



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI
CAMPUS ALTO PARAOPEBA
Izadora de Decco Marinho
Nara Luiza Andrade Pereira

MINISECADOR SOLAR COM COLETORES COLMÉIA
Secagem de banana

Ouro Branco
2015

Izadora de Decco Marinho
Nara Luiza Andrade Pereira

MINISECADOR SOLAR COM COLETORES COLMÉIA
Secagem de banana

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade Federal de São
João del-Rei, como requisito para obtenção
de título de Bacharel em Engenharia Química.

Orientador: Professor Dr. Juan Bosch Neto

Ouro Branco
2015

Izadora de Decco Marinho
Nara Luiza Andrade Pereira

MINISECADOR SOLAR COM COLETORES COLMÉIA

Secagem de banana

Trabalho de conclusão de curso apresentado
à Universidade Federal de São João del-Rei,
como requisito para obtenção de título de
Bacharel em Engenharia Química.

Aprovado em: Ouro Branco, ___/___/___

BANCA EXAMINADORA

Professor e Orientador Dr. Juan Bosch Neto
DEQUE/CAP/UFSJ

Professora Dr. Patrícia da Luz Mesquita
DEQUE/CAP/UFSJ

DEDICATÓRIAS

Dedico este trabalho aos meus pais e irmã por me ajudarem a manter focada, superar os momentos difíceis e assim alcançar meu objetivo.

Izadora de Decco Marinho

Dedico este trabalho aos meus pais e ao Igor, que desde sempre viveram este sonho comigo e me ajudaram na luta para torná-lo real.

Nara Luiza Andrade Pereira

AGRADECIMENTOS

A Deus, por nos guiar e dar forças para nunca desistir.

Aos nossos pais, pela dedicação e confiança de sempre.

Aos nossos irmãos, pelo apoio e carinho.

Ao professor, orientador e amigo, Juan Bosch Neto, por acreditar e tornar possível a realização deste trabalho.

À professora Patrícia Mesquita, por aceitar fazer parte desta conquista.

Aos amigos, que nos incentivaram e torceram para que tudo desse certo.

RESUMO

O descarte de alimentos, principalmente aqueles altamente perecíveis, é um problema mundial; no Brasil estima-se um desperdício de cerca de 35% da produção agrícola e, cada família descarta em média 20% de todo alimento que compra em uma semana.

Diante dos fatos faz-se necessária a utilização de métodos que tem por objetivo a conservação desses alimentos, sem interferir em suas características nutricionais. Esta é a proposta da secagem solar. O Minisecador Solar projetado nesse trabalho é um equipamento portátil, de baixo custo, que possui um coletor de calor solar em formato de *colmeia* com a intenção de absorver e manter o calor por mais tempo na câmara.

De acordo com os testes realizados com bananas, constatou-se que em 12 horas e quarenta e cinco minutos, 65,48% da umidade das frutas secas com coletor tradicional foi perdida, enquanto houve uma perda de 65,52% daquelas que foram secas com o coletor *colmeia*, para um local com umidade média de 41%; 60,7% e 61,1%, para um local com umidade média de 60%.

Os resultados mostraram a viabilidade econômica do Minisecador Solar e sugerem seu uso como uma alternativa para a diminuição do desperdício de alimentos por uma família. E ainda, pode ser usado como ferramenta de trabalho na comercialização de frutas secas.

Palavras-chave: secagem, secador, solar, banana.

ABSTRACT

The food waste, especially those highly perishable, is a global problem; a loss of about 35% of agricultural production and an average discard of 20% of all food purchased in a week per family is estimated in Brazil.

Considering this reality, turns out to be necessary the use of methods which aims at the conservation of these foods without interfering in their nutritional facts. This is the proposal of Mini Solar Dryer with honeycomb collector. The Mini Dryer is a portable and low cost equipment, which has a solar heat collector in the shape of honeycomb intended to absorb and retain heat longer in the chamber. According to the tests carried out with bananas, it was found that in twelve hours and forty five minutes, 65,48% of weight was lost with traditional collector, while there was a loss of 65,52% of those who were dried with collector hive for a local with humidity 41% in average; and twelve hours and forty five minutes, 60,7% of weight loss against 61,1% for a local with humidity 60% in average.

The results show the economic viability of Mini Solar Dryer and suggest its use as an alternative to reduce food waste by a family. Yet, it can be used in the production of dried fruits as a source of extra income.

Keywords: drying, dryer, solar, banana.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Curva de teor de umidade versus tempo.	14
Figura 2 - Curva de taxa de secagem versus teor de umidade.	14
Figura 3 - Curva de taxa de secagem versus teor de umidade.	15
Figura 4 - Desenho técnico do Minisecador Solar: a) Vista frontal. b) Vista lateral. c) Vista lateral com porta.....	21
Figura 5 - Estrutura do Minisecador Solar: a) Vista posterior b) Vista lateral c) Vista frontal.	21
Figura 6 - Minisecador Solar com coletor dividido em tradicional e <i>colmeia</i>	22
Figura 7 – Coletor <i>colmeia</i>	22
Figura 8 - Bandeja vista frontal.....	23
Figura 9 - Bandeja vista posterior.....	23
Figura 10 – Minisecador Solar completo.	23
Figura 11 - Branqueamento.....	24
Figura 12 - Banana após branqueamento: a) massa para o coletor tradicional b) massa para o coletor.....	24
Figura 13 – Minisecador em operação.	25
Figura 14 - Banana após secagem em Ouro Branco.....	25
Figura 15 - Banana em rodelas para teste 2.....	26
Figura 16 - Banana após secagem em Muriaé.....	26
Figura 17 - Massa <i>versus</i> tempo.	27
Figura 18 – Teor de umidade base seca <i>versus</i> tempo	28
Figura 19 - Taxa de secagem <i>versus</i> Teor de umidade	29

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados da secagem de banana realizada para o primeiro teste, usando coletor <i>colmeia</i> com uma camada.....	33
Tabela 2 - Dados da secagem de banana realizada para o primeiro teste,	34
Tabela 3 - Dados da secagem de banana realizada para o segundo teste, usando coletor <i>colmeia</i> com três camadas.	34
Tabela 4 - Dados da secagem de banana realizada para o segundo teste, usando coletor <i>colmeia</i> com três camadas.	35

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 Apresentação.....	11
1.2 Objetivo.....	11
1.3 Revisão Bibliográfica	11
1.3.1 Características da banana	11
1.3.2 Secagem	12
1.3.3 Curvas e Equações de Secagem	13
1.3.4 Principais tipos de Secadores	17
1.3.5 Processos de Pré-tratamento.....	19
2 DESENVOLVIMENTO.....	21
2.1 Montagem.....	21
2.2 Testes	23
2.2.1 Teste 1 – Corte em rodelas e uma camada <i>colmeia</i>	23
2.2.2 Teste 2 – Corte em rodelas e três camadas <i>colmeia</i>	26
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	27
4 CONCLUSÃO.....	30
REFERÊNCIAS	31
ANEXO	33

1 INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação

Ao visitar a região de Tuiutinga-MG notou-se uma grande quantidade de plantio de frutas. Estas muitas vezes acabam sendo descartadas por possuírem curto tempo de utilização, já que são altamente perecíveis, como é o caso da banana.

