

UTILIZAÇÃO DE UMA SUCATA DE FOGÃO CONVENCIONAL A GÁS PARA CONSTRUÇÃO DE UM FORNO/FOGÃO SOLAR DE BAIXO CUSTO

Luiz Guilherme Meira De Souza – lguilherme@dem.ufrn.br

Luiz Guilherme Vieira Meira De Souza – lguilherme_souza@hotmail.com

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Departamento de Engenharia Mecânica

AROLD VIEIRA DE MELO – aroldovmelo@hotmail.com

MARIA KALIONARA DE FEITAS MOTA – kalionarafreitas@yahoo.com.br

SALOMÃO SÁVIO BATISTA – saviotecnologo@gmail.com

FLÁVIO ANSELMO SILVA DE LIMA – flávio_ifrn@hotmail.com

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica

2- Conversão Térmica da Energia Solar

Resumo. Apresenta-se um forno/fogão solar alternativo construído a partir de uma sucata de um fogão convencional a gás. O forno do fogão convencional é o recinto de cozimento e foi recoberto por uma lâmina de vidro para a geração do efeito estufa. O fundo e laterais foram isolados por um compósito a base de gesso e isopor. Lâminas de espelhos planos foram colocadas nas laterais do fogão para a reflexão da radiação solar direta e uma parábola refletora foi introduzida no recinto de cozimento para o aproveitamento da radiação refletida incidente no interior do forno. As lâminas de espelhos são móveis para acompanhar o movimento aparente do sol. Serão demonstradas as viabilidades térmicas, econômica e de materiais do forno/fogão em estudo. A temperatura interna média do absorvedor ficou em torno de 150°C e a temperatura interna em torno de 120°C. Será também apresentado um balanço térmico para o forno/fogão proposto que tem por principal característica o baixo custo e sua utilização pode representar uma alternativa viável a conversão de sucatas de fogões a gás convencionais largamente disponíveis em fornos/fogões solares capazes de assar e cozer alimentos.

Palavras-chave: Forno Solar, Fogão Solar, Baixo Custo, Cozimento de Alimentos, Assamento de Alimentos.

1. INTRODUÇÃO

A queima de lenha para a cocção de alimentos corresponde a 29,3 % do total da lenha produzida, o que equivale a 26.564 x 10³ toneladas, fazendo com que, dentro da matriz energética residencial brasileira, esse valor seja de 38% para dados de 2005 (Balanço Energético Nacional, 2006).

Em termos globais, a queima de lenha para a cocção de alimentos atinge 2,5 bilhões de pessoas, dos quais 23 milhões são brasileiros (World Energy Outlook, 2006). O uso da lenha para cozinhar dentro de casa leva a morte de 1,6 milhões de pessoas devido à poluição em ambientes internos (Organização Mundial de Saúde, 2005).

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. A lenha pode ser de origem nativa ou de reflorestamento. Seus principais constituintes são a celulose (41-49%) a hemicelulose (15-27%) e a lignina (18-24%), e seu poder calorífico inferior médio é de 4.200 kcal/kg (17,57 MJ/kg).

Ela tem recebido a denominação de energia dos pobres por ser parte significativa da base energética dos países em desenvolvimento, chegando a representar até 95% da fonte de energia em vários países. Nos países industrializados, a contribuição da lenha chega a um máximo de 4%.

Cerca de 40% da lenha produzida no Brasil é transformada em carvão vegetal. O setor residencial é o que mais consome lenha (29%), depois do carvoejamento. Geralmente ela é destinada a cocção dos alimentos nas regiões rurais. Uma família de oito pessoas necessita de aproximadamente dois m³ 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.

A mata nativa sempre foi uma fonte de lenha, que parecia inesgotável, devido à quantidade gerada na ampliação da fronteira agrícola. A forma devastadora com que ela foi explorada deixou o país em situação crítica, em várias regiões onde existiam abundantes coberturas florestais, no tocante à degradação do solo, alteração no regime de chuvas e conseqüente desertificação.

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 fogão solar, uma tecnologia social capaz de cozer alimentos utilizando apenas a energia do Sol, pode prover a substituição, mesmo que parcial, desse consumo de lenha tão amplo.

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-lhes uma opção de geração de renda, através do domínio da construção de fogões solares, para sua futura comercialização.

