

Universidade de São Paulo
Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos
Curso: Engenharia de Alimentos




PROCESSAMENTO E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS (ZEA 0567)



**AULA 7:
CONSERVAÇÃO ATRAVÉS DO CONTROLE DA UMIDADE**

Profa. Fernanda M. Vanin

1

RECAPITULANDO ...

Quais são as alternativas utilizadas para aumentar a vida útil dos alimentos?

Destruição microbiana

- ↑ temperatura: branqueamento, pasteurização, esterilização
- radiação: radiações ionizantes
- ↓ a_w: concentração, desidratação, liofilização
- ↓ O₂ ↑ CO₂

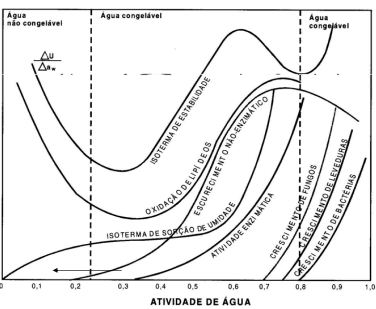
Impede/controla crescimento microbiano

- ↓ temperatura: refrigeração, congelamento
- fermentação
- + conservante/antioxidante/antimicrobiano

2

RECAPITULANDO ...

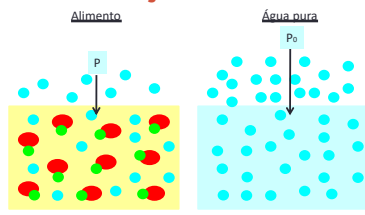
Diagrama de estabilidade dos alimentos



$a_w = \frac{P}{P_0} = \frac{URE}{100}$

3

Desidratação



$P < P_0$ (na mesma T), pois o alimento possui ↓ [água disponível], diminuindo sua P de vapor.

• Água livre
• Água ligada
• Outros constituintes do alimento

Funciona como solvente, permitindo o crescimento dos microrganismos e reações químicas. É eliminada com relativa facilidade.

Mais difícil de ser eliminada, não é utilizada como solvente e não permite o desenvolvimento de microrganismos, além de retardar as reações químicas.

4

Desidratação

Conteúdo de água aproximado em alimentos "in natura"

ALIMENTOS	% H ₂ O
Frutas: Laranja	90
Melancia	95
Banana	75
Morango	90
Abacate	70
Vegetais: Brócolis	85
Cenoura	85
Repolho	90
Batata	80
Carne	50 - 75
Peixe	70 - 80
Leite	85 - 90
Ovo	70 - 75

5

Desidratação

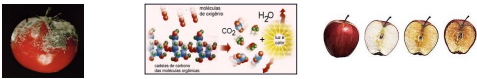
Ação

Objetivo principal

Secagem ou Desidratação

↓ X_{BU} / a_w

↓ microrganismos ↓ respiração de vegetais ↓ reações químicas e enzimáticas



6

Desidratação



Vantagens

- ↓ volume e peso
- ↑ vida de prateleira
- custo do processo relativamente ↓\$
- permite armazenamento > ↑ †
- permite consumo em períodos fora de safra
- conservação sem aditivos (em alguns casos)

7

Desidratação



Desvantagens

- ↓ valor nutricional
- alteração sabor e textura original
- T é insuficiente para destruir microrganismos e inativar enzimas, qualquer ↑ aw no armazenamento pode resultar em deterioração
- nenhum esporo patogênico no alimento é destruído (pode representar perigo se o alimento for consumido sem ser cozido)

8

Desidratação



Aplicações

- chá
- nozes
- massa
- farinhas
- leite em pó
- leguminosas
- café instantâneo
- alimentos infantis
- cereais matinais
- sopas instantâneas
- condimentos e temperos
- enzimas
- maltodextrina
- purê de carne seca
- isolado proteico de soja
- frutas e hortaliças em pó
- aromas e corantes encapsulados
- lactose, sacarose ou frutose em pó

9

Desidratação

conteúdo de Umidade (ou água)

- É uma das determinações mais utilizadas em



- Umidade em base úmida (U_{bu})

$$U_{bu} = \frac{m_{H_2O}}{m_t} \cdot 100$$

"Teor de umidade é a relação percentual entre a quantidade de água e a quantidade total de produto"

