

# CONSTRUÇÃO DE UM PROTÓTIPO PARA PRODUÇÃO DE FARINHA DE MANDIOCA ATRAVÉS DE SISTEMA HÍBRIDO DE AQUECIMENTO SOLAR/GÁS

Luan Vittor Tavares Duarte de Alencar<sup>1</sup>; Maria de Fátima Farias Rocha<sup>2</sup>; Kaique Dantas Silva<sup>3</sup>; Raul Victor Barreto Pinheiro<sup>4</sup>; Renan Tavares Figueiredo<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Universidade Tiradentes, Unidade Acadêmica de Engenharia de Petróleo – [luanvittor@hotmail.com](mailto:luanvittor@hotmail.com)

<sup>2</sup> Universidade Tiradentes, Unidade Acadêmica de Engenharia de Petróleo- [fatimafarias25@gmail.com](mailto:fatimafarias25@gmail.com)

<sup>3</sup> Universidade Tiradentes, Unidade Acadêmica de Engenharia de Petróleo - [kaiquedantassilva@gmail.com](mailto:kaiquedantassilva@gmail.com)

<sup>4</sup> Universidade Tiradentes, Unidade Acadêmica de Engenharia de Petróleo- [raulbpinheiro79@gmail.com](mailto:raulbpinheiro79@gmail.com)

<sup>5</sup> Universidade Tiradentes, Unidade Acadêmica de Engenharia Química - [renan\\_figueiredo@itp.org.br](mailto:renan_figueiredo@itp.org.br)

## RESUMO

A farinha de Mandioca é um produto genuinamente brasileiro e bastante consumido em todo país. Porém o aquecimento dos fornos para produção da farinha é feito majoritariamente através da queima da lenha. Este fato tem gerado impactos severos aos biomas Caatinga e Mata Atlântica, contribuindo também com o aquecimento global. Este trabalho tem o objetivo de construir um protótipo para produção da farinha de mandioca através de um sistema de aquecimento híbrido solar/gás. Este sistema é composto por forno absorvedor híbrido que pode ser aquecido por um concentrador solar do tipo Scheffler e/ou por gás. Dentro do forno absorvedor está contido um fluido térmico que, depois de aquecido, é bombeado para a unidade de torração da farinha. Na unidade de torração da farinha acontece a troca térmica entre o fluido e uma serpentina de cobre instalada no fundo. O monitoramento das variáveis envolvidas é feito com manômetro, termopares, estação meteorológica e estação solarimétrica de superfície. Um levantamento de dados feito em casa de farinha tradicional indicou que a temperatura do forno em contato com a farinha é de 100 °C, em média. Em testes preliminares utilizando GLP, o forno absorvedor e o forno para farinha, atingiram a temperatura máxima de 215 °C e 124 °C, respectivamente.

**PALAVRAS-CHAVE:** sistema híbrido solar/gás, forno absorvedor, forno para farinha.

## 1. INTRODUÇÃO

A indústria alimentícia é uma das que mais contribuem com os impactos ambientais. Entre esses impactos, a necessidade por energia térmica leva a queima de combustíveis e por isso grandes emissões de gases poluentes são lançadas para a atmosfera. As casas de farinha, importante

setor alimentício do Brasil, são grandes consumidoras de lenha. Este fato tem gerado impactos incomensuráveis aos biomas Caatinga e Mata Atlântica; além de contribuir com o efeito estufa e, conseqüentemente, com o aquecimento global. A emissão de gases e partículas poluentes dos fornos convencionais a lenha contribui para a ocorrência de doenças como: insuficiência respiratória, doenças

oftalmológicas, bronquite crônica e outras. Essas doenças respiratórias causam a morte de 27 milhões de pessoas por ano [ARAUJO & CLARINDO, 2008]; [BEZERRA, 2011].

As energias renováveis são abundantes em praticamente todo o território brasileiro. A região Nordeste possui as maiores médias anuais de radiação solar e a própria indústria de farinha gera biomassa que poderia ser aproveitada para produção de biogás. Porém muito pouco desse potencial tem sido explorado. Existem vários equipamentos que fazem a conversão termosolar tanto para baixas como para altas temperaturas. A energia solar e o biogás podem aliviar a queima exagerada de lenha e combustíveis fósseis para obtenção de calor em indústrias alimentícias [SHATAT ET AL, 2013].

