

## **FORNO SOLAR FABRICADO COM BLOCOS DE MATERIAL COMPÓSITO**

**Luiz Guilherme Meira de Souza<sup>1</sup>, [lguilherme@dem.ufrn.br](mailto:lguilherme@dem.ufrn.br)**  
**Maria Kalionara de Freitas Mota<sup>2</sup>, [kalionarafreitas@yahoo.com.br](mailto:kalionarafreitas@yahoo.com.br)**  
**Ricardo Eugênio Barbosa Ramos Filho<sup>3</sup>, [ricardoeugeniofilho@yahoo.com](mailto:ricardoeugeniofilho@yahoo.com)**  
**Aldo Paulino de Medeiros Júnior<sup>1</sup>, [aldo.paulino@yahoo.com.br](mailto:aldo.paulino@yahoo.com.br)**  
**Roberto Silva de Souza<sup>5</sup>; [robertosilva@ifrn.edu.br](mailto:robertosilva@ifrn.edu.br)**  
**Thyeno Camara Fernandes<sup>6</sup>, [thyeno@gmail.com](mailto:thyeno@gmail.com)**

<sup>1</sup>Universidade Federal do Rio Grande do Norte – Natal/RN

<sup>2</sup>Instituto Federal do Rio Grande do Norte – Natal/RN

***Resumo** Apresenta-se um forno solar de baixo custo fabricado com blocos confeccionados em material compósito, a partir de EPS em pó, gesso e cimento. Serão apresentados os processos de fabricação e montagem do forno, que tem como principal característica o baixo custo de produção. O forno proposto tem como superfície interna no fundo uma parábola moldada por processo anual e revestida com espelhos de pequenas dimensões para um aumento da sua temperatura interna. Os blocos que constituem o fogão apresentam baixa condutividade térmica, são leves e apresentam boa resistência mecânica. Acima da caixa do forno está localizada uma parábola refletora para concentrar os raios incidentes, enviando-os ao interior do forno. Serão apresentados resultados de testes de assamento de alguns alimentos, que demonstrarão a viabilidade de utilização do forno, cuja utilização pode contribuir para minimizar o uso da lenha, que traz prejuízos significativos ao meio ambiente. O forno/fogão proposto pode ajudar a população mais carente de nossa região, podendo constituir-se numa opção de geração de emprego e renda.*

***Palavras chaves:** energia solar, forno/fogão solar, material compósito, baixo custo.*

### **1. INTRODUÇÃO**

A lenha é provavelmente o energético mais antigo usado pelo homem e continua tendo grande importância na Matriz Energética Brasileira, participando com cerca de 10% da produção de energia primária (Balanço Energético Nacional, 2006 – [www.mme.gov.br](http://www.mme.gov.br)).

Cerca de 40% da lenha produzida no Brasil é transformada em carvão vegetal. O setor residencial é o que mais consome lenha (29%). Geralmente ela é destinada a cocção dos alimentos nas regiões rurais. Uma família de oito pessoas necessita de aproximadamente 2,0 m<sup>3</sup> de lenha por mês para preparar suas refeições. O setor industrial vem em seguida com cerca de 23% do consumo. As principais indústrias consumidoras de lenha no país são alimentos e bebidas, cerâmicas e papel e celulose.

Esses dados que mostram a massiva utilização da lenha, colocando em risco a saúde do planeta, apontam para a necessidade de uma política de massificação do uso do fogão solar para cocção de alimentos, como forma de preservar a natureza e ainda para amenizar o desequilíbrio ecológico pelo uso indiscriminado da lenha, além de minimizar a emissão de gases poluentes para a atmosfera.

O uso da energia solar para fins de cozimento e assamento de alimentos é uma das aplicações mais antigas e difundidas dessa fonte energética, e tem como principal característica sua função social. É maravilhoso constatar que pessoas na África utilizam massivamente fogões e fornos solares, contribuindo para uma política de não utilização da lenha, que contribui decisivamente para o desequilíbrio ambiental de nosso planeta.

No sertão nordestino assolado pelas secas, o sertanejo sofre com a fome e a sede devido à inclemência do sol sobre suas terras áridas. O uso de fogões/fornos solares na caatinga promete reverter ou ao menos amenizar essa situação possibilitando ao sertanejo uma melhor condição de vida.

Esse trabalho apresenta um modelo de um fogão/forno solar destinado a assar e cozer alimentos, construído a partir da utilização de um material compósito, que apresenta em sua composição o EPS triturado, um material reciclado.

