

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE FARINHA DE FRUTAS E VEGETAIS
ATRAVÉS DO USO DE UM SISTEMA DE SECAGEM SOLAR DE BAIXO
CUSTO

Dissertação submetida à

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
como parte dos requisitos para a obtenção do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA MECÂNICA

João Batista Sousa Costa

Orientador: Prof. Dr. Luiz Guilherme Meira de Souza

Natal, Agosto /2010

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA MECÂNICA

**OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE FARINHA DE FRUTAS E VEGETAIS
ATRAVÉS DO USO DE UM SISTEMA DE SECAGEM SOLAR DE BAIXO
CUSTO**

João Batista Sousa Costa

**Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de
MESTRE EM ENGENHARIA MECÂNICA**

sendo aprovada em sua forma final.

Prof. Dr. Luiz Guilherme Meira de Souza – UFRN (orientador)

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Luiz Guilherme Meira de Souza – UFRN

Prof. Dr. José Ubiragi de Lima Mendes – UFRN

Prof. Dr. Roberto Silva de Souza – IFRN - NATAL

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus que mim fortalece e mostra os caminhos que devo seguir.

A minha mãe Rosa (Memória Póstuma), que guardo-a na minha lembrança como uma grande mulher, exemplo de simplicidade, sapiência e determinação. Eu a agradeço de coração por toda dedicação e esforço que realizou durante toda a minha vida para mim dar sempre o melhor, no sentido do cuidado para que nada mim faltasse e na educação, mim orientando para seguir um bom caminho e acreditando na minha capacidade de crescimento pessoal, acadêmico e profissional.

Quero agradecer a minha esposa Luciene Urbano e as minhas filhas Maria Laura e Joana Rosa que não mediram esforços para a realização deste trabalho colaborando e mim apoiando em todos os momentos que precisei.

Um agradecimento especial ao meu orientador e amigo, Professor Dr. Luiz Guilherme Meira de Souza pela competência e sapiência com as quais orientou esta pesquisa, valorizando o meu esforço e elevando a minha auto-estima, criando as condições favoráveis para a construção de novos conhecimentos.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica – PPGEM/UFRN, pela realização deste Curso de Mestrado.

Aos Professores do Departamento de Engenharia Mecânica da UFRN, por proporcionarem conhecimentos para o aprimoramento dos alunos.

Ao Laboratório de Maquinas Hidráulicas e Energia Solar da UFRN, que possibilitou a realização de todo o experimento deste trabalho.

Aos colegas mestrandos e doutorandos do Departamento de Engenharia Mecânica da UFRN.

Um agradecimento em especial, a Aldo Paulino, que deu grande contribuição na realização da parte prática deste trabalho.

Aos meus amigos pelo apoio e incentivo.

A todos que participaram, de maneira direta ou indireta, na elaboração deste trabalho. Muito obrigado!

RESUMO

Apresenta-se um sistema de secagem solar para a desidratação de alimentos utilizando um secador de exposição direta que trabalha em regime de circulação natural. Abordam-se os processos de construção e montagem desse secador que utiliza isolante térmico de raspa de pneu, permitindo a reutilização de materiais, constituindo-se numa opção ambientalmente correta de reciclagem. O trabalho apresenta resultados de testes realizados para a secagem do caju que atestam as viabilidades térmicas e econômicas do sistema de secagem solar proposto enfocando o processo de produção da farinha e análises químicas para caracterizá-la. Será também demonstrada a importância social que essa produção representa para a população mais excluída uma vez que o valor agregado a essa fruta, em relação ao in natura, pode representar uma opção de geração de emprego e renda. As principais características do secador proposto são seu baixo custo e simples processo de fabricação e montagem. Após seco o caju foi transformado em farinha por meio de um moinho de faca, e posteriormente, foi adicionada rapadura triturada para amenizar o sabor rançoso provocado pelo tanino.

Palavras chaves: secagem solar, caju seco, materiais alternativos, energia renovável alternativa, materiais de baixo custo, análise química.

ABSTRACT

In this work a solar drying system for food dehydration was developed. It is a direct exposition drying apparatus that uses solar energy to heat the circulating air. First, the construction and assembly of this apparatus was described, in which was used scrap wraps of used tires for thermal insulation, allowing the reuse of solid waste, being an ecologically correct recycling option. After, the results obtained in experiments for cashew drying showed the thermal and economical feasibility of the proposed solar drying system, focusing on the process of flour production and in its chemical characterization. It was also demonstrated the social importance of this production for socially excluded people, since the value added to this fruit, in relation to its in nature form, may represent an option for job and income generation. The main features of the proposed dryer are its low cost and its easy fabrication and assembly process. After cashew drying, the obtained product was processed into flour by using a knife mill and it was added crushed “rapadura” to reduce the rancid taste caused by tannin.

Keywords: solar drying system, dried cashew, alternative materials, renewable energy, low cost materials, chemical analysis.

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO | 12 |
| 1.1. APRESENTAÇÃO | 12 |
| 1.2. OBJETIVOS | 14 |
| 1.2.1. OBJETIVO GERAL | 14 |
| 1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 15 |
| | |
| CAPÍTULO 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 16 |
| 2.1. FONTES DE ENERGIA | 19 |
| 2.2. ENERGIA SOLAR | 19 |
| 2.3. SECADOR SOLAR | 21 |
| 2.4. CLASSIFICAÇÃO DOS SISTEMAS DE SECAGEM SOLAR | 21 |
| 2.5. TIPOS DE SECADORES SOLARES | 22 |
| 2.5.1. SECADOR DE CONVECÇÃO NATURAL | 22 |
| 2.5.2. SECADOR SOLAR DE CONVECÇÃO FORÇADA | 27 |
| 2.5.3. SECADOR SOLAR HÍBRIDO | 31 |
| 2.6. CAJU | 35 |
| 2.7. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICA DO CAJU | 36 |
| | |
| CAPÍTULO 3 – MATERIAIS E MÉTODOS | 40 |
| 3.1. PROCESSOS DE CONSTRUÇÃO E MONTAGEM DO SECADOR SOLAR | 40 |
| 3.2. AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DO COLETOR | 42 |

| | |
|---|-----------|
| 3.2.1. COEFICIENTE GLOBAL DE PERDAS (ULOSS) | 42 |
| 3.2.2. CÁLCULO DA POTÊNCIA PERDIDA NO SECADOR SOLAR | 43 |
| 3.2.3. CÁLCULO DO RENDIMENTO DO SECADOR SOLAR | 43 |
| 3.3. CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA FARINHA | 43 |
| | |
| CAPÍTULO IV – RESULTADOS E DISCUSSÕES | 48 |
| | |
| CAPÍTULO V – CONCLUSÕES E SUGESTÕES | 65 |
| | |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 67 |

LISTA DE FIGURAS

- Figura 2.1. Curva de secagem para tomate em secador de exposição direta.
- Figura 2.2. Classificação de secadores solares e modos de secagem.
- Figura 2.3. Secador solar convecção natural de Othiene.
- Figura 2.4. Segundo Secador solar convecção natural de Othiene.
- Figura 2.5. Foto do secador solar de convecção natural tipo gabinete de Lawnd
- Figura 2.6. Secador solar tipo gabinete trabalhado por Minka
- Figura 2.7. Secador de convecção natural de Sharma
- Figura 2.8. Secador solar de convecção natural de Bolaji
- Figura 2.9. Secador solar de convecção natural de Gbha et al.
- Figura 2.10. Secador solar de convecção forçada estudada por Beltagy et al em 2007
- Figura 2.11. Diagrama do secador solar destacando o coletor solar e câmara secadora
- Figura 2.12. Secador de convecção forçada
- Figura 2.13. Secador solar de convecção natural
- Figura 2.14. Secador solar de convecção forçada com leite dessecante
- Figura 2.15. Secador solar híbrido som sistema de armazenamento térmico
- Figura 2.16. Secador solar híbrido com energia elétrica.
- Figura 2.17. Secador solar híbrido com biomassa
- Figura 2.18. Protótipo de um secador híbrido com GLP
- Figura 2.19. Secador solar híbrido com energia geotérmica
- Figura 2.20. Caju tipo amarelo.
- Figura 2.21. Cajueiro típico da região nordestina
- Figura 2.22. Estrutura química do tanino presente no caju
- Figura 3.1. Processos de construção e montagem do secador solar
- Figura 3.2. Fluxograma das etapas do procedimento experimental
- Figura 3.3. Moinho de faca e farinha produzida.
- Figura 3.4. Foto de pHmetro Digimed DM-34

Figura 3.5. Estufa utilizada para a determinação da umidade do caju após seco.

Figura 3.6. Forno mufla utilizado para a determinação do teor de cinzas do caju após secagem.

Figura 3.7. Espectrofotômetro de absorção atômica utilizado para a determinação dos minerais.

Figura 3.8. Cromatográfico de íons utilizado para a determinação de cinzas.

Figura 4.1. Perda de massa das amostras do caju na secagem direta em convecção natural.

Figura 4.2. Comportamento assumido pela umidade relativa do ar durante o teste de secagem do caju.

Figura 4.3. Comportamento assumido pela radiação solar global durante o teste de secagem do caju.

Figura 4.4. Corresponde a curva de calibração do Zinco no equipamento de Espectrometria de Absorção Atômica.

Figura 4.5. Corresponde a curva de calibração do Zinco no equipamento de Espectrometria de Absorção Atômica.

Figura 4.6. Perda de massa das amostras de abacaxi na secagem em convecção natural.

Figura 4.7. Cromatograma dos íons amônio, cálcio, lítio, magnésio, potássio e sódio da farinha de caju in natura.

Figura 4.8. Curva de calibração do zinco.

Figura 4.9. Comportamento das umidades de entrada e saída do coletor para uma carga de caju secado.

Figura 4.10. Comportamento da eficiência do processo de secagem do caju.

Figura 4.11. Mostra as farinhas de goiaba, banana e caju produzida após o processo de secagem no secador testado.

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1. Composição química das duas variedades de caju (vermelho e amarelo).

Tabela 4.1. Variação da massa das amostras de **caju** na secagem direta com convecção natural.

Tabela 4.2. Variação da massa das amostras de **manga** na secagem direta com convecção natural.

Tabela 4.3 Variação das amostras de banana.

Tabela 4.4. Variação das amostras de abacaxi na secagem direta com convecção natural.

Tabela 4.5. Tempos de secagem dos alimentos postos a secar.

Tabela 4.6. Resultado das análises do pH nos produtos testados.

Tabela 4.7. Resultado das análises do teor de cinzas nos produtos testados.

Tabela 4.8. Teores de minerais para as amostras de farinha caju.

Tabela 4.9. Dados para cálculos da eficiência do processo de secagem de caju.

NOMENCLATURA

β = coeficiente de dilatação térmica, K^{-1}

σ = constante de Stefan-Boltzman, em $W/m^2 \cdot K^4$

δ = espessura da camada de fluido, em mm.

ν = viscosidade cinemática, em m^2/s .

α_p = absorvidade da placa

η_t = rendimento térmico, em %.

ε_v = emissividade da cobertura de vidro

τ_v = transmissividade do vidro de cobertura do secador

c_p = calor específico do fluido, em $KJ/Kg \cdot K$

e_{areia} = espessura da areia, em mm

e_{tijolo} = espessura do tijolo, em mm

e_{vi} = espessura do vidro, em mm

g = constante da aceleração da gravidade, em m/s^2

H = comprimento da camada de fluido, em mm

$h_{c(p-vi)}$ = coeficiente de transmissão de calor por convecção entre a placa absorvedora e a superfície interna do vidro de cobertura, em $W/m^2 \cdot K$

$h_{c(ve-a)}$ = coeficiente de transmissão de calor por convecção entre a superfície externa do vidro e ao ar ambiente, em $W/m^2 \cdot K$

$h_{r(p-vi)}$ = coeficiente de transmissão de calor por radiação entre a placa absorvedora e a superfície interna do vidro de cobertura em $W/m^2 \cdot K$

$h_{r(ve-a)}$ = coeficiente de transmissão de calor por radiação entre a superfície externa do vidro e ao ar ambiente, em $W/m^2 \cdot K$

I = radiação solar global, em kW/m^2

k_{ar} = condutividade térmica do ar, em $W/m \cdot K$

k_{areia} = condutibilidade térmica do material da areia, em $W/m \cdot K$

K_{tijolo} = condutibilidade térmica do tijolo, em $W/m \cdot K$

K_{vi} = condutividade térmica do vidro, $W/m \cdot K$.

P_{abs} = potência absorvida pelo coletor, em W

•
 m = vazão mássica, em kg/s

P_p = potência perdida, em W

Pr = número de Prandtl

P_u = potência útil, em W

$R_{c(p-vi)}$ = Resistência convectiva entre a placa absorvedora e a superfície interna da cobertura, em $m^2.K/W$

$R_{c(ve-a)}$ = Resistência convectiva entre a superfície externa da cobertura e o ar ambiente, em $m^2.K/W$

$R_{k(vi-ve)}$ = Resistência condutiva entre as superfícies interna e externa da cobertura transparente, em $m^2.K/W$

R_{kc} = resistência condutiva do tijolo, m^2K/W

$R_{r(p-vi)}$ = Resistência radiativa entre a placa absorvedora e a superfície interna da cobertura, em $m^2.K/W$

$R_{r(ve-a)}$ = Resistência radiativa entre a superfície externa da cobertura e o ar ambiente, em $m^2.K/W$

T_a = temperatura ambiente, em K

T_{pm} = temperatura média da placa absorvedora, em K

T_{ve} = temperatura média externa do vidro, em K

T_{vi} = temperatura média interna do vidro, em K

U_{base} = coeficiente de perda pela base, em $W/m^2.K$

$U_{laterais}$ = coeficiente de perda pelas laterais, em $W/m^2.K$

U_{loss} = coeficiente global de perdas, em $W/m^2.K$

U_{topo} = coeficiente de perda pelo topo, em $W/m^2.K$

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

1.1. Apresentação

A crise do petróleo que ocorreu em setembro de 1973, alterou profundamente a tendência do uso exclusivo dos combustíveis fósseis. Essa crise levou alguns países a repensarem seus planejamentos energéticos.

O mundo conscientizou-se, que não é apenas o preço do petróleo que iria aumentar em proporções incompatíveis com as economias nacionais, como também que esse combustível irá se esgotar em poucos anos. Mas, recentemente, a luta pela preservação do planeta tornou-se o fator predominante, trazendo um retorno à fonte de energia renovável como já se observa em várias partes do mundo, com a busca cada vez maior do uso da energia solar direta ou indireta.

Um das possibilidades da aplicação da energia solar é a secagem de frutas. A secagem das colheitas por exposição solar direta exige que tenhamos suficiente radiação solar; baixa porcentagem de umidade ambiental; e ataque limitado de externos: insetos, pássaros, roedores, etc.

As experiências efetuadas com as frutas expostas ao sol – céu descoberto, sobre lonas, madeiras, pisos, etc., deram resultados com baixo rendimento. Praticamente 70% a 80% das frutas se deterioraram e a qualidade foi bastante inferior. Esse trabalho estuda um secador solar para promover a secagem de caju, com a finalidade de se tornar uma alternativa tecnológica eficiente, econômica e bastante simples para ser usado pela população de baixa renda no interior do Nordeste.

O caju é nativo do nordeste brasileiro. O nome vem do tupi “acaiú” que significa fruto amarelo. Pelas características de que tudo nele se aproveita como o suco, o bagaço, a casca, a árvore, as folhas e flores, e principalmente, a amêndoa.

A cajucultura é hoje uma atividade agrícola de muita importância para o desempenho sócio-econômico do nordeste, sendo os estados do Ceará, Piauí e Rio Grande do Norte responsáveis por 95% da produção do caju. Essa cultura ocupa uma área de 700 mil hectares e é responsável por 300 mil empregos diretos e indiretos. Apesar da sua potencialidade, a cadeia produtiva da castanha (amêndoa de caju) brasileira a partir da década de oitenta, vem apresentando sinais evidentes de perdas de competitividade. A participação do Brasil nas exportações mundiais na década de noventa foi reduzida em 45%.

O caju possui componentes que lhe conferem o título de alimento funcional, ou seja, que atende as necessidades nutricionais e possui função agregada à saúde pela riqueza em fibras e vitaminas. O caju é entre as frutas comestíveis cultivadas, uma das que apresenta maior teor de vitamina C (ácido ascórbico), sendo superada apenas pela acerola (*Malpighia glabra* L.) ou “Cereja das Antilhas”, planta introduzida no Brasil há muitos anos, mas que apenas recentemente foi divulgado com maior intensidade (Lima, 1998).

O pedúnculo do caju pode ser consumido como fruta fresca (consumo natural), ou pode ser utilizado na fabricação de suco de caju, doces, refrigerantes, vinagres, vinhos, aguardentes, hambúrguer, farinha, pães, biscoitos patês, etc.

Este trabalho consiste na construção e montagem de um sistema de secagem para frutas, constituída de um secador de exposição direta, construído com materiais alternativos como compósitos, raspa de pneus, isopor, etc. O sistema foi utilizado para a secagem do caju e a sua utilização na produção de farinha.

O pedúnculo (pseudofruto) é considerado uma matéria-prima farinácea de ótima qualidade, em virtude do seu alto teor de minerais, principalmente fósforo, cálcio, ferro e potássio.

Nos últimos anos tem aumentado a preocupação com a qualidade dos alimentos que vão a mesa dos brasileiros, já que as exigências quanto ao padrão desses produtos, por parte dos consumidores é cada vez maior. Conseqüentemente tem aumentado as pesquisas físico-químicas dos produtos alimentícios.

Um grande problema das frutas é a sua alta perecibilidade, que impede a sua total utilização, prejudicando a sua contribuição no combate à fome, nas nações pobres e que possua um potencial na fruticultura. Outro problema das frutas é o desperdício, que pela inexistência de uma política governamental, no sentido de investir em tecnologias como medidas que venha a combater ao imenso prejuízo causado por essa situação. A perecibilidade, o desperdício, e atraso tecnológico, imposto ao homem do campo pobre, induzam ainda mais a desigualdade social, contribuindo para a deterioração da sua vida.

A proposta deste trabalho é uma alternativa de combate a perecibilidade e o desperdício, promovendo a secagem do caju e a produção de farinha, agregando valor ao produto final, utilizando um sistema de baixo custo, fácil de construção e montagem e que utiliza uma fonte energética limpa, extremamente disponível e ecologicamente correta.

Outra importância do projeto para uma política de combate a miséria, é o repasse tecnológico da secagem solar a baixo custo, oferecendo uma oportunidade de geração de

renda, através da comercialização de um produto de custo até cinco vezes maior que o in natura.

Portanto, o projeto tem a finalidade de combater a precibilidade e desperdício utilizando uma energia largamente disponível na nossa região. É um sistema de baixo custo e tecnologicamente simples e viável, podendo contribuir como uma ação de fixação do homem no campo, atacando problemas de desemprego, da fome e da miséria, combatendo a exclusão social.

Além do Laboratório de Máquinas Hidráulicas e Energia Solar foram realizados ensaios utilizando a estrutura e equipamentos do Laboratório do NUPEG 2, localizado no Núcleo de Tecnologia pertencente ao Centro de Tecnologia. Também foi utilizado um cromatógrafo de íons que funciona no Laboratório do NEPGN, localizado no CCET.

O referido trabalho está dividido em seis capítulos. O primeiro capítulo apresenta a introdução do trabalho, suas inovações e os objetivos gerais e específicos.

No segundo capítulo, é apresentada uma revisão da literatura, com o propósito de mostrar os mais variados aspectos teóricos do processo de secagem. Foram pesquisados os mais variados secadores solares procurando apresentar um resumo destes com fotos e desenhos. Neste capítulo também é apresentado às características físico-químicas do caju.

O terceiro capítulo descreve o dimensionamento, construção e o funcionamento do secador, sendo apresentados detalhes dos componentes que formam o equipamento. O capítulo também mostra os equipamentos e instrumentos utilizados na metodologia experimental e os métodos utilizados nas caracterizações físico-químicas das amostras e produtos.