Pela extrema importância social que a utilização de fogões e fornos solares representa o LES da UFRN, há mais de uma década vem desenvolvendo, construindo e testando protótipos, visando sua utilização diária por pessoas carentes, cumprindo os ideários sociais que são inerentes a uma Universidade Pública, principalmente em uma região do país cujo número de excluídos é alarmante e indecente.

O fogão forno proposto é um protótipo solar de média concentração que trabalha com dois efeitos, o estufa e a concentração, destinado ao uso doméstico em zonas rurais e urbanas, no período de 9:00 às 15:00 hs. Destina-se, principalmente, a operação de assar alimentos, tais como pães, bolos, pizzas entre outros. Foi construído a partir de uma sucata de fogão convencional de quatro bocas alimentado por gás de cozinha. O custo dessa sucata corresponde em média a R\$ 50,00.

As principais inovações do trabalho foram a utilização de um material compósito para isolar termicamente o forno construído, em substituição a lá de vidro convencionalmente utilizada e a introdução de uma parábola refletora no interior do forno para concentrar a radiação solar incidente no fundo do absorvedor, onde são colocados os alimentos postos a assar. Tal parábola foi obtida através do uso de uma tampa de proteção de um ventilador com diâmetro de 360 mm. que tem como principal desvantagem o fato de comprovadamente ser cancerígena. As principais características do forno/fogão proposto são o baixo custo e seus fáceis processos de construção e montagem.

2. ESTADO DA ARTE

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.

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 e são 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, 2005, 2007, Melo, 2008).

A Figura 1 apresenta diversos modelos de fogões em utilização em todo o mundo.

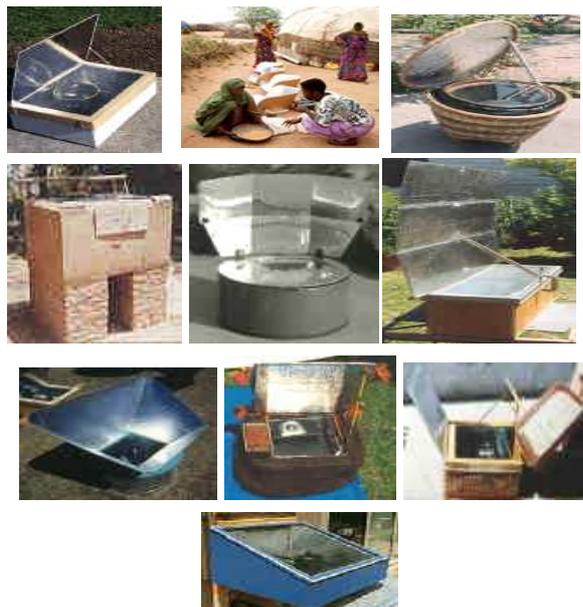


Figura 1. Diversos tipos de fogões solares em uso no mundo.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O forno solar proposto foi construído a partir da sucata do fogão convencional a gás que recebeu alguns elementos para tornar-se um forno/fogão solar. Para a transformação da sucata de fogão convencional a gás em forno solar, obedeceu-se ao processo de fabricação, descrito a seguir.

- Retirada de toda a tubulação de gás;
- Elevação da estrutura interna do forno em 60 mm para se aproximar da tampa superior de vidro;
- Retirada da chapa superior do forno e de seu isolante térmico para colocação da cobertura transparente;
- Corte da lâmina de vidro para a cobertura do forno com as seguintes dimensões de 480 x 470 mm;
- Fabricação da parábola refletora recobrimdo a tampa de um ventilador com material compósito a base de gesso, EPS (poliestireno expandido), cimento, areia e água, obedecendo as seguintes proporções em volume: 1,0 gesso, 1,0 EPS (poliestireno expandido), 0,33 cimento, 0,33 areia, e 0,3 do volume total da mistura de água. A parábola obtida foi revestida com segmentos de espelhos planos de pequenas dimensões, formando a superfície refletora da mesma;
- Corte dos pedaços de espelhos para a obtenção da parábola refletora utilizando-se diamante;
- Confecção das estruturas dos espelhos a ser colocados na parte superior do forno – utilizou-se madeirite de 15 mm;
- Confecção dos elementos para a regulagem dos espelhos visando à correção em relação ao movimento do sol;
- Fixação dos elementos para a regulação do ângulo nas placas de madeirite que suportam os espelhos externos;
- Corte dos seis segmentos de espelhos externos para a reflexão dos raios solares para o interior do forno.

