

FOGÃO SOLAR MODULADO PARA APLICAÇÃO EM CAMPING E COMUNIDADES RURAIS

Prof. Dr. Luiz Guilherme Meira de Souza

Departamento de Engenharia Mecânica, UFRN, 59072-970, Natal-RN, Brasil,
lguilherme@dem.ufrn.br

Nilton Lúcio Fernandes da Silva

Aluno de Graduação em Engenharia Mecânica, UFRN, 59072-970, Natal-RN, Brasil

Vânio Vicente Santos Souza

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, UFRN, 59072-970, Natal-RN, Brasil

William Fernades de Queiroz

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, UFRN, 59072-970, Natal-RN, Brasil

Bruno Alberto Sanchez y Sanches

Aluno de Graduação em Engenharia Mecânica, UFRN, 59072-970, Natal-RN, Brasil

Resumo. *Apresenta-se um modelo de fogão solar à concentração composto por quatro segmentos espelhados, constituindo uma parábola, obtida através da utilização de fibra de vidro, aplicada sobre um molde cerâmico. O espelhamento da parábola foi obtido através da utilização de múltiplos segmentos planos de espelho de 2 mm de espessura. A estrutura da parábola é desmontável, e tem mobilidade de movimentos para a correção do movimento aparente do sol. A parábola composta pelos quatro segmentos é também totalmente desmontável, para facilitar o seu transporte e armazenamento. Serão apresentados detalhes técnicos dos processos de fabricação e montagem e uma análise das viabilidades térmica, econômica e de materiais de tal protótipo, que tem uma conotação social importante e um aspecto primordial, que é o combate a danos ecológicos proporcionados pela utilização, ainda em larga escala, da lenha para o cozimento dos alimentos.*

1. INTRODUÇÃO

De acordo com o **Manual for Solar Box Cooker's**, publicado por **Technology for Life, da Finlândia**, cerca de um terço da população mundial (2 bilhões de pessoas), dependem diariamente de lenha para satisfação de suas necessidades energéticas direcionadas para cocção de alimentos e aquecimento e que isto representa nos dias atuais um desmatamento anual das florestas tropicais da ordem de 20.000 a 25.000 Km² (Bezerra, A.M., 2001).

De acordo com o IBGE, versão de 1996, a extração anual de lenha no Nordeste brasileiro é de 18.000.000 de metros cúbicos e que a população nordestina **da zona rural** é da ordem de 17.000.000 de habitantes. Se o fogão solar fosse usado por apenas 30% desta população a extração de lenha para cocção de alimentos sofreria uma redução anual de 5.370.000 metros cúbicos, cifra esta nada desprezível.

Esses dados apontam para a necessidade de massificar o uso do fogão solar para a cocção de alimentos, como forma de preservação da natureza, e contribuição para amenizar o desequilíbrio ecológico pelo uso indiscriminado da lenha, além do fato de minimizar a emissão de gases poluentes para a atmosfera. Como se podem ver estudos que viabilizem o uso do fogão solar, através da otimização do seu processo de construção e dos níveis de temperatura gerados, bem

como a melhoria do conforto de quem o utiliza, devem ter prioridade e são imprescindíveis para uma política de combate ao desequilíbrio ecológico, que amenizem a matriz energética, contribuam para a fixação do homem no campo e possa dar-lhe uma opção de geração de renda, através do domínio da construção de fogões solares, para sua futura comercialização.

A proposta em tela visa projetar um fogão à concentração que possa funcionar no período entre 9 e 15 horas, em regiões de baixa ou nenhuma nebulosidade, e a região nordeste é a mais viável de nosso país para o uso de tal tipo de fogão, uma vez que apresenta uma média de horas de sol da ordem de 3000/ano.

O presente trabalho tem por objetivo apresentar um fogão solar, construído artesanalmente, que tem como principais objetivos: a obtenção de um perfil otimizado da parábola refletora; que a parábola seja segmentada, composta de quatro gomos, com cada gomo ficando sobreposto ao outro para facilitar o transporte da mesma; que a parábola tenha sistemas de acompanhamento manual e de fácil controle; o uso de um compósito a base de madeira e gesso para isolamento térmico da panela; um tipo de suporte de panela de fácil construção e um sistema de variação da posição da panela.

Serão enfocadas inovações mais aprofundadas sobre os seguintes parâmetros: forma de obtenção do perfil da parábola, otimização do processo construtivo da mesma, utilização de diferentes materiais, otimização do processo de captação e reflexão da energia radiante, a modulação da parábola em vários segmentos dobráveis, o peso da estrutura, a modulação da estrutura de sustentação da panela, uma nova geometria para a panela, o isolamento térmico da panela, dentre outros.

