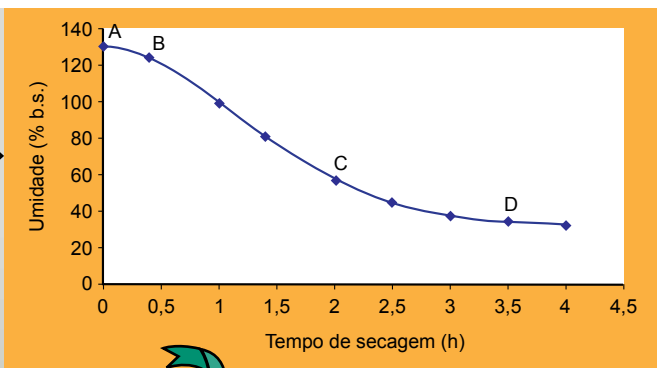


## Princípios de Secagem de Alimentos



ISSN 1517-5111  
ISSN online 2176-5081  
Janeiro, 2010

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Embrapa Cerrados  
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

# **Documentos 276**

## **Princípios de Secagem de Alimentos**

*Sonia Maria Costa Celestino*

Embrapa Cerrados  
Planaltina, DF  
2010

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

**Embrapa Cerrados**

BR 020, Km 18, Rod. Brasília/Fortaleza

Caixa Postal 08223

CEP 73310-970 Planaltina, DF

Fone: (61) 3388-9898

Fax: (61) 3388-9879

<http://www.cpac.embrapa.br>

[sac@cpac.embrapa.br](mailto:sac@cpac.embrapa.br)

**Comitê de Publicações da Unidade**

Presidente: *Fernando Antônio Macena da Silva*

Secretária-Executiva: *Marina de Fátima Vilela*

Secretária: *Maria Edilva Nogueira*

Supervisão editorial: *Jussara Flores de Oliveira Arbués*

Equipe de revisão: *Francisca Elijani do Nascimento*

*Jussara Flores de Oliveira Arbués*

Assistente de revisão: *Elizelva de Carvalho Menezes*

Normalização bibliográfica: *Paloma Guimarães Correa de Oliveira*

Editoração eletrônica: *Wellington Cavalcanti*

Capa: *Wellington Cavalcanti*

Foto(s) da capa: *Arquivo Embrapa Cerrados*

Impressão e acabamento: *Divino Batista de Sousa*

*Alexandre Moreira Veloso*

**1ª edição**

1ª impressão (2010): tiragem 100 exemplares

Edição online (2010)

**Todos os direitos reservados**

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei no 9.610).

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

**Embrapa Cerrados**

---

C392p Celestino, Sonia Maria Costa.

Princípios de Secagem de Alimentos. – Planaltina, DF : Embrapa Cerrados, 2010.

51 p. – (Documentos / Embrapa Cerrados, ISSN 1517-5111, ISSN online 2176-5081 ; 276).

1. Alimento. 2. Secagem. I. Título. II. Série.

---

664 - CDD 21

© Embrapa 2010

# **Autora**

**Sonia Maria Costa Celestino**

Engenheira Química, D.Sc.

Pesquisadora da Embrapa Cerrados

[sonia.costa@cpac.embrapa.br](mailto:sonia.costa@cpac.embrapa.br)

# Apresentação

A redução das perdas pós-colheita de frutas e hortaliças é uma preocupação para os pequenos, médios e grandes agroindustriais. Esses vegetais, assim como carnes, podem ser desidratados ao sol ou por meio de sistemas artificiais para diminuição do conteúdo de água, fator primordial na conservação de alimentos.

A secagem apresenta vantagens por aumentar a vida útil do produto, ser econômica na produção caseira ou semi-industrial, ter baixo custo de armazenagem e facilitar o transporte.

Apesar das vantagens da secagem, ela provoca mudanças químicas e físicas que afetam a qualidade do produto desidratado.

Esta publicação apresenta os conceitos utilizados no processo de secagem para melhor entendimento do seu procedimento; os principais fatores de deterioração de um alimento quando desidratado; e fornece informações sobre a produção de frutas-passa (banana e caju) e as análises para a garantia da qualidade tecnológica desses produtos.

*José Robson Bezerra Sereno*  
Chefe-Geral da Embrapa Cerrados

# Sumário

Definição de Secagem .....	9
Psicrometria .....	10
Conteúdo de Água e Atividade de Água .....	14
Método da Estufa .....	16
Atividade de Água e Conservação dos Alimentos .....	17
Cinética de Secagem .....	18
Umidade de Equilíbrio .....	20
Isotermas de Sorção .....	21
Tratamentos Pré-secagem .....	24
Secagem Natural .....	28
Secagem Artificial .....	30
Efeitos da Secagem no Produto .....	35
Frutas Desidratadas .....	40
Considerações Finais .....	48
Referências .....	48
Abstract .....	51

# Princípios de Secagem de Alimentos

*Sonia Maria Costa Celestino*

## Definição de Secagem

Secagem é a operação por meio da qual a água ou qualquer outro líquido é removido de um material. Esse conceito também se aplica a operação de evaporação, que é a concentração de soluções líquidas. As diferenças entre secagem e evaporação são apresentadas na Tabela 1.

**Tabela 1.** Diferenças entre secagem e evaporação.

Secagem	Evaporação
Remoção de líquido de um material sólido.	Remoção de líquido de uma solução líquida.
Remoção do líquido por centrifugação ou por vaporização	Remoção do líquido somente por vaporização.
A vaporização ocorre em uma temperatura inferior à temperatura de ebulição do líquido que se quer retirar do material sólido.	A vaporização ocorre na temperatura de ebulição do líquido que se quer retirar da solução líquida.

Neste trabalho, serão apresentados os fundamentos do processo de secagem por vaporização, sendo enfatizada a aplicação em alimentos. Para esse estudo, a definição de secagem é a remoção de água (desidratação) de um alimento sólido, na forma de vapor, por meio de

um mecanismo de vaporização térmica, numa temperatura inferior à de ebulição da água.

## **Vantagens da secagem**

Determinadas propriedades nutritivas do alimento podem ser perdidas, principalmente as vitaminas, em processos com tratamento térmico, e, com a secagem, não é diferente; apesar disso, vantagens podem ser atribuídas à desidratação:

1. Aumento da vida útil do produto.
2. O alimento desidratado é nutritivo; apesar das possíveis perdas de alguns nutrientes, o valor alimentício do produto concentra-se por causa da perda de água.
3. Facilidade no transporte e comercialização, pois o alimento seco é leve, compacto e suas qualidades permanecem inalteradas por longos períodos.
4. O processo de secagem é econômico. Os secadores semi-industriais têm baixo custo; a mão-de-obra não necessita ser especializada; e os produtos desidratados têm baixo custo de armazenagem.
5. Redução nas perdas pós-colheita.

## **Psicrometria**

O processo de secagem utiliza ar quente para a transferência de calor para o alimento e a conseqüente vaporização da água contida nesse, ocorrendo a desidratação. A secagem pode ocorrer à pressão atmosférica ou à pressão reduzida em equipamentos conhecidos como secadores a vácuo. A capacidade do ar para eliminar a água de um alimento depende, principalmente, de sua temperatura e de sua umidade relativa. A psicrometria estuda as relações existentes entre ar e vapor de água. Duas temperaturas são definidas para o ar: temperatura de bulbo seco e temperatura de bulbo úmido.



## Temperatura de bulbo seco

É a temperatura do ar medida por um termômetro de bulbo.

## Temperatura de bulbo úmido

No ar saturado, o vapor de água está em equilíbrio com a água líquida. A temperatura na qual esse equilíbrio se estabelece é conhecida como temperatura de bulbo úmido. Para determinar essa temperatura, um termômetro de bulbo é envolvido com um chumaço de algodão úmido e a evaporação da água desse chumaço ocorre com a retirada de calor do bulbo do termômetro, esse resfria e registra uma temperatura menor que a do bulbo seco. O ar ao redor do termômetro satura-se de vapor de água.

Duas umidades para o ar são definidas: umidade absoluta (UA) e umidade relativa (UR).

## Umidade absoluta

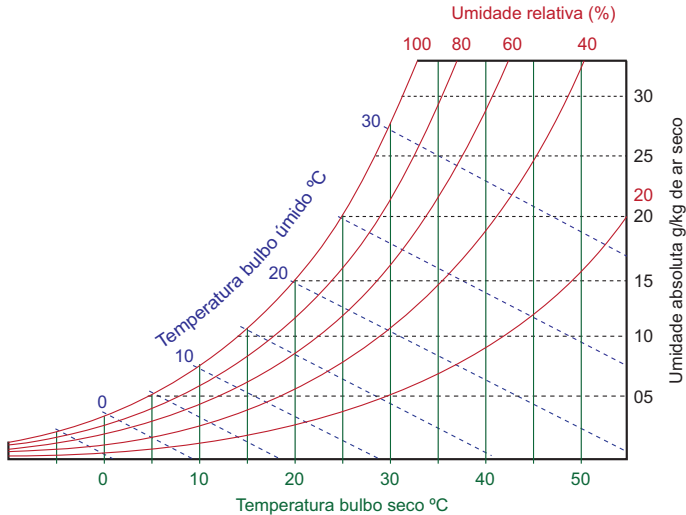
A umidade absoluta representa a massa de vapor de água presente em 1 quilograma de ar seco.

## Umidade relativa

O ar de um ambiente pode estar insaturado ou saturado de vapores de água. No primeiro caso, os vapores exercem a chamada pressão parcial de vapor ( $P_v$ ) e, no segundo, a pressão de vapor saturado ( $P_v$ ). Na prática, o ar encontra-se insaturado de vapor de água, com exceção de ambientes umidificados mecanicamente, que alcançam a saturação. A relação entre a pressão parcial de vapor e a pressão de vapor saturado define a umidade relativa do ambiente (%UR).

A umidade relativa do ar é a quantidade de água contida no ar em relação à que ele poderia conter se estivesse saturado.

No diagrama psicrométrico (Figura 1), relacionam-se temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo úmido, umidade absoluta e umidade relativa do ar a uma pressão de 101,325 kPa.



