



UNIVERSIDADE  
EDUARDO  
MONDLANE

**Escola Superior de Ciências Marinhas e Costeiras**

Monografia para obtenção do grau de licenciatura em oceanografia

## **Estudo da Viabilidade do Uso do Fogão Solar Tipo Parabólico**



**Autor:**

Cesárdio Noé Macamo

Quelimane, Outubro, 2017



**Escola Superior de Ciências Marinhas e Costeiras**

Monografia para a obtenção do Grau de Licenciatura em Oceanografia

**Estudo da Viabilidade do Uso do Fogão Solar Tipo Parabólico**

Autor

Cesárdio Noé Macamo

Supervisor

Msc. Noca Bernardo Furaca

---

Quelimane, Outubro de 2017

## **Dedicatória**

Dedico este trabalho aos meus pais, Noé Chipene Macamo e Judite João Monjane, que sempre acreditaram em mim dando-me forças, apoio e motivação desde o primeiro momento que ingressei na universidade, até o fim dos meus estudos.

## **Agradecimentos**

A Deus por sua graça sempre presente em nossas vidas.

Aos meus pais pelo apoio durante os anos na universidade, pela educação proporcionada, paciência, atenção, pelos cuidados e carinhos e os ensinamentos que levo comigo para a vida.

Aos meus queridos irmãos; Benilde, Darisa Anísio, que apesar da distância que nos separou o espírito de irmandade e família ficou intacto e fortalecido a cada dia que passei longe deles.

Aos amigos de infância e juventude que deixei em xai-xai; Calisto, Carlos, Fernando, Francisco, Jorge, Júlio.

Ao Dr. Noca Furaca supervisor, pela paciência, atenção, confiança e seus ensinamentos diários.

Ao dr Omar técnico responsável pelos instrumentos, pela atenção, as ajudas durante a realização do trabalho com dados questionamentos e seus ensinamentos.

Aos colegas da turma de Oceanografia de 2014 pela força para enfrentar os momentos de dificuldades, pelos momentos de estudo, de brincadeiras, das viagens, Adelino Mechico, Moisés Muholove, Kenet Muchanga, Mubarak, Abudo Suamado, Fernando da Sandra, Cândido Timba, Ernesto Tembe, Recilda Mavie, Orlando Guta, Olinda Rufo, Hilario Tamele, Jonas Chambo, Elias Sengo, Jerminio Massango, José Nhacudima, Custodio Banze, José Lobo, Manuel Jack, Joaquim Manguegue, Hélio Mangoma, Domingos Boane, Sebastião Mariquele.

A todos colegas e amigos da universidade em especial Nilton Nhamtumbo, Ermenegildo Manjate, Jonas Chambo, Elias Sengo, Lodomayke Gove, José Mário Nhacudima.

Aos colegas Ermenegildo Manjate, Custodio Banze, Elias Sengo, Hélder Carlitos, Jorge Macucule, que durante o curso, partilhamos a casa e momentos impar na vida.

Ao Ezequiel Djedje, Susana, Raul, pelo apoio incondicional, inestimável, incomparável, disponibilidade nos bons e maus momento que passei em Quelimane.

## Declaração de honra

Eu **Cesárdio Noé Macamo**, autor deste trabalho declaro por minha honra que esta monografia com o título **Estudo da viabilidade do uso do fogão solar tipo Parabólico** é resultado do meu trabalho, esforço e dedicação, e está a ser submetida a universidade Eduardo Mondlane – Escola superior de ciências marinhas e costeiras, esta monografia nunca foi, antes submetida para obtenção de nenhum grau acadêmico e muito menos para avaliação em nenhuma instituição de ensino superior no país e no exterior.

O autor

---

(Cesárdio Noé Macamo)

## Índice de figuras

Figura 1:Locais com maior disponibilidade e potencial de energias solares em Moçambique. ....	6
Figura 2: Fogão solar parabólico; Fogão em estudo. ....	9
Figura 4: Fogões e termômetro usados nos testes .....	13
Figura 5 imagem de alimentos antes e depois de preparados .....	18
Figura 6: tempo de cocção de alimentos no fogão solar tipo parabólico .....	20
Figura 7:Temperatura e precipitação média mensal registadas no país. ....	22

## Índice de tabelas

Tabela 1: Teste de ebulição da água.....	17
Tabela 2:Análise comparativa do tempo de cocção de diferentes alimentos .....	18
Tabela 3: Resumo dos parâmetros térmicos calculados no fogão solar estudado.....	21
Tabela 4: Resumo dos parâmetros térmicos calculados no fogão a carvão vegetal.....	21
Tabela 5:relaciona o tipo de fogão e o custo do uso dos fogões .....	23
Tabela 6: Dados do fogão a carvão vegetal.....	28

## **Anexos**

1. Cálculos da eficiência do fogão solar .....24
2. Cálculos da eficiência do fogão a carvão vegetal.....25

## Lista de Abreviaturas

$\eta_u$ - Eficiência útil

$\eta_t$ - Eficiência térmica

$\eta_o$ - Eficiência ótica

$\eta$ - Eficiência

Pu- Potencia útil

Pabs - Potência máxima que chega a panela

Id - Radiação solar direta incidente

Ac - Área total da superfície de captação

$\rho$  - Refletividade do concentrador

krd - Fração da radiação refletida que chega no absorvedor

$\alpha_t$  - Absortividade da panela;

Qlib- Quantidade de calor libertado;

mcc- Massa do carvão vegetal consumido;

Bc- Poder calorífico do carvão vegetal;

Qab - Quantidade de calor absorvido;

mia- Massa de água no início do teste;

Ca - Calor específico da água;

Tfa -Temperatura final da água;

Tia- Temperatura inicial da água;

Qvap - Calor de vaporização;

$m_a$ - Massa de água evaporada;

L – Calor latente de vaporização;

Kg- Quilogramas;

K- Kelvin;

Km- Kilometros;

°C – Graus celsius;

$m^2$ - Metro ao quarado;

min- Minutos;

W- watt

## Resumo

A maneira de cocção de alimentos é um dos maiores problemas enfrentados pelos países em desenvolvimento, e Moçambique não foge da regra com desmatamento das florestas (mangal) promovido pela sistemática utilização da lenha como energia no uso doméstico principalmente na área rural. Este trabalho busca avaliar a eficiência e a viabilidade do uso da energia solar no fogão solar tipo parabólico como fonte alternativa e auxiliadora ao uso de carvão vegetal, da lenha, e da eletricidade no preparo de alimentos. Traz como objetivos, avaliar a viabilidade de uso de fogão solar tipo parabólico desenvolvido na ESCMC, tendo em conta as condições da temperatura, tipo de alimento comparadas com o fogão a carvão e elétrico.

A avaliação feita indica que o fogão solar foi capaz de criar a ebulição de 500ml de água num intervalo de 32 minutos numa temperatura ambiente média de 32,12°C e radiação média de 681.48 W/m<sup>2</sup>. Os testes efetuados com arroz, ovo, batata, esparguete e Chima mostraram um tempo considerável em relação ao uso do fogão a carvão e elétrico, pelo facto de não ter gastos de operacionalidade do fogão e ser ecologicamente correto, o fogão em estudo mostrou viabilidade do seu uso durante o dia em relação aos fogões convencionais por isso recomenda-se que seja promovido nas comunidades para o seu uso.

Palavras chaves: Fogão solar, cocção de alimentos, eficiência.

### *Abstract*

The way in which food is cooked is one of the major problems faced by developing countries, and Mozambique does not escape the deforestation (mangrove) promoted by the systematic use of firewood as energy in domestic use mainly in rural areas. This work seeks to evaluate the efficiency and the viability of use solar energy in the parabolic solar cooker as an alternative and auxiliary source to the use of charcoal, firewood, and electricity in the preparation of food. It aims to evaluate the feasibility of using parabolic type solar cooker developed in the ESCMC, taking into account the temperature conditions, type of food compared to the electric and charcoal stove.

The evaluation indicated that the solar cooker was able to boil 500ml of water in a 32-minute interval at an average ambient temperature of 32.12C and average radiation of 681.48 W/m<sup>2</sup>. The tests made with rice, egg, potato, spaghetti and Chima showed considerable time compared to using coal stove and electric. Because it does not have operating expenses of the stove and to be ecologically correct. The stove in study showed viability of its use during the day in relation to conventional stoves so it is recommended that it be promoted in the communities for its use.

Keywords: Solar cooker, cooking food, efficiency.