O processo de montagem do forno solar obedeceu à seguinte seqüência de procedimento.

- Colocação de material compósito com os mesmos constituintes utilizados para a fabricação da parábola refletora, com as mesmas proporções, nas paredes laterais, na parede traseira, na superfície inferior e na porta do forno com a finalidade de isolar termicamente essas superfícies, minimizando as perdas para o exterior do forno;
- Colocação do vidro de cobertura do forno e vedação do mesmo com espuma para minimizar perdas térmicas;
- Colocação dos segmentos de espelhos na parábola confeccionada através do uso de cola de contato (cola fórmica);
- Colocação da parábola refletora com 180 mm de raio e 50 mm de profundidade adaptável ao espaço disponível neste local, com seu foco voltado para o fundo da panela no interior do forno;
- Fixação dos espelhos externos nas placas de madeirite utilizando cola de contato;
- Fixação das placas de madeirite na estrutura do forno, através de dobradiças e perfil metálico;
- Pintura de todos os componentes externos do forno em tinta esmalte sintético na cor branca, para proporcionar uma melhor estética e uma maior resistência às intempéries, e dos internos na cor preta para transformá-los em corpos negros.

A Figura 2 mostram o forno solar construído e algumas etapas dos processos de fabricação e montagem.



Figura 2. Vista da parábola refletora, da tampa de ventilador usada para sua construção e do absorvedor.

3.1 Procedimento experimental

Foram levantados dados da temperatura da panela absorvedora e do interior do forno para cinco dias de ensaio. As temperaturas foram tomadas de 15 em 15 minutos, no período de 9:00 às 15:00hs.

Colocou-se uma panela com 1,0 litro de água à temperatura de 35°C no interior do forno e mediu-se a evolução da temperatura da água no interior da panela, a cada cinco minutos. Outro teste foi o cozimento de macarrão e de arroz, nas quantidades de 250 g, cada, medindo-se o tempo de cozimento e os níveis de temperatura no interior do forno.

O teste final consistiu na colocação de um bolo para assar no interior do forno proposto, medindo-se o tempo de assamento do mesmo e os níveis de temperatura no interior do forno.

Para avaliar as perdas térmicas do fogão (forno) solar construído mediu-se no período de maior incidência de radiação solar global, entre 11:00 e 13:00 horas, as temperaturas das laterais do fogão, do vidro de cobertura e dos espelhos refletores.

Os dados de temperatura foram medidos com termopares de cromel-alumel, acoplados a um termômetro digital da marca MINIPA MT-914 com faixa de leitura entre -70°C a 1200°C, precisão de 0,1°C e com erro máximo em torno de 2,0 %. A radiação solar global foi medida com um radiômetro construído no LMHES da UFRN.

3.2 Balanço térmico do forno

O balanço de energia para o forno construído é apresentado a seguir. A Figura 3 mostra um diagrama esquemático de todas as trocas energéticas que ocorrem no interior e exterior do forno.