**Figura 1.** Diagrama psicrométrico. Pressão atmosférica 101,325 kPa.  
Fonte: MSPC Engenharia (2009).

### ***Exemplos de utilização do diagrama psicrométrico***

- a. Encontre no diagrama psicrométrico a umidade absoluta do ar com uma temperatura de bulbo seco de 40 °C e umidade relativa de 60%.

Localize 40 °C no eixo da horizontal (temperatura de bulbo seco em °C). A partir desse ponto, suba em linha reta até a curva de umidade relativa de 60%. Leia a umidade absoluta no eixo vertical à direita.

Resposta: 28,4 g de vapor de água/kg de ar seco.

- b. Encontre a temperatura de bulbo úmido para uma temperatura de bulbo seco de 30 °C e umidade relativa de 20%.

Localize 30 °C no eixo da horizontal (temperatura de bulbo seco em °C). A partir desse ponto, suba em linha reta até a curva de umidade relativa de 20%. Trace uma reta em diagonal até o eixo à esquerda (temperatura de bulbo úmido em °C).

Resposta: 15,8 °C

- c. Encontre a umidade relativa do ar com uma temperatura de bulbo úmido de 30 °C e bulbo seco de 45 °C.

Localize 45 °C no eixo da horizontal (Temperatura de Bulbo Seco em °C). A partir desse ponto, suba em linha reta até a reta na diagonal correspondente à temperatura de bulbo úmido de 30 °C. O ponto de encontro dos valores dessas duas variáveis encontra-se na curva situada entre as umidades relativas de 30% e 40%.

Resposta: 35%

O aparelho que fornece o valor da umidade relativa do ar diretamente é o chamado higrômetro.

A massa seca pode ser classificada como “massa seca absoluta” ou “massa seca legal”. A primeira é utilizada em trabalhos científicos e é determinada pelo método da estufa até peso constante. Já a “massa seca legal” é utilizada em transações comerciais e é definida como a massa final do alimento quando em equilíbrio com ar, cuja umidade relativa é de 65% na pressão de uma atmosfera (AGUIRRE e FILHO, 2002). Os conteúdos de umidade em base seca para alguns alimentos são apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2.** Valores de umidade em base seca para alguns alimentos.

Alimentos	% b.u
Carne fresca de frango	72
Macarrão fresco	60
Macarrão seco	10
Cenoura	90
Melancia	95
Grãos colhidos do campo	18
Grão secos	13

Fonte: Castro (2003).

## Conteúdo de Água e Atividade de Água

O conteúdo de água de um alimento é o principal fator causador da deterioração por microrganismos e alterações por reações químicas e enzimáticas. A diminuição desse conteúdo é um modo de conservação do alimento, no entanto quanto maior a umidade final, mais macia a consistência do produto – qualidade apreciada em um produto desidratado. Deve-se ponderar os dois fatores na secagem do alimento, para obter um produto de qualidade e com uma vida útil elevada. Em um processo de secagem, define-se a variação do conteúdo de umidade a ser alcançada. A equação 1 é adotada para determinar a porcentagem em base úmida (% *b.u*) e a porcentagem em base seca (% *b.s*).

O conteúdo de água pode ser expresso em Base seca (*b.s*):

$$\% \text{ b.s} = (\text{massa de água/massa de sólidos}) * 100 \quad (\text{Equação 1})$$

Usualmente, o conteúdo de água de um alimento é expresso pelo valor obtido na determinação da água total contida no alimento, sendo o método da estufa o mais utilizado. O conteúdo de água de um alimento não é suficiente para prever sua estabilidade, assim alguns alimentos resultam instáveis apesar de seu baixo conteúdo de água.

Nos alimentos, a água existe sob duas formas: água livre e água combinada, sendo a água total a soma dessas duas parcelas. A água livre (ou água não ligada) está presente nos espaços intergranulares e entre os poros do alimento. Essa água mantém suas propriedades físicas e serve como agente dispersante para substâncias coloidais e como solvente para compostos cristalinos. A água livre é conhecida como atividade de água ( $A_a$ ) e corresponde à relação entre a pressão parcial de vapor de água ( $P_v$ ), pois, na operação de secagem, a água é retirada do alimento por meio de uma fase gasosa insaturada, e a pressão de vapor de água saturado ( $P_s$ ), à mesma temperatura (Equação 2).

$$A_a = \frac{P_v}{P_s}$$

(Equação 2)

A atividade de água é um dos fatores mais importantes para a indústria de alimentos, pois quantifica a água disponível para o crescimento de microorganismos e as reações que podem alterar os alimentos, o que possibilita a previsão da estabilidade. A atividade de água pode ser determinada por um medidor de atividade de água, e seu valor varia numericamente de 0 a 1.

A água combinada é a soma de água absorvida e água ligada. A primeira está presente na superfície das macromoléculas como amido, pectina, celulose e proteína por forças de Van der Waals e pontes de hidrogênio. A água de hidratação ou ligada está associada quimicamente com outras substâncias do alimento e não é eliminada na maioria dos métodos de determinação de umidade (GAVA, 2000). Na Tabela 3, apresentam-se o conteúdo de água (%b.u) e o correspondente valor de atividade de água ( $A_a$ ) para determinados alimentos.

**Tabela 3.** Valores do conteúdo de água e atividade de água de alguns alimentos.

Alimento	Conteúdo de água (% b.u)	Atividade de água ( $A_a$ )
Chips de batata	1,5	0,08
Leite desidratado	3,5	0,11
Biscoitos	5,0	0,20
Farinha de trigo	14,5	0,72
Marmelada	85	0,86
Pão	40	0,96
Carne fresca	70	0,99

Fonte: Castro (2003).

O conteúdo de água do pão é menor que o da marmelada (Tabela 3), no entanto a atividade de água apresenta-se como contrário.

Isso comprova a importância da determinação da atividade de água e não somente do conteúdo de água para a estabilidade do alimento.

### **Exemplo de cálculo de % b.u e % b.s de um alimento**

Deseja-se conhecer o conteúdo de água de um alimento. Para isso, utilizou-se o método de estufa com 300,00 g do alimento. A massa do alimento seco (massa de sólidos) obtida após um certo tempo na estufa foi de 130,08 g (massa obtida após três pesagens com massas praticamente idênticas). Calcule o conteúdo de água em % b.u e % b.s.

$$\% b.u = (\text{massa de água}/\text{massa da amostra}) * 100$$

$$\% b.u = ((300,00-130,08)/300,00) * 100 = 56,6\% \text{ (em 100 g de amostra existem 56,6 g de água)}$$

$$\% b.s = (\text{massa de água}/\text{massa de sólidos}) * 100$$

$$\% b.s = ((300,00-130,08)/130,08) * 100 = 130,6\% \text{ (para cada 100 g de sólidos secos existem 130,6 g de água).}$$

## **Método da Estufa**

O conteúdo de água (umidade) é usualmente determinado pelo método da estufa. As amostras (em triplicada) são pesadas (peso inicial) em balança de precisão de 0,001 g a 0,0001 g e colocadas em estufa a 105 °C até peso constante (peso final). As amostras retiradas da estufa devem ser resfriadas em dessecadores antes da pesagem até uma temperatura próxima da ambiente, pois erros na leitura da massa ocorrem em razão das correntes de convecção geradas com o contato entre o alimento quente e o ar no interior da balança. A umidade ( $U$ ) é determinada pela Equação 3 (base úmida % b.u) ou pela Equação 4 (base seca % b.s):

$$U (\% b.u) = \frac{(\text{massa inicial} - \text{massa final}) * 100}{\text{massa inicial}}$$

(Equação 3)

$$U (\% \text{ b.s}) = \frac{(\text{massa inicial} - \text{massa final}) * 100}{\text{massa inicial}} \quad (\text{Equação 4})$$

O seguinte procedimento pode ser adotado:

1. Pesa-se o recipiente (de vidro ou metal) onde o alimento será colocado.
2. Coloca-se uma amostra do alimento no recipiente e pesa-se o conjunto. A massa inicial do alimento é a diferença entre o peso do conjunto e o peso do recipiente.
3. O conjunto (recipiente + alimento) permanece em estufa a 105 °C, sendo pesado periodicamente.
4. Após três medidas consecutivas idênticas do conjunto, infere-se que o alimento está seco, e sua massa final (massa seca absoluta) é calculada pela diferença entre peso do conjunto e peso do recipiente.
5. Com os valores de massa inicial e massa final, calculam-se a  $U (\% \text{ b.u})$  e  $U (\% \text{ b.s})$ .

Cada material possui um período diferente de permanência na estufa para atingir o estado de “seco”. Hortaliças como brócolis, couve, repolho estão secos em apenas 6 horas de permanência na estufa, já para grãos como soja e milho, são necessárias 24 horas. Assim pode-se adotar a primeira pesagem do conjunto (recipiente + alimento) que foi colocado na estufa após 2 horas e acompanhar os pesos de 2 em 2 horas.

## Atividade de Água e Conservação dos Alimentos

Os macro e micro nutrientes, que compõem os produtos destinados à alimentação humana e animal, dependem da presença de água, que confere textura, disponibilidade orgânica, palatabilidade, estabilidade e maior peso. Entretanto, essa água pode ser o principal fator na

decomposição do produto. Nos alimentos ricos em água, com valores de  $A_w > 0,9$ , formar-se-ão soluções diluídas com componentes do alimento que servirão de substrato para microrganismos. Nessas condições, reações químicas e enzimáticas podem ter sua velocidade diminuída pela baixa concentração dos reagentes. Alimentos nessas condições sofrem facilmente contaminação microbiológica. Quando a atividade de água baixar entre 0,4 e 0,8, haverá possibilidade de reações químicas e enzimáticas rápidas pelo aumento das concentrações dos reagentes, enquanto, com a  $A_w$  próxima de 0,6, tem-se pequeno ou nenhum crescimento de microrganismos. Em regiões de  $A_w < 0,3$ , atinge-se a zona de absorção primária, em que as moléculas de água estão fortemente ligadas ao alimento, não podendo ser utilizada para dissolver componentes do alimento, o que leva as reações a terem velocidades próximas de zero e o não desenvolvimento de microrganismos.