U_{bu} = teor de umidade, em base úmida, %;
 m_{H_2O} = massa de água contida no produto, kg;
 m_t = massa total do produto



$$m_t = m_{ms} + m_{H_2O}$$

10

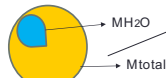
Desidratação



Aspectos Teóricos

$$U_{bu} = \frac{m_{H_2O}}{m_t} \cdot 100$$

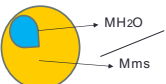
U_{bu} = teor de umidade, em base úmida, %;
 m_{H_2O} = massa de água contida no produto, kg;
 m_t = massa total do produto



"umidade (U_{bu}) é a relação percentual entre a quantidade de água e a quantidade total de produto"

$$U_{bs} = \frac{m_{H_2O}}{m_{ms}}$$

U_{bs} = teor de umidade, em base seca, decimal;
 m_{ms} = massa de matéria seca, kg.



"umidade (U_{bs}) é a relação percentual entre a quantidade de água e a quantidade de massa seca do produto"

11

Desidratação



- Exemplo 1 - Uma carga de maçã de 32 toneladas apresenta umidade de 85 g de água/100 g de produto. Após a secagem, as maçãs apresentam massa final de 7 toneladas.

- Calcular a massa de água inicial, de matéria seca da carga e umidade final.

- $m_{H_2O i} = 27,2 \text{ t}$
- $m_{MS} = 32 - 27,2 = 4,8 \text{ t}$
- $U_{bu f} = 31\%$

$$U_{bu} = \frac{m_{H_2O}}{m_t} \cdot 100$$

U_{bu} = teor de umidade, em base úmida, %;
 m_{H_2O} = massa de água contida no produto, kg;
 m_t = massa total do produto



12

Desidratação



- Exemplo 2 - Determine a massa de água que será removida de um lote de 32 toneladas de milho com umidade inicial de 27% e que será seco até 13% de umidade.

- $m_{H_2O\ i} = 8,64\ t$
- $m_{MS} = 23,36\ t$
- $m_{H_2O\ f} = 3,49\ t$
- $m_{H_2O\ rv.} = 8,64 - 3,49 = 5,15\ t$

$$U_{bu} = \frac{m_{H_2O}}{m_t} \cdot 100$$

U_{bu} = teor de umidade, em base úmida, %;
 m_{H_2O} = massa de água contida no produto, kg;
 m_t = massa total do produto



13

Secagem e desidratação



Métodos de secagem

⇒ **AR QUENTE (CONVECÇÃO)**: o calor fornecido por contato direto com o ar quente à pressão atmosférica e o vapor formado é eliminado por meio deste mesmo ar

⇒ **CONTATO EM SUPERFÍCIE AQUECIDA (CONDUÇÃO)**: o calor é fornecido indiretamente por contato com uma parede metálica

⇒ **POR CONGELAMENTO (LIOFILIZAÇÃO)**: a água se sublima diretamente a partir do material congelado

⇒ **MICROONDAS**

14

Secagem e desidratação

Tipos de secadores

- Natureza do produto
- Característica do produto final
- Fator econômico
- Condições de operação

1) **SECADORES ADIABÁTICOS**: o calor é conduzido por meio de ar quente: secador de cabine ou bandejas, de túnel, rotativo, atomizador ("spray dryer"), leito fluidizado, fornos secadores.

2) **TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR SUPERFÍCIE SÓLIDA**: geralmente trabalha-se com vácuo: secador de tambor ("drum-drier") e outros secadores a vácuo.

3) **LIOFILIZAÇÃO**: é um sistema especial de secagem (com congelamento e sob vácuo).

15

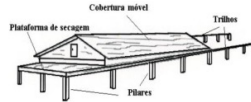
Desidratação



Equipamentos (ar quente) - secador solar



Vista geral de um terreiro de concreto para secagem de café.



Secador barcaça ou de plataforma.

(Silva, et al, 2008)



Vista geral dos secadores solares rotativos (UFV-JPCI).

