



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E AMBIENTAIS-CCA
DEPARTAMENTO
AGRONOMIA E AGROPECUÁRIA
CURSO DE BACHARELADO EM AGRONOMIA**

JOSÉ NIVALDO MANGUEIRA DE ASSIS

**GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR TÉRMICA NA AGRICULTURA FAMILIAR
ATRAVÉS DE UM FOGÃO SOLAR**

LAGOA SECA - PB

2023

JOSÉ NIVALDO MANGUEIRA DE ASSIS

**GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR TÉRMICA NA AGRICULTURA FAMILIAR
ATRAVÉS DE UM FOGÃO SOLAR**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Coordenação /Departamento do Curso de Agronomia da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), como requisito parcial à obtenção do título de Bacharelado em Agronomia.

Área de concentração: Ciências Agrárias.

Orientador: Prof. Dr. Fábio Agra de Medeiros Nápoles

**LAGOA SECA - PB
2023**

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

A848g Assis, Jose Nivaldo Mangueira de.
Geração de energia solar térmica na agricultura familiar através de um fogão solar [manuscrito] / Jose Nivaldo Mangueira de Assis. - 2023.
31 p. : il. colorido.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências Agrárias e Ambientais, 2023.

"Orientação : Prof. Dr. Fábio Agra de Medeiros Nápoles, Departamento de Ciências Agrárias e Ambientais - CCAA. "

1. Energias renováveis. 2. Concentrador solar. 3. Lente de Fresnel. 4. Sustentabilidade. I. Título

21. ed. CDD 630

JOSÉ NIVALDO MANGUEIRA DE ASSIS

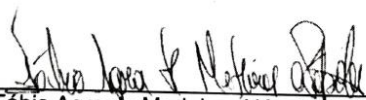
GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR TÉRMICA NA AGRICULTURA FAMILIAR
ATRAVÉS DE UM FOGÃO SOLAR

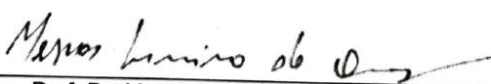
Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado a Coordenação
/Departamento do Curso de
Agronomia da Universidade Estadual
da Paraíba (UEPB), como requisito
parcial à obtenção do título de
Bacharelado em Agronomia.

Área de concentração: Ciências
Agrárias

Aprovada em: 30/11/2023.

BANCA EXAMINADORA


Prof. Dr. Fábio Agra de Medeiros Nápoles (Orientador)
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)


Prof. Dr. Messias Firmino de Queiroz
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)


Prof. Dr. Mário Sérgio de Araújo
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

Dedico este trabalho a minha querida filha Milena Roberto de Assis Moraes (in memoriam), que não pôde estar ao meu lado neste momento tão importante, mas que me deu três presentes: Adônis, Guilherme e Gabriel, meus adorados netinhos, para, juntos, com Maria Eduarda, Esther, queridíssimas netas; João Victor e Luiz Eduardo, queridíssimos netos, podermos trilhar o magnífico caminho da educação.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me ajudar a ultrapassar todos os obstáculos encontrados ao longo da vida.

A minha mãe Natalice Mangureira (*in memoriam*), professora, que sempre me inspirou para lutar com todas as forças por aquilo em que acredito; ao meu pai Antônio Gonçalves (*in memoriam*), que sempre me orientou a viver de bem com a vida.

Aos meus filhos Paulo, Milena (*in memoriam*) e Carolina, que sempre me incentivam a estudar; aos meus netos João, Adonis, Luís, Guilherme e Gabriel; minhas netas Maria Eduarda (realizou o abstract do resumo deste trabalho TCC de Agronomia) e Esther, por serem as minhas fontes de inspiração.

Aos meus irmãos Marcos, Roberto, Mércia e Ricardo (companheiro sempre nos processos de empreendedorismo) juntamente com ao meu sobrinho Marquinhos; a minha nora Jeane e aos genros Luiz Carlos e Patrício, que sempre me apoiam nas minhas batalhas educacionais.

A Magnífica Reitora da UEPB, Professora Dra.Célia Regina Diniz. Ao Professor e Orientador Prof. Dr. Fábio Agra de Medeiros Nápoles; a Professora Dra. Maria do Socorro B. Duarte, ao Prof. Dr. Francisco J. Loureiro Marinho, ao Prof. Dr. Messias F. de Queiroz, ao Dr. Pedro Leon G.Cairo, ao Prof. Dr. Mário Sérgio de Araújo, Prof. Dr. Suenildo Josemo C. Oliveira, ao Prof. Dr. Dalmo Marcello de B. Primo, ao Prof. Dr. Diogo Gonçalves Neder, ao Prof. Dr. Leandro Jagannath Swami, ao Prof. Dr. José Félix de B. Neto, ao Dr. Cláudio Silva Soares, ao Prof. Dr. Alexandre C. Leão. E a todas as professoras, professores e funcionários da Universidade Estadual da Paraíba, pelo apoio que me deram para que eu pudesse desenvolver esta graduação em Agronomia

As professoras, professores, estudantes e funcionários da Escola Estadual Djalma Aranha Marinho de Passa e Fica RN, que tanto me ajudaram na construção e popularizaçãodo fogão solar

As pessoas que sempre ajudaram nos trabalhos de nossa casa: Adriana, Vânia, Edinaldo, Renato (montagens de fogões), Magno, Breno e ao serralheiro Raimundo, nas ideias para produção de fogões paraboloide com materiais recicláveis de antenas digitais.