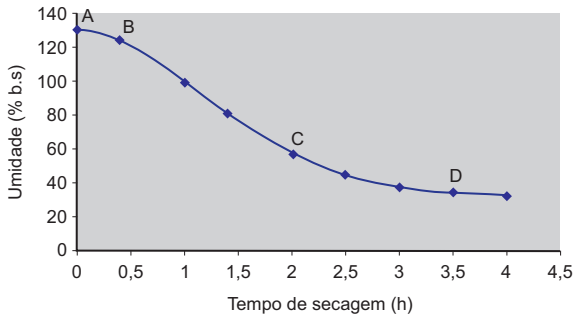
O comportamento de microorganismos frente à  $A_w$  é variável, bactérias são usualmente mais exigentes quanto à disponibilidade de água livre ( $A_w = 0,91$ ), seguida de leveduras ( $A_w = 0,88$ ) e fungos ( $A_w = 0,80$ ). Outras duas alterações nos alimentos influenciadas pelo teor de atividade de água (escurecimento não enzimático e oxidação de lipídios) estão apresentadas no item "Efeitos da secagem no produto" deste trabalho.

## Cinética de Secagem

A cinética de secagem, ou seja, a rapidez com que o alimento perde umidade, é controlada pelas características da matriz do alimento e pelas variáveis temperatura, velocidade e umidade relativa do ar. O conteúdo de umidade de um alimento, durante um processo de secagem, apresenta o comportamento mostrado pela curva da Figura 2. Para a obtenção dessa curva, amostras do alimento são retiradas de tempos em tempos e a umidade determinada pela Equação 3 (base úmida) ou pela Equação 4 (base seca). Vale observar que as amostras retiradas do processo de secagem estarão quentes e deverão ser resfriadas em dessecadores até uma temperatura próxima



da ambiente para a determinação do peso inicial e, imediatamente depois, colocadas em estufa a 105 °C até peso constante (peso final).



**Figura 2.** Umidade do alimento durante o processo de secagem.

Na Figura 2, o segmento AB corresponde ao período em que o alimento se adapta às condições de secagem e sua temperatura atinge um valor constante, sendo igual à temperatura de bulbo úmido do ar, enquanto a água livre estiver sendo evaporada. Essa igualdade se mantém durante o segmento BC. Durante o período BC, a superfície exposta do alimento está saturada, existindo um filme contínuo de água sobre o sólido, que age como se não existisse sólido, ou seja, a água do alimento não tem nenhuma resistência para “sair” dele. A água removida nesse período é principalmente a água superficial se o sólido for não poroso (cereais, vegetais e outros), sendo curto esse período. Se o sólido for poroso – sal, açúcar, ácido cítrico e outros –, o período BC é um pouco mais longo, pois a água superficial vai sendo substituída pela do interior do sólido, que não encontra dificuldade de escoamento em razão dos poros do alimento. Portanto, o período de secagem constante (segmento BC) é mais pronunciado em materiais com umidade elevada.

O ponto C corresponde ao fim do período de secagem constante, e a umidade, nesse ponto, é conhecida como umidade crítica. A partir desse ponto, há um aumento na resistência interna e o movimento de líquido do interior para a superfície do sólido é insuficiente para compensar o líquido que está sendo evaporado, iniciando-se o primeiro período decrescente (trecho CD). No segmento CD, cada vez menos

líquido está na superfície do sólido para evaporar, e essa se torna cada vez mais seca, podendo haver rachaduras na superfície do alimento. Do ponto D em diante, tem-se o segundo período de velocidade decrescente, em que a umidade do alimento diminui até alcançar a umidade de equilíbrio para as condições de temperatura e umidade relativa do ar. Quando a umidade de equilíbrio (teor mínimo de umidade) é atingida, cessa-se o processo de secagem.

A umidade de equilíbrio é atingida quando o alimento é deixado por tempo suficientemente longo em determinada condição de temperatura e umidade relativa do ar que o envolve. Nessa condição, a pressão parcial de vapor da água na superfície do produto é igual à pressão parcial de vapor de água contida no ar (CELESTINO, 1998).

## Umidade de Equilíbrio

Dados de umidade de equilíbrio podem ser obtidos por meio de método estático, utilizando-se diferentes soluções salinas saturadas (que regulam a pressão de vapor nas vizinhanças do alimento) em determinadas temperaturas (Tabela 4). Reservatórios hermeticamente fechados contendo as soluções salinas são utilizados nesses experimentos, os quais recebem as amostras pesadas dos materiais, e o conjunto é colocado em estufa para controle de temperatura (TEIXEIRA NETO, 1997). As amostras são pesadas em intervalos de tempo de 1 a 2 dias, e as condições de equilíbrio são consideradas atingidas quando três medidas de massa da mesma amostra fornecem resultados idênticos. A umidade de equilíbrio é determinada pelo método da estufa (Equação 3). Durante esses experimentos, são observadas alterações no alimento como perda de crocância, crescimento microbiológico, aglomeração (principalmente para alimentos farináceos), presença de mela e outros (FADINI; SILVA, 2006). O tipo de embalagem mais apropriada para a conservação do alimento também pode ser determinado pelo método estático. As amostras passam pelo mesmo processo, porém embaladas em diversos tipos de materiais e a ocorrência de alterações é observada. Escolhe-se a embalagem que proporcionou as mínimas alterações.

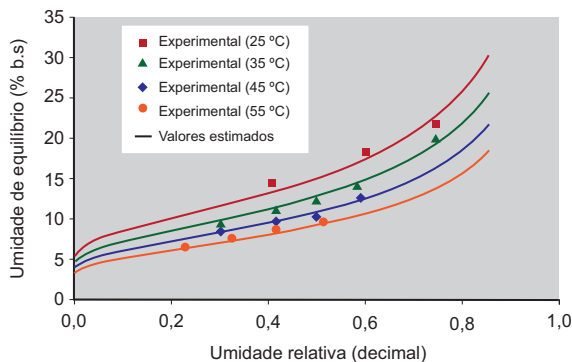
**Tabela 4.** Variação da umidade relativa com a temperatura.

T (°C)	LiCl	MgCl <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	NaNO <sub>3</sub>	NaCl	KCl
20	0,118	0,334	0,447	0,675	0,772	0,873
25	0,114	0,329	0,443	0,659	0,762	0,855
30	0,111	0,323	0,440	0,643	0,752	0,837
35	0,108	0,318	0,436	0,638	0,743	0,821
40	0,105	0,313	0,433	0,614	0,734	0,806
45	0,103	0,308	0,430	0,601	0,726	0,791
50	0,100	0,304	0,427	0,588	0,718	0,777
55	0,098	0,300	0,424	0,576	0,710	0,764
65	0,094	0,291	0,418	0,554	0,696	0,739
80	0,088	0,281	0,411	0,524	0,676	0,705

Fonte: Motta et al. (2002).

## Isotermas de Sorção

Os dados experimentais de umidade de equilíbrio em função de diferentes umidades relativas a uma dada temperatura podem ser utilizados para a obtenção de curvas conhecidas como isotermas de sorção (Figura 3). Em uma situação de equilíbrio, a pressão parcial de vapor de água sobre o alimento é o mesmo valor da pressão parcial de vapor de água no ar que circunda o alimento. Os valores da atividade de água (Equação 2) do alimento e da umidade relativa do ar são os mesmos. Na representação das isotermas de sorção, o termo umidade relativa pode ser substituído por atividade de água.

**Figura 3.** Isoterma de sorção para diferentes valores de temperaturas.

Fonte: Resende et al. (2006).

Com os dados experimentais de umidade de equilíbrio e atividade de água, parâmetros de equações (modelos) podem ser estimados por regressão não-linear (Equação 5) e os resultados experimentais comparados com os fornecidos pelo modelo (valores estimados) (Equação 6)(Figura 3). Um modelo bem ajustado permite que o valor da umidade de equilíbrio seja previsto com confiabilidade para determinado valor de umidade relativa e temperatura do ar. O ajuste entre os pontos experimentais e os fornecidos pelo modelo é avaliado por critérios estatísticos que estabelecem os desvios entre esses pontos. Os modelos mais utilizados para alimentos são GAB (Guggenheim-Anderson-deBoer) e BET (Brunauer-Emmet-Teller).

### 1. Modelo BET (LABUZA, 1984; OKOS, 1986).

$$\frac{Aa}{(1-Aa).X} = \frac{1}{Xm.C} + \frac{(C-1).Aa}{Xm.C} \quad (\text{Equação 5})$$

Nesse modelo, dois parâmetros devem ser estimados:  $Xm$  e  $C$ . É um modelo válido para atividade de água menor que 0,5 (CASTRO, 2003).

### 2. Modelo GAB (TELIS-ROMERO, 2005).

$$x = \frac{Xm.C.k.Aa}{(1-k.Aa)(1-k.Aa + C.k.Aa)} \quad (\text{Equação 6})$$

Nesse modelo, três parâmetros devem ser estimados:  $Xm$ ,  $C$  e  $k$ .

Nomenclatura das equações de BET e GAB:

$Aa$  = atividade de água

$X$  = conteúdo de umidade de equilíbrio em base seca

$Xm$  = conteúdo de umidade na monocamada molecular

$C$  = constante de Guggenheim

$k$  = fator relacionado às multicamadas

A monocamada molecular é a camada primária do alimento, e o seu conteúdo de água infere sobre a higroscopicidade ou afinidade por moléculas de água (CASTRO, 2003). Um baixo valor de  $X_m$  pode ser em razão de um alto teor de lipídios (FADINI; SILVA, 2006). Na Tabela 5, são apresentados valores de  $X_m$  para diversos alimentos desidratados.

**Tabela 5.** Valores de  $X_m$  em diversos alimentos desidratados.

Alimento	$X_m$ (g de água/100 g de produto seco)
Leite integral em pó	2,0
Cebolas desidratadas	3,7-4,0
Bolachas salgadas	4,0
Frango desidratado	5,5-6,0
Batatas desidratadas	5-8
Amido solúvel	6,0
Carne de vaca desidratada	4,0-6,0

Fonte: Castro (2003).