16

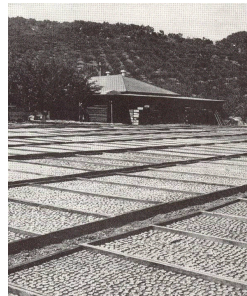
Desidratação



Equipamentos (ar quente) - secador solar



Secagem de damascos ao Sol



17

Desidratação



Equipamentos (ar quente) - secador solar



18

Desidratação



Equipamentos (ar quente) - secador solar

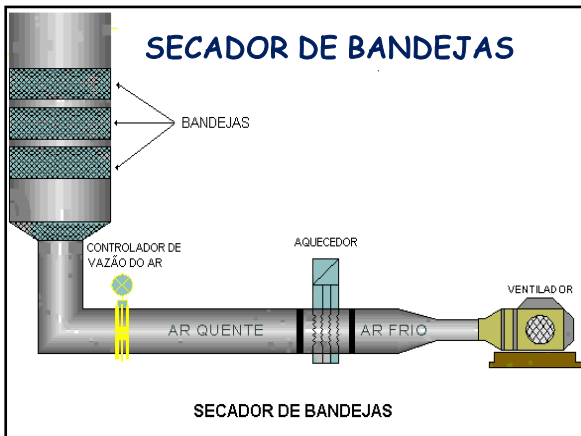


19

Secagem Solar

- Brasil: alta incidência de luz solar no solo
- Dois tipos de processo:
 1. Exposição direta aos raios solares e condições do ar ambiente
 2. Utilização de equipamentos com coletor solar
- Economia de energia e material de construção
- Fácil manuseio
- Produto exposto ao ar ambiente por longos períodos ⇒ qualidade inferior

20



21

Desidratação



Equipamentos (ar quente) - secador de bandejas



22

Desidratação

Equipamentos (ar quente) - secador de bandejas

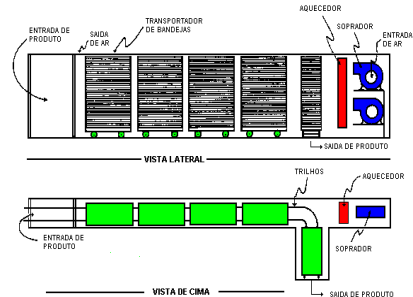
- T de secagem → 50° – 70°C;
- Velocidade do ar → 1,5 – 5,0 m/s
- Uniformização do produto final;
- Cabina secadora: fácil manutenção e flexibilidade
- Utilização: pesquisas de desidratação de frutas e hortaliças, e operações comerciais de pequena escala.
- 1 a 20ton/ dia

23

Desidratação



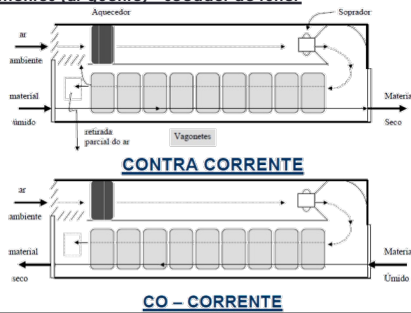
Equipamentos (ar quente) - secador de túnel



24

Desidratação

Equipamentos (ar quente) - secador de túnel



25

SECADOR DE TÚNEL

- Túneis (10-15m) e vagonetes com matéria-prima.
- Secagem: ar quente em fluxo concorrente ou contracorrente.
- Fluxo paralelo: ar mais quente → com produto mais úmido.
- Fluxo contracorrente: ar mais quente → com produto mais seco → em geral → maior tempo/melhor eficiência térmica.
- Fluxo combinado: 1º paralelo + 2º contracorrente

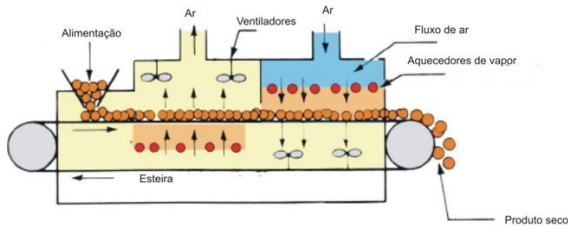
Velocidade de secagem é afetada por (comum aos processos de secagem com ar):

- propriedades do ar (T, %UR, velocidade de ar)
- propriedades da matéria-prima
 - (tipo e variedade, Aw, tamanho e porosidade)
- do teor de umidade que será removida **Utilização:**
 - frutos
 - hortaliças (cebola, alho, etc)
 - massas alimentícias

26

Desidratação

Equipamentos (ar quente) - secador de esteira



27

Desidratação

Equipamentos (ar quente) - secador de esteira

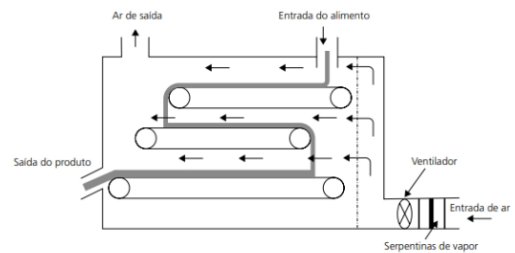


FIGURA 14.6 Secador de esteira de três estágios.