## Índice

1. Introdução.....	2
1.1. Problematização e Justificativa .....	3
1.2. Justificativa.....	3
1.3. Objectivo .....	4
1.2.1. Geral.....	4
1.2.2. Específicos .....	4
2. Revisão da literatura.....	5
2.1. Energia Solar .....	5
2.2. Aplicações da Energia Solar .....	5
2.3. Radiação Global em Plano Horizontal de Moçambique .....	5
2.4. Mecanismos de Transferência de Calor.....	6
2.5. Transferência de Calor por Radiação .....	6
2.6. Emissão de Energia .....	7
2.7. Absorção de Energia.....	7
2.8. Reflexão de Energia.....	7
2.9. Fogões solares.....	7
2.9.1. Fogão solar Parabólico (concentrador) .....	8
2.9.2. Fogão tipo caixa.....	9
2.9.3. Fogões Solares com Armazenamento .....	9
2.10. Energia de biomassa .....	10
3. Metodologia .....	12
3.1. Área de estudo .....	12
3.3. Equipamentos Utilizados nos testes .....	12
3.4. Procedimentos Preliminares .....	13
3.5. Procedimento Operacional .....	13
3.6. Eficiência útil.....	14
3.7. Eficiência óptica .....	14
3.8. Eficiência térmica.....	14
3.9. Potência Máxima Absorvida .....	14
3.10. Potência Útil.....	14
3.11. Eficiência do fogão a carvão vegetal .....	15
3.12. Calor libertado durante a combustão ( $Q_{lib}$ ).....	15
3.13. Calor absorvido pela água ( $Q_{ab}$ ) .....	15
3.14. Calor de vaporização ( $Q_{vap}$ ) .....	15

4.	Resultados e discussão .....	17
4.1.	Teste de ebulição da água.....	17
4.2.	Testes de cocção de alimentos.....	17
4.3.	Determinar os períodos para o cozimento de vários produtos.....	19
4.4.	Comparar a eficácia do fogão Solar com a do fogão a carvão vegetal ou elétrico.....	20
4.5.	Eficiência útil do fogão solar.....	20
4.6.	Eficiência do fogão a carvão vegetal.....	21
4.5.	Custos e rentabilidade do fogão .....	21
5.	Conclusão .....	24
5.1	Sugestões.....	24
6.	Referências .....	25

## 1. Introdução

A utilização da energia solar vem de longa data sendo mencionado em trabalhos científicos, registros históricos mencionam o uso de espelhos solares utilizados como armamento bélico já na época do império Romano, isso, a pelo menos dois séculos antes de Cristo.

A cocção com a energia do sol não é uma ideia recente. O primeiro cientista que testou o cozimento solar foi um alemão físico chamado Tschirnhausen (1651-1708). Ele usou uma lente grande para concentrar os raios do sol e ferver água em um pote de argila.

Estima-se que cerca de um terço da população mundial (2 bilhões de pessoas) dependem de lenha para satisfazer suas necessidades energéticas domiciliares diariamente (DAMASCENO & OLIVEIRA, 2009). Segundo avaliação feita pela UNICEF, um terço do consumo de lenha do mundo (350 milhões de toneladas por ano) poderia ser preservado com o uso dos fogões solares. A lenha é denominada energia dos pobres por ser parte significativa da base energética dos países em desenvolvimento, representando 95% da fonte de energia em vários países. O uso da lenha em cozimento dentro de casa leva a morte de 1,6 milhões de pessoas, devido à poluição em ambientes internos. O uso sistemático da lenha conduzirá a humanidade para uma matriz energética insegura e, sobretudo, bastante negativa para o meio ambiente (GOMES, 2009).

O emprego do fogão solar como uma alternativa energética na cocção dos alimentos é atualmente uma alternativa ecologicamente importante e correta, tendo em vista que mais de 3 bilhões de pessoas no mundo dependem diariamente de lenha para satisfação de suas necessidades energéticas direcionadas para a utilização domiciliar (cocção de alimentos e aquecimento).

A principal vantagem do uso do fogão solar é a disponibilidade de energia gratuita e abundante, além da ausência de chamas, fumaça, perigo de explosões e incêndios. A energia solar não polui durante seu uso entretanto, o método não elimina o uso do fogão convencional, pois o fogão solar não pode ser usado em dias chuvosos ou à noite. A maior dificuldade está na modificação de hábitos tendo em vista que a cocção precisa ser feito fora de casa.

Em Moçambique e em demais países do continente africano possuem um potencial invejável de radiação solar. Seu uso proporciona conforto térmico com economia de energia elétrica, diminui a retirada de madeira para cocção de alimentos e constitui fonte de renda com a secagem e comercialização de alimentos.

O uso do fogão solar do tipo parabólico pode representar uma grande contribuição para a socialização de fogões solares, principalmente na região centro, de Moçambique privilegiada em relação ao potencial solar, combatendo a desertificação e a emissão de poluentes pela utilização massiva da

lenha, causadores de desequilíbrio ecológico nessa região do país. A massificação do uso de fogões solares pode representar uma contribuição importante para a diminuição do sofrimento de milhões de Moçambicanos que não dispõem de energia para a cocção de alimentos.

Cozinhar sem produzir efeitos potencialmente danosos ao ambiente é absolutamente necessário para qualquer país em desenvolvimento. Comumente as vantagens de energia solar se baseiam no conceito da não poluição. O material solar não exige grande manutenção, pode ser usado onde é necessário e tem um impacto de grande importância na redução do mau uso da energia.

### **1.1.Problematização e Justificativa**

Como o uso de um fogão solar do tipo parabólico pode contribuir na melhoria da qualidade de vida dos cidadãos Moçambicanos no uso doméstico?

A maneira de cocção de alimentos é um dos maiores problemas enfrentados pelos países em desenvolvimento. O desmatamento promovido pela sistemática utilização da lenha como energia no uso doméstico principalmente na área rural, torna estas regiões susceptíveis a graves desastres quando da passagem de ciclones, comuns nessa região nos últimos tempos. Este tipo de sistema de cocção tem contribuído para os muitos desafios que o país enfrenta, o desmatamento aumenta a erosão e a poluição dos rios aumenta a vulnerabilidade a inundações. (FILHO & ANUNCIAÇÃO, 2008)

A lenha possui dois grandes problemas associados ao seu uso como fonte de energia, primeiramente sua colheita destrói o ecossistema e em segunda instância, sua queima libera gases de carbono que poluem o ar. A utilização do carvão vegetal e da lenha leva à poluição, causando graves doenças respiratórias. (ELIELZA, ANA, ELAINE, & EDUARDO, 2007)

A mudança climática aumentará a frequência e a intensidade dos fenómenos que já acontecem no país e se continuarmos com o mesmo sistema de energia para cocção os desastres serão ainda maiores. Melhorar o acesso ao serviço de energia moderna e alternativa para cocção ao povo é uma das principais prioridades deste estudo. (ELIELZA, ANA, ELAINE, & EDUARDO, 2007)

### **1.2.Justificativa**

Este trabalho busca avaliar a eficiência e a viabilidade do uso da energia solar no fogão solar tipo parabólico, como fonte alternativa e auxiliadora ao carvão vegetal, a lenha, ao gás de cozinha e a eletricidade no preparo de alimentação doméstica.

No entanto, a realidade na maioria das áreas rurais nos países em desenvolvimento continua ano após ano a utilização de combustíveis tradicionais (lenha e carvão vegetal vegetal) em fogões ineficientes vem alimentando as gerações e devastando o meio ambiente. (ELIELZA, ANA, ELAINE, & EDUARDO, 2007)

Uma das desvantagens da utilização dos fogões e combustíveis tradicionais é a baixa eficiência de combustão.

A utilização de um fogão que possui a luz solar como fonte energética, certamente diminuirá a taxa de desmatamento e as doenças ocasionadas e agravadas pela utilização do carvão vegetal vegetal nas residências. Deste modo, as famílias teriam um sistema confiável, limpo e alternativo à utilização de madeira/lenha. O melhor da energia solar é que esta é uma fonte inesgotável, abundante, limpa e ecologicamente correta.

Este fogão pode ser produzido a nível industrial caso sua eficiência seja comprovada no presente estudo.

### **1.3. Objectivo**

#### **1.2.1. Geral**

- Estudar a eficiência do fogão solar Tipo Parabólico

#### **1.2.2. Específicos**

- Determinar os períodos para o cozimento de vários produtos;
- Comparar a eficácia do fogão Solar com a do fogão a carvão vegetal ou a gás;
- Avaliar os custos e rentabilidade do fogão.

## **2. Revisão da literatura**

### **2.1. Energia Solar**

A energia do Sol provem da fusão termonuclear de elementos leves, principalmente o hidrogénio, que num processo complexo origina hélio e transforma parte da massa das partículas que interagem em energia térmica, ou solar, como normalmente chamamos e que chega até a Terra na forma de energia eletromagnética, especialmente luz visível.

A radiação solar que atinge o topo da atmosfera terrestre provem da região da fotosfera solar com aproximadamente 300 km de espessura e temperatura superficial da ordem de 5800 K (aproximadamente 5.527 °C) (DUFFIE & BECKMAN, 1991).

### **2.2. Aplicações da Energia Solar**

Historicamente, o homem faz uso da energia solar de maneira intuitiva desde simples aplicações como conservação de alimentos através da secagem ao ar livre, beneficiamento de couro de animais para confecção de vestimentas e utensílios a aplicações mais elaboradas do tipo utiliza-la como artefato bélico.

