



**UNIVERSIDADE
EDUARDO MONDLANE**



**FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE FÍSICA**

Física Aplicada

Energias Renováveis

Opção II

Tema:

Fogão Solar Tipo Caixa

Docente:

**Dr. Cuamba, Boaventura
dr. Basílio
dr. Tingote**

Discente:

Vasco, Lado Samissoe

Nível: 4º ano

Maputo, Dezembro de 2011

TESTE DE FOGÕES SOLARES TIPO CAIXA

Índice

Resumo	2
1.Introdução	3
2.Objectivo Geral.....	3
2.1.Objectivo Especifico	3
3.Fundamentos Teórico	4
3.1.Radiação Solar	4
3.1.1.Radiação Solar Incidente	5
3.1.2.Leis da Radiação para Corpos Negros	7
3.2.Mecanismo de Transferência de Calor.....	11
4.Fogões Solares	14
4.1.Tipos de Fogões Solares	14
4.1.1.Principio de Funcionamento	16
5.Metodologia	17
6.Resultados e Descrição	19
7. Conclusão.....	22
8. Bibliografia	23

TESTE DE FOGÕES SOLARES TIPO CAIXA

Resumo

Neste presente trabalho apresenta princípios básicos de funcionamento de fogões solares tipo caixa, baseando-se da radiação solar; como ela se comporta no espaço extraterrestre e na superfície da terra, desta forma abordou-se: A lei da radiação para corpos negros que diz (Toda a radiação incidente é completamente absorvida, e em todos os comprimentos de onda e em todas as direcções a máxima radiação possível para a temperatura do corpo é emitida), distribuição da radiação monocromática em qualquer superfície (pode ser absorvida ou reflectida), mecanismo de transferência de calor (por radiação, condução e convecção). E por finalidade usou-se todos estes princípios da radiação para se fazer o estudo de fogão solar tipo caixa, com objectivo principal testar o fogão solar, desta forma tivemos resultados e conclusões.

TESTE DE FOGÕES SOLARES TIPO CAIXA

1.Introdução

Este trabalho busca enfrentar uma questão básica do desenvolvimento social Moçambicano, e do mundo em geral, o aproveitamento apenas incipiente do enorme potencial energético da radiação solar. Este trabalho foi motivado pela percepção da energia solar como bem público, e que a apropriação pela população, desta energia, necessitará de mecanismos de acesso a tecnologias específicas que estão além das disponíveis no mercado. Neste sentido, a construção de fogão solar tem se revelado um mecanismo de apropriação de conhecimentos que podem levar a população de baixa renda a usar o sol como energético.

2.Objectivo Geral

- Teste de Fogão Solar Tipo Caixa

2.1.Objectivo Especifico

- Determinar a Potencia e a Eficiência do Fogão.

TESTE DE FOGOES SOLARES TIPO CAIXA

3. Fundamentos Teórico

3.1. Radiação Solar

O Sol é a fonte de energia que controla a circulação da atmosfera. O Sol emite energia em forma de radiação electromagnética, da qual uma parte é interceptada pelo sistema Terra-atmosfera e convertida em outras formas de energia como, por exemplo, calor e energia cinética da circulação atmosférica. É importante notar que a energia pode ser convertida, mas não criada ou destruída. É a lei da conservação da energia.

2.1.1.1.1

A energia solar não é distribuída igualmente sobre a Terra. Esta distribuição desigual é responsável pelas correntes oceânicas e pelos ventos que, transportando calor dos trópicos para os pólos, procuram atingir um balanço de energia. Praticamente toda a troca de energia entre a Terra e o resto do Universo ocorre por radiação, que é a única que pode atravessar o relativo vazio do espaço. O sistema Terra-atmosfera está constantemente absorvendo radiação solar e emitindo sua própria radiação para o espaço. Numa média de longo prazo, as taxas de absorção e emissão são aproximadamente iguais, de modo que o sistema está muito próximo ao equilíbrio radioactivo. A radiação também tem papel importante na transferência de calor entre a superfície da Terra e a atmosfera e entre diferentes camadas da atmosfera. A radiação electromagnética pode ser considerada como um conjunto de ondas (eléctricas e magnéticas) cuja velocidade no vácuo é ($c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$). As várias formas de radiação, caracterizadas pelo seu comprimento de onda, compõem o espectro electromagnético (Figura 1).