O leite integral em pó possui menor tendência a absorver umidade do ambiente do que bolachas salgadas (Tabela 5). Assim esse último produto deve ser mais bem acondicionado para não perder a crocância. Em produtos em pó, essa absorção de umidade pode causar a aglomeração das partículas, e, nesse caso, recomenda-se o uso de substâncias antiaglomerantes como maltodextrinas, amidos e vários tipos de goma (TSOUROUFLIS et al., 1976).

Se o objetivo é apenas quantificar o conteúdo de umidade da monocamada ( $X_m$ ), o modelo BET é mais utilizado que o GAB, em razão do menor número de parâmetros e da possibilidade de simplificação do tratamento matemático para uma regressão linear na sua determinação. Para isso, deve-se construir uma curva com os valores de  $Aa/(1-Aa).X$  versus  $Aa$ . A curva resultante será uma reta com coeficiente linear  $1/(X_m.C)$  e coeficiente angular de  $(C-1)/(X_m.C)$ , podendo-se então determinar  $X_m$  e  $C$ .

A estabilidade máxima dos alimentos, particularmente nos alimentos desidratados, ocorre para uma umidade próxima ao valor encontrado para  $X_m$  (ver item “Secador de tambor rotativo” deste trabalho).

## Tratamentos Pré-secagem

Nos vegetais, ocorre o escurecimento por causa da presença da enzima polifenoloxidase (PPO), que é ativada com a exposição das partes internas do vegetal ao oxigênio, por causa do fatiamento. As temperaturas utilizadas nos processo de secagem aceleram essa reação enzimática que causa escurecimento. Perdas nutricionais e modificações sensoriais (cor, sabor, aroma e textura) indesejáveis são as consequências desse processo. Além disso, a ação de microrganismos também é causa de deterioração. O uso de antioxidantes e a operação de branqueamento prolongam a vida útil dos produtos desidratados.

### Uso de antioxidantes

Os ácidos ascórbico (vitamina C) e cítrico são bastante utilizados como antioxidantes, sendo o primeiro ainda útil para a reposição da vitamina C perdida no processo de secagem. Podem-se utilizar os ácidos individualmente na concentração de 4% ou como uma mistura 1:1. O vegetal com tendência ao escurecimento, após o fatiamento, deve ser imediatamente imerso nessas soluções por um tempo mínimo de 2 minutos, sendo em seguida submetidos ao processo de secagem.

A sulfitação é outro pré-tratamento antioxidante, com imersão do alimento numa solução de água e bissulfito de sódio por 2 a 5 minutos. O sulfito e o metabissulfito de sódio, entre outros, são agentes de sulfitação também utilizados, no entanto as proporções devem ser duas partes de sulfito e quatro partes de metabissulfito, para cada parte de bissulfito substituída (CRUZ, 1990). Esses sulfitos inorgânicos liberam o dióxido de enxofre ( $SO_2$ ) nas condições de uso. Pode-se misturar o ácido ascórbico, o ácido cítrico e o agente de sulfitação em uma mesma solução. O gás  $SO_2$  pode ser utilizado diretamente pela queima de enxofre (S) em um ambiente fechado onde o vegetal está exposto.

Esse processo é conhecido como sulfuração ou enxofração (CRUZ, 1990). Os agentes de sulfitação são identificados na rotulagem do alimento pelo seu código INS (número padrão internacional) (Tabela 6).

**Tabela 6.** Agentes de sulfitação.

Nome	Fórmula	INS
Dióxido de enxofre	SO <sub>2</sub>	220
Sulfito de sódio	Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>	221
Bissulfito de sódio	NaHSO <sub>3</sub>	222
Metabissulfito de sódio	Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	223
Metabissulfito de potássio	K <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	224
Sulfito de potássio	K <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>	225
Sulfito de cálcio	CaSO <sub>3</sub>	226
Bissulfito de cálcio	Ca (HSO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	227
Bissulfito de potássio	KHSO <sub>3</sub>	228

A análise de resíduo de sulfito em alimentos não é tão simples pelo fato de ocorrerem reações rápidas do sulfito com vários componentes do meio alimentar e, desse modo, é de se esperar que se encontre baixo teor de SO<sub>2</sub> no momento do consumo ou de análise. O residual máximo de SO<sub>2</sub> permitido por lei (BRASIL, 1988) nos alimentos está apresentado na Tabela 7.

As análises de dióxido de enxofre geralmente são do tipo qualitativa, para averiguar a presença dele no alimento, e quantitativa, para verificar a quantidade residual presente no alimento analisado. Como a análise quantitativa é um pouco mais complexa, faz-se primeiro o teste qualitativo. Se positivo, pode partir para o quantitativo. Se o alimento em questão não permite residual de aditivo, o teste qualitativo para verificar a presença é suficiente para se concluir a análise. O método baseia-se no poder redutor do SO<sub>2</sub> em meio ácido sobre o iodato. O iodo liberado pela redução do iodato reage com o amido dando um composto de adsorção de coloração azul.

**Tabela 7.** Residual máximo de SO<sub>2</sub> em alimentos.

Alimento	Max. (SO <sub>2</sub> ) g/100g
Açúcar refinado	0,002
Batata cozida descascada	0,01
Batata frita congelada	0,01
Bebidas alcoólicas fermentadas	0,01
Bebidas alcoólicas mistas	0,01
Camarão e lagosta no produto cozido	0,003
Camarão e lagosta no produto cru.	0,01
Cerveja	0,006
Coco ralado	0,02
Cogumelo	0,005
Cooler	0,035
Filtrado doce	0,035
Frutas dessecadas	0,01
Geléias artificiais	0,02
<b>Legumes e verduras desidratadas</b>	<b>0,02</b>
Leite de coco esterilizado	0,01
Leite de coco pasteurizado	0,03
Licores de frutas	0,01
Néctares de frutas	0,02
<b>frutas passa</b>	<b>0,15</b>
Vinagre	0,01

### ***Método para determinação qualitativa de SO<sub>2</sub>***

O método para a determinação qualitativa de dióxido de enxofre está descrito abaixo em material utilizado e procedimento (ARAUJO, 1999).

#### ***Material***

Solução de ácido fosfórico: -10% (v/v); solução de iodato de potássio (KIO<sub>3</sub>): -0,3% (p/v); solução de amido: -1% (p/v); solução de bissulfito de sódio (NaHSO<sub>3</sub>): -0,01% (p/v); erlenmeyer de 250 mL com rolha esmerilhada (ou rolhas protegidas); papel de filtro; banho-maria.



### *Procedimento*

Preparo do papel:

- Molhar o papel de filtro na solução de iodato; secar.
- Molhar o papel na solução de amido; secar; cortar em tiras.
- Guardar em vidro âmbar, bem fechado.

Preparo da amostra

- Triturar a amostra.
- Pesar 10 g no Erlenmeyer.
- Acrescentar 5 mL de ácido fosfórico 10% sobre a amostra.
- Fechar o Erlenmeyer, prendendo na rolha uma tira do papel preparado anteriormente.
- Aquecer em banho-maria.
- Uma mancha azul no papel, logo após a colocação no banho, indica presença de  $\text{SO}_2$ .

### *Teste em paralelo*

Realiza-se, em paralelo, uma prova em branco, substituindo a amostra por água e um teste positivo utilizando 10 mL de uma solução de bissulfito de sódio ( $\text{NaHSO}_3$ ) de concentração a 0,01%.

Se o teste qualitativo for positivo, a determinação quantitativa de  $\text{SO}_2$  deve ser realizada. Recomenda-se a metodologia apresentada pelo Instituto Adolfo Lutz (2005).

## **Branqueamento**

No branqueamento, ocorre o aquecimento dos vegetais crus por um curto período de tempo (5 minutos) em água em ebulição ou em uma temperatura próxima (90 °C). Vapor de água também pode ser usado. O branqueamento em água dissolve muitas das vitaminas, açúcares e outras substâncias solúveis. Recomenda-se o branqueamento a vapor para minimizar essas perdas. O branqueamento cozinha parcialmente os tecidos, o que pode produzir um sabor desagradável a certos vegetais, mas isso torna as membranas celulares mais permeáveis

à desidratação, acelerando o processo de secagem (AGUIRRE; FILHO, 2002). Durante o branqueamento, a contagem microbiana é substancialmente reduzida e medidas de sanificação devem ser tomadas nas etapas seguintes para evitar a recontaminação.

### **Desidratação osmótica**

A desidratação osmótica é utilizada como pré-tratamento dos processos de secagem natural e artificial para a redução do teor de água do vegetal, o que resulta em redução nos gastos de tempo e energia (AZEREDO, 2004). Esse pré-tratamento consiste na imersão do vegetal em uma solução de sacarose (ou cloreto de sódio) para a perda de água e ganho de sólidos. É um método apropriado para a preparação de frutas tipo “passa”, pois, além de proporcionar perda de água, também acarreta ganho de sólidos (sacarose), fator desejável principalmente para frutos com baixo teor de sólidos solúveis. Os produtos obtidos com a inclusão dessa tecnologia apresentam textura, cor e sabor adequados às exigências dos consumidores (SOUSA, 2003). Na solução de açúcar, pode-se também adicionar qualquer soluto de interesse nutricional ou de conservação (ácido ascórbico, sulfito de sódio, bissulfito de sódio) para que esse migre para o alimento. Um tempo de tratamento osmótico de 4 horas, em um tanque com temperatura regulável de 30 °C e concentração da solução osmótica de 60 °Brix, é condição apropriada para a produção de frutas-passas.

## **Secagem Natural**

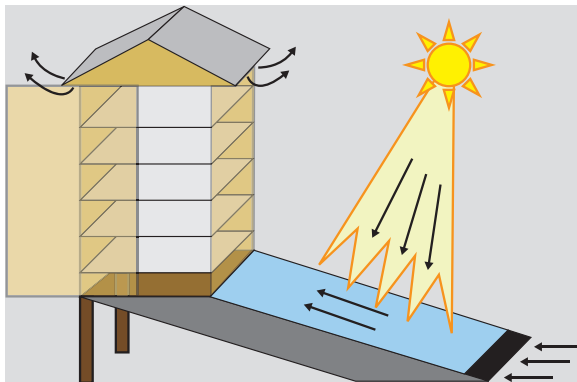
A secagem de alimentos é um processo de conservação que permite a obtenção de produtos de baixo valor de umidade de água. Essa tecnologia possibilita prolongar a vida útil do produto, além de requerer pouco investimento, sendo apropriada para pequenos e médios agroindustriais (CRUZ, 1990).

