

VII CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE  
CAMPINA GRANDE



PIBIC/CNPq/UFPG-2010

**PROJETO CONSTRUÇÃO E TESTE DE DOIS PROTÓTIPOS DE  
SECADOR SOLAR DE BAIXO CUSTO USADO PARA  
PRODUZIR BANANA-PASSA**

**Yatan Jerônimo de Sousa Costa<sup>1</sup>, Marcelo Bezerra Grilo<sup>2</sup>**

**RESUMO**

O desenvolvimento de um secador solar individual de baixo custo, que tenha máxima eficiência, e seja fácil de construir e operar é a meta a ser atingida. Neste trabalho são apresentadas as características de projeto, dimensionamento, construção e operação do equipamento em desenvolvimento e parte dos resultados obtidos com os testes de campo de dois protótipos construídos dentro desta filosofia. Os testes de campo dos secadores foram realizados na cidade de Campina Grande, Paraíba. Alguns dados preliminares obtidos com os testes de dois modelos de secador que utilizam, respectivamente, cobertura de vidro e cobertura de policarbonato transparente, ambos com 4 mm de espessura, são apresentados. Durante os testes foram produzidas banana-passa de alto valor nutritivo e com bom aspecto visual. A metodologia utilizada consistiu em projetar e construir os secadores e, em seguida, testar o funcionamento dos mesmos na produção de banana-passa, medindo algumas propriedades fundamentais, tais como, temperatura no interior do secador, tempo de secagem e redução de peso/umidade no produto final. Também foram observados alguns cuidados na manipulação e higiene do produto e do local utilizado para os testes.

**Palavras-chave:** Secador solar, Banana-passa, Energia solar, Secagem, Banana.

**ABSTRACT**

The development of a low cost solar dryer to produce dry-banana, and that has brought efficiency and is easy to build and operate is the goal to be achieved. This work presents the characteristics of design and operation of equipment and development of the results of field tests of two prototypes built within this philosophy. Field tests of the dryers were made in the UFPG in Campina Grande, Brazil. Some preliminary data obtained from tests of two models of dryers that use respectively cover glass and polycarbonate, both with 4mm thick. During the tests were produced banana is of high nutritional value and good visual appearance. The methodology consisted of designing and building dryers and then test the operation of them in the production of dried banana, measuring some fundamental properties such as temperature inside the dryer, drying time and reduced

<sup>1</sup> Aluno do Curso de Engenharia Mecânica, Unidade Acadêmica de Engenharia Mecânica, UFPG, Campina Grande, PB, E-mail: [yatanportnoy@gmail.com](mailto:yatanportnoy@gmail.com)

<sup>2</sup> Engenheiro Mecânico, Professor. Doutor, Unidade Acadêmica de Engenharia Mecânica, UFPG, Campina Grande, PB, E-mail: [marcelogrilo@dem.ufcg.edu.br](mailto:marcelogrilo@dem.ufcg.edu.br)

weight/moisture in the final. We observed the care and hygiene in the handling of the product and the area used for testing.

**Keywords:** Solar dryer, Dry-banana, Solar energy, Drying, Banana.

## INTRODUÇÃO

A secagem é um dos métodos mais antigos que se conhece para promover a conservação de produtos orgânicos. A secagem, ou desidratação dos alimentos, tem a finalidade de conservá-los por muito mais tempo. Esse procedimento mantém o valor nutritivo dos produtos, além de facilitar o transporte, manipulação, preparo e armazenagem.

No caso da banana *in-natura*, quando esta apresenta um teor de umidade, massa base úmida, de aproximadamente 70%, seu tempo de conservação é em média de 7 a 15 dias após a colheita. Quando a banana passa pelo processo de secagem, e sua umidade é reduzida para cerca de 20% a 30%, tem um período de conservação em torno de um ano. Esse produto é chamado de banana-passa.

Nesse trabalho foi realizado o estudo e o aprimoramento de um equipamento que tem a finalidade de realizar a secagem de frutos, especificamente a banana, utilizando a energia solar como fonte energética para a realização do trabalho.

