} – coeficiente de convecção entre a superfície do absorvedor e ar ambiente (W/m².°C)
- A_{lp} – área lateral da panela ou do receptor (m²)
- T_{ep} – temperatura externa do isolante (°C)
- T_{amb} – temperatura ambiente (°C)

A eficiência útil do ciclo de conversão da radiação solar em energia térmica pode ser compreendida pela Equação 11. A eficiência ótica representa a primeira fase do ciclo de conversão de energia em um sistema de concentração solar. e pode ser calculada pela Equação 12. A eficiência térmica do sistema é dada pela Equação 13.

$$\eta U = \eta_o \times \eta t \quad (11)$$

$$\eta_o = k_r \cdot \rho \cdot \alpha_p \quad (12)$$

$$\eta t = \frac{P_u}{I_c \cdot A_u \cdot \eta_o} \quad (13)$$

Onde:

η_U – eficiência útil da convenção da radiação solar em energia térmica

η_o – eficiência ótica do sistema de captação de energia solar

η_t – eficiência de conversão térmica

k_r – fração da radiação refletida (%)

ρ – refletividade da superfície do concentrador (%)

α_p – absorvidade do receptor (%)

$P_{\text{útil}}$ – potência térmica útil (W)

I_c – radiação instantânea interceptada na superfície refletora (W/m^2)

A_u – área útil da superfície refletora do concentrador (m^2)

η_o – eficiência ótica do sistema de captação de energia solar

Foram realizados dois experimentos, cada qual com um volume de água e tempo de exposição solar diferentes. O primeiro foi realizado no dia 05/09/2018 no município de Garanhuns / PE ($8^{\circ}54'30.8''\text{S}$ e $36^{\circ}29'40.0''\text{W}$) onde foi analisado a curva de aquecimento de uma garrafa PET com 1,5 litros de água entre 10 e 14h. O segundo foi realizado no município Olho D'água do Casado / AL ($9^{\circ}30'14.9''\text{S}$ e $37^{\circ}53'34.9''\text{W}$) no dia 02/10/2018, onde foi estudado a curva de aquecimento de 5 litros de água em uma panela preta entre o período de 08 às 16 horas.

Em ambos os casos o concentrador foi devidamente direcionado para a linha do Equador, conferido a inclinação do eixo de rotação, que deve ser coincidente com o ângulo de latitude local, e o forno receptor foi posicionado frente ao foco do painel refletor. O sistema de rastreamento solar foi automatizado utilizando dois relés, dois fotosensores de 12v e um motor de corrente contínua (2W, 12V, 44RPM, 2.2 Kgf.cm). A Figura 1 mostra o equipamento instalado durante os ensaios.