Aos meus colegas de turma que sempre estavam apoiando uns aos outros, criando vínculos de amizade que vão ser guardados para sempre, em especial ao meu colega e companheiro de estágio, Economista, Agro ecólogo e Agrônomo, Geraldo Farias Braz, aos funcionários da coordenação do curso, Charmênia, José do Carmo Marinho, nosso querido Dedé, a Tiago, a Jeane a Rafaela e Hélder da biblioteca.

Ao Engenheiro Civil e Ambiental, Vinícius Tadeu de S. Silva, que participou e muito contribuiu no projeto do Fogão Solar, e a Engenheira Civil Rosa Maria, in memoriam, que me incentivou sempre nos trabalhos de engenharia e de pesquisas científicas.

Agradeço penhoradamente a Dra. Jade Rolim pela orientação do projeto do fogão solar, junto ao INPI, e a minha filha Ana Carolina, arquiteta, no processo de desenvolvimento arquitetônico.

Um agradecimento especialíssimo a minha esposa Maria das Carmelitas Roberto de Assis, que planejou, iniciou, cuida, orienta na produção e manutenção do nosso quintal urbano produtivo, onde também utilizamos o fogão solar. Agradeço a você, Carmélia, todo apoio que me destes para vencer essa etapa no curso de Agronomia.

Agradeço aos que fazem parte do Instituto Cidadão Rural, na pessoa da Presidenta, Professora Olindina Ticiane Sousa de Araujo, orientadora do nosso estágio na empresa.

Agradeço a direção e a todas as professoras, professores, estudantes e funcionários da Escola - ECI Hortêncio Sousa Ribeiro – PREMEN, nas pessoas do Gestor Escolar, Professor Elbert Chaves de Assis Catão; Professora da Disciplina Horta Orgânica e Plantas Medicinais, Professora Rosa Cristina Guedes Almeida Silva; Professora Coordenadora das Parcerias, Professora Gerusa Mateus Gomes Araújo. Agradeço a Professora Suely de Gois Silva, pela colaboração na organização deste TCC.

RESUMO

Devido à crescente preocupação ambiental, os fogões solares vêm sendo considerados uma excelente alternativa para o aproveitamento da radiação solar, energia gratuita, diminuição de gases do efeito estufa, sendo viável principalmente para comunidades rurais, distantes dos grandes centros urbanos. Por todo exposto, o presente estudo de caso tem como objetivo geral demonstrar a viabilidade do fogão solar parabolóide com lente Fresnel como alternativa viável e sustentável no atendimento das demandas energéticas da agricultura familiar. E como objetivos específicos: projetar e fabricar um fogão solar parabolóide com lente Fresnel, ensaiar o fogão solar no preparo de alimentos e demonstrar a eficácia do fogão solar em relação aos benefícios econômicos, tecnológicos e ambientais. Os usuários alvos desse fogão solar são famílias da zona urbana e rural do município de Campina Grande/PB, que disponham de espaços em seus terrenos para colocar esse equipamento. A energia gerada pelo fogão solar parabolóide com lente Fresnel demonstrou viabilidade na dessalinização da água salobra, preparar alimentos e tratar águas residuais domésticas. A geração de energia solar térmica na agricultura familiar através de um fogão solar com uma Lente de Fresnel contribuiu para uma produção agrônômica sustentável, de forma economicamente viável e garante, às gerações futuras, a capacidade de suprir as necessidades de produção e qualidade de vida.

Palavras-Chave: Energias renováveis; Concentrador solar; Lente de Fresnel; Sustentabilidade.

ABSTRACT

Due to growing environmental concerns, solar stoves have been considered an excellent alternative for harnessing solar radiation, free energy, reducing greenhouse gases and being viable mainly for rural communities far from large urban centers. For all the above reasons, the general aim of this case study is to demonstrate the viability of the parabolic solar stove with a Fresnel lens as a viable and sustainable alternative for meeting the energy demands of family farming. The specific objectives are: to design and manufacture a parabolic solar stove with a Fresnel lens, to test the solar stove when preparing food and to demonstrate the effectiveness of the solar stove in terms of its economic, technological and environmental benefits. The target users of this solar cooker are families from the urban and rural areas municipality of Campina Grande/PB, who had space on their land to install this equipment. The energy generated by the parabolic solar stove with a Fresnel lens proved viable for desalinating brackish water, preparing food and treating domestic wastewater. The generation of solar thermal energy in family farming using a solar stove with a Fresnel lens has contributed to sustainable agricultural production in an economically viable way and guarantees future generations the ability to meet production and quality of life needs.