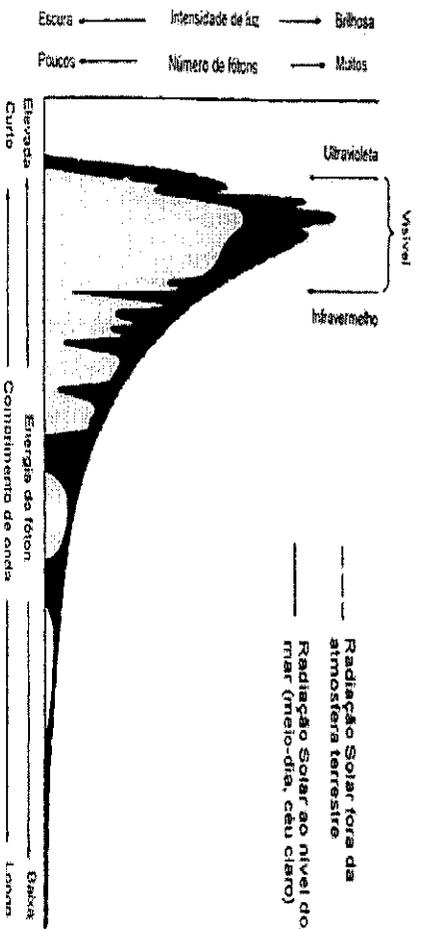


Figura.1: distribuição espectral da radiação solar

TESTE DE FOGOES SOLARES TIPO CAIXA

A maior parte da energia radiante do sol está concentrada nas partes visível e próximo do visível do espectro. A luz visível corresponde a ~43% do total emitido, 49% estão no infravermelho próximo e 7% no ultravioleta. Menos de 1% da radiação solar é emitida como raios X, raios gama e ondas de rádio. Apesar da divisão do espectro em intervalos, todas as formas de radiação são basicamente iguais. Quando qualquer forma de energia radiante é absorvida por um objecto, o resultado é um crescimento do movimento molecular e um correspondente crescimento da temperatura.

Absorção e Emissão de Radiação por Moléculas

A teoria quântica prevê que a energia transmitida por radiação electromagnética existe em unidades discretas chamadas fótons. A quantidade de energia associada com um fóton de radiação é dada.

$$W = h\nu, \quad (1)$$

Onde ν é a frequência da radiação (em s^{-1} ou Hertz), h é a constante de Planck, que é igual a $6,626 \times 10^{-34} \text{ Js}$. Portanto, a quantidade de energia contida num fóton de radiação é inversamente proporcional ao comprimento de onda da radiação.

Como uma molécula isolada só pode absorver e emitir radiação em quantidades discretas, ela pode interagir apenas com certos comprimentos de onda. Assim, as propriedades de absorção e emissão de uma molécula podem ser descritas em termos de um espectro de linhas, que consiste de um número finito de linhas de absorção ou emissão muito finas, separadas por lacunas nas quais a absorção e emissão de radiação não são possíveis. A maior parte das linhas de absorção associadas com mudanças orbitais envolvem radiação de raios X, ultravioleta e radiação visível.

3.1.1. Radiação Solar Incidente

Embora a atmosfera seja muito transparente à radiação solar incidente, somente em torno de 25% penetra directamente na superfície da Terra sem nenhuma interferência da atmosfera, constituindo a insolação directa. O restante é ou reflectido de volta para o espaço ou absorvido ou espalhado em volta até atingir a superfície da Terra ou retornar ao espaço (Figura. 4). O que determina se a radiação será

TESTE DE FOGÕES SOLARES TIPO CAIXA

absorvida, espalhada ou reflectida de volta? Como veremos, isto depende em grande parte do comprimento de onda da energia que está sendo transportada, assim como do tamanho e natureza do material que intervém.