Atualmente, com o desenvolvimento das ciências e pesquisas voltadas para a necessidade de obtenção de novas fontes de energia renováveis, o homem vem buscando formas alternativas e eficientes para melhor aplicação da energia solar (FILHO & ANUNCIACÃO, 2008).

### **2.3. Radiação Global em Plano Horizontal de Moçambique**

A possibilidade da utilização de equipamentos solares depende primeiramente do potencial da energia solar da região. O potencial de energia solar de uma região é uma característica que está relacionada fundamentalmente a quantidade de radiação disponível no local durante o ano e a quantidade de horas de insolação por dia. (FUNAE, 2015).

Em Moçambique, a radiação global em plano horizontal varia entre os 1.785 e 2.206 kWh/m<sup>2</sup>/ano.

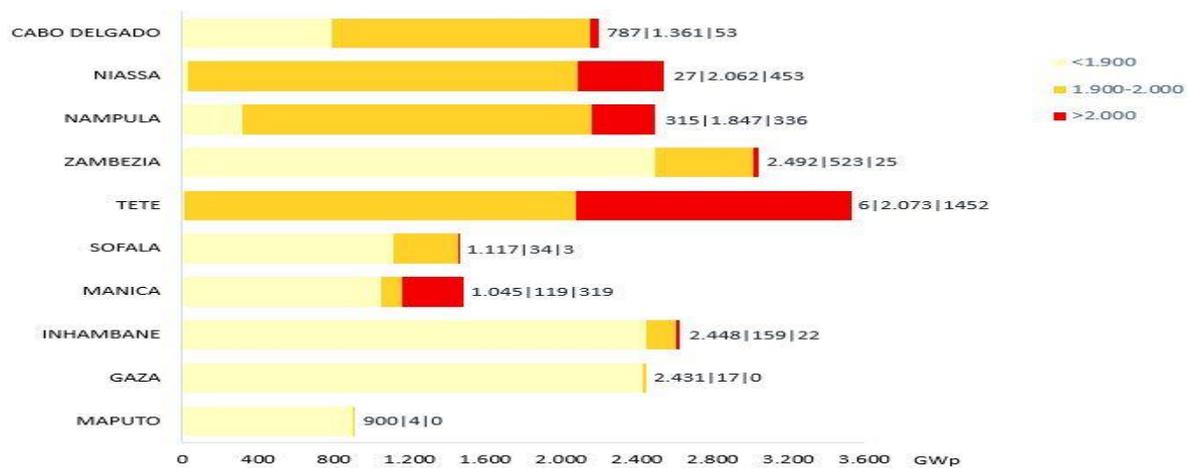


Figura 1: Locais com maior disponibilidade e potencial de energias solares em Moçambique.

Fonte: (FUNAE, 2015)

## 2.4. Mecanismos de Transferência de Calor

Por experiência, sabe-se que a transferência de energia sob a forma de calor ocorre da diferença de temperatura entre um sistema e sua vizinhança, e somente na direção decrescente de temperatura (MORAN & SHAPIRO, 2002). Logo, para um sistema onde se pretende absorver calor e utilizá-lo durante o maior tempo possível, necessita-se conhecer os mecanismos de transporte de calor, tanto para alcançar as temperaturas desejadas, quanto para não perdê-las durante o processo.

São três os métodos utilizados para avaliação de transferência de energia sob a forma de calor, a saber:

- Transferência de Calor por Condução;
- Transferência de Calor por Radiação;
- Transferência de Calor por Convecção;

## 2.5. Transferência de Calor por Radiação

A energia vinda do Sol atravessa o espaço, depois a atmosfera terrestre para então, aquecer a superfície da Terra. O mecanismo presente nesse processo se chama radiação, mais especificamente radiação eletromagnética, “incluindo a luz visível”.

A radiação solar constitui-se numa inesgotável fonte energética, esse fato indica que além de ser responsável pela manutenção da vida terrestre, tem também um grande potencial de utilização por meio de sistemas de captação e conversão em outras formas de energia. Exemplo disso é a evaporação, processo que ocorre a partir da energia do Sol, e que possibilita o represamento das águas e a consequente geração hidroelétrica. Assim como também a energia eólica utiliza-se da radiação solar quando induz a circulação atmosférica em larga escala, causando os ventos (Lion, 2007).

Os países tropicais são bastante favoráveis ao uso de equipamentos solares devido a sua posição geográfica, recebendo maiores quantidades de radiação solar e ainda possuem mais dias de sol que os países subtropicais e temperados (LOSTER, 2006)

## **2.6.Emissão de Energia**

Todas as substâncias a qualquer temperatura acima do zero absoluto emitem energia radiante. Quando essa energia radiante encontra um objeto, parte dela é absorvida e parte é refletida. A parte que é absorvida aumenta a energia térmica do objeto. Se esse objeto é a sua própria pele, você sente a radiação como calor. Quando um objeto está bastante quente, certa parte da energia radiante emitida está na faixa da luz visível (JOSÉ, 2008).

## **2.7.Absorção de Energia**

Bons emissores de energia radiante são também bons absorvedores dela; maus emissores são maus absorvedores. Toda superfície, quente ou fria, tanto absorve como emite energia radiante.

Se a superfície absorve mais do que emite, como é o caso das roupas de cores escuras, ela é predominantemente um absorvedor e sua temperatura se eleva.

De modo que um bom absorvedor parece escuro e um absorvedor perfeito não reflete qualquer energia radiante e parece completamente negro (JOSÉ, 2008).

## **2.8.Reflexão de Energia**

A absorção e a reflexão são processos que se opõem. Bons refletores são maus absorvedores. Roupas e ambientes de cores mais claras são mais confortáveis sob condições de temperatura elevada justamente por refletirem a radiação solar. Portanto, uma superfície que reflete muito pouco ou nada de energia radiante aparece como escura (JOSÉ, 2008).

## **2.9.Fogões solares**

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 (SOUZA et al., 2012; NETO, 2010).

Existem três tipos básicos de fogões solares:

Concentradores

Estufa

Sistema com coletor solar separado da unidade de cozimento.

### **2.9.1. Fogão solar Parabólico (concentrador)**

São fogões que captam a radiação solar e a concentram numa região focal, onde se posiciona o absorvedor ou forma, promovendo a cocção dos alimentos. Para que façam essa captação e reflexão da luz solar necessitam de refletores, geralmente espelhos distribuídos em uma superfície de forma côncava (SOUZA R. F., 2014).

Este tipo de fogão possui um formato parabólico, ou seja, é constituído de parabólicas ou semi-parabólicas que captam a radiação solar e a concentram numa região focal, onde se posiciona a panela. O fogão Parabólico possui melhor rendimento do que os tipos Painele e Caixa. Permite-se uma alta temperatura, superior a 300°C, podendo chegar a 500°C (FOGAOSOLAR).

A cada 15 ou 20 minutos, é necessário um reajuste do angulo da parabólica. Seu rendimento não tem muito de diferente da energia térmica do fogão a gás convencional, às vezes, é igual ou superior. Leva menor tempo para cozinhar do que os outros tipos. São utilizados onde se requer temperaturas muito altas (NETO, 2011).

Aproveitando a energia que vem do sol, o fogão transforma a irradiação solar em calor para o preparo de alimentos, reduzindo o esforço do povo na busca de lenha para o preparo de seu alimento e, ainda, contribuindo para a preservação da natureza, possibilitando o aumento da capacidade de remoção do dióxido de carbono da atmosfera e a redução das concentrações deste gás de estufa na atmosfera. (Lion, 2007).

Estima-se que 30% da madeira retirada nas florestas mundiais transformam-se em lenha para cozimento de alimentos. Com a utilização dos fogões solares será possível economizar até 55% dessa lenha evitando o desmatamento. A principal vantagem do uso do fogão solar é a disponibilidade de energia gratuita e abundante, além da ausência de chamas, fumaça, perigo de explosão e incêndios. (Bezerra 2001).

As principais características dos fogões Parabólicos são (SOUSA, 2014):

- Temperatura de aquecimento: bem variável dependendo do tamanho da parábola refletora, podendo ultrapassar 800°C.
- Tempo de aquecimento: Rápido, quando comparado com outros fogões.
- Necessita de luz solar direta;
- Mecanismo de acompanhamento da trajetória do sol com reorientação a cada 30 minutos;
- Esfriamento rápido do alimento se há desvio de foco ou nebulosidade acentuada;
- Instável a ventos;
- Risco de fogo ou queimaduras;
- Danos aos usuários por raios refletidos e o fato de ficar exposto ao tempo.