A secagem natural pode ser aplicada em regiões com temperatura média de 35 °C a 40 °C, com boa taxa de radiação solar, baixa umidade relativa do ar e baixo índice de poluição.

A secagem natural é um processo de baixo custo, sendo necessário apenas uso de bandejas para a desidratação e redes protetoras contra

insetos. Alimentos de alta perecibilidade, como frutas, hortaliças, ervas e carnes, devem ter essa proteção, mas, no caso de café e milho para ração animal, a secagem pode ser feita com os grãos espalhados no chão, estando esses apenas sobre uma cobertura plástica.

Os alimentos secos ao sol apresentam uma coloração mais intensa que os desidratados artificialmente, no entanto ocorrem maiores perdas nutricionais do que na desidratação sob condições controladas. A secagem natural também é feita por secadores que possuem uma estrutura que permite uma maior proteção ao alimento, do que simplesmente as bandejas sobre o solo. Esse secador possui uma inclinação e um tampo de vidro que permite a absorção da radiação térmica. O ar é aquecido nessa cabine de vidro, diminui a densidade e atravessa as bandejas com o produto a ser seco, sendo expelido por uma parte superior em razão das correntes de convecção que são geradas com a entrada de mais ar frio à cabine de secagem (Figura 4). A determinação do ponto final da secagem é feita por meio de pesagem dos frutos. Para isso, uma pequena bandeja de peso conhecido é pesada e recebe uma amostra de frutos com peso conhecido. Essa é disposta sobre uma das bandejas de secagem propriamente dita para ser submetida ao processo normal de secagem. A pequena bandeja contendo os frutos é pesada duas vezes ao dia, e o peso correspondente ao teor de umidade final desejado é determinado pela Equação 7.



**Figura 4.** Secador para a secagem natural.

Fonte: Solar (2009).

$$Pf = \frac{Pi (100 - Ui)}{100 - Uf}$$

(Equação 7)

Em que:

*Pf* = peso líquido final (subtraído o peso da bandeja) para que o produto tenha a umidade desejada

*Pi* = peso líquido inicial (subtraído o peso da bandeja)

*Ui* = umidade inicial

*Uf* = umidade final desejada (de 15% a 20% para frutas)

Se forem adicionados antioxidantes às frutas, é possível manter a umidade final entre 30% e 35%, sem expor o produto à deterioração e lhe conferindo uma maior maciez. O ponto final da secagem, de qualquer forma, é dado pela experiência do produtor, que avaliará as qualidades sensoriais (cor, aroma, sabor e textura) da fruta seca. O produto seco naturalmente, para ter uma melhor qualidade, deve ter sua umidade reduzida de 50% a 70% ao sol, e continuada sua secagem à sombra para que se preserve a cor e o aroma natural (GAVA, 2000). Durante todo o período de secagem, a fruta deve ser revirada no mínimo três vezes ao dia para garantir a homogeneidade do produto seco.

## Secagem Artificial

A secagem artificial utiliza equipamentos em que o alimento é colocado e o processo de desidratação ocorre por um dado período de tempo. Esse processo é classificado como batelada. No entanto, alimento úmido pode ser continuamente colocado no equipamento e alimento seco continuamente removido, sendo classificado com processo contínuo. Na maioria dos processos de secagem artificial, ar quente com uma velocidade de 0,5 m/s a 3 m/s e baixa umidade é utilizado para a transferência de calor por convecção para o alimento, porém os mecanismos de transferência de calor por condução e radiação também ocorrem.

Um decréscimo da umidade relativa do ar provoca uma secagem mais eficiente do que com o incremento da temperatura para uma mesma umidade relativa do ar. Na prática, aumentar a temperatura de secagem é mais usual, por ter maior facilidade, já que os secadores comerciais são providos de termostato e a retirada de umidade do ar é um procedimento mais trabalhoso por exigir filtros especiais (desumidificadores de ar).

A retenção de vitaminas em alimentos secos com a secagem artificial é, geralmente, superior à dos alimentos secos ao sol (GAVA, 2000).

## Tipos de secadores utilizados na secagem artificial

### *Secador de bandeja*

Em um secador de bandeja (Figura 5), o alimento sólido é espalhado uniformemente sobre uma bandeja com fundo tipo tela (de metal ou plástico) a uma espessura de 10 mm a 100 mm. A circulação de ar no secador é feita por um ventilador situado atrás de resistências elétricas usadas para o aquecimento do ar de entrada. O controle da temperatura é por meio de um termostato. Após a secagem, o secador é aberto e as bandejas descarregadas. Durante a secagem, são feitas pesagens de uma pequena bandeja com uma amostra do produto para verificar o fim do processo (Equação 7).

Foto: Sonia Maria Costa Celestino.



Figura 5. Secador de bandeja.

O secador de bandeja também pode ser encontrado com operação à vácuo, o que possibilita a utilização de temperaturas mais baixas para a secagem de produtos termosensíveis ou facilmente oxidados com o calor.

### ***Secador de túnel***

No secador de túnel, os sólidos são colocados em bandejas que estão apoiadas sobre uma base móvel (carrinho), o que possibilita a movimentação no interior do túnel de secagem. A circulação de ar no secador também é feita por um ventilador situado atrás de resistências elétricas usadas para o aquecimento do ar de entrada, o qual circula em contracorrente com as bandejas. A velocidade de evaporação é bem maior quando comparada ao processo pelo secador de bandeja. As bandejas são carregadas de um lado do túnel com alimento úmido e o alimento seco descarregado do outro (GEANKOPLIS, 1993).

### ***Secador de esteira***

O secador de esteira consiste de várias sessões em série, cada qual com o seu ventilador e aquecimento próprio. Essas sessões são unidas por meio de uma esteira construída de aço inoxidável. Cada sessão pode ter suas próprias condições de processo como temperatura, umidade relativa e velocidade do ar. Normalmente, as primeiras sessões de entrada do alimento úmido apresentam maiores temperaturas e velocidade do ar, tendo essas variáveis seus valores reduzidos à medida que o alimento percorre as outras sessões.

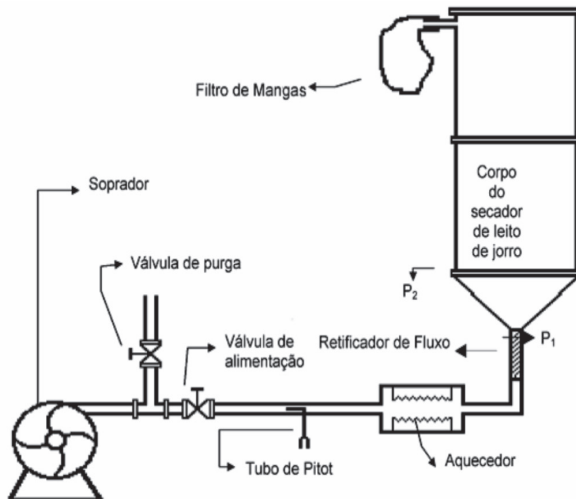
### ***Secador de tambor rotativo***

O secador de tambor rotativo consiste de um cilindro que gira lentamente e é aquecido internamente por vapor ou outro meio de aquecimento. O alimento é aplicado na superfície do tambor e forma-se uma película, que é desidratada, por causa do contato com a parede quente do tambor, e raspada quando apresentar-se seca. Esse tipo de secador é adequado para a secagem de sólidos em finas suspensões ou em soluções, como soro de leite e purês (GEANKOPLIS, 1993).

### ***Secador de leito fluidizado ou leito de jorro***

Nesse tipo de secador, o ar quente atravessa um leito, onde o alimento sólido está depositado e, pela sua alta velocidade, o ar quente é capaz de fluidizar (ressuspender) esse alimento (Figura 6). A vantagem é um alimento seco de forma mais homogênea e rápida. O alimento sólido deve suportar danos mecânicos e é sustentado por uma chapa perfurada, a qual permite a passagem do ar.

Os alimentos secos nesse tipo de secador são: ervilha, farinha, café, sal açúcar, carne em cubinhos e outros.



**Figura 6.** Representação esquemática de um leito fluidizado.

Fonte: Dias et al. (2000).

### ***Liofilizador***

Esse equipamento também é conhecido como “freezedrier” (Figura 7).

Na liofilização, a água é eliminada do alimento por sublimação.

O alimento é congelado e, no liofilizador, sob vácuo, ocorre a

desidratação. O sistema de vácuo deve reduzir a pressão para 1 mmHg,

condição que deve ser mantida até o final da secagem. A vantagem

desse processo são as mínimas perdas de nutrientes e uma rápida

reidratação do produto seco.

Foto: Sonia Maria Costa Celestino.



**Figura 7.** Liofilizador.

### ***Secador por atomização (“spray dryer”)***

Esse secador é utilizado para a secagem de alimentos na forma líquida e o produto resultante é um pó. O alimento líquido é introduzido na câmara de secagem na forma de gotículas por bicos atomizadores (Figura 8) para o aumento da superfície de contato com o ar quente, que percorre a câmara em fluxo contracorrente, concorrente ou como uma combinação dos dois. A secagem ocorre sob condições constantes de evaporação, sendo assim a temperatura do produto não é muito superior à temperatura de bulbo úmido do ar.



**Figura 8.** Atomização do líquido em um secador “spray dryer”.

Fonte: Spray (2009).