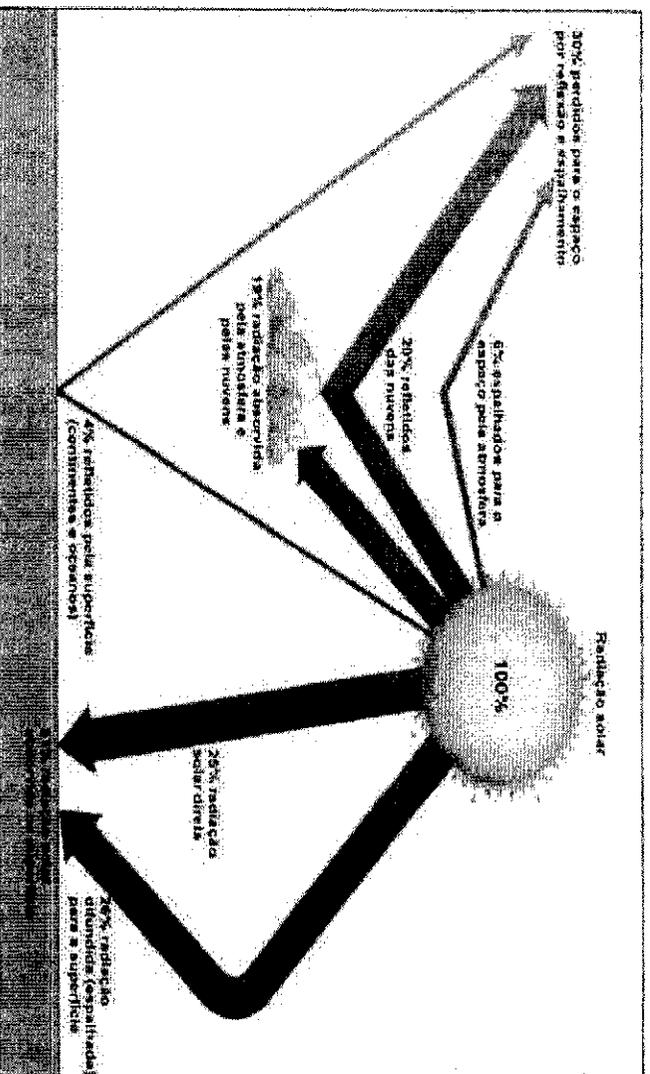


Figura 2 - Distribuição percentual da radiação solar incidente

a) Espalhamento

Embora a radiação solar incida em linha recta, os gases e aerossóis podem causar seu espalhamento, dispersando-a em todas as direcções - para cima, para baixo e para os lados. A reflexão é um caso particular de espalhamento. A insolação difusa é constituída de radiação solar que é espalhada ou reflectida de volta para a Terra. Esta insolação difusa é responsável pela claridade do céu durante o dia e pela iluminação de áreas que não recebem iluminação directa do sol. As características do espalhamento dependem, em grande parte, do tamanho das moléculas de gás ou aerossóis. O espalhamento por partículas cujo raio é bem menor que o comprimento de onda da radiação espalhada, como o caso do espalhamento da luz visível por moléculas de gás da atmosfera, é dependente do comprimento de onda (espalhamento Rayleigh), de forma que a radiação monocromática espalhada é

TESTE DE FOGOS SOLARES TIPO CAIXA

inversamente proporcional à 4ª potência do comprimento de onda ($E_{\lambda s} \sim 1/\lambda^4$).

b) Reflexão

Aproximadamente 30% da energia solar é reflectida de volta para o espaço (Figura. 4). Neste número está incluída a quantidade que é retro espalhada. A reflexão ocorre na interface entre dois meios diferentes, quando parte da radiação que atinge esta interface é enviada de volta. Nesta interface o ângulo de incidência é igual ao ângulo de reflexão (Lei da reflexão). Dentro da atmosfera, os topos das nuvens são os mais importantes reflectores

c) Absorção na Atmosfera

O espalhamento e a reflexão simplesmente mudam a direcção da radiação. Contudo, através da absorção, a radiação é convertida em calor. Quando uma molécula de gás absorve radiação esta energia é transformada em movimento molecular interno, detectável como aumento de temperatura. Portanto, são os gases que são bons absorvedores da radiação disponível que tem papel preponderante no aquecimento da atmosfera.

3.1.2.Leis da Radiação para Corpos Negros

Um corpo negro é um corpo hipotético que emite (ou absorve) radiação electromagnética em todos os comprimentos de onda, de forma que:

- Toda a radiação incidente é completamente absorvida, e em todos os comprimentos de onda e em todas as direcções a máxima radiação possível para a temperatura do corpo é emitida.

A radiação do corpo negro é isotrópica, isto é, não depende da direcção. O Sol e a Terra irradiam aproximadamente como corpos negros. Portanto, as leis de radiação dos corpos negros podem ser aplicadas à radiação solar e terrestre com algumas restrições. A radiação monocromática emitida por um corpo negro é determinada por sua temperatura e pelo comprimento de onda considerado, conforme descrito pela lei de Planck.

TESTE DE FOGOES SOLARES TIPO CAIXA

$$E_{\lambda}^* = \frac{c_1}{\lambda^5 (e^{\frac{c_2}{\lambda T}} - 1)} \quad (2)$$

Onde $c_1 = 3,74 \times 10^{-16} \text{ Wm}^2$, $c_2 = 1,44 \times 10^{-2} \text{ mK}$, e é a base dos logaritmos naturais ($e=2,718$). Gráficos de E_{λ}^* em função de λ para algumas temperaturas são mostrados na Figura. 2.

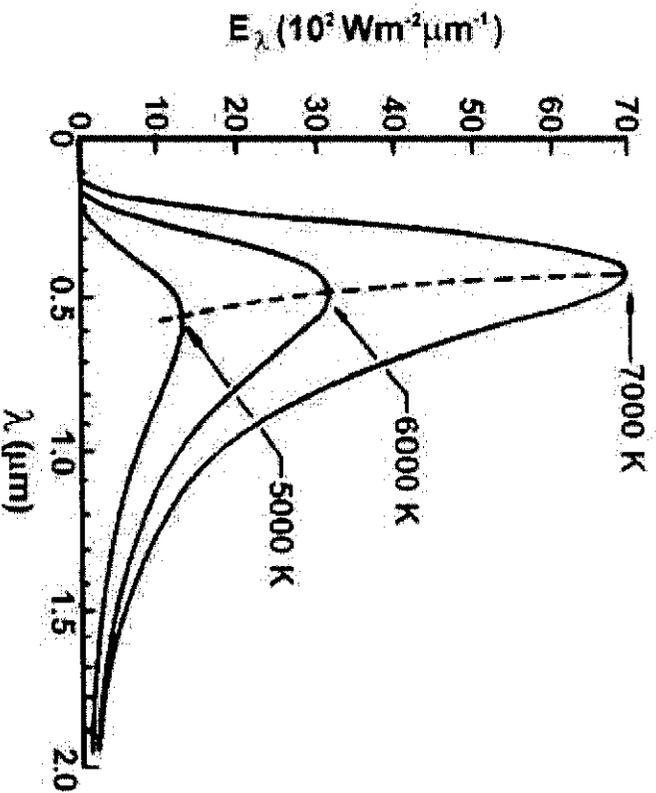


Figura 3. - Radiação monocromática para corpo negro para várias temperaturas.