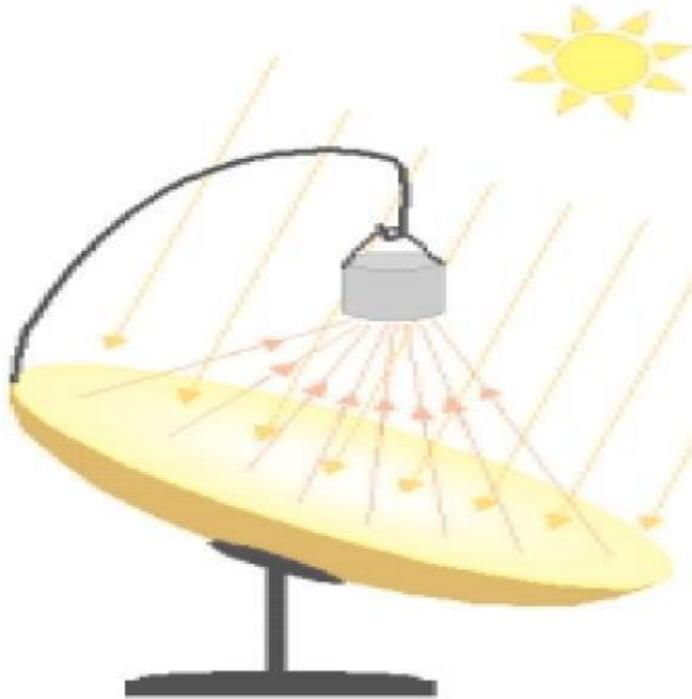


Figura 2: Fogão solar parabólico; Fogão em estudo.

### **2.9.2. Fogão tipo caixa**

Pode ser de diversos materiais, mas todos devem possuir um vidro ou algum outro material transparente que permita a passagem dos raios solares para seu interior e mantenha boa parte do calor, necessário para assar o alimento. Geralmente a sua estrutura é pintada de preto para facilitar o armazenamento de calor conforme é sabido que a maior absorção é realizada pelo corpo negro.

Os fogões solares tipo estufa aproveitam não só a radiação direta (como nos fogões concentradores), mas também a radiação difusa. Assim é possível o seu funcionamento em dias parcialmente nublados. O isolamento térmico permite que a cocção continue durante um determinado tempo, mesmo na ausência de radiação solar.

Entretanto, o vidro dificulta o acesso à panela, e no cozimento de alimentos que necessitam uma interferência constante, o funcionamento fica prejudicado.

### **2.9.3. Fogões Solares com Armazenamento**

Os fogões solares com armazenamento possuem um coletor solar separado da unidade de cozimento. O fluido de trabalho (água ou óleo) é aquecido pelo coletor solar e é levado para a unidade de cozimento por mecanismo de termosifão. A grande vantagem deste sistema é que a unidade de cocção pode ficar dentro de casa, eliminando o desconforto de cozinhar ao ar livre, fora de casa. Além disso,

um reservatório armazena o fluido aquecido e permite que se possa cozinhar à noite. Entretanto, são muito mais complexos e caros que os demais tipos de fogões solares.

## **2.10. Energia de biomassa**

A biomassa é o material orgânico, não-fóssil, que possui energia química no seu interior, incluindo as vegetações aquáticas e terrestres, lixo orgânico, resíduos da agricultura, esterco de animais e outros restos industriais (OMACHI, 2004). Encontra-se no padrão de energia renovável, podendo ser sustentada dependendo da forma que seja manejada (REIS, FADIGAS, & CARVALHO, 2005). A transformação da biomassa em energia ocorre por diferentes processos. Os diferentes processos de transformação do material da biomassa em energia podem ser a combustão, fermentação, gaseificação e outros. O processo de combustão é o processo de calor da madeira, sendo esse o processo ocorrente na lenha.

A lenha é ainda uma opção muito usada para cozimento pelas comunidades de baixa renda por ter um baixo custo de aquisição, comparado a eletricidade e por ser de fácil acesso para quem vive próximo à mata. A utilização de lenha no setor residencial é quase exclusivamente para a cocção de alimentos e para o aquecimento das residências em regiões frias. A energia utilizada para a cocção representa mais de 96% do consumo total de energia útil residencial na classe de renda inferior (e 55% na superior), demonstrando que quase toda a energia consumida pela classe mais pobre destina-se à cocção de alimentos (AROUCA, GOMES, & ROSA, 1983).

O principal motivo do desmatamento desse bioma é a utilização da madeira como fonte de energia, onde é retirada a mata para o uso de lenha e carvão vegetal ou aproveita-se o material retirado da área desmatada para outros fins.

A lenha possui vantagens e desvantagens quando comparada aos combustíveis à base de petróleo. Entre as vantagens está o baixo custo de aquisição e a seu caráter renovável o que lhe confere a possibilidade de que, se bem manejado, seu uso seja sustentável ou tenha menos impacto ambiental. Como desvantagens tem-se um menor poder calorífico, maior possibilidade de geração de material particulado para a atmosfera e as dificuldades no estoque e armazenamento (GRAUER & KAWANO, 2001).

Além das desvantagens citadas anteriormente, existe a menor eficiência comparando os fogões a lenha a fogões a gás. O fogão a lenha é menos eficiente, pois usa no máximo 25% da energia gerada. (LÓPEZ & SILVA, 2000). Os fogões a lenha utilizados para a cocção, na sua maioria, possuem baixa eficiência. A eficiência energética apresentada por fogões à lenha convencional, geralmente é menor que 10% (SANGA, 2004).

O carvão vegetal, utilizado particularmente nas zonas urbanas é derivado de abate indiscriminado de florestas nativas sem reposição das árvores abatidas. A sua exploração é insistentemente feita por via

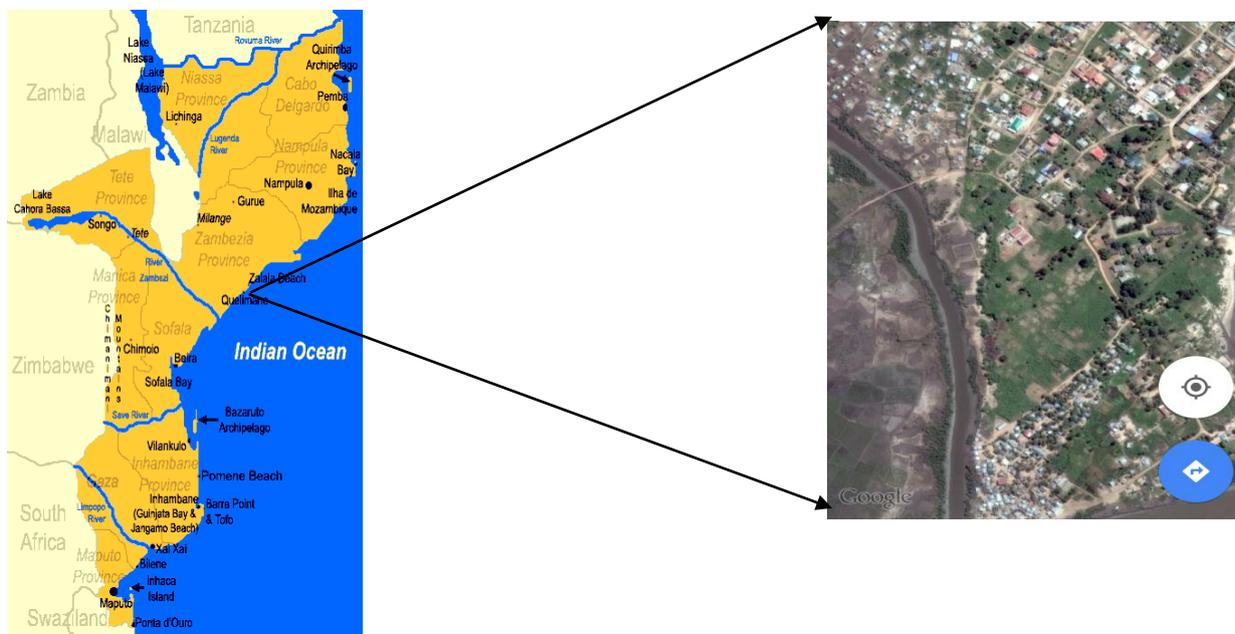
de métodos tecnológicos menos eficientes e tradicionais, quer dizer, um consumo baseado em fogões a carvão vegetal, pouco eficaz (SITOE, SALOMÃO, & WERTZ-KANOUNNIKOFF, 2012).

A lenha sempre foi uma importante fonte de energia para a humanidade. Com os avanços da tecnologia a lenha passou a ser substituída por combustíveis fósseis pelas sociedades em desenvolvimento, (BITTENCOURT, 2005).

### 3. Metodologia

#### 3.1. Área de estudo

O trabalho foi realizado na Província da Zambézia, cidade de Quelimane na Escola Superior de Ciências Marinhas e Costeira, laboratório de engenharia situada no Bairro Chuabo Dembe entre a latitude  $17^{\circ}52'24''S$  e longitude  $36^{\circ}51'31''E$



Para a realização deste presente trabalho, foi usado o método de observação direta e registo de dados de variação da temperatura nos fogões solar, a carvão vegetal e elétrico. Seguido de processamento e análise de dados no pacote estatístico Microsoft Excel.

