



UTILIZAÇÃO DE UM CONCENTRADOR SOLAR DE 2,7m² DO MODELO SCHEFFLER DISH PARA O COZIMENTO DE ALIMENTOS E MONITORAMENTO DA TEMPERATURA FOCAL

Tiago Batista Cerqueira ¹
Jameson dos Santos ²
Dário Luiz Nicácio Silva ³

Energias Renováveis e possibilidades de aplicação

Resumo

Apesar do avanço tecnológico e da utilização de combustíveis mais eficientes para o ato doméstico de cozinhar, a lenha ainda é a fonte de energia dominante em zonas rurais. A dependência por esta fonte energética pode-se traduzir em problemas ambientais como desmatamento e susceptibilidade a desertificação, riscos à saúde humana e impactos socioeconômicos. Diante dessa problemática, a energia solar pode ser uma fonte sustentável destinada ao preparo de alimentos por meio de tecnologias termossolares. O modelo de Concentrador Solar Scheffler Dish é uma tecnologia promissora com características que possibilita o receptor (fogão) e o cozinheiro permanecerem na sombra durante a sua utilização, e para isso conta com um mecanismo de acompanhamento diário do movimento aparente do Sol e um sistema de ajuste sazonal que permite o foco permanecer constantemente fixo ao longo de todo o dia em qualquer época do ano, tornando assim mais conveniente a sua utilização. Diante disso, o objetivo deste trabalho foi de avaliar o uso de um Concentrador de Scheffler de 2,7m² para o preparo de refeições para o almoço, bem como o de monitorar a temperatura atingida no ponto focal do refletor. Desta forma cozinhou-se cinco refeições para 5 pessoas durante cinco dias e monitorou-se a temperatura do foco sob um bloco de concreto durante dois dias, aonde registrou-se temperaturas acima dos 500°C. Diante dos resultados ficou evidente o potencial que este concentrador possui para o processo de cocção de alimentos.

Palavras-chave: Concentrador Solar Parabólico; Disco de Scheffler; Fogão Solar; Energia solar; Tecnologias limpas.

¹Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Agroecologia e Desenvolvimento Territorial (PPDADT). UNEB – DTCS / Campus III, tiagobhc@gmail.com.

²Graduado em Gestão Ambiental pelo IFAL e em Licenciatura em Química pela UFAL, jamerson.d.santos@gmail.com.

³Prof. de Física do IFAL Campus Marechal Deodoro, dnicaciosilva@oi.com.br.



INTRODUÇÃO

As tecnologias solares são promissoras para um novo cenário mais sustentável. O Sol é uma fonte de energia limpa, inesgotável e gratuita que pode ser utilizada facilmente de duas formas, pelo uso passivo ou ativo. O uso passivo decorre do aproveitamento direto da luz solar para aquecer e iluminar ambientes, enquanto o uso ativo deriva da utilização de tecnologias para converter radiação solar em eletricidade ou para potencializar a energia termossolar para geração de vapor, aquecimento da água e cozimento de alimentos, por exemplo.

Acredita-se que seja possível proporcionar melhorias na qualidade de vida de famílias brasileiras utilizando a luz solar para cozer alimentos por meio de tecnologias termossolares. Apesar de possuir alto potencial para o aproveitamento da energia solar, especialmente na região semiárida, muitas famílias brasileiras ainda dependem da lenha coletada para preparar suas refeições.

O processo convencional de cocção pela queima de combustíveis sólidos, pode provocar diversos danos, tanto para a saúde humana quanto para o meio ambiente, como riscos ergonômicos durante a coleta, doenças respiratórias devido a inalação de fumaças e fuligens, poluição do ar, desmatamento, aumento na susceptibilidade de desertificação e contribuição para as mudanças climáticas, dentre outros impactos socioambientais, e inclusive econômicos (GOLDEMBERG; VILLANUEVA, 2003).

Neste sentido, a utilização da radiação solar por meio de tecnologias termossolares para o cozimento de alimentos como alternativa a lenha pode-se traduzir em um método sustentável capaz de beneficiar a qualidade dos sistemas socioecológicos, sobretudo no semiárido brasileiro, onde se registra as maiores taxas de incidência solar no Brasil e é uma das regiões áridas mais populosas do mundo (VENTURA; FERNÁNDEZ; ANDRADE, 2013).