A secagem, utilizando um secador solar, é um dos meios possíveis para a realização desse processo. A energia proveniente da irradiação solar é transformada em calor no interior do secador solar, aumentando a temperatura e criando as condições necessárias para a secagem.

Visando a maior eficiência desse equipamento e do processo de secagem, foi estudado e comparado as coberturas para esse equipamento, com o intuito de promover o melhor aproveitamento da energia disposta no ambiente.

A construção de gráficos de temperatura e de perda de massa (no caso a água que será retirada do produto), pelo tempo serão um dos principais fatores para a conclusão da eficiência do equipamento. Tais temperaturas como do interior das estufas, do ar quente na saída e do ar frio na entrada, serão utilizadas nesses gráficos.

Por muito tempo a secagem foi feita sem metodologia científica, através da observação de uma circunstância que gerava a secagem, e com uma tentativa de recriar essa circunstância para secar um produto de forma totalmente empírica.

Com o passar dos anos a secagem foi sendo estudada de forma mais séria e assim abrindo oportunidade para os desenvolvidos métodos mais eficientes. A partir do fim do século 19 métodos mais complexos de secagem começaram a ser propostos, como por exemplo patentes de secador a radiação térmica e secador à vácuo. Estas inovações foram gradualmente sendo proliferadas e incorporadas pela indústria.

Através dos desenvolvimentos dos métodos de secagem os frutos, grãos e sementes passaram a ser secados para poderem se tornar muito mais resistentes ao apodrecimento. Segundo Lima *et al.* (2000) uma das principais vantagens de secar um produto agrícola está ligada a seu tempo de conservação que aumenta consideravelmente, isso se dá pela retirada da água, conseqüentemente diminuindo a umidade do produto, e faz com que microorganismos, como bactérias e fungos, não se proliferem facilmente.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Umidade relativa e umidade no produto.

O ar úmido pode ser descrito em termos de umidade relativa, definida como a razão das frações molares do vapor d'água, em uma dada amostra de ar úmido e a fração molar em amostra de ar úmido saturado à mesma temperatura e à pressão da mistura.

$$\Phi = (y_v / y_{v,Sat.})_{T,p}$$

E ainda pode ser expressa em termos de pressão de vapor e pressão de vapor saturado.

$$\Phi = (P_v / P_g)_{T,p}$$

Assim, conclui-se que quanto maior a temperatura da amostra de ar em estudo, a uma tendência da redução da umidade, e diminuição da pressão parcial de vapor.

O conteúdo de umidade do produto determina o tempo de conservação de acordo com o ambiente em que está armazenado. No caso dos grãos armazenados secos com 11% de umidade respiram pouco. A respiração aumenta exponencialmente, com o acréscimo da umidade e este processo causará deterioração do grão. Em caso de sementes com alto conteúdo de umidade perdem o poder germinativo e vigor.

#### **Diferencial de pressão.**

A diferença das pressões do interior do produto para sua superfície gera um gradiente hídrico de transferência. Assim a água que se encontra no interior do produto tende a ir para a superfície onde a taxa de perda da umidade para o ambiente acontece.

#### **Volatilidade.**

O termo volatilidade se refere a uma grandeza que está relacionada à facilidade da substância de passar do estado líquido ao estado de vapor ou gasoso. Essa facilidade depende do referencial; por isso, a volatilidade é sempre relativa, levado em conta duas substâncias, sendo uma delas a substância referencial.

#### **Princípio da Secagem.**

O vapor d'água presente no produto tende a ocupar todos os espaços intercelulares, gerando pressões em todas direções. Por outro lado a água presente no ar de secagem sob a forma de vapor exerce, também, uma pressão parcial, designada pressão parcial de vapor d'água no ar.

O processo de secagem envolve a retirada parcial de água do produto através da transferência simultânea de calor do ar para o produto e de água, por meio de fluxo de vapor, do produto para o ar como estar representado na figura 1.