Tais processos de otimização darão uma maior poder de competitividade do fogão em relação aos combustíveis convencionalmente utilizados, e proporcionará uma maior viabilidade de utilização para tal protótipo, que tem alcances social e ecológico inestimáveis. Tais estudos têm como prioridade contribuir para a diminuição das desigualdades sociais, evitar a migração do homem do campo, como também, propiciar até uma forma de geração de renda, pelo repasse da tecnologia de fabricação de tal equipamento às comunidades rurais.

Uma vez que a nossa região é privilegiadíssima no que diz respeito ao recebimento de radiação solar direta, apresentando em varias cidades, até níveis de horas de sol superiores há 10 horas, este estúdio mostra-se extremamente pertinente e viável, cumprindo o objetivo maior de uma Universidade Pública, que é direcionar seus estudos para a resolução de problemas de seu povo.

O fogão construído será testado para a determinação do tempo de cozimento para alguns alimentos, diagnosticando-se seu desempenho térmico comparativo a outros fogões desenvolvidos.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O fogão solar é hoje um fato comprovado já tendo sido objeto de estudo por vários pesquisadores no âmbito internacional. A maioria dos fogões solares existentes funcionam à concentração muito embora existam outros tipos que aproveitam o efeito estufa como é o caso do protótipo desenvolvido por M. TELKS e ainda o sistema misto desenvolvido por S.PRATA(Solar Cooker Manual) .

Os sistemas a concentração são normalmente constituídos de captores de forma parabólica, semi-esférica, cilindro-parabólica, cônica e tronco-cônica. Estes sistemas, para que possam apresentar um desempenho satisfatório, necessitam de radiação direta, céu claro e sem nebulosidades(Duffie&Beckman,1991).

Existem, contudo estudos de cozinhas solares conhecidas como "cozinhas energizadas" onde não se faz necessariamente preciso a utilização do brilho solar. Estes estudos no entanto conduzem ainda a projetos dispendiosos o que não nos anima a desenvolvê-los por se encontrarem de encontro à filosofia adotada, qual seja, a de projetar e desenvolver fogões robustos, simples, de baixo custo e eficientes, mais especificamente destinados à prática do "camping" e com maiores simplificações, para serem utilizados e até mesmo construídos pelas populações rurais de baixa renda.

Foi com base nesta linha de raciocínio que o LES desenvolveu inicialmente um tipo de fogão solar à concentração com captor parabólico e um outro tipo que funciona a efeito estufa.

É de se prever que as populações rurais sejam as maiores usuárias deste tipo de equipamento solar, principalmente aquelas populações que habitam as regiões ensolaradas. Para a chamada classe média, o fogão certamente encontrará aplicação na prática do "camping", piqueniques e atividades correlatas. Para esta aplicação torna-se necessário desenvolver um tipo de fogão solar que ofereça facilidade de transporte, ocupando o menos volume possível já que os similares à concentração existentes, são na sua maioria modelos que ocupam relativamente um volume razoável pelo fato de serem parcialmente desmontáveis.

A literatura internacional faz inúmeras referências a fogões solares construídos e testados por diversos pesquisadores. Nomes como H. STAM, SALGADO PRATA, G.LOF, ABOU-HUSSEIN e outros, contribuíram objetivamente para a solução do problema. Foram construídos e testados inúmeros protótipos de concentradores parabólicos, esféricos, cilindro-parabólico, o sistema "four" ou caixa quente baseado no efeito estufa, o sistema misto "four" cilindro-parabólico e outros.

Os protótipos industrializados existentes na França, Japão, Estados Unidos, etc, utilizam refletores parabólicos.

Entre os protótipos testados observou-se que o tempo necessário à ebulição de um litro de água com temperatura inicial de 20 graus centígrados se situou na faixa de 15/30 minutos, para a otimização da curva da radiação solar.

As superfícies refletoras foram obtidas com revestimento de folha de alumínio polido, plástico aluminizado, alumínio anodizado, chapa de bronze niquelada etc.

A SOFEE, indústria francesa de equipamentos solares, patenteou um fogão construído em plástico rígido, de forma parabólica, cuja superfície refletora é formada por um revestimento de plástico aluminizado, conhecido localmente como "mylar". Existe outro tipo de fogão denominado "umbrella" que apesar de sua fragilidade estrutural é bastante prático e facilmente transportável. A sua superfície refletora é constituída por um tecido recoberto de um filme de plástico aluminizado (Dickinson, W.C., 1980).

