



**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**  
**ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA “LUIZ DE QUEIROZ”**  
Departamento de Agroindústria, Alimentos e Nutrição

**LAN 2662 – OPERAÇÕES UNITÁRIAS NO PROCESSAMENTO DE ALIMENTOS II**

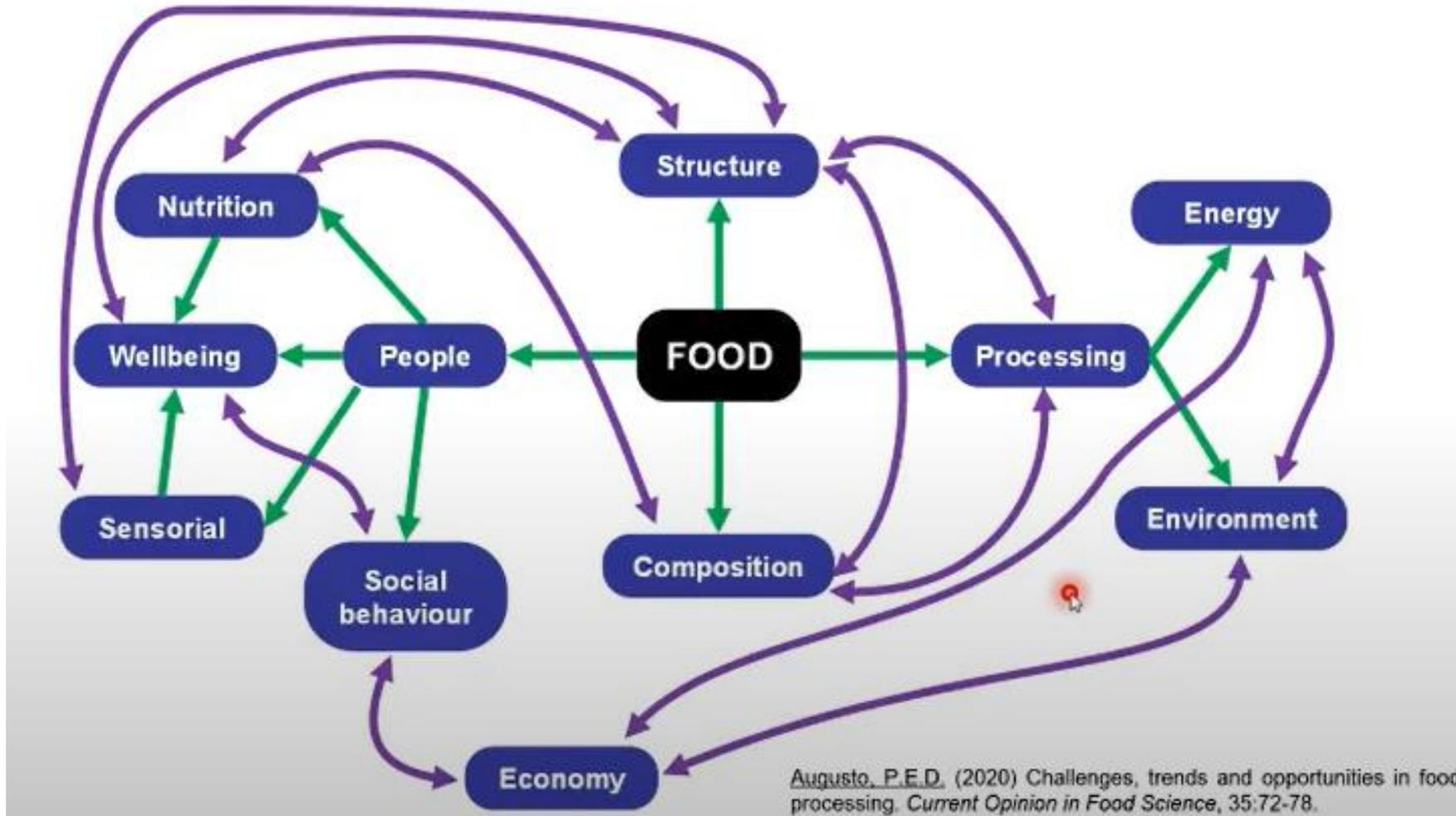
# **Estabilidade e conservação de alimentos**

Gabriela Feltre

# Alimentos



# Alimentos





# Estabilidade de Alimentos

## Alterações nos Alimentos

- ✓ Sensoriais;
- ✓ Segurança;
- ✓ Deterioração.

# Estabilidade de Alimentos

## Tipos de alterações

- ✓ Microrganismos;
- ✓ Enzimas;
- ✓ Reações físico-químicas.

# Enzimas

- ✓ São proteínas com funções específicas;
- ✓ Catalizadoras de reações químicas;
- ✓ Diversos tipos de reações enzimáticas em alimentos:
  - Escurecimento;
  - Separação de fases;
  - Alteração de sabor.

# Reações físico-químicas

- ✓ Reação de Maillard;
- ✓ Caramelização;
- ✓ Escurecimento do ácido ascórbico;
- ✓ Rancificação de lipídios;
- ✓ Absorção e perda de umidade.



# Reações físico-químicas

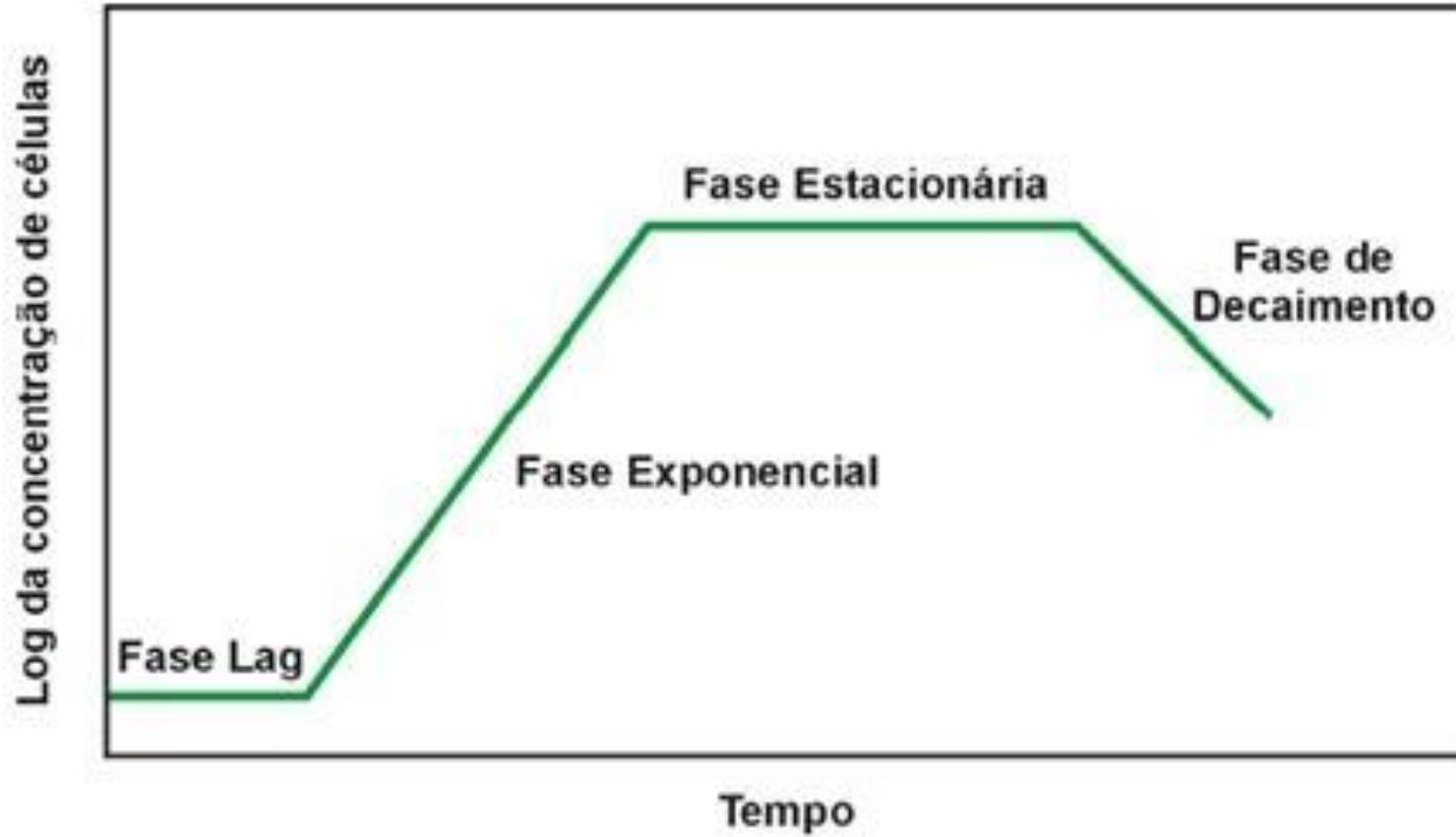


- ✓ Doce de leite;
- ✓ Reação de Maillard.



- ✓ Reação de Maillard;
- ✓ 3 anos
- ✓ Temperatura ambiente

# Microrganismos



# Microrganismos

$$\begin{aligned} &\text{Carga microbiana final} \\ &= \\ &\text{Carga microbiana inicial} \\ &+ \\ &\text{Desenvolvimento microbiano} \\ &- \\ &\text{Redução da carga microbiana} \end{aligned}$$



# Conservação de alimentos

pH

Tratamento  
térmico

Inativação microbiana

Refrigeração

Inativação enzimática

Congelamento

Alterações nutricionais

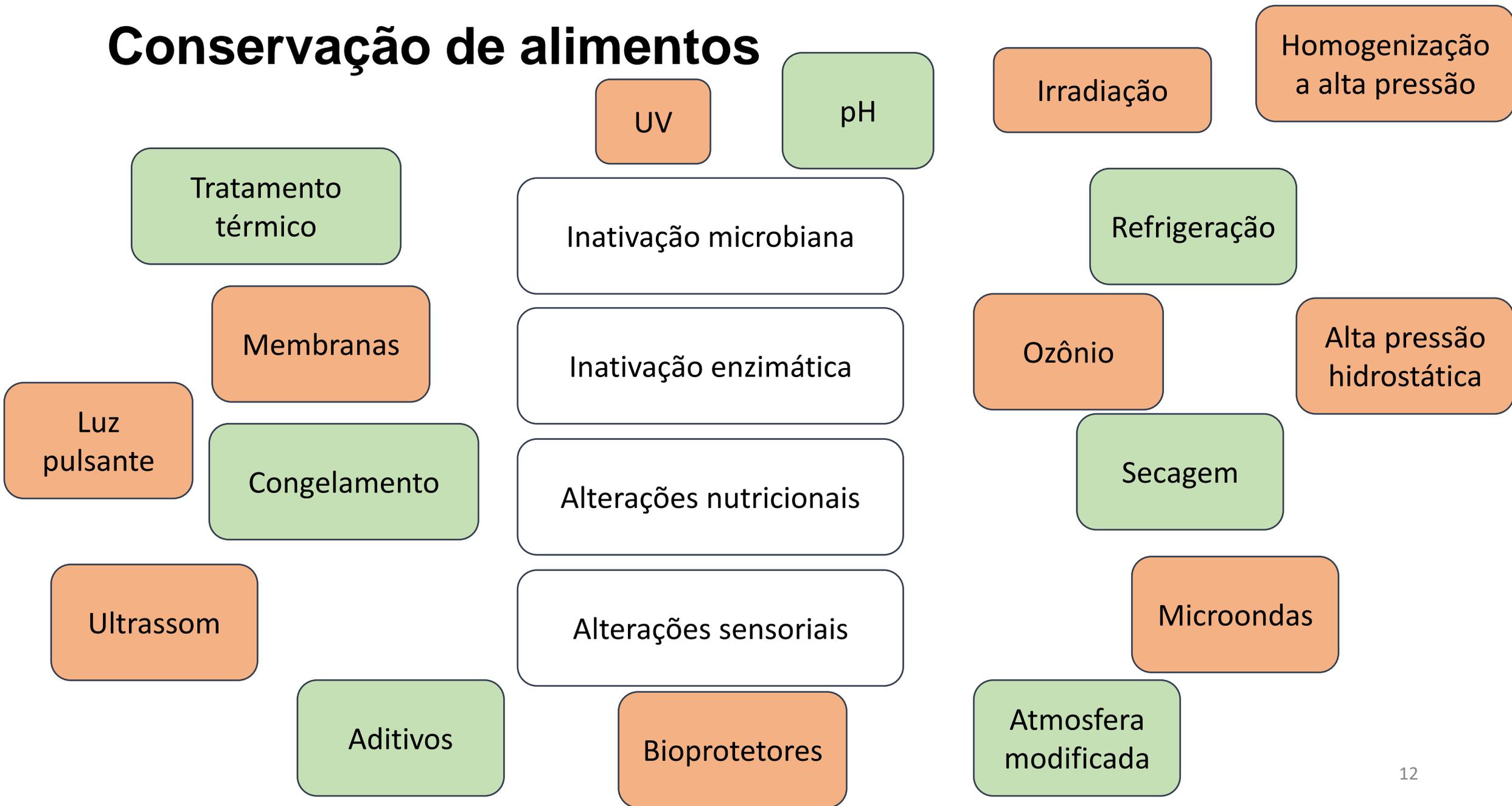
Secagem

Alterações sensoriais

Aditivos

Atmosfera  
modificada

# Conservação de alimentos



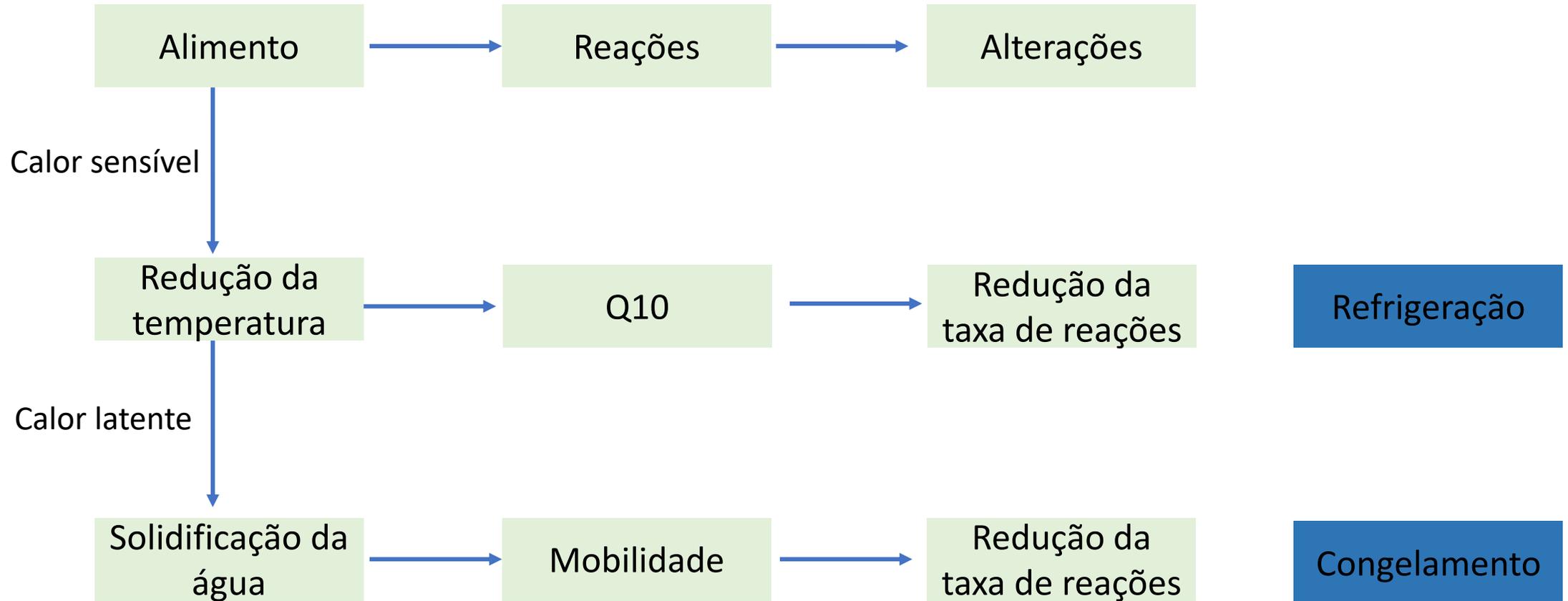


# Congelamento e refrigeração

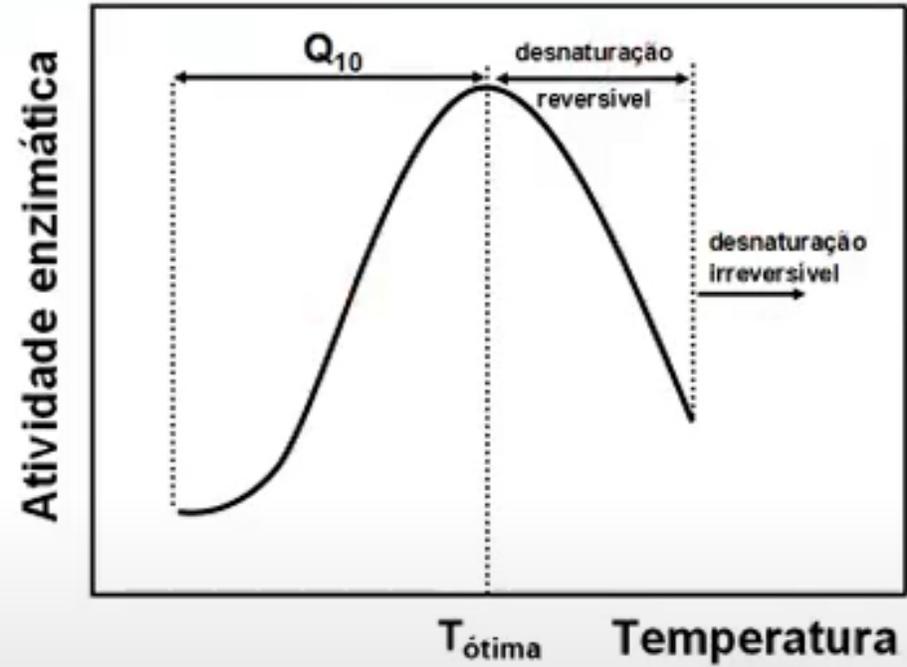
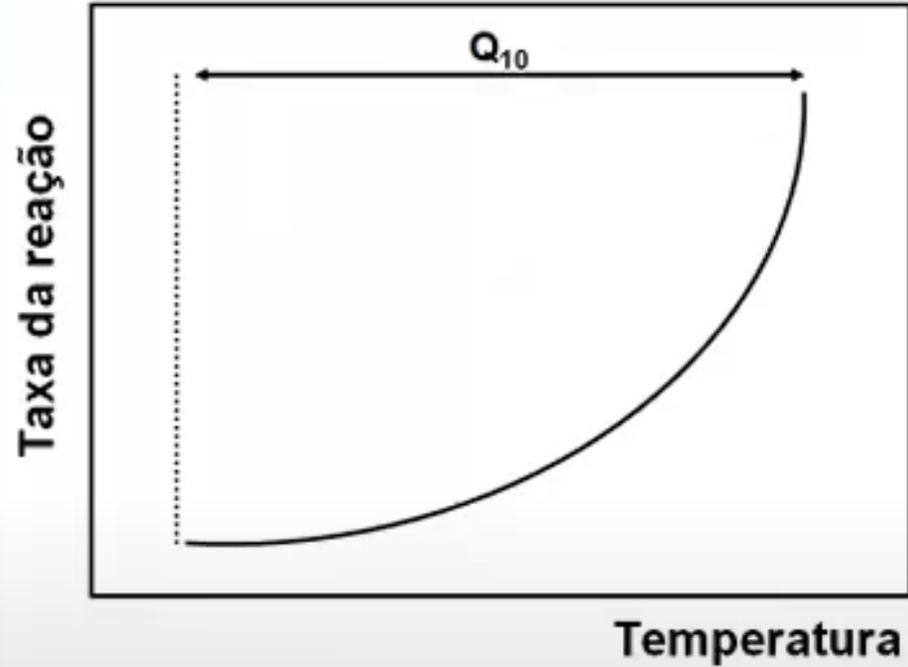
# Congelamento e refrigeração