O concentrador solar é um dos equipamentos que fazem a conversão termosolar. O concentrador solar tipo Scheffler foi desenvolvido pelo físico austríaco Wolfgang Scheffler. Ele possui características que o torna diferenciado dos demais: por possuir uma superfície refletora cuja geometria é baseada numa seção lateral de uma parabolóide, produz um foco pontual na posição frontal e paralela ao chão. Dessa forma, o alvo a ser aquecido pode ficar ao abrigo da sombra sem prejuízos para o

aquecimento. [SCHEFFLER, 2006]; [MUNIR, 2010];

Em diversas aplicações em todo o mundo, os concentradores solares realizaram processos a altas temperaturas para geração de energia elétrica e térmica. Em uma casa de farinha tradicional, a superfície do forno precisa permanecer numa temperatura entre 130 e 160 °C por um período entre 20 e 60 minutos para torrar a farinha. O concentrador Scheffler tem potencial para realizar esse processo em dias ensolarados. Para os momentos de pouca atividade solar, o sistema auxiliar de aquecimento a gás fornece o calor necessário.

O objetivo deste trabalho é construir um sistema de aquecimento híbrido solar/gás para aquecer um forno para produção de farinha de mandioca. O protótipo é composto por quatro partes: unidade de aquecimento, unidade de bombeamento, unidade para produção de farinha e unidade de geração de energia elétrica. A unidade de aquecimento é composta por um forno absorvedor híbrido que pode ser aquecido por um concentrador solar tipo Scheffler e queimador a gás, simultaneamente; a unidade de bombeamento é composta por uma bomba de engrenagem e um controlador de vazão responsável por manter o fluxo do fluido térmico entre o forno

absorvedor e a unidade para produção da farinha; a unidade para produção de farinha é composta por um forno de aço inox com 1 metro de diâmetro e uma serpentina de cobre no fundo; e a unidade de geração de energia elétrica é composta por um sistema fotovoltaico e banco de baterias.

## 2. METODOLOGIA

O protótipo para produção de farinha de mandioca através de sistema híbrido de aquecimento solar/gás foi construído no Laboratório de Catálise, Energia e Materiais/Instituto de Tecnologia e Pesquisa, localizado no Campus II da Universidade Tiradentes, Aracaju-SE.

A Figura 1 apresenta o protótipo construído neste trabalho. O concentrador solar (Figura 1a) projeta um foco concentrado na direção frontal. Para receber o foco gerado pelo concentrador, foi construído um Forno Absorvedor Híbrido solar/gás (Figura 1b). No interior deste forno está contido um fluido térmico. O fluido aquecido é bombeado para a unidade de produção de farinha (Figura 1d). Para fazer a circulação do fluido térmico, o sistema conta com uma unidade de bombeamento formada por uma bomba de engrenagem e um regulador de tensão e corrente elétrica para controle da vazão

(Figura 1c). O fluido aquecido sai pela parte superior do forno absorvedor em direção à serpentina. Após circular pela serpentina, o fluido é bombeado de volta para o forno absorvedor para ser reaquecido. Para gerar energia elétrica para a unidade de bombeamento e sistema de rastreamento solar (mecanismo para ajuste do posicionamento do concentrador solar) o sistema conta com uma unidade de geração de energia elétrica composta por um sistema fotovoltaico com 500 W de potência e banco de baterias (Figura 1e).



Figura 1. (a) Concentrador solar tipo Scheffler. (b) Forno absorvedor híbrido solar/gás. (c) Sistema de bombeamento. (d) Forno para torração da farinha. (e) Unidade de geração de energia de energia elétrica.

## 2.1. Concentrador solar tipo Scheffler

O concentrador solar tipo Scheffler foi desenvolvido pelo físico Wolfgang Scheffler. Trata-se de uma superfície refletora baseada em uma seção lateral de uma parabolóide. O concentrador possui 2,7 m<sup>2</sup> de superfície refletora composta por espelhos planos com 80 mm de largura por 100 mm de altura. Ao incidir sobre a superfície refletora, a radiação solar é refletida na posição frontal. O foco gerado tem aproximadamente 20 cm de diâmetro. O menor diâmetro do foco acontece a 1,13 m de distância do concentrador e 0,88 m de altura com relação ao solo.