O quarto capítulo apresenta os resultados do desempenho da operação do secador e as discussões desses resultados. Também o capítulo traz os resultados da caracterização físico-química e apresenta uma discussão ao seu respeito.

O quinto capítulo trata das conclusões e das propostas de futuros trabalhos tirados a partir da realização dessa pesquisa. Finalizando o trabalho com o sexto capítulo com as referências bibliográficas.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo geral

Demonstrar as viabilidades térmica e econômica de um sistema de secagem construído com materiais de baixo custo, destinado a secagem de frutas.

1.2.2. Objetivos específicos

1. Projetar um sistema de secagem solar de baixo custo para promover a desidratação de frutas, visando massificar seu uso por comunidades rurais carentes do estado do Rio Grande do Norte;
2. Construir e instrumentar o sistema;
3. Levantar o desempenho experimental do sistema construído;
4. Analisar os resultados obtidos;
5. Comparar os resultados obtidos com o secador proposto e estudado, com os resultados de secadores solares já estudados descritos pela literatura de secagem solar de frutas.

CAPÍTULO 2 – REVISÃO BIBLIOGRAFICA

O homem pré-histórico passou a utilizar a técnica de conservação de alimentos quando percebeu que os alimentos do dia de fatura podiam ser utilizados em tempos de escassez. Ao colocar a carne ao sol para secar, observou que criava uma camada externa que protegia a parte interna da carne permitindo a sua utilização por mais tempo. Assim estava criada a técnica de conservação dos alimentos. Esse método antigo de conservação ainda hoje é usado e chegou ao Brasil com os portugueses.

Já na Segunda Guerra, com a introdução da tecnologia do processamento por escaldamento antes da secagem, houve uma melhoria da qualidade dos alimentos desidratados. Com as pesquisas, conseguiram-se produtos secos com maior período de conservação e de melhor qualidade quando reidratados. Um ponto importante para a conservação dos alimentos desidratados foi o controle do teor de umidade final dos produtos (Meloni, 2002).

A ciência e a tecnologia nos últimos cinquenta anos fizeram grandes avanços nessa área, aprimorando novos sistemas de conservação de alimentos.

As principais características dos legumes e hortaliças desidratadas de boa qualidade são as seguintes (Fioreze, 2003):

- Teor de umidade em torno de 5%, para minimizar a deterioração de cor, sabor e odor, provocados pelas reações oxidativas e impedir o desenvolvimento microbiano;
- Devem reidratar-se de maneira rápida e satisfatória, assumindo forma e aparência original do produto antes da secagem;
- Devem cozinhar rapidamente em água fervente e quando prontos para servir deverão ser tenros, retendo muito do seu odor e sabor originais;
- Quando embalados deverão ser isentos de insetos, umidade e ar, em embalagens hermeticamente fechadas e sob vácuo ou atmosfera de gás inerte.

Os legumes e as hortaliças desidratadas apresentam as seguintes vantagens (Fioreze, 2003):

- Pesam somente cerca de 1/10 do peso original no caso de raízes vegetais e 1/15 ou menos para o caso de folhas e tomates;
- Os legumes e hortaliças desidratadas não necessitam de refrigeração durante o transporte ou armazenamento, como é o caso dos produtos frescos ou congelados;

- Compatibilidade com outros ingredientes nas misturas desidratadas, como sopas, etc.
- O valor nutritivo dos legumes e hortaliças não é muito depreciado pela desidratação.

Um inconveniente ocorre, quando sob prolongado armazenamento ao ar, vácuo ou gás inerte, principalmente a temperaturas superiores a 25°C, a maioria dos legumes e hortaliças desidratados sofre alterações indesejáveis. São altamente susceptíveis ao ataque de insetos se embalados inadequadamente (Costa, 2003).

A desidratação é o processo combinado de transferência de calor e massa no qual se reduz a disponibilidade de água de um alimento, aumentando o tempo de vida útil do mesmo, combatendo sua perecibilidade e seu desperdício. As principais razões para a desidratação das frutas são: redução da sazonalidade, aumento do seu valor de mercado do produto, redução de sua deterioração, melhoria do transporte e armazenamento (Meloni, 2002).

Os métodos de desidratação podem ser divididos em quatro tipos: por contato com ar quente; por contato com superfície quente, por liofilização; por adição de agentes osmóticos. No caso do presente trabalho a desidratação é obtida por contato com ar quente (Fioreze, 2003).

No processo de secagem são identificados dois períodos característicos: o período de taxa de secagem constante ou quase constante e um período com taxa de secagem decrescente. O gráfico da Figura 2.1 mostra a curva da taxa de secagem expressa pela variação de umidade do material em função do tempo de secagem.

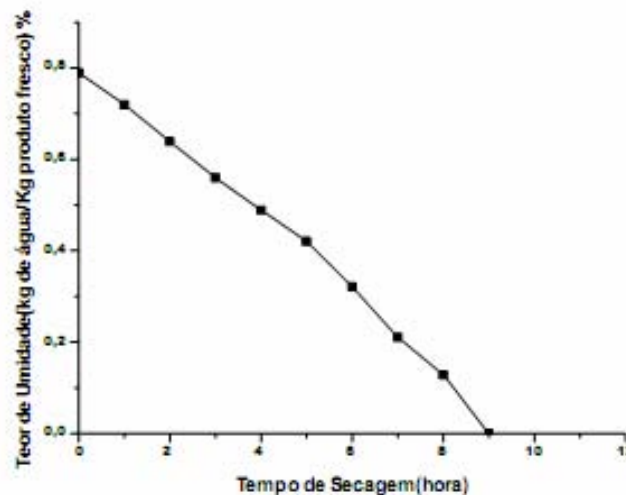


Figura 2.1. Curva de secagem para tomate em secador de exposição direta (Neto, 2008).

Os fatores mais importantes a serem considerados no processo de secagem de frutas são: pressão de vapor de água, temperatura do ar, velocidade do ar, velocidade de difusão da água no produto, espessura e superfície disponíveis (Neto, 2008).

A secagem solar pode ser obtida através de dois processos; a secagem de exposição direta e a secagem de exposição indireta. No primeiro tipo de secagem o alimento é exposto à radiação solar e por absorção de energia e em contato com um ar circulante a umidade se vaporiza na atmosfera. Neste caso a circulação do ar pode ser natural ou forçada. No segundo caso, a secagem é obtida através do uso de um aquecedor solar de ar, que fornece ar quente a uma câmara de secagem separada. Neste último caso outra fonte de calor pode ser usada conjuntamente com a energia solar na mesma unidade de secagem.

A desidratação de alimentos sólidos, como frutas e hortaliças, normalmente significa remoção da umidade de sólido por evaporação, e tem por objetivo assegurar a conservação das frutas por meio da redução do seu teor de água. Essa redução deve ser efetuada até um ponto, onde a concentração de açúcares, ácidos, sais e outros componentes sejam suficientemente elevados para reduzir a atividade de água e inibir, portanto, o desenvolvimento de microrganismos. Deve ainda conferir ao produto final características sensoriais próprias e preservar ao máximo o seu valor nutricional.

A fruticultura é, hoje, um dos segmentos mais importantes da agricultura nacional respondendo por 25% do valor da produção agrícola. Nos últimos anos, sua área cresceu a uma taxa nunca vista antes na história, ampliando suas fronteiras em direção à região nordeste, na qual condições de luminosidade, umidade relativa e temperatura, são muito mais favoráveis que na região sul e sudeste onde até então eram desenvolvidas (Lacerda et al, 2004)

Como a maioria dos frutos tropicais, o caju apresenta alto grau de perecibilidade e elevados índices de perda na produção, razão por que se tem levantado diversas pesquisas na área de conservação desses frutos e entre as várias formas, estão a desidratação osmótica, secagem, processamento mínimo e congelamento, entre outras.

No Brasil, o cajueiro ocupa lugar de destaque entre as plantas frutíferas tropicais. É indiscutível a excelência de sua cultura como atividade econômica e social na região Nordeste, que concentra 99% da área plantada, garantindo renda para um número considerável de pessoas, além de gerar divisas da ordem de US\$ 100 milhões anuais, com a exportação da amêndoa da castanha de caju (Carbajal e Mesquita, 1998).

No mercado nacional o caju tem sido pouco explorado, em razão da facilidade com que o mercado externo vem absorvendo quase toda a produção dos dois principais produtos obtidos da castanha, que são a amêndoa e o líquido da castanha do caju (LCC), enquanto ao caju (pedúnculo), que pode gerar uma série de outros produtos (suco, doces, passas, vinho, vinagre e etc.), não se tem dado a devida importância (UFLA,2003).

2.1. Fontes de energia

O uso da energia esta associada ao desenvolvimento da humanidade e tem uma relação direta com a questão ambiental. Assim o uso da energia pela sociedade industrial levou a um certo desenvolvimento econômico, proporcionando uma vida melhor para um boa parcela da população mundial. Mas esse desenvolvimento tem um custo ambiental alto e isso está relacionado com as fontes de energia usado pelo homem moderno. Quais essas fontes de energia?

São as mais variadas possíveis, mas resumidamente temos segundo **Berlamino, 2009** as **não renováveis** são aquelas que estão disponíveis em quantidades fixa no planeta, como exemplo, o petróleo que na medida em que é consumido, pode se esgotar, e as **renováveis**, que, ao contrário, resultam de fenômenos cíclicos naturais, acarretando a renovação numa curta escala de tempo, caracterizam-se por serem inesgotáveis; também são designadas por **energias não-fósseis** ou **alternativas**, por não provocarem emissões poluentes e por estarem disponíveis um pouco por todo o país, como exemplo temos a radiação solar.

Uma outra forma de energia, a chamada de co-geração, é definida por **Oddone (2001)**, como o processo de transformação de uma forma de energia em mais de uma forma de energia útil. Podendo promover a incineração de resíduos, como o bagaço de cana e pneus usados.

2.2. Energia Solar

A energia solar pode ser utilizada diretamente como fonte de energia térmica, para aquecimento de fluidos e ambientes, produção de potência mecânica e elétrica. Podemos produzir energia elétrica diretamente pela energia solar por meios de efeitos dessa sobre determinados materiais, através do efeito termoelétrico e fotovoltaico.

A tecnologia de aproveitamento da energia solar pode ser classificada em três formas: Coletores Solares, Concentradores Solares e Conversores diretos da radiação em energia elétrica.

Os coletores solares são equipamentos que diferem dos conversores de radiação em energia elétrica (painel fotovoltaico) por absorver e transferir a radiação solar para um fluido sob a forma de energia térmica, não produzindo eletricidade.

Entre as muitas aplicações dos coletores solares temos: aquecimento de água e ambiente, refrigeração, secagem de produtos agrícolas, destilação simples de água.

O aproveitamento da energia solar aplicado a sistemas que requerem temperaturas mais elevadas ocorre por meio de concentradores solares cuja finalidade é captar a energia solar incidente numa área relativamente grande e concentra-la numa área muito menor, de modo que a temperatura desta última aumente substancialmente.

A superfície refletora (espelho) dos concentradores tem forma parabólica ou esférica de modo que os raios solares que nela incidem seja refletidos para uma superfície bem menor, denominado foco, onde se localiza o material a ser aquecido. Os sistemas parabólicos de alta concentração atingem temperaturas bastante elevadas e índices de eficiência que variam de 14% a 22% de aproveitamento da energia solar incidente. (Atlas de Energia Elétrica do Brasil, 2009).

A tecnologia de concentração solar também chamada de termosolar, tem muitas aplicações entre as mais variadas, temos: Fogões solares, Forno solar, ferro solar e produção de energia elétrica.

Além dos processos térmicos descritos acima, a radiação solar pode ser diretamente convertida em energia elétrica, por meio de efeitos da radiação (calor e luz) sobre determinados materiais, particularmente os semicondutores. Entre esses, destacam-se os feitos termoelétrico e fotovoltaico.

O primeiro se caracteriza pelo surgimento de uma diferença de potencial, provocada pela junção de dois metais, quando tal junção está a uma temperatura mais elevada do que as outras extremidades dos fios. Embora muito empregado na construção de medidores de temperaturas, seu uso comercial para a geração de eletricidade tem sido impossível pelos baixos rendimentos obtidos e pelos custos elevados dos materiais (Atlas de Energia Elétrica do Brasil, 2009).

O feito fotovoltaico decorre da excitação dos elétrons de alguns materiais na presença da luz solar (ou outras forma apropriada de energia). Entre os materiais mais adequados para a conversão da radiação solar em energia elétrica, os quais são usualmente chamados de células solares ou fotovoltaicas, destaca-se o silício. A eficiência de conversão das células solares é medida pela proporção da radiação solar incidente sobre a superfície da célula que convertida

em energia elétrica. Atualmente, as melhores células apresentam um índice de eficiência de 25% (Green et al, 2000).

2.3. Secador Solar

O secador solar é um coletor solar em que o ar é aquecido pela radiação e o percorre, naturalmente ou forçado, por um sistema retirando a umidade do material a qual se quer secar. O material pode ser colocado diretamente no coletor (secagem direta) ou em uma câmara (secagem indireta).

O desenvolvimento de equipamentos que utiliza a radiação solar com eficiência e baixo custo passou a ter importância maior nos dias atuais, pois se tornou uma opção para os pequenos produtores que não tinham acesso aos secadores convencionais por conta do seu alto custo de aquisição e operação.

O Laboratório de Máquinas Hidráulicas e Energia Solar, do Departamento de Engenharia Mecânica da UFRN, tem desenvolvido além desse secador que estamos trabalhando, outros com materiais alternativos como: compósitos, sucatas de calhas de lâmpadas fluorescentes, garrafas PET, etc, com o objetivo de reduzir mais ainda seu custo para ser repassada as comunidades rurais do interior.

2.4. Classificação dos sistemas de secagem solar

Os sistemas de secagem solar podem ser classificados de diversas formas. A Figura 2.2 apresenta uma classificação de secadores solares e modos de secagem.

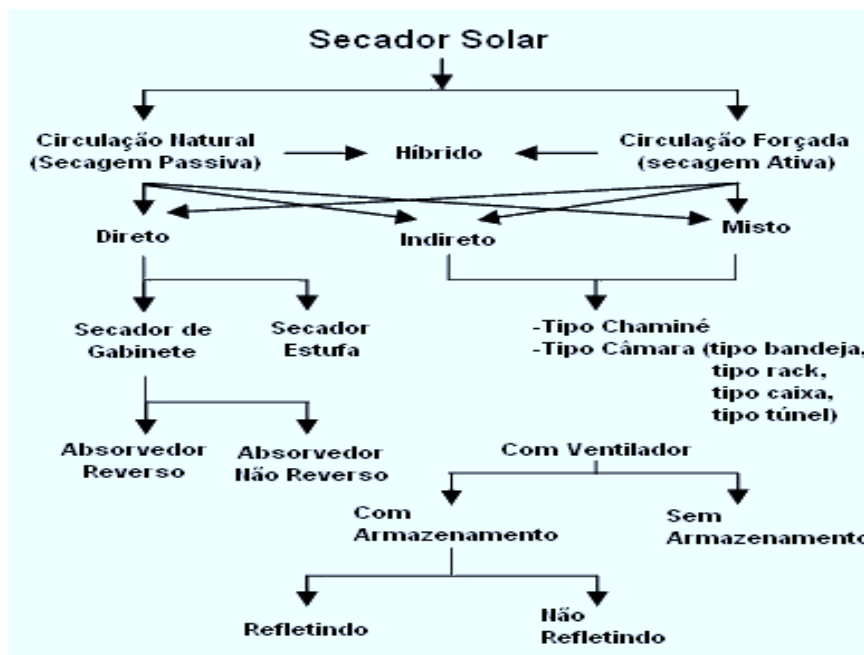


Figura 2.2. Classificação de secadores solares e modos de secagem.

2.5. Tipos de secadores solares

Os secadores podem ser de três tipos: secador de convecção natural, secador de convecção forçada e o secador híbrido.

Outra classificação segundo Khalil em 2007, é o secador de exposição direta, em que a radiação fica diretamente sobre o produto a ser secado e o secador de exposição indireta em que são adicionadas bandejas em uma câmara de secagem onde fica o produto a ser secado.

Podemos ter um secador de convecção natural com exposição direta ou indireta e convecção forçada com exposição direta ou indireta, o que vai determinar a sua utilização são os recursos disponíveis para a construção do secador.

2.5.1 Secador de Convecção Natural.

É o secador em que ocorre uma convecção natural, ou seja, o ar é aquecido na parte inferior do secador tem uma densidade menor e sobe arrastado pela corrente do ar atmosférico, promovendo a secagem do produto.

Othieno (1986) apresenta um secador solar simples de madeira com dimensões de 2mx1m. Uma folha de polietileno transparente na superfície superior permitia a entrada da radiação solar. Orifícios nas laterais promoviam a circulação de ar. A Figura 2.3. mostra o secador de convecção natural.

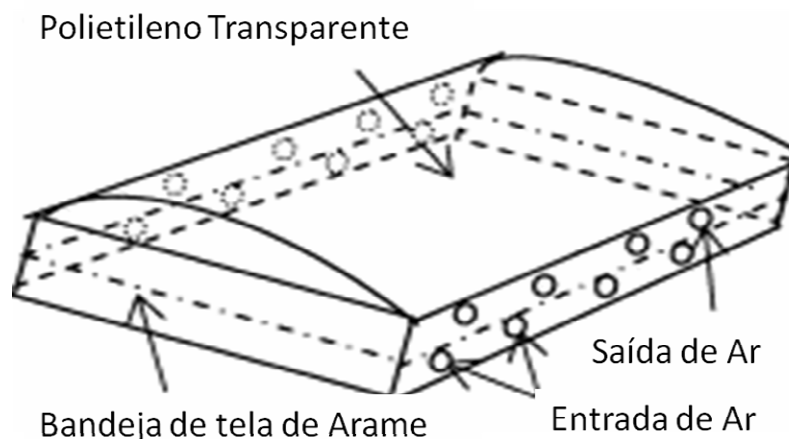


Figura 2.3. Secador solar convecção natural de Othiene.

Um outro secador solar de convecção natural foi desenvolvido por Othiene (1986) que consistia em uma caixa retangular semelhante ao anterior, com uma folha de polietileno preto na parte inferior do secador para absorver o calor da radiação. Uma outra folha de polietileno

transparente foi colocada na parte superior do secador. O ar entrava na parte frontal e saía em uma abertura na parte traseira do secador conforme a figura abaixo. A Figura 2.4. mostra o outro tipo de secador de convecção natural.

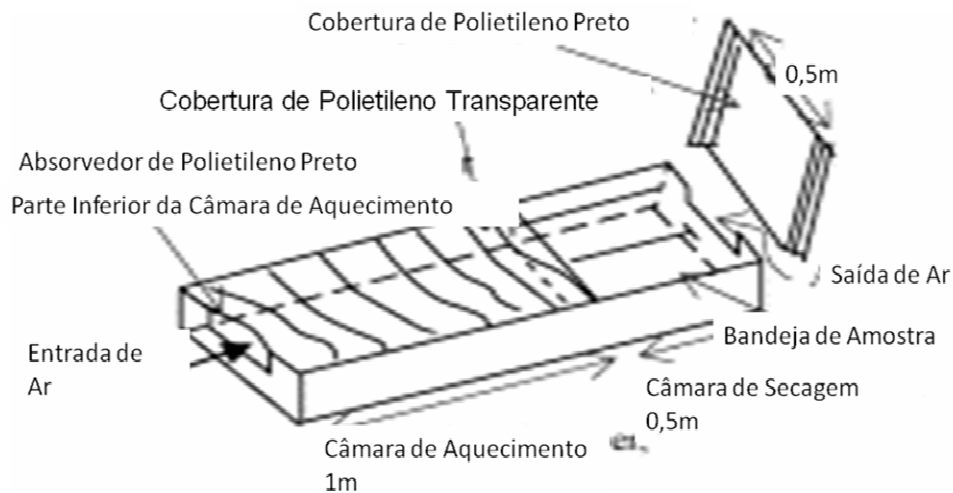


Figura 2.4. Segundo secador solar de convecção natural de Othiene.