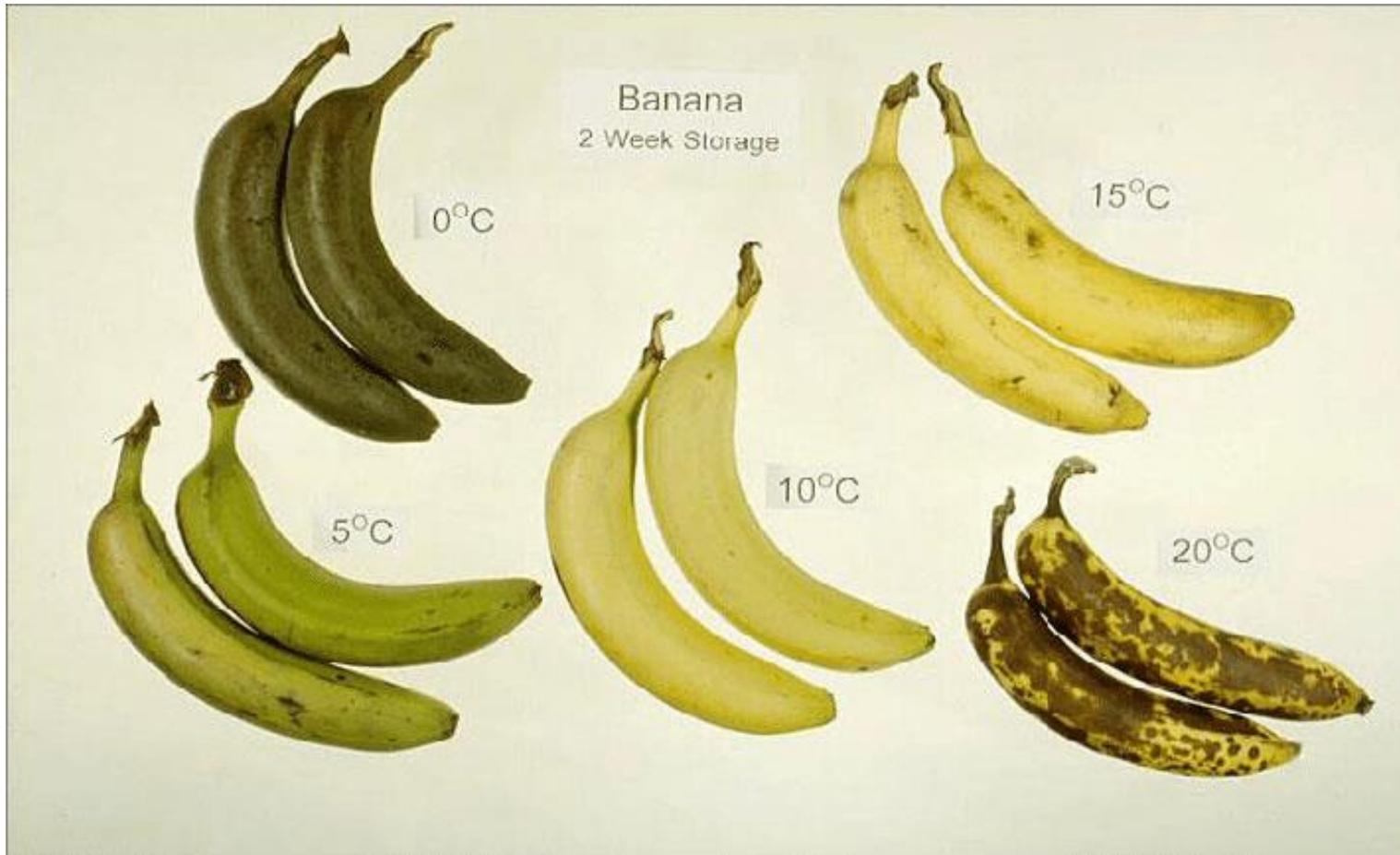
# Congelamento e refrigeração



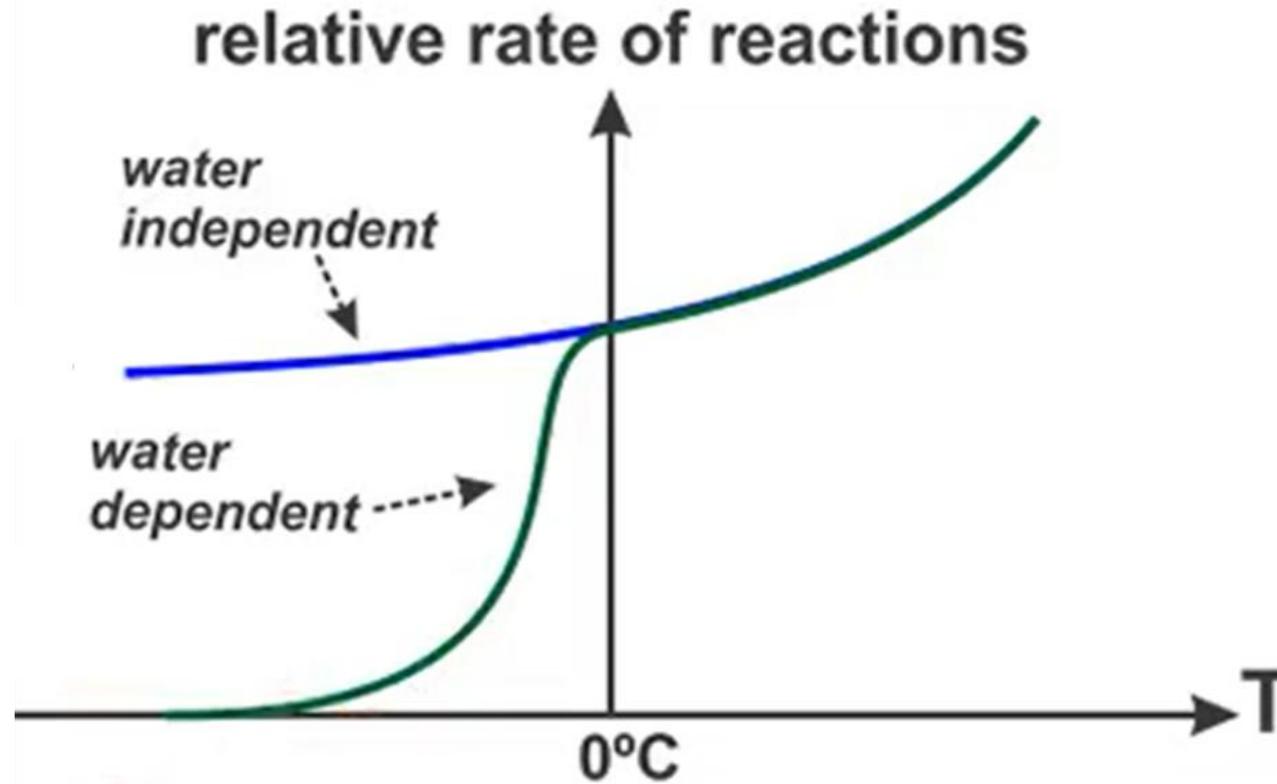
# Taxa de reação: Refrigeração



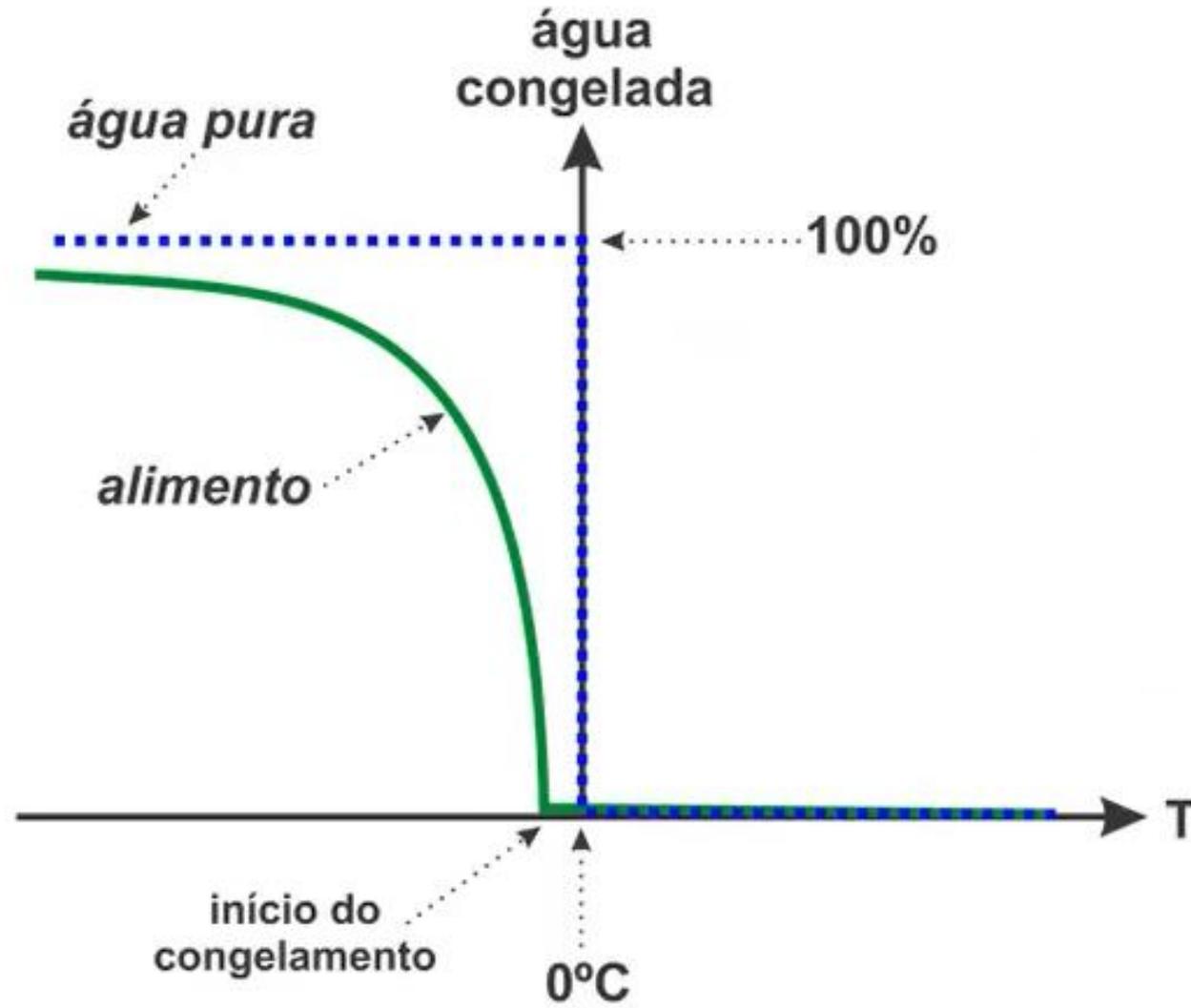
# Taxa de reação: Refrigeração



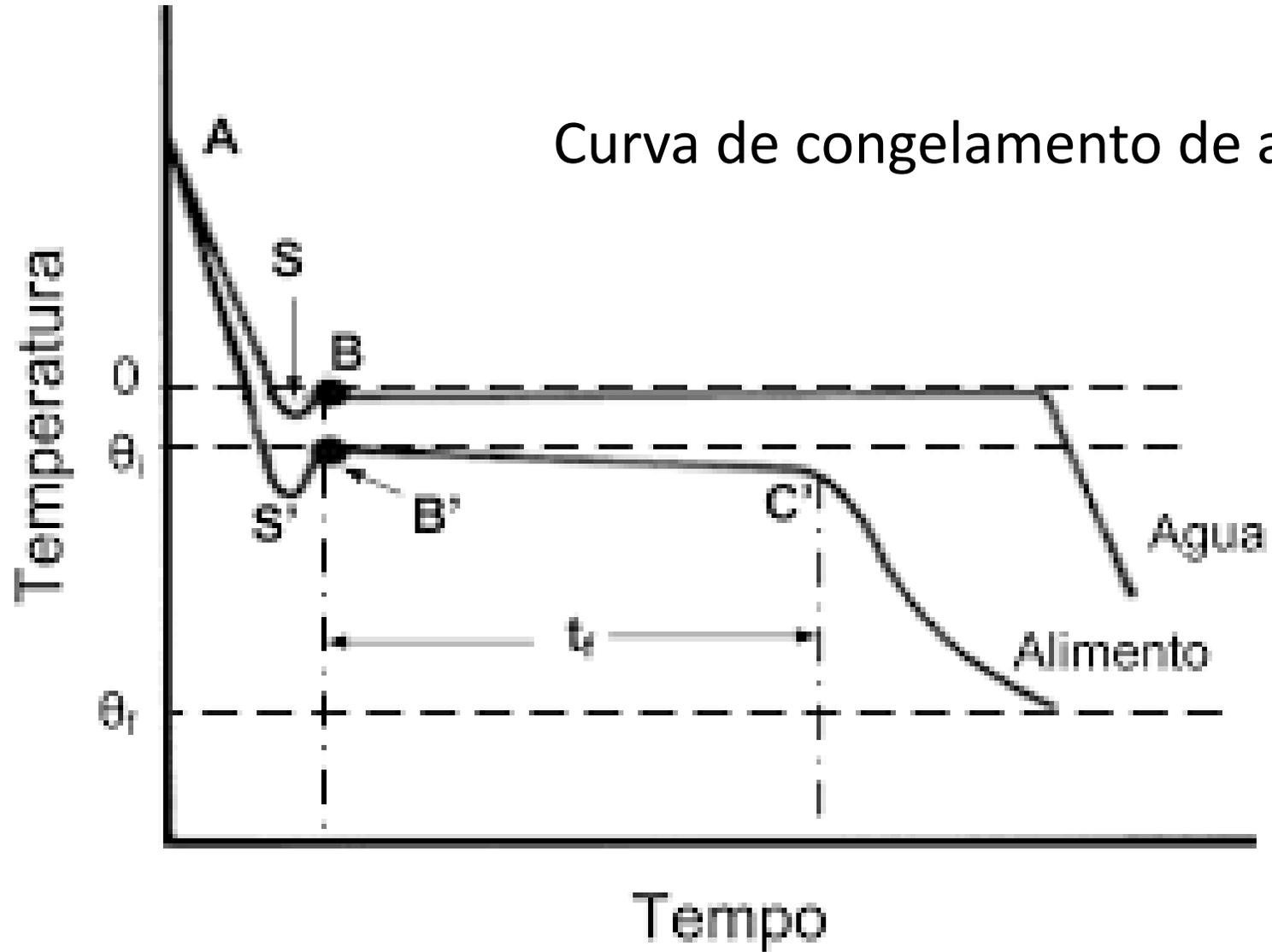
# Taxa de reação: Refrigeração e congelamento



# Congelamento de alimentos



# Curva de congelamento



# Tamanho e geometria dos cristais: um problema

<https://www.youtube.com/watch?v=pkS0VeMK4qk>

Geometria



# Tamanho e geometria dos cristais: um problema

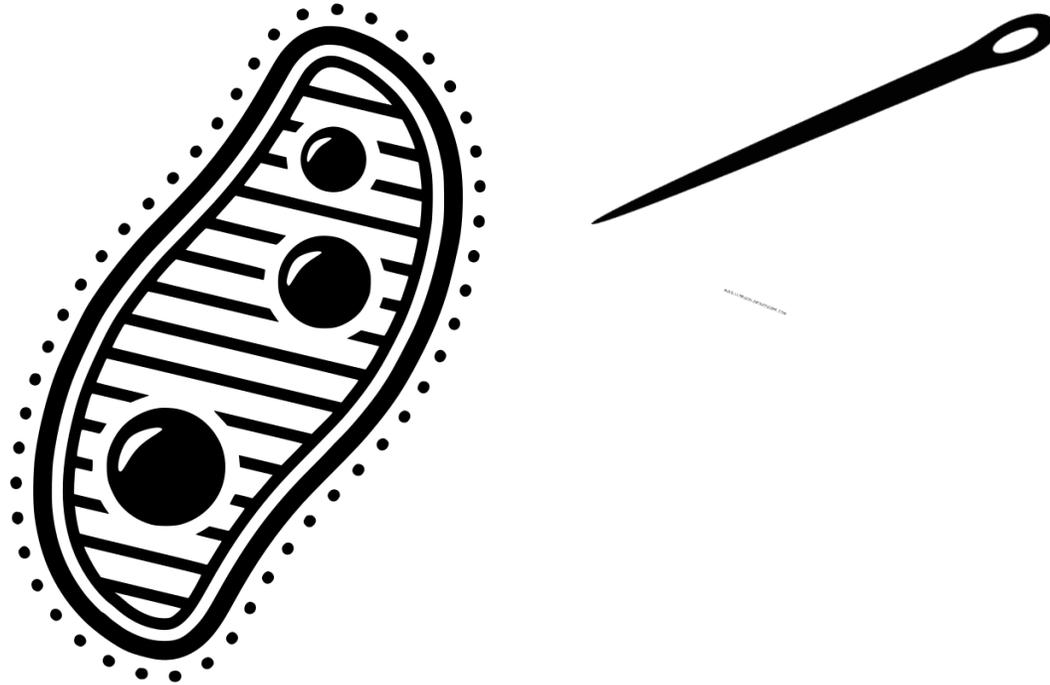
## Tamanho



**O tamanho dos cristais afeta a qualidade dos alimentos**

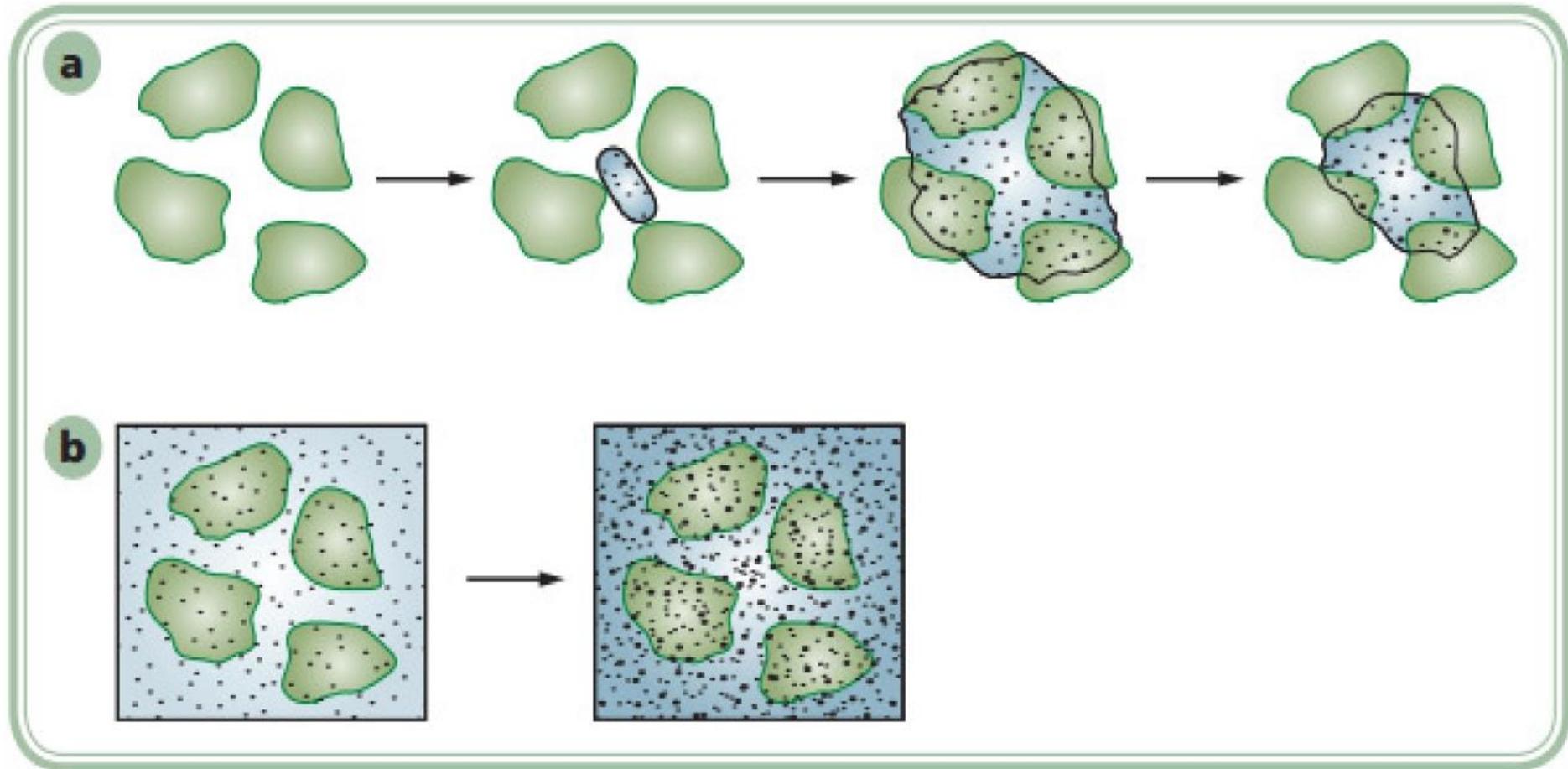
O Volume do gelo é aproximadamente 9% maior que o da água líquida

# Tamanho e geometria dos cristais: um problema

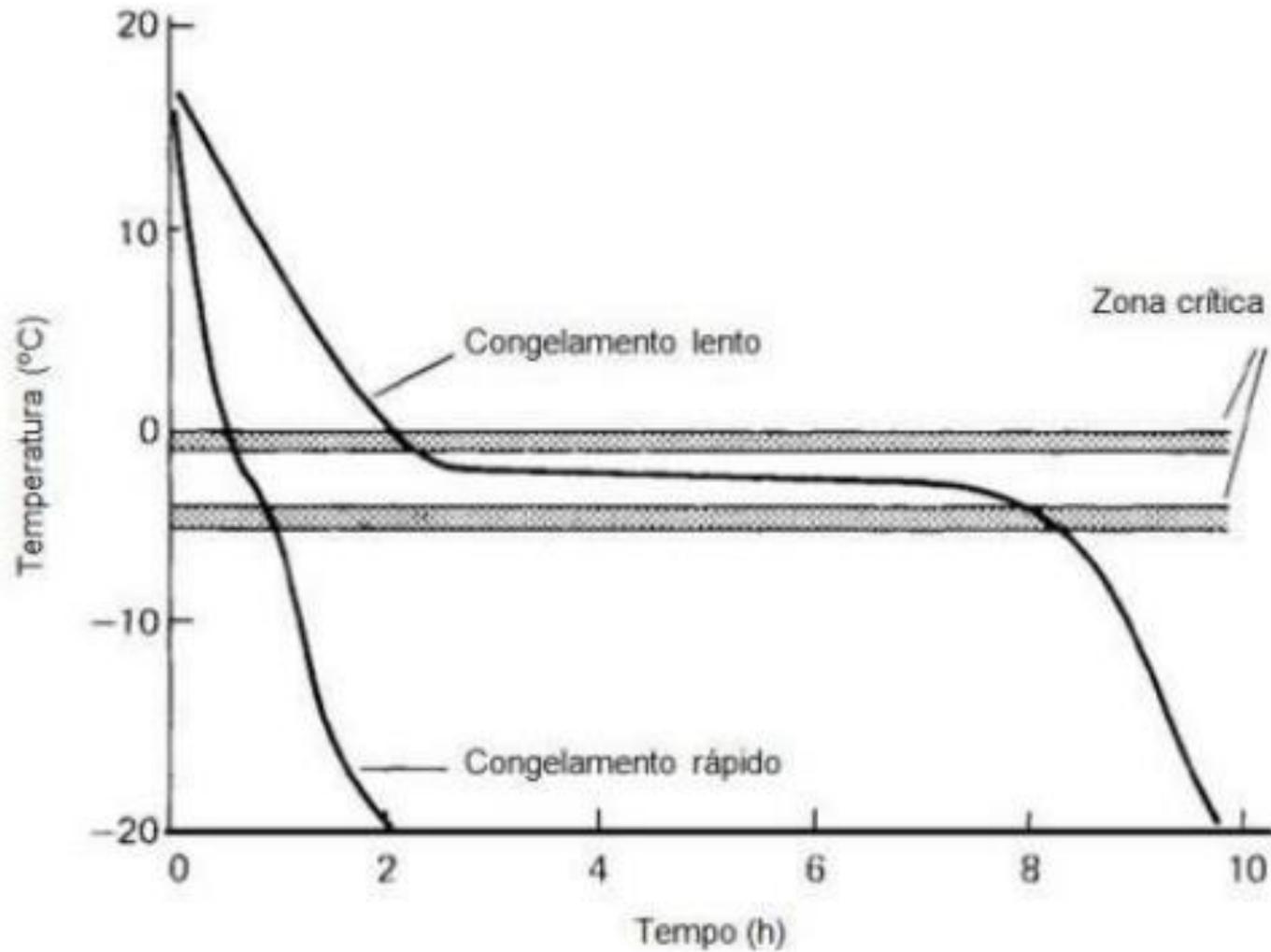


WWW.ULTRACOLORINGPAGES.COM

# Formação de cristais de gelo

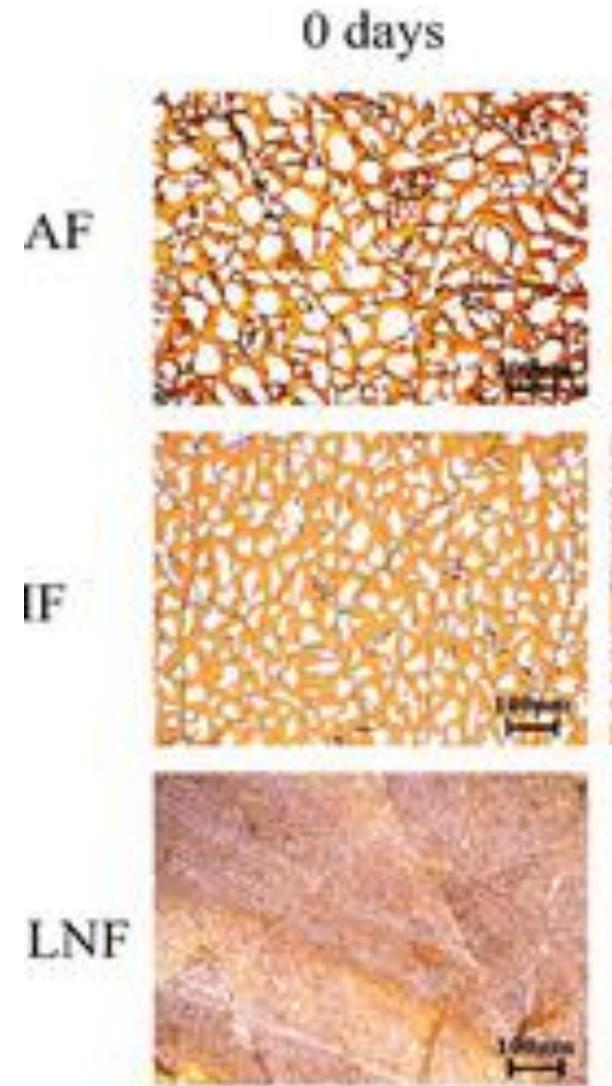
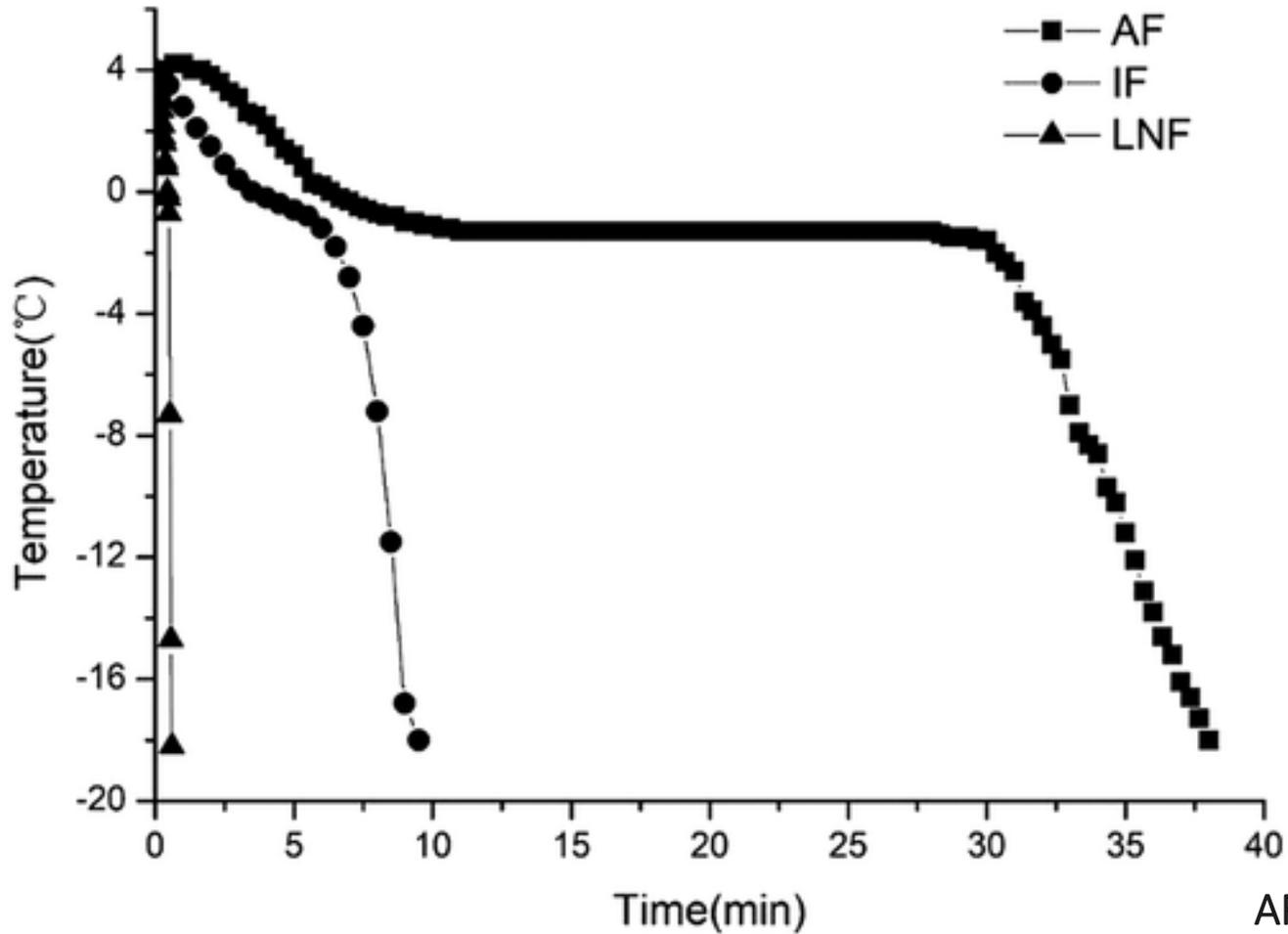


# Congelamento de alimentos



Fonte: Fellows, 2000.