A Figura 2 mostra o concentrador solar tipo Scheffler utilizado neste trabalho.



Figura 2. Concentrador solar utilizado neste trabalho [Dib, 2009].

Este concentrador precisa ser ajustado para manter a superfície de reflexão direcionada para o Sol para manter o foco fixo no alvo desejado.

## 2.2. Forno Absorvedor Híbrido solar/gás

Este forno é composto por dois cilindros de aço carbono: um interno, com 446,9 mm de altura, 390 mm de diâmetro e 10 mm de espessura; e um cilindro externo com 559,5 mm de altura, 516 mm de diâmetro e 3 mm de espessura (Figura 3). Entre os dois cilindros foi adicionada lã de vidro para isolar termicamente. No cilindro interno foi instalada uma esfera de aço carbono com 300 mm de diâmetro e 3 mm de espessura. A esfera e os dois cilindros possuem aberturas coincidentes com 160 mm de diâmetro. No cilindro interno foi adicionado o fluido sintético THERMINOL XP, especialmente desenvolvido para trocas térmicas.

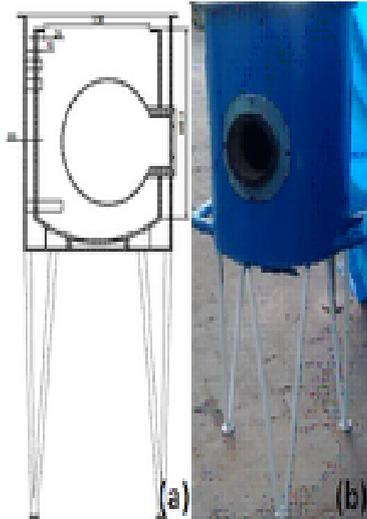


Figura 3. Forno absorvedor híbrido solar/gás construído neste trabalho.

Este forno está equipado com manômetro analógico 30 psi/2kg.cm<sup>-2</sup> da marca LubeFer (Figura 4a); termômetro 300 °F/150 °C (Figura 4b); válvula de segurança (Figura 4c) ajustada para 25 psi com sistema de armazenamento para purga (Figura 4d); conexões para termopares em Aço Inoxidável com as seguintes extremidades: (Dupla Anilha) para Tubo de 1/16" OD (DE) X Rosca NPT Macho de 1/4" da marca Swagelok; e três termopares tipo J (entrada e saída do fluido e na esfera). O termopar tipo J faz leitura de temperatura numa faixa entre -50 e 1200 °C.



Figura 4. Forno absorvedor híbrido solar/gás. (a) Manômetro. (b) Termômetro. (c) Válvula de segurança. (d) Sistema para armazenamento da purga. (e) Conexões para termopares.

### 2.3. Sistema auxiliar de aquecimento a gás

Este sistema tem a função de fornecer calor nos momentos de pouca atividade solar. Ele foi construído de tal forma que, durante o aquecimento exclusivo pela energia solar, uma tampa móvel fecha a entrada para o queimador, diminuindo as perdas de calor. Quando o sistema auxiliar é acionado, basta girar a tampa e posicionar o queimador na posição correta. A Figura 5 apresenta o sistema auxiliar de aquecimento. A alavanca (Figura 5a) é acionada manualmente para posicionar a tampa (Figura 5 b) ou o

queimador a gás (Figura 5c). A FIGURA 5d mostra o queimador sendo instalado no fundo do forno absorvedor híbrido durante sua construção.

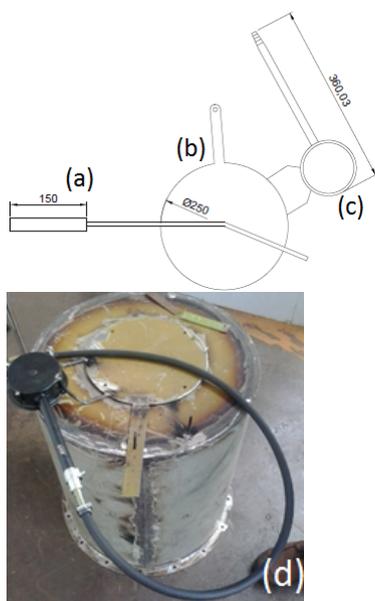


Figura 5. Sistema auxiliar de aquecimento. (a) Alavanca para tampa móvel e queimador. (b) Tampa móvel. (c) Queimador a gás. (d) Sistema auxiliar sendo instalado no forno absorvedor.