O forno/fogão proposto é um protótipo solar de média concentração destinado ao uso doméstico em zonas rurais e urbanas, no período de 9:00 às 14:00 horas, principalmente, para a operação de assar alimentos, tais como pães, bolos, pizzas entre outros.

A principal inovação do trabalho foi a utilização de um material composto a base de gesso, EPS triturado, cimento, e água para a construção da caixa do forno/fogão solar. A utilização desse material tem uma vantagem adicional, além de seu baixo custo e fácil trabalhabilidade, que é seu baixo coeficiente de condutividade térmica, que concede ao forno uma boa capacidade de isolamento térmico.

Outra inovação foi o projeto e a construção de um novo perfil de sistema refletor para direcionar os raios solares para o interior do forno/fogão. Tal sistema apresenta um perfil que se aproxima de uma parábola, aumentando a área de captação da radiação e de reflexão dos raios para o interior do forno/fogão. O sistema foi construído utilizando-se uma placa de material polimérico recoberto por superfícies de espelho de 8,0cm X 8,0 cm. A área de captação da radiação solar desse perfil parabólico corresponde a 0,4 m<sup>2</sup>.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os fogões solares são dispositivos especiais que por intermédio da luz solar servem para o cozimento de alimentos e outras utilidades. Classificam-se em três tipos básicos; cozinhas do tipo caixa, cozinhas concentradoras e cozinhas aquecidas por meio de coletores de placa plana (Gomes, 2008).

O fogão tipo caixa pode ter distintos números de refletores externos, planos ou levemente côncavos. Caracteriza-se por permitir a obtenção de temperaturas inferiores a 150°C. Demora a aquecer e sua operacionalidade não é muito simples. Tem a vantagem de poder funcionar praticamente sem a intervenção do usuário, mantendo o alimento aquecido durante um tempo prolongado. Não produz efeitos danosos ao usuário nem por contemplação nem por reflexão. São estáveis e não apresentam riscos pela produção de chamas, não gerando, portanto, susceptibilidade a queimaduras (Lion, 2007).

São construídos com materiais de baixo custo, ainda que seja improvável seu uso para todos os dias do ano. Podem-se construir modelos de fácil transporte, leves e dobráveis.

Esse tipo de fogão encontra ampla aplicação em todo o mundo, principalmente na Ásia e África, destacando-se a Índia e a China, como sendo os países que mais têm investido em programas sociais que viabilizam a construção de fogões solares a baixo custo, para uma utilização significativa por parte de seu povo (Souza, 2009, 2007, Melo, 2008).

A seguir na Fig. (1) são apresentados diversos modelos de fornos/fogões solares em utilização em no mundo.



Figura 1. Fornos/fogões solares em uso no mundo.

## 3. MATERIAIS E MÉTODOS

O forno foi construído a partir de quatro blocos fabricados em material composto. As placas foram colocadas formando um quadrado, e posteriormente adicionou-se material composto no interior do mesmo, formando-se o fundo

do forno. Durante a colocação do compósito para a formação do fundo do forno, foi feita uma moldagem manual para que tal superfície apresentasse perfil parabólico.

As proporções em volume na mistura do material compósito foram: 1,0 parte de gesso, 2,0 parte de EPS triturado, 1,0 parte de cimento e 0,3 partes de água em relação ao volume total da mistura.

O forno/fogão solar proposto construído apresentou as seguintes dimensões: externas – comprimento: 0,58 m; largura: 0,58 e altura: 0,34; internas – comprimento: 0,44, largura: 0,44, altura: 0,30. A área externa correspondeu a 0,34m<sup>2</sup> e o volume externo a 0,11m<sup>3</sup>; área interna correspondeu a 0,19m<sup>2</sup> e o volume interno a 0,058m<sup>3</sup>. A superfície refletora externa apresenta uma área de captação da radiação solar correspondente a 0,4 m<sup>2</sup>.

As laterais internas do forno/fogão foram pintadas com tinta esmalte sintético preto fosco para uma maior absorção da radiação solar incidente. A parábola do fundo do forno/fogão solar foi revestida com segmentos de espelho de 2,0 cm X 2,0 cm.

Utilizou-se como cobertura do forno um vidro plano transparente de 3mm de espessura. O vidro fica assentado no compósito e movimenta-se para propiciar a colocação e retirada dos alimentos postos à cocção. A estrutura do forno foi confeccionada utilizando-se cantoneiras e apresenta movimento giratório para facilitar o manuseio do forno.