Key words: Renewable energies; Solar concentrator; Fresnel lens; Sustainability.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Projeto do Fogão Solar Paraboloide com lente Fresnel.....	21
Figura 2 – Instalação do Fogão Solar.....	22
Figura 3 – Preparação de alimentos com cobertura de vidro.....	23
Figura 4 – Cozimento de tapioca utilizando o Fogão Solar.....	24
Figura 5 – Cozimento de café utilizando o Fogão Solar.....	24
Figura 6 – Processo de dessalinização da água.....	25
Figura 7 – Análise da água.....	26

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
---------------------------	-----------

2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	13
2.1 Energia Solar	13
2.1.1 Tipos de Conversão da Energia Solar	14
2.1.2 Importância e Aplicações	14
2.1.3 Concentradores Solares	16
2.1.4 Tipos de Concentradores Solares	17
2.1.5 Lentes de Fresnel.....	17
2.2 Vantagens do uso de fogões solares na zona rural	18
3 MATERIAIS E MÉTODOS	20
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	22
5 CONCLUSÃO	27
REFERÊNCIAS.....	28

1 INTRODUÇÃO

A energia sustentável é uma temática que tem causado grande preocupação mundial ultimamente, uma vez que tecnologias dessa natureza não oferecem expectativas de preservação natural, e por isso, para a nossa geração é esse um conceito defasado. À vista disso, há uma predisposição cada vez maior da busca pela energia renovável, nomeadamente do sol, considerada fonte de todas as demais energias.

A energia solar é por excelência a energia mais ecologicamente correta. Trabalhando como um imenso reator à fusão, o sol diariamente emite na terra a radiação de um potencial energético altamente elevado, que não pode ser comparado a nenhum outro sistema energético. Anualmente, o sol irradia o equivalente a dez mil vezes a energia consumida pela população mundial, mas sem embargo do seu grande potencial de geração energética, o sol ainda não é visto como referência no contexto elétrico brasileiro (Batista, 2013).

As aplicações da energia solar são diversas, desde o uso para a iluminação natural ou aquecimento de ambientes, até no processo fotossintético dos vegetais, na evaporação da água e na circulação da atmosfera, garantindo o ciclo hidrológico. Entretanto, para o seu aproveitamento em aplicações térmicas brandas (110°C a 400°C) ou mais severas (acima de 400°C), é necessário o uso de técnicas de concentração solar que irão captar e direcionar a luz solar para uma região espacial desejada (Souza *et al.*, 2010).

Uma das técnicas existentes é a concentração solar por lentes de Fresnel, que são dispositivos ópticos que podem ser empregados na concentração da radiação solar. Um aparato de lentes de Fresnel é composto por uma ou mais lentes que criam um ponto ou uma área de concentração dos raios solares, que serão absorvidos na região focal e repassados para qual for a função destinada do aparato (Batista, 2013).

Para que técnicas alternativas que têm o sol como fonte principal de energia, como o fogão solar, possam realmente ocupar o seu espaço na sociedade é necessário antes de tudo difundir o seu uso, mostrando as vantagens e as desvantagens de sua utilização e os cuidados que a ele devem ser dispensados para que possa realmente operar satisfatoriamente.

Nesse contexto, a energia solar térmica surge como uma alternativa promissora, especialmente quando aplicada de forma inovadora e adaptada às necessidades da agricultura familiar.

A agricultura familiar desempenha um papel fundamental na segurança alimentar global, respondendo por uma parcela significativa da produção de alimentos em todo o mundo. No entanto, essas operações enfrentam frequentemente desafios relacionados com a energia, incluindo a falta de acesso a fontes de energia seguras e acessíveis. Como resultado, os agricultores familiares muitas vezes dependem de combustíveis fósseis, cujo uso não apenas aumenta os custos de produção, mas também contribui para a emissão de gases de efeito estufa, agravando as mudanças climáticas.

Diante do exposto, a geração de energia solar térmica por meio de fogões solares parabolóides com lente de Fresnel, pode contribuir para a redução das emissões de gases de efeito estufa, evitando a dependência de combustíveis fósseis. Além disso, pode resultar em economias de custos operacionais para os agricultores, reduzindo a pressão financeira sobre as operações agrícolas familiares.

Neste contexto, o objetivo geral deste trabalho consiste em demonstrar a viabilidade do fogão solar parabolóide com lente Fresnel como alternativa viável e sustentável no atendimento das demandas energéticas da agricultura familiar. E como objetivos específicos: projetar e fabricar um fogão solar parabolóide com lente Fresnel, ensaiar o fogão solar no preparo de alimentos e demonstrar a eficácia do fogão solar em relação aos benefícios econômicos, tecnológicos e ambientais.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Energia Solar

A energia solar é uma fonte primária de energia limpa, abundante e renovável que tem grande influência na redução de problemas relacionados à mudança climática, a fim de atender às necessidades de diferentes setores da sociedade (LARA et al., 2013; PRADO, 2015). O Sol destaca-se como a principal fonte energética de vida na Terra e é responsável pelos processos termodinâmicos, bem como pelo dinamismo da atmosfera e pelos fatores climáticos e ambientais (DANTAS et al., 2003; PRADO, 2015).

Define-se radiação solar como a energia radiante emitida pelo Sol, proveniente das reações que acontecem na superfície do astro e derivada da radiação eletromagnética. Da energia emitida pelo sol, uma fração insignificante é interceptada pela Terra. Cerca de 30% de toda a radiação incidente sobre a Terra é refletida para o espaço, enquanto 20% é absorvida por moléculas de ar e nuvens. Cerca de 0,01% já seria o bastante para atender às necessidades da população terrestre (CHEN, 2011).