Lawnde, em 1966 fabricou e testou um secador solar de convecção natural tipo gabinete no Instituto de Pesquisa Brace no Canadá, com capacidade de $7,5 \text{ kg/m}^2$ de área de secagem. Este secador consistia em utilizar dois vidros distante um do outro de 1,0 cm. A fim de proporcionar a circulação de ar, orifícios foram feitos nas laterais do secador. A Figura 2.5. mostra esse tipo de secador em convecção natural.

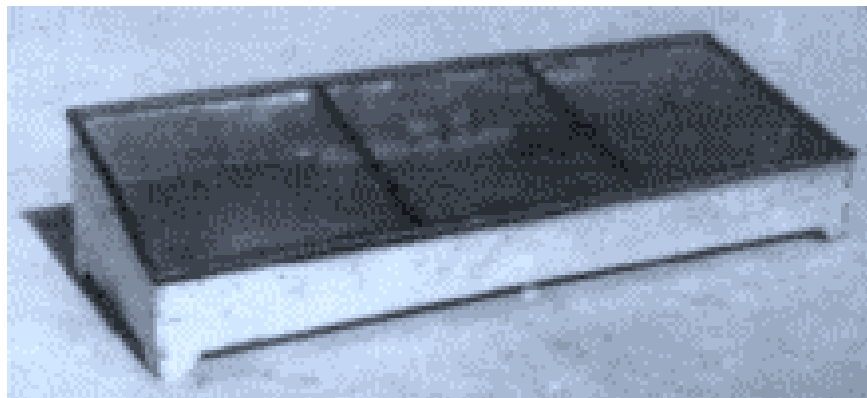


Figura 2.5. Foto do secador solar de convecção natural tipo gabinete de Lawnd.

Vários pesquisadores, entre eles Minka (1986), Mojola (1987) e Sharma et al (1990) fizeram estudos sobre a avaliação de desempenho do secador solar tipo gabinete.

Já Minka (1986) trabalhando em um secador solar tipo gabinete conforme a figura abaixo relata que a temperatura do secador solar fora de 20 a 30⁰ C acima da temperatura ambiente. A Figura 2.6. mostra esse tipo de secador de convecção natural.

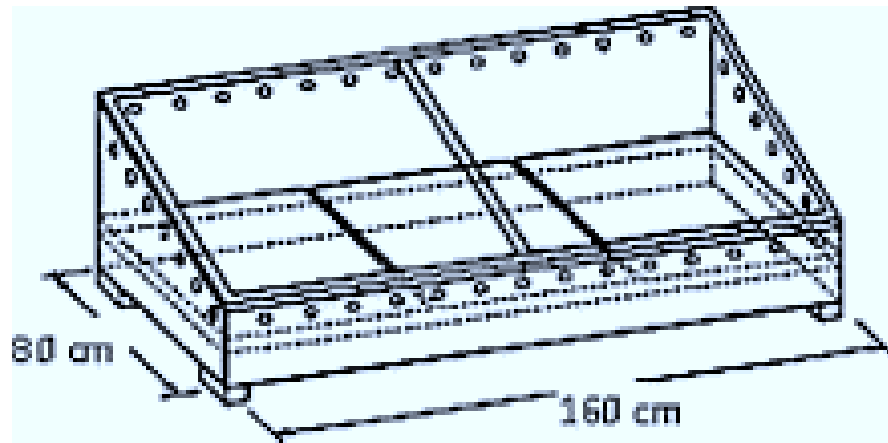


Figura 2.6. Secador solar tipo gabinete trabalhado por Minka.

Sharma et al em 1995, trabalharam em secador solar de convecção natural de madeira que apresentava duas partes: a primeira parte um coletor solar de vidro na parte superior e na segunda uma unidade de secagem que apresentava um conjunto de bandejas móveis e uma chaminé por onde sai o ar. Esse sistema também pode ser operada por convecção forçada. A Figura 2.7. mostra esse tipo de secador em convecção natural.

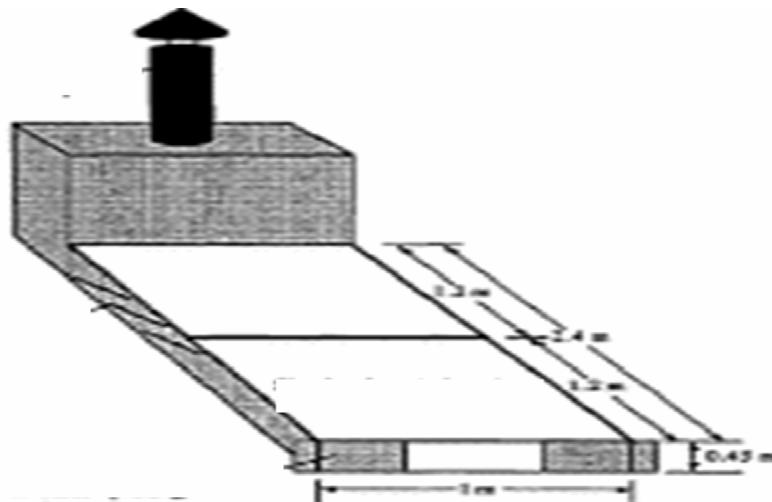


Figura 2.7. Secador de convecção natural de Sharma, que podia ser operado por convecção forçada.

Mursalin et al em 2002 avaliaram um secador solar de convecção em forma de gabinete. Este secador era coberto com um plástico transparente, apresentava as dimensões 120 cms x 40 cms x 40 cms (comprimento, largura e altura). Para a circulação de ar foram feitos furos na parte inferior do secador. A Figura 2.8. mostra esse tipo de secador de convecção natural.

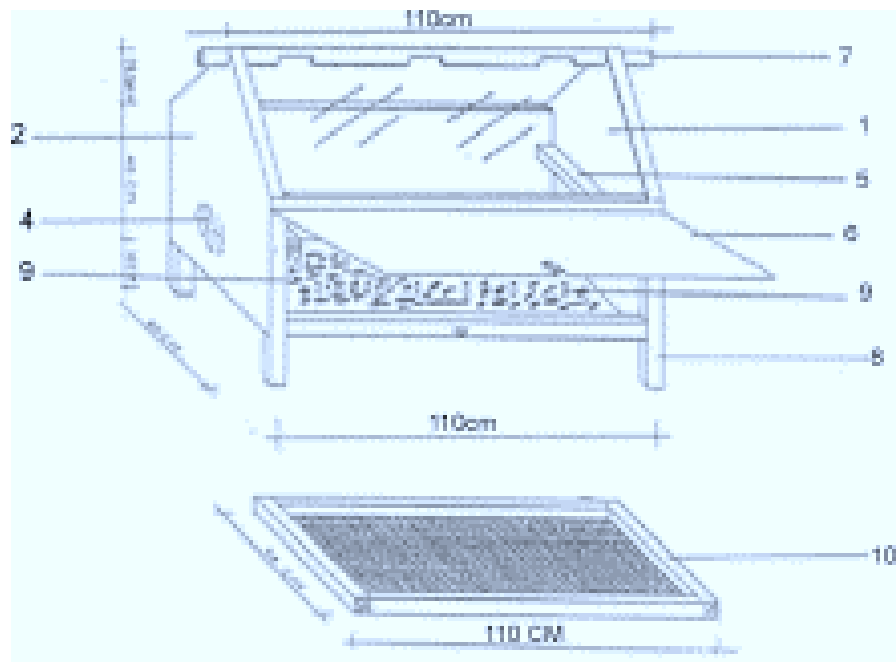


Figura 2.8. Secador solar de convecção em forma de gabinete de Musalin et al

Bolaji em 2005 desenvolveu e avaliou um secador solar de acordo com a figura abaixo, que consistia em coletor solar de vidro, que apresentava um fundo absorvedor preto e uma caixa na parte traseira do coletor onde se colocava as amostras a serem secadas e uma chaminé por onde saía o ar. O coletor foi feito com uma inclinação de 20° com a horizontal. A Figura 2.8. mostra esse tipo de secador de convecção natural.

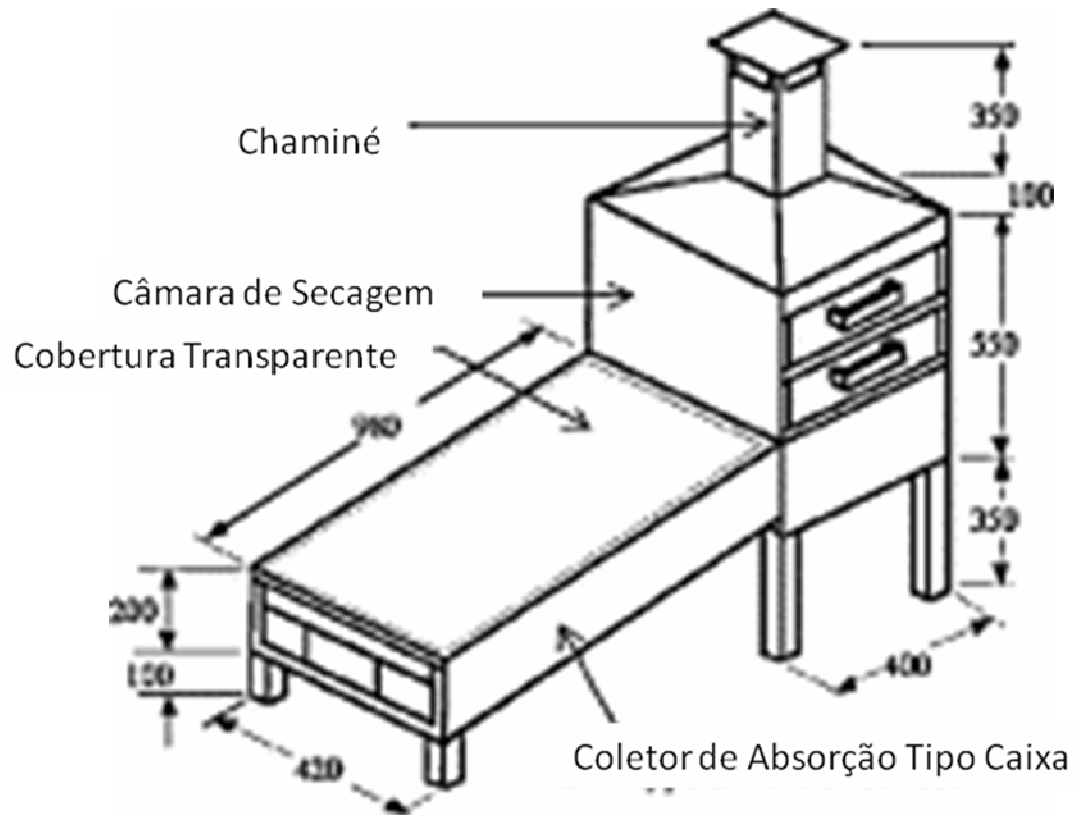


Figura 2.8. Secador solar de convecção natural de Bolaji, que pode ser usado com convecção forçada.

Gbaha et al em 2007, desenvolveu um secador solar de convecção natural e fez secagem de bananas, mandioca e fatias de manga. A Figura 2.9. mostra esse tipo de secador de convecção natural.

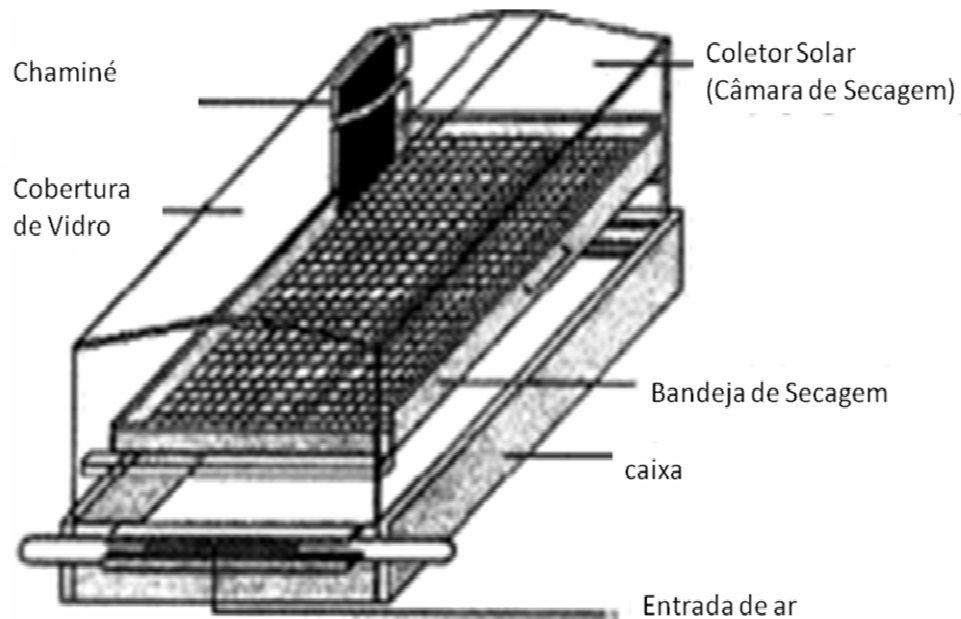


Figura 2.9. Secador solar de convecção natural de Gbaha et al.

2.5.2 Secador Solar de Convecção Forçada.

É o secador em que o ar é forçado a escoar-se pelo coletor por ação de elementos exteriores como um ventilador ou uma bomba.

El Beltagy et al em 2007 estudaram a secagem de morangos em um secador de convecção forçada. O secador consistia de um coletor solar, com folhas de alumínio pintada de preto para a absorção da radiação e uma câmara de secagem. O coletor solar foi colocado numa inclinação de 20° em relação ao plano horizontal. A Figura 2.10. Mostra esse tipo de secador de convecção forçada.

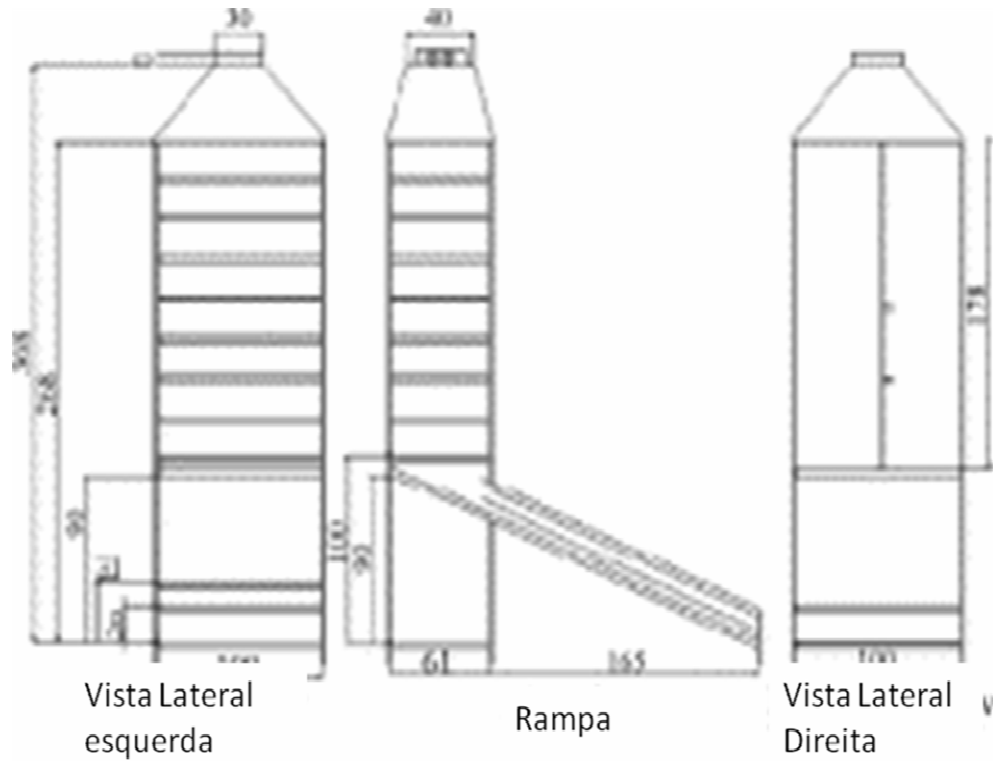


Figura 2.10. Secador solar de convecção forçada estudada por Beltagy et al.

Bennamoun e Belhamri estudou a eficiência da secagem de produtos agrícolas em um secador solar de convecção forçada que apresentava um coletor e uma câmara de secagem. A Figura 2.11. Mostra esse tipo de secador de convecção forçada.

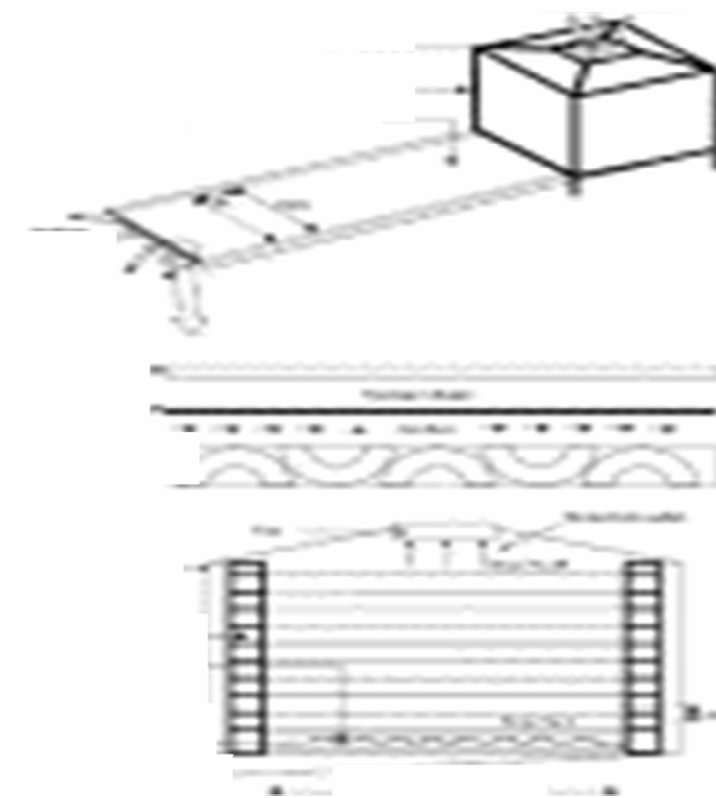


Figura 2.11. Digramas do secador solar destacando o coletor solar e câmara secadora (Bennamoun e Belhamri, 2007).

Vlachos et al desenvolveu e testou em 2002 um secador solar de convecção forçada de baixo custo, formado por um coletor solar, uma câmara secadora, um armário de armazenamento de calor, ventilador centrífugo e chaminé por onde sai o ar. A Figura 2.12. mostra esse tipo de secador de convecção forçada.

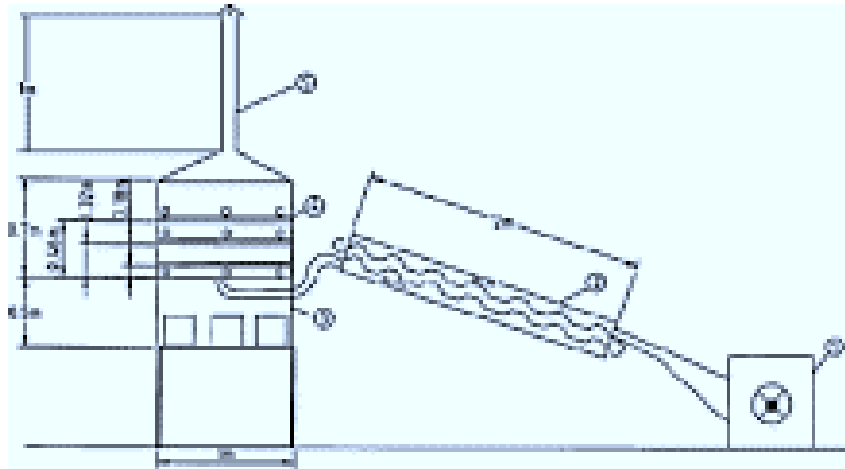


Figura 2.12. Secador de convecção forçada com armazenamento de calor (Vlachos et al, 2002).

Mohanraj e Chandrassekar em 2008 fabricaram e testaram um secador solar de convecção forçada formada por um coletor solar, um ventilador e um gabinete de secagem. A Figura 2.13 mostra esse tipo de secador de convecção forçada.