A equação (2) pode ser simplificada para:

$$E_{\lambda}^* \cong c_1 \lambda^{-5} e^{-\frac{c_2}{\lambda T}} \quad (2.1)$$

Excepto para grandes comprimentos de onda. Usando a aproximação (2.1) é possível mostrar que o comprimento de onda do pico de emissão para um corpo negro com temperatura T é dado por:

$$\lambda_m = \frac{2897}{T} \quad (2.2)$$

TESTE DE FOGOES SOLARES TIPO CAIXA

Onde λ_m é expresso em micro (10^{-6} m) e T em Kelvin.

A (2.2) é a lei de deslocamento de Wien. Com ela é possível estimar a temperatura de uma fonte a partir do conhecimento de seu espectro de emissão. Por exemplo, sabendo-se que a máxima emissão solar ocorre em $\sim 0,475 \mu$, deduz-se que sua temperatura equivalente de corpo negro é 6100 K. A Terra, com $T \sim 288$ K, tem máxima emissão em $\lambda_m \sim 10 \mu$.

Da lei de Wien decorre que a radiação solar é concentrada nas partes visível e infravermelho próximo, enquanto a radiação emitida pela Terra e sua atmosfera, é principalmente confinada ao infravermelho. Quanto mais quente o corpo radiante, menor é o comprimento de onda da máxima radiação. A radiação do corpo negro, é dada por:

$$E^* = \sigma T^4 \quad (2.3)$$

Onde σ é a constante de Stefan-Boltzmann, cujo valor é $5,67 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4}$. Esta equação é a Lei de Stefan-Boltzmann. Dela se conclui que corpos com maior temperatura emitem mais energia total por unidade de área que aqueles com menor temperatura. O Sol, portanto, com $T \sim 6000$ K, emite centenas de milhares de vezes mais energia que a Terra, com $T \sim 288$ K.

Conforme já mencionado, a radiação do corpo negro representa o limite máximo de radiação que um corpo real pode emitir num dado comprimento de onda, para uma dada temperatura. Para corpos reais, define-se uma quantidade chamada emissividade:

$$\epsilon_\lambda = \frac{E_\lambda}{E_\lambda^*} \quad (2.4)$$

E emissividade de corpo cinza:

$$\epsilon = \frac{E}{E^*} = \frac{E}{\sigma T^4} \quad (2.5)$$

Para um corpo negro ϵ_λ e ϵ são iguais a 1 e para corpos reais estão entre 0 e 1. Pode-se definir

TESTE DE FOGOES SOLARES TIPO CAIXA

quantidades correspondentes chamadas absortividade a_λ :

$$a_\lambda = \frac{E_\lambda \text{ absorvido}}{E_\lambda \text{ incidente}} \quad (2.6)$$

E absortividade de corpo cinza:

$$a = \frac{E_{\text{absorvido}}}{E_{\text{incidente}}} \quad (2.7)$$

A Lei de Kirchoff afirma que:

$$a_\lambda = \epsilon_\lambda \text{ (e também } a = \epsilon) \quad (2.8)$$

Ou seja, materiais que são fortes absorvedores num comprimento de onda particular são também fortes emissores neste comprimento de onda, analogamente absorvedores fracos são fracos emissores.

Um exemplo é a neve fresca que é fraco absorvedor no intervalo visível mas forte absorvedor no intervalo infravermelho. Esta lei pode ser aplicada não só a corpos opacos, mas também a gases, desde que a frequência das colisões moleculares seja grande em relação à frequência dos eventos individuais de absorção e emissão. Na atmosfera da Terra esta condição é satisfeita até altitudes de ~ 60 km.

Distribuição da Radiação

A radiação monocromática incidente sobre qualquer superfície opaca (como a superfície da Terra) é ou absorvida ou reflectida:

$$E_\lambda \text{ (absorvido)} + E_\lambda \text{ (reflectido)} = E_\lambda \text{ (incidente)}$$

Dividindo cada termo nesta expressão pela radiação monocromática incidente obtemos:

$$a_\lambda + r_\lambda = 1 \quad (2.9)$$

Onde a_λ é a absortividade e r_λ é a reflectividade da superfície. Em quaisquer comprimentos de onda, fortes reflectores são fracos absorvedores (por exemplo, a neve fresca no intervalo visível) e vice-versa

TESTE DE FOGOES SOLARES TIPO CAIXA

(por exemplo, asfalto no intervalo visível). As reflectividades de algumas superfícies para o intervalo de comprimentos de onda da radiação solar (intervalo visível).

A radiação monocromática incidente sobre uma camada não opaca (como a atmosfera) pode ser espalhada, reflectida, absorvida ou transmitida. Analogamente à (2.9), pode-se escrever:

$$a_\lambda + r_\lambda + s_\lambda + T_\lambda = 1 \quad (2.10)$$

Onde S_λ se refere à fracção da radiação incidente que é espalhada e T_λ à fracção que é transmitida no comprimento de onda dado (transmissividade da camada).