No âmbito do LES/UFRN já foram construídos e ensaiados 04 versões de fogões concentração e quatro versões de fogões do tipo caixa. O presente trabalho representa uma otimização e inovação em relação aos protótipos da história dos fogões solares na UFRN.

3. DESCRIÇÃO DO FOGÃO SOLAR PROJETADO

Para a construção do fogão solar proposto, que tem como principais características um novo mecanismo para sobreposição das partes da parábola refletora, peças pequenas e desmontáveis para facilitar seu transporte, mecanismo de seguimento do sol mais simples, baixo peso, além de um novo tipo de isolamento térmico para a panela, seguiu-se os seguintes procedimentos:

1. Projeto das dimensões do parabolóide - As dimensões do fogão foram definidas a partir da pretensão de obter-se uma parábola com área de reflexão em torno de $1,0 \text{ m}^2$.

2. Desenho da parábola refletora no Autocad - Desenhou-se o perfil da parábola, imprimindo-a e ampliando-a para o tamanho real.

3. Fabricação do perfil padrão para a construção do molde – O perfil da parábola foi reproduzido em uma chapa de aço para a construção do molde de forma a otimizar seu processo de obtenção;

4. Confeção da estrutura de fixação do perfil padrão – Foi construída uma estrutura para a fixação do perfil padrão construído através do perfil obtido, que permitia seu giro em 360° ;

5. Confeção da estrutura de fixação para cada parte do parabolóide – A estrutura de fixação para as quatro partes do parabolóide foi construída utilizando-se ferros de construção civil de diâmetro de 6mm;

6. Construção do Molde – O molde foi confeccionado em concreto e recebeu cobertura de massa corrida e tinta impermeabilizante. A estrutura do perfil padrão fixava-se ao molde através de um orifício situado no centro do mesmo;

7. Utilização de fibra de vidro e resina ortoftálica para construção do parabolóide – Colocando-se uma camada de tecido de fibra no molde, posicionando-se a estrutura da parábola, colocando-se outra camada de fibra recobrindo a estrutura e em seguida aplicando-se resina ortoftálica sobre o

tecido de fibra, obteve-se uma peça em fibra com um grau de perfeição bastante avançado, após o tempo necessário para uma perfeita secagem da resina. a secagem. Antes da confecção da parábola o molde foi recoberto com cera para garantir um desmoldamento otimizado da estrutura de fibra construída;

8. Corte dos espelhos – Os pedaços de espelho foram obtidos através do corte de uma lâmina de 2mm de espessura. Os pedaços foram cortados de modo a se adaptarem perfeitamente ao perfil curvo da parábola. Utilizamos pedaços de espelhos bem menores que os apresentados pela literatura;

9. Fixação dos espelhos – Utilizou-se cola branca para madeira na fixação dos pedaços de espelho na parábola;

10. Pintura da estrutura – Toda a estrutura do fogão solar foi pintada para protegê-la das intempéries, minimizando os efeitos da degradação de sua exposição aos fenômenos da natureza.

4.DESENVOLVIMENTO TEÓRICO

O balanço térmico do fogão solar à concentração projetado pode ser expresso através da equação 1 (Bezerra, 1990).

$$I \cdot A_r \cdot r \cdot k \cdot g = q_u + q_p \quad (1)$$

onde:

I - radiação solar incidente (KW/m²)

A_r - área útil do concentrador S_a - S_p (m²)

S_a - superfície do concentrador (m²)

S_p - superfície da panela ((m²)

r - refletividade do concentrador (%)

k - fração da radiação refletida que é absorvida pela panela (%)

g - absorvidade da panela (%)

q_u - calor entregue a panela(W)

q_p - calor perdido por condução, convecção e radiação

5.PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Serão realizados ensaios com o protótipo para a determinação da temperatura máxima alcançado no foco, após efetuar-se o procedimento de determinar de forma otimizada o perfeito seguimento do protótipo em relação ao movimento do sol e a perfeita posição da panela em relação a sua situação no ponto de temperatura máxima.

Serão também medidos os coeficientes de perda térmica, o desempenho do isolante térmico e a capacidade de absorção por parte da panela, bem como se a relação entre a área do absorvedor e do refletor está proporcionando uma otimização em relação ao objetivo final de um menor tempo de cozimento.

Serão determinados os tempos de cozimento de vários alimentos, comparando-os em relação ao tempo obtido com o fogão convencional.

Com os resultados obtidos, comparar-se-á o fogão desenvolvido com os já anteriormente testados em várias partes do mundo.

A Figura 1 mostra o fogão solar projetado e construído, modulado em quatro partes, com a estrutura móvel para facilitar seu transporte.