O teste do fogão solar tipo parabólico foi realizado durante vários dias. Bastando pra tal ter temperaturas iguais ou superior a  $28^{\circ}C$ .

As medições do fogão solar por realizar são:

Temperatura ambiente do ar;

Temperatura do foco;

Temperatura dentro da panela;

Foram consideradas: Medição das temperaturas a cada 10 minutos.

A velocidade do vento foi desprezada.

Localização geográfica em área aberta, de forma a obter melhor exposição e focalização da radiação solar (CLARK, 1996).

#### 3.3. Equipamentos Utilizados nos testes

- Termômetros;

- Cronometro;
- Fogão solar
- Fogão elétrico
- Fogão a carvão vegetal de boca quadrada.
- Panela de alumínio: recomendado diâmetro 250 mm, espessura 0,5mm, preto teflon (Absortividade  $\geq 0,86$ );



Figura 3: Fogões e termômetro usados nos testes

### 3.4.Procedimentos Preliminares

Posicionar o fogão solar proposto em local aberto, onde haja a melhor captação da radiação solar pelo maior espaço de tempo possível;

Posicionar os termômetros de maneira favorável para a obtenção das leituras;

### 3.5.Procedimento Operacional

Ajustar os refletores para as posições iniciais visando obter o máximo de radiação solar no foco

Ler e anotar com intervalo de tempo de 10 minutos as temperaturas ambiente, da água dentro da panela e no foco.

1. Determinar os períodos para o cozimento de vários produtos

Para determinar os períodos de cocção de vários produtos foi realizado o controlo das variações da temperatura a cada 10 minutos, de modo a saber quanto tempo mínimo necessário para a cocção de um certo tipo de alimento.

2. Comparar a eficácia do fogão Solar com a do fogão a carvão vegetal ou elétrico

Para comparar a eficácia dos dois fogões foram comparados os tempos de cocção de diferentes tipos de alimentos dos dois fogões, com intervalos de 10 minutos nas medições de temperatura em ambos fogões e depois fez-se os cálculos das eficiências dos fogões.

### 3.6.Eficiência útil

Este parâmetro determina o percentual de toda a energia solar radiante que chega na superfície refletora e é transferida para o fluido de trabalho.

A eficiência útil do ciclo pode ser representada através da equação:

$$\eta_u = \eta_o \times \eta_t$$

### 3.7.Eficiência óptica

Este parâmetro determina o percentual de toda a energia solar radiante que chega na superfície refletora e é enviado para o absorvedor. O percentual da energia radiante que chega na superfície refletora e não é enviado para o absorvedor, constitui-se nas perdas ópticas do sistema.

$$\eta_o = \rho \cdot Krd \cdot \alpha$$

### 3.8.Eficiência térmica

Este parâmetro determina o percentual da energia que chega ao absorvedor é transferida para o fluido de trabalho.

$$\eta_t = \frac{P_u}{I_c \cdot A_c \cdot \eta_o}$$

### 3.9.Potência Máxima Absorvida

A potência absorvida pelo absorvedor é dada pela equação

$$P_{abs} = I_d \cdot A_u \cdot \rho \cdot Krd \cdot \alpha$$

### 3.10. Potência Útil

A potência útil ( $P_u$ ) do sistema em (W), é dada pela diferença entre a potência máxima absorvida ( $P_{abs}$ ) e a potência perdida ( $P_{perdida}$ ), como se segue:

$$P_u = P_{abs} - P_{perdida}$$

Onde:

**$P_{abs}$**  - Potência máxima que absorvida pela panela (W)

**$I_d$**  - Radiação solar direta incidente (W/m<sup>2</sup>)

**$A_u$**  = ( $A_c - A_s$ ) - Área útil do concentrador (m<sup>2</sup>)

**$A_c$**  - Área total da superfície de captação (m<sup>2</sup>)

**$A_s$**  - Área sombreada pela panela(m<sup>2</sup>)

$\rho$  - Refletividade do concentrador (%)

$krd$  - Fração da radiação refletida que chega no absorvedor (%)

$\alpha t$  - Absortividade da panela (%)

### 3.11. Eficiência do fogão a carvão vegetal

A eficiência ( $\eta$ ) de um sistema qualquer é uma grandeza que caracteriza o seu rendimento e é dado pela razão entre a energia útil e a energia motora fornecida ao sistema. A eficiência do fogão a carvão vegetal é dado pela relação entre a quantidade de calor utilizado efetivamente para o fim previsto (cozinhar) ( $Q_{ef}$ ) e a quantidade de calor libertado durante a combustão ( $Q_{lib}$ ).

$$\eta = \frac{Q_{ab} + Q_{vap}}{Q_{lib}}$$

### 3.12. Calor libertado durante a combustão ( $Q_{lib}$ )

Mede-se pela quantidade de calor libertado durante a combustão total de uma unidade de massa do combustível.

$$Q_{lib} = Bc \cdot m_{cc}$$

Onde:  $Q_{lib}$ - Quantidade de calor libertado;

$m_{cc}$ - Massa do carvão vegetal consumido em Kg;

$Bc$ - Poder calorífico do carvão vegetal. O seu valor é uma constante:  $Bc: 2.97 \cdot 10^7 \text{ JKg}^{-1}$

### 3.13. Calor absorvido pela água ( $Q_{ab}$ )

É o calor necessário para elevar a temperatura de uma certa massa de água até a ebulição. Este calor depende da massa e da temperatura inicial da água.

$$Q_{ab} = m_{ia} \cdot C_a (T_{fa} - T_{ia})$$

Onde:  $Q_{ab}$  - Quantidade de calor absorvido;

$m_{ia}$ - Massa de água no início do teste em quilogramas (Kg);

$C_a$  - Calor específico da água. O seu valor é uma constante igual a  $4,2 \cdot 10^3 \text{ JKg}^{-1}$ ;

$T_{fa}$  - Temperatura final da água em Kelvin (K) e

$T_{ia}$ - Temperatura inicial da água também medida em Kelvin (K).

### 3.14. Calor de vaporização ( $Q_{vap}$ )

É a quantidade de calor necessário para transformar uma massa de água em vapor:

$$Q_{vap} = m_a \cdot L$$

Onde:  $Q_{vap}$  - Calor de vaporização;

$m_a$ - Massa de água evaporada em quilogramas (Kg);

$L$  – Calor latente de vaporização, o seu valor é  $L = 2,26.10^6 \text{JKg}^{-1}$

### 3. Avaliar os custos e rentabilidade do fogão

Para avaliar os custos e rentabilidade do fogão foram relacionados três aspetos:

- Cálculo total dos custos do material envolvido na construção do fogão;
- A eficácia do fogão; e
- Tempo de vida útil do fogão (durabilidade).

## 4. Resultados e discussão

Para analisar os resultados do fogão solar foram coletados dados dos ensaios de ebulição de água, de cozimento.

### 4.1. Teste de ebulição da água

Para analisar a capacidade do fogão na cocção de alimentos e necessário saber se o fogão consegue fazer certa quantidade de água entrar em ebulição. (SOUSA, 2014).

Tabela 1: Teste de ebulição da água no fogão solar em estudo

Horas	Temperatura Ambiente T °C	Temperatura Foco T °C	Temperatura Panela T °C	Radiação W/m <sup>2</sup>	
10:25		31,4	35,6	29,9	658,25
10:35		31,8	71,9	82,2	670,89
10:45		32,1	98,4	89,8	684,22
10:55		32,6	108,1	95,6	695,95
10:57		32,7	115,4	100	698,1
Média		32,12	85,88	79,5	681,482

No teste realizado, foi utilizado 500ml de água. O teste teve a duração de 32 minutos para a água entrar em ebulição, levando mais tempo para a água entrar em ebulição em relação fogões convencionais. Este tempo mostra se viável para um fogão solar visto que depende da radiação solar e normalmente as populações preparam as suas refeições no quintal. Porém o fogão a carvão vegetal e o fogão elétrico conseguem fazer o mesmo processo em 20 minutos e 12 minutos respectivamente (CAZULE, 2013).

### 4.2. Testes de cocção de alimentos

Para os testes foram escolhidos alimentos que são consumidos no cotidiano dos Moçambicanos. A figura abaixo ilustra alguns dos alimentos antes e depois de serem cozidos no fogão solar:



Figura 4 imagem de alimentos antes e depois de preparados

Tabela 2: Análise comparativa do tempo de cocção de diferentes alimentos

Alimento	Tempo de cocção (min)			
	Tipo de Alimento	Fogão solar	Fogão a Carvão vegetal	Fogão Elétrico
0.250	Arroz	57	40	35
0.400	Batata doce	100	80	40
0.200	Massa esp.	40	35	20
0.500	Chima	80	50	30
Um ovo	Ovo	15	9	5

### **4.3. Determinar os períodos para o cozimento de vários produtos**

Para Determinar os períodos para o cozimento no fogão solar é necessário fazer alguns testes de cocção de alimentos.