Assim a secagem do produto mediante convecção forçada do ar aquecido, gera dois processos simultâneos: a) evaporação da água superficial do produto para o ar em circulação; b) movimento de água do interior para a superfície do produto, em virtude de gradiente hídrico entre essas duas regiões (do centro do produto para superfície). Isso acontece por que com o aumento da temperatura, a pressão parcial de vapor do ar de secagem no interior do secador é menor do que a da água presente na superfície do produto, criando essa transferência massa através do diferencial de pressão, que por sua vez gera o gradiente hídrico.



Figura 1: Esquema de secagem através da energia solar.

### Equipamento

O secador solar desenvolvido é um equipamento simples, de fácil construção e manutenção composto basicamente de três elementos: o corpo, que é uma caixa retangular construída de madeira; duas bandejas, onde a banana é colocada para secar; e a cobertura do secador, que lhe dá a característica de estufa. Neste caso foram construídos dois protótipos, sendo um com cobertura de vidro e outro com cobertura de policarbonato. As características construtivas de cada secador solar individual são apresentadas a seguir.

- a) Pintura exterior; branco gelo / interior; alumínio – tinta coralar;
- b) Base com bloco de compensado naval 10 mm e fundo de 6 mm, largura x Comprimento x Altura (460 x 700 x 200) mm, os blocos são aparelhados antes de serem pintados;
- c) Cobertura com Vidro de 4 mm e outra de policarbonato, Largura x Comprimento (440 x 660) mm com cantoneira de  $\frac{3}{4}$ " x  $\frac{1}{16}$ " e Silicone para vedação e fixação da cantoneira e parafusos para fixação da cantoneira no bloco;
- d) 2 bandejas por secador de madeira maciça aparelhada e pintada com tinta coralar branca tendo largura x comprimento (380 x 600) mm com tela de nylon média;
- e) Entrada de ar frio de madeira maciça, cor verde folha coralar com largura x altura (40 x 430) mm com tela de nylon fina e com porta de fechamento noturno também verde folha;
- f) Ar ar úmido de madeira maciça, cor vermelho coralar com largura x altura (50 x 430) mm tela de nylon fina e com porta de fechamento noturno também vermelho;
- g) De acesso das bandejas travadas com 2 aldravas de  $\frac{1}{2}$ " e 2 dobradiças de 1,5" x 1";
- h) Pegador de alumínio padrão tipo alça de 5" fixado com 4 parafusos.

### Coberturas.

A função da cobertura é muito simples, o material escolhido tem que deixar entrar a irradiação solar para aquecer o ar no interior do secador e conservar o máximo possível desse calor gerado, mantendo no interior do secador.

## Vidro.

O vidro é bem transparente isso ajuda na passagem dos raios solares. Outra propriedade importante do vidro é condutividade térmica, pela própria natureza do material (uma cerâmica), é um bom isolante térmico, diminuindo a perda de calor pelo contanto do ar frio (ambiente) com a tampa.

Segundo Grilo (2007), o vidro tem elevada transmissividade na faixa de qualidade espectral de 0,1 a 2,5  $\mu\text{m}$ , que é a faixa espectral da radiação solar incidente ao nível do solo na Terra. E apresenta elevada refletividade acima de 4,0  $\mu\text{m}$ . Estas características do vidro contribuem para torná-lo excelente na geração do efeito estufa no interior do secador solar.

Porém, o secador solar com cobertura de vidro, como mostrado na (Figura 2), apresenta algumas desvantagens, tais como: alto peso, o equipamento mais pesado dificulta o transporte; baixa resistência a impactos, tornando-o frágil, além de um custo mais elevado comparativamente a outros materiais como o policarbonato. O metro quadrado do vidro foi adquirido a R\$ 60,00 (Sessenta Reais) enquanto o  $\text{m}^2$  do policarbonato foi adquirido a R\$ 40,00 (Quarenta Reais), ambos com espessura de 4 mm.