(Fellows, 2019)

28

Desidratação

Equipamentos (ar quente) - secador de esteira

- até 20 m de comprimento e 3 m de largura;
- alimento desidratado em uma esteira perfurada com $\delta = 5-15$ cm
- fluxo do ar de secagem transversal (+ comum), inicialmente para cima através do leito do alimento e para baixo nos estágios finais
- 2 ou 3 estágios usam leitos + profundos (15-25 cm e 250-900 cm), ↑ uniformidade secagem e economiza espaço no chão

Vantagens: bom controle sobre as condições de secagem e ↑ taxas de produção (até 5,5 t/h)

Aplicação: secagem de frutas e hortaliças em grande escala

29

Desidratação

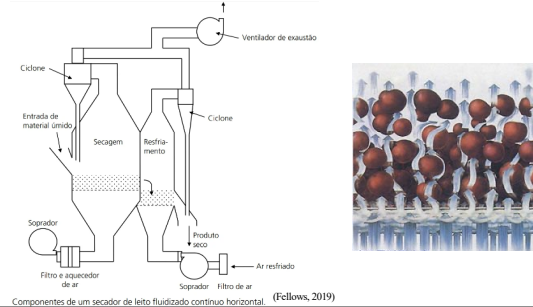
Equipamentos (ar quente) - secador de esteira

- Transporte contínuo de material → esteira aço inoxidável.
- Fluxo do ar de secagem: concorrente, contracorrente, ou transversal (+ comum)
- Usado principalmente para produtos sólidos, mas pode também ser utilizado para líquidos.

30

Desidratação

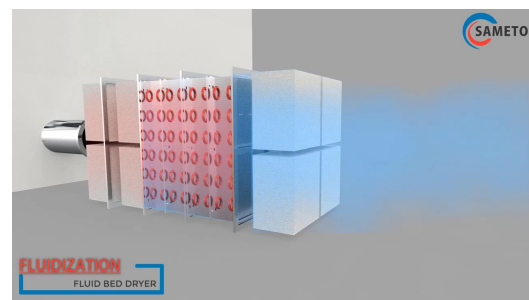
Equipamentos (ar quente) - secador de leito fluidizado



31

Desidratação

Equipamentos (ar quente) - secador de leito fluidizado



32

Desidratação

Equipamentos (ar quente) - secador de leito fluidizado



33

Desidratação

Equipamentos (ar quente) - secador de leito fluidizado

- sistema de secagem com esteira ou bandeja perfurada que contém um leito de alimentos particulados (5 até 15 cm);
- ar quente é soprado através do leito em \uparrow velocidade levando o alimento a ficar vigorosamente agitado em suspensão (fluidizado), expondo a máxima A sup. do alimento para a secagem;
- ar proveniente do leito fluidizado é filtrado em ciclones para separar partículas finas arrastadas pelo ar

Aplicações: limitada para alimentos pequenos e particulados que são fluidizados sem excesso de danos mecânicos (grãos, ervilha, feijão, café, trigo, aveia, batata em grânulos, cenoura, cebola, carne em cubos, farinhas em geral)

34

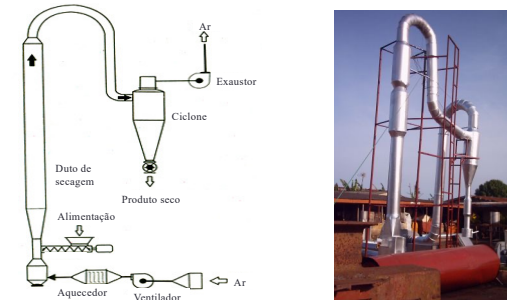
Desidratação

- Sistema de secagem com esteira ou bandeja perfurada.
- Aplicação limitada → o alimento deve ser suspenso em ar quente.
- Principal característica: alta velocidade do ar.
- Aplicações: batata em grânulos, ervilha, cenoura, cebola, carne em cubos, farinhas em geral.