3.2.Mecanismo de Transferência de Calor

Há três mecanismos conhecidos para transferência de calor: radiação, condução e convecção.

A **radiação** consiste de ondas electromagnéticas viajando com a velocidade da luz. Como a radiação é a única que pode ocorrer no espaço vazio, esta é a principal forma pela qual o sistema Terra-Atmosfera recebe energia do Sol e libera energia para o espaço.

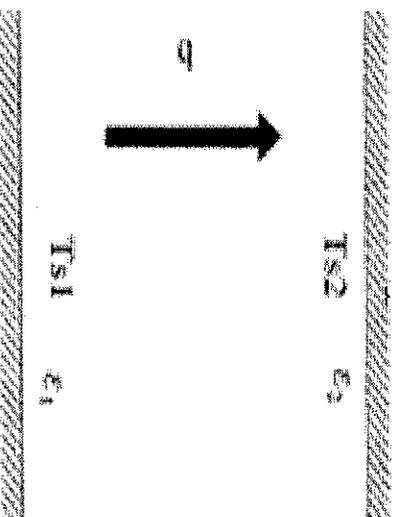


Figura 4: Transferência por Radiação

TESTE DE FOGOES SOLARES TIPO CAIXA

$$q_{s1} = \epsilon\sigma T_{s1}^4 \quad q_{s1} = \epsilon\sigma T_{s2}^4 \quad q = q_{s1} - q_{s1}$$

$$q = \epsilon\sigma T_{s1}^4 - \epsilon\sigma T_{s2}^4 = hr (T_{s1} - T_{s2})$$

$$hr = \sigma (\epsilon_{s1} T_{s1}^2 - \epsilon_{s2} T_{s2}^2) (T_{s1} + T_{s2}) \quad (3)$$

Onde:

q : calor transferido por radiação

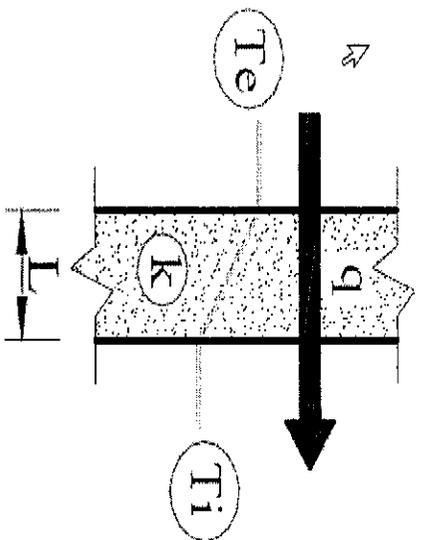
Ts1 e Ts2 : temperaturas das susuperficies

hr: coeficiente de troca de calor por radiação

ϵ_{s1} e ϵ_{s2} : emissividades das superficies

σ : contante de Boltzmann

A **condução** ocorre dentro de uma substância ou entre substâncias que estão em contacto físico directo. Na condução a energia cinética dos átomos e moléculas (isto é, o calor) é transferida por colisões entre átomos e moléculas vizinhas. O calor flui das temperaturas mais altas (moléculas com maior energia cinética) para as temperaturas mais baixas (moléculas com menor energia cinética). A capacidade das substâncias para conduzir calor (condutividade) varia consideravelmente. Via de regra, sólidos são melhores condutores que líquidos e líquidos são melhores condutores que gases. Num extremo, metais são excelentes condutores de calor e no outro extremo, o ar é um péssimo condutor de calor. Consequentemente, a condução só é importante entre a superfície da Terra e o ar directamente em contacto com a superfície. Como meio de transferência de calor para a atmosfera como um todo a condução é o menos significativo e pode ser omitido na maioria dos fenómenos meteorológicos.



$$q = k \cdot \frac{\Delta T}{L} \quad (4)$$

Figura 5: *Transferência por condução*

K: condutibilidade térmica

Te: temperatura no exterior

Ti: temperatura no interior

L: espessura da parede

q: intensidade do fluxo de calor

A **convecção** somente ocorre em líquidos e gases. Consiste na transferência de calor dentro de um fluido através de movimentos do próprio fluido. O calor ganha na camada mais baixa da atmosfera através de radiação ou condução é mais frequentemente transferido por convecção. A convecção ocorre como consequência de diferenças na densidade do ar. Quando o calor é conduzido da superfície relativamente quente para o ar sobrejacente, este ar torna-se mais quente que o ar vizinho. Ar quente é menos denso que o ar frio de modo que o ar frio e denso desce e força o ar mais quente e menos denso a subir. O ar mais frio é então aquecido pela superfície e o processo é repetido.

Desta forma, a circulação convectiva do ar transporta calor verticalmente da superfície da Terra para a troposfera, sendo responsável pela redistribuição de calor das regiões equatoriais para os pólos. O calor é também transportado horizontalmente na atmosfera, por movimentos convectivos horizontais,

TESTE DE FOGOES SOLARES TIPO CAIXA

conhecidos por advecção. O termo convecção é usualmente restrito à transferência vertical de calor na atmosfera.