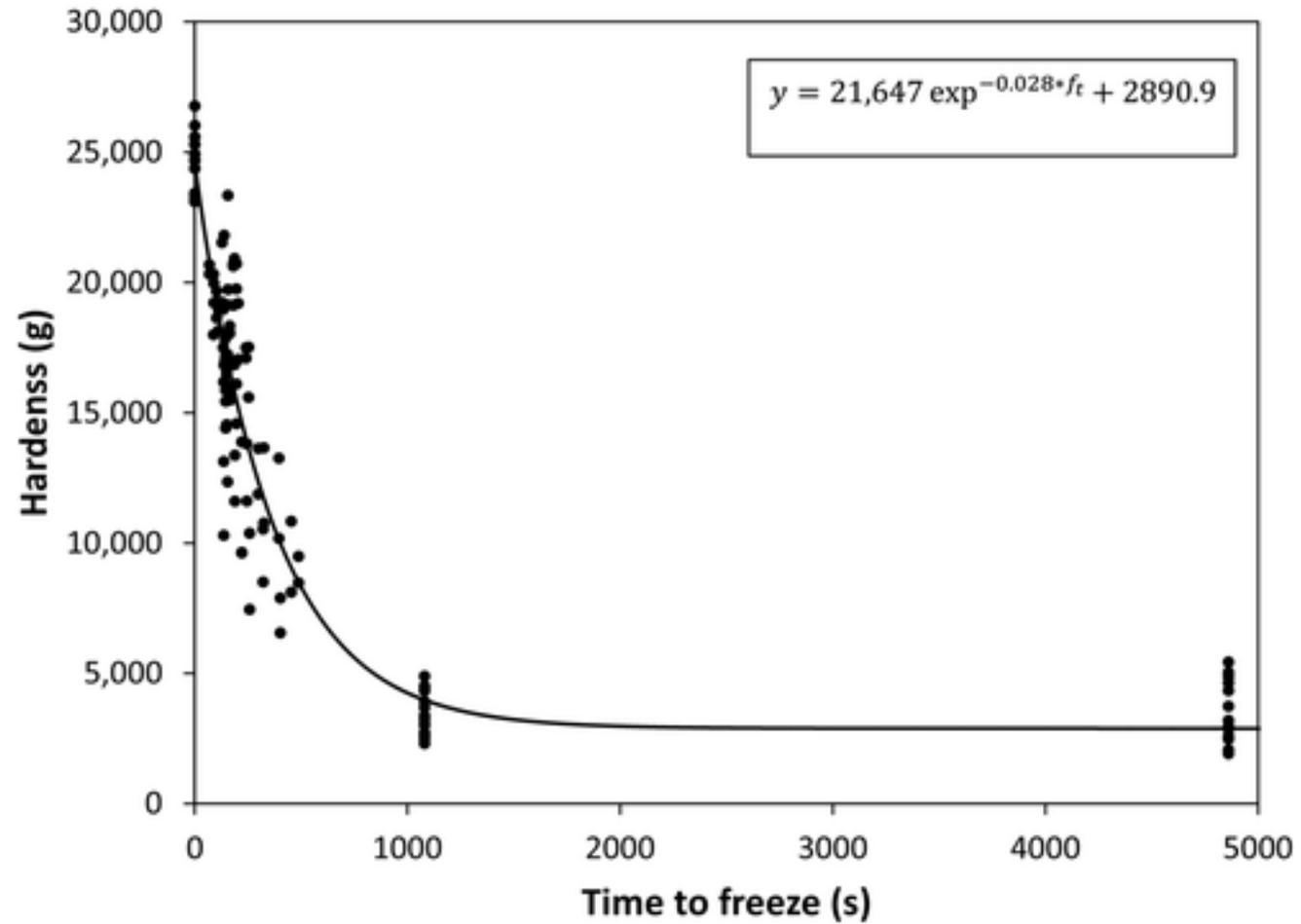
# Congelamento de alimentos



AF (air-blast freezing)  
 IF (immersion freezing)  
 LNF (liquid nitrogen freezing)

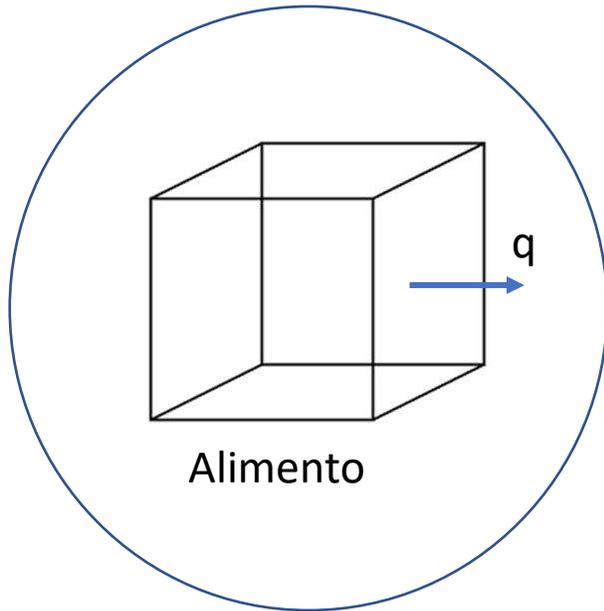
Fonte: Jiang et al., 2020.

# Congelamento de alimentos



Fonte: Phinney et al., 2017.

# Congelamento de alimentos

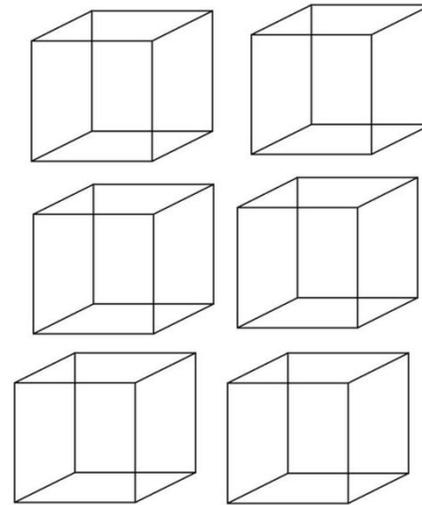
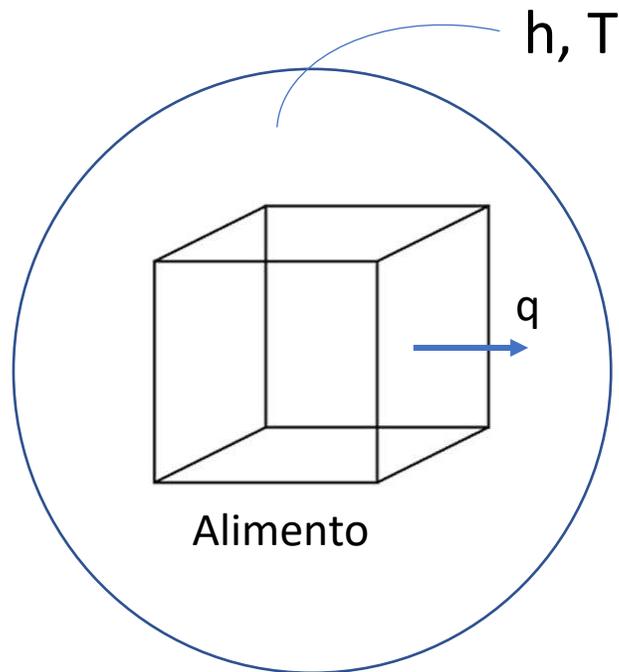


**Transferência de calor depende de:**

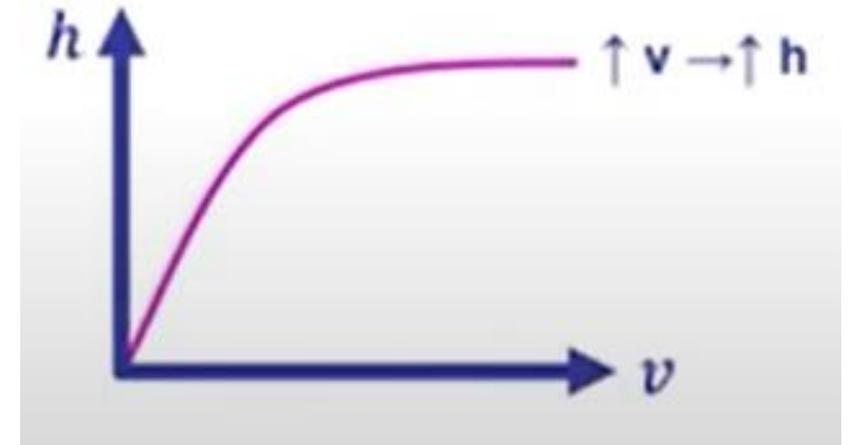
- Propriedades físicas do alimento
- Tamanho do alimento
- Propriedades do fluido

# Congelamento de alimentos

Como aumentar a taxa de transferência de calor?



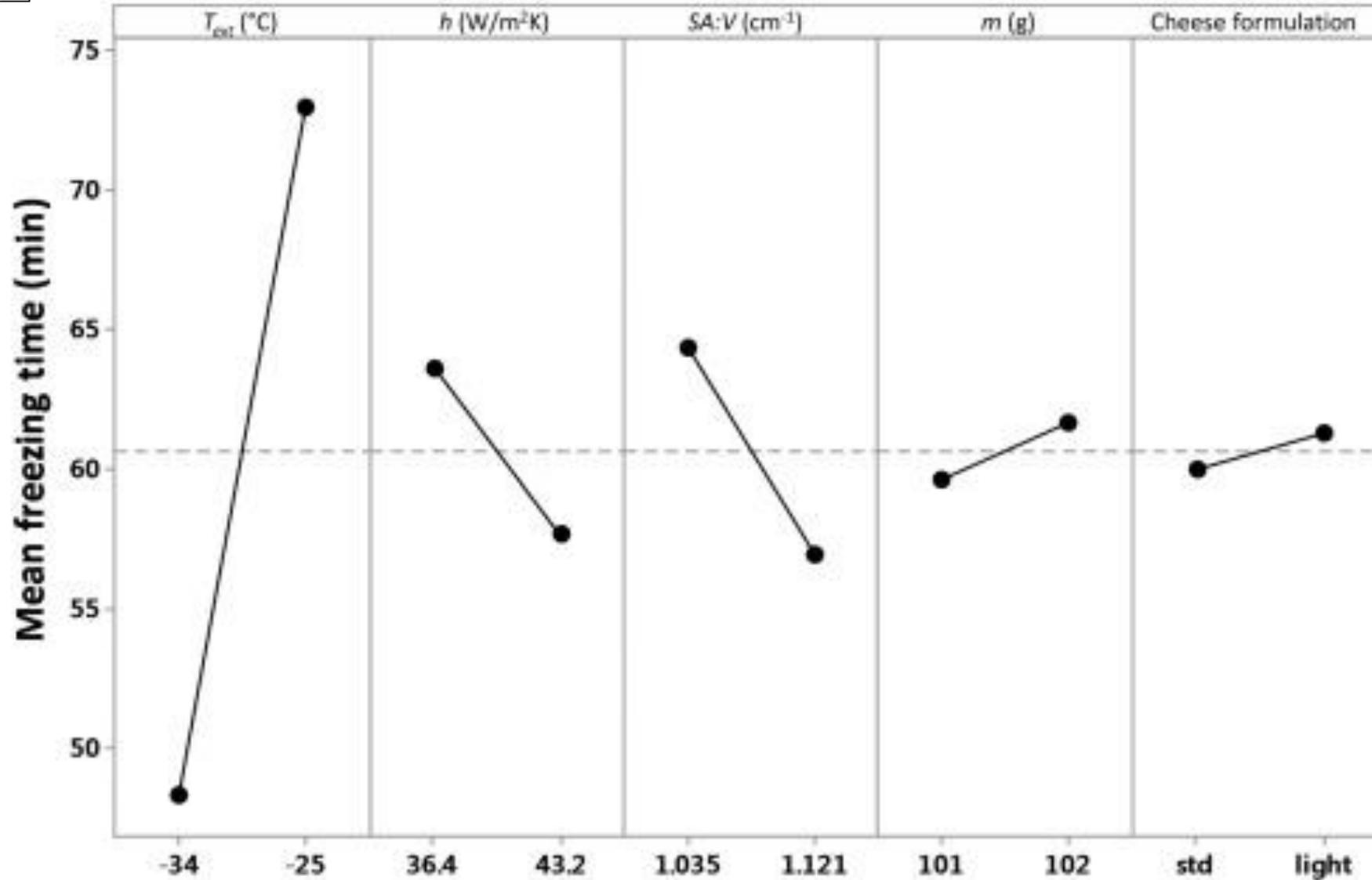
- Tamanho/Área superficial



- Velocidade do fluido

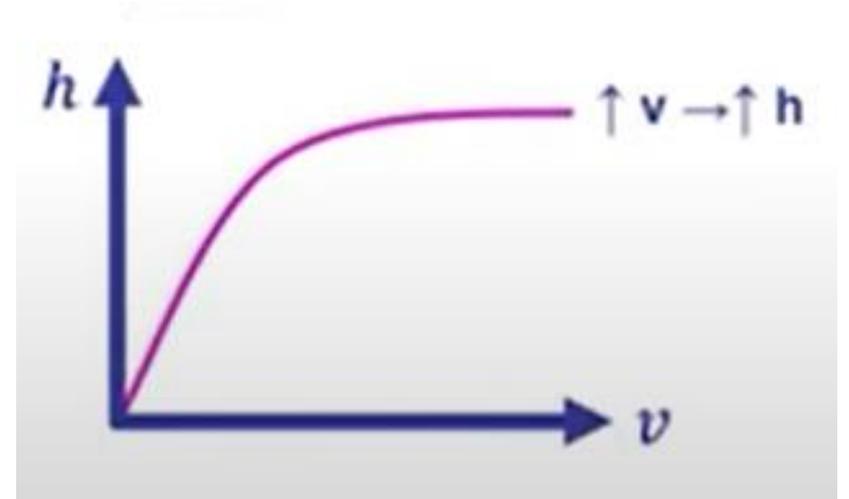
- Reduzir a temperatura do fluido

# Congelamento de alimentos



Fonte: Alinovi e Mucchetti, 2020.

# Congelamento de alimentos



Como aumentar a taxa de transferência de calor?

Utilizando as três estratégias: Método IQF

IQF – Individual and quickly freezing

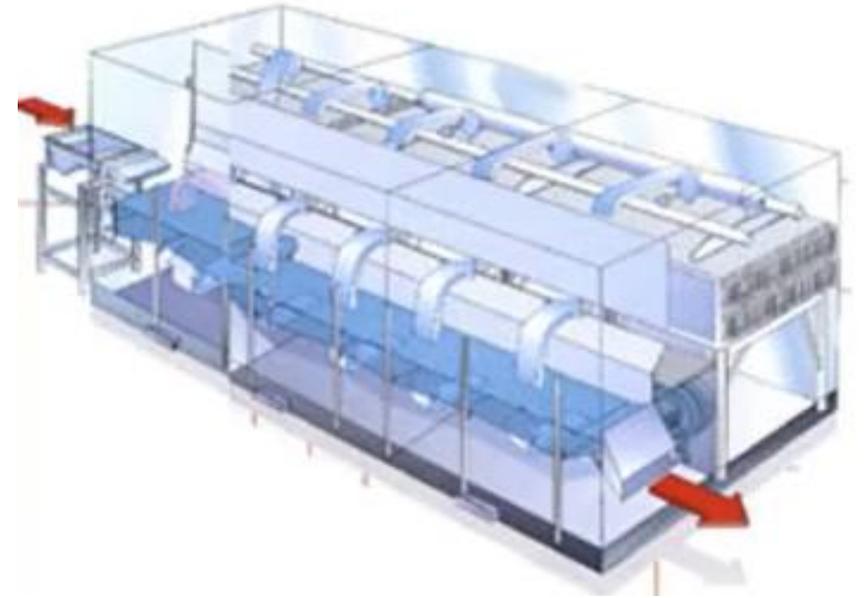
- 1) Pequenos pedaços
- 2) Alta velocidade – Alto  $h$
- 3) Baixa temperatura



**Vale a pena?**

# Congelamento de alimentos

IQF - Individual and quickly freezing



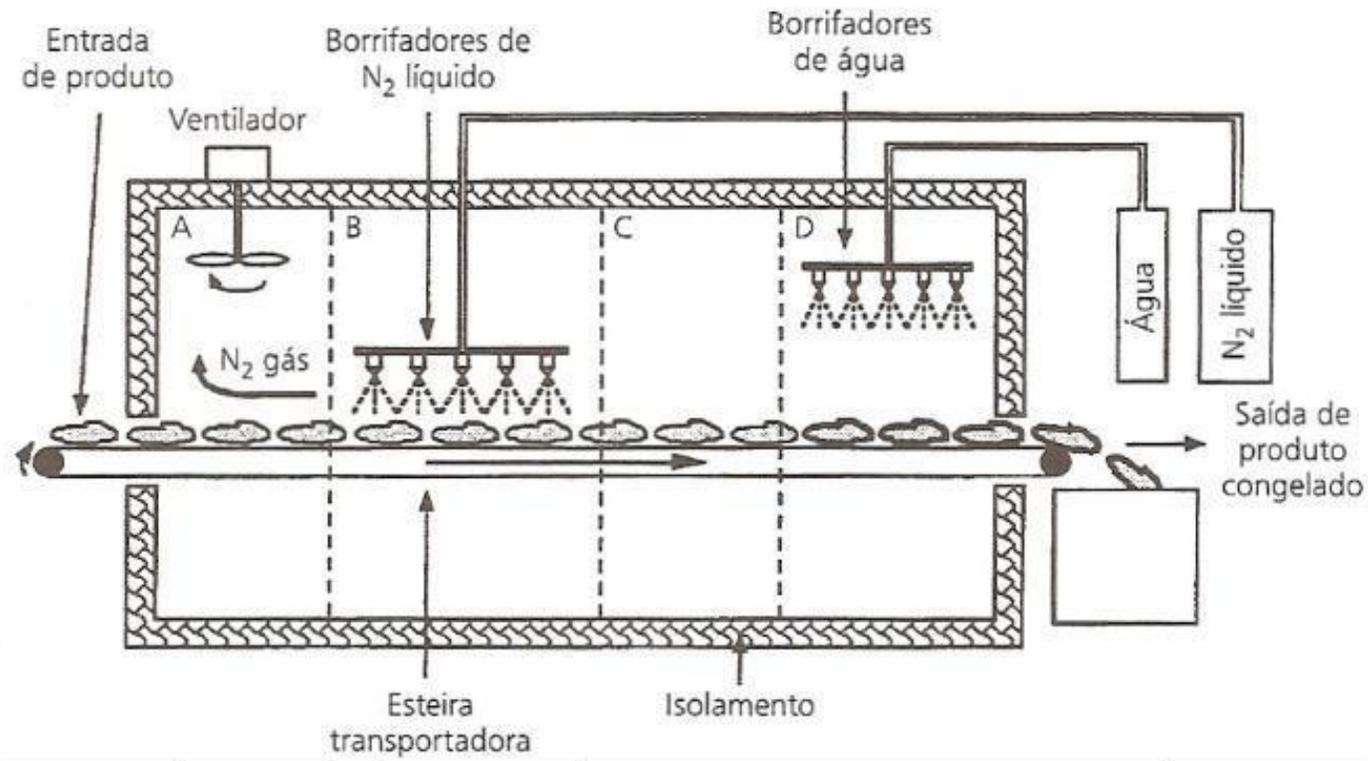
# Congelamento de alimentos

IQF - Individual and quickly freezing



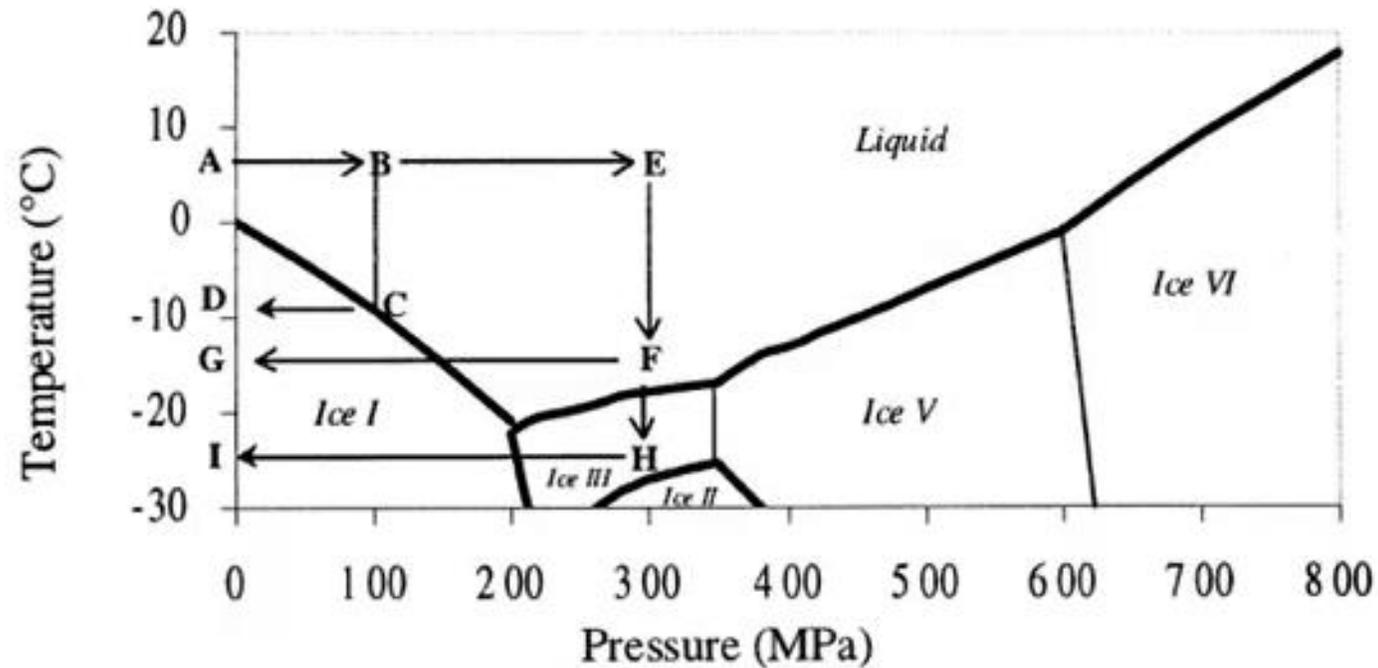
# Congelamento de alimentos

## Congelamento com nitrogênio líquido



Congelador criogênico de nitrogênio líquido. A: zona de pré resfriamento; B: zona de congelamento; C: zona de equilíbrio; D: zona de vitrificação. Fonte: Ordóñez e Cols (2005).