#### **– Cocção de arroz**

O teste foi realizado com radiação media global de  $695.49 \text{ W/m}^2$ , a temperatura ambiente media foi de  $32.12 \text{ }^\circ\text{C}$ , a humidade relativa media foi de 48%. Depois da ebulição de 1,2 L de água, em 32 minutos, 250 g de arroz foram colocados na panela e após 57 minutos o arroz cozeu.

O tempo total de cocção do arroz foi de 89 minutos, que foi muito superior em relação aos fogões convencionais a carvão vegetal e elétrico em torno de 40 minutos e 35 minutos em media respetivamente.

#### **– Cocção de Chima**

O teste foi realizado com radiação media global de  $702.18 \text{ W/m}^2$ , a temperatura ambiente media foi de  $32.02 \text{ }^\circ\text{C}$ , a humidade relativa media foi de 50%. Depois da ebulição de 1 L de água e 150g de farinha de milho foram colocados na panela e apos 80 minutos o arroz cozeu.

O tempo total de cocção do arroz foi de 89 minutos, que foi muito superior em relação aos fogões convencionais a carvão vegetal e elétrico em torno de 50min e 30min em media respetivamente.

#### **– Cocção de massa esparguete**

O teste foi realizado com ótimas condições solares, com radiação media global de 721.29 a temperatura ambiente media em volta de  $30,7 \text{ }^\circ\text{C}$ , A humidade relativos media de 41%. Na panela foram colocados 500 ml de água e 200g de massa esparguete.

O tempo necessário para cocção da massa esparguete foi de 72 minutos, que foi superior em relação aos fogões convencionais a carvão vegetal e elétrico em volta de 35 minutos e 20 minutos em media respetivamente.

Depois da cocção da massa preparou se o molho de tomate que durou 5 minutos totalizando o tempo em 77 minutos.

#### **– Cocção da batata-doce**

O teste foi realizado com ótimas condições solares, com radiação media global de  $703.45 \text{ W/m}^2$  a temperatura ambiente media foi de  $31,9 \text{ }^\circ\text{C}$ , e humidade relativa media de 57%. A quantidade de batata foi de 400g que cozeu em 100 minutos, que se mostrou competitivo em relação aos fogões

convencionais a carvão vegetal e elétrico em volta de 80 minutos e 40 minutos em média respectivamente.

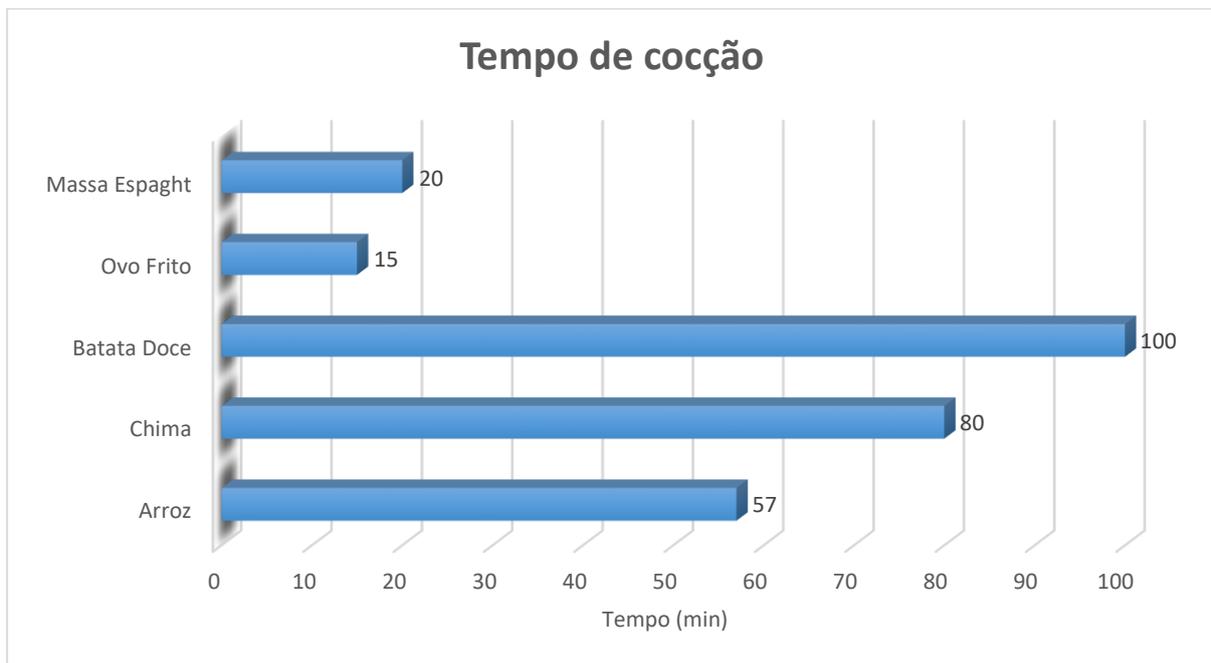


Figura 5: Tempo de cocção de alimentos no fogão solar tipo parabólico

#### 4.4. Comparar a eficácia do fogão Solar com a do fogão a carvão vegetal ou elétrico

A comparação da eficácia dos fogões solares e fogão a carvão vegetal foi feita usando as equações disponíveis nos anexos, onde foram calculados os parâmetros de eficiência dos fogões. Para o efeito realizou-se o teste num período em que registava-se aumento da incidência solar antes de atingir o pico máximo entre as 10h – 11h. A radiação solar global média para o período escolhido foi de  $681,48\text{W}/\text{m}^2$  os dados da radiação foram obtidos no programa espectro da universidade federal do Rio Grande do Sul-Brasil, que possui uma margem de erro menor que 10%.

#### 4.5. Eficiência útil do fogão solar

$$\eta_u = \eta_{ox} \eta_t$$

$$\eta_u = 0,77 * 0,89 = 0,68$$

Tabela 3: Resumo dos parâmetros térmicos calculados no fogão solar estudado.

<b>Parâmetros</b>	<b>Resultados</b>
Potencia absorvida	$P_{abs} = 293,66 \text{ W}$
Potencia perdida	$P_{perdida} = 29,36 \text{ W}$
Potencia útil	$P_u = 264,29 \text{ W}$
Eficiência Ótica	$\eta_o = 0,77$
Eficiência térmica	$\eta_t = 0,89$
Eficiência útil	$\eta_u = 0,68$

#### 4.6. Eficiência do fogão a carvão vegetal

$$\eta = \frac{Q_{ab} + Q_{vap}}{Q_{lib}}$$

$$\eta = 0,52$$

Tabela 4: Resumo dos parâmetros térmicos calculados no fogão a carvão vegetal

<b>Parâmetros</b>	<b>Resultados</b>
Eficiência total	$\eta = 0,52$
Calor libertado durante a combustão	$Q_{lib} = 5,346 \cdot 10^7 \text{ J}$
Calor absorvido pela água	$Q_{ab} = 277,2 \cdot 10^3 \text{ J}$
Calor de vaporização	$Q_{vap} = 0,452 \cdot 10^6 \text{ J}$

Os valores acima traduzem uma boa eficiência útil do fogão solar com um aproveitamento superior a 50%, e ressaltar que os testes da eficiência foram colhidos com uma temperatura ambiente de 32°C mostrando deste modo resultados satisfatórios, e boa viabilidade para uso doméstico, quando comparado com a eficiência do fogão a carvão vegetal que também mostrou boa eficiência térmica mas torna o seu uso muito caro e prejudicial ao meio ambiente por causa do uso do combustível lenhoso.

#### 4.5. Custos e rentabilidade do fogão

A partir da avaliação dos resultados dos ensaios do fogão solar em estudo, podem-se comparar os benefícios do mesmo com seu custo e dificuldades de uso.

O fogão em estudo apresenta um custo de fabricação em torno de 1000 mts (mil meticais). A comparação é feita avaliando o custo do carvão vegetal e o custo da energia em KWh para o fogão elétrico, com o preço do fogão solar, visto que não há custo do combustível do fogão solar por ser de fonte inesgotável e renovável.

De acordo com os cálculos realizados, usando fogão a carvão vegetal, num agregado familiar de cinco pessoas onde o consumo mensal de carvão vegetal é de 100kg, gasta em média 300 meticais/mês nos meses de Abril a Novembro e 400 meticais/mês nos meses de maior procura por carvão vegetal, entre Dezembro á Março, por tanto, um gasto de 3600Mts a 4800Mts por ano (CAZULE, 2013).

No entanto se essa família utilizar o fogão solar durante o dia e apenas o carvão vegetal a noite, o gasto anual da família seria de 1200 mts (Mil e Duzentos meticais), ou seja, um saco a cada três meses. Comparando com o fogão solar em estudo os gastos do fogão a carvão vegetal são suficientes para a compra de três fogões solares em estudo.