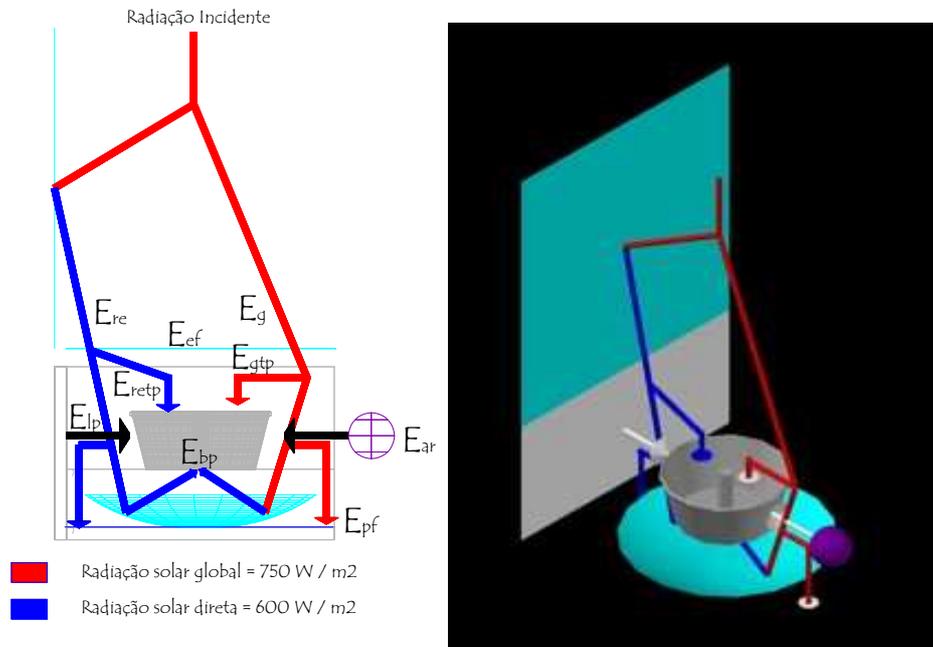


Figura 3. Balanço térmico do forno solar construído.

As radiações solares incidentes sobre a tampa superior e sobre os espelhos laterais externos entram no fogão/forno solar de duas formas: como radiação solar global incidente sobre a tampa de vidro e como radiação solar direta refletida pelos espelhos. Tanto a radiação solar global quanto a radiação solar direta refletida pelos espelhos incidem sobre a tampa da panela, a área útil da parábola e a área restante da base. As equações referentes ao balanço energético são apresentadas a seguir.

A energia que entra no forno. A energia que entra no forno provém de duas fontes: da radiação solar global incidente na cobertura do forno e da radiação solar direta refletida nos espelhos externos situados no topo do forno. A equação 1 mostra a energia total que entra no forno.

$$E_{ef} = E_g + E_{re} \quad (1)$$

Onde: E_{ef} = energia que entra no forno (W); E_g = energia da radiação solar global que incide diretamente no forno (W); E_{re} = energia da reflexão dos espelhos localizados na parte superior do forno (W)

Para o cálculo das energias de entrada no forno utilizam-se as equações mostradas a seguir.

$$E_g = I_g \cdot \tau_v \cdot A_v \quad (2)$$

$$E_{re} = I_d \cdot (A_{ue} / A_v) \cdot \rho_e \cdot \tau_v \cdot A_v \quad (3)$$

Onde:

I_g = Radiação instantânea global que entra no forno = 750 W/m²; I_d = Radiação instantânea direta que entra no forno = 600 W/m²; ρ_e = Refletividade do espelho = 0,95; τ_v = Transmissividade do vidro = 0,85; A_v = Área do vidro = 0,192 m²; A_{ue} = Área útil dos espelhos = 0,65 m²

A energia que chega à tampa da panela. Os procedimentos para o cálculo dessa energia encontram-se mostrados nas equações a seguir.

$$E_{tp} = E_{gtp} + E_{retp} \quad (4)$$

Sendo:

$$E_{gtp} = E_g \cdot (A_{tp} / A_v) \quad (5)$$

$$E_{retp} = E_{re} \cdot (A_{tp} / A_v) \quad (6)$$

Onde:

E_{tp} = Energia que chega à tampa da panela (W); E_{gtp} = energia solar global que incide diretamente na tampa da panela (W); E_{retp} = energia refletida pelos espelhos externos que incide na tampa da panela (W); E_g = energia da radiação solar global que incide diretamente no forno (W); E_{re} = energia da reflexão dos espelhos localizados na parte superior do forno (W), A_{tp} = Área da tampa da panela = 0,0363 m²; A_v = Área do vidro = 0,192 m²

A energia que chega à parábola. Os procedimentos para o cálculo dessa energia encontram-se mostrados nas equações a seguir. O fator 0,3411 deve-se ao fato da área útil da parábola refletora ocupar esse percentual em relação à área da base do forno.

$$E_{cpr} = E_{gpr} + E_{repr} \quad (7)$$

Sendo:

$$E_{gpr} = E_g \cdot 0,3411 \quad (8)$$

$$E_{repr} = E_{re} \cdot 0,3411 \quad (9)$$

Onde:

E_{cpr} = energia solar que chega à parábola; E_{gpr} = energia solar global que incide na parábola; E_{repr} = energia solar refletida que incide na parábola; E_g = energia proveniente da radiação solar global que incide diretamente no forno; E_{re} = energia da reflexão dos espelhos localizados na parte superior do forno