Diagrama de fases



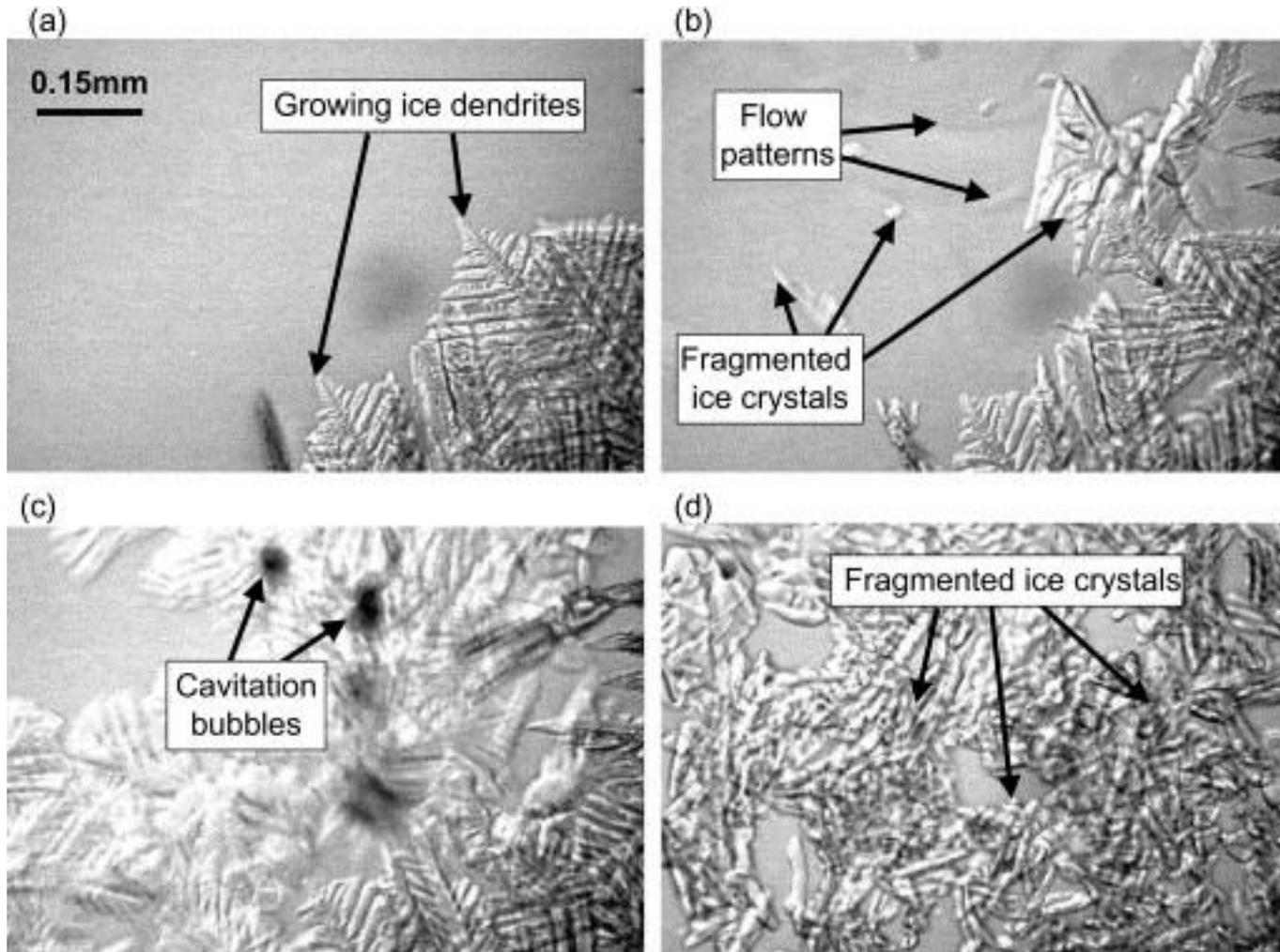
- Pressurização e resfriamento
- Despressurização adiabática

**Congelamento rápido**

# Congelamento de alimentos

Tecnologias Emergentes

Ultrassom



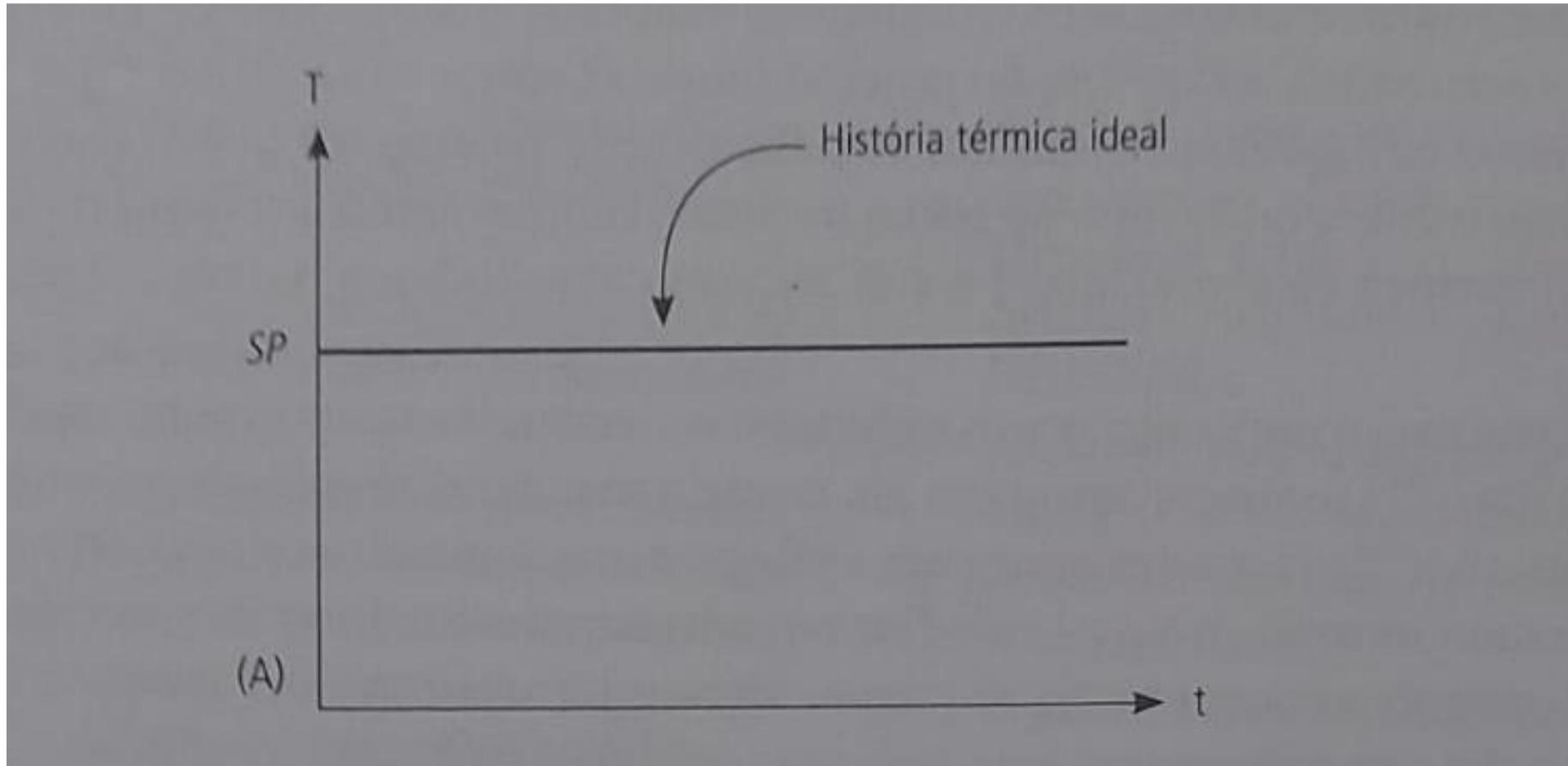
Fonte: Chow et al., 2003.



# Congelamento de Alimentos

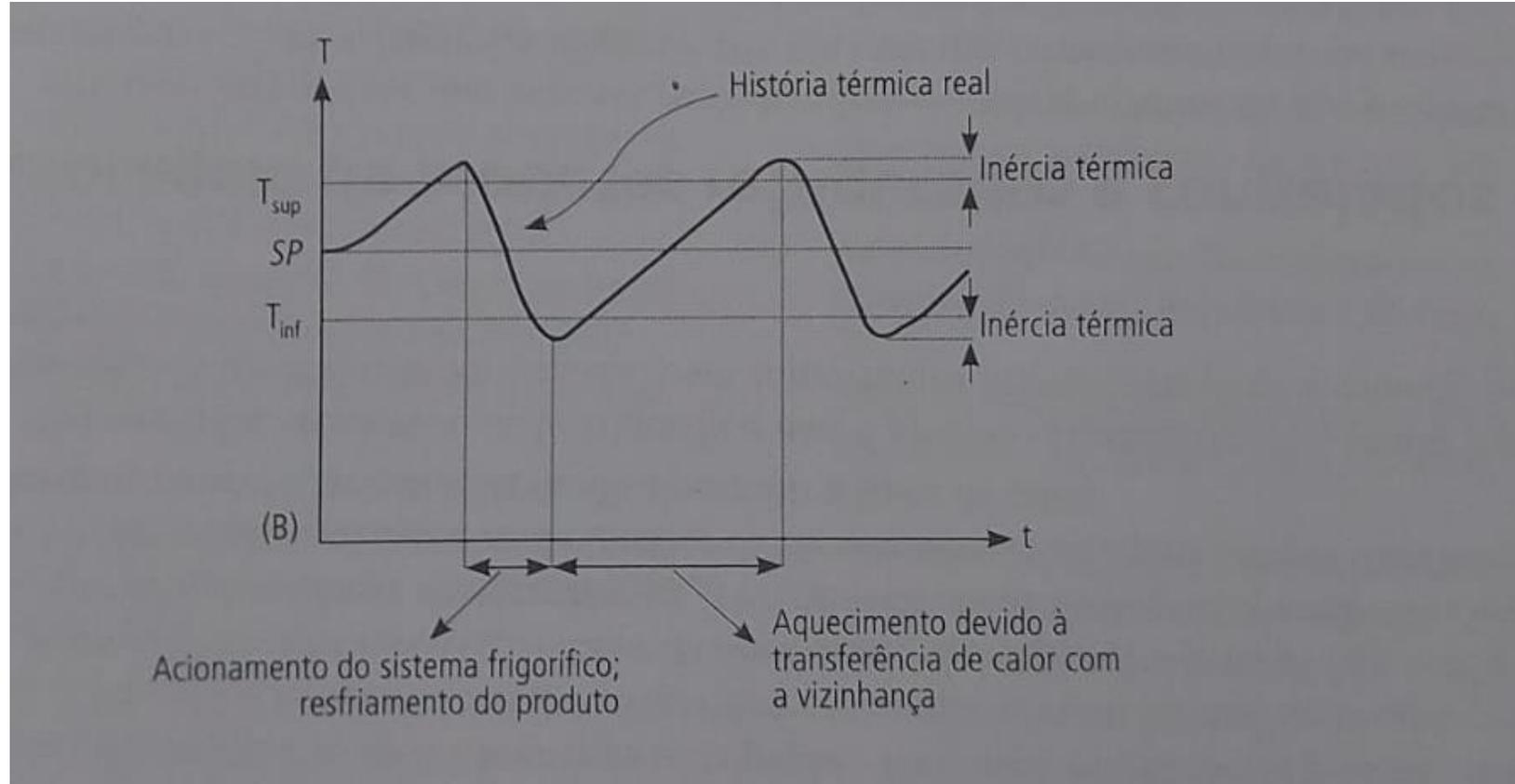
Carga térmica

**Resfriar  $\neq$  Congelar  $\neq$  Estocar**



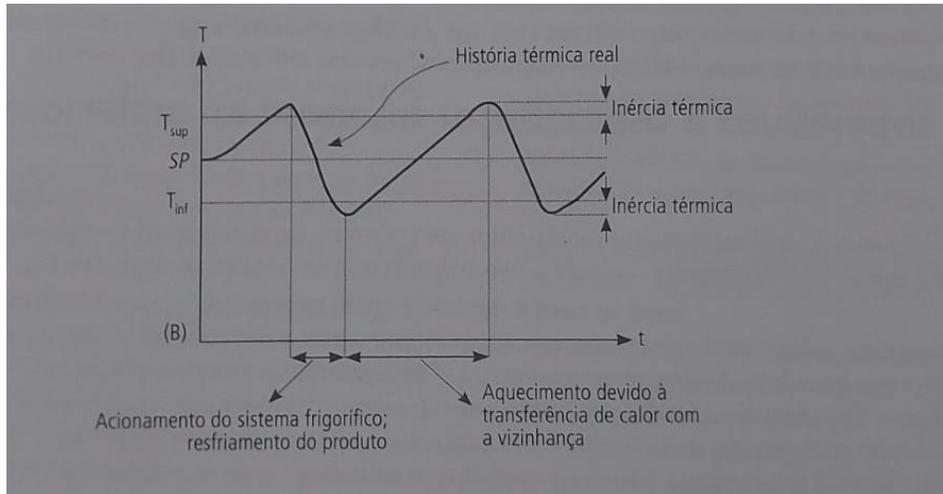
# Estocagem

## Carga térmica



# Estocagem - Resfriamento

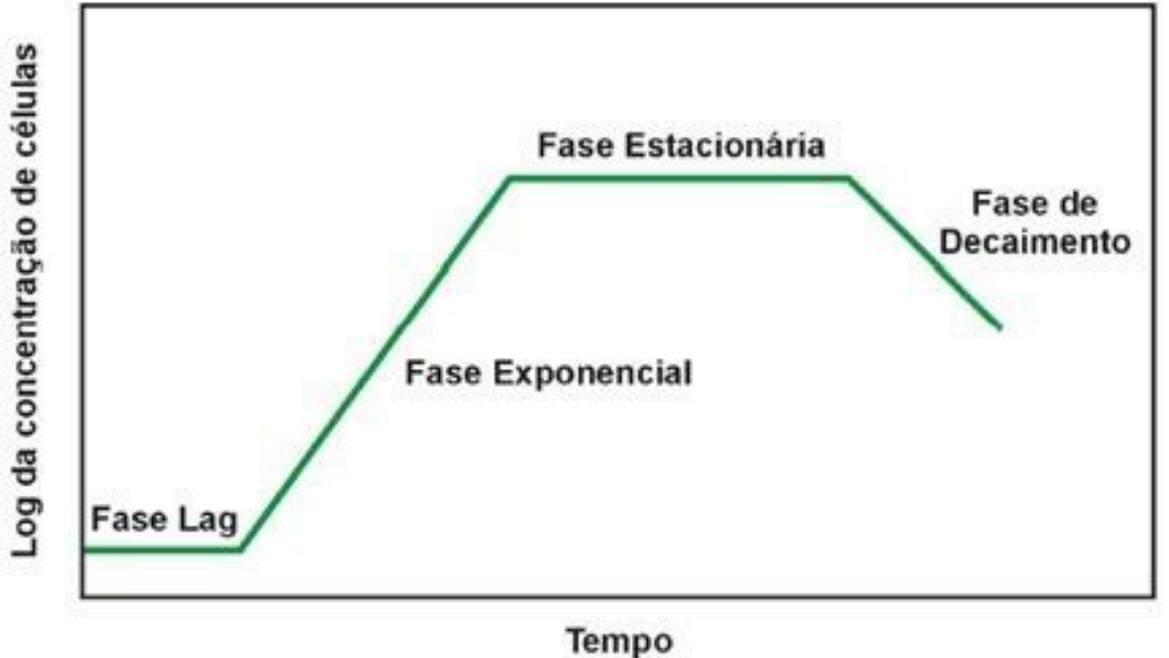
Carga térmica



Fonte: Augusto, 2017

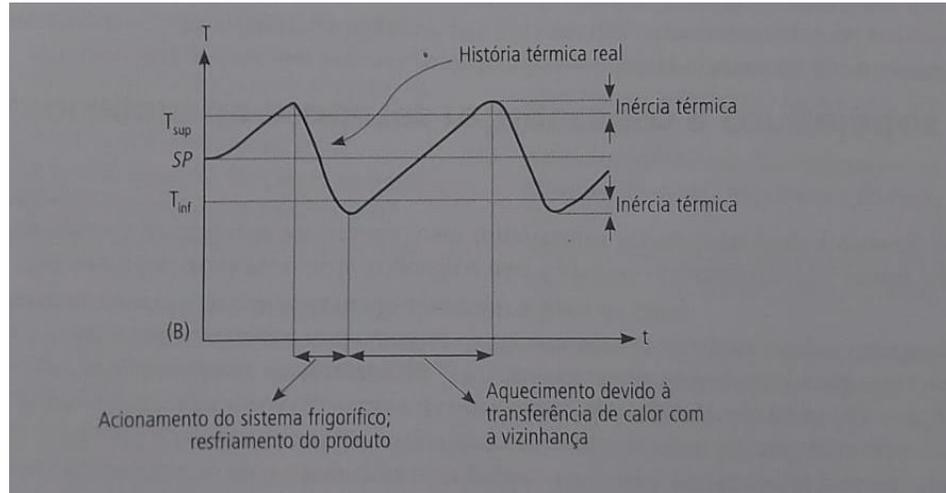


**Microbiológicos** →



# Estocagem - Congelamento

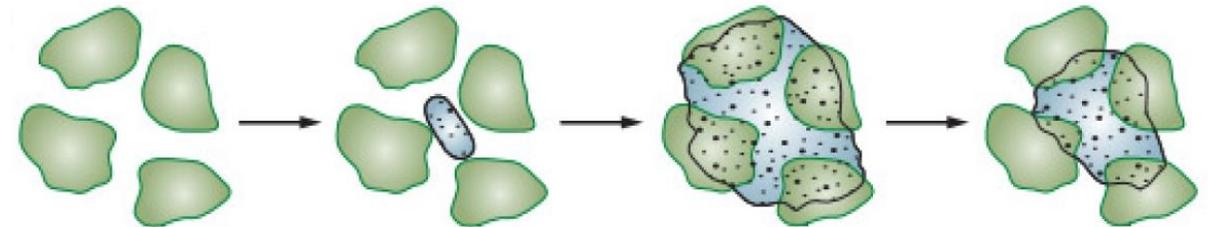
Carga térmica



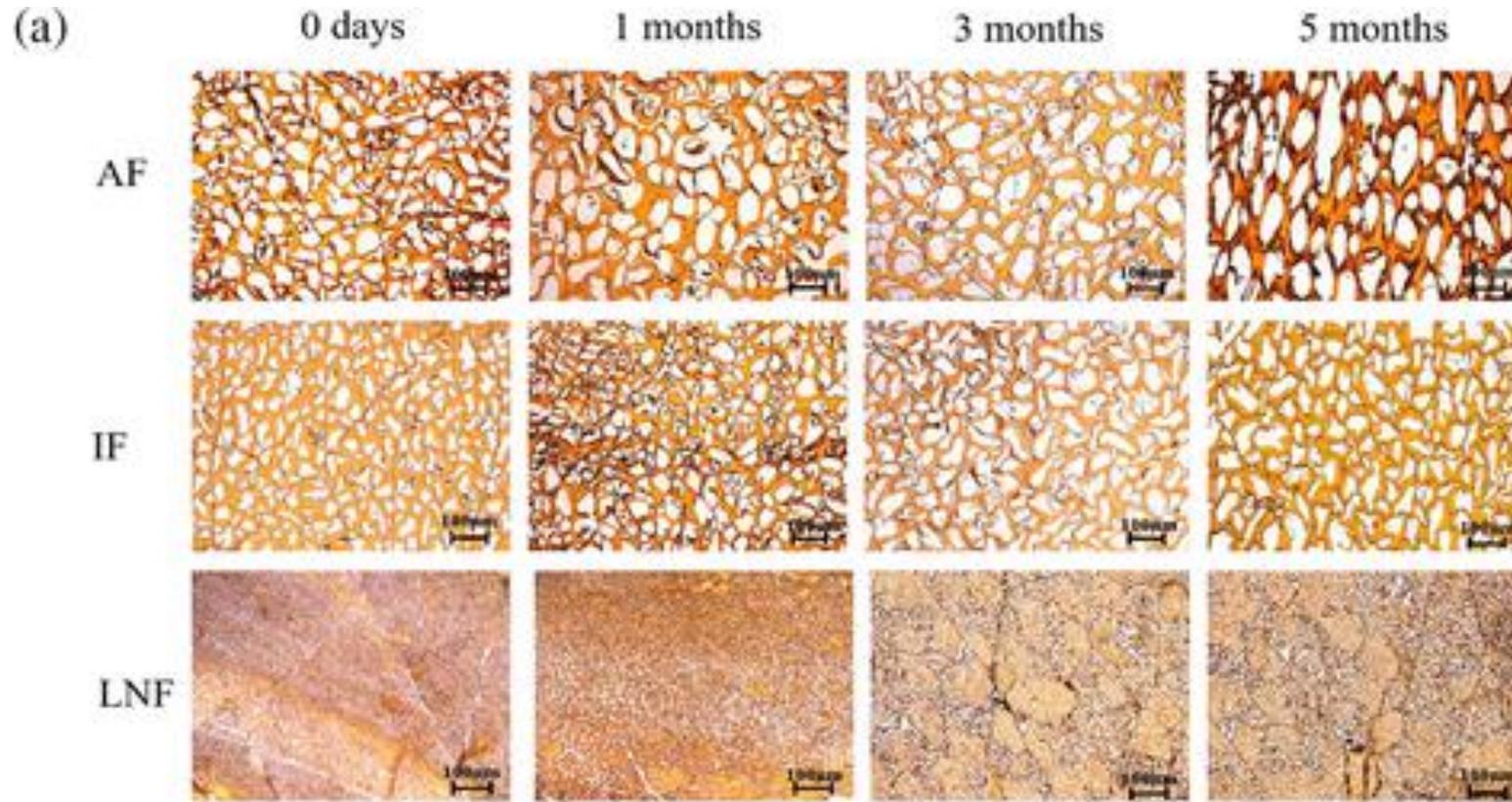
Fonte: Augusto, 2017



**Formação de  
cristais grandes**

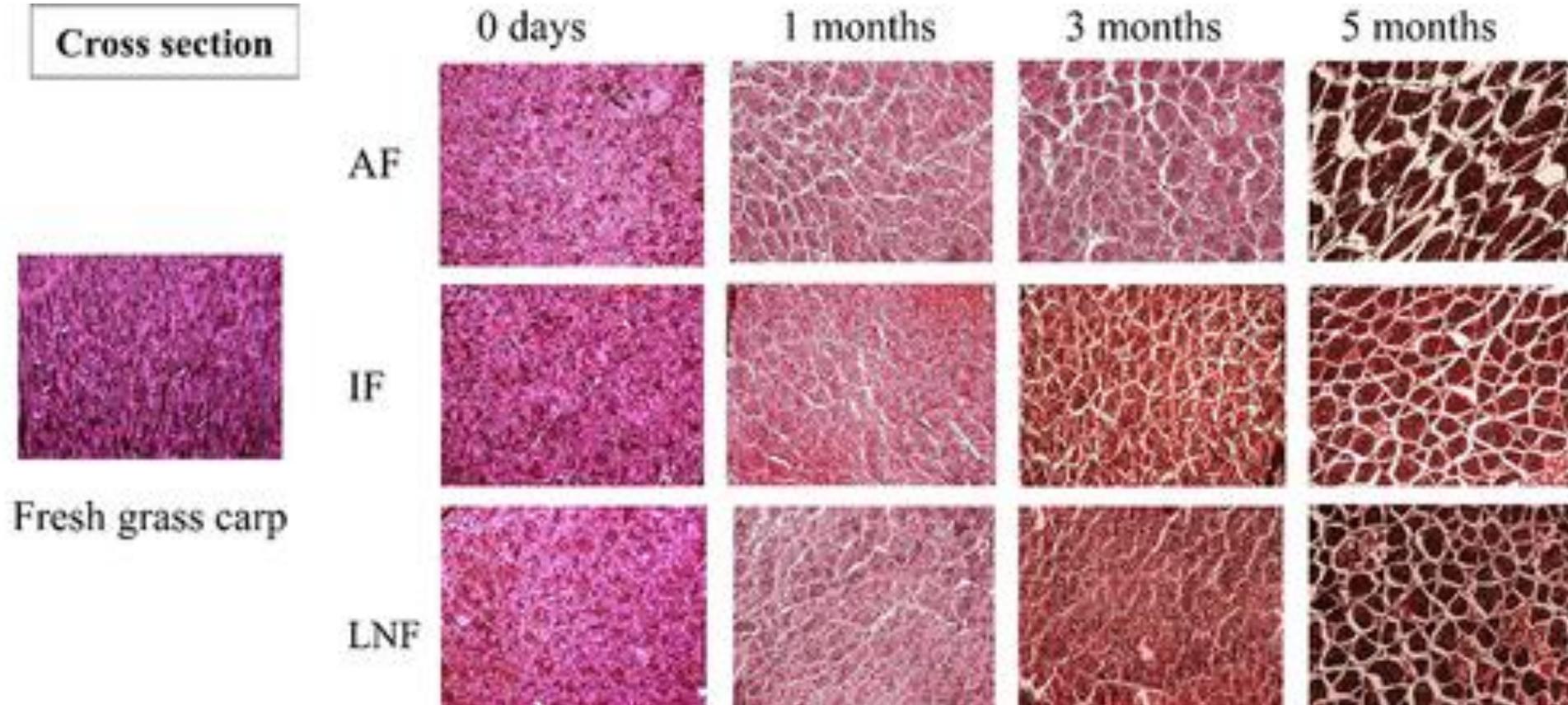


# Estocagem



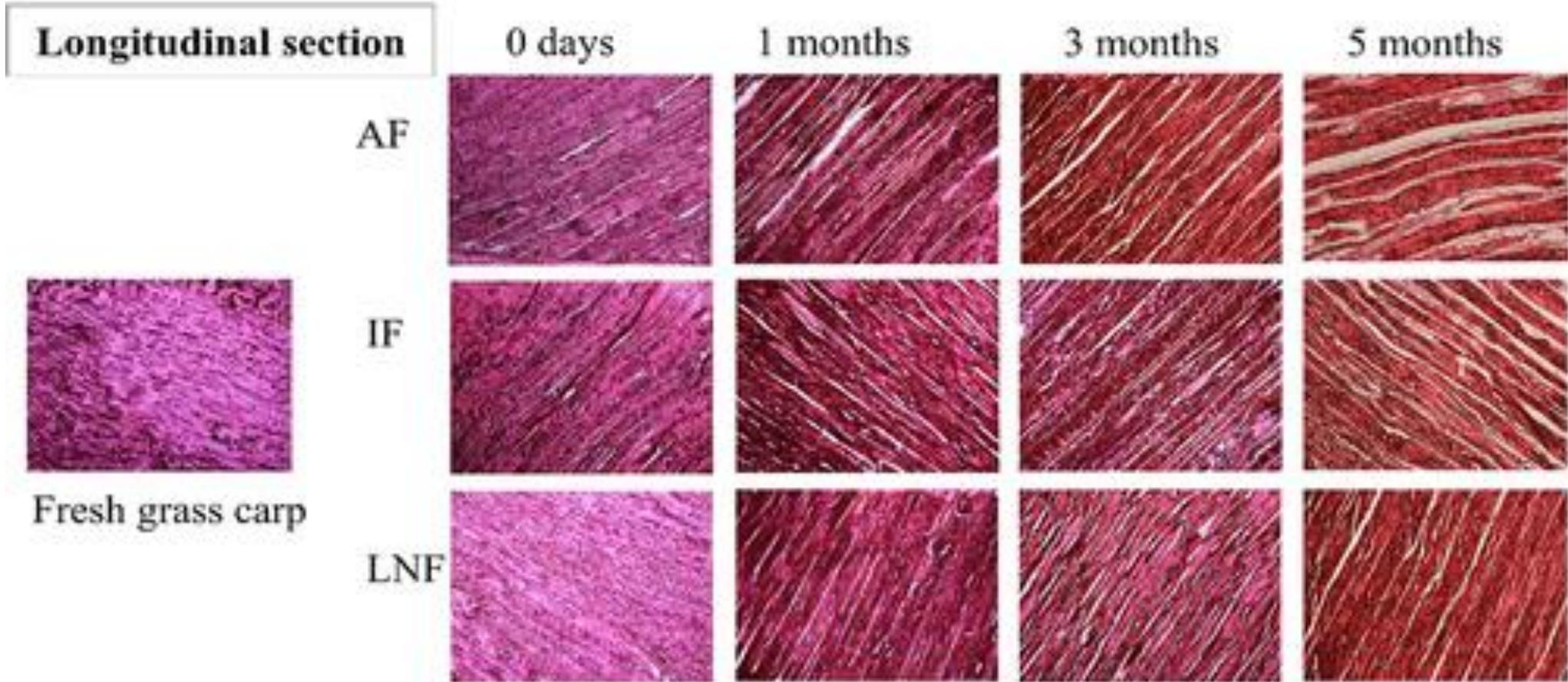
Fonte: Jiang et al., 2020.