Para o fogão elétrico, de acordo com a EDM o custo de 1 WKh de energia no país é de 6,24 mts, assumindo que uma família normal usa um fogão elétrico de duas bocas com uma potência de 2500 W, utiliza o fogão durante 2h por dia, gasta em média 5KWh por dia, e gasta 150KWh/mês que custa 936 mts/mês e 11232mts/ano só no fogão.

Se a família associar o fogão solar na cocção de refeições pode reduzir até em 40% o custo mensal de energia.

Quanto a durabilidade e tempo de vida útil do fogão, em geral depende de muitos fatores como, o tipo e estado do material de que é feito, a frequência de uso, o tempo que dura o processo de confecção das refeições, etc.

Porem a que frisar que o uso do fogão solar está relacionada com a disponibilidade solar e dias chuvosos.

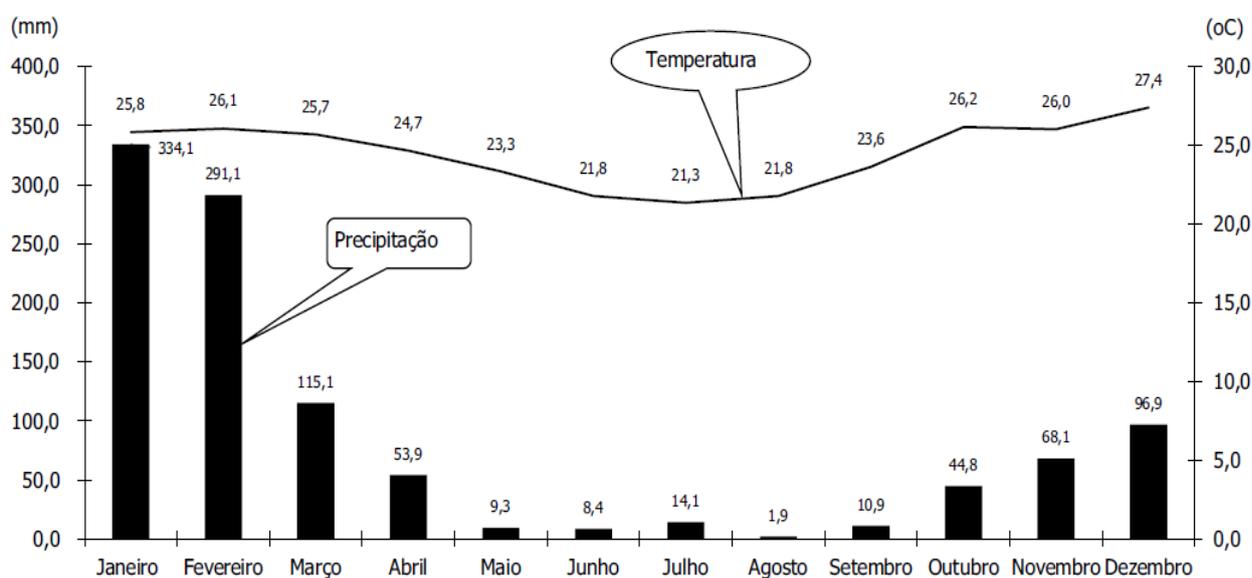


Figura 6: Temperatura e precipitação média mensal registadas no país. Fonte: (Estatística, 2015)

O gráfico acima mostra as variações anuais da precipitação e temperatura em todo país. Para o uso do fogão solar de acordo com o gráfico é possível afirmar que é recomendável o uso do mesmo nos meses de Setembro á Abril visto que nesse período as temperaturas são altas o suficiente para a operacionalidade do fogão, mas em contrapartida relacionando os meses de muito calor com a precipitação e assumindo que na época chuvosa chove em média entre 6-9 dias por mês em todo ano o fogão pode estar operacional média entre 168-192 dias por ano. E o fogão solar é usado no intervalo das 9h-15h. O que apresenta uma boa viabilidade do uso do fogão solar durante boa parte do ano.

Tabela 5: Relaciona o tipo de fogão e o custo do uso dos fogões

Fogão	Custo de Aquisição	Vida útil sem manutenção	Vida útil com manutenção	Custos da manutenção	Custos do uso mensal	Custo anual
Solar	3000	3 anos	10anos	80 mts a cada 3 meses	0	240
Carvão vegetal	200	1ano 6 meses	_____	_____	300	3600
Elétrico	1500	6 meses	4 anos	_____	936	11.232

## **5. Conclusão**

O uso do fogão solar tipo parabólico como alternativa aos fogões convencionais tem se mostrado viável nos últimos tempos visto que há registros cada vez maior de estudos referentes a este tipo de fogão como é o caso deste estudo.

O fogão solar estudado mostrou se viável para a cocção de alimento podendo também trazer substancial economia e minimizar os problemas de ataque a ecologia, principalmente no diz respeito ao corte de árvores para produção carvão vegetal, tanto nas florestas de mangal como nas florestas tropicais.

Considerando que para dias de intensa radiação solar global, a radiação que chega ao nosso país varia em média de 1.785 e 2.206 kWh/m<sup>2</sup>/ano. Esses dados de radiação demonstram boa viabilidade de uso do fogão solar tipo parabólico no nosso país, visto que são valores de grande magnitude encontradas, embora o fogão solar só possa ser usado no período das 9h-15h.

Os custos de aquisição apesar de serem altos mas quando relacionados com o tempo de vida útil de fogão solar mostram se competitivos para o uso pelas comunidades mais carentes

### **5.1 Sugestões**

Moçambique precisa desenvolver e promover tecnologias que possibilitam o uso dos combustíveis a tecnologias limpas e ecologicamente corretas no uso doméstico.

É importante que o se tenha um fogão convencional para a cocção de alimentos para substituir o fogão solar nos com baixa radiação solar.

Informar ao usuário sobre os riscos dos raios solar concentrados que podem atingir a vista humana. Necessidade de um treinamento prévio.

## 6. Referências

- AROUCA, M. C., GOMES, F. B., & ROSA, L. P. (1983). *Estrutura da demanda de energia no setor residencial no Brasil e uma avaliação da energia para a cocção de alimentos*. Rio de Janeiro.
- BITTENCOURT, H. V. (2005). *A matriz energética no desenvolvimento sustentável de pequena propriedades rurais*. UFSC.
- CAZULE, A. M. (2013). *Estudo Comparativo da Eficiência Térmica do Fogão Tradicional de “Boca Quadrada” em Relação ao Fogão “Mbaula” Através do Teste de Fervura de Água*. Universidade Pedagógica, departamento de física. Beira: Universidade Pedagógica.
- CLARK, J. (1996). SOLAR powered/multiple fuel cooking device. *Solar Energy*, 57.
- DAMASCENO, J. J., & OLIVEIRA, R. N. (2009). *Análise do Desempenho de um Fogão Solar*. Minas Gerais: VIII Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica.
- DUFFIE, J., & BECKMAN, W. (1991). *Solar engineering of thermal processes*. New York: John Wiley & Sons.
- ELIELZA, M. D., ANA, R. P., ELAINE, S. S., & EDUARDO, M. V. (2007). *APLICAÇÕES TECNOLÓGICAS COM FONTES RENOVÁVEIS*. Monografia, Universidade Federal de Pernambuco, Instituto de Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Xingó, Pernambuco.
- Estatística, I. N. (2015). *Anuário Estatístico 2015*. Maputo: Instituto Nacional de Estatística.
- FILHO, S., & ANUNCIACÃO, E. (2008). *Construção e Teste de Forno Solar*. Faculdade de Aracruz, Departamento de Engenharia, espírito santo.
- FUNAE. (2015). *Atlas de Energias Renováveis de Mocambique*. MAPUTO.
- GOMES, J. W. (2009). *Construção e análise de desempenho de um forno/fogão solar tipo caixa construído a partir de uma sucata de pneu*. Natal: PPGEM - Mestrado em Engenharia Mecânica - UFRN.
- GRAUER, A., & KAWANO, M. (2001). *Uso de biomassa para produção de energia*. Boletim informativo da bolsa de reciclagem.
- GREEN, M. A. (2000). Progress in Photovoltaics. Em *Solar cell efficiency tables* (pp. 377-384). Sydney: version 16.
- HORTA. (2004). *Guia de Energia solar*. sem editora. doi:85.3054/589
- JOSÉ, R. D. (2008). *PROJETO, CONSTRUÇÃO E LEVANTAMENTO DE DESEMPENHO DE UM CONCENTRADOR SOLAR CILÍNDRIO PARABÓLICO COM MECANISMO AUTOMÁTICO DE RASTREAMENTO SOLAR*. Natal: UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE.