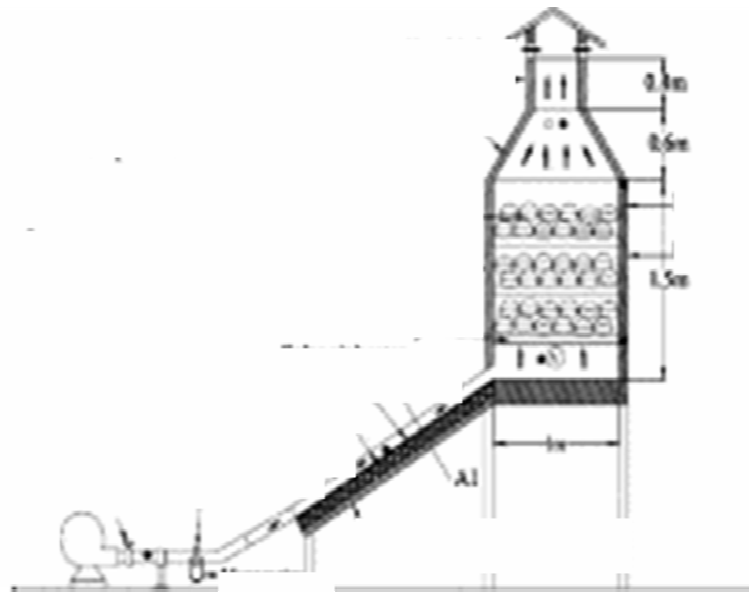


Figura 2.13. Secador solar de convecção natural (Mohanraj e Chandrassekar, 2008).

Shamugan e Natarajan em 2007 desenvolveram um secador solar de convecção forçada integrada com um sistema de dessecação. As partes do secador são: um coletor solar, uma câmara de secagem, leito dessecante (75kg de material dessecante na proporção de 60%

de bentonita, 10% de cloreto de cálcio, 20 % de vermiculita e 10 % de cimento) e um ventilador centrífuga. Utiliza-se um espelho reflexivo para regenerar o leito dessecante. A Figura 2.14 mostra esse tipo de secador de convecção forçada.

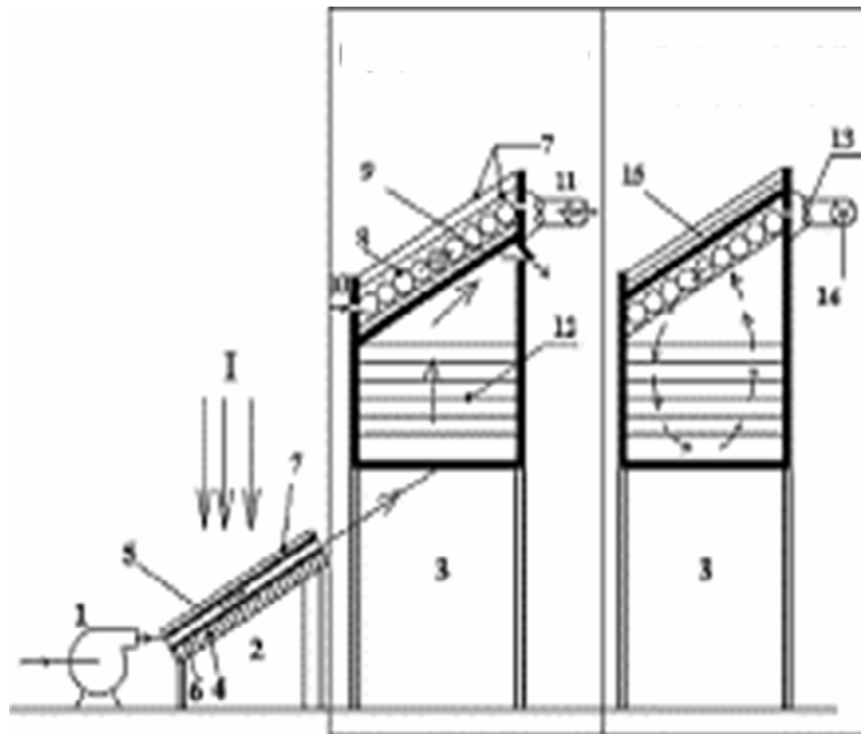


Figura 2.14. Secador solar de convecção forçada com leito dessecante (Shamugan e Natarajan, 2007).

2.5.3. Secador Solar Híbrido.

É o secador que utiliza além da energia solar como fonte de energia para a secagem do produto, outras fontes de energias tais como: energia elétrica, biomassa, GLP, geotérmica, fotovoltaica.

O secador solar híbrido tem sempre uma unidade auxiliar que pode ser uma unidade de armazenamento térmico, um sistema de bomba de calor, um sistema de desumidificação, ou um sistema de aquecimento com as energias citadas no parágrafo anterior.

Os secadores solares híbridos podem apresentar uma unidade auxiliar com um sistema de armazenamento térmico, um exemplo é o secador que Tiwari ET AL em 1997 avaliaram experimentalmente. Este secador apresenta um sistema de aquecimento solar de água e o seu

armazenamento para ser utilizado quando não houver luz solar. A Figura 2.15 mostra esse tipo de secador híbrido.

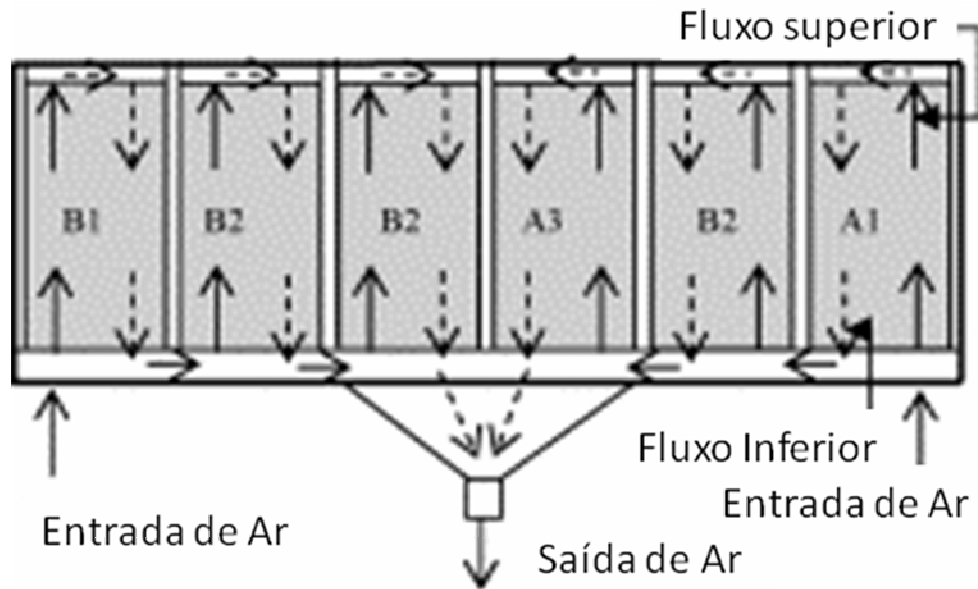


Figura 2.15. Secador solar híbrido com sistema de armazenamento térmico (Tiwari et al, 1997)

O secador solar híbrido com a energia elétrica utiliza um sistema auxiliar de aquecimento elétrico. Apresenta ainda um coletor solar, ventilador, fluxímetro, válvulas e câmara de secagem. A Figura 2.16 mostra um secador híbrido estudado por Janjai et al em 2008.

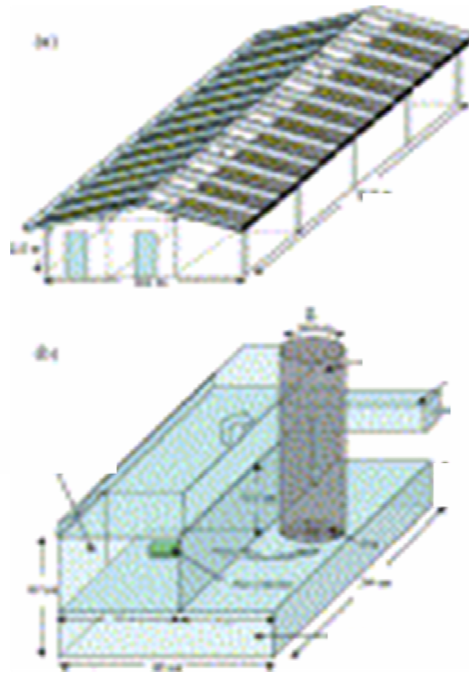


Figura 2.16. Secador solar híbrido com energia elétrica.

Um secador solar híbrido com energia da biomassa foi desenvolvido por Prasad et al em 2006. Este secador que utiliza a convecção natural é integrado com um queimador de biomassa simples e foi aplicado em pequenas fazendas em países em desenvolvimento devido ao seu baixo custo. A Figura 2.17 mostra esse tipo de secador de convecção forçada.

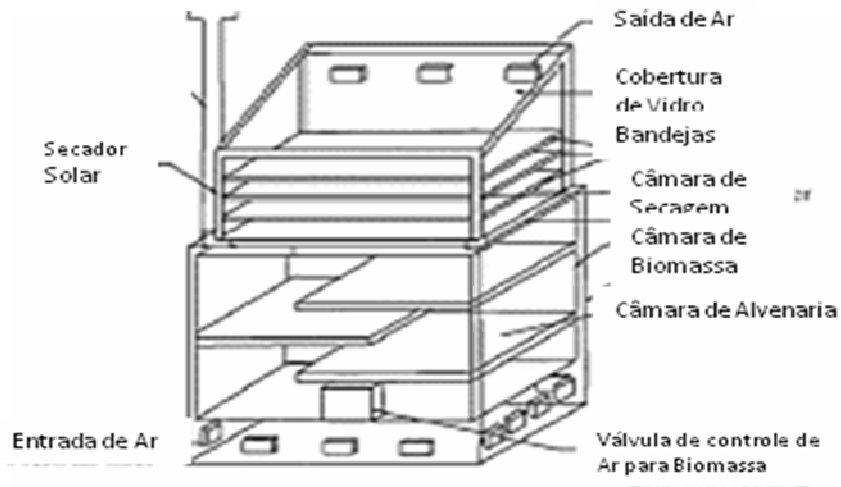


Figura 2.17. Secador solar híbrido com biomassa (Prasad et al).

Um protótipo de secador solar híbrido com queimador de gás GLP, foi desenvolvido por Ssopouronnarit em 1995 para secagem de folhas de tabaco. A Figura 2.18 mostra esse tipo de secador de convecção forçada.



Figura 2.18. Protótipo de um secador híbrido com GLP (Ssopouronnarit,1995).

Ivanova ET AL em 2003 desenvolveu e estudou um secador solar híbrido com a energia geotérmica. O uso das águas geotérmicas com 68⁰ C permite o uso do secador durante a noite. A Figura 2.19 mostra esse tipo de secador de convecção forçada.

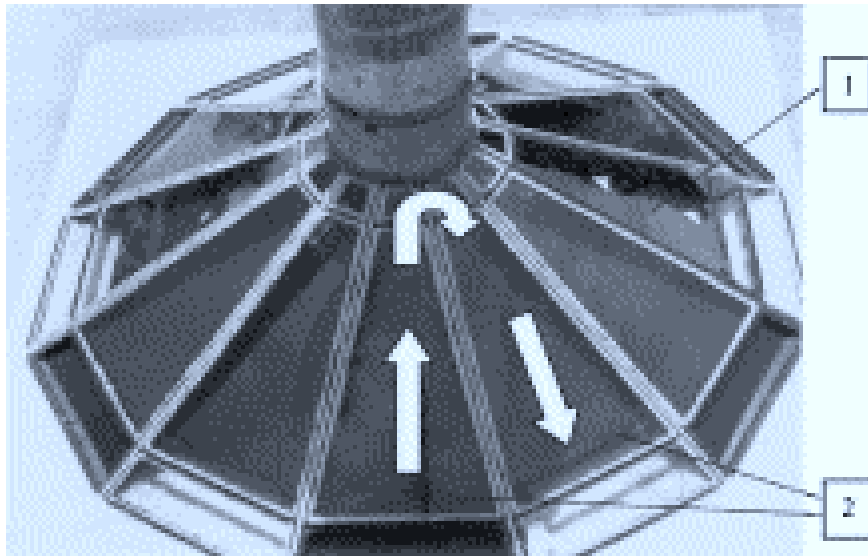


Figura 2.19. Secador solar híbrido com energia geotérmica (Ivanova et al, 2003)

2.6. Caju

O caju é um prolongamento do fruto (castanha), um pendúculo (pseudo-fruto) da árvore cajueiro. O cajueiro tem o nome científico *Anacardium Occidentale*, pertence a família das Anacardiáceas e apresenta os nome populares: acaju, acajaiba, caju-manso, etc. O pendúculo amadurece colorido em amarelo ou vermelho variando o seu tamanho em média de 5 a 12 cm. A Figura 2.20 mostra o caju in natura tipo amarelo.



Figura 2.20. Caju tipo amarelo

O cajueiro comum ou gigante, cultura típica dos países do terceiro mundo, é cultivado no Brasil, Índia, Moçambique, Tanzânia e Quênia. Em meados dos anos 80, o Brasil iniciou o plantio de clones de cajueiro anão-precoce (*A. Occidentale* L. var. *nanum*) que veio permitir o cultivo nos moldes da fruticultura moderna. Tais clones têm sido levados do Brasil e

plantados em vários países, futuros competidores, inclusive Austrália (Lopes Neto, 1997). A Figura 2.21 mostra um cajueiro típico da região nordeste.



Figura 2.21. Cajueiro típico da região nordestina.

No Brasil, o cajueiro ocupa lugar de destaque entre as plantas frutíferas tropicais em face da crescente comercialização dos seus produtos principais. O aproveitamento do pedúnculo é menos de 6% da produção nacional. A alta perecibilidade e a falta de facilidade na armazenagem durante os meses de pico de processamento industrial, contribuem para esta perda física; e conseqüentemente, há grande perspectivas para o desenvolvimento de processos para a conservação local (junto ao produtor) de frutas por métodos combinados (Alzamora et al., 1992).

A produtividade do cajueiro é expressiva na região Nordeste do Brasil, onde a EMBRAPA, Agroindustrial Tropical localizada em Fortaleza – CE vem desenvolvendo várias pesquisas. A novidade é a variedade “anão-precoce” que deverá ao longo do tempo, substituir os cajueiros comuns que apresentam produtividade, devido a multiplicação por sementes, à polinização cruzada, ao manejo inadequado da cultura e também por serem muito alto, podendo alcançar até 14 metros (EMBRAPA, 2000).

Durante as safras de frutas tropicais e para o caso do nordeste, e particular, são exemplos típicos de desperdícios o caju e o abacaxi; para o primeiro, o interesse principal da indústria é a castanha, sendo a polpa aproveitada em escala muito reduzida na produção de sucos e doces em caldas (Fioreze, 2004).

2.7. Características Físico-Químicas do Caju

A composição físico-química do caju é bastante complexa, pois apresentam vitaminas, taninos, sais minerais, ácidos orgânicos e açúcares. Essa mesma

característica química é responsável pela sua alta perecibilidade, necessitando de cuidados especiais de colheita, estocagem, transporte, limpeza e processamento.

A Tabela 2.1 de Bleinroth (1978) apresenta a composição química das duas variedades de caju (vermelho e amarelo).

A Tabela 2.1. Composição química das duas variedades de caju (vermelho e amarelo).

| Determinações | Vermelho | Amarelo |
|--|----------|---------|
| Umidades (%) | 86,67 | 86,02 |
| Cinzas (%) | 0,38 | 0,37 |
| Sólidos solúveis (°Brix) | 10,38 | 10,66 |
| Açúcares redutores (%) | 8,00 | 7,95 |
| Açúcares não redutores (%) | 0,38 | 0,38 |
| pH | 4,48 | 4,27 |
| Acidez total titulável (% de ácido málico) | 0,336 | 0,418 |
| Ácido ascórbico (mg/100g) | 204,0 | 197,50 |
| Tanino (mg/100ml) | 0,403 | 0,345 |

As análises químicas realizadas no pedúnculo do caju têm demonstrado diferentes valores devido a diversos fatores: solo, variedade do caju, safra, grau de maturação e condições do clima.

O teor de umidade corresponde à perda em massa sofrida pelo caju, quando aquecido em condições na qual a água é removida. O método mais usual promove o aquecimento direto da amostra a 105⁰C até peso constante. Este resíduo obtido na secagem é chamado de resíduo seco. Na realidade além da água, também é removido outras substâncias voláteis do caju.

A percentagem de cinzas é o resíduo inorgânico que permanece após a queima da matéria orgânica, que é transformada em CO₂, H₂O e NO₂ em relação a massa da amostra utilizada na determinação. A cinza obtida não é necessariamente da mesma composição que a matéria mineral presente originalmente no caju, pois

pode haver perdas por volatilização ou algumas interações entre os constituintes do caju. A cinza é constituída principalmente de : K^+ , Na^+ , Ca^{+2} , Fe, Al, Cu, Mn e Zn, etc.

Como o próprio nome indica, sólidos solúveis totais (SST) representam todos os constituintes solúveis da fruta, principalmente os açúcares, ácidos orgânicos e sais em determinado solvente, o qual, no caso de alimentos, é a água; os açúcares constituem a maior parte dos SST; para se quantificar os SST, pode-se utilizar um instrumento chamado de refratômetro, que expressa o teor de sólidos solúveis em Graus Brix (% m/m), sendo oportuna uma correção em função da temperatura. De maneira geral e com o avanço da maturação, ocorre a evolução do teor de SST, porém, como é fortemente influenciado pelas condições edafoclimáticas e pelo manejo do pomar, ele tem sido mais usado como parâmetro de qualidade que propriamente ponto de colheita (Martins, 2005).

Os açúcares solúveis presente nos frutos na forma livre ou combinada são responsáveis pela doçura, pelo “flavor”, através do balanço com os ácidos, pela cor atrativa, como derivados das antocianinas e pela textura, quando combinados adequadamente com polissacarídeos estruturais e aumenta, na seqüência: glicose, sacarose e frutose (Chitarra e Chitarra, 2005).

Os principais açúcares solúveis presentes nos frutos são a glicose e a frutose (açúcares redutores) e a sacarose (açúcares não redutores). O teor de açúcares em geral aumenta com a maturação dos frutos (Chitarra, 1998).

A análise do teor de açúcar é importante para controlar a qualidade e o valor nutricional do caju. Esta determinação pode ser feita usando um aparelho chamado de refratômetro, que nos fornece o índice de refração que é proporcional a quantidade de açúcar que está presente no caju. Com essa técnica pode se determinar o teor de açúcar redutor e açúcar não redutor.

O “pH” é um termo que expressa a intensidade da condição ácida ou básica de um determinado meio. É definido como: $pH = -\log H^+$. Para amostras ácidas o pH é menor que 7, para amostras básicas o pH é maior que 7 e as amostras neutras o pH é igual a 7. A determinação do pH é feita através de um aparelho chamado phmetro que utiliza um eletrodo de vidro.

Os ácidos presentes no caju são orgânicos e podem se encontrar na forma livre ou esterificada (metila, propila, hexila, etc). A acidez pode ser expressa de duas

maneiras, uma como acidez total titulável (ATT) que determina o percentual de ácidos orgânicos (málico, cítrico, tartárico, oxálico e succínico) e a acidez devido ao ácido ascórbico.

Os taninos são particularmente proeminentes em frutos, onde são importantes na determinação de cor e do flavor, de composição química variável e estrutura complexa, onde seus níveis variam amplamente dependendo da espécie e/ou variedade, estágio fisiológico e localização (Lattanzio et al. 1994).

Taninos são definidos como compostos de ocorrência natural, de massa molar elevada e que contêm um grande número de hidroxilas fenólicas capazes de se complexar fortemente com certos tipos de polissacarídeos e carboidratos, ácidos nucleicos e alcalóides, com proteínas e enzimas digestivas, precipitando-as (Carmona et al, 1991). A Figura 2.22 mostra a estrutura química do tanino presente no caju.