# Estocagem



Fonte: Jiang et al., 2020.

# Estocagem



Fonte: Jiang et al., 2020.



# Processamento térmico

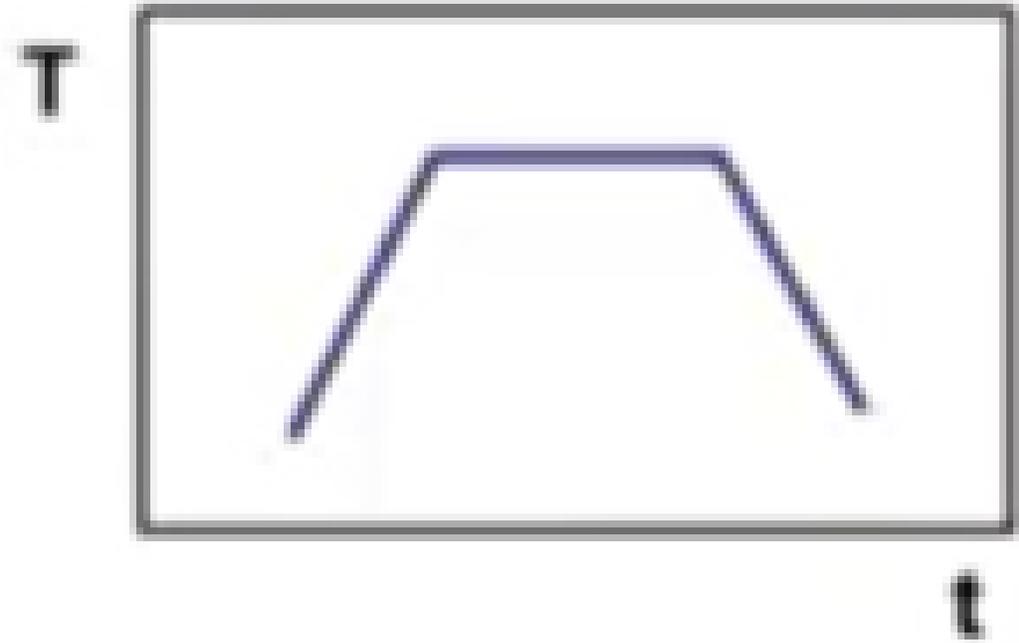
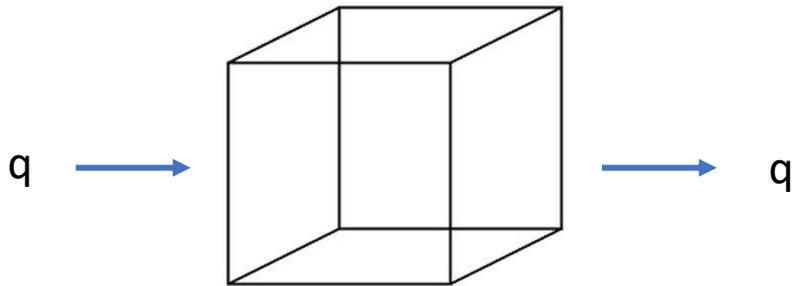
# Processamento térmico



# Processamento térmico

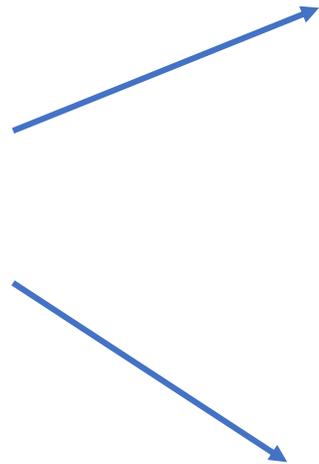


# Processamento térmico



# Processamento térmico

**T x t**



Inativação microbiana

Inativação enzimática

Alterações nutricionais

Alterações sensoriais

# Processamento térmico

Tabela 8.1. Valores típicos de  $D_{121^{\circ}\text{C}}$  e  $z$  para reações bioquímicas e físico-químicas em alimentos durante o processamento térmico<sup>3</sup>

Constituinte	$z$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	$D_{121^{\circ}\text{C}}$ (min)
Vitaminas	25-30	100-1.000
Cor, textura e aroma	25-45	5-500
Enzimas	6-55	1-10
Células vegetativas	4-7	0,002-0,02
Esporos	6-12	0,1-5,0

# Processamento térmico

## Dentro da embalagem

Alimentos sólidos, líquidos e particulados

Mais seguro

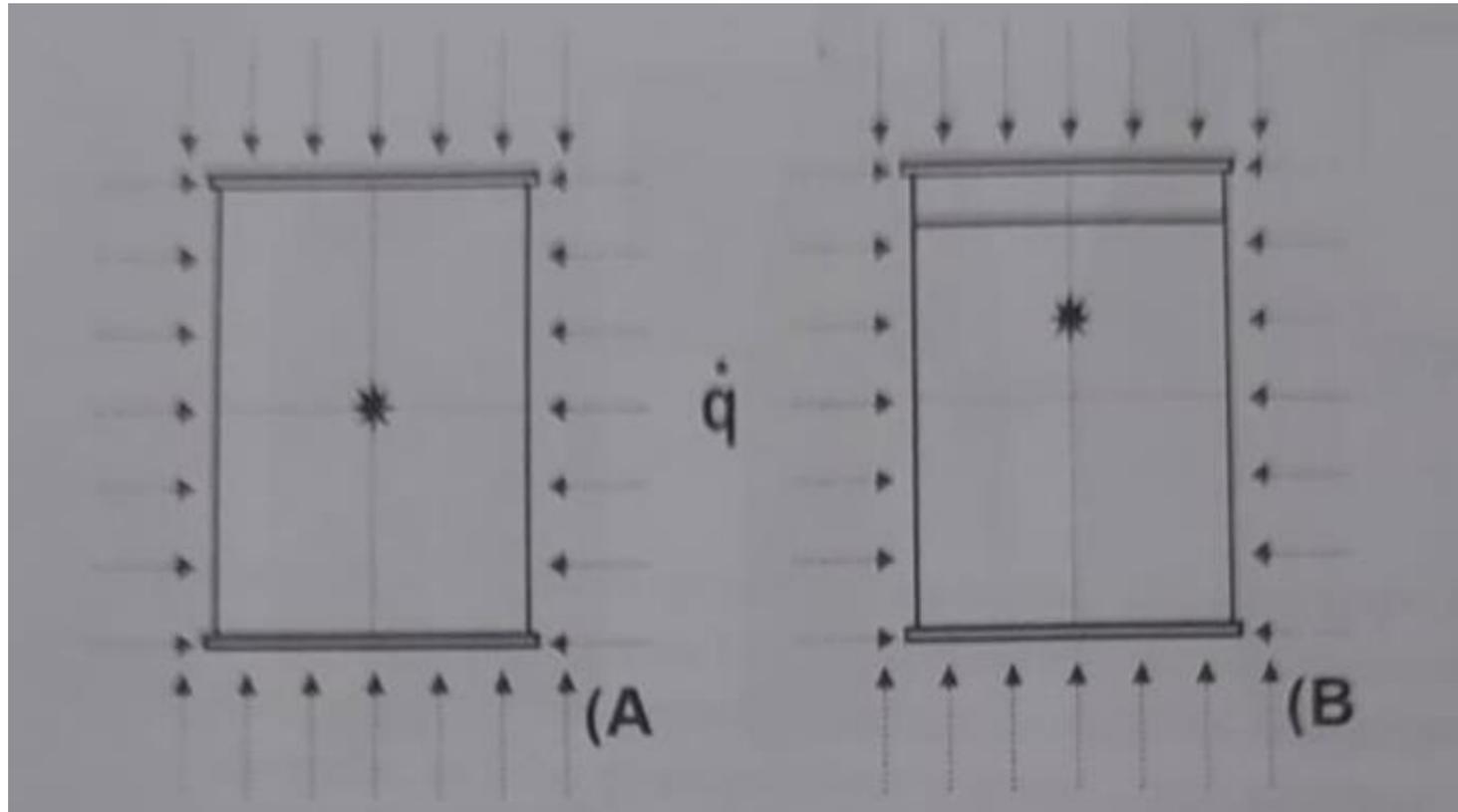
Maior gasto energético

Ponto frio



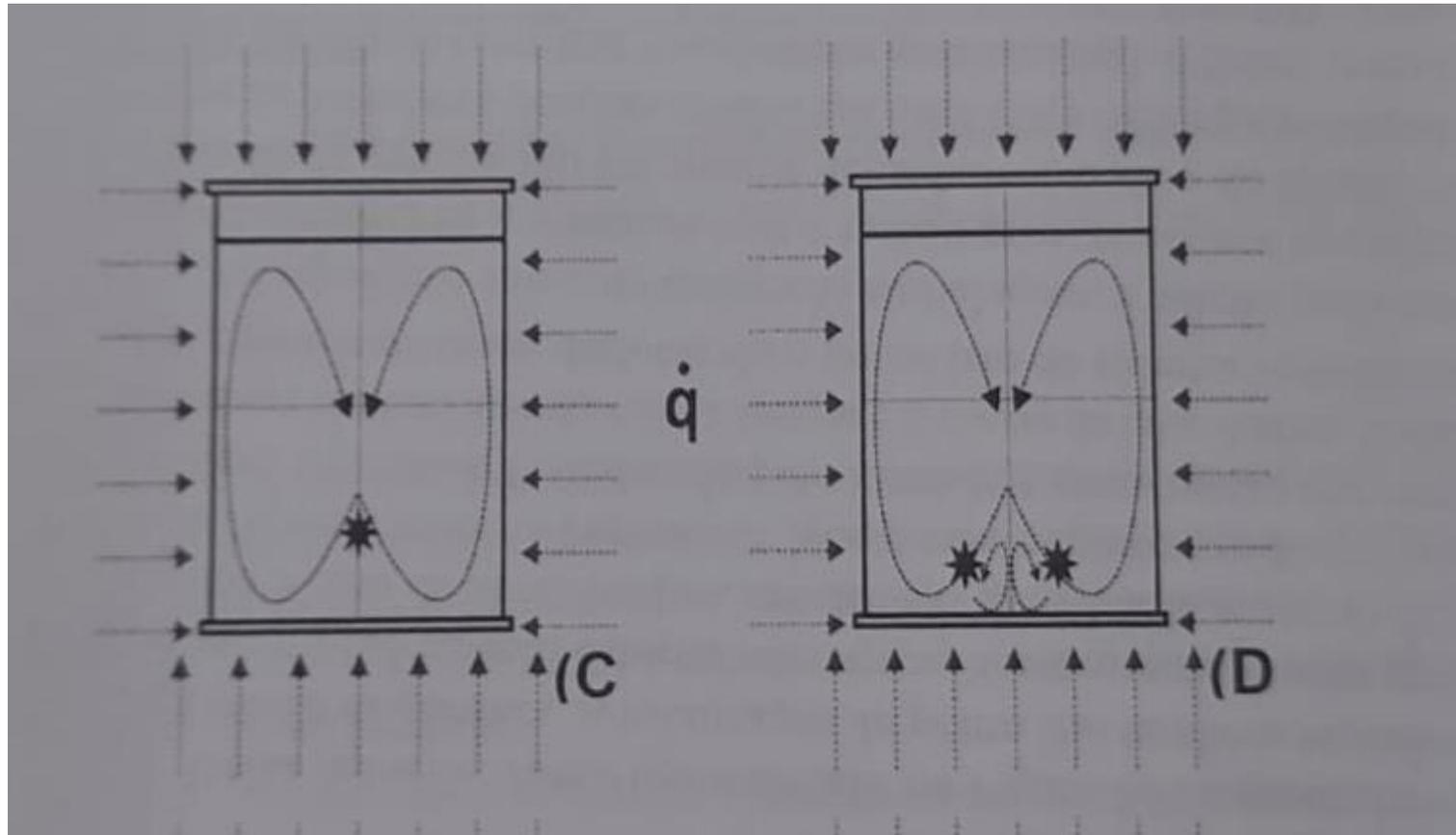
# Processamento térmico dentro da embalagem

## Ponto frio - sólidos



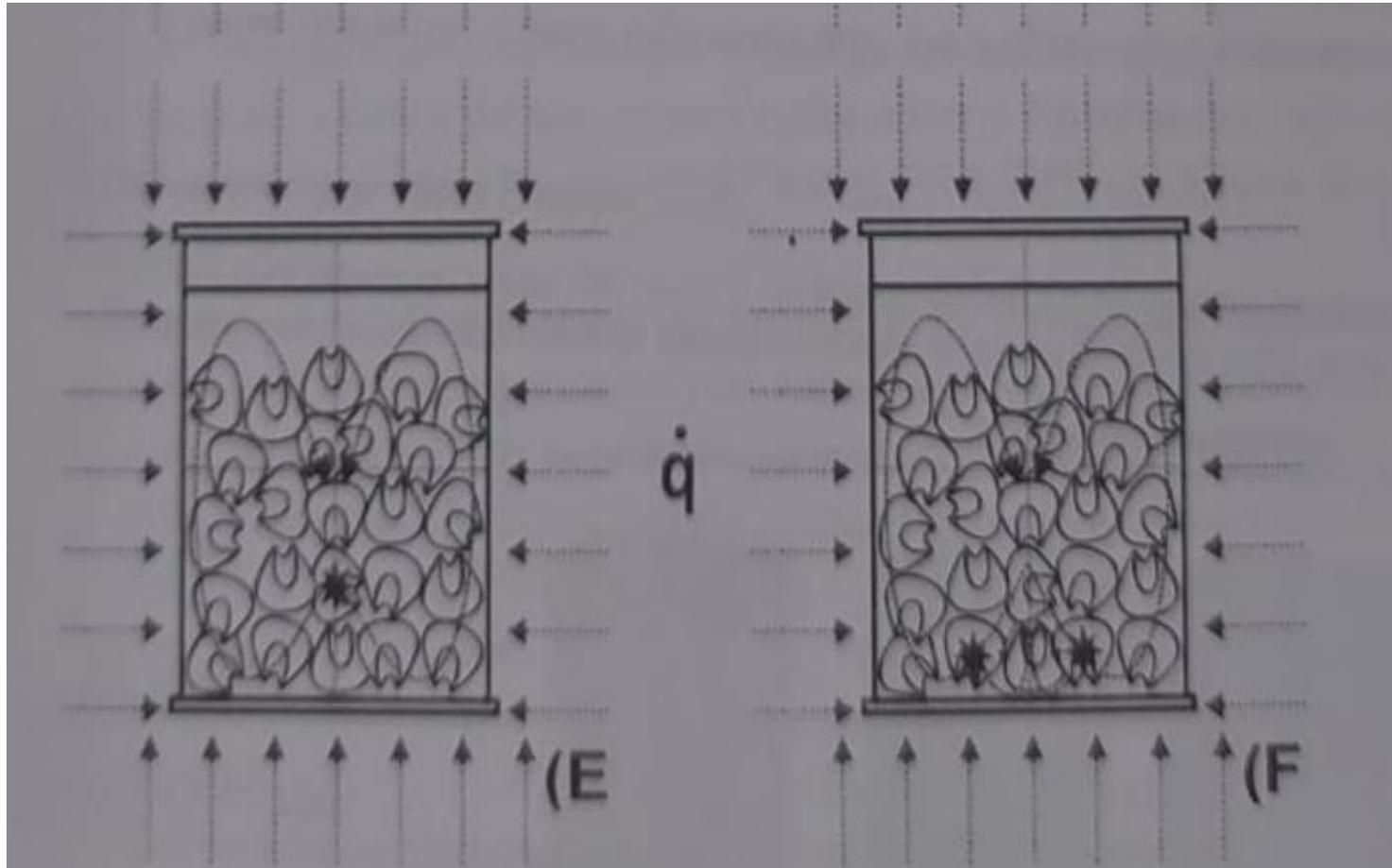
# Processamento térmico dentro da embalagem

Ponto frio - líquidos



# Processamento térmico dentro da embalagem

Ponto frio - particulados



# Processamento térmico

## Fora da embalagem

Alimentos líquidos

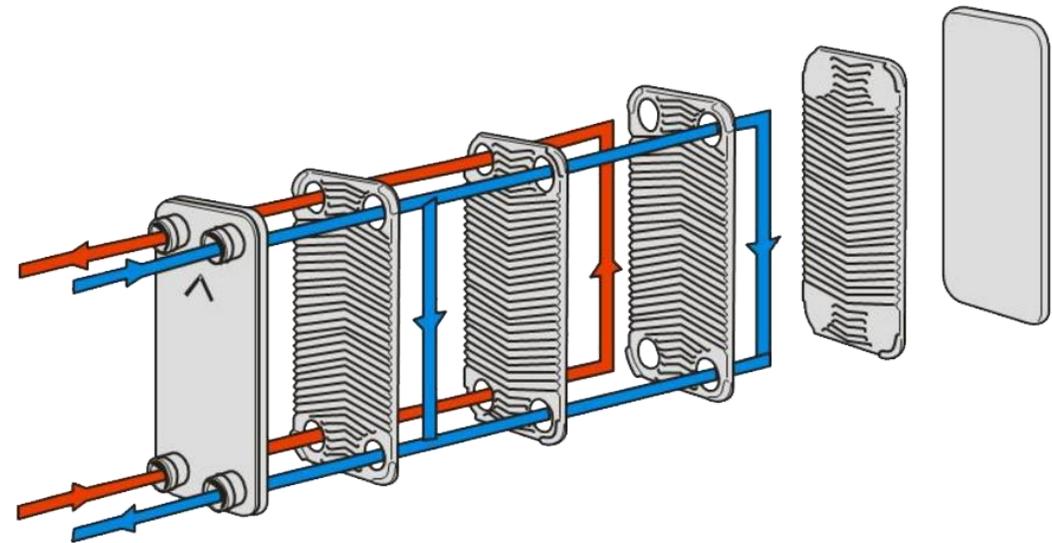
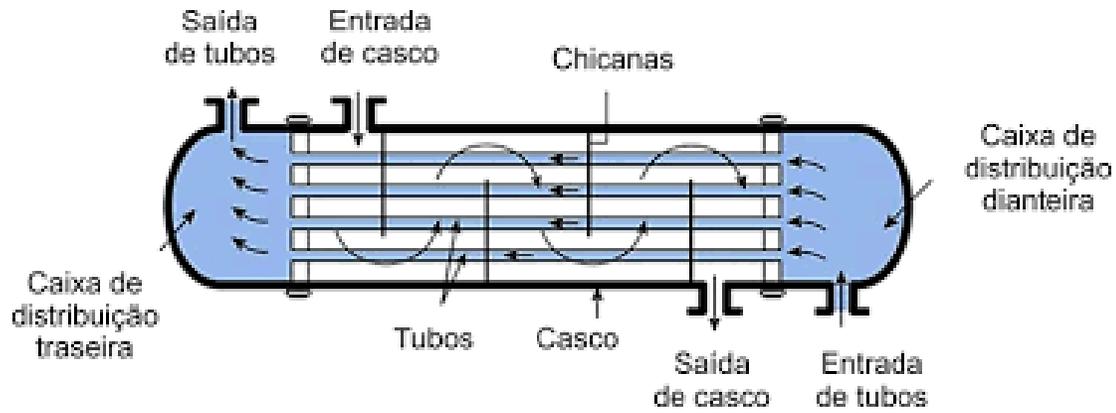
Atenção na segurança da embalagem

Maior eficiência

Menores alterações nutricionais e sensoriais



# Processamento térmico fora da embalagem





# Processos térmicos

Branqueamento

Pasteurização

Esterilização

Forneamento

Fritura

Cozimento

# Pasteurização

Processo térmico brando;

Pressão atmosférico e Temperaturas menores que 100°C

Inativação de microrganismos patogênicos

Precisa de um método de conservação complem



# Esterilização



Processo térmico severo

Temperaturas acima de 100°C

Pressão acima da atmosférica



Esterilização comercial: ausência de esporos e células vegetativas capazes de se desenvolver em condições normais de estocagem e transporte



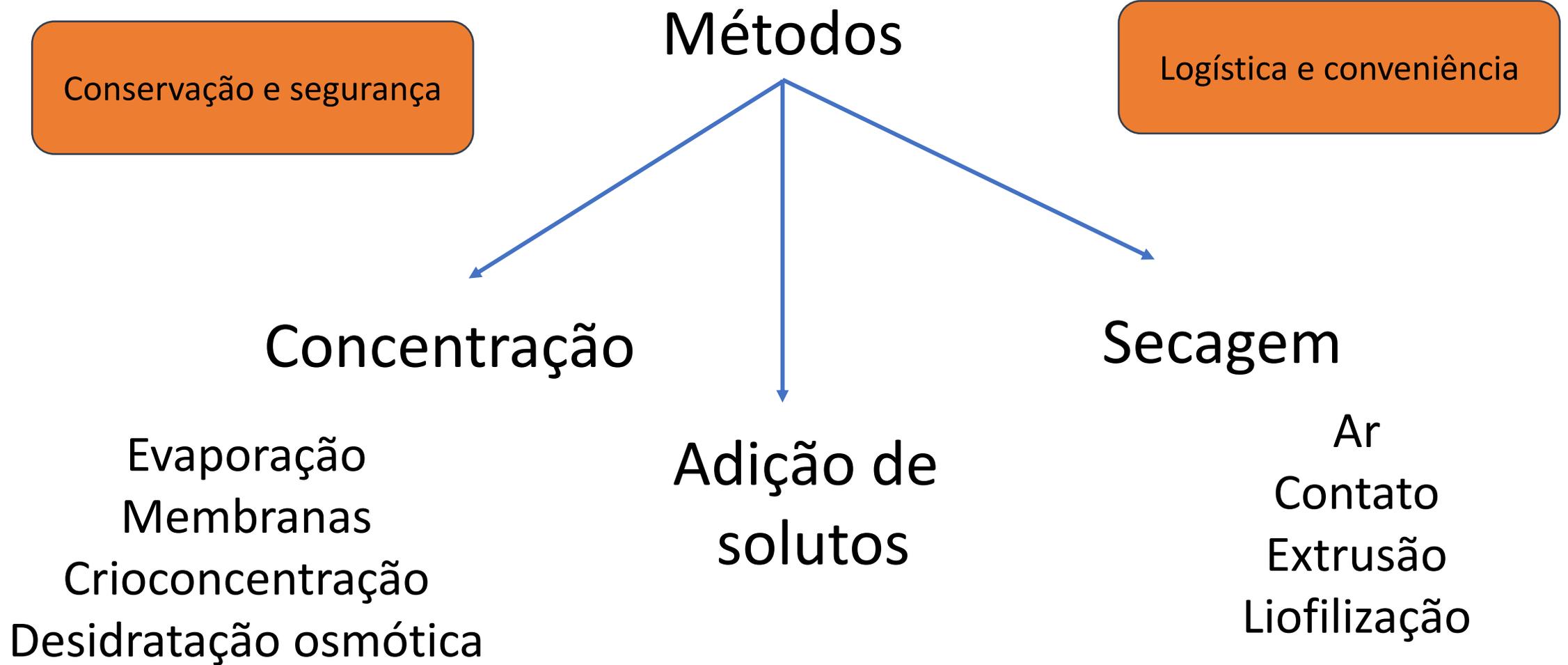


# Redução da atividade de água

# Redução da atividade de água



# Redução da atividade de água





# Redução da atividade de água

## Concentração

- Retirada de parte da água do alimento
- Precisa de tecnologia complementar para Manter a segurança do produto (refrigeração, Congelamento, acidificação, etc.)
- Produtos líquidos
- Usada como pré-tratamento para a secagem

## Secagem

- Retirada da maior parte de água do Alimento
- Água é baixa o suficiente para conservar o produto