Dentre as tecnologias termossolares, o Concentrador Solar Parabólico de Foco Fixo, conhecido também como Disco de Scheffler, é uma tecnologia promissora para tal finalidade em virtude de proporcionar a conveniência de cozinhar com o Sol mesmo com o receptor (fogão) fixado na sombra e por alcançar elevadas temperaturas no ponto focal

(SANTOS et al, 2015). Diante dessa narrativa, este trabalho concerne na utilização de um protótipo de concentrador solar parabólico de foco fixo de 2,7m² de área refletora para o preparo prático de refeições para o almoço, bem como na mensuração do fator de concentração e da temperatura no foco do painel refletor.

METODOLOGIA

Esta pesquisa se caracteriza como quali-quantitativo, onde primeiramente foi feita uma revisão bibliográfica sobre as características do Concentrador Scheffler Dish e em seguida concentrou-se na experimentação desta tecnologia termossolar para o preparo de refeições e análises de temperatura.

O Concentrador Scheffler Dish de 2,7m² utilizado para esta pesquisa foi construído e devidamente instalado no Instituto Federal de Alagoas, no campus Marechal Deodoro, mais especificamente nas coordenadas geográficas latitude -9.71 e longitude -35.89. Este modelo de concentrador possui um eixo de rotação paralelo ao eixo polar que o permite acompanhar o posicionamento do disco solar. Deste modo, o protótipo utilizado foi posicionado para o norte verdadeiro e a inclinação do seu eixo de rotação foi de 9,7°, o mesmo valor da latitude local.

Para o preparo das refeições foi montado um suporte para painéis com paredes refratárias para reduzir perdas térmicas por convecção da panela com o ambiente (Figura 1). Utilizou-se painéis pintado de preto, com o objetivo de se obter maior absorção de radiação. Os testes de cocção foram realizados durante os dias de 8 a 12 do mês de abril de 2013, com início às 11 horas da manhã. A proposta foi cozinhar um cardápio variado para o almoço para cinco pessoas e verificar o tempo gasto no seu preparo, por isso os testes foram realizados neste horário e durante cinco dias consecutivos.



Figura 1. Posicionamento da panela sobre o suporte (receptor) e no foco do concentrador solar (CERQUEIRA; SANTOS, 2013)

Nos dias 15 e 16 de abril de 2013, foram realizados experimentos para o monitoramento da curva de aquecimento em um bloco de concreto posicionado no foco do concentrador solar. Para isto foram coletados dados de temperatura ambiente e da temperatura no foco a cada 30 minutos, entre o intervalo de 10h00 às 14h30min. Entre 10h00 e 14h00 os dados foram coletados com o foco de luz sobre o bloco concreto, enquanto o das 14h30min foi feita uma mensuração da temperatura do bloco sem a incidência de luz para identificar o calor acumulado na região focal.

Para medição da temperatura do bloco de concreto, utilizou-se um termômetro que mede a emissão de raios infravermelhos (modelo gm1150a) calibrado para taxa de emissividade de 0.94, o qual corresponde a do concreto. Já a temperatura ambiente foi medida com um Medidor Multi-Funções modelo 511A da marca HOMIS. Não foi possível fazer registros de dados de incidência solar por falta de instrumentos que faça tal medição. A Figura 2 mostra a concentração do foco de luz no bloco de concreto.



Figura 2. Posicionamento do bloco de concreto no foco do concentrador solar (CERQUEIRA; SANTOS, 2013)

Para estes dias de monitoramento da temperatura foi calculado também a o fator de concentração do protótipo utilizado. O fator de concentração (C) é resultado da divisão entre a superfície refletora (Au) pela área do foco (Af). Quanto maior a taxa de concentração, maior a quantidade de energia convergida para o foco do concentrador solar (KALOGIROU, 2009). A área do foco é determinada pela fórmula que calcula a área de uma circunferência.

Devido a adequação da parabólica conforme o posicionamento do Sol ao longo do ano, a área refletora útil deste modelo de concentrador é medida a partir do seu fator de abertura para cada dia do ano, que é o percentual do painel que convergirá a radiação solar para o foco. Para isto, considerando que a mudança do ângulo de incidência solar seja constante, calcula-se o fator de abertura pelo cosseno de $43,23^\circ$ somado $23,50^\circ$ para o solstício de verão e subtraído $23,50^\circ$ para o solstício de inverno (DIB, 2009). O valor de $43,23^\circ$ refere-se à inclinação do plano de abertura da parabólica durante o equinócio (MUNIR; HENSEL; SCHEFFLER, 2010).