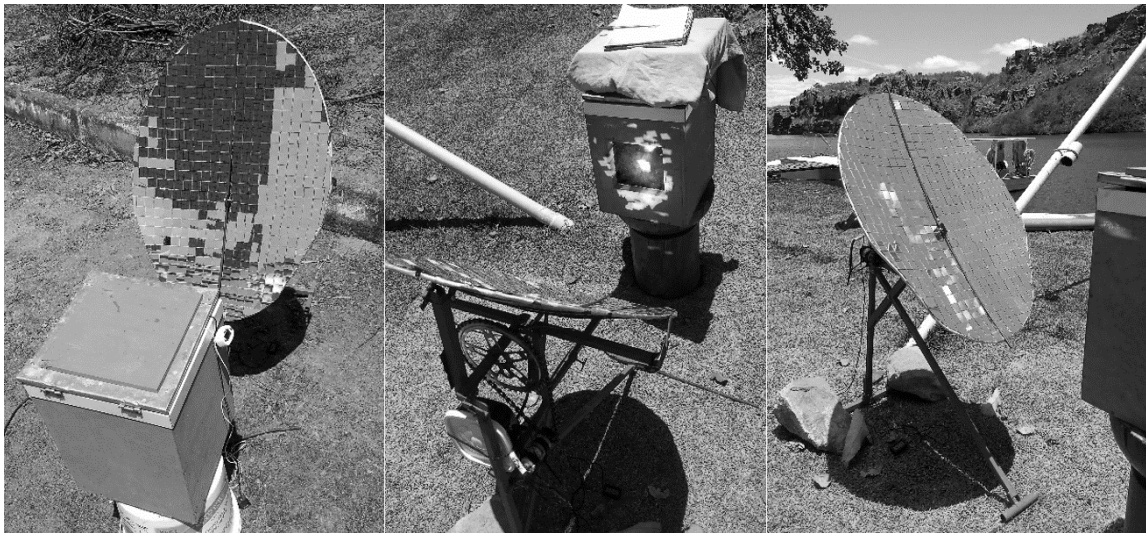


Figura 3. Concentrador solar instalado durante os ensaios
Fonte: Autoria própria, 2018.

Por questões de logística, não foi possível fazer a análise microbiológica de amostras d'água antes e após cada ensaio para avaliar o processo de desinfecção, contudo, os dados apurados durante a pesquisa foram comparados com resultados combinados de tempo de exposição solar e temperatura da água para a pasteurização solar definidos em outros trabalhos científicos (CARIELO, 2011; RODRIGUES, 2011).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Até o momento não foram encontrados relatos de construção e operação de concentradores solar de Scheffler com superfície menor que 2m^2 . Embora o fator de concentração e o potencial energético sejam menores, existe um campo de estudo a ser explorado, como avaliar a aplicabilidade de versões reduzidas para aquecer água e ambiente, dessalinizar, cozer, assar e esquentar alimentos, dentre outras finalidades, sobretudo como tecnologias sociais em regiões áridas. Protótipos de tamanhos reduzidos, como o construído neste trabalho, possuem a vantagem de ser facilmente transportados, podendo serem carregados para acampamentos, comunidades remotas e em casos de calamidades, bem como servirem de mostruário para outros projetos.

A área teórica do painel refletor do protótipo construído neste trabalho é de $0,30\text{m}^2$. Para encontrar a área refletora útil primeiramente subtraiu 10% da área total devido a possíveis imperfeições da superfície refletora por conta de imprecisões e efeitos da dilatação durante a soldagem das peças, totalizando assim $0,27\text{m}^2$, e em seguida multiplicou-se

este valor pelo fator de abertura descrito na Equação 1. Durante os ensaios averiguou que o foco possui um diâmetro próximo aos 12 cm, tendo, portanto, uma área de 0,011 m² conforme a Equação 3.

Considerando ser constante a mudança da incidência solar decorrente do movimento de translação da Terra, pode-se facilmente determinar a área refletora útil deste concentrador para qualquer dia do ano. Levando em conta as datas dos equinócios e solstícios entre 1992-2020 publicado por Oliveira Filho e Saraiva (2002) e que o concentrador se encontra no hemisfério sul, a Tab. 1 apresenta o fator de abertura, a área refletora útil e o fator de concentração para algumas datas do ano de 2018.

Tabela 1. Fator de abertura e área refletora útil do concentrador solar de 0,30m² para algumas datas do ano de 2018

Estações do ano (2018)	Fator de abertura	Área útil (m ²)	Fator de concentração
Equinócios: Outono (20/03); Primavera (23/09)	0,73	0,20	18,2
Solstício de Inverno (21/06)	0,85	0,23	20,9
Solstício de Verão (21/12)	0,57	0,15	13,6
Média anual	0,72	0,20	18,2

Conforme visto na revisão bibliográfica, a superfície refletora útil desta tecnologia é maior durante o inverno e menor no verão. Na Tab. 2 estão relacionados os parâmetros técnicos do projeto, as temperaturas médias registradas do ambiente, da superfície externa do forno e do foco, a incidência solar direta estimada e os dados de eficiência e potência do protótipo para cada dia de experimento.