Uma solução para diminuir o desperdício seria a secagem destas frutas com a intenção de aumentar sua durabilidade. A secagem pode ser feita em fornos a gás ou elétricos, aparelhos micro-ondas, secadores industriais, secadores solares, dentre outros.

Apesar de serem processos de secagem rápidos, devido ao calor excessivo em fornos e micro-ondas a que são submetidas as frutas, parte de suas propriedades nutritivas ficam comprometidas, o que não é um resultado desejável. Além dos custos com gás e/ou energia elétrica.

Os secadores solares, pelo contrário, mantêm as características nutricionais das frutas e ainda não incluem gastos com energia ou gás. O Minisecador Solar tem esta proposta, contando ainda com a vantagem de ser portátil, o que facilita o melhor aproveitamento da incidência solar, tornando o processo mais rápido que aqueles em secadores solares convencionais.

1.2 Objetivo

Disseminar a cultura de secagem de frutas em regiões como a de Tuiutinga com o intuito de ajudar a população a ter perda mínima em suas colheitas, seja ela seu meio de sustento ou mesmo sua horta privada.

1.3 Revisão Bibliográfica

1.3.1 Características da banana

As bananas constituem-se em fonte importante na alimentação humana pelo valor calorífico, energético e, principalmente, pelo conteúdo mineral e vitamínico que apresentam¹.

Devido às suas características aromáticas, as bananas têm recebido considerável atenção dos pesquisadores, com mais de 350 compostos identificados. Os maiores constituintes são os ésteres amil e éster isoamil de ácidos butírico, propiônico e acético. A banana madura apresenta 19% de açúcares e 1% de amido. O fruto é basicamente composto de: água (70%); proteína (1,2%); carboidrato rico em fósforo (27%), apresentando regular teor de cálcio, ferro, cobre, zinco, iodo, manganês e cobalto, vitamina A, tiamina, riboflavina, niacina e vitamina C². Sob o ponto de vista tecnológico e comercial, devido à grande variedade de vitaminas e nutrientes, o aproveitamento para consumo “in natura” e industrial tem sido elevado^{2,3}.

A banana é um produto biológico altamente higroscópico. Os produtos higroscópicos têm a propriedade de realizar trocas de água, sob a forma de vapor ou líquido, com o ambiente que os envolve, por absorção ou dessorção, considerando as características hídricas dos produtos e do meio que o circunda¹.

O Brasil ocupa o segundo lugar na produção mundial de banana, com área colhida superior a 511 mil ha. Em 2002, a produção de banana foi de 6.357,940 toneladas e tem-se mantido estável nos últimos anos⁴. No entanto, as perdas desse produto são estimadas em 40% do volume total da produção⁵. Apesar de ser colhida em quantidades e qualidade praticamente iguais ao longo do ano, a fruta deve ser consumida em até 25 dias após a colheita. Justifica-se a aplicação de métodos de conservação do excedente da produção para frutos extremamente perecíveis⁶. A banana madura seca pode ser armazenada satisfatoriamente por mais de alguns anos sem adição de conservantes. Presume-se ser devido ao elevado teor de açúcares, que excede 50%. A utilização de técnicas adequadas de secagem pode levar à obtenção de um produto de coloração clara, consistência macia e de sabor e aroma agradáveis³.

A produção de banana passa, por meio da secagem, requer baixo investimento inicial e perspectivas de lucratividade compatíveis com o investimento, sendo, portanto, um dos processos de aproveitamento integral da fruta mais viáveis existentes.

1.3.2 Secagem

Secagem é a operação unitária por meio da qual a água ou qualquer outro líquido é removido de um material sólido por centrifugação ou evaporação, a uma

temperatura inferior à de ebulação do líquido em questão. Suas principais vantagens são o aumento de vida útil ou tempo de prateleira do alimento, pouco investimento e, aquele que é nosso objetivo, redução da perda de alimentos por deterioração. Em razão destes prós, a secagem natural de alimentos é utilizada desde a antiguidade para sua conservação. Posteriormente, indústrias de processamento alimentar e químico também vêm utilizando outras técnicas de secagem com o mesmo fim^{7,8}.

A secagem natural é um processo simples sendo necessário apenas bandejas para a desidratação e redes protetoras contra insetos. Um secador um pouco mais elaborado conta com uma caixa protetora para o alimento contendo as bandejas, na parte inferior uma inclinação e um tampo de vidro para absorção da radiação solar, preferencialmente preta, e uma saída de ar na parte superior. O ar quente sobe e atravessa as bandejas com o material a ser seco e sai por cima por convecção natural.

O alto teor inicial de umidade em frutas as caracterizam como perecíveis, sendo assim a remoção dessa umidade pela secagem provoca a diminuição da atividade de água, inibindo o desenvolvimento de microrganismos e retardando deteriorações físico-químicas⁶. Um dos importantes parâmetros do alimento a ser seco é o seu conteúdo de umidade, a proporção entre a massa de água e a massa seca. O produto seco naturalmente deve ter sua umidade reduzida de 50 a 70%⁹.

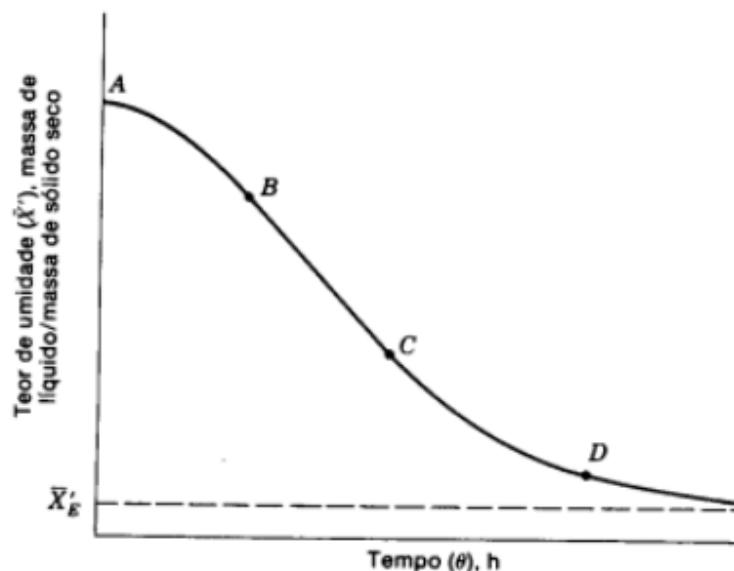
O estado físico dos alimentos geralmente é governado pela transição de fase dos seus principais componentes, o que significa que neste caso o fator significante é a transição vítreia da água. Esta consiste em uma transição de fase de segunda ordem de um estado sólido-vítreo para um estado semilíquido gomoso a uma certa temperatura, denominada temperatura de transição vítreia (T_g), que é variável com a composição do alimento. A textura é um dos atributos sensoriais de maior importância em alimentos e está diretamente relacionada com o seu estado físico^{10,11}.