Figura 2: Secador com cobertura de vidro.

## Policarbonato.

O policarbonato é um tipo particular de poliéster, polímero de cadeia longa, formado por grupos funcionais unidos por grupos carbonato (-O-(C=O)-O-). São moldáveis, quando aquecidos, sendo por isso chamados termoplásticos (GARCIA, 2008). Estes plásticos são muito usados atualmente na moderna manufatura industrial e no *design*.

As propriedades marcantes dos policarbonatos são: semelhança ao vidro em relação a propriedades da radiação solar (elevada transmissividade na faixa espectral de 0,1 a 2,5  $\mu\text{m}$ , baixa absorvidade e refletividade na faixa espectral acima de 4,0  $\mu\text{m}$ ), porém mais resistente ao impacto; boa estabilidade dimensional e comparativamente de menor custo que o vidro.

Ao contrário do vidro, o policarbonato (Figura 3), é bem mais leve e resistente a impacto, porém não é um material duro, apresentando facilidade para os aranhões e penetrações.



Figura 3: Secador com cobertura de policarbonato.

## RESULTADOS E DISCURSSÃO

Os principais dados a serem observados e medidos para analisar a qualidade do equipamento são: a temperatura em várias partes do secador solar (entrada de ar ambiente, interior e saída de ar aquecido) e a massa (peso) inicial e final da banana (início = banana *in natura* e final = banana-passa). As medições dessas propriedades vão gerar gráficos que representam, para o secador solar, a variação da temperatura com o tempo e, para banana, a variação da perda de peso com o tempo. Nos testes realizados, as temperaturas foram medidas em intervalos de uma hora. Foi utilizado um termopar e uma pistola de temperatura (figura 4). O termopar foi utilizado pra medir a temperatura do interior, e a pistola para medir a temperatura na entrada e saída do equipamento.



Figura 4: Equipamentos para medição de temperatura.

As curvas de sorção são construídas a partir da perda de massa na banana (na realidade perda de água que estava adsorvida na banana) ao longo do tempo. Através de uma balança de precisão foi medida a massa inicial das bananas, antes de serem colocadas no secador solar. Ao longo do dia (de hora em hora), foram realizadas as medições de peso até chegar o fim do processo, quando foi feita a medição final. Através das Equação (01) e (02) se obtém o conteúdo de umidade presente no produto final, a banana-passa. Segundo Park (2007), o conteúdo de umidade de um produto é a proporção direta entre a massa de água presente no material e a massa de matéria seca. O conteúdo de umidade é a quantidade de água, que pode ser removida do material sem alteração da estrutura molecular do sólido, e pode ser expressa de duas maneiras:

Base Seca Xbs: Em relação à massa seca do produto.

$$X_{bs} = M_{\text{final}} / M_{\text{Massa Seca}} \quad (01)$$

Base Úmida (Xbu): Em relação à massa total do produto.

$$X \text{ base úmida}(\%) = (100) M_{\text{final}} / M_{\text{total}} \quad (02)$$

Onde, X é o Conteúdo de umidade, e M é a Massa da banana sem casca.

Os gráficos a seguir foram escolhidos entre vários outros realizados durante todo esse ano de estudo.

Os gráficos (1), (2), (3) e (4) apresenta as temperaturas no interior do secador solar, esse dado é um dos mais importantes para a determinação da eficiência do equipamento. As curvas apresentadas foram realizadas em datas diferentes. As curvas apresentadas do gráfico (1) e (2) foram realizadas no dia 20 de março de 2010, já as curvas presentes do gráfico (3) e (4) foram realizadas 24 de julho 2010.