Tabela 2. Dados de projetos e de desempenho calculados durante os ensaios

Aspectos técnicos	Garanhuns / PE (05/09/2018)	Olho D'água do Casado / AL (02/10/2018)
Volume de água utilizado no ensaio (ml)	1.500	5.000
Período de realização do ensaio (h)	10 às 14	08 às 16
I _c – média da radiação solar direta estimada (W/m ²)	681	671
P _{útil} – potência térmica útil (W)	94,64	89,01
P _{abs} – potência máxima absorvida (W)	99,29	92,94
P _{perda} – energia perdida ao ambiente (W)	4,65	3,93
η _U – eficiência útil da conversão da radiação solar em energia térmica	0,69	0,70
η _o – eficiência ótica do sistema de captação de energia solar	0,73	0,73
η _t – eficiência de conversão térmica	0,95	0,96
h _{cc} – coeficiente de convecção (W/m ² . °C)	1,92	1,86
C – fator de concentração (dia 05/09/2018)	18,18	17,27
A _{ct} – área teórica da superfície refletora do concentrador (m ²)	0,30	0,30
A _u – área útil da superfície refletora do concentrador (m ²)	0,20	0,19
A _{foco} – área do foco (m ²)	0,011	0,011
A _{ip} – área externa do receptor (m ²)	0,60	0,60
T _{amb} – média da temperatura ambiente (°C)	29,40	32,59
T _{ep} – média da temperatura externa da panela ou recipiente (°C)	33,44	36,09
T _{foco} – média da temperatura instantânea do ponto focal	150,6	130,5
k _r – fração da radiação refletida (%)	0,90	0,90
ρ – refletividade da superfície do concentrador (%)	0,90	0,90
α _p – absorvidade do receptor (%)	0,90	0,90
ε – emissividade do absorvedor (%)	0,90	0,90

No primeiro experimento (Garanhuns / PE - 05/09/2018) foi registrado a curva de aquecimento de 1500 ml de água em garrafa PET dentro do intervalo de 10 e 14 horas. Neste primeiro ensaio as condições climáticas foram favoráveis, com céu limpo e temperatura ambiente oscilando entre 27,5° a 30,6°C. A temperatura média da água subiu de 27,0°C (inicial) à 75,3°C (final). A Fig. 4 apresenta gráficos com os dados de temperatura ambiente e da água (parte superior, inferior e a média entre eles) a cada 10 minutos.

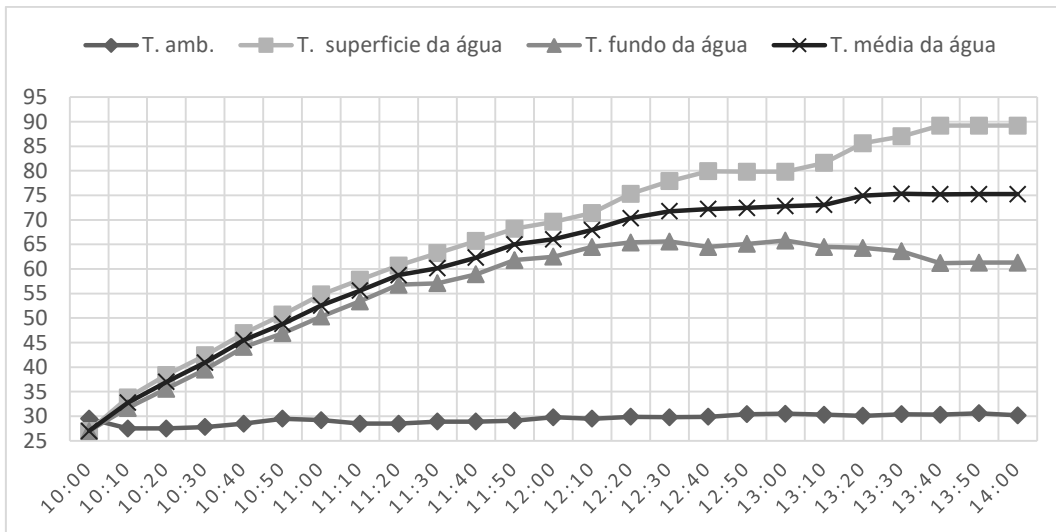


Figura 4. Temperatura ambiente e da água (superfície, fundo da garrafa e a média)

Neste ensaio a temperatura média da água alcançou 55°C às 11:10h, 60°C às 11:30h, 65°C às 11:50h e 75°C às 13:20h. Considerando os resultados de Carielo (2011), poderia supor que a água teria sido desinfetada por pasteurização solar às 12:10h, isto é, após 1 hora a 55°C. Por sua vez, considerando os resultados de Rodrigues (2011) os indicadores coliformes totais e E. coli teriam sido eliminados às 11:45h, isto é, após 15 minutos a 60°C.