6.ANÁLISE DOS RESULTADOS

Através da utilização da Eq.(1) que mostra o balanço térmico proposto para o fogão em estudo, pode-se calcular a potência máxima absorvida pelo absorvedor(panela).

$$I \cdot A_r \cdot r \cdot k \cdot g = q_u + q_p \quad (1)$$

onde:

I - 800 W/m^2 , às 12:00h

A_r - $1,0 \text{ m}^2$

r - $0,90 \%$

k - $0,95\%$

g - $0,9 \%$

q_u - calor entregue a panela(W)

q_p – calor perdido por condução, convecção e radiação

Substituindo-se os dados considerados na equação 1, temos o valor da energia útil mais as perdas térmicas, conforme a equação 2.

$$q_u + q_p = 0,8.1,0.0,9.0,95.0,9 = 615,6 \text{ W}$$

A perda térmica pela panela pode ser calculada utilizando-se a seguinte equação:

$$Q_p = U \cdot A_{iso} \cdot (T_{ip} - T_{ep})$$

Substituindo-se os valores pertinentes a equação, medidos quando da realização dos ensaios, temos o valor do calor perdido, em torno de 15 W.

Portanto, a potência absorvida pela panela, corresponde a um valor máximo em torno de 600W.



Figura 1. Fogão solar proposto.

A Tabela 1 mostra os valores de temperatura do fundo da panela quando da realização do primeiro teste, que consistiu na determinação do tempo de ebulição de 1 litro de água. Foram também levantados dados de temperatura do isolante térmico utilizado para minimizar as perdas térmicas pela panela e da água no interior da panela. O teste foi realizado em 07.02, com início às 11:40h. Ressalte-se que a água foi colocada na panela, com a mesma já aquecida.

Tabela 1. Níveis de temperatura no absorvedor do fogão em teste

Tempo(min)	$T_{fp}(^{\circ}C)$	$T_{H2O}(^{\circ}C)$	$T_{iso}(^{\circ}C)$
0	720	28	40
5	505	59	41
10	580	85	41
15	600	100	42

Os dados contidos na tabela demonstram a viabilidade térmica do fogão proposto, pela obtenção de excelentes níveis de temperatura de foco e pela ebulição de um litro de água em apenas 15 minutos.

A Tabela 2 mostra os valores de temperatura obtidos no fundo da panela, sem água, para um dia de teste, de excelentes condições solarimétricas, com radiação solar global em torno de $800W/m^2$ no período entre 11 e 13 h e gráfico da figura mostra o comportamento comparativo da temperatura hora a hora. Os valores foram medidos com termopar de cromel-alumel, calibrado por uma referência padrão, acoplado a um termômetro digital, com leitura de até décimo de grau. Na Tabela estão mostrados dados médios horários calculados a partir das medições no tempo já citado.

Tabela 2. Níveis de temperatura do absorvedor durante ensaio

TEMPO(Hora)	T_{fundo} da panela
8 - 9	380
9-10	612,5
10-11	711
11-12	720
12-13	720
13-14	650
14-15	410

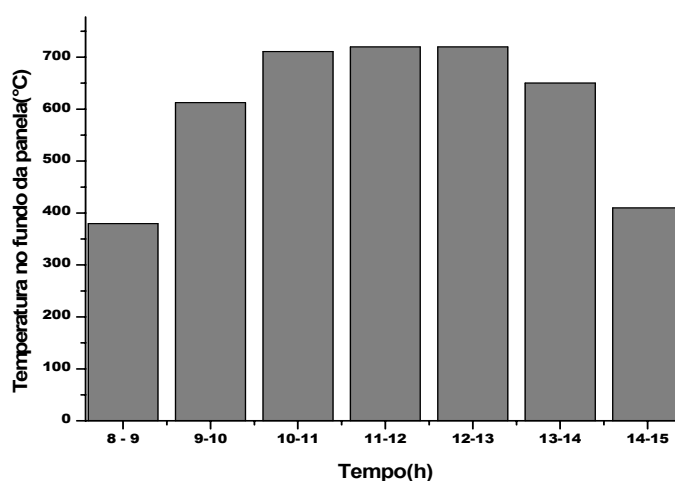


Figura 2. Comportamento da temperatura do absorvedor em função do tempo.

Os dados contidos na Tab.(2) e mostrados na Fig.(2), mostram a obtenção de elevadas temperaturas de foco, geradas pela perfeição da parábola obtida e utilização de espelhos de pequena área. Em relação aos fogões solares apontados pela literatura (Solar Manual Cooker, 1982,) as temperaturas obtidas pelo fogão em estudo, foram sempre superiores.