A energia que chega à base da panela. O fator 0,8 corresponde a fração da energia solar global que sai da parábola em direção ao fundo da panela, uma vez que a energia difusa situa-se em torno de 20% da energia solar global para dias de baixíssima nebulosidade.

$$E_{bp} = (0,8 \cdot E_{gpr} + E_{repr}) \cdot \rho_e \quad (10)$$

Onde:

E_{bp} = Energia total na base da panela; E_{gpr} = energia solar global líquida incidente na parábola; E_{repr} = energia solar refletida líquida incidente na parábola; ρ_e = Refletividade dos espelhos da parábola.

A energia emitida pelas paredes que chega à lateral da panela. Considerando-se que a temperatura média das paredes do forno correspondia a 145°C, temos que a energia emitida, corresponde a:

$$E_{lp} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T_{par}^4 \cdot A_{lp} \quad (11)$$

Onde:

E_{lp} = energia proveniente da emissividade das paredes internas do forno; ε = Emissividade das paredes do forno (tinta preta) = 0,95; σ = Constante de Stephan-boltzmann = 5,67 x 10⁻⁸ W/m²K⁴; T_{par} = temperatura média das paredes internas do forno em Kelvin; A_{lp} = Área lateral das paredes.

A energia total que chega à panela.

E_{tp} = Energia da tampa da panela + Energia da base da panela + Energia da lateral da panela

A energia absorvida pela panela.

$$E_{abs} = E_{tp} \cdot \alpha_{pn} \quad (12)$$

Onde:

E_{abs} = Energia absorvida pela panela; E_{tp} = Energia total que chega a panela; α_{pn} = Absortividade da panela

A energia perdida pelo forno.

$$E_{pf} = E_{ef} - E_{abs} \quad (13)$$

Onde:

E_{pf} = Energia perdida pelo forno; E_{ef} = Energia total que entra no forno; E_{tp} = Energia total fornecida à panela

O rendimento interno do forno. O rendimento interno do forno será calculado pela razão entre a energia absorvida pela panela e a energia total que entra no forno.

$$\eta_{if} = (E_{abs} / E_{ef}) \quad (14)$$

Onde:

η_{if} = Rendimento interno do forno; E_{ef} = Energia total que entra no forno; E_{abs} = Energia absorvida pela panela

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O balanço de energia do fogão/forno solar construído será apresentado a seguir. Serão também avaliados os resultados obtidos com o forno solar na operação de assar e cozer alguns alimentos, bem como as potências envolvidas nesse processo.

4.1 Balanço térmico do forno

As Tabelas 1 e 2 apresentam as energias calculadas para a determinação da eficiência térmica do forno/fogão proposto

Tabela 1. Parcelas energéticas que chegam à panela.

Origem da energia	Local de aplicação	Potência aplicada (W)	Porcentagem (%)
1. Rad. solar incidente	Topo	23,15	7,6
2. Rad. solar refletida	Topo	59,55	19,5
3. Rad. solar incidente	Base	31,73	10,4
4. Rad. solar refletida	Base	102,05	33,4
5. Radiação das paredes	Lateral	88,8	29,1
Total da energia que chega a panela		305,28	100

Tabela 2. Energia perdida e rendimento do forno.

Discriminação	Energia (W)	Porcentagem (%)
1. Energia que entra no forno	437,33	100
2. Energia absorvida pela panela	290,02	66,3
Perdas = (1 - 2)	147,31	33,7

As Tabelas 3 a 4 mostram os resultados médios horários dos testes realizados para a determinação das temperaturas do absorvedor e do interior do forno, na configuração sem carga, para o período de 9:00 às 15:00 horas, para cinco dias de testes.

Tabela 3. Dados médios de temperatura no forno solar em teste para os cinco dias de teste.