# Concentração



# Concentração

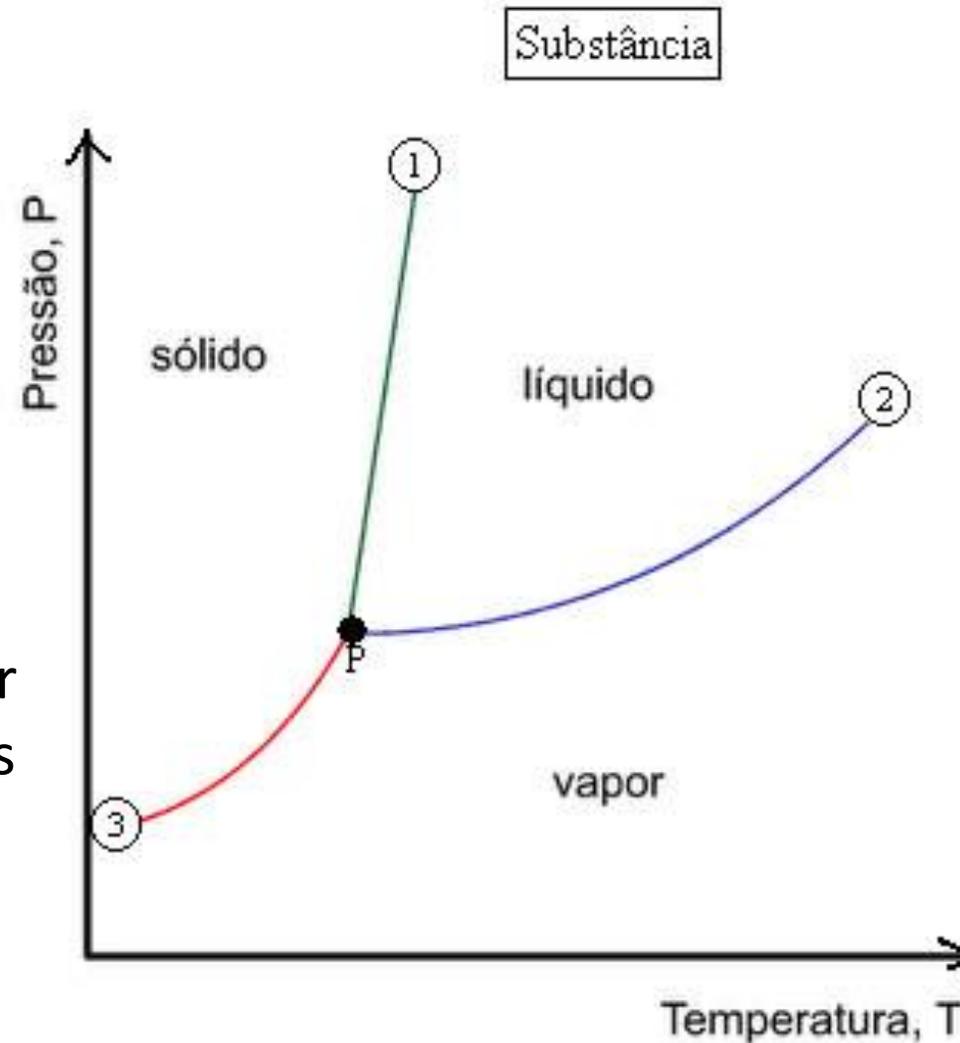
## *Evaporação*

- Adição de calor latente ao produto para retirada da água por evaporação;
- Utilização de evaporadores;
- Alimento mantido por bastante tempo na temperatura de evaporação;
- Efeitos da evaporação:
  - Escurecimento;
  - Degradação de proteínas;
  - Alterações nutricionais;
  - Alteração de sabor

**Produto diferente**

# Concentração

*Evaporação*

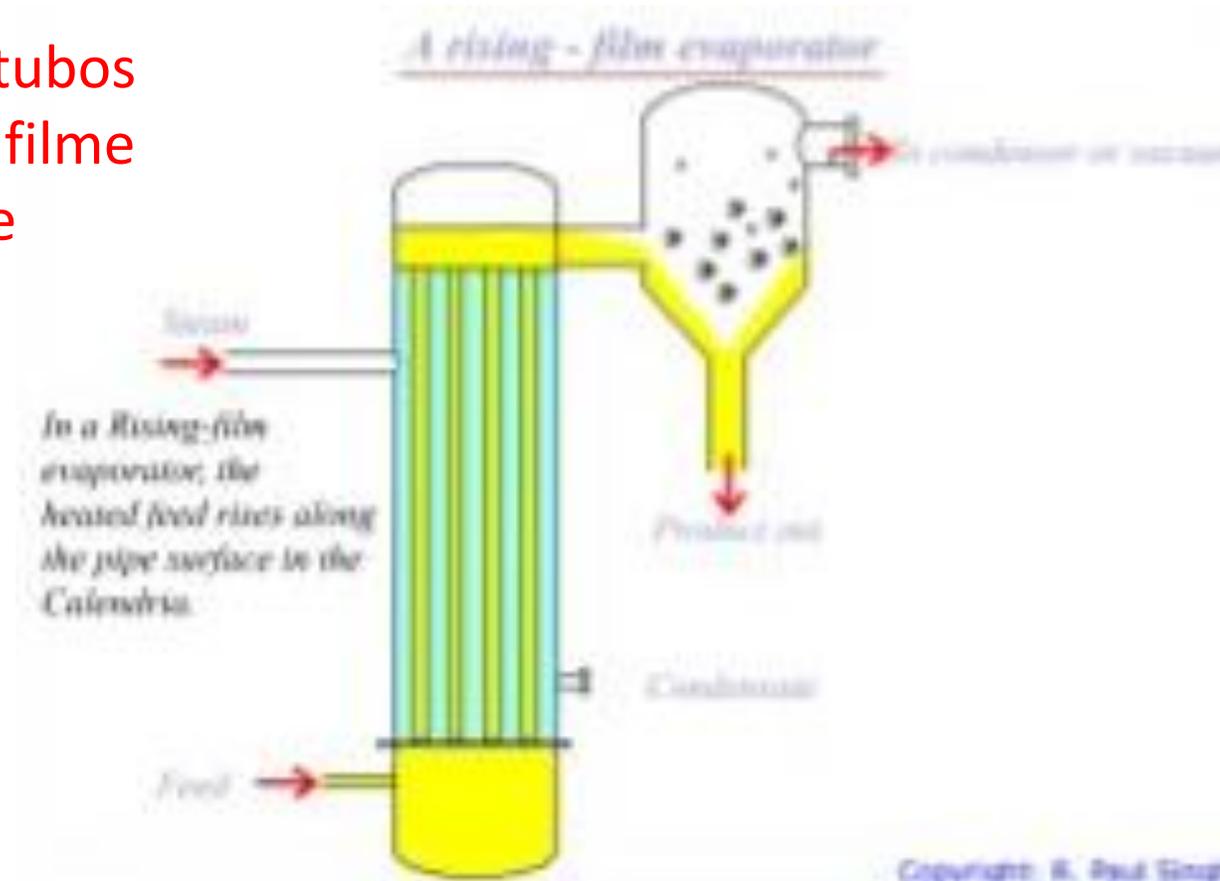


Redução da pressão permite fazer o processo em temperaturas mais baixas

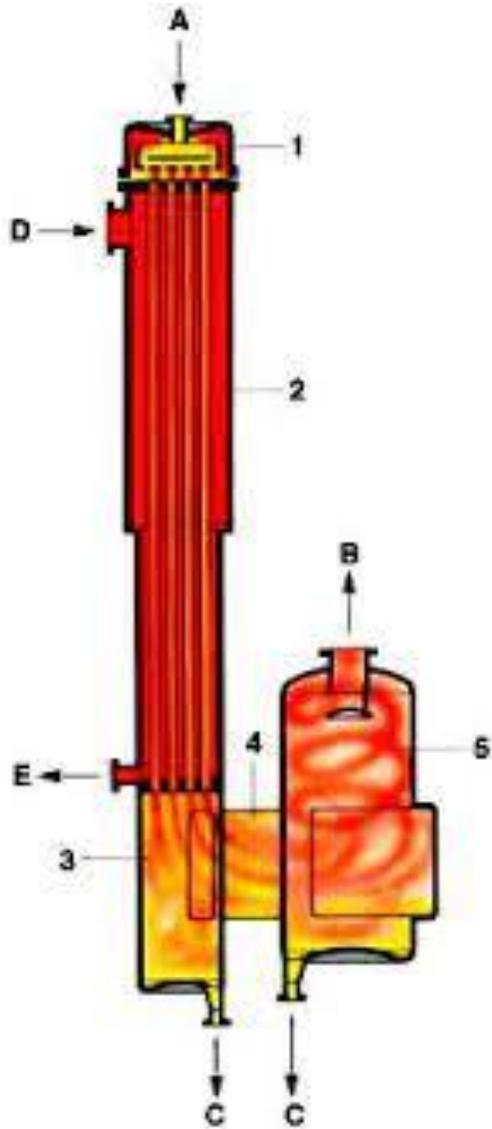
# Concentração

## Evaporação

Evaporador de tubos longos vertical: filme ascendente

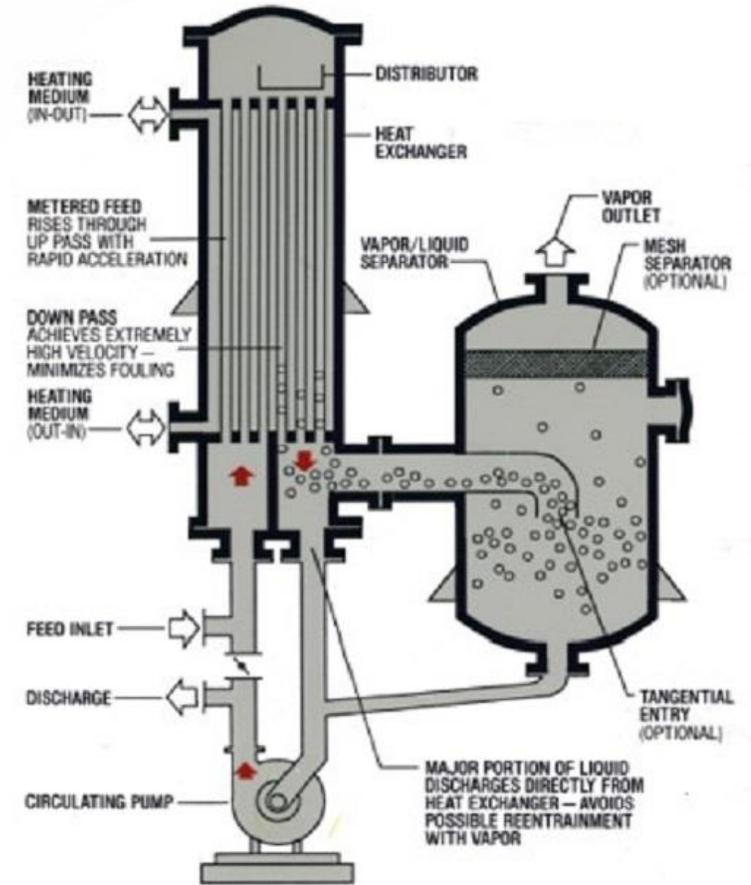


# Concentração



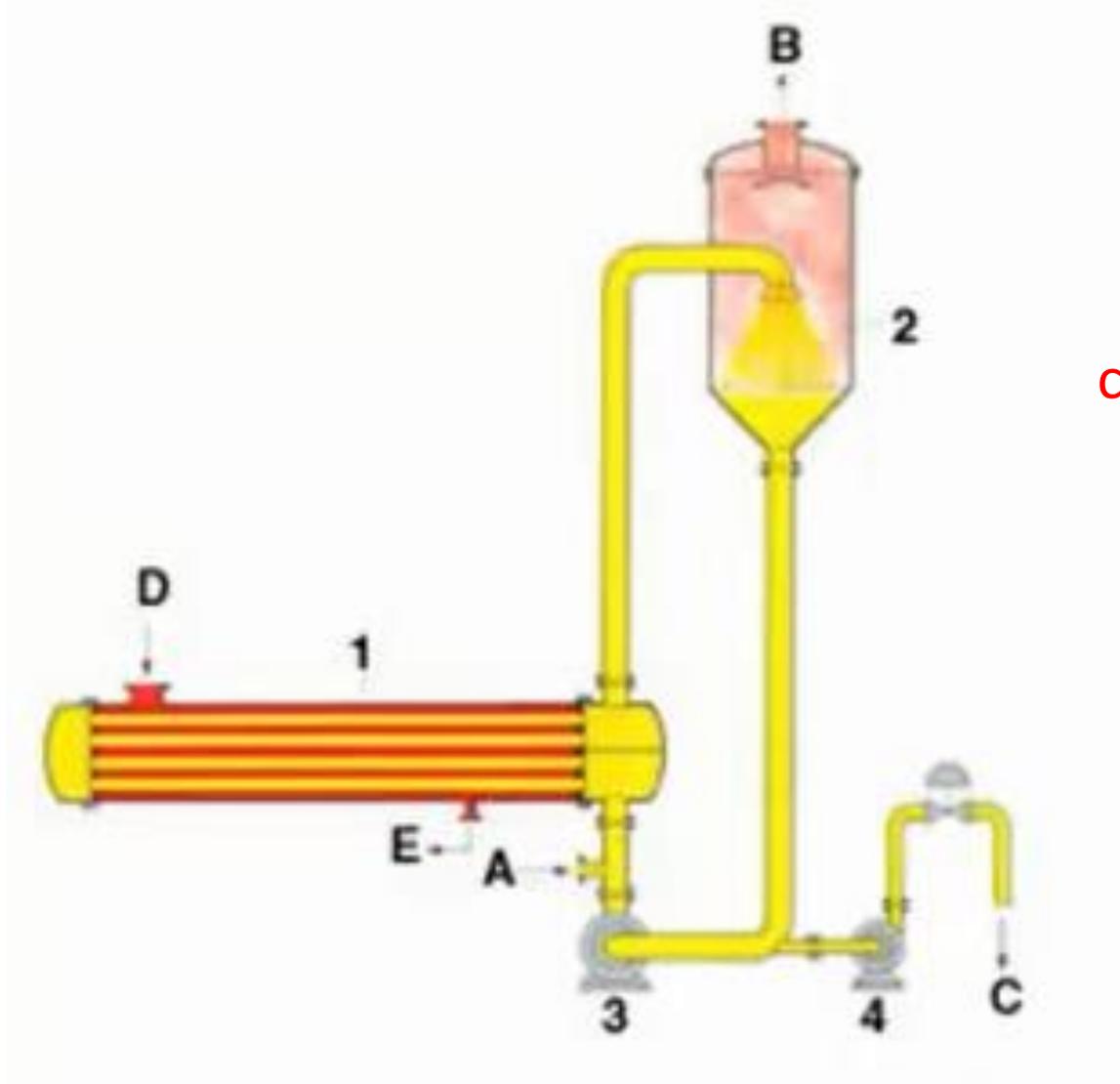
Evaporador de tubos longos vertical: filme descendente

# Evaporação



# Concentração

# Evaporação

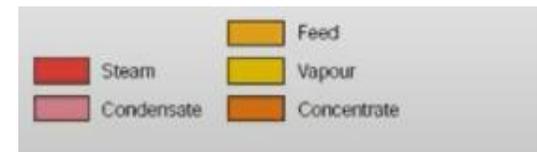
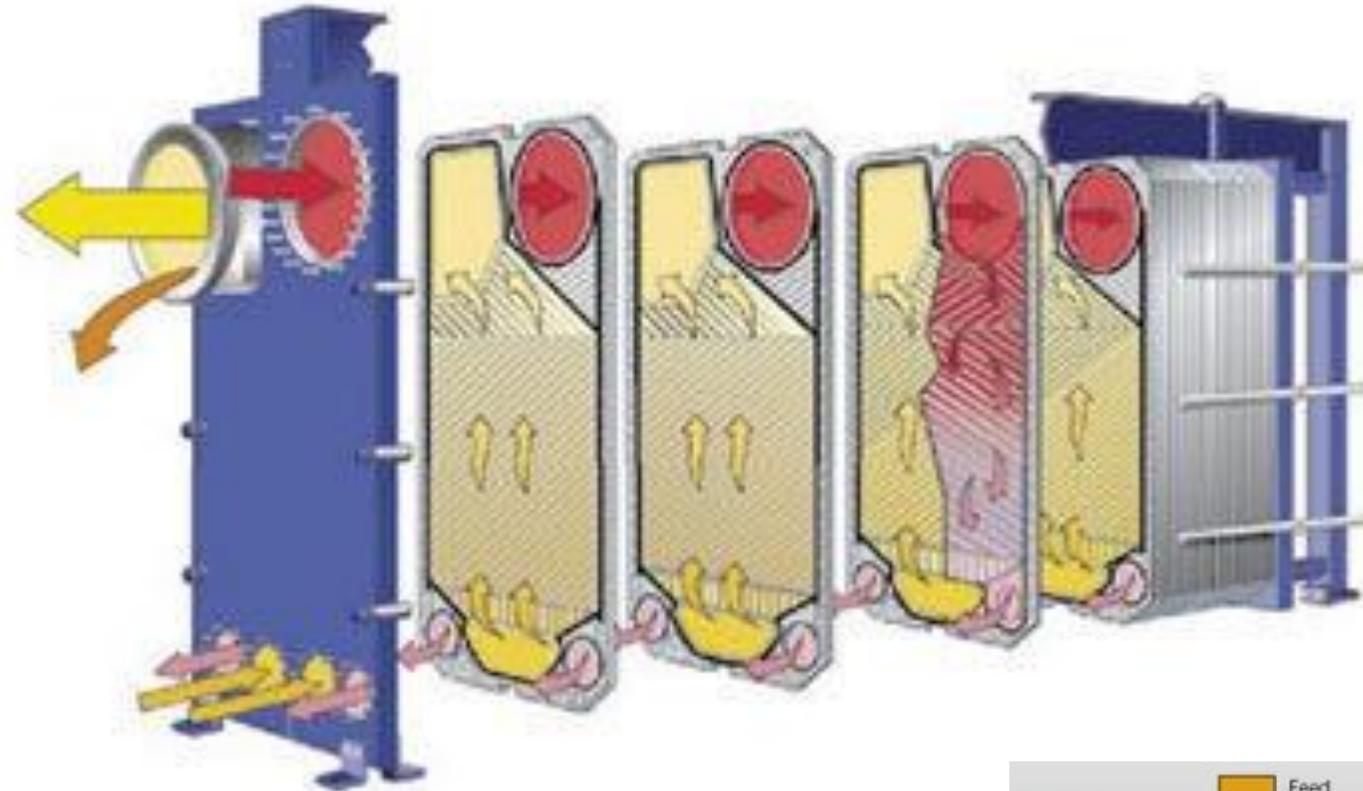


Evaporador de  
circulação forçada:  
casco e tubo  
horizontal

# Concentração

*Evaporação*

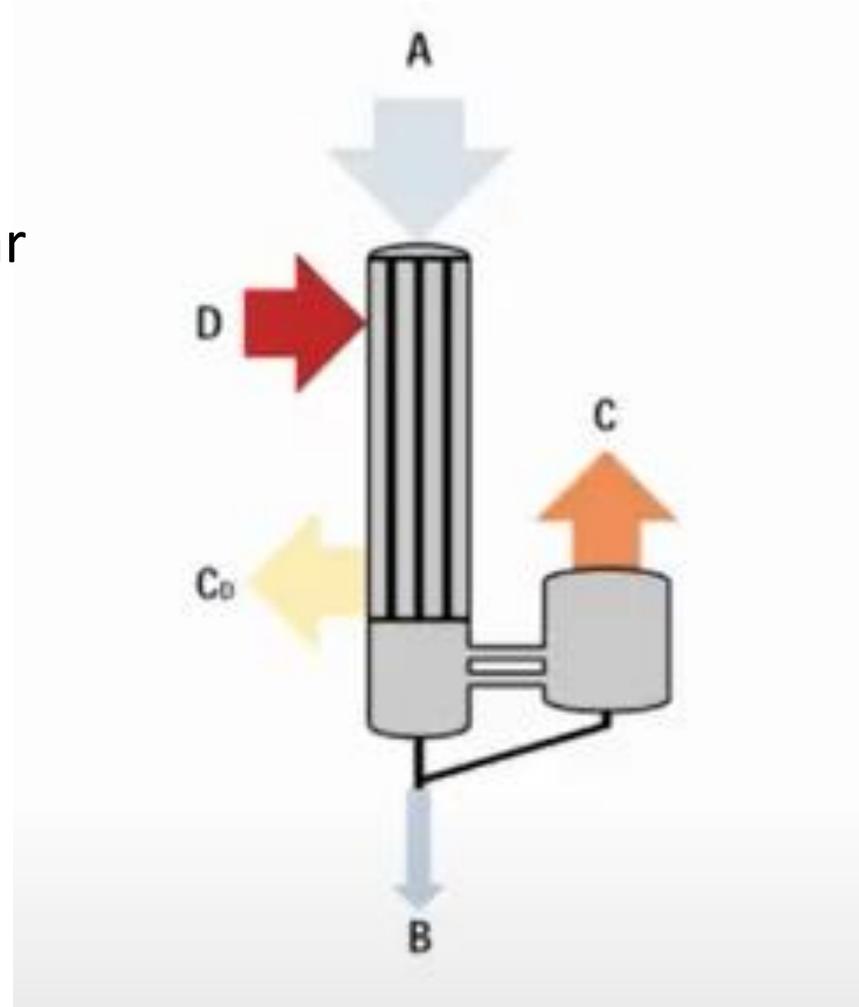
Evaporador a placas



# Concentração

*Evaporação*

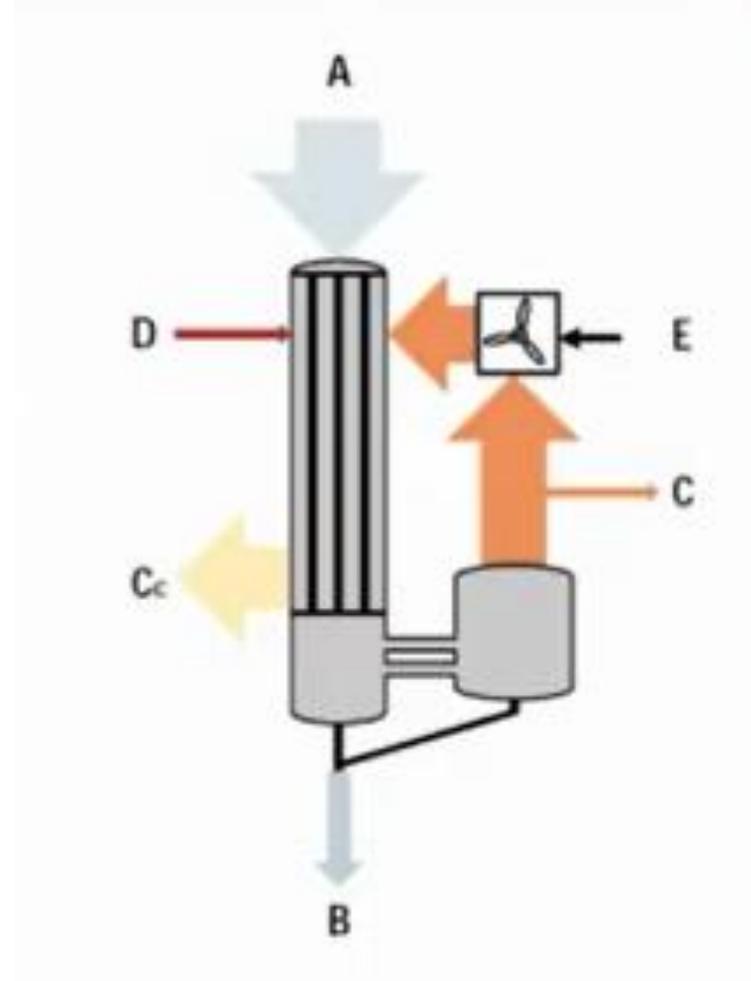
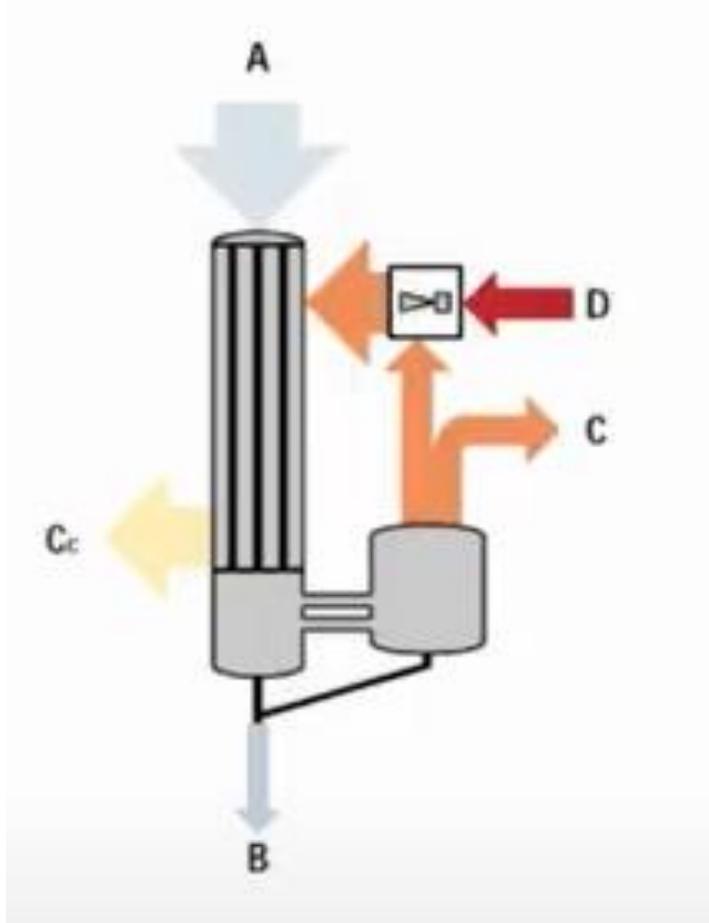
Como economizar energia?