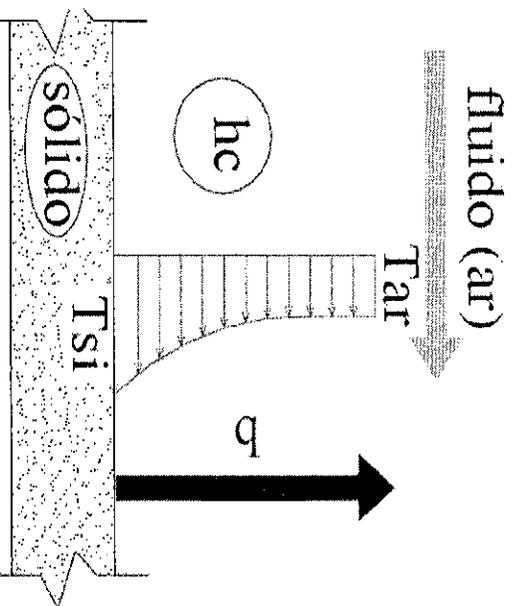


Figura 6: Transferência por convecção

$$q = h_c \cdot (T_{si} - T_{ar}) \quad (5)$$

h_c : coeficiente de convecção

T_{si} : temperatura da superfície do sólido

T_{ar} : temperatura do ar

4. Fogões Solares

4.1. Tipos de Fogões Solares

Existem três tipos de fogões solares: painel, caixa e parabólico.

1. Painel

São os mais fáceis de serem construídos, com menor investimento de tempo e dinheiro. Normalmente

ENERGIAS RENOVAVEIS

TESTE DE FOGOES SOLARES TIPO CAIXA

feitos de painéis de papelão, que pode ser reciclado de caixas de papelão usadas, com revestimento de superfície reflexiva, como papel alumínio, filmes de poliéster metalizado, folhas de alumínio polido. Os painéis são dobrados de modo a concentrar o foco onde será colocada a panela para cocção. Este tipo de fogão apresenta menor rendimento, temperaturas até 100 graus centígrados ou pouco mais (é possível cozinhar nestas temperaturas). O tempo de cozimento é maior. Para maior rendimento a panela deve ser revestida de saco plástico para fornos (300 graus) ou recipiente de vidro transparente.

2. Parabólicos

São os fogões de melhor rendimento que existe, são de formato parabólico, com foco convergente. Permitem altas temperaturas (superiores a 300 graus centígrados), com menores tempo de cozimento. São direccionais, necessitando reajuste de ângulo da parábola a cada 15-20 minutos. Permitem cozinhar, friar, assar, com rendimento igual ou superior a energia térmica da chama de um fogão a gás convencional.

3. Caixa

São fogões feitos de caixa (papelão, madeira, plástico), com tampa de vidro para efeito estufa (ou enclausuramento em vidro). Possuem abas ou reflectores laterais que concentram a energia térmica solar dentro da caixa. Possuem rendimento maior que os fogões de painel. Permitem temperaturas superiores a 100 graus, servindo para panificação. A construção é mais onerosa, demandando maior tempo. Este tipo de fogão necessita de certo seccionamento de acordo com o movimento da Terra, de modo a concentrar a energia solar dentro da caixa.

TESTE DE FOGOES SOLARES TIPO CAIXA

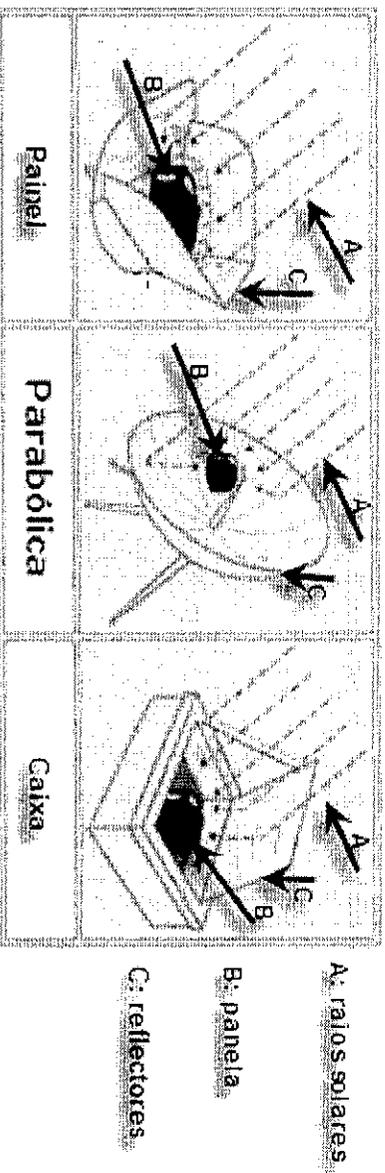


Figura 2

Fonte: solarcooker-at-cantinawest.com.