Características da radiação solar como intensidade, distribuição espectral e angular, são afetadas antes de atingir a superfície terrestre devido à sua interação com a atmosfera. Portanto, para o seu aproveitamento, a radiação solar pode ser submetida a um processo de concentração de raios solares, a partir de espelhos parabólicos, lentes, entre outros (CRESESB, 2006).

A energia solar tornou-se tema recorrente em debates internacionais. Além disso, as projeções crescentes da demanda energética para o mundo, devido as constantes buscas por fontes renováveis de energia evidenciam sua importância. O Brasil, principalmente por contar com uma elevada taxa de incidência solar em grande parte da sua extensão territorial, apresenta as condições favoráveis para o aproveitamento desse potencial térmico, o que faz com que o seu uso seja cada vez mais incentivado, uma vez que o país apresenta a 5ª maior área do mundo, podendo se tornar promissor neste mercado.

2.1.1 Tipos de Conversão da Energia Solar

A energia solar proporciona sistemas de captação flexível, visto que pode ser coletada tanto em ambientes áridos e semiáridos, como desertos e sertões, quanto em ambientes urbanos, através de telhados, vidros e fachadas (Prado *et al.*, 2014). Para sua utilização, têm-se duas tecnologias de conversão envolvidas: a conversão direta ou ativa e a conversão indireta ou passiva (Prado *et al.*, 2014; Kabiret *al.*, 2018).

Por definição, a conversão indireta (ou passiva) envolve o acúmulo de energia solar transformando-a em energia térmica, enquanto que a conversão direta (ou ativa) coleta a radiação solar e usa equipamentos mecânicos e elétricos (por exemplo, bombas ou ventiladores) para a conversão da energia solar em energia elétrica (Kabiret *al.*, 2018).

A conversão direta pode ser realizada através de painéis solares, por exemplo, onde são utilizadas células fotovoltaicas para transformar energia solar em elétrica. Nos últimos anos, a tecnologia fotovoltaica envolvendo o uso de semicondutores para converter luz solar diretamente em energia elétrica, tornou-se uma opção altamente desejada (Kabir *et al.*, 2018).

Por outro lado, a captação indireta de energia solar é feita a partir de equipamentos planos, tais como aquecedores solares de fins domésticos ou concentradores de raios solares, que captam os raios solares e os concentra em uma região focal linear ou pontual (Prado *et al.*, 2014).

O uso da energia solar a partir de coletores solares ou concentradores solares é muito utilizado para o aquecimento de fluidos. Os coletores solares têm sua utilização mais restrita a aplicações industriais e comerciais para o aquecimento de água, tais como, hotéis, restaurantes, clubes, entre outros; enquanto que os concentradores solares se destacam em situações que requerem temperaturas mais elevadas, como a secagem de grãos e a pirólise (Agência Nacional de Energia Elétrica, 2000).

2.1.2 Importância e Aplicações

A substituição de combustíveis fósseis por fontes renováveis tornou-se uma necessidade urgente para um desenvolvimento sustentável e limpo no setor de

energia mundial, visto que o uso de fontes poluidoras afeta diretamente o meio ambiente, impactando a atual e as próximas gerações. Neste cenário, a energia solar surge como um recurso energético altamente promissor para atender a demanda energética, uma vez que é limpa, barata e abundante.

Dessa forma, muitos estudos e pesquisas são realizados em busca da diversidade da matriz energética, a fim de incluir fontes energéticas alternativas e renováveis (Tsuruda *et al.*, 2017; Sansaniwa *et al.*, 2018). Inúmeros países no mundo buscam autossuficiência em geração de energia atrelada a uma variedade da matriz energética, isto é, a ordem mundial é que exista uma diversidade de fontes de energia alternativas que supram a demanda de cada país. A energia solar é uma das melhores opções para atender a essa demanda futura de energia, visto que é superior em termos de disponibilidade, acessibilidade, capacidade e eficiência quando comparada a outras fontes de energia (Tsuruda *et al.*, 2017; Kabire *et al.*, 2018).

Segundo Prado *et al.* (2014), a energia solar surge como uma opção economicamente viável, auxiliando na redução do consumo de energia elétrica, além de contribuir para o desenvolvimento sustentável. Além disso, é uma energia que não polui com seu uso, visto que a poluição gerada pelos seus equipamentos é completamente controlada; e, ainda, tem custos menores por contar com o uso de equipamentos simples que precisam de manutenções reduzidas (JACOB, 2016).

Tsuruda *et al.* (2017) avaliaram a aplicação da energia solar como um indutor do desenvolvimento sustentável e social em habitações, no interior do estado de Goiás, através de um sistema solar com microinversor. As ações geraram uma economia no consumo médio mensal de 145 kWh para 21,9 kWh, ou seja, uma redução de 85%, evitando, conseqüentemente, uma emissão de 73,53 kg de CO₂ por ano por habitação na atmosfera.

Segundo Sansaniwal *et al.* (2018), os sistemas de energia solar concentrada têm sido abrangentemente disseminados, visto que assim como os sistemas fotovoltaicos eles são considerados economicamente viáveis devido ao menor custo de instalação. Presume-se que até 2050, a energia solar fotovoltaica e os concentradores solares excedam a capacidade de geração de energia de 4000 TWh.ano⁻¹ com a ocupação de 10% da geração global de eletricidade cada um. As aplicações da energia solar são diversas, desde o uso para a iluminação natural ou aquecimento de ambientes, até no processo fotossintético dos vegetais, na

evaporação da água e na circulação da atmosfera, garantindo o ciclo hidrológico (Agência Nacional de Energia Elétrica, 2000).