Foram realizados ensaios para a determinação das temperaturas do absorvedor e do interior do forno/fogão solar tipo caixa estudado. Mediu-se também a radiação solar global incidente no protótipo construído, utilizando-se um piranômetro da estação meteorológica Weather Envoy instalada no LES/UFRN. As temperaturas foram medidas a cada dez minutos e a radiação a cada um minuto. Os testes foram realizados para o período de 10:00 as 14:00 horas (Souza, 2005, 2007, 2009, Melo, 2008, Gomes, 2009).

Realizou-se um ensaio para assar uma pizza de 460 gramas, determinando-se o tempo necessário para esse fim. Foram medidas as temperaturas no absorvedor e do ar no interior do forno. As medidas foram realizadas em intervalos de cinco minutos. Foi também efetivado um ensaio para o assamento de um bolo, medindo-se os mesmos parâmetros do teste anterior. A Figura 2 mostra o forno/fogão solar confeccionado em material compósito em teste



Figura 2. Forno/fogão solar proposto em teste.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 1 apresenta os resultados médios horários do teste que avaliou a temperatura da superfície absorvedora do forno/fogão solar estudado e o gráfico da Figura 3 mostra o comportamento assumido por esses parâmetros. O forno/fogão solar foi colocado em exposição ao sol as 10:00 horas. A temperatura ambiente média foi de 36°C no período de realização do teste.

Tabela 1. Resultados médios horários do teste sem carga.

TEMPO (Hora)	$T_{\text{interna do forno}}$ (°C)	$T_{\text{absorvedor}}$ (°C)	I (W/m <sup>2</sup> )
10h-11h	64,2	116,8	1009,7
11h-12h	80,1	131,1	1017
12h-13h	80,7	129,5	990
13h-14h	86,8	115,7	908
14h-15h	90,2	133,5	747
MÉDIA	80,4	125,3	934,3

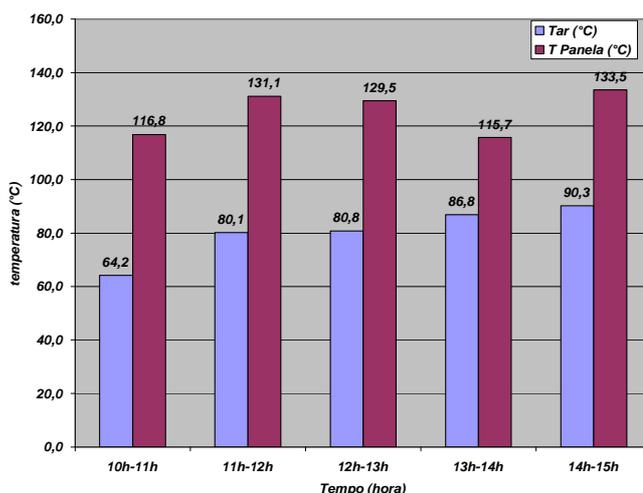


Figura 3. Comportamento assumido pelos parâmetros medidos no teste sem carga.

As temperaturas máximas do absorvedor e do interior do forno correspondentes a 125,3°C e 90,3°C, respectivamente, foram significativas, e próprias para proporcionar o assamento de alimentos. As temperaturas médias para esses parâmetros durante a duração do teste, em torno de 125,3°C e 82°C, respectivamente, também são adequadas para a obtenção do fim desejado. O teste foi realizado para excelentes condições solarimétricas, com radiação direta máxima da ordem de 813,6W/m<sup>2</sup> e mínima de 596,8 W/m<sup>2</sup>.

Apesar das temperaturas do absorvedor e interna do forno/fogão construído serem bem inferiores a de fornos convencionais a gás, com temperaturas internas de até 250°C, os fornos/fogões solares anteriormente confeccionados e testados alcançaram níveis parecidos com os atingidos pelo forno/fogão solar em estudo e propiciaram a cocção de alimentos tais como bolos, pizzas, pães de queijo, macarrão, arroz, carne (Gomes, 2009, Melo,2008).

Em função das experiências realizadas com vários outros fogões, projeta-se uma viabilidade de utilização de tal forno concebido para a obtenção do fim desejado, qual seja, a cocção de alimentos para uma família de baixa renda, minimizando os efeitos nocivos da utilização da lenha para a o meio ambiente e a vida.

Realizou-se o assamento de um pizza, cujos resultados dos parâmetros medidos encontram-se mostrados na Tabela 2. O assamento completo da pizza de 460 g foi obtido em 20 minutos. O teste teve início as 10:50 horas. A temperatura ambiente durante o teste foi em média 36°C.

Tabela 2. Resultados dos parâmetros medidos no teste para assar uma pizza.