1.3.3 Curvas e Equações de Secagem

As Figuras 1 e 2 mostram curvas típicas de secagem, uma na base de teor de umidade contra o tempo e a outra na base da velocidade de secagem em função do teor de umidade. O primeiro ilustra a forma que se deve obter com os dados de ensaios de secagem, enquanto o segundo, obtido derivando-se os dados da Figura 1, é muito mais descritivo do processo. Porém tem considerável flutuação de resultados e, por isso, razoável incerteza. O gráfico representado pela Figura 3, é uma outra

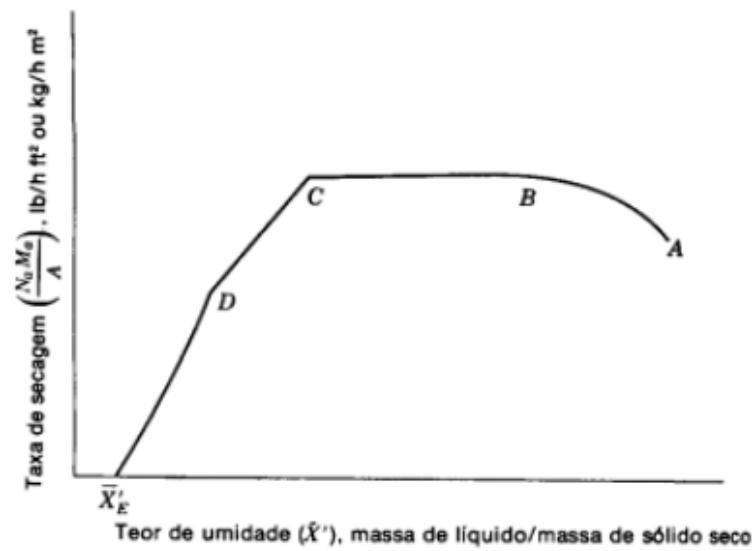
curva típica para taxa de secagem e mostra de maneira mais geral que, no início do processo há uma fase constante, seguida de uma fase decrescente^{12,13}.

Figura 1: Curva de teor de umidade versus tempo.



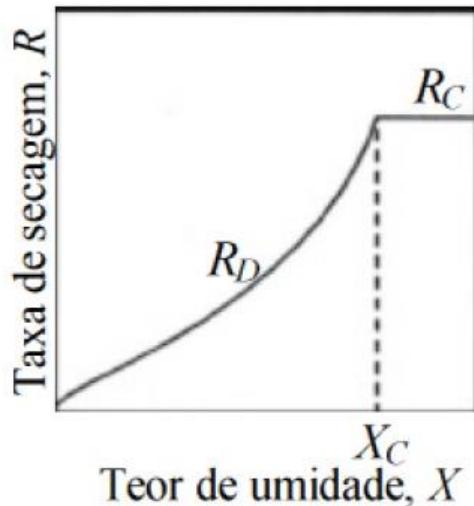
Fonte: FOUST (1980).

Figura 2 - Curva de taxa de secagem versus teor de umidade.



Fonte: FOUST (1980).

Figura 3 - Curva de taxa de secagem versus teor de umidade.



Fonte: GUIMARÃES (2010).

Estas curvas típicas de secagem estão relacionadas aos mecanismos de realização do mesmo. O período de secagem representado pelo segmento AB das curvas das Figuras 1 e 2 é o período em regime não permanente, durante o qual a temperatura do sólido atinge o seu valor de regime permanente. Embora a forma que está na figura seja típica, é possível obter qualquer outra forma, e AB pode ocorrer com uma velocidade crescente, conforme se mostra, ou com velocidade decrescente¹³.

Durante o período a taxa constante (segmento BC e R_C das curvas), toda superfície exposta do sólido está saturada de água. A temperatura da superfície atinge a temperatura de bulbo úmido. No ponto C, o teor de umidade do sólido é o mínimo para preencher a totalidade da superfície. Entre os pontos C e D da Figura 2 e linha R_d da Figura 3 a superfície fica pobre em líquido aos poucos, pois a velocidade em que o líquido passa do interior para a superfície é menor que a velocidade com que a massa é transferida da superfície. Este é o primeiro período de taxa decrescente.

No ponto D não há na superfície qualquer área significativamente saturada no líquido. A parte da superfície que está saturada seca pela transferência convectiva de calor para a corrente gasosa e pela transferência de massa para a corrente do gás secante. O vapor, no interior da amostra sólida, difunde-se para a parte da superfície que não está saturada e continua a difundir-se para a corrente gasosa. Este mecanismo é muito lento em comparação com a transferência convectiva que ocorre na superfície saturada. À medida que o teor de umidade continua a cair, a distância a

ser coberta na difusão do calor e da massa aumenta até que, em X_E' médio, o teor de umidade de equilíbrio cessa a secagem. O teor de umidade de equilíbrio é atingido quando a pressão de vapor sobre o sólido se iguala à pressão parcial do vapor do gás secante. Este é o segundo período de taxa decrescente¹³.

Os métodos de cálculo da cinética de secagem são aplicados de modo diferente dependendo do período de secagem considerado. No período de taxa de secagem constante, as transferências de calor e de massa na interface ar-produto governam a secagem e fixam a velocidade de secagem, enquanto que no segundo período (de taxa decrescente) as transferências internas que são limitantes¹¹.

Para realizar a análise de um processo experimental de secagem, deve-se construir uma das curvas de secagem. Para tal, um tratamento dos dados experimentais deve ser feito para serem determinadas a umidade do sólido (X), a umidade média do sólido (X_{medio}) e as taxas de evaporação (R) para vários pontos. Desta forma as curvas de secagem podem ser encontradas.

A umidade do sólido em base seca, conveniente para construção das curvas, pode ser encontrada através da Equação 1¹⁴.

$$X = \frac{m_u - m_s}{m_s} \quad \text{Equação 1}$$

Em que:

X = umidade em base seca do sólido;

m_u = massa úmida;

m_s = massa seca.

A redução de umidade do produto é calculada, através da Equação 2, mostrada a seguir.

$$X = \frac{m_u - m_s}{m_u} \quad \text{Equação 2}$$

Em que:

X = umidade em base úmida do sólido;

m_u = massa úmida;

m_s = massa seca.

Porém, como uma das curvas é feita em relação a um valor médio de umidade, uma média é feita entre os valores consecutivos a fim de determinar tal parâmetro, como mostrado na Equação 3¹⁴.

$$X_{medio} = \frac{x_i + x_{i+1}}{2} \quad \text{Equação 3}$$

Em que:

X_{medio} = umidade média em base seca;

X_i = valor de umidade em base seca de interesse;

X_{i+1} = valor consecutivo a X_i .

A taxa de secagem é calculada utilizando-se a Equação 4¹⁴.

$$R = -\frac{m_s}{A} \frac{dX}{dt} \quad \text{Equação 4}$$

Em que:

R = taxa de secagem;

A = área de troca térmica;

m_s = massa de sólido seco;

dX = variação da umidade em base seca;

dt = intervalo de tempo.