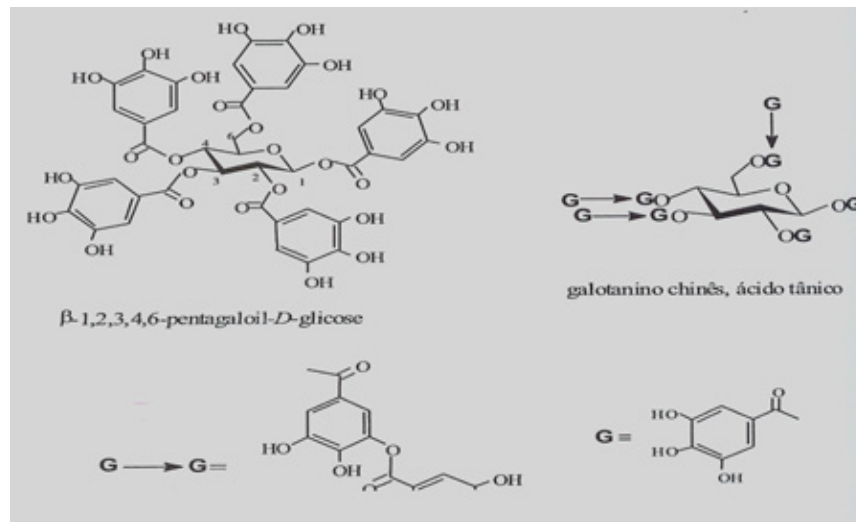


Figura: 2.22. Composição química dos taninos.

CAPÍTULO 3 - MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Processos de Construção e Montagem do Secador Solar.

O secador de exposição direta do sistema de secagem proposto foi construído com materiais de baixo custo, dando-se preferência aos recicláveis e que não tragam prejuízo ao meio ambiente e a saúde, tendo cobertura de vidro plano transparente de 3,0 mm de espessura e inclinação de 5,5° S, e apresenta as seguintes dimensões:

- Comprimento – 1,51 m, Largura – 1,0 m, - Altura – 0,070 m

O secador foi instalado nas dependências do Núcleo de Tecnologia Industrial da Universidade Federal do Rio Grande do Norte numa área aberta, para permitir a radiação solar diária. A Figura 3.1 mostra fotos com as etapas da construção do modelo de secador solar de exposição direta, confeccionado



Figura 3.1. Processos de construção e montagem do secador solar.

O secador foi ensaiado com o caju e outros materiais como banana, beterraba, goiaba e berinjela, entre outros. Entre os materiais, o caju foi selecionado para promover a produção de farinha e a sua caracterização química.

Foram tomados dados da radiação solar global, temperatura na entrada e saída do secador massas iniciais e finais das amostras a cada hora, a umidade na entrada e saída do secador. Determinou-se o tempo de secagem para cada tipo de ensaio.

Os dados da temperatura foram obtidos utilizando-se dois termopares de cromel – alumel colocados na entrada e saída do secador, acoplados um termômetro digital, que tem uma resolução de 0,1°C e permite medições na faixa de – 70°C a 1200°C, com erro no máximo segundo, Lion - 2007, de 2%.

Para fazer a medição da umidade foi utilizado um termo – higrômetro da aminipa MT – 242 com precisão básica de 1%. Realizando medida na faixa de 20% a 90% de umidade relativa para medição da radiação solar global foi utilizado uma estação meteorológica instalada no LES/UFRN, com aquisição de dados por computador.

Para esse trabalho foram utilizados cajus íntegros, de coloração vermelho e amarela coletadas no distrito do “Pé do Galo” no município de Macaíba e completado com os cajus adquiridos na CEASA.

A metodologia para a secagem do caju se desenvolveu obedecendo as etapas contidas no fluxograma da Figura 3.2. :

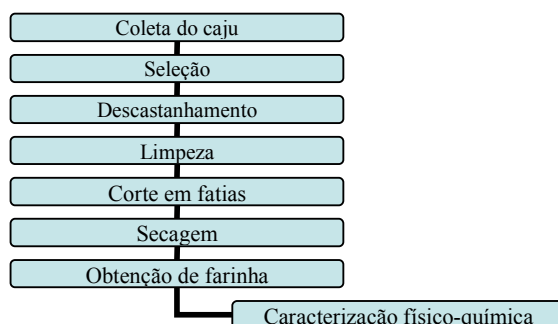


Figura 3.2. Fluxograma das etapas do procedimento experimental.

A Figura 3.3 apresenta o secador solar de exposição direta em teste, na secagem de caju e banana.



Figura 3.3. Secador solar construído em teste.

A obtenção da farinha do caju se dá a partir do caju seco, moído em moinho de faca., conforme mostra a Figura 3.4.



Figura 3.4. Moinho de faca e farinha produzida.

Após a moagem do caju seco, acrescenta-se rapadura triturada, em proporção que variou de 5%, 10%, 20%, 30%, 40% e 50%, em peso. O objetivo da adição de rapadura é neutralizar o gosto que o caju deixa no paladar durante a sua degustação. Isso ocorre devido a uma substância que tem nessa fruta, denominada tanino.

Após a produção da farinha, ocorre a análise sensorial e o seu acondicionamento em frasco de vidro para a etapa de caracterização físico – químico.

3.2. Avaliação do desempenho do coletor

O coeficiente global de perdas, a potência perdida e o rendimento térmico, são os parâmetros que melhor caracterizam a eficiência térmica de um coletor solar.

3.2.1. Coeficiente global de perdas (U loss)

O coeficiente global de perdas (U loss) são as perdas térmicas decorrente da fuga da temperatura da placa coletora para o ambiente devido ao gradiente de temperatura que se foram entre a placa coletora e o meio ambiente. Devido ao aquecimento da placa pela radiação que incide nesta.

Entre os métodos para calcular o coeficiente global de perdas, podemos citar: o método da temperatura média da placa, método da perda térmica e o método das trocas térmicas.

Neste trabalho utilizamos o método das perdas térmicas para a determinação do coeficiente global de perdas que utiliza o conhecimento dos parâmetros: potência absorvida pelo coletor ($P_{abs.}$), potência transferida ao fluido de trabalho (P_u), temperatura média de placa (T_{pm}) e temperatura ambiente (T_a), da área do coletor (A), da vazão mássica (m), do calor específico do fluido (c_p) e da diferença de temperatura do fluido obtida no sistema (ΔT), conforme as equações (3.1) a (3.4).

$$P_{abs} = \tau_v \cdot \alpha_p \cdot I \cdot A \quad (3.1)$$

$$P_u = m \cdot c_p \cdot \Delta T \quad (3.2)$$

$$P_p = P_{abs} - P_u \quad (3.3)$$

$$U_{loss} = \frac{P_p}{A \cdot (T_{pm} - T_a)} \quad (3.4)$$

3.2.2. Cálculo da potência perdida no secador solar (P_p)

No processo da secagem como em todos os processos que envolve fluxo de energia é fundamental saber a rapidez com que a energia é fornecida ou recebida. Assim esse conceito chamado de potência é importante na análise do processo.

O cálculo da potência perdida no secador solar é baseado na diferença entre a potência absorvida pelo coletor ($P_{abs.}$) e a potência transferida ao fluido de trabalho (P_m), conforme a equação 3.4 do item anterior.

3.2.3. Cálculo do Rendimento do secador solar

Podemos definir rendimento de um sistema como sendo a razão entre a potência entregue ao sistema e a potência disponível ao mesmo.

O rendimento térmico de um secador solar é expresso em função da potência útil, da radiação solar, de sua área, da vazão, e do calor específico do fluido e sofre influência, inclusive, da quantidade de coberturas transparentes.

Duffie e Beckman, em 1991, apresentaram a equação 3.5 para o cálculo do rendimento de um secador solar, para um determinado período de tempo:

$$\eta_t = \frac{P_u}{A \cdot I} \quad (3.5)$$

Onde:

P_u = potência entregue pelo sistema

A = área do secador

I = Radiação Solar Global

3.3. Caracterização Físico-Química da Farinha

As análises físico-químicas são empregadas na indústria química, na medicina e em todas as outras ciências. No processo de secagem as determinações analíticas assumem um importante papel para ver se houve alterações significativas nos produtos após a secagem.

Foram feitas as determinações de pH, umidade, teor de cinzas e minerais (Na^{+1} , K^{+1} , NH_4^{+1} , Li^{+1} , Mg^{+2} , Ca^{+2} , Fe^{+2} , Zn^{+2}) no laboratório do NUPEG 2/Núcleo de Tecnologia Industrial do Centro de Tecnologia da UFRN.

As análises de pH foram determinadas através de leituras diretas em um pHmetro marca Digimed, modelo DM- 23, calibrado a cada utilização com soluções tampões de pH 4,0 e 7,0 conforme as normas analítica do AOAC (1992). A Figura 3.5. mostra o pHmetro utilizado.



Figura 3.5. PHmetro Digimed DM-34.

A determinação das umidades do caju foi feita utilizando as normas analíticas do INSTITUTO ADOLFO LUTZ (1985), utilizando a estufa mostrada na Figura 3.6.



Figura 3.6. Estufa utilizada para a determinação da umidade do caju após seco.

O teor de cinzas foi determinado pela técnica citada nas normas analíticas do AOAC (1992), utilizando o forno mufla mostrado na Figura 3.7.

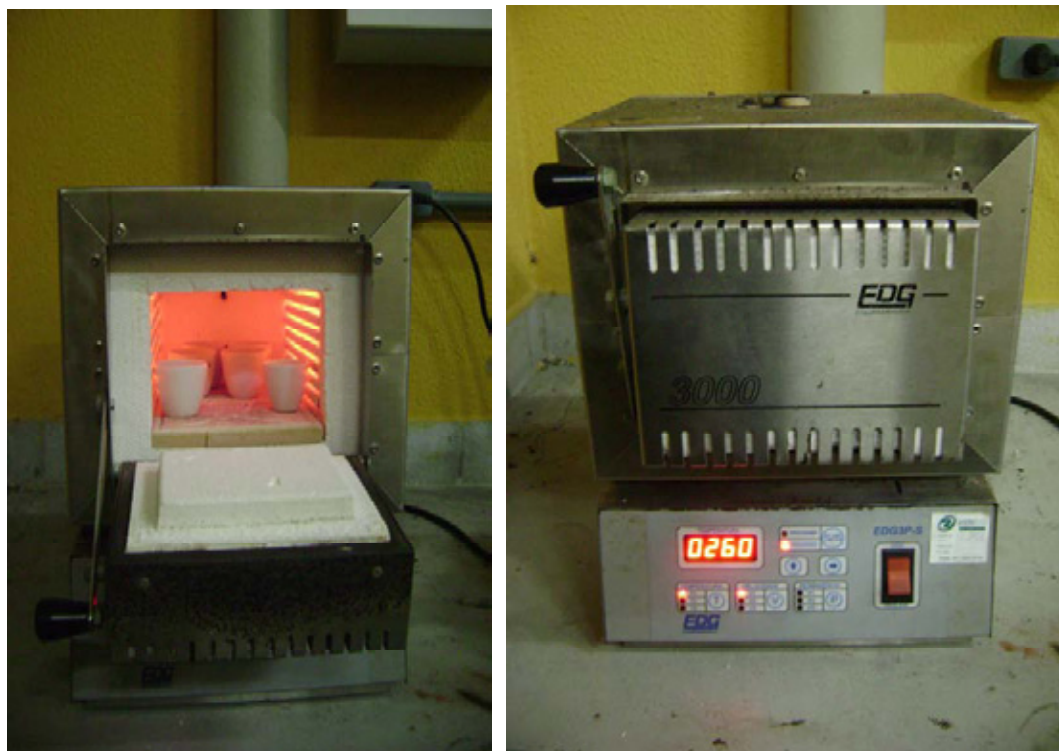


Figura 3.7. Forno mufla utilizado para a determinação do teor de cinzas do caju após secagem.

Os minerais foram determinados de acordo com as normas da AOAC (1985), através de espectrofotometria de absorção atômica, e por cromatografia de íons.

Os métodos espectroscópicos atômicos são empregados na determinação qualitativa e quantitativa de mais de 70 elementos. Tipicamente esses métodos podem detectar quantidades de partes por milhão a partes por bilhão e, em alguns casos, concentrações ainda menores. Os métodos espectroscópicos são, além disso, rápidos, convenientes e geralmente de alta seletividade. Podem ser dividido em dois grupos: espectrometria atômica óptica e espectrometria de massas atômicas (Skoog, etal, 2006)

A técnica empregada nesse trabalho foi a espectroscopia de absorção atômica (EAA), que é o método mais utilizado pela a razão da sua simplicidade, efetividade e baixo custo. A Figura 3.8 mostra o espectrofotômetro utilizado.



Figura 3.8. Espectrofotômetro de absorção atômica utilizado para a determinação dos minerais.

A outra técnica utilizada na determinação de cinzas foi a cromatografia iônica que é relativamente nova e se baseia em alguns princípios estabelecidos na troca iônica. O processo dessa cromatografia consiste em quatro etapas: transporte, separação, detecção e análise de dados. A condutância elétrica é utilizada para a detecção e determinação qualitativa dos íons em solução. A Figura 3.9 mostra o cromatógrafo de íons utilizado.



Figura. 3.9. Cromatógrafo de íons utilizado para a determinação de cinzas.

CAPÍTULO 4 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

Inicialmente foram realizados testes preliminares para comprovar a funcionalidade da secagem dos produtos escolhidos, para cargas correspondentes a caju - 2488,1g; manga – 3423,9g; abacaxi – 2112,3g partiu-se para a secagem de cada produto.

Foram escolhidas três amostras de cada produto dispostos na entrada, meio e saída do secador. Em cada amostra foram analisadas as umidades iniciais e finais, e as medições das três massas de hora em hora, só parando quando a massa estava constante. Foram também realizadas medições das temperaturas interna e externa do secador e da radiação solar global para o cálculo de seu desempenho térmico.. A seguir são apresentados os dados obtidos na secagem desses produtos em tabelas e gráficos.

A Tabela 4.1 apresenta os resultados da secagem do caju. O percentual de massa úmida do caju correspondeu a 85,0%, conforme aponta a literatura de desidratação de alimentos. A massa total do caju a secar foi de 2273,5 g. A amostra 1 ficava colocada próxima a entrada do secador, a amostra 2 no meio e a amostra 3 próxima a saída do secador. O início do teste foi às 07h30min do dia 07/01 e o reinício do teste foi as 07h30min do dia 08/01. Após a secagem do primeiro dia os cajus foram acondicionados em um dissecador para a manutenção da umidade.

Tabela 4.1. Variação da massa das amostras de **caju** na secagem direta com convecção natural.

| <i>HORA</i> | <i>M_{A1}</i> (g) | <i>Perda_{A1}</i> (%) | <i>M_{A2}</i> (g) | <i>Perda_{A2}</i> (%) | <i>M_{A3}</i> (g) | <i>Perda_{A3}</i> (%) | <i>U_{relativa}</i> (%) | <i>I</i> (W/m ²) |
|--------------|------------------------------|----------------------------------|------------------------------|----------------------------------|------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|
| 07:30 | 24,8 | 0 | 18,4 | 0 | 37,9 | 0 | 66 | 445 |
| 08:30 | 21,3 | 85,9 | 14,7 | 79,9 | 32,8 | 86,5 | 65 | 581 |
| 09:30 | 19,6 | 79,0 | 12,8 | 69,6 | 30,2 | 79,7 | 66 | 740 |
| 10:30 | 18 | 72,6 | 11,3 | 61,4 | 28 | 73,9 | 60 | 936 |
| 11:30 | 16,4 | 66,1 | 9,8 | 53,3 | 25,1 | 66,2 | 60 | 932 |
| 12:30 | 15,6 | 62,9 | 9,4 | 51,1 | 23,8 | 62,8 | 56 | 1010 |
| 13:30 | 13,8 | 55,6 | 8,8 | 47,8 | 20,2 | 53,3 | 62 | 630 |
| 14:30 | 13,4 | 54,0 | 8,6 | 46,7 | 19,7 | 52,0 | 66 | 646 |
| 15:30 | 12,5 | 50,4 | 8,4 | 45,7 | 18,4 | 48,5 | 69 | 420 |
| 07:30 | 12,5 | 50,4 | 8,4 | 45,7 | 18,4 | 48,5 | 67 | 381 |
| 08:30 | 11,2 | 45,2 | 7,8 | 42,4 | 17,2 | 45,4 | 66 | 498 |
| 09:30 | 10,2 | 41,1 | 6,8 | 37,0 | 15,9 | 42,0 | 64 | 801 |
| 10:30 | 9,2 | 37,1 | 5,7 | 31,0 | 14 | 36,9 | 61 | 1004 |
| 11:30 | 7,8 | 31,5 | 3,8 | 20,7 | 11,1 | 29,3 | 60 | 1050 |
| 12:30 | 5,8 | 23,4 | 2,1 | 11,4 | 9 | 23,7 | 61 | 891 |
| 13:30 | 4,8 | 19,4 | 2 | 10,9 | 7,9 | 20,8 | 60 | 891 |
| 14:30 | 3,9 | 15,7 | 1,8 | 9,8 | 6 | 15,8 | 62 | 715 |
| 15:30 | 3,3 | 13,3 | 1,8 | 9,8 | 5 | 13,2 | 66 | 501 |
| Média | | | | | | | 63,2 | 726,2 |

A perda de massa para as três amostras foram superiores a 85%, sendo a amostra 2 a que mais sofreu redução de massa. Em relação à massa inicial as amostras 1, 2 e 3, ficaram com percentuais de 13,3%, 9,8% e 13,2%, respectivamente. O percentual de massa final ficou abaixo do geralmente pretendido que é em torno de 20,0%. A Figura 4.1 mostra o comportamento assumido pela perda de massa das amostras de caju.

No que diz respeito à carga total do caju correspondente a 2273,5 g, a perda de massa total foi de 84,7%, com massa de produto final de 347,8 g, que correspondeu a um percentual de massa úmida de 15,3%, obtendo-se, portanto, uma perda de massa úmida em torno de 70,0%, em consonância com o que aponta a literatura de secagem de frutas.

Percebe-se que a amostra 2, situada no meio do secador é a que apresenta um maior percentual de massa perdida. O tempo total de secagem para o caju, na carga testada, ficou em torno de dezesseis horas esse tempo está abaixo do que a aponta a literatura para a secagem de frutas, para esse produto, acima de 20 horas de secagem.

A umidade relativa do ar apresentou valor médio em torno de 63,2% e a radiação solar global em torno de 726,2 W/m^2 . As Figuras 4.2 e 4.3 mostram o comportamento assumido pela umidade relativa do ar e pela radiação solar global para o período de secagem. Os dados de radiação solar global foram obtidos da estação meteorológica DAVIS – Weather Envoy instalada no LMHES da UFRN.

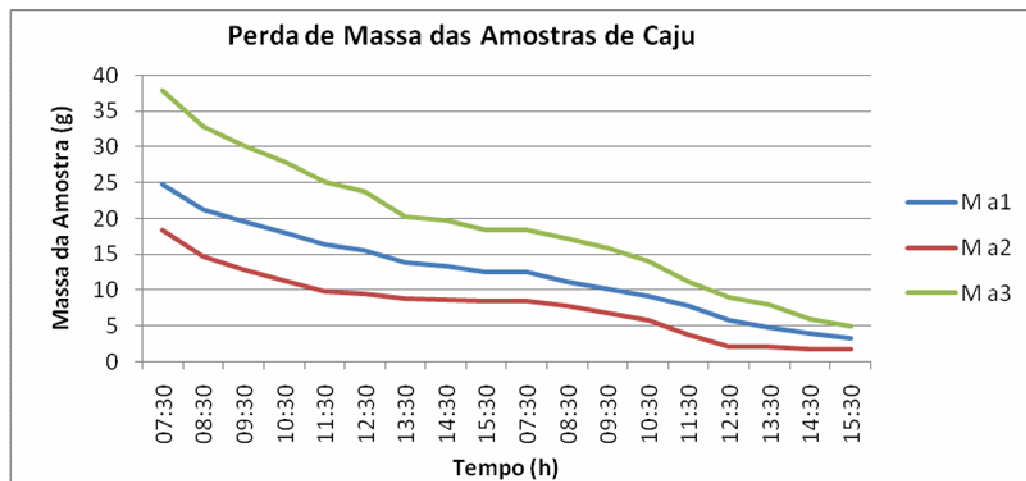


Figura 4.1. Perda de massa das amostras do caju na secagem direta em convecção natural.