Nos experimentos preliminares deste trabalho foi utilizado GLP. Para os próximos trabalhos pretende-se substituí-lo pelo biogás gerado por biodigestor e gaseificador.

## 2.4. Unidade para torração da mandioca

Para construção do forno para torração da farinha foi utilizado um forno convencional a lenha com algumas modificações. Este forno foi construído em aço inox, possui 1 metro de diâmetro e parede lateral com 27 cm de altura (Figura 6). O forno possui um sistema mecânico para o revolvimento da farinha impulsionado por um motor elétrico de 0,5 cv.

Para monitorar a temperatura no tacho foram instalados cinco termopares. Eles foram fixados com silicone de alta temperatura da marca ORBIVED. Foi instalado um termopar no centro do tacho e quatro nas extremidades.



Figura 6. Forno para torração da farinha.

Na parte inferior do forno, onde originalmente o calor da lenha incidiria, foi instalado trocador de calor; uma serpentina de



## II CONEPETRO

II CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA DE  
PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS  
IV WORKSHOP DE ENGENHARIA DE PETRÓLEO

cobre (Figura 7). Esta tubulação possui 45 metros de comprimento, 3/8” de diâmetro externo e 1/4” de diâmetro interno. Essa tubulação de cobre tem como finalidade receber o fluido térmico aquecido pelo absorvedor. Com isso o fluido troca calor com a serpentina para torrar a farinha. Instalada a tubulação no fundo do forno, foi aplicada uma manta de lã de vidro para fazer o isolamento térmico e evitar perdas térmicas. Para fixar a manta foi instalada uma chapa de aço com o mesmo diâmetro do forno.



Figura 7. Detalhe da serpentina instalada no fundo do forno para torrar a farinha.

### 2.5. Sistema de aquisição de dados

Para monitoramento da temperatura no forno absorvedor híbrido solar/gás e forno para produção de farinha, foram utilizados termopares minerais do tipo J. Estes

termopares têm 1,5 mm de diâmetro e 500 mm de comprimento e rabicho de 10 metros. Para fazer a aquisição dos dados gerados pelos termopares, foi utilizado o aquisitor modelo A202 com 2 MG de memória, 8 entradas configuráveis J,K,T,S,R,N,B e PT 100, O software supervisor utilizado é o MASTERLOGGER de 8 canais e não necessita do computador para fazer a aquisição dos dados.

### 2.6 Unidade de bombeamento

Para fazer a circulação do fluido térmico entre o forno absorvedor e a unidade para produção da farinha, o sistema conta com uma unidade de bombeamento composta por uma bomba de engrenagem e um regulador de tensão e corrente. A bomba é da marca Lumagi, com vazão máxima de 30 L.min<sup>-1</sup>, 12 V, 8 A e 100 W de potência.

Para controlar a bomba foi construído um regular de tensão e corrente. Com isso é possível alterar a potência da bomba e, conseqüentemente, sua vazão. Para testar o regulador foi utilizado um multímetro digital para medir a tensão elétrica. Para fazer a leitura da corrente elétrica foi utilizada uma fonte de alimentação digital assimétrica da marca Instrutherm, modelo FA-2030. A Tabela 1 apresenta a variação da potência da

bomba utilizando o regulador de tensão e corrente elétrica.

Tabela 1. Relação entre a potência e a vazão da bomba com a utilização do regulador de tensão e corrente elétrica.

TENSÃO (V)	CORRENTE (A)	POTÊNCIA (W)	VAZÃO (L/min)
12	8,3	100	30
10	7,5	75	22,5
8	5,5	44	13,2
6	4,3	25,8	7,74
5	3,6	18	5,4
4	2,9	11,6	3,48
3,5	2,7	9,45	2,83
3	2,5	7,5	2,25

Utilizando o regulador de tensão e corrente é possível variar a vazão da bomba entre 30 e 2,25 L.min<sup>-1</sup>.