## Efeitos da Secagem no Produto

Um grande número de mudanças químicas ocorre durante a secagem juntamente com as mudanças físicas. Isso afeta a qualidade do produto desidratado em termos de valor nutricional, cor, flavor (sabor e aroma) e textura. Os principais fatores de deterioração de vegetais desidratados são: reações de escurecimento enzimático e não enzimático; reações de oxidação de lipídios; reações de oxidação de vitaminas; e degradação de pigmentos (LABUZA, 1984). As frutas e hortaliças mais propensas às alterações provocadas pela secagem são os não-ácidos, com baixa acidez e ricos em açúcares, aminoácidos e lipídios. O controle do processo de secagem é crítico para a qualidade do produto final.

### Características sensoriais

As características sensoriais de um alimento podem ser descritas como:

#### ***Cor***

A cor dos vegetais é devido a pigmentos como:

**Antocianina:** vermelho vivo ao violeta (repolho roxo).

**Caroteno:** vegetais verde-escuros e alaranjados (agrião, cenoura, laranja, pimenta).

**Xantofila:** vegetais amarelo-claros (manga, pimentão amarelo).

**Licopeno:** vegetais vermelhos (tomate).

#### ***Aroma e sabor (flavor)***

Os compostos que fornecem aroma e sabor ao vegetal são principalmente ésteres, aldeídos e cetonas. Em frutas, concomitantemente ao aroma, no amadurecimento, há a produção de açúcares e a diminuição da acidez. O sabor desejado de uma determinada fruta exige um balanço adequado de açúcar e ácido. Esse balanço é um padrão de identidade e qualidade da fruta. Os açúcares encontrados nas frutas são os não-redutores (sacarose) e os redutores (glicose e frutose). Os ácidos mais comuns são: cítrico, tartárico e málico.

### ***Textura (consistência)***

Relaciona-se com as sensações de mastigação. As principais características da textura são dureza, maciez, fibrosidade, suculência. Em palmitos, aspargos, quiabo e vagem, a fibrosidade é indesejável. Em outros frutos, a dureza ou maciez excessivas podem causar rejeição do produto (maça, pêra).

A textura (maciez/dureza) dos vegetais depende do conteúdo de celulose, pectina e hemicelulose na parede celular. Esses carboidratos constituem as chamadas fibras dos vegetais, sendo celulose e hemicelulose as fibras insolúveis, e pectina, a fibra solúvel.

### **Escurecimento enzimático**

As polifenoloxidasas constituem a classe de enzimas envolvidas no escurecimento de vegetais. O escurecimento enzimático é um fator de deterioração predominante, pois as frutas não são normalmente pasteurizadas ou branqueadas, são desidratadas com atividades de água entre 0,5 e 0,6, e as temperaturas de secagem não são suficientes para inativar as enzimas.

A pasteurização é um tratamento térmico que visa à eliminação de grande parte dos microrganismos existentes no alimento, e que também pode ter a finalidade de desnaturar enzimas. Em uma pasteurização lenta (LTLT – low temperature, long time), o alimento é submetido a uma temperatura em torno de 65 °C por 30 minutos. Em uma pasteurização mais drástica (HTST – high temperature, short time), a relação tempo/temperatura é de 15 segundos a 72 °C. A esterilização exige temperaturas de 120 °C a 130 °C por 2 a 3 segundos. No processo de branqueamento, a temperatura aplicada é de 80 °C a 90 °C durante 5 minutos. A exposição por curto período de tempo do tecido à temperatura de 70 °C a 90 °C é suficiente, na maioria dos casos, para a destruição completa das funções catalíticas das polifenoloxidasas. Portanto, recomenda-se o branqueamento como meio mais eficaz e de baixo custo para o pré-tratamento de frutas e hortaliças para a desidratação.

O pH ótimo de atuação das enzimas polifenoloxidasas encontra-se na faixa entre 6 e 7, sendo a enzima inativada em pH 4,0 ou abaixo. Recomenda-se a adição de ácido cítrico para abaixamento do pH em duas ou mais unidades abaixo do pH ótimo.

Compostos de enxofre (sulfito, bissulfito e metabisulfito de sódio) têm sido usados para evitar as reações de escurecimento, mas devem ser utilizados em baixa concentração para evitar o aparecimento de sabor estranho ao alimento.

A redução da concentração de oxigênio na atmosfera em contato com o alimento também inibe a reação de escurecimento enzimático. Para isso, embalagens à vácuo ou com atmosfera modificada ativa (10% de O<sub>2</sub> e 5% de CO<sub>2</sub>) são utilizadas para retardar o escurecimento. No entanto, deve-se ter cuidado na redução drástica da concentração de oxigênio, pois pode-se promover a fermentação láctica, o que também é causa de deterioração do alimento.

### **Escurecimento não-enzimático**

A reação de escurecimento não-enzimático envolve aminoácidos e açúcares redutores na formação de melanoidinas, ocorrendo perda do valor nutritivo das proteínas (reação de Maillard). As reações de escurecimento não-enzimático têm início na temperatura de 70 °C. No entanto, mesmo diminuindo a temperatura para 20 °C, a produção de melanoidinas continua, o que pode ser observado também durante o armazenamento do produto desidratado.

O tipo de açúcar presente no alimento também acelera o processo de escurecimento. Hexoses (monossacarídeos com seis carbonos – glicose e frutose) são mais reativas que os dissacarídeos (sacarose e lactose). Alimentos com atividade de água entre 0,5 e 0,8 estão mais sujeitos ao escurecimento não-enzimático.

A caramelização é outro tipo de escurecimento não-enzimático, em que açúcares em temperaturas superiores a 120 °C originam produtos escuros denominados caramelos.

## Oxidação de lipídios

As principais evidências da oxidação de lipídios são o cheiro e o sabor de ranço nos alimentos e a alteração de textura dos alimentos proteicos. Na oxidação lipídica, o oxigênio do ar reage com os ácidos graxos insaturados, produzindo radicais livres (espécies químicas altamente reativas por possuírem elétron desemparelhado) e peróxidos (compostos com átomo de oxigênio com carga elétrica -1). Essas espécies químicas destroem vitaminas lipossolúveis (vitaminas A e D), carotenoides e diminuem o valor nutritivo de proteínas.

A oxidação lipídica é influenciada pela atividade de água do alimento. A água presente na superfície dos alimentos forma ligações de hidrogênio com peróxidos, protegendo-os da decomposição e diminuindo a velocidade de oxidação. Isso é verificado para atividades de água entre 0 e 0,2 ou aquelas inferiores a  $X_m$  (conteúdo de umidade na monocamada molecular).

Os metais cobre e ferro catalisam a reação de oxidação de lipídios, no entanto a hidratação desses metais e a formação de hidróxidos metálicos insolúveis que participam da reação diminuem a ação catalisadora. Isso pode ser verificado para valores de atividade de água entre 0 e 0,5.

A partir do valor 0,5 para a atividade de água, aumenta-se a difusão dos metais catalisadores da oxidação e a velocidade de degradação dos lipídios aumenta. Para valores de atividade de água menores que 0,5, tem-se uma melhor proteção dos lipídios e a consequente preservação do valor nutricional de vitaminas, carotenoides e proteínas.

Frutas secas, normalmente, apresentam atividade de água entre 0,6 e 0,85, intervalo que coloca a oxidação lipídica como uma das principais causas de deterioração de alimentos desidratados durante o armazenamento. Nesse caso, para uma longa vida útil dos alimentos ricos em ácidos graxos, devem-se utilizar antioxidantes (recomenda-se

a sulfitação) para evitar a formação de peróxidos; e embalagem que proteja o alimento da luz e que diminua a concentração de oxigênio (atmosfera modificada ativa, vácuo). Outro método de conservação que retarda a oxidação lipídica é a refrigeração ou congelamento.

## **Oxidação de vitamina C**

A vitamina C (ácido ascórbico), provavelmente a mais sensível das vitaminas contidas em alimentos, além de ser destruída pela oxidação lipídica, também tem uma alta perda nutricional pelo calor empregado durante o processo de secagem. A taxa de destruição de vitamina C é específica para cada alimento e varia com a atividade de água (AGUIRRE; FILHO, 2002).

## **Degradação de pigmentos**

A secagem altera as características da superfície do alimento e, portanto, sua cor e reflectância. Pigmentos, como carotenoides e clorofila, sofrem modificações químicas por causa do calor. Quanto mais alta a temperatura, maiores as perdas desses pigmentos. Os carotenoides são responsáveis pelas colorações amarela, alaranjada e vermelha dos vegetais, sendo importantes compostos funcionais no combate aos radicais livres, além de alguns deles apresentarem atividade de pró-vitamina A ( $\beta$ -caroteno,  $\alpha$ -caroteno e  $\beta$ -criptoxantina). A atuação enzimática também provoca perdas do pigmento clorofila, convertendo-a em feofitina. A manutenção da coloração pode ser conseguida com a alteração do pH para básico por meio da imersão do vegetal em uma solução de bicarbonato de sódio por 1 minuto.

Os carotenoides sofrem oxidação com uma alta concentração de oxigênio na atmosfera de armazenamento e contribui para a perda da coloração natural de vários alimentos. Esses compostos são extremamente susceptíveis às reações oxidativas em virtude da presença de duplas ligações conjugadas, e sua estabilidade depende, além da concentração de oxigênio, da temperatura, da presença de luz, da atividade de água e da acidez (AGUIRRE; FILHO, 2002).

## **Flavor (sabor e aroma)**

O calor utilizado na secagem provoca a perda de alguns componentes voláteis do alimento. A intensidade das perdas depende da temperatura, da concentração de sólidos no alimento, da pressão de vapor das substâncias voláteis e de sua solubilidade no vapor de água. Isso pode ser evitado com um adequado controle das condições de secagem (temperatura baixa), permitindo-se reduzir ao mínimo as perdas.

## **Encolhimento e capa dura**

O encolhimento do alimento é uma das mudanças mais nítidas durante o processo de secagem.

A última parte de um alimento a ser seca é o centro, assim, quando esse seca, ocorre o seu encolhimento, provocando a formação de fendas, rachaduras e estruturas parecidas com colmeias (capa dura), causando mudanças indesejáveis na textura do alimento.