O segundo experimento (Olho D'água do Casado / AL - 02/10/2018) teve o propósito de aquecer 5000 ml de água em uma panela preta entre 08 às 16 horas. O objetivo foi avaliar a possibilidade em aumentar a produção de água desinfetada por pasteurização solar em sistema de batelada com este protótipo de concentrador solar. Neste ensaio as condições climáticas não foram tão favoráveis quanto ao primeiro, pois houve muitas nuvens densas obstruindo a passagem da radiação solar direta sobre o concentrador, principalmente pela manhã e a temperatura ambiente variou entre 25,7 a 35,9.

Embora neste dia tenha tido muitas nuvens ainda assim a temperatura média da água subiu de 28,5°C (inicial) a 74,4°C até o final do ensaio, tendo um acréscimo médio de 1°C a cada 10 minutos (Fig. 5). Foi constatado que a temperatura média da água foi de 55°C às 12:20h, de 60°C às 13:00h e de 65°C às 13:40h. Considerando os resultados de Carielo (2011), poderia supor que a água já estaria desinfetada às 13:20h, isto é, a mais de 55°C por 1 hora; e levando em conta os de Rodrigues (2011) a água estaria tratada às 13:15, isto é, após 15 minutos a 60°C.

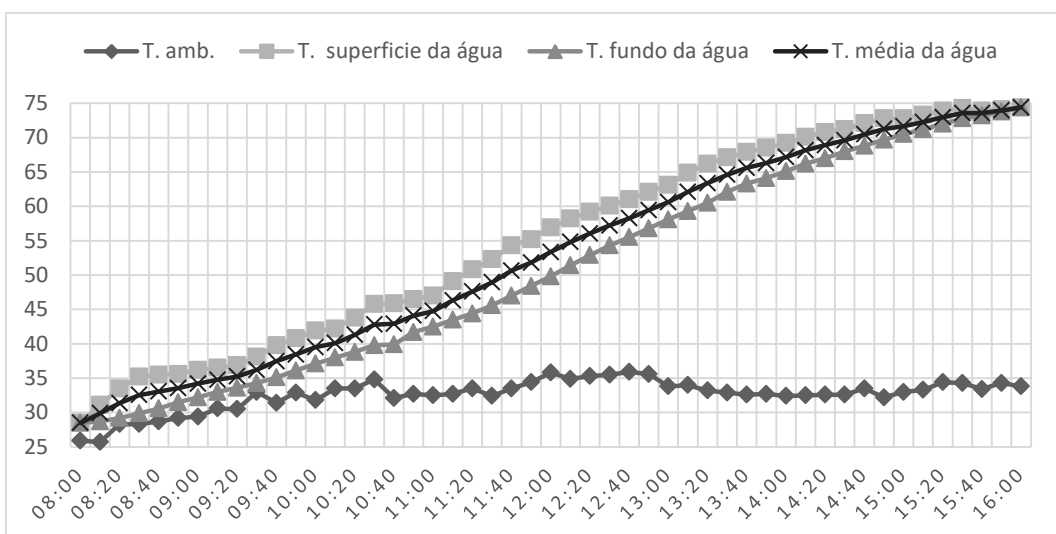


Figura 5. Temperatura ambiente e da água (superfície, fundo da garrafa e a média)

Observando os gráficos é visível que a temperatura da água é mais elevada na superfície do que no fundo, isto se deve porque ao aquecer, a água torna-se menos densa e sobe empurrando a água fria (mais densa) para o fundo, formando assim uma corrente de convecção até que se alcance o equilíbrio térmico.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A energia solar se destaca em virtude de sua abundância, gratuidade e versatilidade, podendo ser usufruída através de diversas tecnologias. A difusão de tecnologias sociais que fazem uso do recurso solar pode contribuir na mitigação das mudanças climáticas e melhorias nos aspectos socioeconômicos e ambientais, sobretudo em regiões vulneráveis e com alto potencial solar, promovendo assim o desenvolvimento sustentável.