Figura 7: Tipos de fogões solares

4.1.1 Princípio de Funcionamento

O funcionamento físico do fogão solar tipo caixa reside no efeito estufa. Para melhor aproveitamento é requisitado um recipiente preto, pois assim favorecerá a absorção e transformação de energia. É importante observar que a principal fonte de calor do fogão é a chapa de metal preta, por transformar a energia a partir da radiação solar, que ocasionará o processo de convecção do ar no interior do fogão, que virá a aquecer por condução o recipiente, e só então o alimento será aquecido – recebendo o calor do recipiente. A figura 4 exemplifica de maneira esquemática o princípio físico de funcionamento de um fogão solar tipo caixa através de sua interação com a radiação.

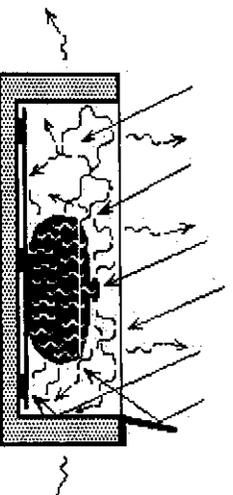


Figura 8 – Representação do fogão solar tipo caixa contendo recipiente. Fonte - SCTI, 2007.

TESTE DE FOGOES SOLARES TIPO CAIXA

Vantagens e Desvantagens

Entre suas vantagens, destaca-se a disponibilidade de energia gratuita e abundante, além da ausência de chamas, fumaça, poluição atmosférica, incêndios e explosões, menor custo no mercado e sua manutenção tem custos mínimos. As suas desvantagens não podem ser utilizada em dias chuvosos ou à noite. O tempo de cozimento é também maior no fogão solar. A maior dificuldade, porém, está na modificação de hábitos. É preciso cozinhar fora de casa e adaptar-se à sua aparência estranha, pois se parece com uma antena parabólica, dotada de um fogareiro no centro.

5. Metodologia

A metodologia do teste baseou-se na norma ASSAES 580, as experiências fora feita sob ventos fracos e insolação normal (norma ASSAE). Experiências feitas durante 3 dias, estudo feito com 3 litros de água, registro de temperaturas e de radiação a cada 10 minutos, direcionamento do fogão ao sol a cada 30 minutos.

As formulas usadas na experiencia:

$$P = \left(\frac{T_2 - T_1}{600} \right) C \quad (6)$$

Onde:

- P- Potencia do fogão;
- T2- Temperatura final do líquido;
- T1- Temperatura inicial do líquido;
- C- Capacidade calorífica [KJ/K].

NOTA: O número resultante é dividido por 600 e temos ter em conta o número de segundos em cada intervalo de 10 minutos.

Uma parte do valor obtido através da realização do primeiro procedimento, Há um segundo passo que nos dará o valor da potência normalizada de nossa cozinha. Para normalizar o nosso poder obtido na

ENERGIAS RENOVAVEIS

TESTE DE FOGÕES SOLARES TIPO CAIXA

primeira etapa, nós levar em conta parâmetros que não os descritos acima.

$$P_s = P \left(\frac{7000}{T} \right) \quad (7)$$

Onde:

P_s = potência cozinha padronizada [W]

P = Potência na cozinha [W]

I = radiação na superfície da cozinha [W/m²]

7000 = valor normalizado de radiação [W/m²]

a) Procedimentos do teste

Para ensaiar foi necessário desenvolver uma metodologia de testes. Na metodologia de teste se procurou estabelecer todas as grandezas que influem directamente no desempenho dos fogões solares e delimitar parâmetros para cada uma delas.

Equipamentos Necessários para os Ensaios:

1. Medidor de Temperatura (termopar) Solarímetro ;
2. Cronômetro ;
3. Anemômetro ;
4. Trena ou metro ;
5. Bureta de 1000 mL ;
6. Panela de alumínio: diâmetro 250 mm, espessura 0,5mm, preto fosco (absorvidade $\geq 0,86$).

Procedimentos Preliminares:

1. Medir a área do colector, inclusive os reflectores.
2. Instalar o termopar na panela, de modo que ele se mantenha no centro e a 10 mm do fundo. Os fios do termopar devem passar através de um orifício na tampa.
3. Conectar o termopar ao equipamento de medição;

TESTE DE FOGOES SOLARES TIPO CAIXA

4 Colocar 3 kg de água por metro quadrado de área do colector (ou reflector). Quando forem utilizadas mais de uma panela, é necessário repartir igualmente a água entre todas as painelas. Assegurar que a junta de medição do termopar na panela esteja submersa na água.

b) Configuração esquemática do teste

- Colocar a panela no fogão;
- Medir a velocidade do vento com o anemômetro. Anotar.
- Medir a insolação com o solarímetro. Anotar;
- Medir a temperatura ambiente e da água;
- Iniciar as medições quando a temperatura da água atingir 40 °C, terminar o ensaio quando atingir 90 °C;
- Medir a cada 10 minutos:
- Temperatura da água. Anotar;
- Temperatura ambiente. Anotar.
- Insolação. Anotar;
- Velocidade do vento. Anotar.