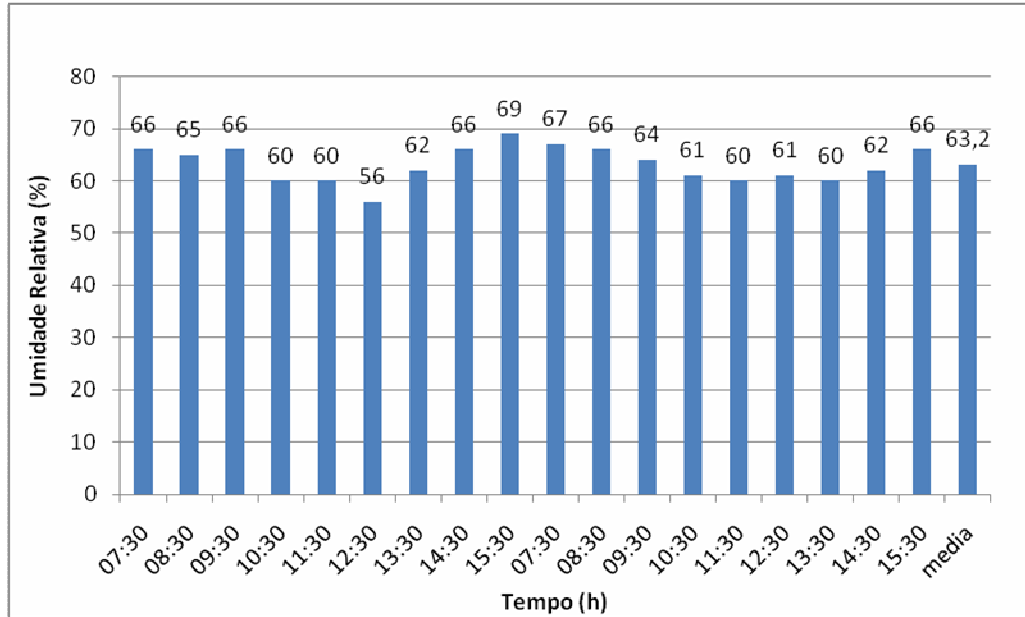


Figura 4.2. Comportamento assumido pela umidade relativa do ar durante o teste de secagem do caju.

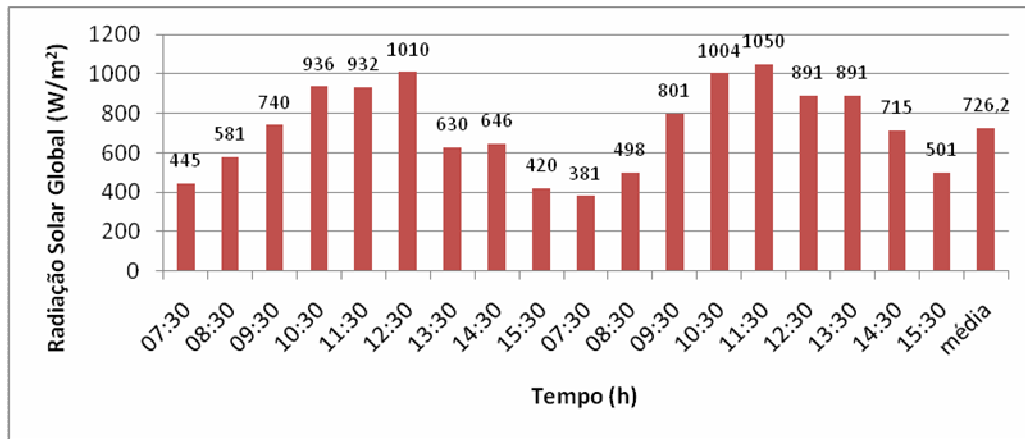


Figura 4.3. Comportamento assumido pela radiação solar global durante o teste de secagem do caju.

Os resultados da secagem da manga estão na Tabela 4.2. A massa total da manga a secar foi de 3423,9 g. A amostra 1 ficava colocada próxima a entrada do secador, a amostra 2 no meio e a amostra 3 próxima a saída do secador. O início do teste foi às 07h30min do dia 12/01 e o reinício do teste foi às 07h30min do dia 13/01. Após a secagem do primeiro dia mangas foram acondicionados em um dissecador para a manutenção da umidade.

Tabela 4.2. Variação da massa das amostras de **manga** na secagem direta com convecção natural.

| <i>HORA</i> | <i>M_{A1}</i> (g) | <i>Perda_{A1}</i> (%) | <i>M_{A2}</i> (g) | <i>Perda_{A2}</i> (%) | <i>M_{A3}</i> (g) | <i>Perda_{A3}</i> (%) | <i>U_{relativa}</i> (%) | <i>I</i> (W/m ²) |
|--------------|------------------------------|----------------------------------|------------------------------|----------------------------------|------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|
| 07:30 | 32,4 | 0 | 22,8 | 0 | 46,2 | 0 | 65 | 512 |
| 08:30 | 29,2 | 90,1 | 20,1 | 88,1 | 44,8 | 97,0 | 62 | 686 |
| 09:30 | 27,4 | 84,6 | 18,3 | 81,7 | 42,2 | 91,3 | 60 | 829 |
| 10:30 | 25,3 | 78,1 | 15,4 | 67,5 | 40,7 | 88,1 | 58 | 891 |
| 11:30 | 22,4 | 69,1 | 12,1 | 53,1 | 38,4 | 83,1 | 58 | 1065 |
| 12:30 | 17,9 | 55,2 | 9,1 | 40,0 | 33,1 | 71,6 | 55 | 950 |
| 13:30 | 14,7 | 45,4 | 8,8 | 38,6 | 30,2 | 65,4 | 57 | 913 |
| 14:30 | 13,4 | 41,3 | 8,6 | 37,7 | 28,9 | 62,5 | 63 | 727 |
| 15:30 | 12,3 | 40,0 | 8,4 | 36,8 | 26,4 | 57,1 | 61 | 474 |
| 07:30 | 12,3 | 40,0 | 8,4 | 36,8 | 26,4 | 57,1 | 66 | 404 |
| 08:30 | 11,9 | 36,7 | 7,9 | 34,6 | 25,1 | 54,3 | 62 | 580 |
| 09:30 | 11,2 | 34,6 | 7,1 | 31,1 | 23,3 | 50,4 | 60 | 810 |
| 10:30 | 10,4 | 32,1 | 6,7 | 29,4 | 18,2 | 39,4 | 58 | 908 |
| 11:30 | 8,9 | 27,5 | 6,1 | 26,7 | 13,1 | 28,3 | 58 | 1015 |
| 12:30 | 6,8 | 20,1 | 4,3 | 18,6 | 10,3 | 22,3 | 57 | 900 |
| 13:30 | 6,1 | 18,8 | 3,5 | 15,3 | 8,9 | 19,3 | 57 | 920 |
| 14:30 | 5,7 | 17,6 | 3,2 | 14,0 | 7,4 | 16,0 | 60 | 810 |
| 15:30 | 5,6 | 17,3 | 3,1 | 13,6 | 7,1 | 15,4 | 64 | 470 |
| Média | | | | | | | 60,1 | 770,3 |

A perda de massa para as três amostras variou de 82,7% a 86,4%, sendo a amostra 2 a que mais sofreu redução de massa. Em relação à massa inicial as amostras 1, 2 e 3 ficaram com percentuais de 17,3%, 13,6% e 15,4%, respectivamente. O percentual de massa final ficou abaixo do geralmente pretendido que é em torno de 20,0%. A Figura 4.4 mostra o comportamento assumido pela perda de massa das amostras da manga.

No que diz respeito à carga total da manga correspondente a 3423,9 g, a perda de massa total foi de 84,4%, com massa de produto final de 534,1 g, que correspondeu a um percentual de massa úmida de 15,6%.

Percebe-se que a amostra 2, situada no meio do secador é a que apresenta um maior percentual de massa perdida. O tempo total de secagem para a manga, na carga testada, ficou em torno de dezesseis horas. Esse tempo está abaixo do que a aponta a literatura para a secagem de frutas, para esse produto, acima de 20 horas de secagem.

A umidade relativa do ar apresentou valor médio em torno de 60,1% e a radiação solar global em torno de 770,3 W/m². As Figuras 4.5 e 4.6 mostram o comportamento assumido pela umidade relativa do ar e pela radiação solar global para o período de secagem. Os dados de radiação solar global foram obtidos da estação meteorológica DAVIS – Weather Envoy instalada no LMHES da UFRN.

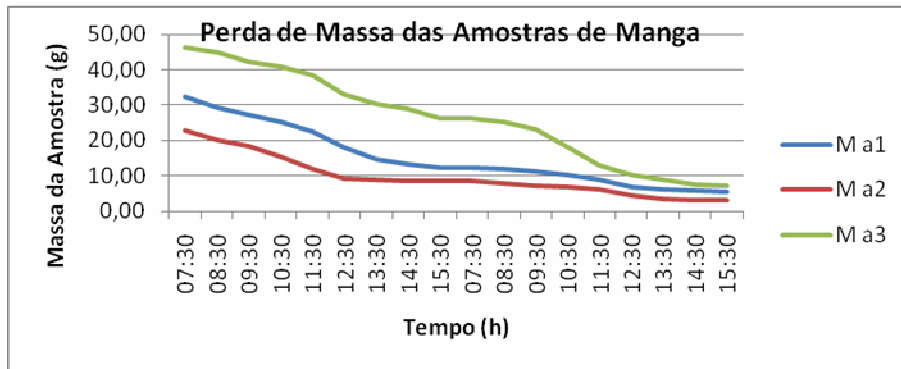


Figura 4.4. Perda de massa das amostras de manga na secagem em convecção natural.

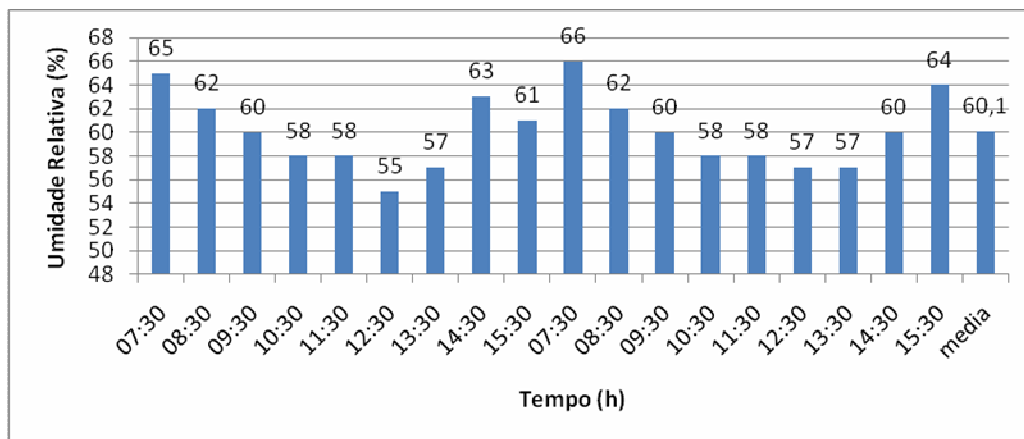


Figura 4.5. Comportamento assumido pela umidade relativa do ar durante o teste de secagem da manga.

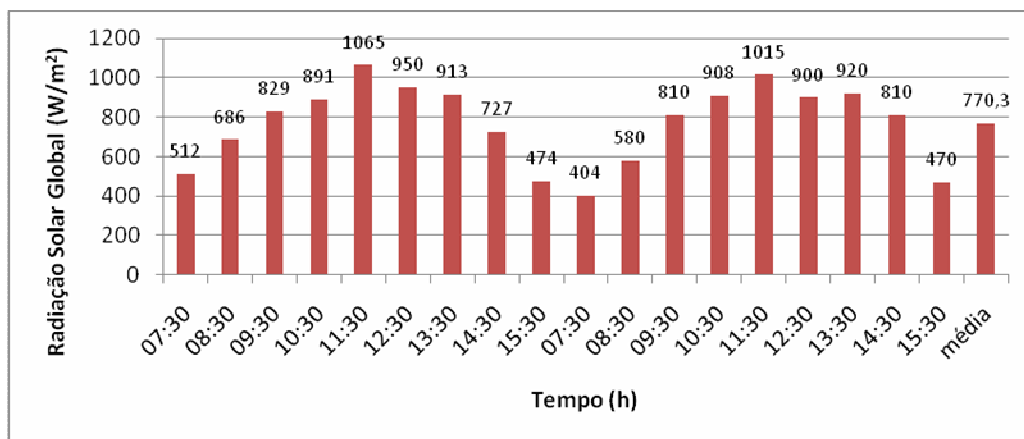


Figura 4.6. Comportamento assumido pela radiação solar global durante o teste de secagem da manga.

A Tabela 4.3 apresenta os resultados da secagem da banana. A massa total da banana a secar foi de 2078,4 g. A amostra 1 ficava colocada próxima a entrada do secador, a amostra 2 no meio e a amostra 3 próxima a saída do secador. O início do teste foi as 07h30 horas do dia

17/01 e o reinício do teste foi às 07h30min do dia 18/01. Após a secagem do primeiro dia as bananas foram acondicionadas em um dissecador para a manutenção da umidade.

Tabela 4.3. Variação da massa das amostras de **banana**.

| <i>HORA</i> | <i>M_{A1}</i> (g) | <i>Perda_{A1}</i> (%) | <i>M_{A2}</i> (g) | <i>Perda_{A2}</i> (%) | <i>M_{A3}</i> (g) | <i>Perda_{A3}</i> (%) | <i>U_{relativa}</i> (%) | <i>I</i> (W/m ²) |
|--------------|------------------------------|----------------------------------|------------------------------|----------------------------------|------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|
| 07:30 | 20,5 | 0 | 18,4 | 0 | 20,8 | 0 | 77 | 400 |
| 08:30 | 19,2 | 93,6 | 17,9 | 97,3 | 19,4 | 93,3 | 70 | 651 |
| 09:30 | 17,9 | 87,3 | 17,3 | 94,0 | 18,2 | 87,5 | 66 | 819 |
| 10:30 | 16,3 | 79,5 | 16,1 | 87,5 | 17,1 | 82,2 | 60 | 850 |
| 11:30 | 14,4 | 70,2 | 15,3 | 83,1 | 15,1 | 72,6 | 55 | 990 |
| 12:30 | 11,9 | 58,0 | 13,1 | 71,2 | 12,0 | 57,7 | 53 | 827 |
| 13:30 | 9,8 | 47,8 | 11,8 | 64,1 | 10,1 | 48,5 | 51 | 920 |
| 14:30 | 8,4 | 41,0 | 10,2 | 55,4 | 8,5 | 40,8 | 56 | 750 |
| 15:30 | 7,2 | 35,1 | 9,1 | 49,4 | 7,3 | 35,1 | 57 | 478 |
| 07:30 | 7,2 | 35,1 | 9,1 | 49,4 | 7,3 | 35,1 | 75 | 420 |
| 08:30 | 6,9 | 33,6 | 8,9 | 48,4 | 6,8 | 32,7 | 70 | 630 |
| 09:30 | 6,0 | 29,3 | 8,3 | 45,1 | 5,9 | 28,4 | 64 | 820 |
| 10:30 | 5,5 | 26,8 | 7,1 | 38,6 | 5,4 | 26,0 | 61 | 909 |
| 11:30 | 4,1 | 20,0 | 6,3 | 34,2 | 4,1 | 19,7 | 59 | 975 |
| 12:30 | 3,8 | 23,4 | 4,1 | 22,3 | 3,6 | 17,3 | 56 | 972 |
| 13:30 | 3,5 | 18,5 | 2,9 | 15,8 | 3,2 | 15,4 | 54 | 950 |
| 14:30 | 3,2 | 15,6 | 2,2 | 12,0 | 2,9 | 13,9 | 62 | 540 |
| 15:30 | 3,0 | 14,6 | 1,9 | 12,0 | 2,7 | 13,0 | 60 | 510 |
| Média | | | | | | | 61,4 | 745,0 |

A perda de massa para as três amostras foram superiores a 85%, sendo a amostra 2 a que mais sofreu redução de massa. Em relação a massa inicial as amostras 1, 2 e 3 ficaram com percentuais de 14,6%, 12% e 13%, respectivamente. O percentual de massa final ficou abaixo do geralmente pretendido que é em torno de 20,0%. A Figura 4.7 mostra o comportamento assumido pela perda de massa das amostras da banana.

No que diz respeito a carga total da manga correspondente a 2078,4 g, a perda de massa total foi de 86,6%, com massa de produto final de 277,7 g, que correspondeu a um percentual de massa úmida de 13,4%.

Percebe-se que a amostra 2, situada no meio do secador é a que apresenta um maior percentual de massa perdida. O tempo total de secagem para a manga, na carga testada, ficou em torno de dezesseis horas. Esse tempo está abaixo do que aponta a literatura para a secagem de frutas, para esse produto que é acima de 20 horas de secagem.

A umidade relativa do ar apresentou valor médio em torno de 61,4% e a radiação solar global em torno de 745,0 W/m². As Figuras 4.8 e 4.9 mostram o comportamento assumido pela umidade relativa do ar e pela radiação solar global para o período de secagem. Os dados

de radiação solar global foram obtidos da estação meteorológica DAVIS – Weather Envoy instalada no LMHES da UFRN.

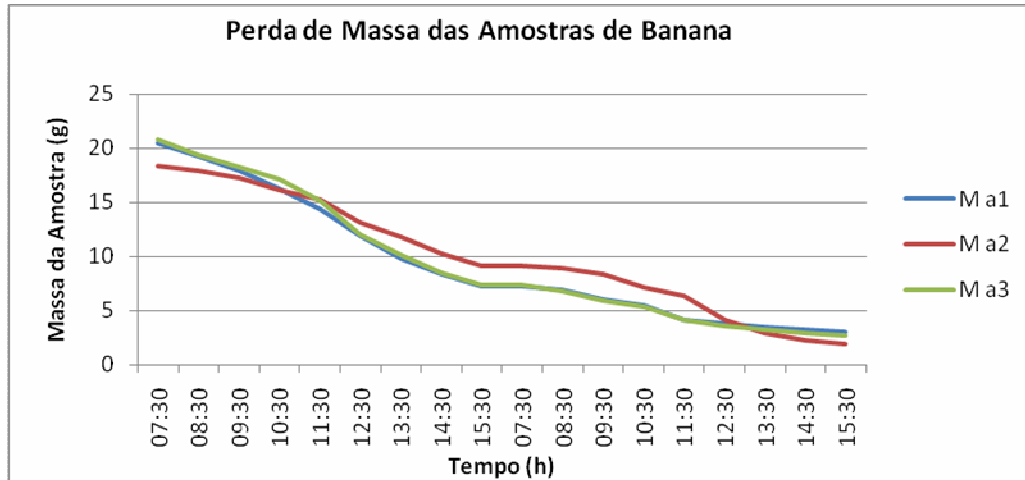


Figura 4.7. Perda de massa das amostras de banana na secagem em convecção natural.