1.3.4 Principais tipos de Secadores

Existem ainda outros métodos de secagem de frutas e vegetais, que não o natural. Tais métodos estão compreendidos como artificiais. Neste tipo de secagem, o calor é produzido de forma artificial em estufas, galpões, tubulações ou câmaras destinados a este fim, sendo que as principais fontes de calor usadas são a lenha, o gás, a energia elétrica, o óleo e o vapor. E, é preciso que haja um acompanhamento e controle contínuos de temperatura, umidade relativa e velocidade do ar. As condições do ar de secagem não dependem das condições climáticas, o que favorece a obtenção de um produto de qualidade superior e um menor tempo de processamento.

a) Secador de Bandejas

No secador de Bandejas, o método de secagem utilizado é tanto por condução, em que o calor é fornecido ao material úmido por condução de superfícies aquecidas, que suportam ou confinam o material, como por convecção, em que calor sensível é transferido para o material por convecção¹³. Um ventilador circula ar aquecido com vapor paralelamente entre as bandejas que sustentam o material a ser seco. Também pode ser utilizado o aquecimento elétrico quando o aquecimento não está sendo suficiente. O ar que circula entre as bandejas é de 10 a 20% ar novo, sendo a maioria ar recirculado. Quando o material não é granular podem ser usadas bandejas perfuradas, diminuindo assim o tempo de secagem devido a uma maior área superficial de material exposta ao ar¹⁵.

b) Secador Contínuo de Túnel

Secadores contínuos de Túnel geralmente são de bandejas ou compartimentos que operam em série. Os sólidos são colocados em tabuleiros ou câmaras que se deslocam continuamente através de um túnel com gases quentes que passam sobre a superfície de cada bandeja. O fluxo de ar quente pode ser em contracorrente, em paralelo, ou em uma combinação dos mesmos. Quando se deseja secar partículas sólidas granulares podem ser utilizadas esteiras perfuradas. Os sólidos granulares úmidos são transportados em camadas possuindo entre 25 e 150 mm de profundidade, na tela ou superfície perfurada por onde o ar quente é forçado a passar. Cada seção em série possui um ventilador e bobinas de aquecimento. Um ventilador extra, puxa certa quantidade de ar para a atmosfera¹⁵.

c) Secador Rotatório

É formado por um cilindro tubular horizontal ou ligeiramente inclinado que gira em torno de seu eixo longitudinal a uma velocidade compreendida entre 1 e 15 rpm. No caso de um secador contínuo, o produto úmido chega à parte mais elevada do tambor através de um transportador e sai na parte mais baixa por gravidade. O ar de secagem

é introduzido no tambor no mesmo sentido ou no sentido contrário à trajetória do produto, no caso de secadores inclinados¹⁶.

d) Secador de Leito Fluidizado

Neste secador, o ar de secagem atravessa uma placa perfurada, provocando turbulência no produto que se encontra sobre ela. Quando o produto começa e continua a flutuar sobre a placa, o conjunto passa a ser denominado leito fluidizado. A intensidade do ar deve ser tal que supere a velocidade terminal do produto, provocando turbulência e carreando este¹⁶.

1.3.5 Processos de Pré-tratamento

A maioria dos processos de conservação alimentícia apresenta um tratamento prévio a fim de inibir crescimento microbílico, inativar enzimas responsáveis pela rápida mudança de cor, odor e sabor. Duas enzimas são relevantes na degradação oxidativa dos compostos fenólicos pois causam a produção de melaninas (escurecimento): a polifenoloxidase (PPO) e a peroxidase (POD)¹⁷. A PPO é considerada a principal enzima associada com a deterioração dos tecidos vegetais pois, com o rompimento destes por danos mecânicos, esta enzima atua oxidativamente sobre o substrato disponível, acelerando o escurecimento e consequente perda de qualidade do alimento¹⁸.

As estratégias de prevenção do escurecimento enzimático durante as operações iniciais de processamento como o descascamento e corte de frutas são: o branqueamento, a diminuição do pH e o uso de compostos químicos sulfurados¹⁹.

O branqueamento consiste em uma operação de aquecimento moderado seguido de resfriamento. Este pode ser realizado por imersão em água quente ou exposição à vapor e logo após, imersão em água gelada. A exposição da PPO a temperaturas entre 70°C e 90°C por pouco tempo, na maioria das vezes é suficiente para a inativação de suas funções catalíticas. Todavia diversos problemas aparecem em função do uso do calor, como por exemplo o cozimento da fruta que como consequência altera sua cor, sabor e textura. A relação tempo/temperatura é muito importante para se conseguir o branqueamento eficiente sem que ocorra grandes alterações sensoriais do alimento^{20,21}.

A enzima PPO apresenta pH ótimo entre 5,0 e 7,0, sendo que em condições de pH menores que 3,0 é inativada. Os ácidos normalmente aplicados em alimentos estão entre aqueles de ocorrência natural: cítrico, fosfórico, málico, ascórbico. Geralmente sua ação é diminuir o pH do tecido, diminuindo assim, a velocidade da reação de escurecimento¹⁹.

A desidratação osmótica consiste na imersão do alimento em uma solução de sacarose ou cloreto de sódio para a perda de água e ganho de sólidos, desejável na produção de fruta passa.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Montagem

O Minisecador Solar foi projetado neste trabalho, no software SolidWorks™, como mostrado no desenho técnico pelas Figuras 4-a), 4-b) e 4-c. Foi fabricado em uma serraria no distrito de Tuiutinga-MG. Foram utilizados madeira de eucalipto em toda a câmara de secagem e armações das bandejas, tubo e joelho de PVC para a chaminé, vidro nas áreas de exposição ao sol e telas de polietileno nas bases das bandejas e na extremidade inferior do secador, por onde passa o ar. O resultado pode ser visto pelas Figuras 5-a), 5-b) e 5-c).

Figura 4 - Desenho técnico do Minisecador Solar: a) Vista frontal. b) Vista lateral. c) Vista lateral com porta.

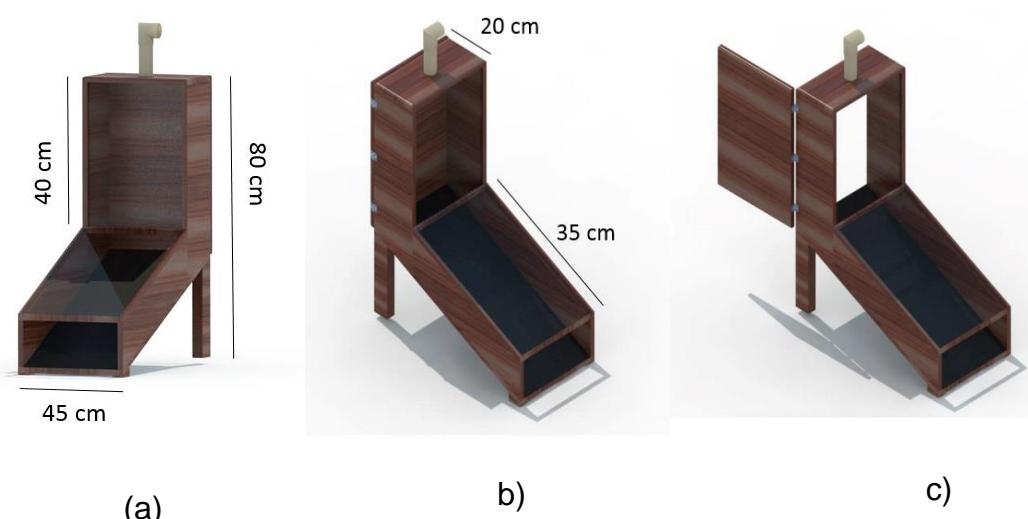
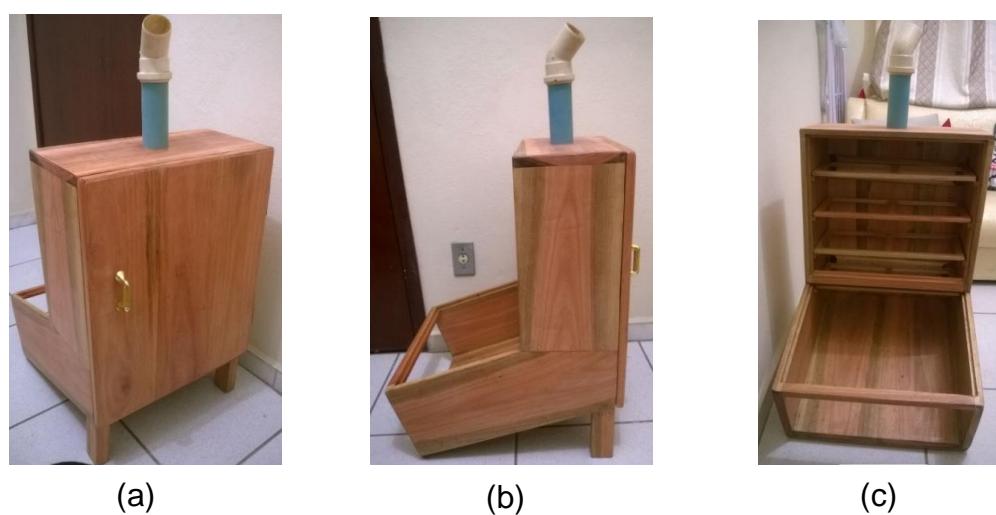