35

Desidratação

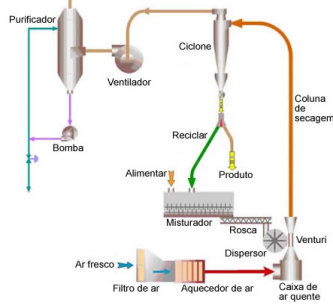
Equipamentos (ar quente) - secador pneumático



36

Desidratação

Equipamentos (ar quente) - secador pneumático



37

Desidratação

Equipamentos (ar quente) - secador pneumático

• "Flash dryers"

- princípio similar ao leito fluidizado: convecção forçada
- alimentos introduzidos em tubulações e suspensos em ar quente de alta velocidade; o ar que transporta também seca
- partículas leves e menores (secam + rápido) são carregadas até um filtro ou ciclone + rápido que partículas pesadas e úmidas
- comprimento dos dutos ajustado para que o tempo de permanência do produto seja o adequado para a sua secagem (colunas em série ou recirculação)

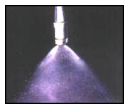
Aplicação: coco ralado, grãos em geral, leite ou ovos em pó, grânulos de batatas, pastas, géis, polpas ou materiais gordurosos; finalizar a secagem de produtos parcialmente desidratados



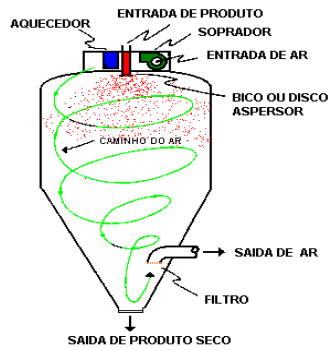
38

Desidratação

Equipamentos (ar quente) - secador atomizador



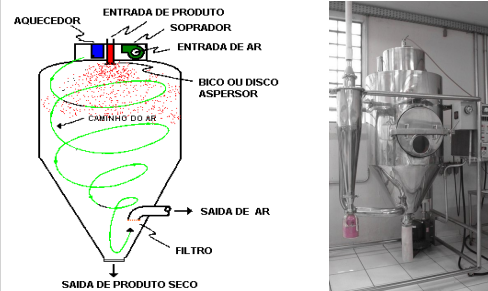
Bico atomizador



39

Desidratação

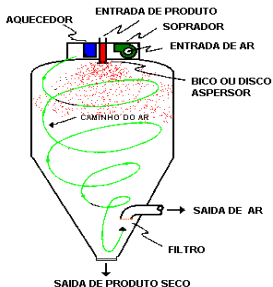
Equipamentos (ar quente) - secador atomizador



40

Desidratação

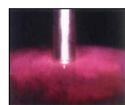
Equipamentos (ar quente) - secador atomizador



Pulverização: bicos ou discos atomizadores



- Bico atomizador
- forçado a ↑ P
- 700 a 2.000 kPa
- 180-250 µm



- Disco atomizador
- sistema centrifugo
- 90-200 m/s
- 50-60 µm

41

Desidratação

Equipamentos (ar quente) - secador atomizador

1º o produto é concentrado em um evaporador

↓
 Produto é atomizado dentro câmara secagem, forçando-o através de um bico p/ subdivisão do líquido em gotículas

↓
 Contato do líquido e Secagem com ar quente forçado através da câmara

↓
 Separação produto e ar (remoção pó da câmara)

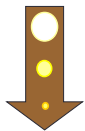
↓
 Resfriamento e embalagem do produto

42

Desidratação

Equipamentos (ar quente) - secador atomizador

- o ar fornece calor para evaporação da água e a carrega
- descida ao longo da câmara secagem



gota líquida de **X ml** com **Y g** de sólidos
(40-70% de água)

gota (sólido úmido) < volume com **Y g** sólidos

partícula de pó com **Y g** sólidos
(2-3% de água)

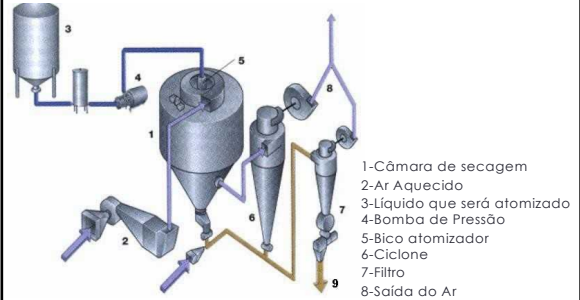
- operações adicionais podem ser utilizadas para permitir um produto que irá dissolver rapidamente