Entre as aplicações mais comuns está o aquecimento de fluidos, fornecimento de calor para processos industriais, geração de energia elétrica, processos de dessalinização, secagem de grãos, geração de vapor, entre outros. Para o emprego da energia solar em aplicações de médias (100°C a 400°C) a altas temperaturas (maiores que 400°C), é necessário utilizar meios de concentração solar que irão captar e converter a energia solar em um outro tipo de energia (geralmente térmico) (Laraet *et al.*, 2013).

2.1.3 Concentradores Solares

A concentração solar é uma tecnologia necessária quando o assunto é explorar a alta eficiência da radiação solar usada como fonte de calor, uma vez que apesar da irradiância do sol ser cerca de 63 MW.m⁻², apenas cerca de 1 kW.m⁻² chega na superfície do planeta (Andrade, 2015). Além disso, a radiação solar é intermitente, ou seja, não se encontra disponível à noite ou em dias nublados; e é distribuída de modo irregular ao longo do ano e das regiões do globo. Portanto, torna-se fundamental o desenvolvimento de métodos de armazenamento e concentração desta energia (Ribas, 2016).

Neste âmbito, define-se concentrador solar como superfícies construídas com o objetivo de captar a energia solar, direcionando seus raios de forma pontual ou linear, fazendo uso dos princípios da reflexão ou da refração. Tais estratégias são responsáveis pelo aumento da quantidade de energia incidida sobre um absorvedor, através da região focal, na qual a radiação solar é convertida em energia térmica (Prado *et al.*, 2014).

A concentração solar tem se tornado a maneira mais comum de coletar a energia para obter altas temperaturas. A eficiência de coleta está basicamente conectada à precisão óptica da unidade utilizada, ou seja, quão bem localizado está o foco do coletor, às condições de isolamento do absorvedor e às condições climáticas do ambiente envolvido, tais como: velocidade do vento, nuvens, umidade, chuva e o fluxo de radiação solar, o qual pode ser medido a partir de piranômetros, heliógrafos ou piro-neliômetros (Prado *et al.*, 2014).

Além disso, o projeto do equipamento coletor e do corpo absorvedor é essencial para que a radiação solar seja convertida em calor com eficiência (Andrade, 2015). As principais vantagens dos concentradores solares são: a capacidade de atingir temperaturas mais altas, podendo ser útil em diversos processos; menores chances de perdas, devido à área de aquecimento utilizada ser reduzida e o menor custo envolvido com materiais de construção (Garg; Prakash, 2000).

2.1.4 Tipos de Concentradores Solares

De acordo com o ponto focal, os concentradores solares podem ser classificados em concentradores de foco linear e concentradores de foco pontual, os quais são classificados em alguns subtipos. A escolha do tipo de concentrador irá depender basicamente das características de rastreadabilidade, do índice de concentração, do formato do corpo absorvedor e da temperatura almejada (Andrade, 2015; Prado, 2015).

Os tipos mais comuns de tecnologias de concentração solar atualmente disponíveis no mercado, são: calhas parabólicas (cilíndrico), bacias parabólicas (disco), torre solar, concentrador plano e solar composto e, por fim, os concentradores de lente de Fresnel (Prado, 2015).

2.1.5 Lentes de Fresnel

Lentes de Fresnel são dispositivos ópticos que podem ser empregados na concentração de radiação solar. O aparato de lentes de Fresnel é composto por uma ou mais lentes que criam um ponto ou uma área de concentração dos raios solares, que serão absorvidos na região focal e repassados para que se possa gerar energia elétrica, aquecer tubulações ou para qual seja a função destinada ao aparato.

A concentração solar utilizando lentes de Fresnel faz uso dos princípios de refração, ao invés dos princípios da reflexão, é favorável e vem sendo estudada por 39 pesquisadores, devido à suas inúmeras vantagens, tais como, baixo custo, baixa exigência de rastreamento, além de ser leve mais compacta que as lentes convencionais e ser fácil de ser configurada (Maet *al.*, 2017).

Prado *et al.*, (2014), projetaram um sistema de concentração solar com lentes de Fresnel cilíndrico. Os resultados mostraram que a conversão fotoelétrica foi superior a 30%, podendo ser utilizada com sucesso para geração de energia. Lara *et al.* (2013) fizeram uso de um modelo de concentrador de lentes de Fresnel para fornecer calor a um sistema de ar condicionado, comprovando que o modelo pode adquirir um alto nível de eficiência se otimizado adequadamente.

Lin *et al.* (2014) realizaram estudos para avaliar o desempenho de absorvedores de formatos diferentes com cavidade em lente de Fresnel com foco linear. Optou-se pelos seguintes tipos: o de arco, o triangular, o semicircular e o retangular. Concluíram que o modelo mais eficiente em termos ópticos foi o triangular e em termos de perda de calor foi o formato de arco.

Wu *et al.* (2017) estudaram um sistema de dessalinização solar multiestágio aquecido diretamente por um concentrador solar cilíndrico de lente de Fresnel. Foram obtidos resultados satisfatórios, entretanto, propuseram uma otimização do design e do processo para que os resultados fossem melhores.