TEMPO (HORA)	T _{in.forno} (°C)	T _{absorvedor} (°C)	I _G (W/m ²)	I _D (W/m ²)
9:00 – 10:00	71,8	81,6	676,0	540,8
10:00 – 11:00	100,8	122,6	716,0	572,8
11:00 – 12:00	111,4	145,8	762,0	609,6
12:00 – 13:00	116,6	167,6	768,0	614,4
13:00 – 14:00	111,4	146,6	750,0	600,0
14:00 – 15:00	97,0	117,8	694,0	555,2
MÉDIA	101,5	130,3	727,7	582,1

Os resultados obtidos com o forno foram significativos, alcançando valores máximos em torno de 120°C para a temperatura do ar no interior do forno e em torno de 170°C para o absorvedor, no horário de pico, com desvios padrões de 2,1 para a temperatura interna do forno e de 3,1 para a temperatura do absorvedor.

Esses níveis de temperatura são bem inferiores aos alcançados em um forno convencional a gás, que apresenta temperatura de ar interno na faixa de 150 a 250°C. Apesar de inferiores, as obtidas, são viáveis para a obtenção do fim proposto, assar alimentos, principalmente pães, bolos e pizzas, como se demonstrará nos resultados obtidos com os testes realizados e mostrados a seguir.

No que diz respeito às radiações solar global e direta percebe-se que houve uma constância para todos os dias ensaiados, mostrando a escolha de dias ótimos no que diz respeito às condições solarimétricas, para poderem-se comparar os resultados obtidos com o forno para todos os dias de teste.

A seguir são mostrados os valores médios de temperatura interna do forno e do absorvedor, no caso uma forma de bolo, para todos os dias ensaiados.

Tabela 4. Valores médios diários dos parâmetros medidos durante a realização dos cinco dias de teste com o forno/fogão construído.

DIA	T _{in.forno} (°C)	T _{absorvedor} (°C)	I _G (W/m ²)	I _D (W/m ²)
DIA 1	103,0	133,2	731,6	585,3
DIA 2	103,7	133,6	738,3	590,6
DIA 3	104,2	133,8	738,6	590,9
DIA 4	100,0	128,3	715,0	572,0
DIA 5	99,7	127,5	715,0	572,0
MÉDIA	102,1	131,3	727,7	582,1

Os resultados médios obtidos são muito próximos para todos os dias ensaiados, com valores máximos de 104,2°C, no que diz respeito à temperatura interna do forno e de 133,8°C, para o absorvedor.

O teste seguinte realizado com o forno solar construído foi à operação de assar um bolo de 440 g, em uma forma absorvedora em formato de tronco de cone. O bolo foi colocado no forno às 10h20min. A Tabela 5 mostra os resultados da temperatura interna do forno durante o processo e o tempo de assamento em minutos.

Considerando-se que o tempo para assar um bolo em forno convencional a gás é em torno de 30 a 40 minutos, o fogão/forno construído mostrou-se eficiente pela obtenção de um tempo de 50 minutos, considerando-se que o forno foi confeccionado utilizando materiais de baixo custo e recicláveis, além de, utilizar energia com um custo zero. A Figura 4 mostra o teste para assamento do bolo.



Figura 4. Bolo assado no forno/fogão construído.

Tabela 5. Temperatura interna do forno durante a operação de assar um bolo.

TEMPO (HORA)	TEMPERATURA (°C)	TEMPO DE ASSAMENTO (MINUTOS)	RAD. SOLAR GLOBAL (W/m ²)
10:25	75,0	05	650
10:30	79,5	10	700
10:35	81,4	15	730
10:40	83,2	20	750
10:45	85,1	25	720
10:50	87,2	30	730
10:55	89,3	35	750
11:00	91,5	40	750
11:05	93,5	45	750
11:10	95,0	50	770

Outro teste realizado foi à operação de assar uma pizza, de 440g, cujos resultados dos parâmetros medidos encontram-se mostrados na Tabela 6. O assamento completo da pizza foi obtido em 15 minutos. O teste teve início as 10:20 horas. A temperatura ambiente durante o teste foi em média 33°C.

Tabela 6. Resultados dos parâmetros medidos no teste para assar uma pizza.

Tempo (hora)	T _{in.forno} (°C)	T _{absorvedor} (°C)	Rad. solar global (W/m ²)
10:20	85	90	720
10:25	95	100	720
10:30	97	112	730
10:35	100	125	730
MÉDIA	94,2	106,8	725

Esse teste mais uma vez demonstrou a viabilidade térmica do forno proposto pela obtenção da pizza assada em 15 minutos, apenas 50% acima do tempo obtido em um forno convencional. Ressalte-se a relação custo-benefício apresentada pelo forno em estudo.