No caso do protótipo utilizado, a superfície refletora é de $2,7m^2$, contudo considerando possíveis imprecisões do painel refletor que podem afetar as propriedades óticas, optou-se por subtrair 10% de sua área antes de calcular a superfície útil refletora e o fator de concentração durante os ensaios de temperatura (DELGADO, 2015). Todas as equações utilizadas para se alcançar o fator de concentração estão elencadas no Quadro 1.

Quadro 1. Equações para calcular o fator de concentração do Concentrador tipo Scheffler

Variável	Equação
Área do foco	$A_f = \pi \cdot r^2$
Fator de abertura do painel	Fator de abertura = $\cos (43,23^\circ \pm \text{Inclinação solar}/2)$
Área refletora útil	$A_u = (2,7 - 10\%) * \text{fator de abertura}$
Fator de concentração	$C = A_r / A_f$



RESULTADOS E DISCUSSÃO

O Disco Solar de Scheffler é um modelo de concentrador solar parabólico de foco pontual fixo inventado pelo físico austríaco Wolfgang Scheffler na década de 1980 com o propósito de tornar mais eficiente e conveniente a utilização da energia solar para a cocção de alimentos (OELHER; SCHEFFLER, 1994). Ele foi desenvolvido de forma que pudesse ser facilmente reproduzido em qualquer oficina de soldagem e com materiais disponíveis localmente (SCHEFFLER, 2006a).

A sua geometria baseia-se no segmento lateral de uma parabolóide, isto é, de uma parábola em revolução, cortado por um plano paralelo ao zênite que representa um feixe de luz, como se vê na Figura 3. Nesse caso, a luz solar é refletida lateralmente para o foco, possibilitando assim que o receptor e o operador fiquem sob um local coberto, como dentro de uma cozinha, por exemplo (SCHEFFLER, 2006a).

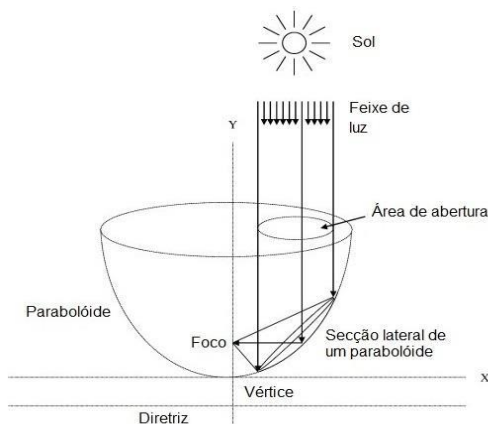


Figura 3. Parabolóide base para o Refletor Scheffler (MUNIR; HENSEL; SCHEFFLER, 2010)

Este modelo de concentrador possui dois mecanismos de rastreamento da trajetória aparente do Sol decorrente dos movimentos de rotação e translação da Terra que possibilita a permanência do foco fixo ao longo de todo o dia e ano. No primeiro, o painel refletor gira em torno de um eixo de rotação paralelo ao eixo polar, acompanhando o percurso do Sol no sentido leste oeste. No segundo, a parabólica refletora tem sua inclinação e superfície ajustada por meio de sistema de alavancas para adequá-la sazonalmente à inclinação solar

em relação a linha do Equador, conforme ilustrado na Figura 4 (SCHEFFLER, 2006b; MUNIR; HENSEL; SCHEFFLER, 2010).

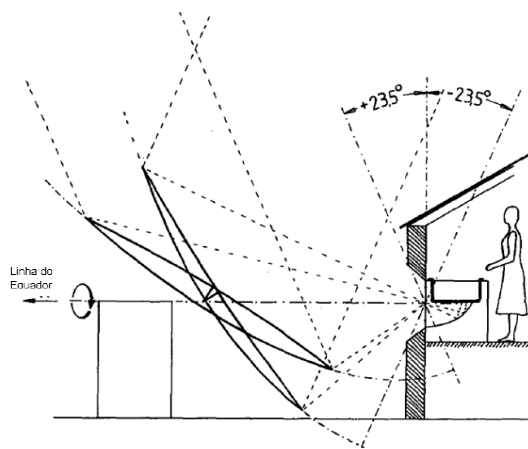


Figura 4. Ilustração do ajuste sazonal da parabólica (OELHER; SCHEFFLER, 1994)

Esta tecnologia está presente principalmente na África e na Ásia e, especialmente na Índia onde os Concentradores Scheffler têm sido bastante utilizados para gerar vapor em cozinhas comunitárias, como no caso de um centro de Yoga na cidade de Abu Road em Rajasthan na Índia, com capacidade de preparar milhares de refeições diariamente (GADHIA, GADHIA, 2006).