Figura 5 - Estrutura do Minisecador Solar: a) Vista posterior b) Vista lateral c) Vista frontal.



Posteriormente, a caixa inferior de coleta solar foi pintada com tinta spray preta, na intenção de otimizar a absorção do calor solar, e uma divisória vertical de MDF foi inserida em toda altura da câmara, desde a caixa de coleta, com o objetivo de fazer um lado com coleta tradicional e o outro com coletor que denominamos *colmeia* (Figura 6).

Figura 6 - Minisecador Solar com coletor dividido em tradicional e *colmeia*.



O coletor *colmeia* consiste em formas de empadinha também pintadas de preto, unidas uma a uma pela base, distribuídas em uma placa de papelão formando até três camadas. Espera-se que haja maior absorção da energia solar devido ao seu formato e, consequentemente, secagem mais eficiente (Figura 7).

Figura 7 – Coletor *colmeia*.



As bandejas foram feitas com tela de polietileno, fixadas com auxílio de pedaços de madeira (Figuras 8 e 9). Com o intuito de evitar a entrada de insetos,

utilizou-se a mesma tela na parte inferior do secador (entrada do fluxo de ar) e filó no topo da chaminé (saída do fluxo de ar).

Figura 8 - Bandeja vista frontal.



Figura 9 - Bandeja vista posterior.



O custo total do Minisecador foi de R\$187,45. A Figura 8 representa o Minisecador pronto para utilização.

Figura 10 – Minisecador Solar completo.



2.2 Testes

2.2.1 Teste 1 – Corte em rodelas e uma camada colmeia

Em um primeiro teste, cortou-se uma banana em rodelas de diâmetro médio igual a 3,1 cm e realizou-se o processo de branqueamento, no qual foram aquecidos 600 mL de água até atingir a temperatura de 79 °C. A banana foi então imergida nesta

água durante um minuto e meio e, logo em seguida, foi colocada por mais um minuto e meio em um recipiente contendo 600 mL de água fria a 10 °C (Figura 11).

Figura 11 - Branqueamento.



As rodelas foram então separadas em duas partes de mesma quantidade e massa semelhante (Figura 12); cada parte foi colocada em um dos lados do Minisecador (lado de secagem tradicional e lado de coletor *colmeia*, Figura 13) para iniciar a secagem. A balança utilizada tem precisão de 500g/0,1g.

Figura 12 - Banana após branqueamento: a) massa para o coletor tradicional b) massa para o coletor *colmeia*.



Figura 13 – Minisecador em operação.



Durante doze horas e quarenta e cinco minutos, de quinze em quinze minutos, eram medidas a massa do material, a temperatura e a umidade ambientes. As medições foram feitas até o momento em que se observou uma constância nas massas. A Figura 14 mostra a pesagem da banana ao final do processo.

Figura 14 - Banana após secagem em Ouro Branco.



Este teste foi realizado na cidade de Ouro Branco-MG, e todos os valores obtidos são mostrados na Tabela 1 do ANEXO.

Através do Software Matlab™, plotou-se as curvas de secagem.

2.2.2 Teste 2 – Corte em rodelas e três camadas *colmeia*

Assim como no primeiro teste, a banana foi cortada em rodelas (Figura 15) e separada em quantidades iguais para a secagem nos dois diferentes compartimentos da câmara, coletor tradicional e coletor *colmeia*. A diferença se deu no tipo de pré-tratamento utilizado, que neste caso foi o osmótico com redução de pH. Para a redução de pH usou-se suco de meio limão como fonte de ácido cítrico. E para o tratamento osmótico, dissolveu-se 45 g de açúcar e 2 g de sal em 50 mL de água fervente durante um minuto e meio. Além disso, o coletor *colmeia*, neste teste, possui três camadas, na tentativa de aumentar a absorção do calor solar. O controle de massa foi feito durante 24 horas. A Figura 16 mostra a banana passa.

Figura 15 - Banana em rodelas para teste 2.



Figura 16 - Banana após secagem em Muriaé.



O teste foi realizado na cidade de Muriaé-MG, em um dia nublado, cuja umidade relativa do ar variou entre 82 % e 47 %. Todos os valores obtidos são mostrados na Tabela 2 do ANEXO.

Através do Software Matlab™, plotou-se as curvas de secagem.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com os dados coletados e com a construção das curvas de secagem foi possível observar o comportamento do processo. Através da Figura 17 observou-se maior massa inicial para ambos os ensaios com o coletor *colmeia* e consequentemente, pela Figura 18, maior umidade. Sendo assim, a proximidade entre as linhas sugere que o coletor não teve influência significativa no processo. Através dos cálculos de umidade em base úmida a partir da Equação 2 o resultado foi evidenciado. Obteve-se para o ensaio de Ouro Branco uma redução de água de 65,48% para o coletor tradicional e 65,52% para o coletor *colmeia* e para Muriaé, 60,7% e 61,1%, respectivamente. Através da Figura 18 verificou-se que para o primeiro ensaio, após cerca de 12 horas de secagem, e para o segundo ensaio, após cerca de 24 horas, o teor de umidade de equilíbrio (X_E' médio) é atingido. Neste ponto há um aumento na resistência interna devido ao aumento da distância a ser coberta na difusão do calor e da massa, a pressão parcial de vapor da água na superfície da fruta e a pressão de vapor de água atmosférica se igualam, a massa se torna constante e a secagem cessa.

Figura 17 - Massa versus tempo.