Quando se aplicam altas temperaturas na superfície do alimento, ocorre uma secagem desbalanceada com a formação de uma pele seca rapidamente, antes da maioria da umidade central ter migrado. Essa pele impermeável bloqueia a água remanescente e assim a taxa de secagem cai severamente. Se os alimentos são secos rapidamente, a superfície fica menos côncava e rígida, o encolhimento interno é maior com o aparecimento de mais estruturas ocas. Na secagem lenta – baixas temperatura e velocidade do ar –, a superfície fica mais côncava e densa.

## **Frutas Desidratadas**

No processo de desidratação, o açúcar natural da fruta se concentra com a retirada da água, obtendo-se um produto com sabor e cor acentuados. Portanto, a quantidade de açúcar natural da fruta será determinante para o sabor do produto final. As frutas com pouco açúcar fornecem produtos descorados, menos doces e pouco saborosos. As frutas muito maduras resultam em produtos de cor escura por causa da produção de pigmentos (melanoidinas) com a exposição ao ar quente de secagem.

As frutas, assim como todos os vegetais, continuam o processo de respiração mesmo no período pós-colheita. Conforme o tipo de respiração que as frutas apresentem, elas podem ser classificadas em climatéricas e não-climatéricas. As climatéricas podem ser colhidas e deixadas amadurecer fora da planta mãe. Essas frutas apresentam um elevado aumento em suas taxas de respiração, melhorando as suas qualidades sensoriais (aroma, cor, sabor, textura) e nutricionais. Ocorre também um aumento do teor de açúcares e redução da acidez. A taxa de respiração atinge um ponto máximo para depois decrescer novamente. Esse ápice na taxa de respiração corresponde ao estágio de maturidade comercial da fruta. Exemplos de frutas climatéricas são: banana, goiaba, manga, maçã, pequi. As frutas não climatéricas apresentam um contínuo decréscimo em suas taxas de respiração após a colheita e somente amadurecem enquanto estiverem ligados à planta mãe. Portanto, as qualidades da fruta não melhoram, embora um leve amadurecimento e perda de coloração verde possam ocorrer. Exemplos de frutas não climatéricas são pêssigo, damasco, cajuzinho-do-cerrado.

Com a prática, o produtor de frutas desidratadas aprenderá a reconhecer o estado ideal de maturação de cada fruta para a obtenção de um produto bem aceito pelo consumidor.

A produção de frutas desidratadas compreende as frutas secas e as frutas em passa. As frutas secas mais bem aceitas são: a maçã, o abacaxi, a manga e o damasco. As frutas em passa com maior aceitação são a banana, o caju, a uva e a ameixa-preta. A fruta seca não tem adição de açúcar comercial durante o processamento, mas as frutas em passa permitem esse ingrediente, podendo-se, portanto, utilizar a desidratação osmótica.

### **Produção de banana-passa com desidratação osmótica**

A solução osmótica é preparada com água potável e açúcar refinado comercial, suficiente para obter 60 °Brix. A temperatura da solução é ajustada para 30 °C e pode ser adicionado sulfito de sódio na concentração de 2% para evitar o escurecimento enzimático. Os frutos são mergulhados na solução osmótica em uma relação 1:4 de

fruto:solução. Os frutos ficam submersos na solução por 4 horas, e, após esse tempo, são coletadas amostras para a determinação da umidade inicial das bananas pela Equação 3. Após a desidratação osmótica, os frutos são conduzidos imediatamente para a secagem artificial, com a temperatura de secagem ajustada para 70 °C nas primeiras duas horas e 60 °C no restante do tempo de secagem. Recomenda-se um secador de bandeja com velocidade do ar entre 1 m/s e 3 m/s. A determinação do ponto final da secagem é feita por meio de pesagem dos frutos contidos em pequena bandeja (Equação 7).

Em trabalhos recentes (CARDOSO et al., 2009), com produção de banana-passa e avaliação sensorial, a amostra de banana tratada com pré-desidratação osmótica obteve a maior aceitação nos atributos cor, sabor e textura, com 100% de aceitação. O atributo aroma obteve 75% de aceitação para essa amostra. A segunda amostra mais bem aceita foi a tratada com solução de sulfito de sódio 2% com percentual de aceitação nos atributos cor, aroma sabor e textura de 93,8%; 81,3%; 81,3%; e 87,5%, respectivamente.

As amostras de banana-passa tratadas com um agente de sulfitação devem ter o teor de dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) determinado (item “Isotermas de Sorção” deste trabalho).

### **Produção de caju-passa com desidratação osmótica**

Os cajus devem ser lavados em água corrente, sanitizados em solução de hipoclorito de sódio a 200 ppm, durante 20 minutos, e podem ser acondicionados em sacos de polietileno e armazenados a -18 °C.

A solução osmótica é preparada com água potável e açúcar refinado comercial, suficiente para obter 40 °Brix, sendo essa variável ajustada com o auxílio de um refratômetro. O caju, ao ser retirado do congelador, deve ser descongelado sob refrigeração em aproximadamente 4 °C. Os pseudofrutos são separados da castanha e submetidos à solução osmótica em banho-maria na proporção de 1:2 (pseudofruto:solução), à temperatura entre 30 °C e 50 °C por 4 horas. Após a desidratação osmótica, procede-se à secagem artificial em secador de bandeja a 65 °C por sete horas (SOUSA, 2003).



## Análises para a qualidade tecnológica de frutas-passas

As análises para a avaliação da qualidade das frutas-passas são perda de peso (*PP*), perda de umidade (*PU*), incorporação de sólidos (*IS*), atividade de água, pH, acidez titulável (*AT*), vitamina C e açúcar redutor (MARTINS, 2008).

### **Perda de peso**

A perda de peso pode ser determinada pela Equação 8.

$$PP (\%) = (mi - mf) * 100/MF \quad \text{(Equação 8)}$$

Em que:

*PP (%)* = perda de peso do material desidratado.

*mi* = massa total inicial do material.

*mf* = massa total final do material.

### **Perda de umidade**

A perda de umidade pode ser determinada pela Equação 9.

$$PU (\%) = \frac{100 * (Ui * mi - Uf * mf)}{mi} \quad \text{(Equação 9)}$$

Em que:

*PU (%)* = perda de umidade com base na massa inicial do material.

*Ui* = teor inicial de umidade do material.

*Uf* = teor final de umidade do material.

*mi* = massa total inicial do material.

*mf* = massa total final do material.

Os teores inicial e final de umidade do material são determinados por %*b.u* (item “Atividade de Água e Conservação dos Alimentos”, Equação 3 deste trabalho) da fruta in natura e da fruta-passa.

### ***Incorporação de sólidos***

A incorporação de sólidos pode ser determinada pela Equação 10.

$$IS (\%) = \frac{100 * (STf * mf - STi * mi)}{mi} \quad (\text{Equação 10})$$

Em que:

$IS (\%)$  = incorporação de sólidos com base na massa inicial do material.

$STi$  = teor inicial de sólidos totais do material.

$STf$  = teor final de sólidos totais do material.

$mi$  = massa total inicial do material.

$mf$  = massa total final do material.

Os teores inicial e final de sólidos totais do material são determinados por  $100 - \%BU$ , da fruta in natura e da fruta-passa.

### ***Atividade de água***

A atividade de água é determinada diretamente em um aparelho (medidor de atividade de água) com controle de temperatura disponível no mercado.

### ***pH***

Na determinação do pH, aproximadamente 10,00 g de amostra de fruta-passa são maceradas com 40 mL de água destilada. O pH é medido por meio de um aparelho (peagâmetro) após agitação e repouso da amostra (AOAC, 1997).

### ***Acidez titulável***

Na mesma amostra preparada para a medição do pH, adicionam-se mais 50 mL de água destilada e titula-se com solução de NaOH 0,1 N (padronizada) até pH 8,2. O cálculo da acidez titulável é feito por meio da Equação 11 (AOAC, 1997).

$$AT (\%) = \frac{N * V * f}{P * 10}$$

(Equação 11)

Em que:

$N$  = normalidade da solução titulante de NaOH (0,1 N).

$V$  = volume gasto da solução titulante (mL).

$f$  = fator de correção obtido na padronização da solução de NaOH com biftalato de potássio.

$P$  = peso da amostra (10,00 g).

### **Vitamina C**

Na determinação de vitamina C, deve-se pesar 2 g da amostra e misturar com 20 mL de solução ácida de  $\text{HPO}_3$  6%, contendo ácido acético 2 N. Centrifugar a 15.000 rpm por 20 minutos, a 4 °C, e filtrar o sobrenadante. Pipetar 1 mL e adicionar 50  $\mu\text{L}$  de solução de 2,6 diclorofenolindofenol (DCPIP) 0,2%, agitar e incubar à temperatura ambiente por 1 hora. Adicionar 1 mL de tiourea 2% e agitar bem. Adicionar 0,5 mL de solução de Dinitrofenilhidrazina (DNPH) 2% (exceto no Branco). Misturar, tampar e deixar em banho-maria, a 60 °C, por 3 horas (exceto o branco). Colocar em banho de gelo e adicionar cuidadosamente 2,5 mL de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  gelado (inclusive no branco) e agitar. Adicionar 0,5 mL de DNPH 2% ao branco e agitar. Ler a absorbância a 540 nm.

Uma solução padrão de ácido ascórbico (AA) com 100 mg de ácido ascórbico em 100 mL de solução ácida de  $\text{HPO}_3$  6%, contendo ácido acético 2 N, deve ser preparada para a curva de calibração (TERADA et al., 1979). A curva de calibração é obtida com os dados da Tabela 8.

**Tabela 8.** Dados para a obtenção da curva de calibração de vitamina C.

Concentração de AA ( $\mu\text{g} / \text{mL}$ )	Volume da solução padrão de AA ( $\mu\text{L}$ )	Volume da solução ácida de $\text{HPO}_3$ 6% contendo ácido acético 2 N (mL)	Absorbância a 540 nm
5	50	9,95	
10	100	9,9	
20	200	9,8	
30	300	9,7	
40	400	9,6	
60	600	9,4	

### ***Açúcar redutor***

As aldoses (glicose) e cetoses (frutose) são açúcares redutores, capazes de reduzir compostos como o ácido 3,5 – dinitrosalicílico (DNS) no composto 3- amino, 5- nitrosalicilato.