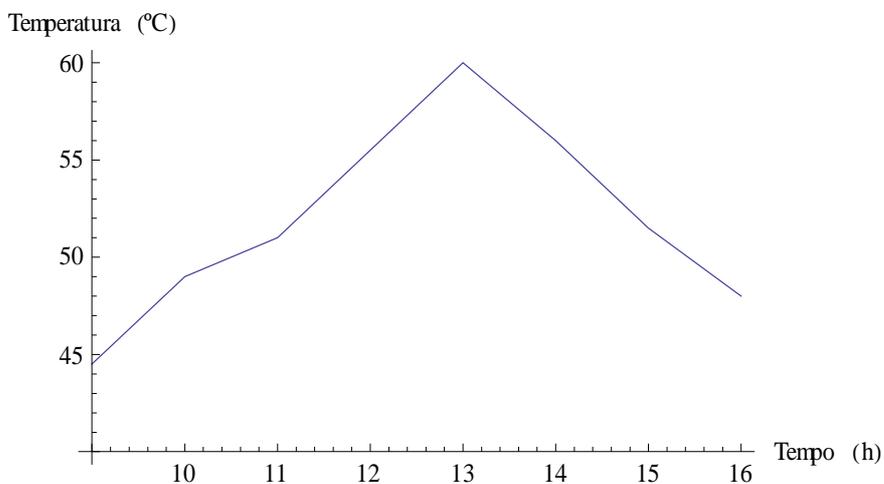


Gráfico 1: curvas de temperatura realizada março com o secador solar com cobertura de vidro.

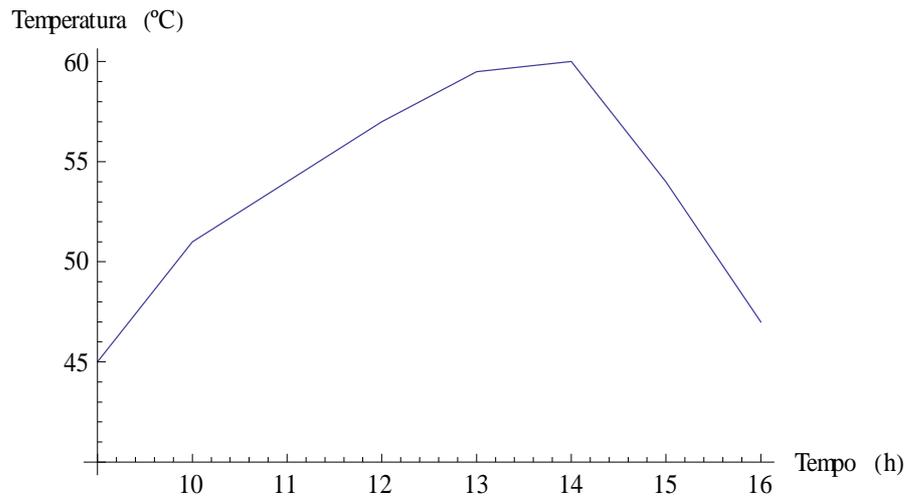


Gráfico 2: curvas de temperatura realizada março com o secador solar com cobertura de policarbonato.

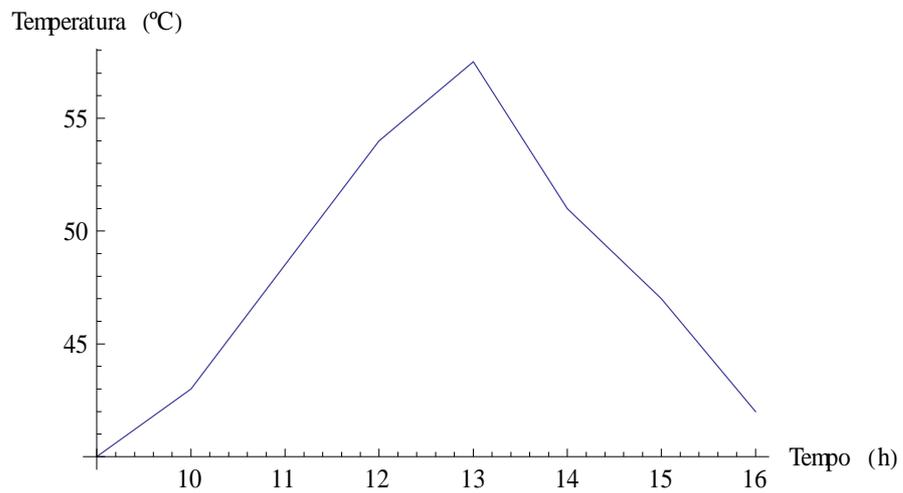


Gráfico 3: curvas de temperatura realizada julho com o secador solar com cobertura de vidro.