Tempo (hora)	$T_{\text{absorvedor}}$ (°C)	$T_{\text{interna}}$ (°C)	Radiação solar global (W/m <sup>2</sup> )
10:50	58	49	830
10:55	73,5	68,7	920
11:00	73,2	73,5	903
11:05	76	79	895
11:10	80	82	840
Média	<b>72,1</b>	<b>70,4</b>	<b>877,6</b>

Esse teste mais uma vez demonstrou a viabilidade térmica do forno proposto pela obtenção da pizza assada em 20 minutos, embora esse tempo esteja bem acima do tempo necessário para o mesmo fim, em um forno/fogão convencional, em torno de 12 minutos.

Outros fogões já ensaiados apresentaram tempo de assamento para a mesma pizza em torno de 15 minutos, para níveis de radiação similares. O revestimento das laterais do forno/fogão com espelho pode diminuir esse tempo, tornando-o mais competitivos em relação a outros fornos/fogões solares já estudados. Ressalte-se a relação custo-benefício apresentada pelo forno em estudo. A Figura 4 apresenta a pizza assada no forno/fogão proposto.



Figura 4. Assamento de uma pizza forno/fogão solar em estudo.

Outro teste operacionalizado com o forno/fogão foi o assamento de um bolo sabor goiaba, a partir da farinha produzida após um processo de secagem dessa fruta. A Tabela 3 apresenta os resultados das temperaturas interna do forno e do absorvedor e da radiação solar global. O teste começou as 11:50 horas. A temperatura ambiente teve média em torno de 35°C durante o teste. O completo assamento do bolo aconteceu em uma hora.

Tabela 3. Resultados do teste para assamento de um bolo no forno/fogão proposto.

Tempo (hora)	$T_{\text{absorvedor}}$ (°C)	$T_{\text{interna}}$ (°C)	Radiação solar global (W/m <sup>2</sup> )
11:50	55	38,5	850
12:00	66	38	910
12:10	72,5	39,2	913
12:20	73	38	930
12:30	71	37	890
12:40	72	38	<b>877</b>
12:50	75	42	856
MÉDIA	69,2	38,7	889.4

As temperaturas interna do forno e do absorvedor estiveram bem abaixo das alcançadas com um forno convencional a gás. Porém, considerando-se que o tempo de assamento de um bolo em um fogão convencional a gás acontece em cerca de 40 minutos, o forno/fogão solar construído mostrou-se viável para assar esse alimento, principalmente pelo seu baixo custo. A radiação solar esteve em níveis de grande magnitude.

Os testes operacionalizados demonstraram a viabilidade de uso do forno/fogão solar proposto e seu uso massivo pode ser de grande significância em uma política social de geração de emprego e renda para comunidades pobres, que poderiam produzir bolos a um baixo custo e usando uma energia limpa, ecologicamente correta e que promove o desenvolvimento sustentável, contribuindo para a redução do uso da lenha como fonte energética. A Figura 4 mostra o bolo assado no forno/fogão testado.



Figura 5. Assamento de um bolo no forno/fogão solar em estudo.

Para a obtenção de temperaturas mais elevadas no interior do forno, propiciando uma diminuição dos tempos de cozimento ou assamento dos alimentos, revestiu-se toda a sua superfície interna com segmentos de espelhos. Os testes realizados serão repetidos e outros serão operacionalizados para comprovar a influência positiva da colocação dos espelhos no interior do forno. O forno espelhado em toda a sua superfície interna encontra-se mostrado na Figura 6.