### ***Preparação do reagente DNS***

Solução A: pesar 2,5 g de DNS e adicionar 50 mL de NaOH 2N (deve ser realizado num béquer de 500 mL).

Solução B: pesar 75 g de tartarato de sódio e potássio, adicionar 125 mL de água destilada. Agitar sob aquecimento até dissolução total.

Adicionar a solução B sobre a solução A, homogeneizar sob aquecimento até dissolver completamente. Depois de resfriada a mistura, completar o volume da solução para 250 mL.

### ***Preparação da curva de calibração***

Preparar uma solução de glicose 10 mM (0,450 g de glicose/250 mL de solução). A curva de calibração é obtida com os dados da Tabela 9.

**Tabela 9.** Dados para a obtenção da curva de calibração de açúcar redutor.

Tubo	Volume (mL) da solução de glicose 10 mM	Glicose contida em cada tubo (mg)	Volume (mL) de água destilada	Volume (mL) do reagente DNS	Absorbância a 540 nm
0 (branco)	0,0	0,0	1,5	1,0	
1	0,2	0,360	1,3	1,0	
2	0,4	0,721	1,1	1,0	
3	0,6	1,081	0,9	1,0	
4	0,8	1,441	0,7	1,0	
5	1,0	1,802	0,5	1,0	

Após a adição do reagente DNS nos tubos (em triplicata), agitar e levar para banho fervente por 5 minutos. Deixar resfriar (banho de gelo). Adicionar 7,5 mL de água destilada e fazer a leitura da absorbância a 540 nm.

A curva de calibração é obtida com os valores de massa de glicose (mg) contida em cada tubo e os respectivos valores médios das absorbâncias (já subtraído o valor do branco) (MILLER, 1959).

### *Preparação da amostra*

Pesar 1 g da fruta-passa, macerar e diluir com 30 mL de água destilada. Transferir o macerado para um balão volumétrico de 50 mL (diluição de 50 vezes), completando o volume com água destilada e filtrar.

### *Ensaio*

Pipetar 1,5 mL do líquido do balão e transferir para tubos de ensaio (triplicata). Adicionar 1,0 mL do reagente DNS, agitar e levar para banho fervente por 5 minutos. Deixar resfriar (banho de gelo). Adicionar 7,5 mL de água destilada e fazer a leitura da absorbância a 540 nm. Fazer o branco da polpa (1,5 mL do líquido do balão + 8,5 mL de água). Com a curva padrão, encontrar a massa (mg) de açúcares redutores (AR) presentes em 1,5 mL.

### *Cálculos*

$$\begin{array}{r} 1 \text{ g de fruta-passa} \quad \text{----} \quad 50 \text{ mL} \\ X \quad \quad \quad \text{----} \quad 1,5 \text{ mL} \end{array}$$

X = 0,03 g de fruta-passa estão presentes em 1,5 mL

Resposta:

$$AR = \frac{\text{mg de AR}}{0,03 \text{ g}}$$

## Considerações Finais

A secagem é uma operação extremamente utilizada na conservação de alimentos, e tem sido utilizada por pequenos, médios e grandes agroindustriais na valoração econômica de frutas, hortaliças, farináceos, entre outros. A avaliação nutricional é importante como resposta às condições de secagem, sendo temperaturas altas e longos tempos de secagem os principais fatores responsáveis por essas perdas. Condições mais brandas de secagem podem ser obtidas em leite fluidizado, porém nem todas as matérias-primas estão sujeitas à fluidização. Quanto menores as perdas nutricionais, mais oneroso é o processo de secagem, sendo a liofilização a melhor operação para obter esse resultado. No entanto, ainda não pode ser utilizada por pequenos agroindustriais em virtude do elevado custo do equipamento.

## Referências

- AGUIRRE, J. M.; FILHO, J. G. **Desidratação de frutas e hortaliças**: manual técnico. Campinas, SP: Instituto de Tecnologia de Alimentos, 2002. 80 p.
- AOAC. **Official methods of analysis**. 16. ed. Arlington, 1997.
- ARAUJO, J. M. A. **Química de alimentos**: teoria e pratica. 2. ed. Viçosa, MG: Ed. UFV, 1999. 205 p.
- AZEREDO, H. M. C. **Fundamentos de estabilidade de alimentos**. Fortaleza, CE: Embrapa Agroindústria Tropical, 2004. 195 p.

BRASIL. Ministério da Saúde. Conselho Nacional de Saúde. Resolução nº 04, de 24 de novembro de 1988. Aprova a revisão das Tabelas I, III, IV e V referente a Aditivos Intencionais, bem como os Anexos I, II, III e VII, todas do Decreto nº 55.871, de 26 de março de 1995. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 19 dez. 1988, Seção 1, p. 24716-24723.

CARDOSO, F. F.; CELESTINO, S. M. C.; FARIA, D. A.; SIMÕES, C. de O.; VICENTINE, G. C.; BRANDÃO, L. de S.; ARAÚJO JÚNIOR, I. O. Produção de banana-passa e avaliação sensorial. In: ENCONTRO DE JOVENS TALENTOS DA EMBRAPA CERRADOS, 4., 2009, Planaltina, DF. **Resumos apresentados...** Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2009. p. 180-181. (Embrapa Cerrados. Documentos, 243).

CASTRO, A. G. A. **A Química e a reologia no processamento de alimentos**. Lisboa: Ciência e Técnica, 2003. 295 p.

CELESTINO, S. M. C. **Transferência de calor e massa em leito deslizante e escoamentos concorrentes: secagem de sementes de soja**. 1998. 81f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 1998.

CRUZ, A. C. **Desidratação de alimentos**. 2. ed. São Paulo: Globo, 1990. 207 p.

DIAS, C. M; MARQUES, W. M; BORGES, S. V; MANCINI, M. C. Efeito da secagem em leito de jorro bidimensional sobre as propriedades físicas e tecnológicas do feijão preto (*Phaseolus vulgaris*, L.). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 20, n. 3, p. 76-79, 2000.

FADINI, A. L.; SILVA, P. M. P. Isotermas de sorção de umidade e estudo de estabilidade de macadâmias drageadas, Brazilian. **Journal Food Technology**, v. 9, n. 2, p. 83-88, 2006.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ (São Paulo). **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 4. ed. São Paulo, 2005. 1020 p.

LABUZA, T. P. **Moisture sorption: practical aspects of isotherm measurement and use.**, St. Paul: American Association of Cereal Chemists, 1984. 74 p.

MSPC Engenharia. Disponível em: < <http://www.mspc.eng.br/termo/termod0430.shtml> >. Acesso em: 15 nov. 2009.

GAVA, A. J. **Princípios de tecnologia de alimentos**. São Paulo: Nobel, 2000. 200 p.

GEANKOPLIS, C. J. **Transport process and unit operations**. 3. ed. New Jersey: Prattice Hall, 1993. 921 p.

MARTINS, M. C. P; CUNHA, T. L; SILVA, M. R. Efeito das condições da desidratação osmótica na qualidade de passas de caju-do-cerrado. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, n. 3, p. 124-129, 2008.

MILLER, G. L. Use of dinitrosalicylic acid reagent for the determination of reducing sugar. **Analytical Chemistry**, v. 31, p. 426-428, 1959.

MOTTA LIMA, O. C.; ALVES, C. E. S.; PEREIRA, N. C.; MENDES, E. S. Isotermas de equilíbrio para celulose do tipo fibra longa. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA, 14. 2002. Natal. **Anais...** Natal, RN: ABEQ, 2002. 1 CD-ROM.

OKOS, M. R. **Physical and chemical properties of foods**. USA: ASAE Publication, 1986. 407 p.

RESENDE, O.; CORRÊA, P. C.; GONELI, A. L. D.; RIBEIRO, D. M. Isotermas e calor isostérico de sorção do feijão. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 26, n. 3, p. 219-225, 2006.

SOLAR. Disponível em: <<http://www.ediurb.sites.uol.com.br/solar.htm>>. Acesso em: 05 set. 2009.

SOUSA, P. H. M. Goiabas desidratadas osmoticamente seguidas de secagem em estufa. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 25, n. 3, p. 414-416, 2003.

SPRAY. Disponível em: <<http://br.spray.com>>. Acesso em: 10 set. 2009.

TELIS-ROMERO, J. Enthalpy-entropy compensation based on isotherms of mango. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 25, n. 2, 297-303, 2005.

TEIXEIRA NETO, R. O. Isotermas de sorção de umidade: técnicas de obtenção e aplicações. In: JARDIM, D. C. P.; GERMER, S. P. M. **Atividade de água em alimentos**. Campinas: Instituto de Tecnologia de Alimentos, 1997.

TERADA, M.; WATANABE, Y.; KUNITOMA, M.; HAYASHI, E. Differential rapid analysis ascorbic acid and ascorbic acid 2-sulfate by dinitrophenylhydrazine method. **Annals of Biochemistry**, v. 4, p. 604-608, 1979.

TSOUROUFLIS, S.; FLINK, J. M.; KAREL, M. Loss of structure in freeze-dried carbohydrates solutions: effect of temperature, moisture content and composition. **Journal Science Food Agriculture**, v. 27, p. 509-519, 1976.



# Beginnings of Drying of Foods

---

## Abstract

*The drying is an operation very used in the reduction of the losses post-harvest and conservation of foods. This work presents basic concepts involved in a drying process (varied of the psicrometric diagram, content of water, activity of water, balance humidity) and specific concepts (isotherms, molecular monolayer). Those varied make possible the forecasts of the value of the balance humidity of a food, in certain conditions of relative humidity and temperature of the air, and of the value of the content of water for the maximum stability of a dehydrated product. Treatments predrying are also presented as alternatives for the reduction of the nutritional losses and sensory modifications happened during the processes of natural and artificial drying. In spite of the advantages of the drying in the conservation of foods, that provokes chemical and physical changes that affect the quality of the dehydrated product, in that work the main factors of deterioration of a food in a drying operation are presented. The fruit-raisin (banana and cashew fruit) production and the analyses for the assurance of the technological quality of those products are presented in the final part of the work.*

*Index terms: drying, activity of water, balance humidity.*