### 2.7. Unidade de geração de energia elétrica

Para gerar energia elétrica para a unidade de bombeamento o sistema conta com uma unidade de geração de energia elétrica composta por um sistema fotovoltaico com dois painéis solares de 250 W cada, dois controladores de carga MPPT de 10 A e duas baterias estacionárias de 105 Ah (Figura 8).



Figura 08. (a) Painel fotovoltaico. (b) Bateria estacionária. (c) Controlador de carga. (d) Micro controlador Arduino.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram realizados testes preliminares utilizando GLP para observar a temperatura alcançada pelo forno absorvedor, forno para torrar farinha e a pressão do sistema. Os testes foram realizados dias 8 e 9 de dezembro de 2014 na Universidade Tiradentes. Em nenhum dos testes foi produzida farinha de mandioca.

Os termopares 1, 2 e 3 estão instalados no forno absorvedor. O termopar 1 está próximo à esfera, o termopar 2 na saída do fluido e o termopar 3 na entrada. O termopar 4 está no centro da superfície do forno para farinha e os termopares 5, 6, 7 e 8 estão nas extremidades. A Figura 9 mostra o comportamento da temperatura no protótipo para produção de farinha durante teste realizado no dia 07 de dezembro de 2014.



Inicialmente o forno absorvedor foi aquecido até atingir a temperatura de 100 °C, só depois a bomba foi ligada.

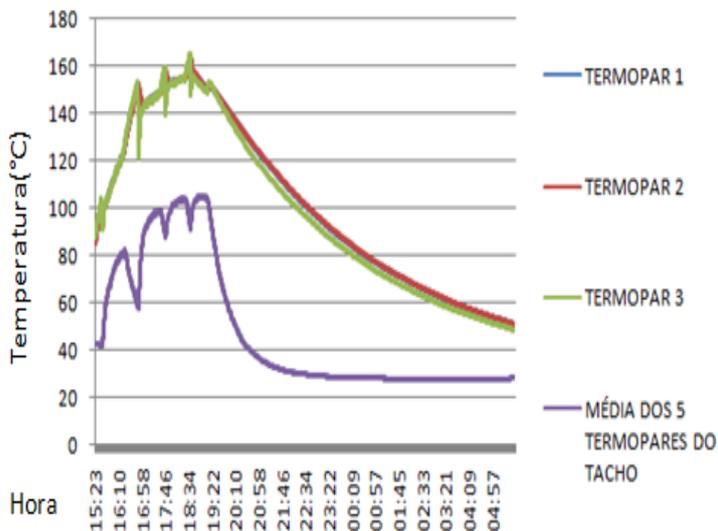


Figura 9. Gráfico mostrando a temperatura do protótipo durante teste realizado dia 07 de dezembro de 2014.

As três quedas de temperatura apresentadas na Figura 9 aconteceram em virtude do sobreaquecimento da bomba, sendo necessário desligá-la por alguns minutos. Durante o teste o regulador manteve a bomba a 10 V, fornecendo uma vazão aproximada de 22,5 L.min<sup>-1</sup>. A pressão se manteve desprezível durante todo o tempo. O primeiro desligamento da bomba ocorreu das 16h30min as 16h50min. O segundo durou das 17h36 as 17h46 e o terceiro das 18h27min as 18h37min. As 19h12min o experimento foi encerrado. A temperatura máxima no forno

absorvedor foi de 165,1 °C no termopar 3. Este termopar fica na parte inferior do forno absorvedor, próximo da fonte de aquecimento. No tacho, forno para produção da farinha, a temperatura máxima foi de 108,2 °C medida pelo termopar 5, localizado em uma das extremidades deste forno.

No dia 08 de dezembro foi realizado outro teste. Dessa vez o regulador manteve a tensão da bomba em 9 V. Para evitar sobreaquecimento da bomba foi utilizada ventilação mecânica para resfriá-la. O forno absorvedor foi aquecido até 100 °C e só após a bomba foi ligada. A Figura 10 mostra a primeira parte do teste.