2.2 Vantagens do uso de fogões solares na zona rural

No sertão nordestino o sertanejo sofre com a fome e a sede devido à inclemência do sol sobre suas terras áridas. O uso de fogões solares na caatinga pode amenizar essa situação, propiciando ao sertanejo uma melhor condição de vida. Aproveitando a energia que vem do sol, o fogão transforma a radiação solar em calor para o preparo de alimentos, reduzindo o esforço do sertanejo na busca de lenha para o preparo de seu alimento e, ainda, contribuindo para a preservação da natureza, possibilitando o aumento da capacidade de remoção do dióxido de carbono e a redução das concentrações desse gás de estufa na atmosfera (Oliveira *et al.*, 2021).

Segundo Santos e Ferraretto (2016), 30% da madeira retirada da caatinga do nordeste brasileiro transformam-se em lenha para cozimento de alimentos. Com a utilização dos fogões solares será possível economizar até 55% dessa lenha evitando o desmatamento. As principais vantagens do uso do fogão solar são a disponibilidade de energia gratuita e abundante, a ausência de chamas, fumaça, perigo de explosão e incêndios.

A maioria dos fogões solares possui concentradores que são normalmente constituídos de captadores de forma parabólica, semiesférica, cilindro-parabólica, cônica e tronco-cônica, onde a energia calorífica é concentrada na zona focal sendo suficiente para fornecer as calorias necessárias à ebulição da água, cozinhar, assar, fritar e aquecer alimentos. Para que possam ter bom desempenho, estes sistemas necessitam de radiação direta, céu claro e sem nebulosidades.

A substituição de fornos a lenha por fornos e fogões solares diminuiria a quantidade de lenha utilizada pela população, principalmente pobre, para a cocção de alimentos, amenizando a matriz energética brasileira que tem na lenha 27,2% da matriz energética do setor residencial brasileiro, minimizando o consumo do setor residencial que é de 20 milhões de toneladas. Outro fator muito positivo seria evitar a morte de pessoas por doenças respiratórias causadas pela utilização de combustíveis sólidos (lenha, carvão e similares) em suas casas, correspondentes a 4,3 milhões de pessoas por ano (Alberto *et al.*, 2020).

Consciência ecológica tornou-se mais evidente a finitude dos recursos naturais e das externalidades negativas decorrente de suas explorações. Neste panorama, ressalta-se a importância dos esforços frente à convenção sobre as mudanças do clima, visando um novo paradigma de desenvolvimento baseado na prosperidade econômica, equidade social e preservação ambiental, promovendo a inovação de tecnologias mais eficientes, o uso de energias renováveis e a responsabilidade socioambiental.

Diante disso, o desenvolvimento e difusão de tecnologias que fazem uso de fontes renováveis de energia e que reduzem a dependência de recursos não renováveis é fator chave para mitigação do efeito estufa e na construção do desenvolvimento sustentável.

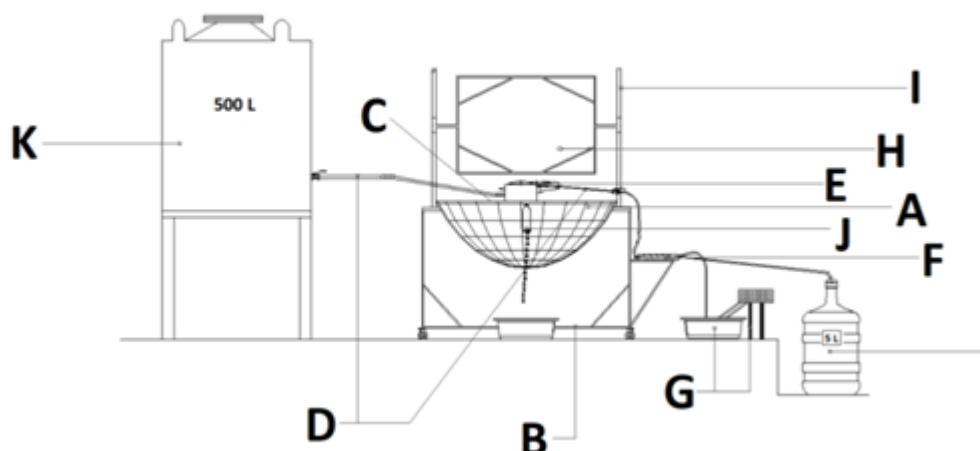
3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este estudo é caracterizado como quantitativo, de natureza aplicada, descritiva, por meio de estudo de caso, que constitui demonstrar a viabilidade concreta de melhorar as condições de vida dos agricultores, promovendo a resiliência e a sustentabilidade dessa importante parcela da produção de alimentos global.

O material composto para confecção do fogão solar (Figura 1), foram:

- A) Concha coletora em forma de um parabolóide, com a armação em aço e o material reflexivo em alumínio bem polido, para melhor refletir os raios de sol e concentrar no ponto focal;
- B) Base do suporte da concha confeccionada em aço;
- C) Grelha de aço localizada no ponto focal da parábola, onde se coloca a panela de ferro;
- D) Tubulação de uma polegada de ferro, que conduz a água salobra da caixa (K) de plástico Polietileno, de 500 litros, para a panela de aço;
- E) Tubulação de uma polegada de aço, que conduz a água já tratada, da panela para o recipiente(G);
- F) Suporte de aço de sustentação da grelha e da panela;
- G) Recipiente de plástico em PVC, de 5 litros, para acumulação de água tratada ou dessalinizada;
- H) Lente Fresnel, vendida no mercado, nas dimensões necessárias para cada tamanho do fogão solar parabolóide;
- I) Suporte em ferro da lente de Fresnel;
- J) Suporte da Lente em ferro conectada a armação do fogão.