# Concentração

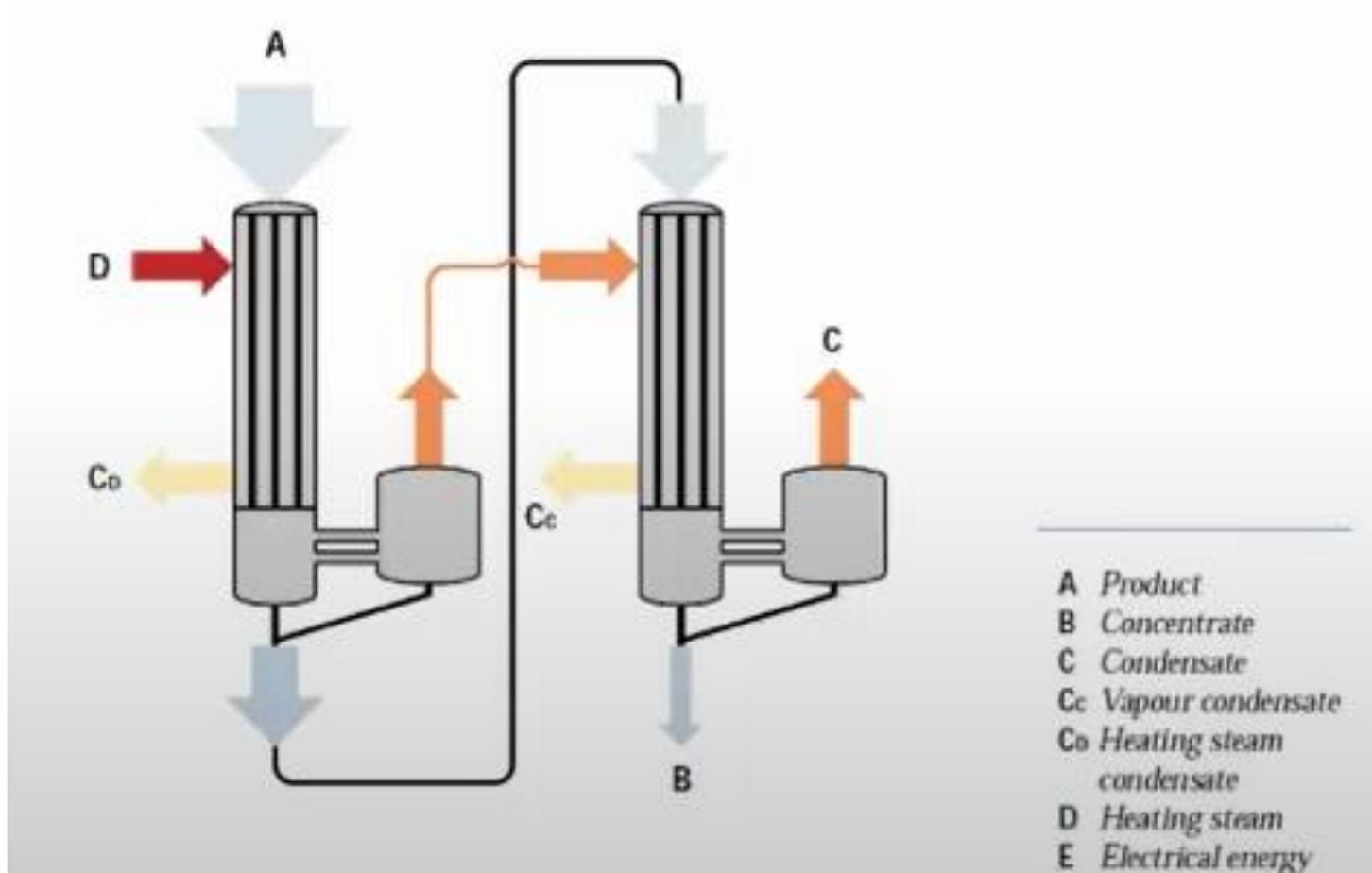
Evaporadores de múltiplos efeitos

*Evaporação*



# Concentração

# Evaporação



**Table 13.3** Steam consumption with vapour recompression and multiple effect evaporation

Number of effects	Steam consumption (kg per kg of water evaporated)	
	Without vapour recompression	With vapour recompression
1	1.1	0.6
2	0.6	0.4
3	0.4	0.3

# Concentração

# Evaporação



# Concentração

*Evaporação*



# Concentração

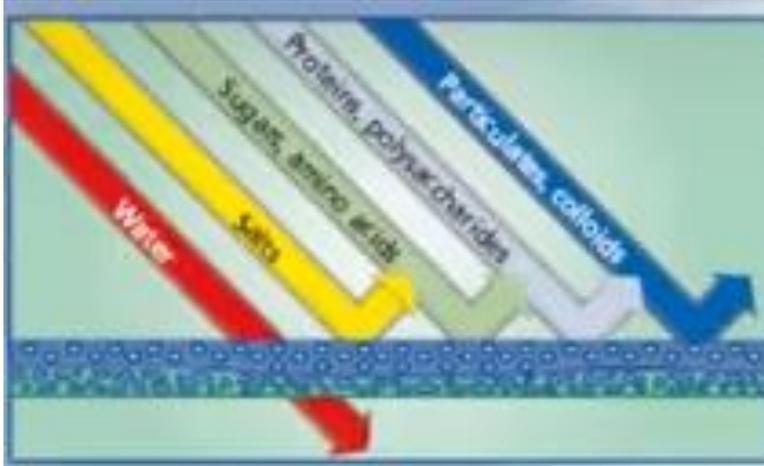
- Frutas + Açúcares
- Pectina, ácidos
- Retirada da água, incorporação de sólidos
- Conservação:  
Processo térmico  
Baixo pH  
Baixa aw

*Evaporação +  
Adição de solutos*



# Concentração

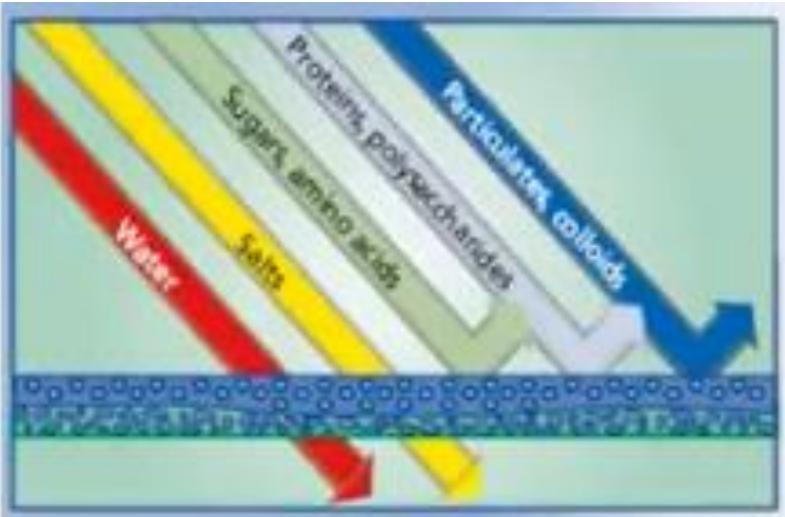
# Membranas



Osmose reversa



Ultrafiltração



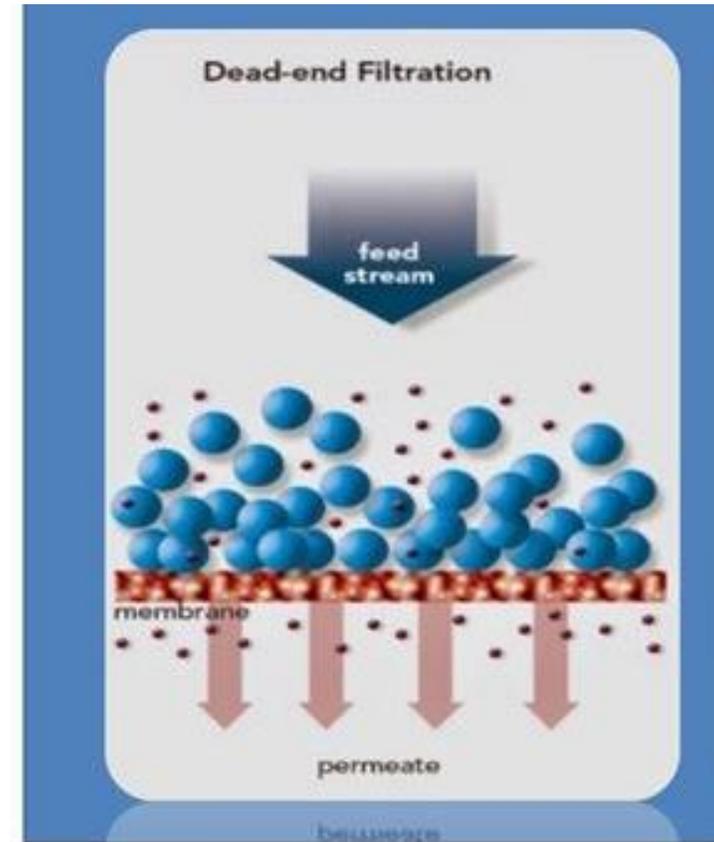
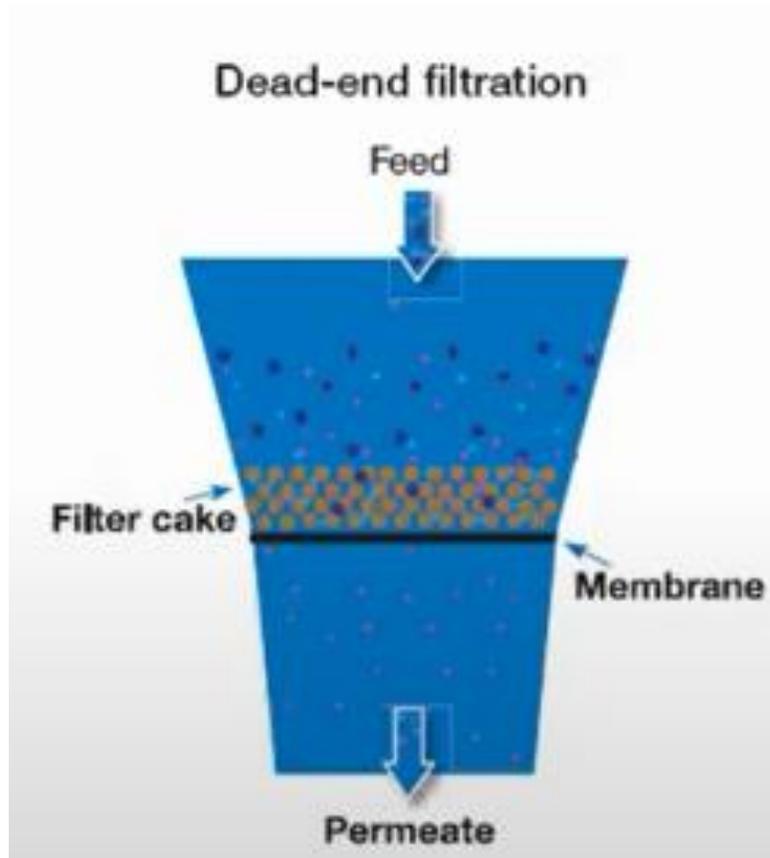
Nanofiltração



Microfiltração

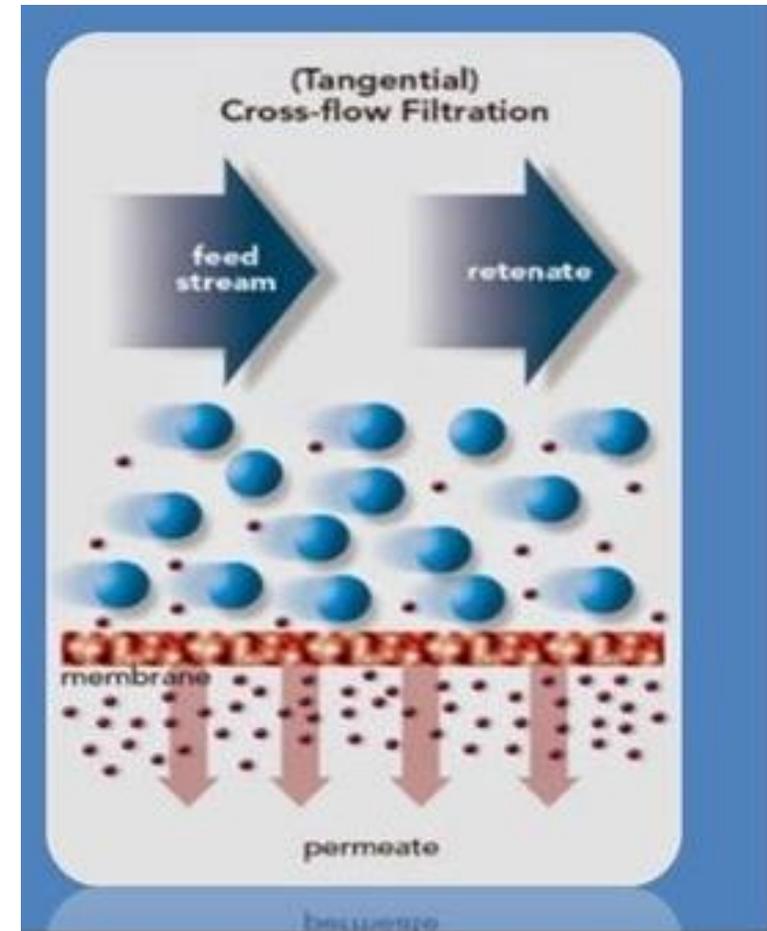
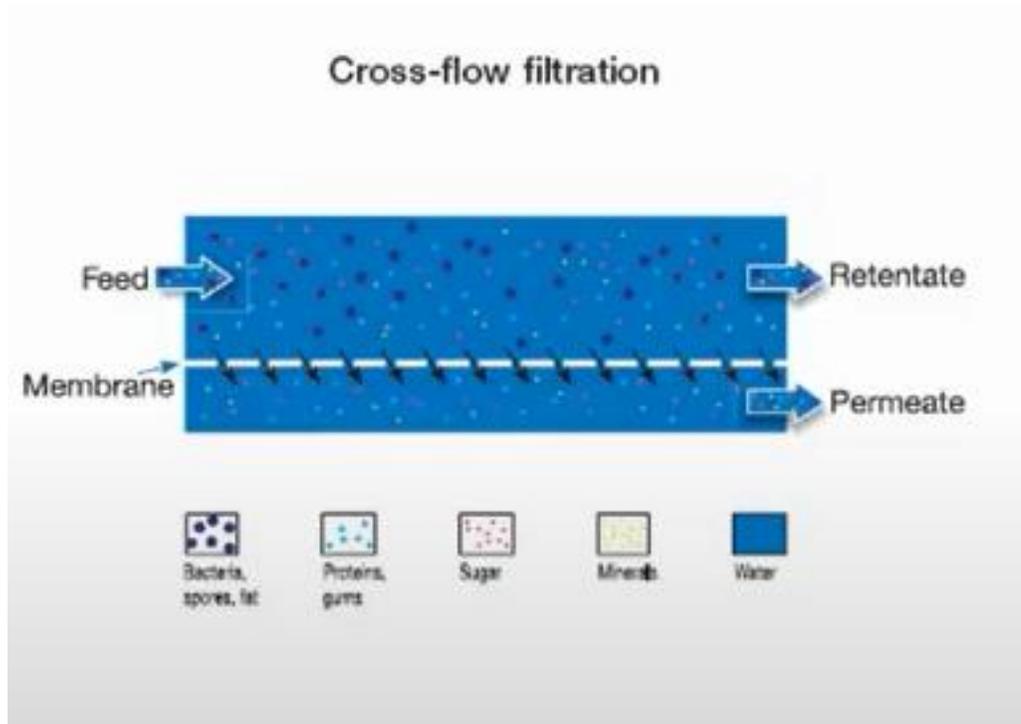
# Concentração