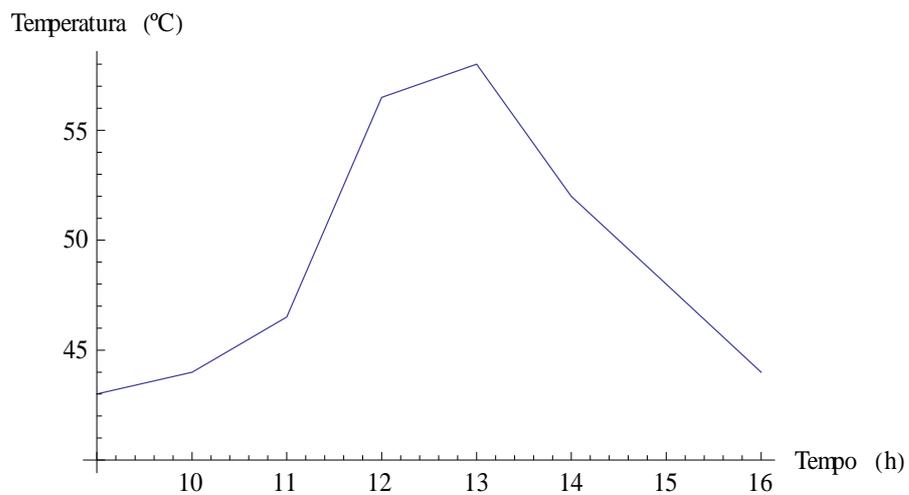


Gráfico 4: curvas de temperatura realizada julho com o secador solar com cobertura de policarbonato.

Os gráficos (1) e (2), realizados com os dados obtidos em março, apresentou temperaturas mais pelo fato do mês ter sido em geral mais quente e com o céu mais limpo. Já o mês de julho apresentou temperaturas bem mais baixas, e alguns momentos o céu nublado atrapalhava a chega dos raios solares até o equipamento.

As temperaturas na entra e na saída de ar do secador solar foram bem próximas umas das outras, isso porque a massa de ar quente que sai do secador é mínima comparada com a do ambiente que estar fria, resultando em um equilíbrio térmico quase que imediato, de tal forma que o equipamento utilizado não é capaz de medir a real temperatura no exato momento antes do ar quente vindo do secador entrar em contato com o ar frio do ambiente.

O gráfico (5) apresenta a curva de sorção das amostras da banana utilizadas na construção do gráfico (4) realizado no dia 24 de julho de 2010.