Figura 1 - Projeto do Fogão Solar Paraboloide com Lente de Fresnel.



Fonte: Imagem do Autor.

O Fogão Solar Paraboloide com uma lente de Fresnel, que requeremos a patente junto ao Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI), e o pedido de patente Nº 10 2019 006479 4, referiu-se genericamente, ao campo da energia solar e, mais especificamente, a eficiência energética na qual o invento funcionará para captar, redirecionar e concentrar a energia do Sol, transformando-a em energia térmica, calor.

A energia gerada pelo fogão solar poderá dessalinizar a água salobra, preparar alimentos e tratar águas residuais domésticas, que estejam dentro de padrões preestabelecidos para sua reutilização.

Os usuários alvos desse fogão solar são famílias da zona urbana e rural do município de Campina Grande/PB, que disponham de espaços em seus terrenos para colocar esse equipamento, que necessita apenas de uns 6,0 m² para sua instalação e que essa área receba uma insolação diária suficiente para geração de energia solar térmica.

O fogão é capaz de elevar a temperatura de um litro de água salobra de 25°C para 100°C em apenas 4 minutos, então a Quantidade de calor gerada será: $Q = m \cdot c \cdot T$, onde $m = 1.000 \text{ g}$; $c = 1 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$; $T = 100 - 25 = 75^\circ\text{C}$, logo $Q = 1.000 \times 1 \times 75 = 75.000 \text{ cal}$. A Potência do fogão pode ser obtida por: $\text{Potência} = Q/t$, onde $Q = 75.000 \text{ cal}$; $t = 4 \text{ min}$. Logo a Potência será $75.000/4 = 18750 \text{ cal/min}$ ou 1.308 Watt (W).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A lenha e o carvão são bastante utilizados, principalmente na zona rural do Nordeste brasileiro, apresentando dois grandes problemas associados ao seu uso como fonte de energia: destruição de ecossistemas e liberação de gases de carbono, que poluem o ar e intensificam o efeito estufa.

O procedimento experimental se constituiu em um processo com o objetivo de gerar resultados, os quais são destinados para análise de desempenho do fogão solar construído. Para o funcionamento do equipamento, algumas condições precisavam ser atendidas, tais como, um local ao ar livre, ensolarado por várias horas e protegido do vento forte como mostra a Figura 2, de modo que o seu funcionamento não ocorre pela noite e o seu rendimento é afetado em dias nublados.

Figura 2 – Instalação do fogão solar.



Fonte: Imagem do Autor.

Em relação ao cozimento de alimentos, é necessário panelas de metal escuras, rasas e finas com tampas escuras e bem ajustadas para reter o calor e a umidade; a utilização de sacos plásticos transparentes ou de coberturas de vidro na panela para retenção do calor e melhoramento do rendimento da cocção por intermédio do efeito estufa e a implementação de uma ou mais superfícies brilhantes no fogão para auxiliar a reflexão de luz solar extra na panela, o que intensifica o calor, como podemos observar na Figura 3.

Figura 3 – Preparação de alimentos com cobertura de vidro.



Fonte: Imagem do Autor.

O fogão solar Paraboloide com uma lente de Fresnel realizou o processo de cozimento dos alimentos: tapioca e café (Figura 4 e 5). Através da literatura, foi possível identificar que a energia solar pode ser utilizada na cocção de alimentos por intermédio de diversos modelos de fogões, de modo que, no presente estudo de caso, o fogão solar utilizado, apresentou condições satisfatórias na cocção dos alimentos.

Figura 4 – Cozimento de tapioca utilizando o fogão solar.



Fonte: Imagem do Autor.

Figura 5 - Cozimento de café utilizando o fogão solar.



Fonte: Imagem do Autor.

Entretanto, destaca-se que o fogão solar não substitui o fogão convencional, pois este depende do clima e deve ser utilizado fora de casa para seu funcionamento, não podendo ser utilizado em dias chuvosos ou à noite, tornando-se uma ferramenta alternativa. Além disso, cada alimento tem seu tempo de cozimento. Mas, favorece na melhoria das condições de vida da população, com a diminuição de problemas de saúde pública, de degradação ambiental e benefícios econômicos na renda familiar.

Foi comprovada a viabilidade de uso do fogão solar no processo de dessalinização (Figura 6), utilizando uma panela de pressão, apresentando resultados satisfatório, comprovado através de um teste de qualidade (Figura 7).

Figura 6 – Processo de dessalinização da água.



Fonte: Imagem do Autor.

Figura 7 – Análise da água.



Fonte: Imagem do Autor.