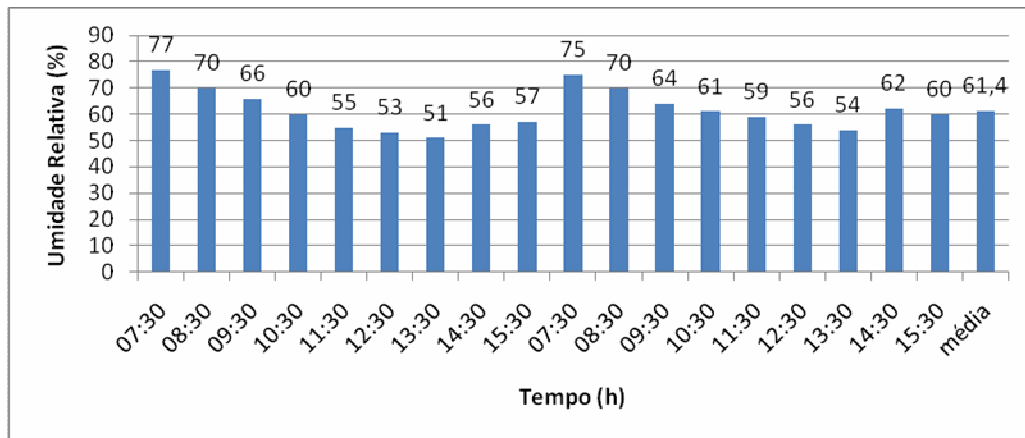


Figura 4.8. Comportamento assumido pela umidade relativa do ar durante o teste de secagem da banana.

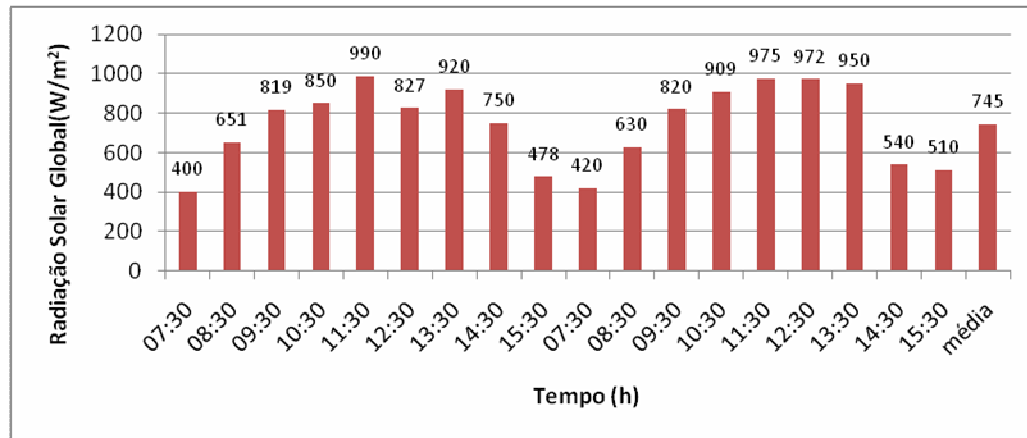


Figura 4.9. Comportamento assumido pela radiação solar global durante o teste de secagem da banana.

Os resultados da secagem do abacaxi estão na Tabela 4.4. A massa total do abacaxi a secar foi de 3423,9 g. A amostra 1 ficava colocada próxima a entrada do secador, a amostra 2 no meio e a amostra 3 próxima a saída do secador. O início do teste foi as 07h30min do dia 12/03 e o reinício do teste foi as 07h30min do dia 13/03. Após a secagem do primeiro dia mangas foram acondicionados em um dissecador para a manutenção da umidade.

Tabela 4.4. Variação da massa das amostras de **abacaxi** na secagem direta com convecção natural.

| <i>HORA</i> | <i>M_{A1}</i> (g) | <i>Perda_{A1}</i> (%) | <i>M_{A2}</i> (g) | <i>Perda_{A2}</i> (%) | <i>M_{A3}</i> (g) | <i>Perda_{A3}</i> (%) | <i>U_{relativa}</i> (%) | <i>I</i> (W/m ²) |
|--------------|------------------------------|----------------------------------|------------------------------|----------------------------------|------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|
| 07:30 | 42,8 | 0 | 41,8 | 0 | 44,4 | 0 | 72 | 623,4 |
| 08:30 | 40,9 | 95,5 | 40,1 | 95,9 | 43,8 | 98,6 | 63 | 697,4 |
| 09:30 | 38,6 | 90,1 | 38,3 | 93,0 | 42,3 | 95,2 | 52 | 789,5 |
| 10:30 | 36,3 | 84,8 | 35,4 | 84,6 | 40,7 | 91,6 | 48 | 830,4 |
| 11:30 | 32,4 | 75,7 | 32,1 | 76,7 | 38,4 | 86,4 | 43 | 887,3 |
| 12:30 | 27,9 | 65,1 | 28,1 | 67,2 | 34,1 | 76,8 | 35 | 907,5 |
| 13:30 | 25,8 | 60,2 | 26,2 | 62,6 | 30,6 | 68,9 | 43 | 903,4 |
| 14:30 | 23,4 | 56,6 | 24,6 | 58,8 | 30,1 | 67,7 | 49 | 812,2 |
| 15:30 | 21,2 | 49,5 | 22,8 | 54,5 | 29,8 | 67,1 | 58 | 670,1 |
| 07:30 | 21,2 | 49,5 | 22,8 | 54,5 | 29,8 | 67,1 | 71 | 935 |
| 08:30 | 19,7 | 46,0 | 20,9 | 50,0 | 27,9 | 62,8 | 64 | 615,4 |
| 09:30 | 18,6 | 44,1 | 19,1 | 45,6 | 25,1 | 56,5 | 53 | 702,3 |
| 10:30 | 16,4 | 38,3 | 17,9 | 42,8 | 21,6 | 48,6 | 49 | 787,2 |
| 11:30 | 14,9 | 34,8 | 14,4 | 34,4 | 16,9 | 38,0 | 41 | 852,1 |
| 12:30 | 11,8 | 27,5 | 10,1 | 24,1 | 12,3 | 27,7 | 34 | 906,1 |
| 13:30 | 10,1 | 23,5 | 8,3 | 19,8 | 10,9 | 24,5 | 45 | 901,3 |
| 14:30 | 9,7 | 22,6 | 7,8 | 19,8 | 9,6 | 21,6 | 50 | 786,4 |
| 15:30 | 9,6 | 22,4 | 7,1 | 16,9 | 8,2 | 18,5 | 61 | 680,3 |
| Média | | | | | | | 51,7 | 794,0 |

A perda de massa para as três amostras variou de 77,6% a 83,1%, sendo a amostra 2 a que mais sofreu redução de massa. Em relação á massa inicial as amostras 1, 2 e 3 ficaram com percentuais de 22,4%, 16,9% e 18,5%, respectivamente. O percentual de massa final ficou muito próximo do valor que é geralmente pretendido, cujo valor é em torno de 20,0%. A Figura 4.10 mostra o comportamento assumido pela perda de massa das amostras da manga.

No que diz respeito à carga total do abacaxi correspondente a 3423,9 g, a perda de massa total foi de 84,4%, com massa de produto final de 534,1 g, que correspondeu a um percentual de massa úmida de 15,6%.

Percebe-se que a amostra 2, situada no meio do secador é a que apresenta um maior percentual de massa perdida. O tempo total de secagem para o abacaxi, na carga testada, ficou em torno de dezesseis horas. Esse tempo está abaixo do que a literatura para a secagem de frutas, para esse produto que é acima de 30 horas de secagem.

A umidade relativa do ar apresentou valor médio em torno de 51,7% e a radiação solar global em torno de 794,0 W/m². As Figuras 4.11 e 4.12 mostram o comportamento assumido pela umidade relativa do ar e pela radiação solar global para o período de secagem. Os dados de radiação solar global foram obtidos da estação meteorológica DAVIS – Weather Envoy instalada no LMHES da UFRN.

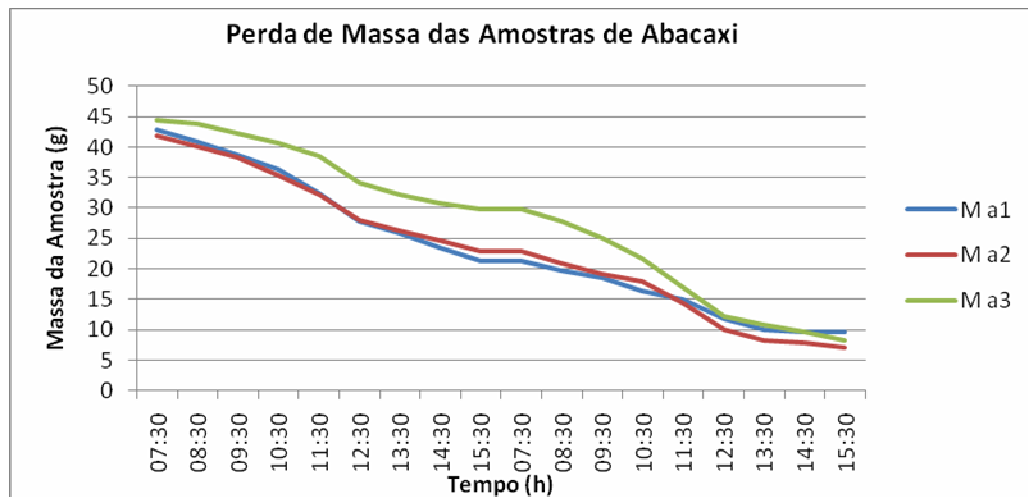


Figura 4.10. Perda de massa das amostras de abacaxi na secagem em convecção natural.

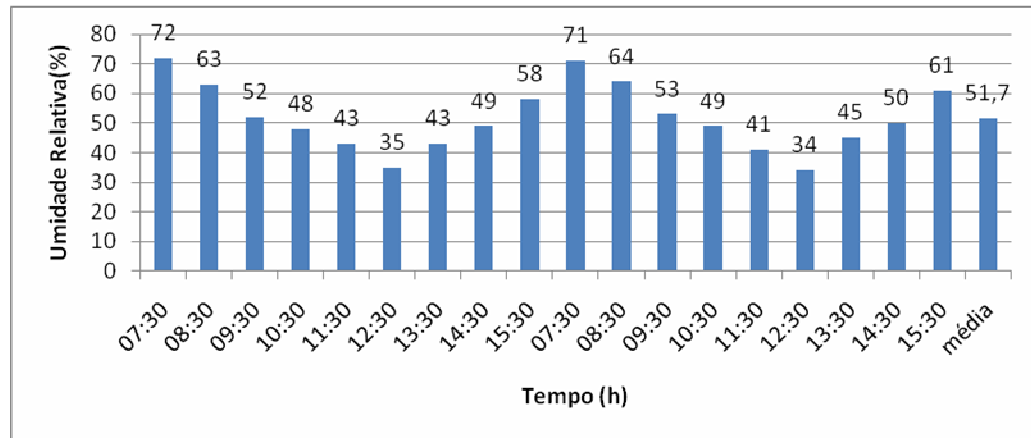


Figura 4.11. Comportamento assumido pela umidade relativa do ar durante o teste de secagem do abacaxi.

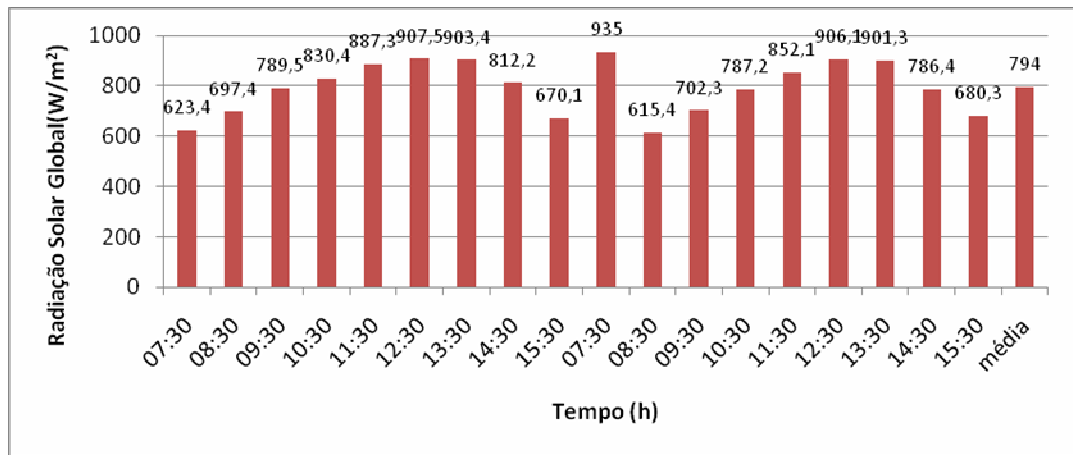


Figura 4.12. Comportamento assumido pela radiação solar global durante o teste de secagem do abacaxi.

A Tabela 4.5 apresenta os tempos de secagem de cada produto seco e os tempos constantes na literatura (Arnaldo Moura, 2001).

Tabela 4.5. tempos de secagem dos alimentos postos a secar.

| PRODUTO | TEMPO DE SECAGEM SECADOR EM ESTUDO (HORA) | TEMPO DE SECAGEM LITERATURA (HORA) |
|----------------|--|---|
| CAJU | 16 | 27 |
| MANGA | 16 | 28 |
| BANANA | 16 | 34 |
| ABACAXI | 16 | 33 |

Os tempos de secagem obtidos com o secador proposto e estudado são inferiores aos mostrados pela literatura de secagem, o que demonstra a significativa eficiência do secador construído.

Os resultados das análises do pH nas amostras de caju, da farinha de caju e outros produtos utilizados no secador estão na Tabela 4.6

Tabela 4.6. Resultados das análises do pH nos produtos testados.

| PRODUTO | PH |
|------------------------------------|-----------|
| Caju in natura | 4,12 |
| Farinha de caju pura | 4,43 |
| Farinha de caju a 5,0% de rapadura | 4,47 |
| Farinha de caju a 15 de rapadura | 4,50 |
| Farinha de caju a 2,0% de rapadura | 4,52 |
| Farinha de caju a 30% de rapadura | 4,55 |
| Farinha de caju a 50,0de rapadura | 4,57 |
| Farinha de banana | 4,53 |
| Farinha de goiaba | 4,62 |

É possível constatar que não houve diferença significativa no valor do pH, quando se adiciona a rapadura às amostras de farinha de caju. O valor do pH do caju in natura foi superior ao obtido por Brandão et al. (2003) com o valor de 4,01 e inferior ao obtido por Souza Filho(1999) que foi de 4,32.

A Tabela 4.7 apresenta os resultados das análises do teor de cinzas nas amostras de caju, da farinha de caju e outros produtos utilizados no secador solar em estudo.

Tabela 4.7. Resultados das análises do teor de cinzas nos produtos testados.

| PRODUTO | Teor de Cinzas (%) |
|------------------------------------|---------------------------|
| Caju in natura | 0,39 |
| Farinha de caju pura | 2,23 |
| Farinha de caju a 5,0% de rapadura | 2,24 |
| Farinha de caju a 15 de rapadura | 2,30 |
| Farinha de caju a 2,0% de rapadura | 2,36 |
| Farinha de caju a 30% de rapadura | 2,39 |
| Farinha de caju a 50,0de rapadura | 3,03 |
| Farinha de banana | 2,46 |
| Farinha de goiaba | 1,98 |

O teor de cinzas no caju como mostra a tabela acima ficou muito próximo da citada por Maia, et al (2004) que é de 0,32%. O teor de cinzas da farinha de caju cresceu com o aumento da proporção da rapadura. Os valores do teor de cinzas estão compatíveis com o que aponta a literatura especializada em alimentos desidratados.

O teor de cinzas na farinha de beterraba quando comparada com o trabalho feito por Filho (2008) ficou dentro de uma faixa razoável, já que a mesma feita variou de 4,70% a 6,82% segundo a sua granulometria.

O teor de cinzas na farinha de berinjela ficou abaixo da encontrada pela Perez e Germani (2006) que foi de 6,40%. Já o teor de cinzas na farinha de Goiaba foi semelhante ao encontrado por Kliemann (2006) e as cinzas na farinha de banana estão compatíveis com o estudo feito por Fasolin et al. (2007).

A Tabela 4.8 traz os resultados encontrados para os teores de minerais para as amostras de farinha caju e de outros produtos utilizados no secador solar, em (mg do mineral/100g do produto seco)

Tabela 4.8 - os resultados encontrados para os teores de minerais para as amostras de farinha caju

| Amostras | Lítio | Sódio | Amônio | Potássio | Magnésio | Cálcio | Ferro | Zinco | Cobre |
|----------------------|-------|-------|--------|----------|----------|--------|-------|-------|-------|
| F.caju in natura | 1,49 | 27,51 | 1,08 | 475,5 | 45,99 | 17,79 | 6,89 | 0,75 | 0,09 |
| F. Caju 15% rapadura | 0,78 | 31,4 | 0,87 | 481,7 | 60,43 | 21,8 | 7,91 | 0,83 | 0,21 |
| F. Caju 25% rapadura | 0,47 | 36,89 | 0,51 | 506,5 | 73,8 | 32,6 | 9,4 | 0,92 | 0,37 |
| F. Caju 35% rapadura | 0,21 | 41,7 | 0,27 | 565,44 | 91,6 | 49,2 | 10,1 | 1,13 | 0,48 |
| F. Caju 50% rapadura | 0,11 | 49,7 | 0,15 | 580,3 | 101,4 | 64,3 | 13,3 | 1,47 | 0,59 |
| Farinha de Banana. | 0,29 | 22,93 | 0,88 | 851,38 | 55,11 | 27,07 | 1,22 | 0,23 | 0,21 |
| Farinha de Goiaba | 0,0 | 5,22 | 0,0 | 652,66 | 38,64 | 40,79 | 0,58 | 0,09 | 0,12 |

O caju é uma fonte excelente de sais minerais, tão necessária para o ser humano e a tabela mostra como se comporta a quantidades de sais minerais quando adicionada a rapadura.

Na farinha de caju o cálcio variou de 17,79 mg/100g a 64,3 mg/100g, a sua concentração máxima corresponde a 6% das necessidades humanas para um adulto. A necessidade diária de cálcio de um adulto é 1000mg de cálcio (BRASIL, 2005).

A concentração de sódio variou de 27,51mg/100g a 49.7mg/100g na farinha do caju. A quantidade máxima de sódio no produto desidratado corresponde apenas 2,07% das necessidades humanas. A recomendação da ingestão diária de sódio varia entre o mínimo de 500 mg a 2400 mg para um adulto, segundo Food and Nutrition Board.

Em se tratando de magnésio, o produto desidratado de caju apresentou o teor de magnésio variando de 45,9mg/100g a 101,4mg/100g, tendo seu valor máximo correspondendo a 39% das necessidades humanas que é de 700mg de cálcio (BRASIL, 2005).

A farinha de caju apresentou uma variação de 475,5mg/100g a 580,3mg/100g de potássio. Não existe uma quantidade diária recomendada para o consumo de potássio, embora os especialistas aconselhem aproximadamente 2000 a 2500 miligramas ao dia.

Na farinha de caju foi apresentado um teor de ferro variando entre 6,9mg/100g e 13,3mg/100g, sendo seu valor máximo corresponde 95% das necessidades humanas para um adulto que é de 14 mg de ferro (BRASIL, 2005). Este resultado é de grande importância visto que a maioria das fontes de ferro são de origem animal equivalendo a um custo maior para aquisição e o desenvolvimento da farinha de caju utilizando um secador solar permite obter um produto de origem vegetal rico em ferro.

A ingestão diária recomendada para um adulto de zinco é de 7mg, segundo BRASIL, 2005 e a concentração de zinco na farinha de caju variou de 0,75mg/100 a 1,47mg/100g correspondendo a 21% das necessidades humanas de um adulto.

As farinhas de caju analisadas apresentaram uma variação de 0,12mg/100g (120mcg/100g) a 0,59mg/100 (590 mcg/100g) de cobre, tendo o teor máximo correspondido a 65,5% das necessidades de ingestão de cobre para um adulto segundo as normas técnicas do nosso país (BRASIL, 2005).

A farinha de banana processada no secador solar tem sua composição na tabela 7, e o destaque é a concentração de potássio, 851,38mg/100g que corresponde a um percentual de 42% das necessidades de um adulto, segundo os especialistas. Já a de goiaba também é uma ótima fonte de potássio (652,66mg/100g) estando os valores dos seus sais de acordo com a literatura.

O Gráfico da Figura 4.13. apresenta o cromatograma dos íons amônio, cálcio, lítio, magnésio, potássio e sódio da farinha de caju pura feita no cromatógrafo de íons.