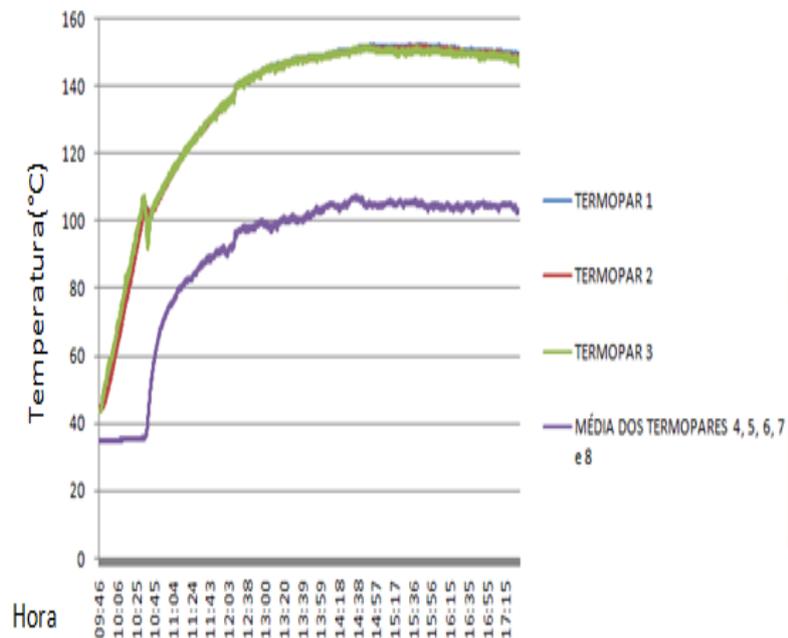


Figura 10. Gráfico mostrando a primeira etapa do experimento realizado no dia 08 de dezembro de 2014.



## II CONEPETRO

II CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA DE  
PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS  
IV WORKSHOP DE ENGENHARIA DE PETRÓLEO

É possível notar na Figura a queda da temperatura nos termopares 1, 2 e 3 e aumento da temperatura no forno para farinha no momento em que a bomba foi ligada, as 10h33min. A temperatura estabilizou as 15h e as 17h30min a bomba foi desligada. O aquecimento do forno absorvedor foi mantido. As 19h25min a bomba foi religada. A Figura 11 mostra a continuação do teste.

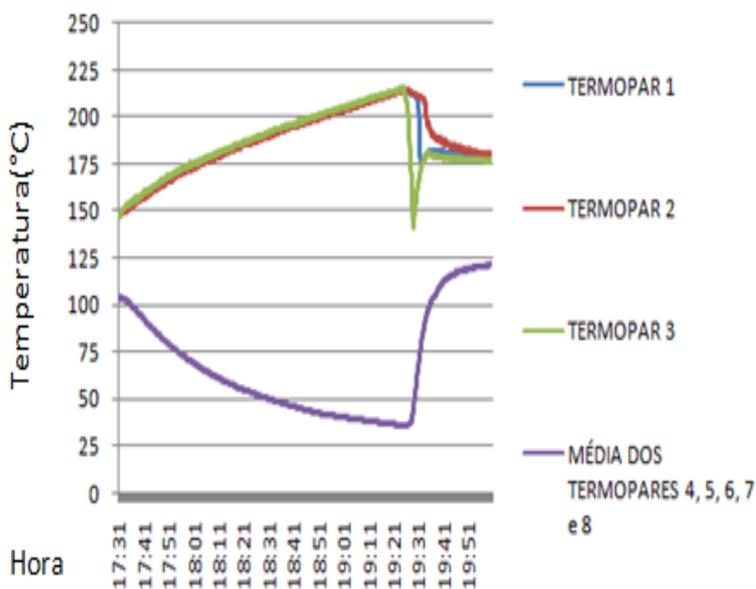


Figura 11. Gráfico que mostra a segunda etapa do teste realizado dia 08 de dezembro de 2014.

Com o aquecimento do forno absorvedor sem a atuação da bomba, a temperatura do fluido térmico chegou a 215,3 °C, registrada pelo termopar 3. Após religar a bomba, este termopar registrou a mínima de 141,3 °C. Isso deve ao fato de que este termopar está próximo da fonte aquecedora e

também da entrada do fluido frio da linha. Com a ventilação mecânica a bomba não sobre aqueceu e funcionou durante todo o teste sem precisar ser desligada. A temperatura máxima do tacho foi de 124,1 °C.