43

Desidratação

Equipamentos (ar quente) - secador atomizador



44

Desidratação

Equipamentos (ar quente) - secador atomizador

- atomização, pulverização ou "spray-drying";
- líquido atomizado recebe fluxo de ar quente em paralelo (materiais sensíveis ao calor) ou contracorrente (confere ↓ umidade final)
- μ material e presença de partículas determinam atomizador (bico e disco acoplados na mesma câmara de secagem)
- rápida evaporação da água permite manter ↓ T das partículas; assim a ↑ Tar (150-300 °C) não afeta o produto (40-50 °C)
- líquido ou pasta transforma-se em produto seco em ↓ t (1-30 s), pela ↑ A sup. das gotículas

Aplicações: leite, ovos, café, cacau, chá, mistura para sorvete, manteiga, creme e iogurte em pó, substitutos de leite, sucos de fruta, extratos de carne e levedura etc.



45

Desidratação

Equipamentos (ar quente) - secador atomizador

Vantagens ☺

- rápida secagem
- ↓ custos de mão de obra
- ↑ qualidade dos produtos
- produção contínua em grande escala
- controle, operação e manutenção relativamente simples

Desvantagens ☹

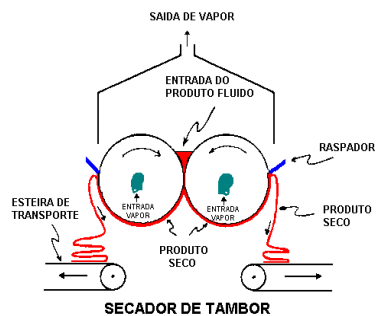
- ↑ perda de voláteis
- ↑ altos custos de investimento
- necessidade de ↑ umidade na alimentação, que ↑ custos de energia para remover a umidade



46

Desidratação

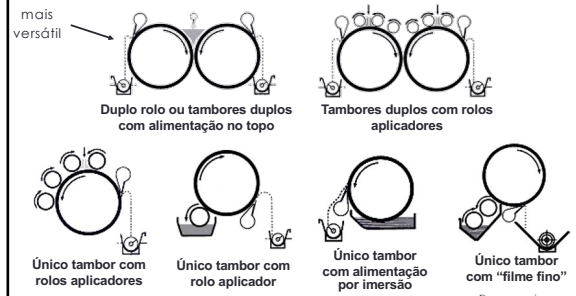
Equipamentos (superfície aquecida) - secador de tambor



47

Desidratação

Equipamentos (superfície aquecida) - secador de tambor



48

Desidratação



Aspectos Teóricos

- Secagem usando superfície aquecida:
 - calor conduzido da superfície quente através da pasta do alimento para evaporar umidade da superfície exposta
 - principal resistência à TC é a k alimento
 - resistência adicional surge se o alimento parcialmente seco se ergue da superfície quente formando uma barreira de ar entre o alimento e a superfície quente
 - necessário conhecimento das propriedades reológicas do alimento para determinar δ ideal da camada e o modo de aplicação à superfície aquecida

49

Desidratação



Equipamentos (superfície aquecida)

- 3 vantagens principais com relação aos secadores com ar quente:
- não é necessário aquecer \uparrow quantidade de ar antes da secagem (\uparrow eficiência energética)
 - produzem \downarrow quantidade de ar de exaustão com poucas partículas entranhadas (\downarrow custo de limpeza do ar antes da liberação para o ambiente)
 - secagem pode ser feita na ausência de O_2 , sob vácuo ou em atmosfera de N_2 (protege componentes dos alimentos que são facilmente oxidados)

50

Desidratação



Equipamentos (superfície aquecida) - secador de tambor

- processo chamado secagem em tambor ("drum drying"), em rolos ("roller drying") ou em filmes ("film drying")
- 1 ou 2 tambores com $D = 0,5-1,5$ m, $L = 2-5$ m, aquecidos internamente com vapor ($120-170$ °C), a P atm. ou sob vácuo
- produto aplicado ao tambor quente em uma fina camada, que seca com uma volta (20 s a 30 min), por mergulho, borifo, espalhamento ou rolos de alimentação auxiliares
- camada fina necessária para conduzir calor sem causar danos
- película seca removida por uma espátula e moída para dar ao produto final a forma de um pó fino

Aplicações: cereais matinais, polpas de frutas, produtos lácteos, levedura desidratada, alimentos para bebês, purê de batata desidratado etc.