- Lion, C. A. (2007). *Construção e análise de desempenho de um fogão solar à concentração utilizando dois focos para cozimento direto*. Natal: UFRN .
- LÓPEZ, F. J., & SILVA, A. L. (2000). Consumo residencial de lenha em Cachoeira de Santa Cruz, Viçosa-MG, Brasil. Em F. J. LÓPEZ, & A. L. SILVA, *Consumo residencial de lenha em Cachoeira de Santa Cruz, Viçosa-MG, Brasil* (Vol. 24, pp. 63-71). Viçosa-MG: Revista *Árvore*,.
- MORAN, M. J., & SHAPIRO, H. (2002). *Princípios de Termodinâmica para Engenharia*. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos.
- NETO, M. M. (2011). *análise de desempenho de fogão solar com parábola fabricada em material composto*. Natal: Universidade federal do rio grande do norte.
- OMACHI, I. H. (2004). Produção de biomassa florestal para exportação: o caso da Amcel. Em I. H. OMACHI, *Biomassa & Energia* (Vol. 1, pp. 29-36). Renabio.
- REIS, L. B., FADIGAS, E. A., & CARVALHO, E. C. (2005). *Energia, recursos naturais e práticas em desenvolvimento sustentável*. Editora manole.
- ROBENSON, A. (2016). *MODELAGEM E ANÁLISE DE EFICIÊNCIA DE UM FOGÃO SOLAR*. Sao Paulo: UNIVERSIDADE FEDERAL DO ABC.
- SANGA, G. A. (2004). *Avaliação de impactos de tecnologias limpas e substituição de combustíveis para a cocção residencial urbanas na Tanzânia*. sao paulo: Universidade Estadual de Campinas.
- SITOE, SALOMÃO, & WERTZ-KANOUNNIKOFF. (2012). *O contexto de REDD+ em Moçambique – causas, actores e instituições*. Indonésia: CIFOR.
- SOUSA, R. F. (2014). *VIABILIDADE DE USO DE UM FOGÃO SOLAR PARA COCÇÃO DE ALIMENTOS COM PARÁBOLA REFLETORA FABRICADA EM COMPÓSITO QUE UTILIZA FIBRAS DE CARNAÚBA E RESINA ORTOFTÁLICA*. NATAL: UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE.
- SOUZA, L. G., FILHO, R. E., JÚNIOR, A. P., BEZERRA, C. M., REBOUÇAS, G. F., & CABRAL, R. (2010). *FOGÃO SOLAR COM PARÁBOLA RECICLÁVEL DE ANTENA*. Paraíba: VI CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA.
- SOUZA, R. F. (2014). *VIABILIDADE DE USO DE UM FOGÃO SOLAR PARA COCÇÃO DE ALIMENTOS COM PARÁBOLA REFLETORA FABRICADA EM COMPÓSITO QUE UTILIZA FIBRAS DE CARNAÚBA E RESINA ORTOFTÁLICA*. Natal: UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE.

## Anexos

### Eficiência útil

Este parâmetro determina o percentual de toda a energia solar radiante que chega na superfície refletora e é transferida para o fluido de trabalho.

A eficiência útil do ciclo pode ser representada através da equação:

$$\eta_u = \eta_o \times \eta_t$$

$$\eta_u = 0,77 * 0,89 = \mathbf{0,68}$$

### Eficiência óptica

Este parâmetro determina o percentual de toda a energia solar radiante que chega na superfície refletora e é enviado para o absorvedor. O percentual da energia radiante que chega na superfície refletora e não é enviado para o absorvedor, constitui-se nas perdas ópticas do sistema.

$$\eta_o = \rho \cdot K_{rd} \cdot \alpha$$

$$\eta_o = 0,95 * 0,90 * 0,90 = 0,77$$

### Eficiência térmica (rendimento térmico)

Este parâmetro determina o percentual da energia que chega o absorvedor e transferida para o fluido de trabalho.

$$\eta_t = \frac{P_u}{I_c \cdot A_c \cdot \eta_o}$$

$$\eta_t = 264,294 / 681,48 * 0,56 * 0,77 = 0,89$$

### • Potência Máxima Absorvida

A potência absorvida pelo absorvedor é dada pela equação

$$P_{abs} = I_d \cdot A_u \cdot \rho \cdot K_{rd} \cdot \alpha$$

$$P_{abs} = 681,48 \text{ W/m}^2 * 0,56 \text{ m}^2 * 0,95 * 0,90 * 0,90$$

$$P_{abs} = 293,66 \text{ W}$$

### Potência Útil

Considerando-se que a perda pela parte superior da panela é da ordem de 10% (SOUZA, et al., 2010)

A potência útil ( $P_u$ ) do sistema em (W), é dada pela diferença entre a potência máxima absorvida ( $P_{abs}$ ) e a potência perdida ( $P_{perdida}$ ), como se segue:

$$P_u = P_{abs} - P_{perdida}$$

$$P_u = 293,66 \text{ W} - (0,10 * 293,66) = 264,294$$

onde:

**P<sub>abs</sub>** - Potência máxima que chega a panela (W)

**I<sub>c</sub>** - Radiação solar incidente (W/m<sup>2</sup>)

**A<sub>u</sub>** = (A<sub>c</sub> – A<sub>s</sub>) - Área útil do concentrador (m<sup>2</sup>)-

**A<sub>c</sub>** - Área total da superfície de captação (m<sup>2</sup>)  $A_c = r_1 * r_2 * \pi = 0,44 * 0,41 * 3,14 = 0,56 \text{ m}^2$

**As** - Área sombreada pela panela(m<sup>2</sup>)

**ρ** - Refletividade do concentrador (%)

**krd** - Fração da radiação refletida que chega no absorvedor (%)

**αt** - Absortividade da panela (%)

### **Eficiência do fogão a carvão vegetal**

A eficiência ( $\eta$ ) de um sistema qualquer é uma grandeza que caracteriza o seu rendimento e é dado pela razão entre a energia útil e a energia motora fornecida ao sistema eficiência do fogão a carvão vegetal vegetal é dado pela relação entre a quantidade de calor utilizado efetivamente para o fim previsto (cozinhar) ( $Q_{ef}$ ) e a quantidade de calor libertado durante a combustão ( $Q_{lib}$ ).

$$\eta = \frac{Q_{ab} + Q_{vap}}{Q_{lib}}$$

$$\eta = 277, 2.103J + 0, 452.106J / 5, 346.10^7J = 0,52$$

Tabela 6: Dados do fogão a carvão vegetal

Massa do carvão vegetal	Poder calorífico do carvão vegetal	Calor latente de vaporização	Calor específico da água	Massa de água no início	Temperatura final da água	Temperatura inicial da água	Massa de água evaporada
1,8Kg	$2.97.10^7$ JKg <sup>-1</sup>	$2.26.10^6$ JKg <sup>-1</sup>	$4.2.10^3$ JKg <sup>-1</sup> ;	1 Kg	373,15 K	307,15	0,2Kg

### **Calor libertado durante a combustão ( $Q_{lib}$ )**

A quantidade de calor libertado ( $Q_{lib}$ ) por combustão, mede-se pela quantidade de calor libertado durante a combustão total de uma unidade de massa do combustível.

$$Q_{lib} = Bc . m_{cc}$$

$$Q_{lib} = 2, 97.10^7 Jkg^{-1} * 1,8Kg = 5, 346.10^7 J$$

Onde:  $Q_{lib}$ - Quantidade de calor libertado;

$m_{cc}$ - Massa do carvão vegetal consumido em Kg;

$Bc$ - Poder calorífico do carvão vegetal vegetal. O seu valor é uma constante:  $Bc:2.97.10^7$  JKg<sup>-1</sup>

### **Calor absorvido pela água ( $Q_{ab}$ )**

É o calor necessário para elevar a temperatura de uma certa massa de água até a ebulição. Este calor depende da massa e da temperatura inicial da água.

$$Q_{ab} = m_{ia} \cdot C_a (T_{fa} - T_{ia})$$

$$Q_{ab} = 1 \text{ Kg} * 4,2 \cdot 10^3 \text{ JKg}^{-1} * (373,15 - 307,15) = 277,2 \cdot 10^3 \text{ J}$$

Onde:  $Q_{ab}$  - Quantidade de calor absorvido;

$m_{ia}$  - Massa de água no início do teste em quilogramas (Kg);

$C_a$  - Calor específico da água. O seu valor é uma constante igual a  $4,2 \cdot 10^3 \text{ JKg}^{-1}$ ;

$T_{fa}$  - Temperatura final da água em Kelvin (K) e

$T_{ia}$  - Temperatura inicial da água também medida em Kelvin (K).

### **Calor de vaporização ( $Q_{vap}$ )**

É a quantidade de calor necessário para transformar uma massa de água em vapor:

$$Q_{vap} = m_a \cdot L$$

$$Q_{vap} = 0,2 \text{ Kg} * 2,26 \cdot 10^6 \text{ Jkg}^{-1} = 0,452 \cdot 10^6 \text{ J}$$

Onde:  $Q_{vap}$  - Calor de vaporização;

$m_a$  - Massa de água evaporada em quilogramas (Kg);

$L$  - Calor latente de vaporização, o seu valor é  $L = 2,26 \cdot 10^6 \text{ JKg}^{-1}$