O custo estimado para construção do fogão solar proposto é de R\$ 5.000,00 (cinco mil reais), podendo esse investimento se pagar em três meses, pois o usuário não gastará mais com a compra de gás de cozinha, nem lenha ou carvão e nem com energia elétrica, uma vez que poderá se produzir nesse fogão uns 4 litros de água destilada por hora. Operando-se apenas duas horas por dia tem-se 8 litros diários, ou 240 litros por mês. O preço médio de um litro de água destilada no mercado é de R\$ 10,00, podendo gerar um faturamento de R\$ 2.400,00 mensal. Portanto, em pouco mais de dois meses, se pagará o valor investido na fabricação do equipamento.

Em suma, devido à limitação na literatura na abordagem dos fogões parabólicos com lente de Fresnel, principalmente em relação ao seu desempenho, dificultou a realização de uma análise mais precisa e parametrizada.

5- CONCLUSÃO

O fogão solar paraboloide com lente de Fresnel apresenta uma considerável e relevante contribuição quanto ao seu papel designado, uma vez que utiliza a energia luminosa renovável do Sol, transformando-a em energia térmica, o que permite o aquecimento eficiente de alimentos, frituras e cozimento, fervura da água, geração de vapor para processos agrícolas, como esterilização de equipamentos, secagem de produtos da agricultura familiar, torrefação e dessalinização de água salobra.

A principal vantagem da tecnologia é sua simplicidade e acessibilidade, o que a torna ideal para a agricultura familiar. Além disso, ela pode reduzir a dependência de combustíveis fósseis, porque utiliza energias renováveis e, assim, contribuir para a redução das emissões de carbono.

Todavia, a geração de energia solar térmica na agricultura familiar através de um fogão solar com uma Lente de Fresnel poderá contribuir para uma produção agrônômica sustentável, que respeita o meio ambiente é justa do ponto de vista social, economicamente viável e garante as gerações futuras, a capacidade de suprir as necessidades de produção e qualidade de vida.

Portanto, é necessário ressaltar que esta pesquisa consiste em apenas um dos trabalhos iniciais sobre fogões solares paraboloide com lente de Fresnel, de modo que, para desenvolvimento de futuros trabalhos sobre o tema, recomenda-se a comparação do cozimento deste fogão com um modelo a gás convencional ou com os outros tipos de fogões solares e a medição da irradiação incidente, da temperatura ambiente e do interior da panela em determinados intervalos de tempo, pois, desse modo, será realizada uma análise mais precisa e detalhada deste tipo específico de fogão solar.

REFERÊNCIAS

ALBERTO, C. *et al.* Fogão solar do tipo painel com materiais de baixo custo: Uma alternativa para cocção de alimentos. **Revista Eletrônica de Engenharia Elétrica e Engenharia Mecânica**, v. 2, n. 1, p. 22-30, 2020.

ANDRADE, L. A. **Aproveitamento do caroço de manga: um estudo de viabilidade da pirólise usando energia solar.** 2015. 110f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Uberlândia, 2015.

ANEEL. **Energia Solar.** 2000. Disponível em: http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/energia_solar/energia_solar.htm. Acesso em: 05 dez 2023.

BATISTA, S. S. **Análise do desempenho térmico de um forno solar para assamento de alimentos fabricado a partir de tambor de polietileno.**2013. 57f. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2013.

GARG, H. P.; PRAKASH, J. **Solar Energy Fundamentals and Applications.** Delphi: McGraw Hill, 2000.

KABIR, E. *et al.* Solar energy: Potential and future prospects. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 82, p. 894 – 900, 2018.

LARA, F. *et al.* Metodología para el Dimensionamiento y Optimización de um Concentrador Lineal Fresnel. **Información tecnológica**, v.24, p.115-128, 2013.

LIN, M. *et al.* Performance investigation on a linear Fresnel lens solar collector using cavity receiver. **Solar Energy**, v. 107, n. 0, p. 50 – 62, 2014.

MA, X. *et al.* An investigation on a compound cylindrical solar concentrator (CCSC). **Applied Thermal Engineering**, 120, p. 719 – 727, 2017.

OLIVEIRA, A. L. L. *et al.* Construção de fogão solar do tipo caixa a partir de materiais reutilizáveis e de baixo custo. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 2, p. 18532-18538, 2021.

RIBAS, V. E. **Estudo da utilização de concentradores solares para o processo de gaseificação de biomassa – concepção de um reator químico solar.** 2016. 56f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica de Energia de Fluidos) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2016.

SANSANIWAL, S.K. et al. Energy and exergy analyses of various typical solar energy applications: a comprehensive review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 82, p. 1576 – 1601, 2018.

SANTOS, C. V; FERRARETTO, T. R. G. Fogão solar: Ferramenta viável para cozimento de alimentos a partir de materiais de baixo custo. **Extensio: Revista Eletrônica de Extensão**, v. 13, n. 21, p. 97-104, 2016.

SOUZA, L. G. M.; RAMOS FILHO, R. E. B. *et.al.* **Forno Solar Fabricado com Blocos de Material Compósito**. VI CONEN, Campina Grande -PB. Editora da UFCG. V. 1 P 1-7, 2010.

TSURADA, L. K. *et al.* **A importância da energia solar para o desenvolvimento sustentável e social**. 6º International Workshop Advances in Cleaner Production, São Paulo, 2017.

WU, G. *et al.* Experimental investigation of a multistage humidification-dehumidification desalination system heated directly by a cylindrical Fresnel lens solar concentrator. **Energy conversion and management**, 143, p. 241 – 251, 2017.