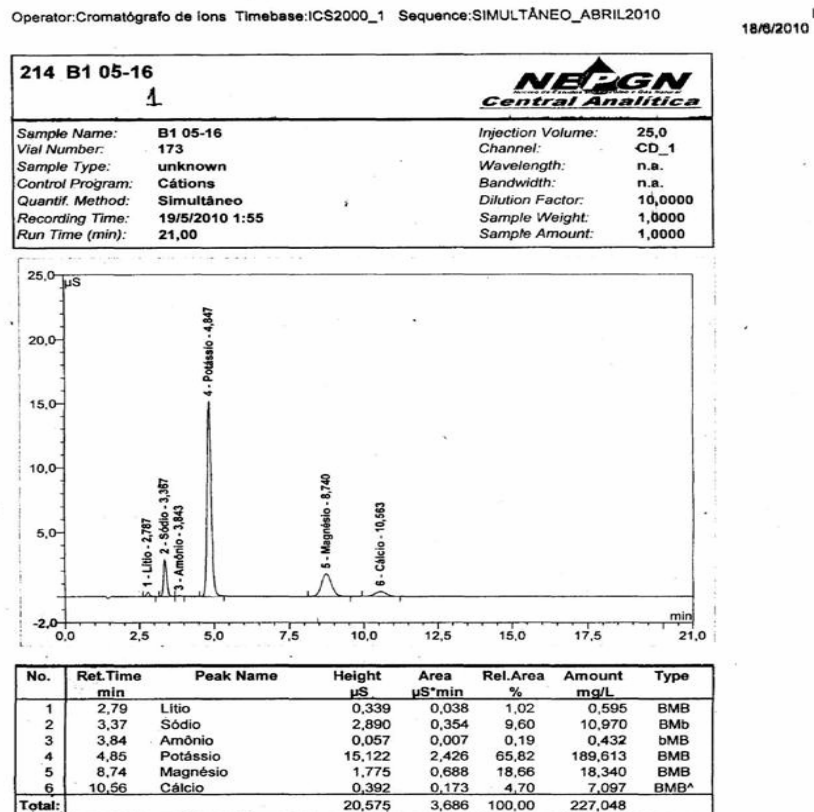


Figura 4.13. Cromatograma dos íons amônio, cálcio, lítio, magnésio, potássio e sódio da farinha de caju in natura.

A Figura 4.14. apresenta a curva de calibração do Zinco no equipamento de Espectrometria de Absorção Atômica.

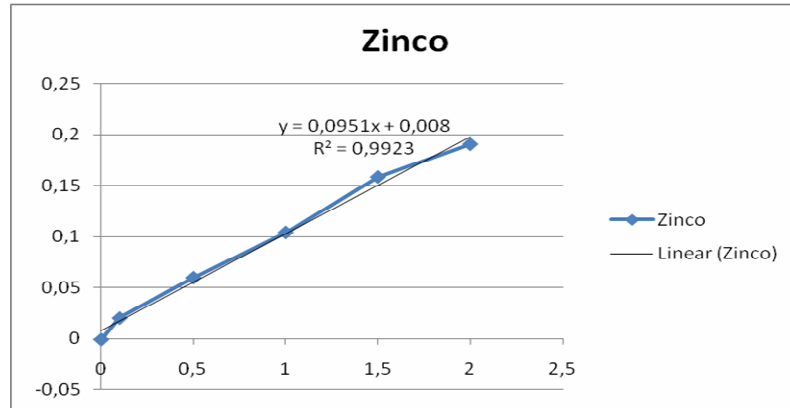


Figura 4.14. Curva de calibração do Zinco.

Para avaliar o processo de secagem do caju determinou-se a sua eficiência através das umidades relativas do ar na entrada e saída do secador, obtidas pela central meteorológica e pelas medições realizadas durante o processo de secagem. Utilizou-se a equação 4.1 para a determinação da eficiência do processo de secagem realizado para o caju.

$$\eta_p = \frac{\Delta U}{U_{entrada}} \quad (4.1)$$

Escolheu-se o ensaio com uma das cargas de caju postas a secar, em torno de 4,0 kg. a eficiência pretendida foi calculada pela equação mostrada na tabela acima, que correspondeu a 32,4 %, que representa uma boa eficiência para secadores alternativos, geralmente em torno de 35%..

Os valores horários utilizados para a determinação da eficiência média do processo estão mostrados na Tabela 9.

Tabela 9. Dados para cálculo da eficiência do processo de secagem de caju.

| <i>TEMPO</i> <i>(HORA)</i> | $U_{entrada}$ (%) | $U_{saída}$ (%) | η_p (%) |
|-------------------------------|----------------------|--------------------|-----------------|
| 07:30 | 73 | 55 | 24,7 |
| 08:30 | 70 | 50 | 28,6 |
| 09:30 | 68 | 41 | 39,7 |
| 10:30 | 61 | 39 | 36 |
| 11:30 | 58 | 35 | 39,6 |
| 12:30 | 56 | 39 | 30,3 |
| 13:30 | 55 | 37 | 32,7 |
| 14:30 | 59 | 39 | 33,9 |
| 15:30 | 61 | 45 | 26,2 |

Os gráficos das Figuras 4.15 e 4.16 mostram o comportamento assumido pela umidade e eficiência do processo, durante a secagem, com uma carga de caju.

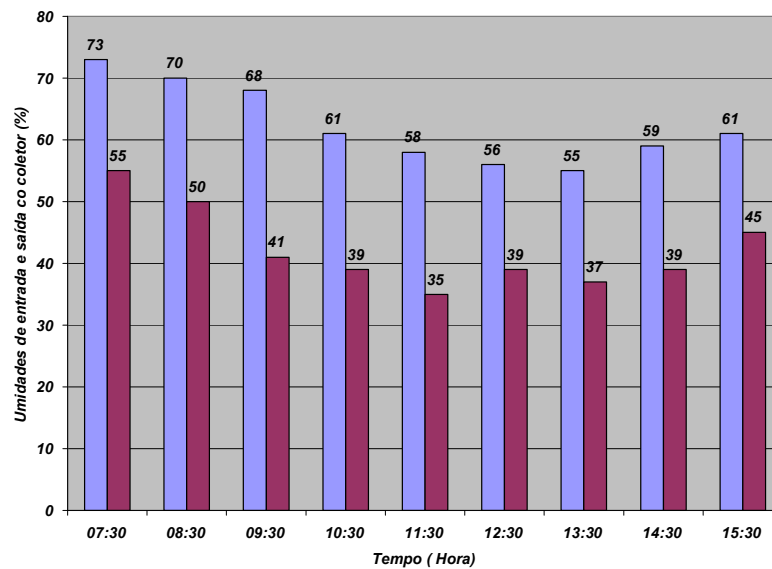


Figura 4.15. Comportamento das umidades de entrada e saída do coletor para uma carga de caju secada.

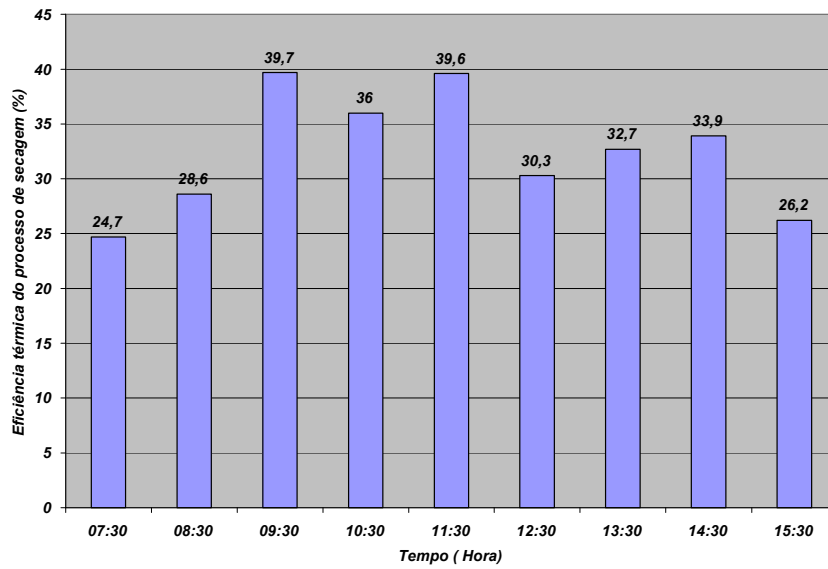


Figura 4.17. Comportamento da eficiência do processo de secagem do caju.

O custo do secador que trabalha em convecção natural ficou em torno de R\$ 150,00 (U\$ 83,3), correspondendo a R\$ 100,00/m² (U\$ 55,55). A Figura 4.11 Mostra as farinhas de goiaba, banana e caju produzidas após o processo de secagem no secador testado.



Figura 4.17. Farinhas produzidas a partir dos produtos secos.

CAPITULO 5 – CONCLUSÕES E SUGESTÕES

No contexto atual, em que a fome e a desnutrição ainda são uma realidade da humanidade que assombra milhões de pessoas no mundo, a busca por alternativas eficazes de aproveitamento de alimentos é uma necessidade premente. Daí a importância do desenvolvimento de um sistema solar visando a produção de farinha de caju, pois traz retorno positivo tanto em relação a economia, uma vez que é de baixo custo; quanto em relação a qualidade de vida de nosso planeta.

5.1. CONCLUSÕES

1. O secador solar mostrou-se viável nos campos térmico e econômico;
2. O processo de secagem por exposição direta em convecção natural mostrou-se eficiente para todos os produtos testados podendo produzir perda de massa com mais de 80,0% para dezesseis horas de secagem;
3. O custo de fabricação de tal secador é baixo, em torno de U\$ 50,00/m², sendo competitivo com os secadores convencionais disponíveis;
4. Os processos de fabricação e montagem do sistema de secagem proposto são simples, podendo ser facilmente repassados tecnologicamente;
5. O secador proposto é viável para utilização em zona rural para combater os desperdícios, e perecibilidade, podendo ser construído em vários tamanhos, contribuindo para a geração descentralizada de produtos desidratados;
6. O processo direto de secagem solar em convecção natural pode ser utilizado para quaisquer frutas tropicais, como ficou demonstrado nas frutas que foram postas a secar, como caju, banana, beterraba, goiaba e berinjela, abacaxi e manga;
7. A eficiência do processo de secagem por exposição direta em convecção natural foi significativa da ordem de 32,4% e como tem custo de fabricação bastante reduzido, apresenta, portanto, elevada relação custo benefício;

8. A partir dos resultados obtidos, pode-se considerar que as farinhas de caju, goiaba, banana, beterraba e berinjela são fontes importantes de sais minerais que podem servir como complementação mineral na alimentação humana;

9. Sensorialmente, a melhor composição da farinha de caju corresponde a 50% de rapadura, pois não apresentava mais o gosto rançoso do tanino e foi a mais saborosa;

10. A secagem solar aplicada neste estudo, foi capaz de garantir a conservação e qualidade dos produtos postos a secar;

11. A farinha de caju com 50 % de adição de rapadura mostrou ser a que apresenta maior teor de ferro entre todas as farinhas, tendo este resultado uma importância relevante pois o produto seria uma fonte bastante barato quando comparado com os de origem animal;

5.2. SUGESTÕES

1. Utilizar a farinha de caju para a formulação de novos produtos alimentícios (biscoitos, pães, bolachas, sopas, etc);

2. Seria importante realizar mais testes químicos nos solos onde frutas e verduras foram plantadas e coletadas para obtenção das farinhas visando estudar a influencia do solo na composição química dos produtos de secagem;

3. Poder-se-ia, também, realizar tratamentos de pré-secagem por diversos métodos para avaliar a influência dos mesmos na qualidade do produto final.

CAPÍTULO 6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AZOUBEL, P. M., *Estudo da cinética de desidratação por imersão e secagem de tomate cereja (Lycopersicon esculentum var. Cerasiforme)*. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Alimentos da Faculdade de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 1999.

AZOUBEL, P. M.; MURR, F. E. X., *Matemtical melling of the osmotic dehydration of cherry tomato (Lycopersicon esculentum var. Cerasiforme)*, Ciência e Tecnologia de Alimentos vol.20, n.2, Campinas, 2000.

BEZERRA, A. M., *Aplicações Térmicas da energia solar*, Editora Universitária da UFPB, João Pessoa, 2001.

BO BOLAJI, **Development and performance evaluation of box-type absorber solar air collector for crop drying**, *Journal of Food Technology* 3 (4) (2005), pp.

BO BOLAJI, AND APALUSI, **Performance evaluation of a mixed-mode solar dryer**, *AU Journal of Technology* 11 (4) (2008), pp.

BRASIL: MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E REFORMA AGRÁRIA, *Regras para análise de sementes, (RAS)*, Brasília, 1999.

BRASIL. Resolução RDC – Nº 269, de 22 de setembro de 2005. **Regulamento Técnico sobre a Ingestão Diária Recomendada (IDR) de proteína, vitaminas e minerais**. ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária, de 23 de setembro de 2005.

CJ MINKA, **Potential improvement to traditional solar crop drying in Cameroon: research and development solar drying in Africa**, *Proceedings of a Workshop held in Dakar Senegal*, July 21–24 (1986), pp.

COSTA, A.R.S., *Sistema de secagem solar para frutos e modelagem da secagem de banana em um secador de coluna estática*, Tese de Doutorado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Química da UFRN, Natal, RN, 2008.

COSTA, A.R.S., *Utilização de processo osmótico, seguido de secagem para a obtenção de tomate parcialmente desidratado*, Tese de Doutorado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia mecânica da UFPB, João Pessoa, Pb, 2003.

D. IVANOVA , KR. ENIMANEV AND K.ANDONOV, **Energy and economic effectiveness of fruit and vegetable dryer**, *Energy Conversion & Management* **44** (2003), pp.

D. JAIN AND RK JAIN, **Performance evaluation of an inclined multi-pass solar air heater within built thermal storage on deep-bed drying application**, *Journal of Food Engineering* **65** (2004), pp.

DAVOODI, M. G., et al, **Effect of different pre-treatments and dehydration methods on quality characteristics and storage stability of tomato powder**, *LWT - Food Science and Technology*, Volume 40, Issue 10, 2007.

DIAS, T. J. M., **Produtividade e conservação pós-colheita de frutos híbridos de tomateiro em função do alelo Alcobaça (alc.) e diferentes backgrounds genéticos**, Dissertação de Mestrado da Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2001.

DUARTE, R.N.C., **Secagem convectiva de partículas incluindo o efeito do encolhimento**, Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Natal, RN, 1996.

DUFFIE, J.A., BECKMAN, W.A., **Solar Engineering of Thermal processes**, second edition, New York, John&Sons, & Beckman, 1991.

EL-SEBAIL, et al, **Experimental investigation of an indirect type natural convection solar dryer**, *Energy Conversion and Management*, Volume 43, Issue 16, 2002.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, **Tomate para processamento industrial**, Brasília, DF, 2000.

FIOREZE, R., **Princípios da Secagem de Produtos Biológicos**. João Pessoa, Editora da Universidade Federal da Paraíba - UFPB, 2003.

GBAHA, HY ANDOH, JK SARAKA , BK KOUA AND S. TOURE, **Experimental investigation of a solar dryer with natural convective heat flow**, *Renewable Energy* **32** (2007), pp.

GIOVANELLI, et al., **Water sorption, drying and antioxidant properties of dried tomato products**, *Journal of Food Engineering*, Volume 52, Issue 2, 2002.

GN TIWARI, PS BHATIA, AK SINGIH and RK GOYAL, **Analytical studies of crop drying cum water heating system**, *Energy Conversion & Management* **38** (8) (1997), pp.

H. OTHIENO, **Circulation of air in natural-convection solar dryers: research and development solar drying in Africa**, *Proceedings of a Workshop held in Dakar Senegal*, July 21–24 (1986), pp.

IGARASHI, L., *Estudo do pré-tratamento osmótico de tomate e seu efeito na secagem*, Dissertação de Mestrado em Engenharia Química da Faculdade de Engenharia Química da Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1999.

LENART, A., *Osmo-convective of fruits and vegetables: technology and application*, Drying Technology, 1996.

LION, C.A.P.Q., *Construção e análise de desempenho de um fogão solar à concentração utilizando dois focos para cozimento direto*, Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Natal, RN, 2007.

INCROPERA, F.P., DEWITT, D.P., *Fundamentos de transferência de calor e massa*, Guanabara Koogan, 4ª edição, Rio de Janeiro, 2003.

M. MOHANRAJ and P. CHANDRASEKAR, **Drying of copra in forced convection solar drier**, *Biosystems Engineering* **99** (2008), pp.

MELONI, P.L.S., *Manual de produção de frutas desidratadas*, Instituto de Desenvolvimento da Fruticultura e Agroindústria – Frutal, Sindicato dos Produtores de frutas do Estado do Ceará – Sindifruta, Fortaleza, Ce, 2002.

MORORÓ, R.C., *Como montar uma pequena fábrica de polpa de frutas*, CPT (Série Agroindústria), Viçosa, MG, 1998.

MURSALIM, SUPRAMOTO YS DEWI, **Drying of cashew nut in shell using solar dryer**, *Science & Technology* **3** (2) (2002), pp.

OO Mojola, **Solar crop drying in a low humidity environment**, *International Journal of Energy Research* **11** (3) (1987), pp.

PEÑA, L. M. R., *Estudo de pré-tratamentos para obtenção de tomate desidratado em fatias*, Dissertação de Mestrado em Engenharia Química da Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 1999.

PINTO FILHO, G.L. *Desenvolvimento de um secador de fluxos cruzados com reversão fluxo de ar de resfriamento, para a secagem de café (Coffea arabica L.)*, Tese do Mestrado em Engenharia Agrícola do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1994.

PRASAD, VK VIJAY, GN TIWARI and VPS SORAYAN, **Study on performance evaluation of hybrid drier for turmeric (*Curcuma longa* L.) drying at village scale**, *Journal of Food Engineering* **75** (2006), pp.

RAMOS, C.M.P., *Polpas de frutas tropicais desidratadas em leito de jorro*, Trabalho de Final de Curso de Engenharia Química da UFRN, Natal, RN, 1997.

R.K. GOYAL and G.N. TIWARI, **Performance of a reverse flat plate absorber cabinet dryer: a new concept**, *Energy Conversion & Management* **40** (1999), pp

R. K. GOYAL and G.N. TIWARI, **Parametric study of a reverse flat plate absorber cabinet dryer: a new concept**, *Solar Energy* **60** (1) (1997), pp

S. JANJAI, N. SRISITTIPOKAKUN and B.K. BALA, **Experimental and modeling performance of a roof-integrated solar drying system for drying herb and spices**, *Energy* **33** (2008), pp

S. SOPONRONNARIT, **Solar drying in Thailand**, *Energy for Sustainable Development* **2** (2) (1995), pp.

SANTOS, T.S.N., **Estudo comparativo de secadores solares de exposição direta e convectivo**, Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da UFRN, Natal, RN, 1997.

SEBRAE-MG - *Como tornar-se um produtor de desidratados*, Série oportunidade de negócios, Belo Horizonte, MG, 1995.

SENA, J.F., 1997, *Secagem de Sementes de Algodão usando Coletor Solar Plano: Estudo Cinético e Térmico*, Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da UFRN, Natal.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS – *Manual de boas práticas de fabricação para a indústria de alimentos*, Campinas, SP, 1993.

SOUZA et al, *Obtenção de tomate seco utilizando um sistema de secagem solar construído com materiais alternativos*, 8º Congresso Iberoamericano de Engenharia Mecânica, Cusco, Peru, 2007.

SOUZA, et al., *Secador solar a baixo custo para frutas tropicais*, Congresso Nacional de Engenharia Mecânica – CONEM, Belém, Pa, 2004,

T. A. LAWAND, *A solar cabinet dryer*, *Solar Energy* **10** (1966), pp.

V. SHANMUGAM and E. NATARAJAM, *Experimental study of regenerative desiccant integrated solar dryer with and without reflective mirror*, *Applied Thermal Engineering* **27** (2007), pp.

VETTER, R., MORAES-DUZAT, R., *Secagem solar da madeira - uma solução econômica para a região amazônica*, I Encontro para Ciência e Tecnologia da Amazônia, Belém, PA, 1999.