Para finalizar os testes com o fogão em estudo, realizamos ensaio de cozimento de feijão e arroz. O feijão, do tipo carioquinha(mulatinho), na quantidade de meio quilo, foi colocado na panela diretamente da embalagem, sem ter ficado de molho para amolecimento, prática corrente para o seu preparo. A quantidade de arroz correspondeu a 250g. Tais quantidades foram escolhidas seguindo orientações contidas em Bezerra, 2001, O teste final realizado deu-se em um dia de excelentes condições solarimétricas.

O início do teste aconteceu as 10:00, e após duas horas de cozimento o feijão estava pronto. No caso do arroz o tempo de cozimento foi de 40 minutos. Esses tempos estão compatíveis com o que mostra a literatura, embora não sejam citadas a forma como os alimentos foram preparados para cozimento, nem o tipo de cada um.

Ressalte-se, portanto, que tal fogão apresentou resultados térmicos por demais satisfatórios, e que seu seguimento solar mostrou-se com boa funcionalidade, necessitando apenas de um maior reforço na estrutura para evitar movimentos indesejáveis que podem acarretar no derramamento do alimento da panela. O foco ficou contido numa área em torno de 72 cm^2 , e pode-se observar que a tinta esmalte sintético preto fosco, aplicada no fundo da panela não suportou os grandes níveis de temperatura na mesma.

Seria por demais importante que o governo brasileiro, no combate as exclusões, tivesse um projeto que contemplasse a doação de fogões solares, que poderiam ser fabricados por membros de comunidades carentes, viabilizando, portanto, um projeto social de combate ao desemprego e a miséria. Na utilização de tal protótipo, se cumpre a inter-relação que deveria sempre existir entre ciência e ataques a problemas da população, principalmente a mais excluída.

7. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

1. O fogão proposto é bastante viável para o fim de cozimento de alimentos, podendo trazer substancial economia e evitar problemas de ataque a ecologia, principalmente no que diz respeito ao desmatamento por uso de lenha;

2. Sua operacionalidade é bastante simples, em função do fácil manuseio de seu mecanismo de seguimento solar e de seu baixo peso;

3. A otimização do processo de obtenção do molde foi fundamental para a obtenção dos níveis de temperatura bastante significativos obtidos, permitindo uma diminuição acentuada no tempo de cozimento;

4. O mecanismo que permite a desmontagem da parábola mostrou-se eficiente, facilitando seu transporte;

5. O fogão proposto tem capacidade de cozimento no período de 8 as 15 horas, dentro de boas condições solarimétricas, podendo cozer alimentos para toadas as refeições de uma família;

6. O protótipo proposto é prioritariamente viável para a utilização em zona rural, por comunidade de baixo poder aquisitivo;

7. O mecanismo que permite a movimentação da panela para um melhor ajuste de foco, mostrou-se bastante eficiente;

8. As variações de posição do fogão para que a panela estivesse sempre no foco do sistema, com área a de sombra no centro da parabolóide, deu-se geralmente a cada 1 hora;

9. O fogão solar proposto, com algumas modificações a ser operacionalizadas já pode tornar-se um produto de mercado;

10. Pretende-se construir um novo fogão de, de 3 m^2 de área, com parábola construída utilizando-se um compósito de gesso e isopor, para permitir a utilização de duas panelas, cozendo dois alimentos diferentes, diminuído o tempo de cozimento de cada refeição.

7. REFERÊNCIAS

Bezerra, A.M., 2001, Aplicações Térmicas da Energia Solar, Editora Universitária, João Pessoa, Pb.
Solar Manual Cooker, 1982, Brace Research Institute, Quebec, Canadá.

Duffie, J.A., Beckman, W.A., 1991, Solar Engineering of Thermal Processes, second edition, John & Sons, New York.
Dickinson, W.C., Cheremisinoff, P.N., 1980, Solar Energy Technology Handbook, Part B, Marcel Dekker, New York.
Bezerra, A.M., 1990, Aplicações Práticas da Energia Solar, Livraria Nobel, São Paulo.

Abstract. *A model of solar cooker to the composed concentration for four mirror segments is presented, constituting a parabola, gotten through the fiber glass use, applied on a ceramic mold. The reflective surface of the parabolic was gotten through the use of multiple plain segments of mirror of 2 mm of thickness. The structure of the parabola is dismountable, and has mobility of movements for the correction of puts into motion it apparent of the sun. The composed parabola for the four segments is also total dismountable, to facilitate to its transport and storage. Details will be presented technician of the manufacture processes and assembly and an analysis of the viability's thermal, economic and of materials of such archetype, that it has an important social connotation and a primordial aspect, that is the combat proportionate the ecological damages for the use, still in wide scale, of the firewood for the baking of foods.*