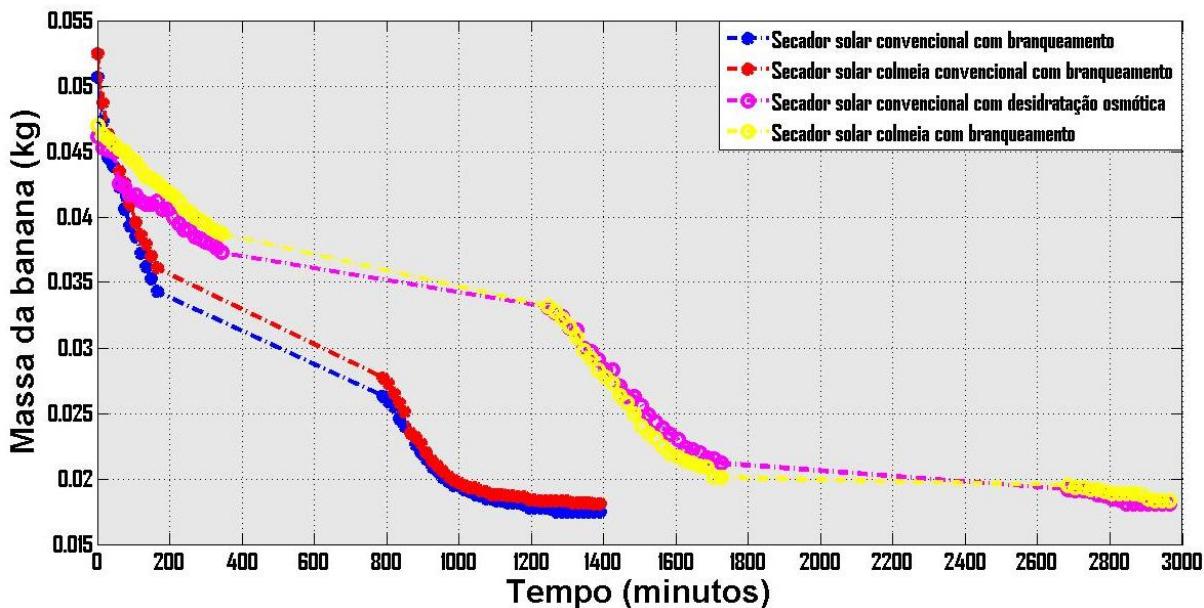
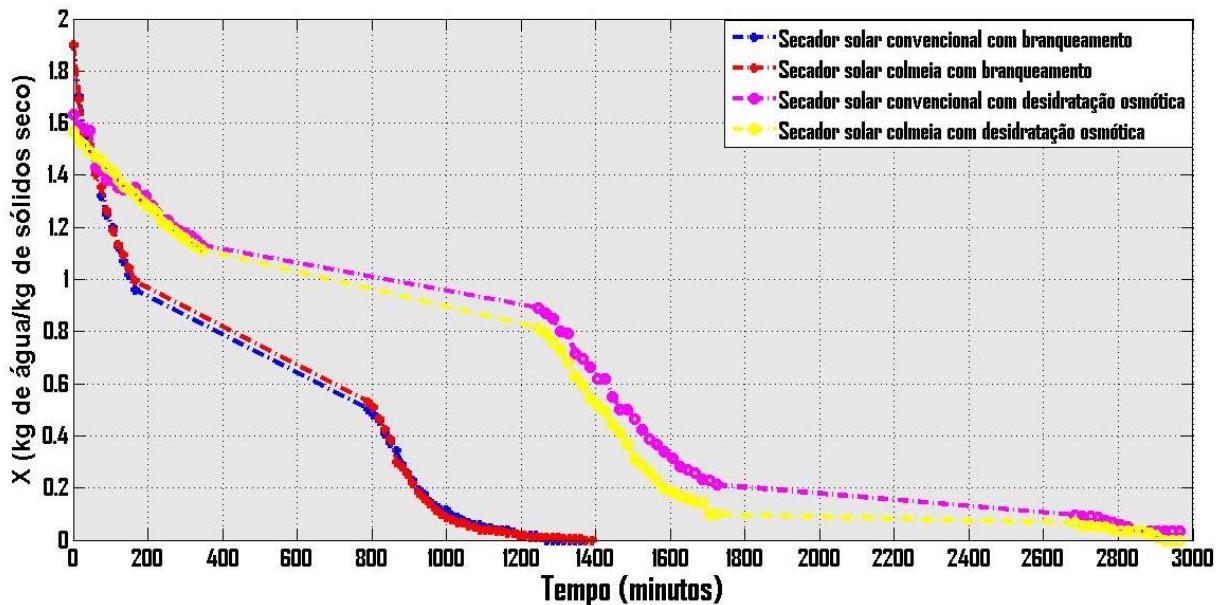


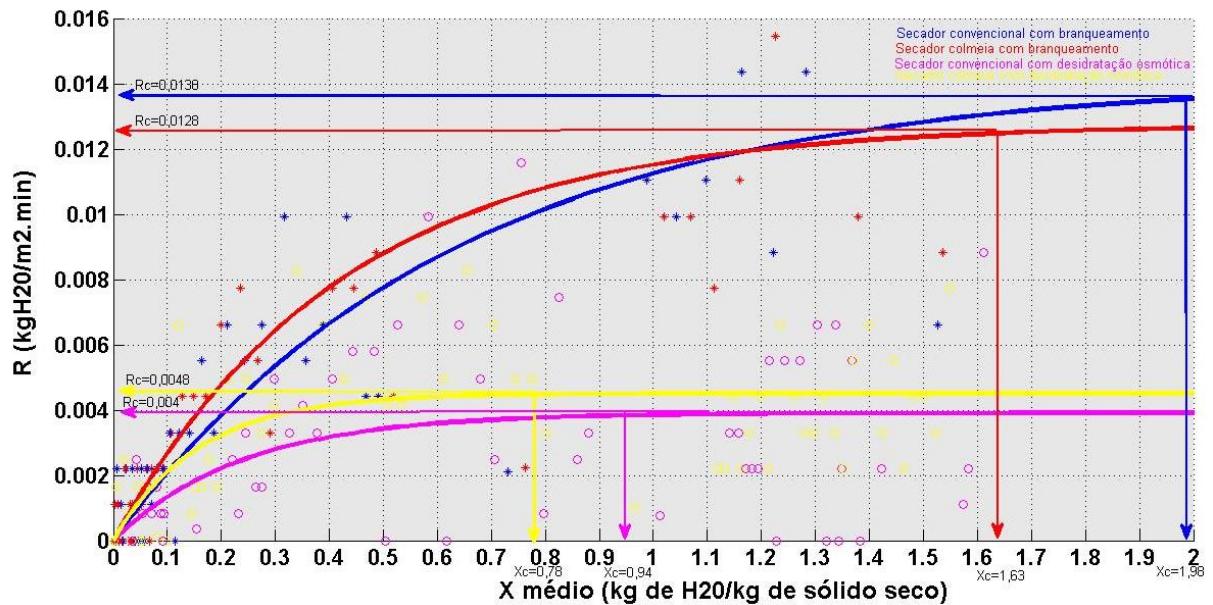
Figura 18 – Teor de umidade base seca versus tempo



A Figura 19 mostra o gráfico da taxa de secagem *versus* a umidade em base seca evidenciando o momento em que sua taxa passa de constante para decrescente (R_c). Este é o ponto correspondente ao ponto crítico de umidade livre (X_c). Com dito anteriormente, neste ponto não há água suficiente na superfície para manter uma película contínua e a taxa de secagem começa a diminuir. Nota-se, na referente Figura 19, menor taxa de secagem com o pré-tratamento osmótico com redução de pH. O açúcar, o sal e o limão formam uma solução com a água da banana, tendo assim maior dificuldade de evaporar. Os valores de X_c, R_c encontrados respectivamente para cada ensaio, seguindo a Figura 19, foram: (1,98; 0,0138), (1,63;0,0128), (0,78;0,0048), (0,94; 0,004). Logo, esta diferença na velocidade de secagem foi de três vezes.