Restrições:

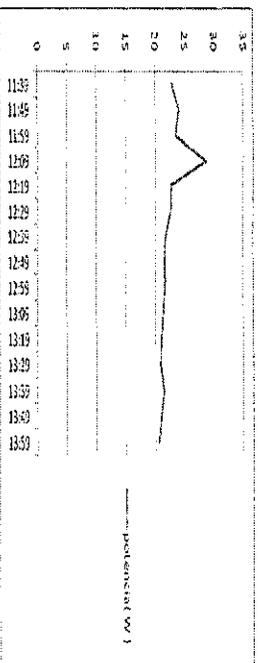
- Os experimentos deverão ser realizados entre 10 h e 14 h (Hora Solar).
- A temperatura ambiente deve estar entre 20 e 35 °C.
- A insolação deve estar entre 450 e 1100 W/m². A variação da insolação entre cada medição (10 minutos) não pode ser maior que 100 W/m².
- A velocidade do vento deve ser inferior a 2,5m/s e sua média inferior a 1m/s.

6. Resultados e Descrição

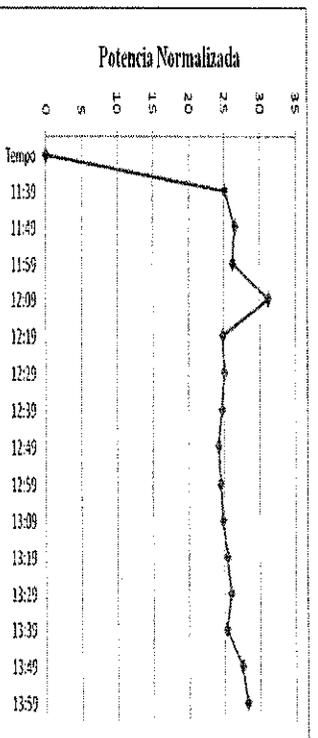
Primeiro dia:

➤ Gráfico de potência útil

TESTE DE FOGOES SOLARES TIPO CAIXA



➤ Gráfico de potência Normalizada:

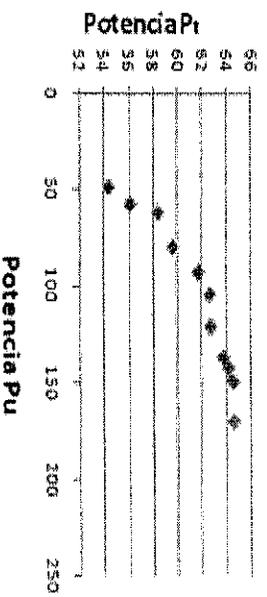


Potência P = 125 W

Potência Ps = 140W

$\eta = 38,5\%$

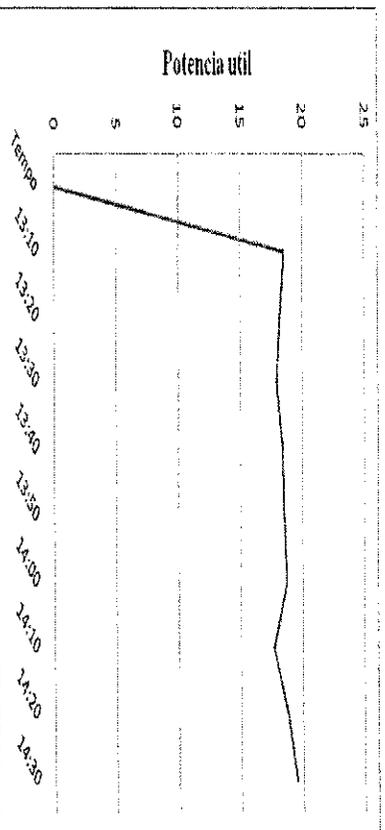
➤ Gráfico de Eficiência do Fogão.



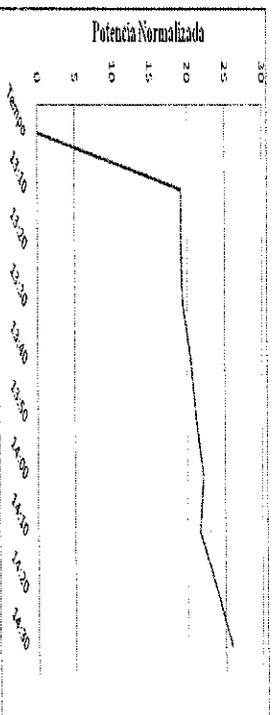
Segundo Dia:

➤ Gráfico de potência Útil.

TESTE DE FOGÕES SOLARES TIPO CAIXA



➤ Gráfico de Potencia Normalizada.



➤ Gráfico da Evolução da temperatura da água

- Temperatura máxima registrada: $T_a = 88,16^\circ\text{C}$
- Duração da experiência: Tempo = 120 minutos

TESTE DE FOGOES SOLARES TIPO CAIXA

7. Conclusão

Um fogão solar tipo caixa precisa, em média, de duas horas para ferver 3 litros de água. Um fogão solar tipo caixa tem uma potência normalizada de 140Wat e uma eficiência de 40 por cento.