4.2 Utilização do forno para cozimentos de alimentos

Testou-se o forno construído para obter a ebulição de 1,0 litro de água e utilizou-se dois tipos de alimentos (macarrão e arroz) para a operação de cozimento, demonstrando-se, portanto, a viabilidade de uso desse fogão para esse fim. Para produzir o cozimento é necessária a ebulição da água que no caso do arroz foi de 40 minutos e do macarrão de 30 minutos, após uma hora para a ebulição da água. Os resultados desses testes encontram-se mostrados a seguir.

A Tabela 4.17 mostra os resultados da evolução na temperatura da água, na quantidade de 1 litro, colocada no interior de uma panela absorvedora situado no interior do fogão (forno) solar construído. A radiação global média para o intervalo de tempo relativo à realização do teste foi de 780 W/m², e a temperatura da água no início do teste foi correspondente a 35°C.

Tabela 7. Resultados do teste de aquecimento de 1000 ml de água.

TEMPO (HORA)	T _{int.forno} (°C)	T _{água} (°C)
11:30	95,0	35,0
11:35	95,0	49,0
11:40	95,0	58,0
11:45	97,5	62,0
11:50	110,0	80,0
12:00	120,0	84,0
12:10	120,0	94,0
12:20	120,0	100,0
12:30	120,0	110,0

Os tempos obtidos para o cozimento de macarrão e arroz, na quantidade de 250g, para ambos os alimentos, foram 90 minutos e 100 minutos. Esses tempos estão bem acima dos obtidos com o fogão convencional a gás, e com o fogão solar à concentração monofocal, em torno de 25 minutos para o macarrão e 30 minutos para o arroz. Apesar desse tempo bem mais elevado o forno em estudo permite a obtenção de cozimento de alimentos, pelo menos para uma refeição diária, ou para uma quantidade maior de alimentos para duas refeições. Os tempos de assamento e do cozimento dos alimentos foram superiores aos obtidos com um fogão convencional e com os fogões de foco pontual.

O custo do forno solar construído está discriminado na Tabela 8 mostrada a seguir.

Tabela 8. Planilha de custo do forno solar construído.

Item	Discriminação do material	Valor (R\$)
1	Sucata do fogão	50,00
2	Cola de contato	7,00
3	Epóxi	2,30
4	Espelho refletor	45,00
5	Tampo de vidro	10,00
6	Tinta esmalte sintético	10,00
7	Compensado de 15 mm	20,00
8	Compósito	5,50
9	Perfil regulador do ângulo dos espelhos	10,00
	TOTAL	159,80

5. CONCLUSÕES

A seguir, em consonância com essas metas, passa-se a discorrer sobre as conclusões de caráter geral que se depreende da análise dos dados colhidos nos ensaios realizados com o protótipo em estudo.

- O forno/fogão solar estudado apresentou-se viável para o fim proposto, produzindo o cozimento e assamento de alimentos, tendo custo reduzido, representando uma alternativa para uma política de substituição da lenha para a preparação de alimentos destinados a refeição;
- O forno/fogão solar estudado pode trazer substancial economia e minimizar problemas de ataque à ecologia, principalmente no que diz respeito ao desmatamento por uso de lenha;
- O forno solar proposto apresenta maior viabilidade para a operação de assar alimentos, principalmente pães, bolos e pizzas;
- A introdução da parábola no interior do forno propiciou um aumento de 26% na temperatura da base da panela e uma diminuição no tempo de assamento dos alimentos;
- O forno proposto tem capacidade de assamento e cozimento no período de 8:00 às 15:00 horas, dentro de boas condições solarimétricas;
- Os riscos para o usuário de tal tipo de fogão são de baixa magnitude exigindo-se apenas alguns cuidados que podem ser facilmente transmitidos aos seus usuários;
- A utilização do compósito como elemento isolante mostrou-se eficiente, pela obtenção de níveis de temperatura na superfície externa do forno próximos à temperatura ambiente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAÚJO, et. al., Utilização do fogão solar tipo caixa para secagem de alimentos em comunidade de baixa renda, I Congresso Brasileiro de Energia Solar, Fortaleza, Ce, 2007.
- BEZERRA, A.M., Aplicações térmicas de energia solar, Editora Universitária – UFPb, João Pessoa, Pb, 2001.
- DUFFIE, J.A., BECKMAN, W.A., Solar Engineering of Thermal Processes, II edition, New York, John & Sons, 757 p., 1991.
- FILHO, J.R.S., Projeto, construção e levantamento de desempenho de um concentrador solar cilindro parabólico com mecanismo automático de rastreamento solar, Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da UFRN – Natal/RN, 2008.
- LION, C. A. P. Q., 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, 2007.