A Figura 19 apresenta bom ajuste, já que o coeficiente médio de correlação das quatro curvas foi de 0,799.

Figura 19 - Taxa de secagem versus Teor de umidade



Outros fatores que afetam a taxa de secagem estão relacionados às condições de processo como temperatura e umidade do ar. Dito isso, nota-se a diferença de taxa entre as cidades de Ouro Branco e Muriaé. A primeira por apresentar nos dias de ensaio menor umidade, Tabela 1 (ANEXO), em relação à segunda, Tabela 2 (ANEXO), garantiu um processo mais rápido (21 horas de diferença). Mesmo assim, o aspecto, sabor e textura da banana passa ficaram bem parecidos e aceitáveis.

4 CONCLUSÃO

A separação da câmara em tradicional e *colmeia* não se mostrou eficiente como o desejado, sendo um gasto desnecessário. Esperava-se que o coletor *colmeia* absorvesse mais radiação e consequentemente houvesse maior redução de umidade da fruta e a diferença de umidade entre as câmaras foi de apenas 0,04% no ensaio em Ouro Branco-MG e 0,4%, em Muriaé-MG. Ou seja, nem mesmo o aumento de camadas da *colmeia* teve efeito considerável. Independentemente disso, a secagem ocorreu de maneira satisfatória em todos os testes já que teve sua umidade reduzida em mais de 50% e manteve textura e sabor aceitáveis.

Apesar de a temperatura média ter sido próxima em ambos os ensaios, 29°C em Ouro Branco e 28°C em Muriaé, e a umidade média do ar não tão próxima, 41% e 60%, respectivamente, o comportamento do processo ocorreu como esperado, similar aos encontrados nas bibliografias referenciadas. Outra conclusão esperada foi a maior taxa de secagem no processo com branqueamento em relação à desidratação osmótica. Isto ocorreu devido ao aumento na resistência da saída de água do interior da banana para a superfície, pois uma solução de ácido cítrico mais açúcar foi formada. Ou seja, a evaporação dessa solução a uma mesma taxa só ocorreria em maiores temperaturas e como as condições climáticas não podem ser controladas ocorre esse decaimento na velocidade de secagem.

O Mini Secador Solar alcançou os objetivos iniciais, mostrando-se prático e viável no processo de secagem de frutas para sua maior durabilidade e conservação. Sendo cabível a sua utilização pela população de Tuiutinga-MG.

As sugestões para futuros estudos são a influência do tempo de submersão da banana nas soluções de pré-tratamento com o intuito de diminuir ainda mais o efeito do escurecimento e outra maneira de maior absorção solar no coletor.

REFERÊNCIAS

- [1] Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, Campina Grande, v.2, n.1, p.87-101, 2000.
- [2] Simão, S. Manual de Fruticultura. São Paulo: Editora Agronômica Ceres Ltda., 1971, 530p.
- [3] Medina, J. C., Bleinroth, E. W., De Martin, Z. J., Travaglini, D. A., Okada, M., Quast, D. G., Hashizume, T., Renesto, O. V., Moretti, V. A. Banana: da cultura ao processamento e comercialização. São Paulo: Secretaria da Agricultura, 1978. 197p. (Série Frutas Tropicais, 3).
- [4] AGRIANUAL. Anuário da agricultura brasileira. São Paulo: FNP Consultoria & Comercio, 2003. 521 p.
- [5] AGRIANUAL. Anuário da agricultura brasileira. São Paulo: FNP Consultoria & Comercio, 1999. 512 p.
- [6] CANO-CHAUCA, M.; RAMOS, A.M.; STRINGHETA P.C.; MARQUES, J.A.; SILVA, P.I. Curvas de secagem e avaliação da atividade da água de banana passa. B.CEPPA, Curitiba, v. 22, n. 1, jan./jun. 2004.
- [7] Drouzas, A. E., Schubert, H. *Microwave application in vacuum drying of fruits*. Journal of Food Engineering, v. 28, p. 203-209, 1996.
- [8] CELESTINO, S. M. C. Princípios de Secagem de Alimentos, Embrapa. 2010. ISSN: 1517 5111.
- [9] GAVA, A.J. Princípios de tecnologia de alimentos. São Paulo: Nobel, 2000.
- [10] PARK, K.J., ANTONIO, G.C, OLIVEIRA, R.A. Seleção de processos e produtos de secagem. Palestra. Campinas, UNICAMP. 2006
- [11] ROOS, Y. H. *Phase transitions in foods*. San Diego, California: Academic Press. 1995.

- [12] GUIMARÃES, P.V.R. Secagem de café: uma revisão. Monografia [Engenharia de Alimentos], Porto Alegre, UFRGS, 2010.
- [13] FOUST, A.S.; WENZEL, L.A.; CLUMP, C.W.; MAUS, L.; ANDERSEN, L.B. *Principles of Unit Operations*, 2a ed., John Wiley & Sons, 1980.
- [14] YANNIOTIS, S. *Solving Problems in Food Engineering*. Springer, New York, NY, 2008.
- [15] GEANKOPLIS, C.J. *Procesos de transporte y principios de procesos de separación*. Compañía Editorial Continental, 2006
- [16] SILVA, J.S.; AFONSO; A.D.L; DONZELLES; S.M.L. Secagem e Secadores, capítulo 5. Universidade Estadual Paulista.
- [17] Tomás-Barberán F.A., ESPIN, JC. *Phenolic compounds and related enzymes as determinants of quality in fruits and vegetables*. J Sci Food and Agriculture 2001; 81 (9): 853- 876.
- [18] FENNEMA, D.R. (Ed.) *Principles of food science* pt.1. Food chemistry. ed. Marcel Dekker; 1976. Chapter 4, Enzyme, p. 285-345.
- [19] REIS, F.R. Efeito dos processos de branqueamento e acidificação sobre a cor e a absorção de gorduras de batatas-palha. Dissertação de Mestrado [Tecnologia de Alimentos], Universidade Federal do Paraná. 2007.
- [20] Revista de Ensino de Bioquímica – V.12, N.2, 2014 – ISSN: 2318-8790 9.
- [21] ARAUJO, J.M.A. Química de Alimentos, Teoria e Prática, 3ed. Ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa; 2004.
- [22] MARTINS, F.P., SILVA, A.J.O. Influência de pré-tratamentos na secagem de abacaxi (ananás comosus (L.) Merril), variedade pérola, utilizando micro-ondas, forno convencional e estufa. Trabalho de Conclusão de Curso [Engenharia Química], Ouro Branco, UFSJ, 2015.

ANEXO

Tabela 1 - Dados da secagem de banana realizada para o primeiro teste, usando coletor *colmeia* com uma camada.