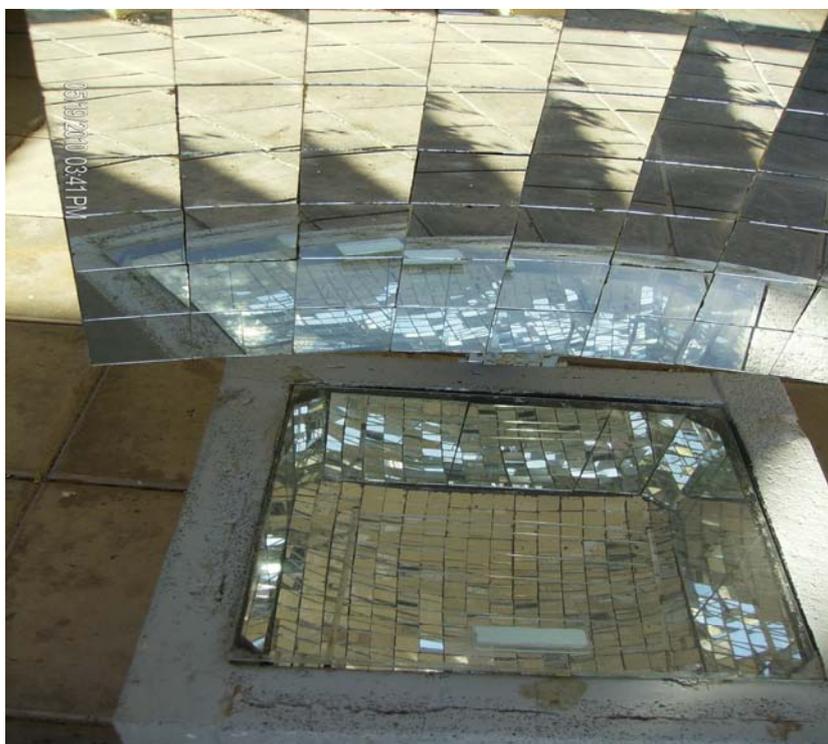


Figura 6. Forno/fogão solar proposto com espelhos nas laterais em teste.

## 5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

O forno/fogão solar proposto é viável para produzir o assamento de alimentos, podendo trazer economia e minimizar problemas de ataque à ecologia, principalmente no que diz respeito ao desmatamento por uso de lenha;

O forno/fogão estudado é mais viável para produzir o assamento de alimentos;

O forno/fogão solar é de fácil construção, pois o compósito utilizado na sua fabricação é de fácil trabalhabilidade;

Os processos de montagem e desmontagem do forno/fogão proposto são simples, necessitando apenas de um treinamento prévio;

O forno/fogão proposto tem capacidade de produzir a cocção de alimentos no período de 9:00 às 14:00 horas, dentro de boas condições solarimétricas;

O custo de fabricação do forno/fogão proposto fica em torno de 100 reais, estando abaixo da faixa média para tais protótipos entre 150 e 300 reais, para fins que não visam lucro;

Testar o forno/fogão para produzir a cocção de alimentos, arroz, macarrão, carnes e outros;

Realizar ensaios para vários tipos de alimentos em todas as estações do ano para uma avaliação mais real do desempenho do forno/fogão solar proposto.

Revestir as superfícies laterais internas do forno/fogão solar proposto e realizar testes comparativos em relação a versão estudada.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Gomes, J.W.; 2009, “Construção e análise de desempenho de um forno/fogão solar tipo caixa alternativo construído a partir de uma sucata de pneu”; Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da UFRN – Natal/RN.
- Lion, C. A. P. Q.; 2007, “Construção e análise de desempenho de um fogão solar à concentração utilizando dois focos para cozimento direto”, Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da UFRN – Natal/RN.
- Melo, A. V. Q.; 2008, “Projeto, construção e análise de desempenho de um forno solar alternativo tipo caixa a baixo custo”; Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da UFRN – Natal/RN.
- Souza et.al.; 2007, “*Bifocal concentration solar cook for direct cooking*”; 19th COBEM – International Congress of Mechanical Engineering, Brasília– DF.
- Souza, L.G.M.; Melo, A.V.; “Fogão solar alternativo tipo caixa a baixo custo”, V CONEM – Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, Recife-Pe.
- Souza, L.G.M.; Queirós, W.F.; “Optimization project of the construction and efficiency analysis of a solar cook for food cooking”; 18th COBEM - International Congress of Mechanical Engineering, Ouro Preto.
- Souza et.al.; 2008, “*Forno solar de baixo custo utilizando como elemento base um pneu usado*”; XIV CONGRESO IBÉRICO Y IX CONGRESO IBEROAMERICANO DE ENERGÍA SOLAR, España,
- Souza et.al.; 2009; “Construction and evaluation of the performance of a concentration solar cooker using urupemas as parable reflector”, 20<sup>th</sup> COBEM – International Congress of Mechanical Engineering, Gramado.

### 1. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

### ABSTRACT

#### **SOLAR OVEN/COOKER MODELS WITH BLOCKS OF COMPOSITE MATERIAL**

It presents a solar oven low cost manufactured with blocks made of composite material, from EPS powder, plaster and cement. You will see the manufacturing processes and assembly of the oven, whose main characteristic is the low cost of production. The oven has proposed as the inner surface of the bottom is a parable framed by the annual and covered with small mirrors to an increase in internal temperature. The blocks that make up the stove have low thermal conductivity, are lightweight and have good mechanical strength. Above the oven is located a parabola reflector to focus the incident, sending them to the oven. Will be presented test results of the oven for some food, which demonstrate the feasibility of using an oven, whose use can minimize the use of firewood, which brings significant damage to the environment. The oven / cooker proposed can help the needy population of our region northeast, which might be an option for generating employment and income.

Key words: solar energy, solar oven, baking, composite, low cost.