- MELO, A. V. Q., 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, 2008.
- MELO, A.V. et. al., Fogão solar alternativo tipo caixa a baixo custo, V CONEM - CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA, RECIFE – PE, 2006.
- NETO, J.G.C. et. al., Análise da emissão da redução de dióxido de carbono a partir da substituição da lenha pelo uso do fogão solar tipo caixa, XIV CONGRESO IBÉRICO Y IX CONGRESO IBEROAMERICANO DE ENERGÍA SOLAR, España, 2008.
- QUEIROZ, W.F, Construção de um fogão solar à concentração para cozimento direto e indireto, Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da UFRN – Natal/RN, 2005.
- RICON, E.A; LENTZ, E.A., La cocina solar tolokatsins 3, XIV CONGRESO IBÉRICO Y IX CONGRESO IBEROAMERICANO DE ENERGÍA SOLAR, España, 2008.
- SERRANO, R.P; RUIVO, C.R., Cocinas solares, dos modelos de transferência – Chile Y Portugal, XIV CONGRESO IBÉRICO Y IX CONGRESO IBEROAMERICANO DE ENERGÍA SOLAR, España, 2008.
- SOUZA et.al., Utilização de um fogão solar modulado à concentração para aplicação em camping e comunidades rurais, para a cocção de alimentos, IV CONEM – Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, Belém – Pa, 2004.
- SOUZA et.al., Optimization project of the constructions and efficiency analysis of a solar cook for food cooking, 18th COBEM – International Congress of Mechanical Engineering, Ouro Preto – MG, 2005.
- SOUZA et.al., Bifocal concentration solar cook for direct cooking, 19th COBEM – International Congress of Mechanical Engineering, Brasília– DF, 2007.
- SOUZA et.al., Forno solar de baixo custo utilizando como elemento base um pneu usado, XIV CONGRESO IBÉRICO Y IX CONGRESO IBEROAMERICANO DE ENERGÍA SOLAR, España, 2008.
- SOUZA et.al., Cocina solar tipo cajá confeccionada com material compuesto, XIV CONGRESO IBÉRICO Y IX CONGRESO IBEROAMERICANO DE ENERGÍA SOLAR, España, 2008.
- TEIXEIRA, O. A. et. al., Projetando a construção de uma cozinha escola experimental solar em Sergipe, XIV CONGRESO IBÉRICO Y IX CONGRESO IBEROAMERICANO DE ENERGÍA SOLAR, España, 2008.
- VITAL BRAZIL, O.A., Forno solar como mecanismo de apropriação de mais energia pela população de baixa renda no Brasil, XIV CONGRESO IBÉRICO Y IX CONGRESO IBEROAMERICANO DE ENERGÍA SOLAR, España, 2008.

USE OF A SCRAP OF CONVENTIONAL GAS COOKER FOR CONSTRUCTION OF AN OVEN / COOKER SOLAR LOW COST

Abstract. *It presents an oven / cooker solar alternative built from a scrap of a conventional gas cooker. The oven of conventional cooker is the cooking enclosure and was covered with a glass slide for the generation of greenhouse gases. The bottom and sides were isolated by a composite-based plaster and EPS. Blades of plane mirrors were placed at the sides of the stove to the reflection of direct solar radiation and a parabola reflector was introduced into the cooking enclosure for the use of reflected radiation incident on the oven. The blades are movable mirrors to follow the apparent movement of the sun. Will be demonstrated the feasibility of thermal, economic and material of the oven / cooker in the study The mean internal temperature of the absorber was around 150 ° C and internal temperature around 120 ° C. It will also present a thermal balance for the oven / cooker proposed whose main characteristic is the low cost and their use may represent a viable alternative to conversion to scrap gas stoves widely available in conventional ovens cookers can bake and cook food.*

Keywords: Solar Cooker, Solar Cooker, Low Cost, Cooking, Baking Food.