O disco de Scheffler é um modelo de concentrador solar parabólico de foco pontual conhecido mundialmente. Seu diferencial em manter o ponto focal estacionário sob uma sombra durante todo seu funcionamento e a possibilidade de erguê-lo em diferentes dimensões abre um leque de aplicabilidades, como para cozer, aquecer, pasteurizar, destilar, produzir vapor, dentre outras finalidades.

Embora não tenha sido possível comprovar a desinfecção da água por pasteurização solar através de análises microbiológicas de amostras, segundo os resultados de Carielo (2011) e Rodrigues (2011), a água atingiu temperaturas suficientes para a realização do SOPAS, demonstrando assim ter grande potencial no tratamento microbiológico em sistemas de solução alternativas individuais, sobretudo em regiões semiáridas.

REFERÊNCIAS

- ALVES, J. E. D. **Energia Renovável com Baixa Emissão de Carbono**. Cadernos Adenauer XV. Rio de Janeiro, n. 3, p. 11-28, 2014.
- ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. Energia solar. In: **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 2. ed. Brasília: ANEEL, 2005. cap. 3. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/Atlas/download.htm>>. Acesso em: 10 jun. 2016.
- BRASIL. Ministério da Saúde, Agência Nacional de Vigilância Sanitária, ANVISA. **Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011**. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.
- CARIELO G. da. **Desenvolvimento de um sistema para descontaminação microbiológica da água por pasteurização solar**. 2011. 108 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Energéticas e Nucleares) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2011.
- COVENTRY, Joe; ANDRAKA, Charles. Dish systems for CSP. **Solar Energy**, 2017.
- DAVID, G. R.; SILVA, J.P.S.; VIEIRA, L.G.M. Estudo e desenvolvimento de adimensional para análise de dados de evaporação da água utilizando energia solar. **Blucher Chemical Engineering Proceedings**, v. 1, n. 1, p. 390-395, 2014.
- DELANEY, D. **Notes on Scheffler Community Kitchens**. 2009. Disponível em: <<http://davidmdelaney.com/scheffler-precis/scheffler-precis.html>>. Acesso em: 10 abr. 2016.
- DELGADO, F. E. **Desarrollo de un prototipo de tostador de granos de cacao de 6 Kg/hora que funcione con energía solar concentrada**. 2015. 105 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Facultad de Ciencias e Ingeniería, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima - Peru, 2015.
- FUNK, Paul A. Evaluating the international standard procedure for testing solar cookers and reporting performance. **Solar Energy**, v. 68, n. 1, p. 1-7, 2000.
- GADHIA, D.; GADHIA, S. Parabolic Solar Concentrators for Cooking, Food Processing and other Applications. In: **International Solar Food Processing Conference**, Spain, 2009.
- JESUS, G. O. et al. Destilação de água por energia solar. **Cadernos de prospecção**, v. 8, n. 3, p. 460, 2015.
- KALOGIROU, S. A. Solar Energy Engineering: Processes and Systems. **Elsevier Academic Press**, 1º ed., 2009.
- LION FILHO, C. A. P. de Q. **Construção e análise de desempenho de um fogão solar à concentração utilizando dois focos para cozimento direto**. 2007. 92 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Materiais; Projetos Mecânicos; Termociências) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2007.
- MACEDO NETO, M. C. de. **Análise de desempenho de um fogão solar com parábola fabricada em material compósito**. 2011. 88 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2011.
- MEDEIROS JÚNIOR, A. P. de. **Fabricação e estudo de um fogão solar multifocal para cocção de alimentos**. 2016. 79 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2016.
- MÜLLER, C. Solar community bakeries on the Argentinean Altiplano. In: **International Solar Food Processing Conference**, Spain, 2009.
- MUNIR, A.; HENSEL, O.; SCHEFFLER, W. Design principle and calculations of a Scheffler fixed focus concentrator for medium temperature applications. **Solar Energy**, v. 84, n. 8, p. 1490-1502, 2010.
- OELHER, U.; SCHEFFLER, W. The use of indigenous materials for solar conversion. **Solar energy materials and solar cells**, v. 33, n. 3, p. 379-387, 1994.