Dia	Tempo (h:min)	Massa coletor tradicional (g)	Massa coletor <i>colmeia</i> (g)	Umidade (%)	Temperatura (°C)	Hora
4/11/2015	00:15	50,70	52,50	35	31	16:05
	00:15	47,30	48,70	37	30	16:20
	00:15	44,50	46,30	37	30	16:35
	00:15	43,90	45,50	37	30	16:50
	00:15	42,30	43,50	38	31	17:05
	00:15	40,60	42,60	35	30	17:20
	00:15	39,30	41,00	36	30	17:35
	00:15	38,50	39,60	38	30	17:50
	00:15	37,20	38,60	38	30	18:05
	00:15	36,20	37,90	38	30	18:20
	00:15	35,30	37,00	40	29	18:35
	Tempo total 04/11	02:45	34,30	36,10	41	18:50
5/11/2015	00:15	26,30	27,70	64	23	08:00
	00:15	25,90	27,30	64	23	08:15
	00:15	25,50	26,50	65	23	08:30
	00:15	24,60	25,80	53	26	08:45
	00:15	24,00	25,10	50	27	09:00
	00:15	23,50	23,50	50	27	09:15
	00:15	22,60	23,20	53	26	09:30
	00:15	22,00	22,70	47	27	09:45
	00:15	21,50	22,00	45	27	10:00
	00:15	20,60	21,00	50	26	10:30
	00:15	20,10	20,60	50	26	10:45
	00:15	19,80	20,20	50	26	11:00
	00:15	19,50	19,90	38	30	11:15
	00:15	19,50	19,70	39	29	11:30
	00:15	19,20	19,50	39	29	11:45
	00:15	19,00	19,30	39	29	12:00
	00:15	18,80	19,30	36	30	12:15
	00:15	18,70	19,10	35	31	12:30
	00:15	18,50	19,00	35	31	12:45
	00:15	18,50	18,80	34	32	13:00
	00:15	18,30	18,80	36	31	13:15
	00:15	18,30	18,80	36	31	13:30
	00:15	18,20	18,70	35	32	13:45
	00:15	18,20	18,70	34	32	14:00
	00:15	18,20	18,60	36	31	14:15
	00:15	18,00	18,60	35	32	14:30
	00:15	17,80	18,40	36	31	14:45
	00:15	17,80	18,40	36	31	15:00

Tabela 2 - Dados da secagem de banana realizada para o primeiro teste, usando coletor *colmeia* com uma camada.

(continuação)

Dia	Tempo (h:min)	Massa coletor tradicional (g)	Massa coletor <i>colmeia</i> (g)	Umidade (%)	Temperatura (°C)	Hora
	00:15	17,80	18,30	36	31	15:15
	00:15	17,80	18,30	34	32	15:30
	00:15	17,70	18,30	35	32	15:45
	00:15	17,50	18,30	35	31	16:00
	00:15	17,50	18,30	35	32	16:15
	00:15	17,50	18,30	35	32	16:30
	00:15	17,50	18,20	36	31	16:45
	00:15	17,50	18,20	38	30	17:00
	00:15	17,50	18,20	36	31	17:15
	00:15	17,50	18,20	38	30	17:30
	00:15	17,50	18,10	39	30	17:45
Tempo total 05/11		10:00	17,50	18,10	41	29
						18:00

Fonte: O autor (2015).**Tabela 3**- Dados da secagem de banana realizada para o segundo teste, usando coletor *colmeia* com três camadas.

Dia	Tempo (h:min)	Massa coletor tradicional (g)	Massa coletor <i>colmeia</i> (g)	Umidade (%)	Temperatura (°C)	Hora
	00:15	46,10	47,00	82	23	11:40
	00:15	45,30	46,30	54	30	11:55
	00:15	45,10	46,00	58	27	12:10
	00:15	45,00	45,60	55	27	12:25
	00:20	42,50	45,20	82	23	12:40
	00:20	42,30	45,00	81	21	13:00
	00:20	41,70	44,50	82	23	13:20
	00:20	41,70	44,20	82	22	13:40
	00:20	41,20	43,60	82	22	14:00
	00:20	41,00	43,10	82	23	14:20
	00:20	41,00	42,90	82	23	14:40
9/11/2015	00:20	41,20	42,60	52	31	15:00
	00:20	40,60	42,20	57	26	15:20
	00:20	40,60	41,90	58	26	15:40
	00:20	40,00	41,60	61	28	16:00
	00:20	39,50	41,20	57	26	16:20
	00:20	39,00	40,60	58	26	16:40
	00:20	39,00	40,40	82	23	17:00
	00:20	38,50	40,00	61	28	17:20
	00:20	38,30	39,70	66	27	17:40
	00:20	38,10	39,50	66	27	18:00
	00:20	37,90	39,10	67	27	18:20
	00:20	37,60	38,90	67	27	18:40
Tempo total 09/11		07:20	37,30	38,70	72	26
10/11/2015	00:20	33,10	33,20	61	28	10:00
	00:20	32,70	32,80	61	28	10:20

Tabela 4- Dados da secagem de banana realizada para o segundo teste, usando coletor colmeia com três camadas. (continuação)

Dia	Tempo (h:min)	Massa coletor tradicional (g)	Massa coletor <i>colmeia</i> (g)	Umidade (%)	Temperatura (°C)	Hora
	00:20	32,40	32,20	58	30	10:40
	00:20	31,50	31,60	57	30	11:00
	00:20	31,40	30,80	58	29	11:20
	00:20	30,00	29,80	56	30	11:40
	00:20	29,70	29,20	54	30	12:00
	00:20	29,10	28,30	54	30	12:20
	00:20	28,30	27,80	52	31	12:40
	00:20	28,30	27,30	52	31	13:00
	00:20	27,10	26,40	52	31	13:20
	00:20	26,30	25,80	51	31	13:40
	00:20	26,30	25,00	51	31	14:00
	00:20	25,60	24,00	51	31	14:20
	00:20	24,90	23,50	52	31	14:40
	00:20	24,30	23,10	48	33	15:00
	00:20	23,90	22,50	52	31	15:20
	00:20	23,40	21,90	82	23	15:40
	00:20	23,00	21,70	55	34	16:00
	00:20	22,40	21,40	54	30	16:20
	00:20	22,20	21,20	56	30	16:40
	00:20	22,00	21,00	60	29	17:00
	00:20	21,60	20,90	60	29	17:20
	00:20	21,50	20,10	61	28	17:40
Tempo total 10/11	08:00	21,20	20,10	63	27	18:00
	00:20	19,2	19,5	61	28	10:00
	00:20	19,1	19,3	62	28	10:20
	00:20	19,1	19,3	58	28	10:40
	00:20	19,0	19,2	55	30	11:00
	00:20	18,8	19,2	56	29	11:20
	00:20	18,7	19,0	55	30	11:40
11/11/2015	00:20	18,5	18,9	53	30	12:00
	00:20	18,4	18,9	54	30	12:20
	00:20	18,1	18,6	52	31	12:40
	00:20	18,1	18,8	52	31	13:00
	01:20	18,2	18,9	52	31	13:20
	00:40	18,0	18,8	48	32	14:40
	01:00	18,1	18,4	47	32	15:20
	02:40	17,9	18,7	47	32	16:20
Tempo total 11/11	09:00	17,5	18,3	60	28	19:00

Fonte: O autor (2015).