Visto o potencial energético desta tecnologia termossolar e com o intuito de averiguar a praticidade do uso do concentrador solar parabólico de foco fixo no preparo do almoço, foram cozidas cinco refeições com um protótipo instalado em Marechal Deodoro/AL. O cardápio e o tempo de cozimento de cada refeição estão descritos no Quadro 2. Vale mencionar que como o foco é fixo, uma vez posicionado a panela adequadamente não era preciso ficar remanejando-a.

Quadro 2. Cardápio e tempo de preparo das refeições para o almoço

Data	Refeição	Tempo aproximado de preparo
08/04/2013	Espaguete ao molho de tomate com salsicha	00:25h
09/04/2013	Estrogonofe de frango e arroz	01:25h
10/04/2013	Espaguete ao molho bolonhesa	00:40h
11/04/2013	Guisado de boi e arroz	1:30h
12/04/2013	Feijão, arroz e bife de boi acebolado	2:00h



Basicamente todos os dias foram ensolarados com pouca nebulosidade, o que foi favorável para a aplicação do fogão solar. Com exceção de segunda feira (08/04) e sexta feira (12/04), em que apareceram algumas nuvens mais densas que obstruíram a passagem de luz solar sobre o concentrador, tornando o cozimento mais lento.

Um fator que interferiu nos resultados do dia 11 e 12 foi o fato da panela de pressão utilizada apresentar problemas na borracha de vedação da tampa, deixando escapar a pressão, até que foi improvisada uma solução para vedar esse vazamento. Por conta disso o cozer da carne de boi e do feijão demorou quase trinta minutos a mais do que se esperava.

Apesar de cada alimento ter sido cozido por vez, devido o protótipo de fogão possuir apenas uma “boca”, isto é, um ponto focal, foi possível preparar diferentes refeições para cinco pessoas e em um relativo curto prazo, apontando ser eficaz a aplicação térmica da energia solar para cocção através deste protótipo.

Com a finalidade de verificar o potencial térmico do concentrador tipo Scheffler de 2,7m², nos dias 15 e 16 de abril de 2013 foram realizados um monitoramento da temperatura do ponto focal sob um bloco de concreto. Na ocasião, utilizando as equações expostas no Quadro 1 obteve-se as seguintes características do protótipo utilizado: área focal de 0,02m²; fator de abertura do painel de 0,77 e área refletora útil de 1,87m²; e fator de concentração igual a 93,6.

Durante as avaliações do dia 15 o tempo se manteve aberto com pouca nebulosidade e temperatura ambiente média de 32,35°C. O Gráfico 1 e o Quadro 3 apresenta os registros de temperatura ambiente e da temperatura no ponto focal durante o ensaio. Neste dia obteve-se o melhor desempenho do concentrador, alcançando em todas as avaliações de até 14h, temperaturas além dos 400°C, ultrapassando inclusive os 600°C entre o intervalo de 11h30min à 12h30min. No final nota-se ainda um grande acúmulo de calor sobre o bloco concreto, aonde registrou-se temperatura de 235°C, mesmo sem a incidência da energia solar no depois de 30 minutos.

Quadro 3. Registros de temperatura do foco no bloco de concreto e de temperatura ambiente no dia 15 de abril de 2013

Horário Local	Temperatura no Foco (°C)	Temperatura Ambiente (°C)
10:00	411,1	34
10:30	540,7	33,7
11:00	505,3	33,2
11:30	638,6	32,4
12:00	651,3	32,3
12:30	654,8	32
13:00	514,8	32,5
13:30	518,1	31,6
14:00	509,6	31,4
14:30	235	31,1