51

Desidratação



Equipamentos (superfície aquecida) - secador de tambor

- Vantagens ☺
- requer \downarrow espaço
 - \uparrow taxa de secagem
 - + econômico que o secador "Spray" (para pequenos volumes)
- Desvantagens ☹
- TC limita a taxa de produção
 - produto seco pode ter um sabor queimado
 - solubilidade é $<$ devido à desnaturação protéica.
 - \uparrow custo investimento com tambores forjados com precisão

52

Desidratação



Aspectos Teóricos

- Liofilização/ Criosecagem:

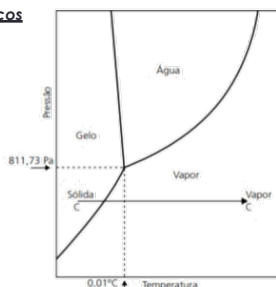


FIGURA 23.2 Diagrama de fase para água mostrando a sublimação do gelo. (Fellows, 2019)

53

Desidratação



Equipamentos (liofilização)

- processo a \downarrow T, sob vácuo evita modificações indesejáveis que podem ocorrer nos demais processos de secagem:
- desnaturação de proteínas
- perda de compostos voláteis
- contração dos produtos sólidos
- formação de crosta na superfície
- migração de sólidos solúveis para a superfície
- dificuldade de reidratação devido aos fatores acima

54

Desidratação



Equipamentos (liofilização)

- Aplicações:
- cogumelos
 - café solúvel
 - sucos de frutas
 - ervas e especiarias
 - morangos e framboesas
 - carnes, frutos do mar ou hortaliças
 - refeições para campistas, militares ou voos espaciais
 - alimentos de ↑ valor agregado com texturas ou aromas delicados
 - iogurte e creme de leite fresco liofilizados para utilizar em cereais matinais, confeitos e como cobertura para sobremesas

55

Desidratação



Equipamentos (liofilização)

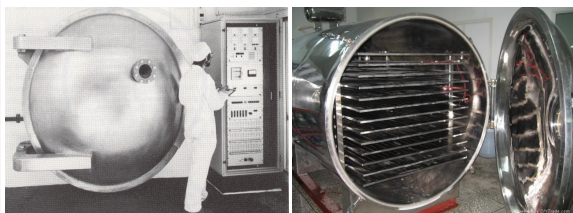
- Vantagens ☺
- preservação de nutrientes
 - preservação de aroma e sabor
 - ↓ alteração na estrutura do produto
 - melhor e + rápida reidratação (reidratação completa)
- Desvantagens ☹
- ↑ custo do equipamento e operação (lenta, ↓ T e vácuo)

56

Desidratação



Equipamentos (liofilização)



57

Desidratação



Equipamentos (liofilização)

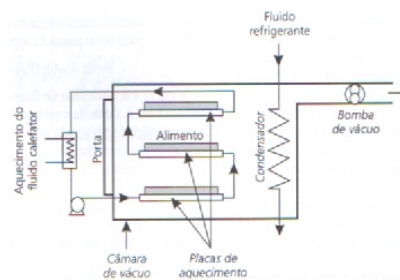


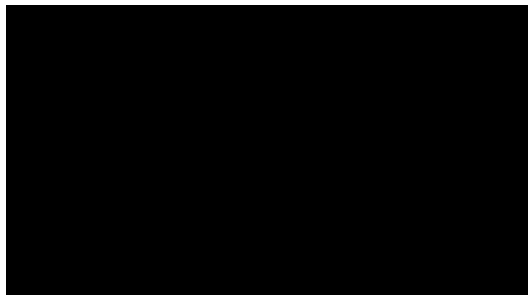
Figura 11.35 Principais componentes do liofilizador. (Október, 2005)

58

Desidratação



Equipamentos (liofilização)



59

Desidratação



Custo de Secagem

Secador	Consumo (Kw / Kg água removida)
Secagem em tambor	1,25
Pneumática	1,8
Spray-dryer	2,5
Leito fluidizado	3,5

60

Desidratação



Efeito sobre Alimentos

- ↓ qualidade quando comparado ao alimento fresco; objetivo é ↓ mudanças e ↑ eficiência do processo
- Textura:
 - ↑ μ alimento (fases de estados emborrachados e endurecidos até um estado sólido vítreo, irreversível, amorfo é obtido)
- alimento pode se tornar pegajoso, implicando no design dos secadores e das condições de operação, embalagem e armazenamento
- Δ umidade durante secagem propicia estresses internos que rompem e distorcem permanentemente células do alimento (aparência enrugada e murcha)