- OLIVEIRA FILHO, K. de S.; SARAIVA, M. de F. O. **Estações do Ano: Tabela de Equinócios, Solstícios, Periélio e Afélio 1992-2020**. 2002. Disponível em: <<http://astro.if.ufrgs.br/estacoes.html>>. Acesso em: 05 fev. 2018.
- PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Meteorologia Agrícola**. 3. ed. Piracicaba: Universidade de São Paulo Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” Departamento de Ciências Exatas, 2000.
- RAMOS FILHO, R. E. B. **Análise de desempenho de um fogão solar construído a partir de sucatas de antena de TV**. 2011. 96 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2011.
- RODRIGUES, D. G. **Desinfecção da água por pasteurização solar (SOPAS em comunidades rurais)**. 2011. 100 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas - SP, 2011.
- SANDEC (Water & Sanitation in Developing Countries); EAWAG (Swiss Federal Institute for Environmental Science and Technology). **Desinfecção Solar da Água: Guia de Aplicações do SODIS**. Dübendorf, 2002. Disponível em: <http://www.sodis.ch/methode/anwendung/ausbildungsmaterial/dokumente_material/manual_p.pdf>. Acesso em: 05 fev. 2017.
- SANTOS, P.H. C. **Construção de um sistema de aquecimento híbrido solar/gás para forno de casa de farinha**. 2015. 105 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Processos, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Processos - Pep, Universidade Tiradentes – Unit, Aracaju, 2015.
- SCHEFFLER, W. Introduction to the revolutionary design of Scheffler reflectors. In: **Solar Cookers and Food Processing International Conference**, Granada, Spain, 2006.
- SOUZA FILHO, J. R. de. **Projeto, construção e levantamento de desempenho de um concentrador solar cilindro parabólico com mecanismo automático de rastreamento solar**. 2008. 91 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008.
- SOUZA, R. F. de. **Viabilidade de uso de um fogão solar para cocção de alimentos com parábola refletora fabricada em compósito que utiliza fibras de Carnaúba e resina Ortoftálica**. 2014. 78 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Materiais; Projetos Mecânicos; Termociências) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2014.
- TIBA, C. et al (Coord.). **Atlas Solarimétrico do Brasil: banco de dados solarimétricos**. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2000.
- WHO, World Health Organization. **Guidelines for drinking-water quality**. Fourth Edition, 2011.

USE OF A 0.30 m² FIXED FOCUS PARABOLIC SOLAR CONCENTRATOR TO PASTEURIZE WATER IN BACHES

ABSTRACT. *Current paradigms in combating climate change and promoting sustainable development have driven the development of innovations that make use of renewable energy sources. In this scenario, solar energy stands out because of its abundance, availability and because it is clean and versatile, can be applied from large to small projects, including through social technologies to satisfy local demands such as to bake, heat, pasteurize and desalinate Water. Among the solar concentrator models, the fixed-focus parabolic disk solar concentrator (Scheffler) differs because of the proposal to keep the focus always parked in front of the reflector panel, thanks to the automatic daily solar tracking and seasonal adjustment mechanism, thus making its use more comfortable. This technology can be built in all sizes and used for various purposes. In this study, the use of a 0.30m² Scheffler concentrator was used to pasteurize water in a batch system, that is, to eliminate the microbiological contamination indicators of the water, as a proposal of an alternative system of individual supply. Two trials were carried out, each with a different volume of water and sun exposure time. Although it was not possible to carry out laboratory tests to prove the disinfection of the water, it was found that according to the references, the water was heated to sufficient temperatures for solar pasteurization.*

Keywords: *Solar energy; Social technologies; Scheffler's disc; Individual alternative supply system; Water treatment.*