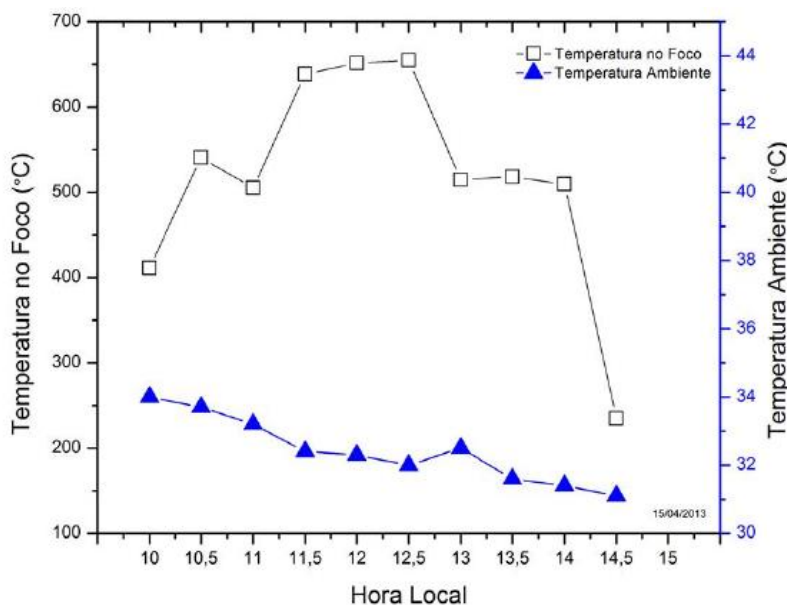


Figura 5. Curva da temperatura do foco no bloco de concreto e da temperatura ambiente no dia 15 de abril de 2013

No segundo dia de avaliação (16/04), as condições climáticas inverteram substancialmente. Apesar de não ter chovido, foi um dia totalmente nublado e abafado, com temperatura ambiente média de 33,65°C. O Quadro 3 e o Gráfico 2 apresenta os valores registrados da temperatura do foco e da temperatura ambiente durante o experimento. Neste dia, as temperaturas avaliadas sobre o bloco de concreto foram relativamente baixas comparada ao dia 15 de abril, ultrapassando os 200°C apenas em dois momentos (11h30min e 13h30min), quando passaram nuvens menos densas entre o Sol e o concentrador solar.

Quadro 4. Registros de temperatura do foco no bloco de concreto e de temperatura



ambiente no dia 16 de abril de 2013

Horário Local	Temperatura no Foco (°C)	Temperatura Ambiente (°C)
10:00	74	32
10:30	94,1	33,9
11:00	172,4	36,3
11:30	337,6	36,3
12:00	132,6	33,8
12:30	83,2	33,4
13:00	71,6	33,8
13:30	209	33,5
14:00	84,4	32,5
14:30	69,1	31,8

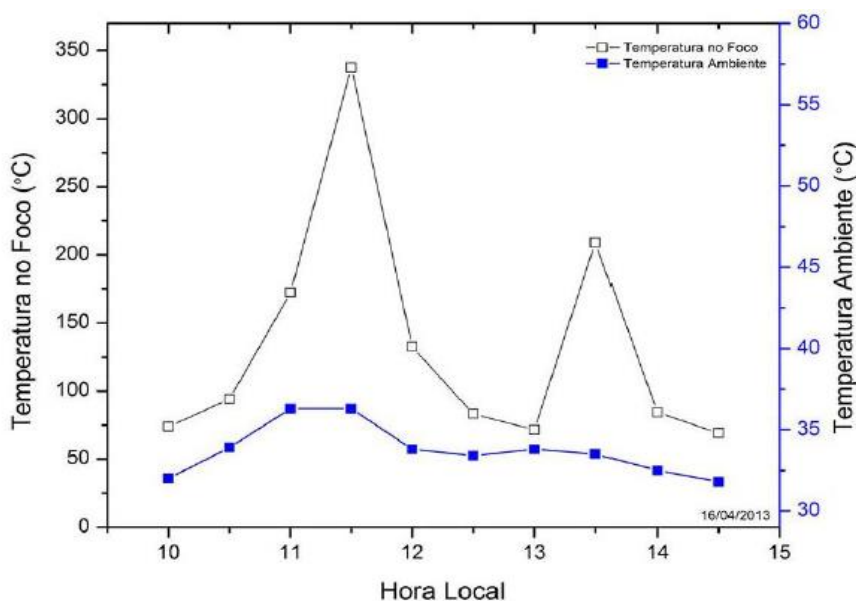


Figura 6. Curva da temperatura do foco no bloco de concreto e da temperatura ambiente no dia 16 de abril de 2013