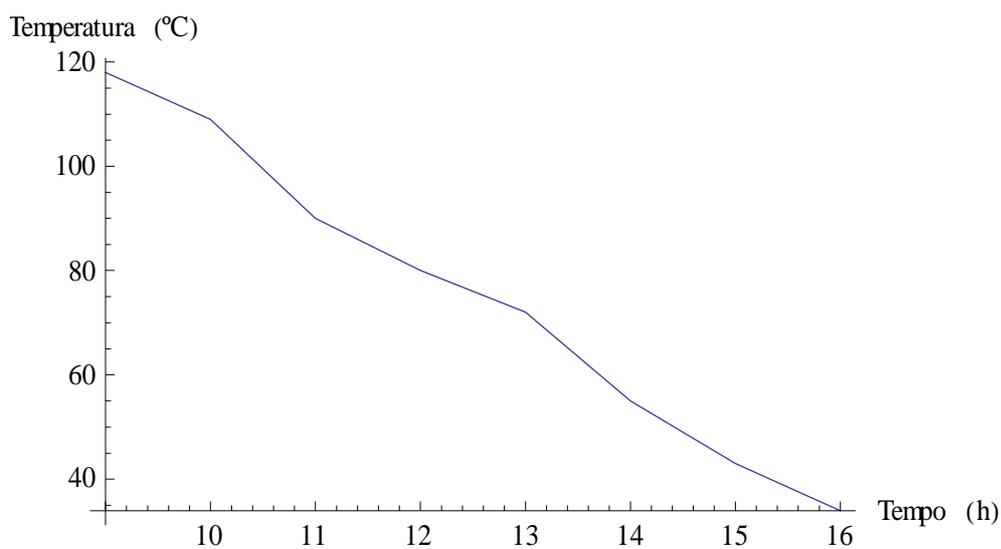


Gráfico 5: secagem correspondente às amostras de banana utilizadas no gráfico 4.

Como foi mostrada no gráfico a variação dos valores de massa na secagem são relativamente próximos, apresentando valores maiores de variação apenas nas horas de maior temperatura, entre 11 a 13 horas.

As figuras 5 e 6 mostram as amostras de banana utilizadas no processo.



Figura 5: Antes da secagem



Figura 6: depois da secagem.

### Avaliação

A massa da banana antes da realização da secagem foi de 118 g e depois da secagem foi 34 g. Portanto utilizando a equação (2) determina-se a base úmida encontrada no produto final foi:

$$X \text{ base úmida (\%)} = (100) 34 \text{ g}/118 \text{ g}$$

$$X \text{ base úmida (\%)} = 28\%$$

A quantidade de massa de água retirada foi de 84g e a umidade obtida foi de 28%.

Assim como citado anteriormente, uma banana com uma base úmida entre 20 a 30% tem uma grande capacidade de conservação.

Portanto a amostra da banana utilizada chegou numa faixa de umidade desejada para uma conservação do produto.

### CONCLUSÃO

Os resultados dos testes apontam que o uso do policarbonato como cobertura do secador solar em substituição ao vidro é positivo e apresenta vantagens competitivas em relação à manutenção do efeito estufa no interior do secador solar e por ser mais leve que o vidro torna o equipamento com um melhor manuseio. Mais testes de campo precisam ser realizados para se observar a resistência do policarbonato em teste de longa duração e em várias épocas do ano que sejam representativas do ciclo da radiação solar na cidade de Campina Grande.

Os valores de umidade encontrados para as amostras foram um sucesso, ressaltando a eficiência do equipamento do desenvolvimento do processo de secagem.

Usando matérias simples, de preços acessíveis, e a energia solar como fonte térmica, foi possível construir e testar um secador solar individual de baixo custo, usado para produção de banana-passa. Através dos testes preliminares, já realizados, é possível inferir pela qualidade do equipamento e do produto final produzido, a banana-passa.

### AGRADECIMENTOS

Agradeço aos professores Marcelo Bezerra Grilo e Yoge Jerônimo da Costa Ramos pela a oportunidade de realizar conjuntamente este trabalho e a UFCG/CNPq que, através da bolsa PIBIC, me propiciou apoio para empreender esta pesquisa experimental.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Garcia, Danton Camacho. 2008. **Secagem de Sementes**. Trabalho publicado no Programa de Pós-Graduação em Agronomia/UFSM.

Grilo, Marcelo Bezerra. 2007. **Fundamentos da Energia Solar: Radiação solar e coletor solar plano – conceitos básicos e aplicações**. Ed. da UFCG ISBN 9788589674348, Campina Grande.

Lima, A. G. B., Nebra, S. A., Queiroz, M. R. 2000. **A Banana: Parte I: Aspectos Históricos e Mercadológicos**. Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais. V. 2.

Park, K. J.; Antonio, G. C.; Oliveira, R. A. Park, K. J. B. 2007. **Conceitos de Processo e Equipamentos de Secagem**. Campinas.