Segundo BEZERRA [2011] a temperatura do tacho, para torrar a farinha, deve ser de 160 °C por 45 a 60 minutos. Segundo ARAÚJO [2009] a torração deve durar 30 minutos e a umidade da mandioca deve chegar a 13% e apresentar aspecto crocante. Já COHEN [2006] diz que a temperatura do tacho gira em torno de 130 e 150 °C sendo o tempo de torração de aproximadamente 20 minutos. Durante os testes o protótipo ficou exposto ao tempo, apenas com cobertura superior e sem proteção contra o vento. Numa casa de farinha tradicional o forno fica dentro de instalações feitas de alvenaria ou taipa, com proteção para o vento.

#### 4. CONCLUSÕES

A construção do protótipo para produção da farinha de mandioca através de sistema híbrido de aquecimento foi finalizada. Serão instalados sensores climáticos, tais como estação meteorológica e estação solarimétrica. Estes sensores são fundamentais para o estudo do aquecimento através da energia solar. A montagem do

protótipo foi feita por equipe técnica especializada de forma que todos os equipamentos encontram-se operantes e em boas condições de uso. O sistema fotovoltaico forneceu energia suficiente para o funcionamento da bomba. O fluido térmico, mesmo aquecido a 215 °C, não elevou a pressão do sistema. A lâ de vidro foi utilizada no forno absorvedor, forno para farinha e tubulações. Porém serão realizados ajustes a fim de diminuir as perdas de calor e aumentar a temperatura do forno para farinha. A temperatura de 124 °C registrada no forno para farinha mostrou que o protótipo tem potencial e que, com a implementação do concentrador solar, a temperatura poderá aumentar ainda mais. Serão iniciados estudos para produção do biogás para substituir o GLP tornando o protótipo ecologicamente correto e sustentável.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, J. B. P., LOPES, C. A. *Produção de farinha de mandioca na agricultura Familiar*. Niterói: Manual Técnico, n. 13, Programa Rio Rural, 2009.

ARAÚJO, S. P.; CLARINDO, A. L. *Produção de farinha de mandioca na agricultura familiar*. Manual técnico: Programa de Desenvolvimento Rural

Sustentável em Micro bacias Hidrográficas do Estado do Rio de Janeiro. Secretaria de Agricultura, Pecuária, Pesca e Abastecimento, nº 13, Niterói/RJ, 2008.

BEZERRA, V. S. *Planejando uma casa de farinha de mandioca*. Macapá: Embrapa Amapá, 2011.

COHEN, K. O., CHISTÉ, R. C., MATHIAS, E. A. *Elaboração de farinha de Mandioca adicionada de farinha de Castanha-do-Brasil*. Comunicado Técnico, n. 177, EMBRAPA, Belém/PA, ISSN 1517-2244, 2006.

DIB, E. A. *Projeto e construção de um concentrador solar de foco fixo utilizado para o aquecimento de um forno* / Erick Alfred Dib; Orientadores: Renan Tavares Figueiredo, Luanda Gimeno Marques, Paulo Mário Machado Araujo. – Aracaju, 2009. 166 p. : il.

MUNIR, A. A., HENSEL, O., SCHEFFLER, W. *Design principle and calculations of a Scheffler fixed focus concentrator for medium temperature applications*. Solar Energy, v. 84, p. 1490–1502, 2010.

SHATAT, M., MAYERE, A., RIFFAT, S. *A standardized Empirical Method of Testing*



**II CONEPETRO**

II CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA DE  
PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS  
IV WORKSHOP DE ENGENHARIA DE PETRÓLEO

*Solar Simulator Coupled with Solar Tube  
and Concentrator Collectors*, International  
Journal of Thermal & Environmental  
Engineering, v. 5, n° 1, p. 13-20, 2013.

SCHEFFLER W. *Introduction to the  
revolutionary design of Scheffler Reflectors.*

SCIs International Solar Cooker Conference  
2006, 21, Granada, Spain, 2006.



[www.conepetro.com.br](http://www.conepetro.com.br)

(83) 3322.3222

[contato@conepetro.com.br](mailto:contato@conepetro.com.br)