Analisando os resultados pode-se constatar que as condições climáticas interferem na eficiência do concentrador solar, uma vez que o painel refletor converge apenas a radiação solar direta. A temperatura ambiente não é fator determinante para sua aplicação, uma vez que o dia 16 apresentou ser mais quente que o dia 15. Observa-se assim que os dias mais favoráveis para a utilização do concentrador solar são os dias de céu limpo com pouca ou preferencialmente nenhuma nuvem.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como a energia solar é uma energia inesgotável e gratuita, as tecnologias solares são promissoras para um cenário energético mais limpo e sustentável. Neste trabalho ficou evidenciada a aplicabilidade e a facilidade da utilização do Concentrador Solar Parabólico de Foco Fixo para o processo de cozimento, como também o seu alto potencial energético, visto sua capacidade para atingir elevadas temperaturas instantâneas na zona focal, ultrapassando inclusive os 500°C.

Com os resultados avaliados, percebe-se que esse Concentrador Solar de Scheffler tem potencialidade para ser empregado nas cozinhas brasileiras, principalmente na região do semiárido brasileiro em que se tem condições climáticas favoráveis e muitas comunidades rurais, podendo surtir efeitos na redução da dependência de lenha em comunidades mais remotas, melhorias socioeconômicas e na conservação dos biomas da caatinga e do cerrado.

Pelo monitoramento da temperatura observa-se que os dias mais favoráveis para a utilização do concentrador solar são os dias de céu limpo com pouca ou preferencialmente nenhuma nuvem, pois tecnologias termossolares convergem apenas a radiação solar direta para o foco. Contudo, existe a possibilidade de usar a energia solar em sistemas híbridos com outras fontes energéticas, de modo que o acionamento de outro combustível ocorreria apenas durante os momentos climáticos desfavoráveis para o uso da energia termossolar.

Apesar do potencial do Concentrador Solar Parabólico de Foco Fixo, atualmente, esta tecnologia é pouco conhecida no Brasil. Assim, espera-se que a publicação deste trabalho torne o concentrador solar de Scheffler mais difundido pelo Brasil. Ademais, acredita-se que este modelo de concentrador solar poderia inclusive se apresentar como uma tecnologia social que pode beneficiar o homem na convivência com o semiárido.

REFERÊNCIAS

CERQUEIRA, T. B.; SANTOS, J. dos. **Construção e aplicação de um concentrador solar parabólico de foco fixo para cocção**. 2013. 102 f. TCC (Graduação) - Curso de Gestão Ambiental, Instituto Federal de Alagoas - IFAL, Marechal Deodoro/ AL, 2013.



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.

DIB, E. A. **Projeto e Construção de um Concentrador Solar de Foco Fixo utilizado para o aquecimento de um forno**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos) – Universidade Tiradentes. Aracaju, 2009.

GADHIA, D.; GADHIA, S. **Parabolic solar concentrators for cooking, food processing and other applications**. Gadhia Solar Energy Systems Pvt. Ltd, Índia, 2006.

GOLDEMBERG, J; VILLANUEVA, L. D. **Energia, Meio Ambiente e Desenvolvimento**. 2ª ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2003.

KALOGIROU, S. A. **Solar Energy Engineering: Processes and Systems**. Elsevier Academic Press, Oxford, 1º ed., 2009.

MUNIR, A.; HENSEL, O.; SCHEFFLER, W. **Design principle and calculations of a Scheffler fixed focus concentrator for medium temperature applications**. Solar Energy, [S.l.]: 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, [S.l.], v. 33, n. 3, p. 379-387, 1994.

SANTOS, Pedro Campello et al. Aplicação de um concentrador solar tipo Scheffler para o preparo de pães. **Revista Brasileira de Energia Solar**, v. 6, n. 2, p. 122-127, 2015.

SCHEFFLER, W. Development of a solar crematorium. In: **6th International Conference on Solar Cooker**. Granada, Spain, 2006.

SCHEFFLER, W. Introduction to the revolutionary design of Scheffler reflectors. In: **International Solar Cooker Conference**. Granada, Spain, 2006.

VENTURA, A. C.; FERNÁNDEZ, L.; ANDRADE, J. C. S. **Tecnologias sociais para enfrentamento às mudanças climáticas no semiárido**: caracterização e contribuições. Revista Econômica do Nordeste, Fortaleza, v. 44, n. especial, p. 213-238, jun. 2013.