# Membranas



# Concentração

## Membranas





# Concentração

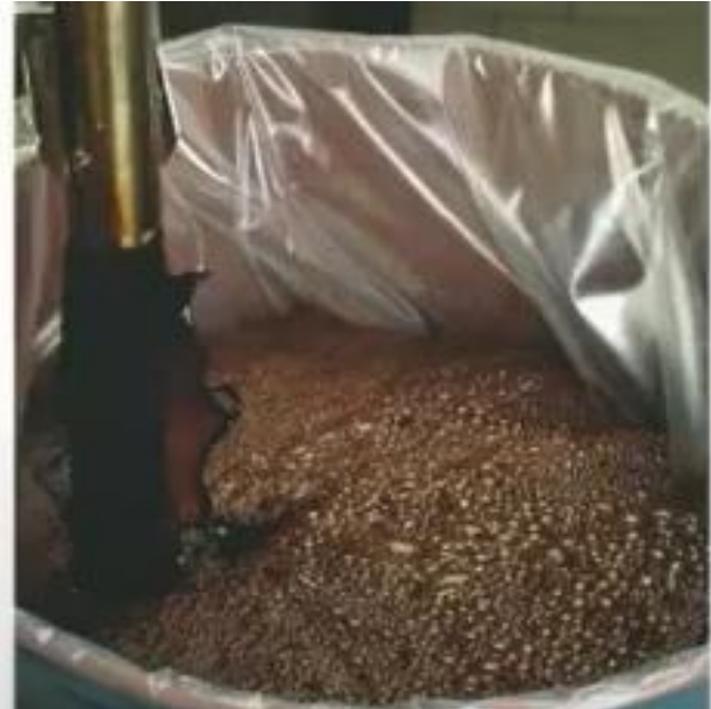
# Membranas



*Estabilidade de alimentos*

# Concentração

## *Crioconcentração*

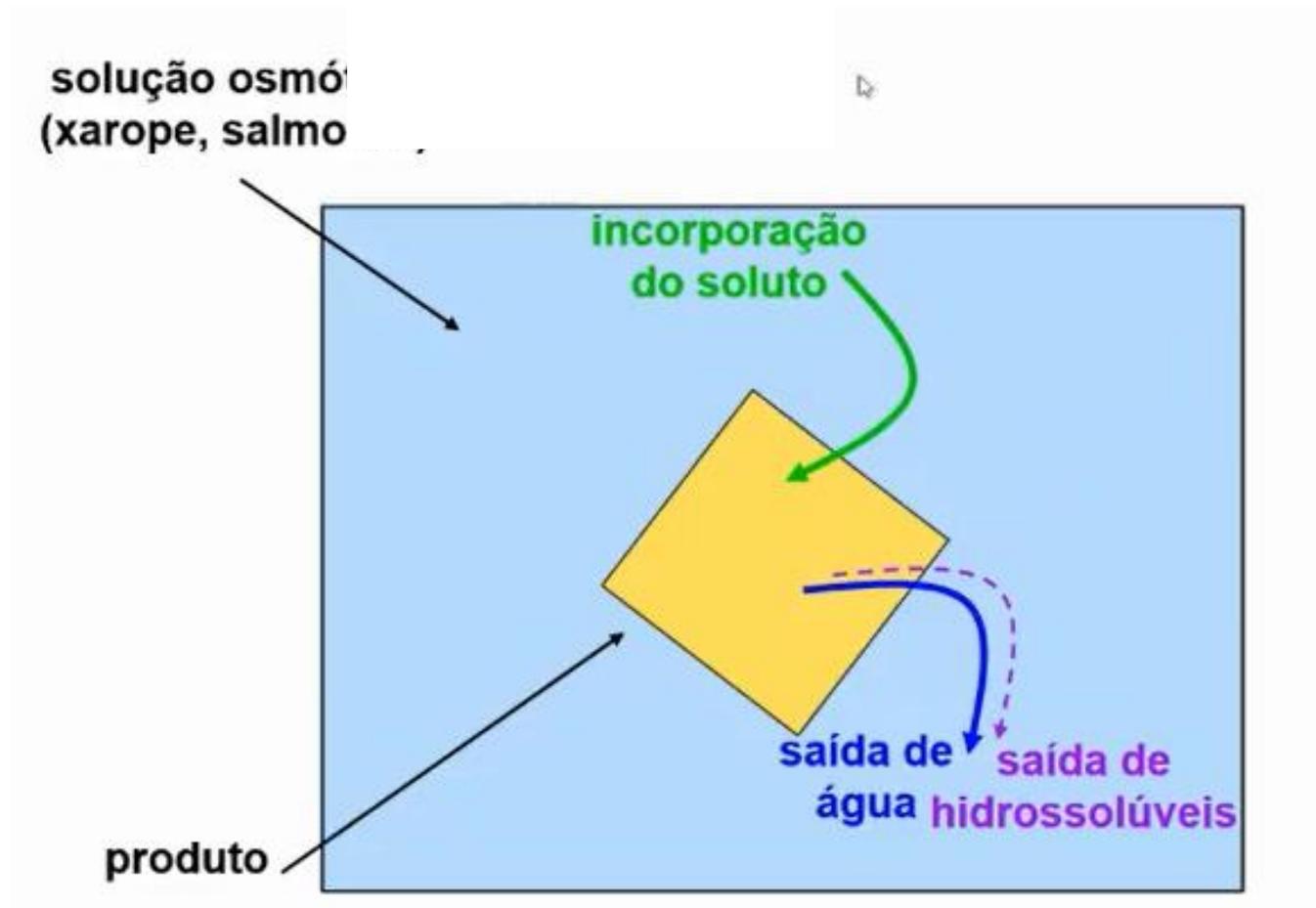


*Freeze concentrator*



# Concentração

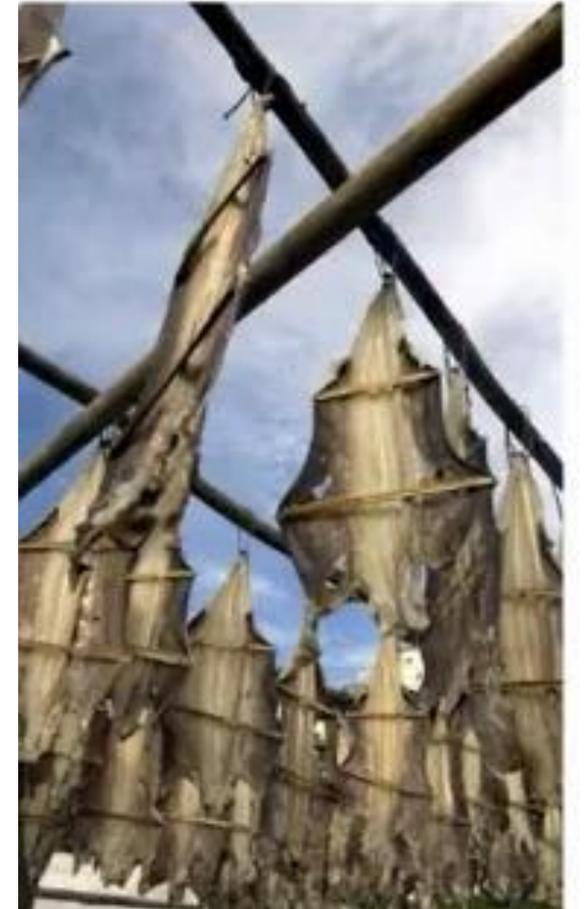
*Desidratação osmótica*



# Concentração



# *Desidratação osmótica*





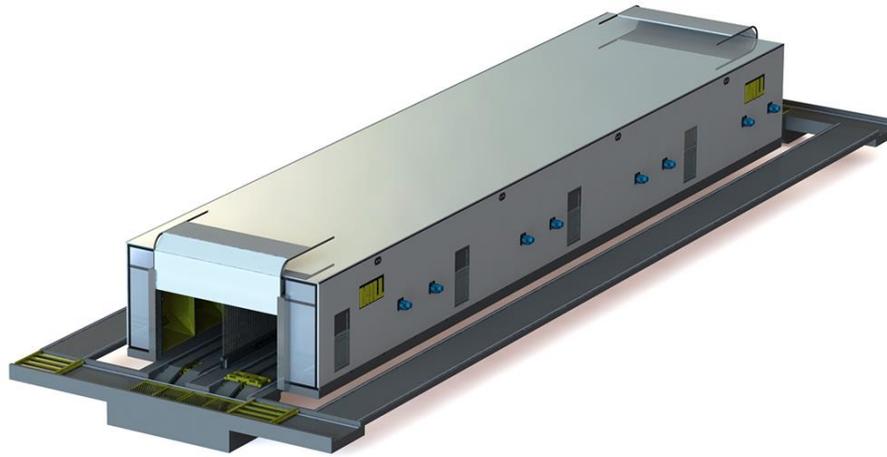
# Secagem

# Secagem



# Secagem

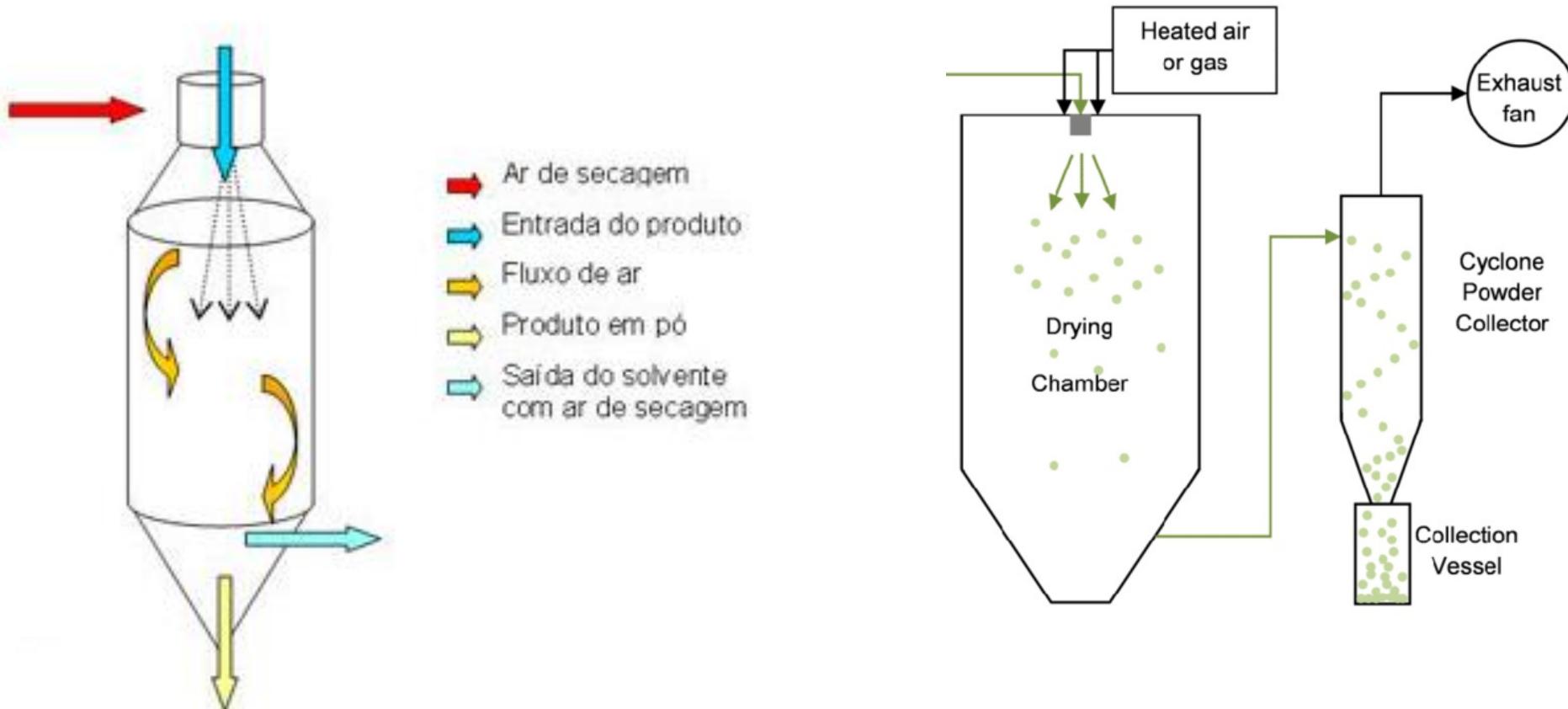
Ar - Sólidos



# Secagem

*Ar - Líquido*

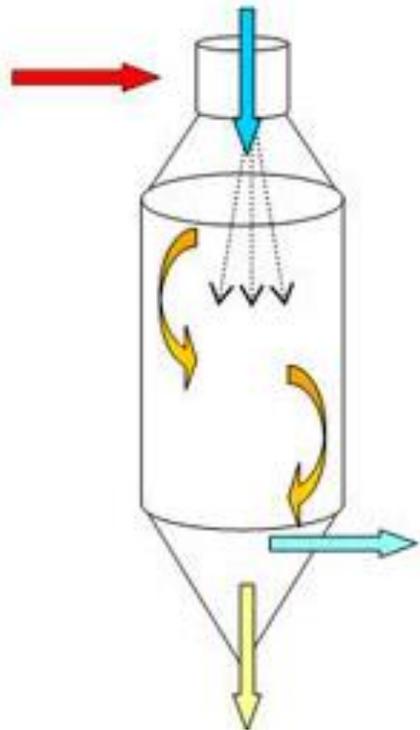
## Atomização – Spray dryer



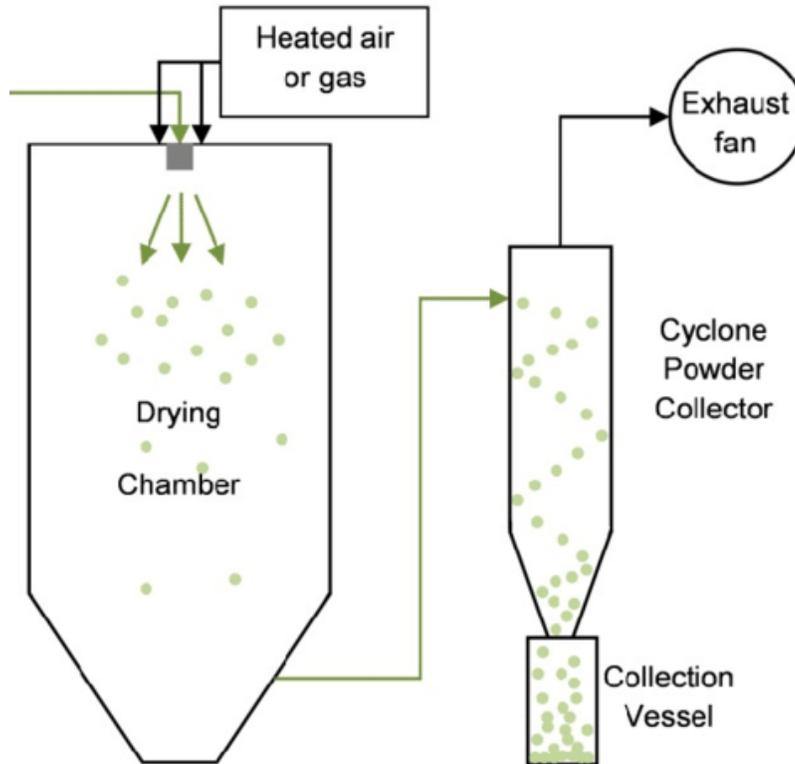
# Secagem

## Ar - Líquido

### Atomização – Spray dryer



- Ar de secagem
- Entrada do produto
- Fluxo de ar
- Produto em pó
- Saída do solvente com ar de secagem



*Rotating atomizer wheel in operation*



*Pressure nozzle atomizer in operation*

# Secagem

*Ar - Líquido*

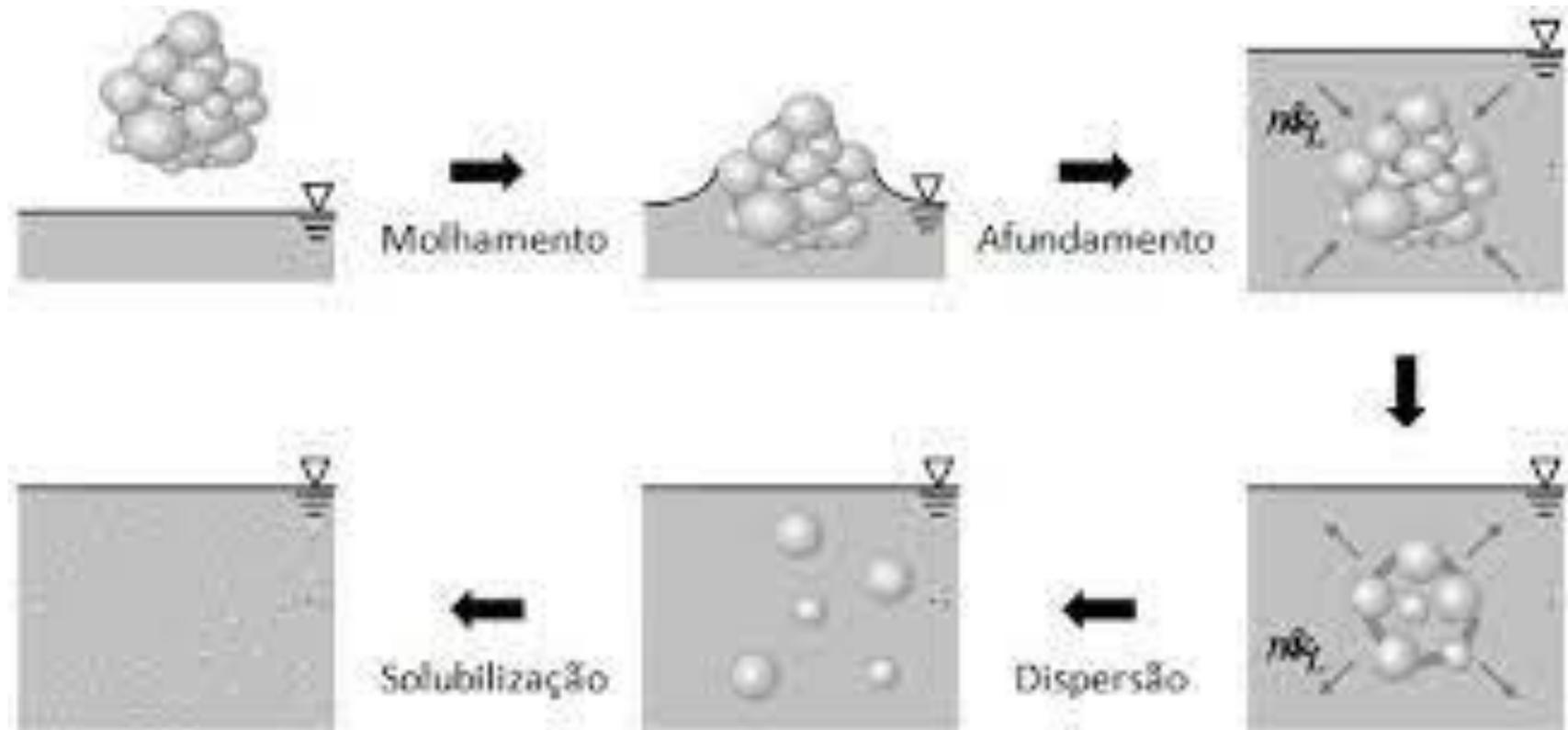
Atomização – Spray dryer



# Secagem

*Ar - Líquido*

## Atomização – Spray dryer

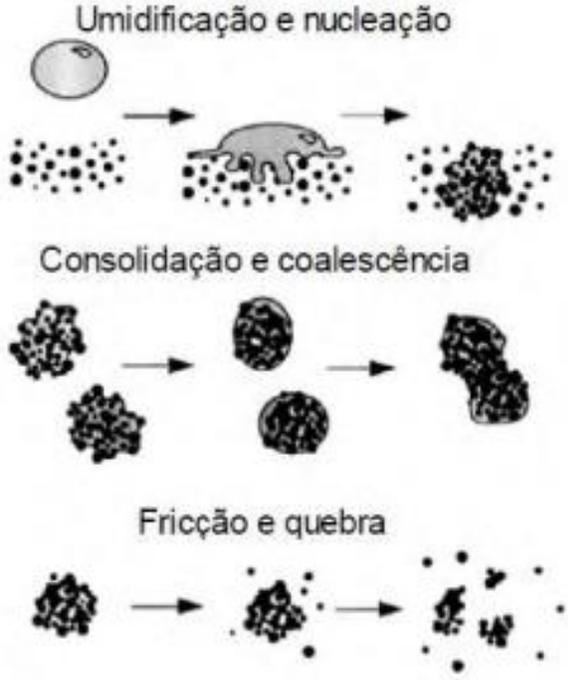
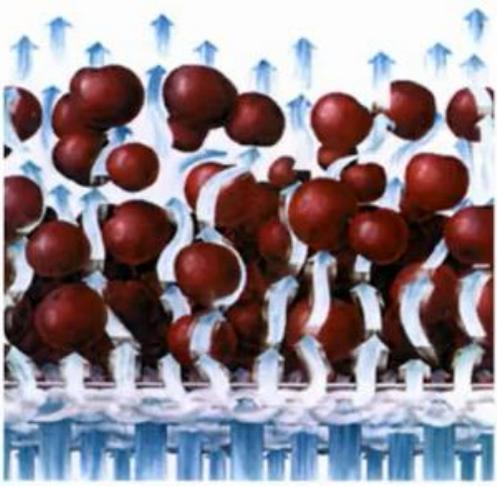
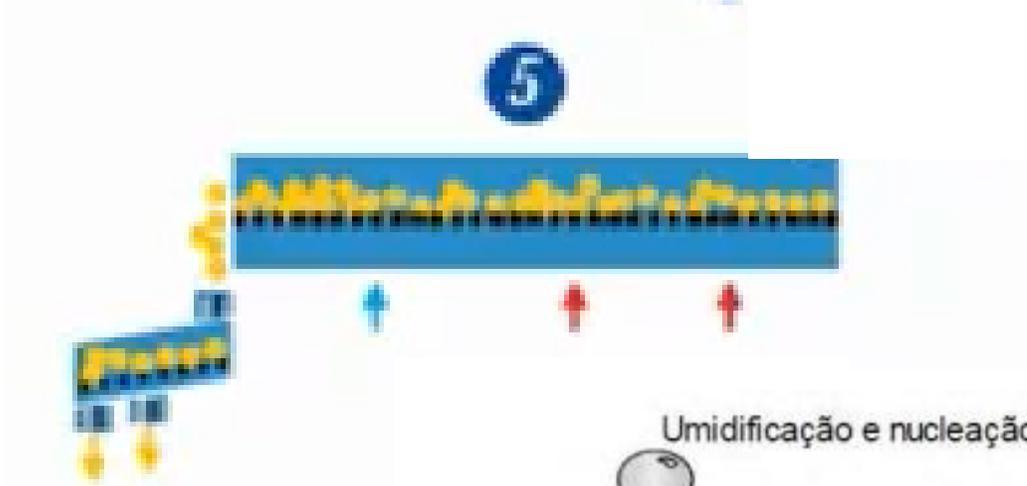


# Secagem

Atomização – Spray dryer

*Ar - Líquido*

Aglomerador

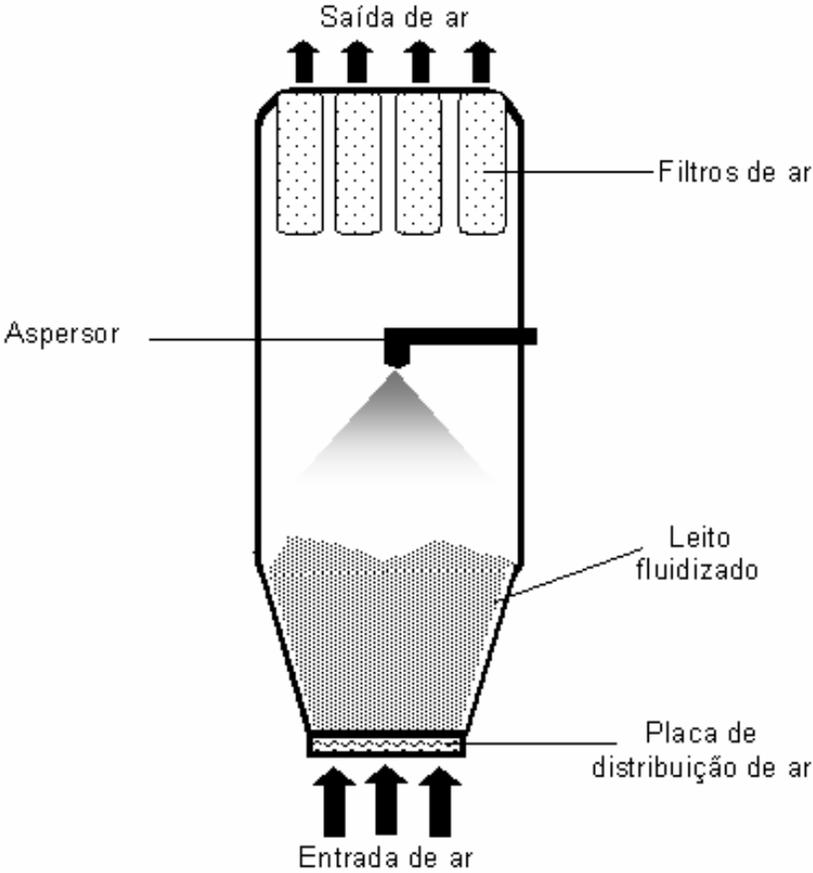


Estado vítreo para estado gomoso

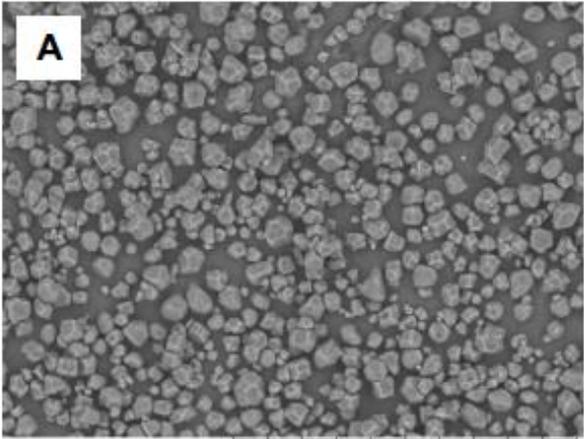
# Secagem

Atomização – Spray dryer

*Ar - Líquido*

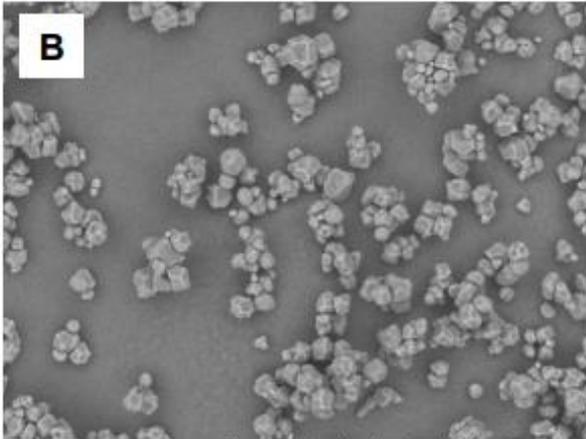


Amido de milho nativo

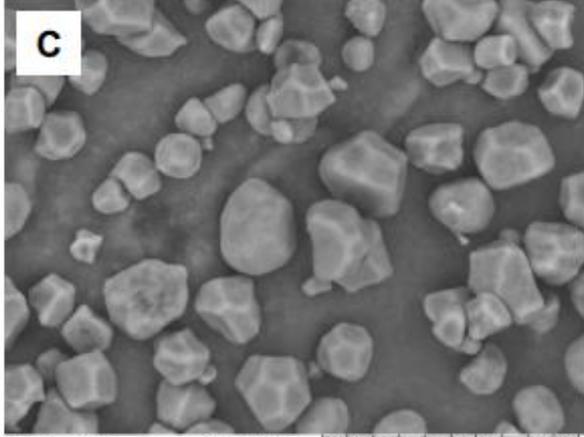


Amido - 1362 2013/12/04 14:00 NL D4.5 x500 200 um

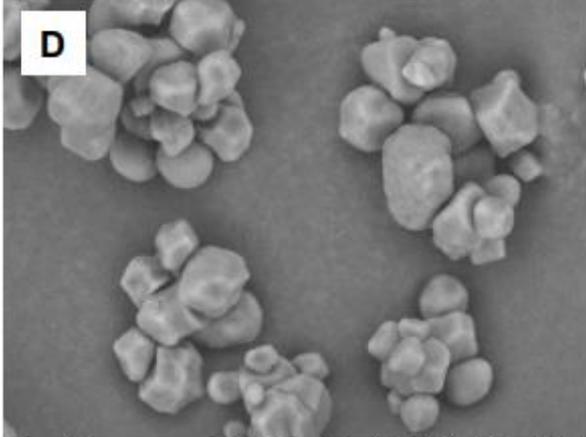
SFB



Leito - 4159 2014/12/17 NL D4.5 x500 200 um



Amido - 1364 2013/12/04 14:02 NL D4.5 x1.5k 50 um

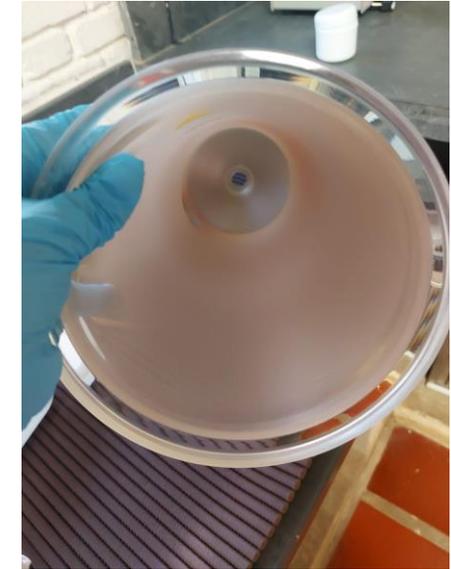


Leito - 4165 2014/12/17 NL D4.6 x1.5k 50 um

# Secagem

## Atomização – Spray dryer

## *Ar - Líquido*



# Secagem

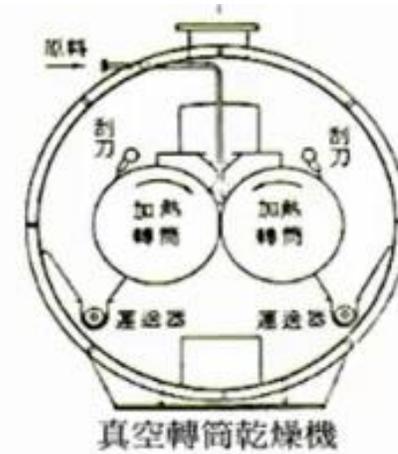
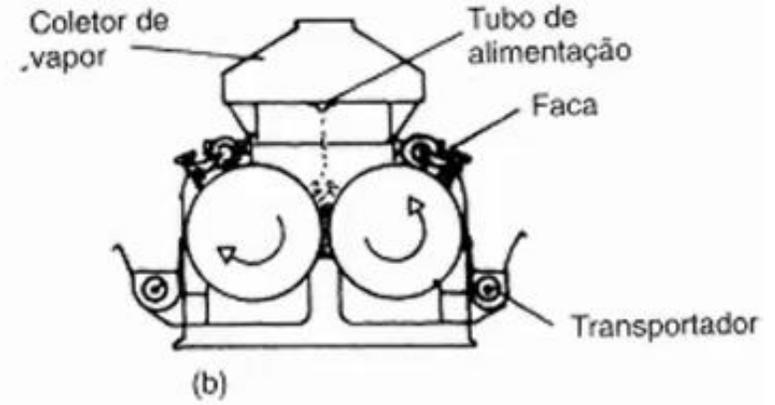
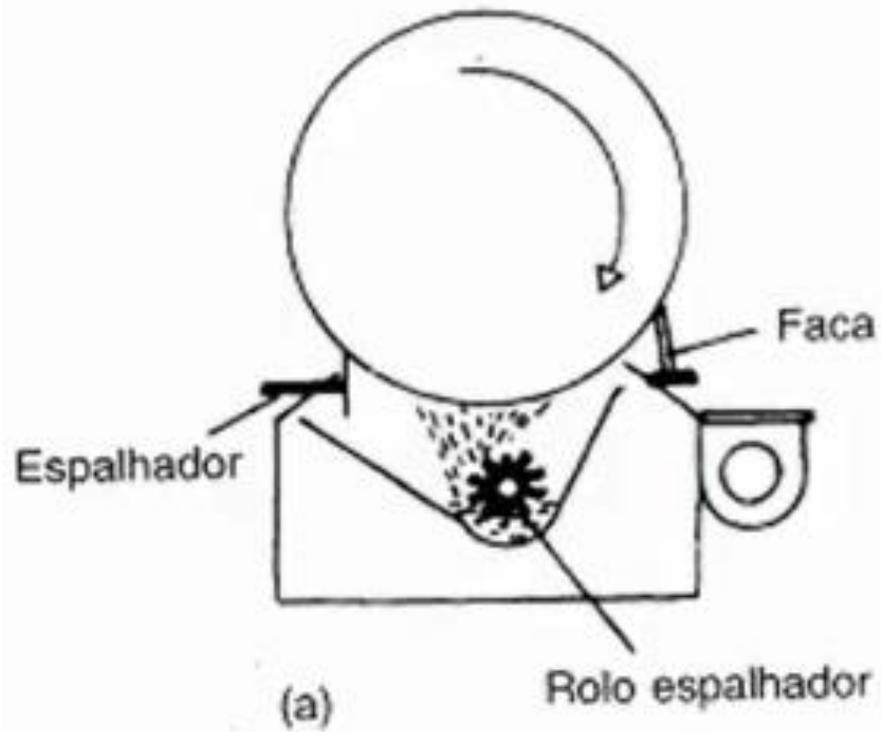
## Contato

- Alimento em contato com uma superfície aquecida;
- A transferência de calor da superfície para o alimento fornece o calor latente
- Favorável economicamente
- Pode ser realizada sob vácuo.



# Secagem

## Contato



# Secagem

# *Extrusão*



# Secagem

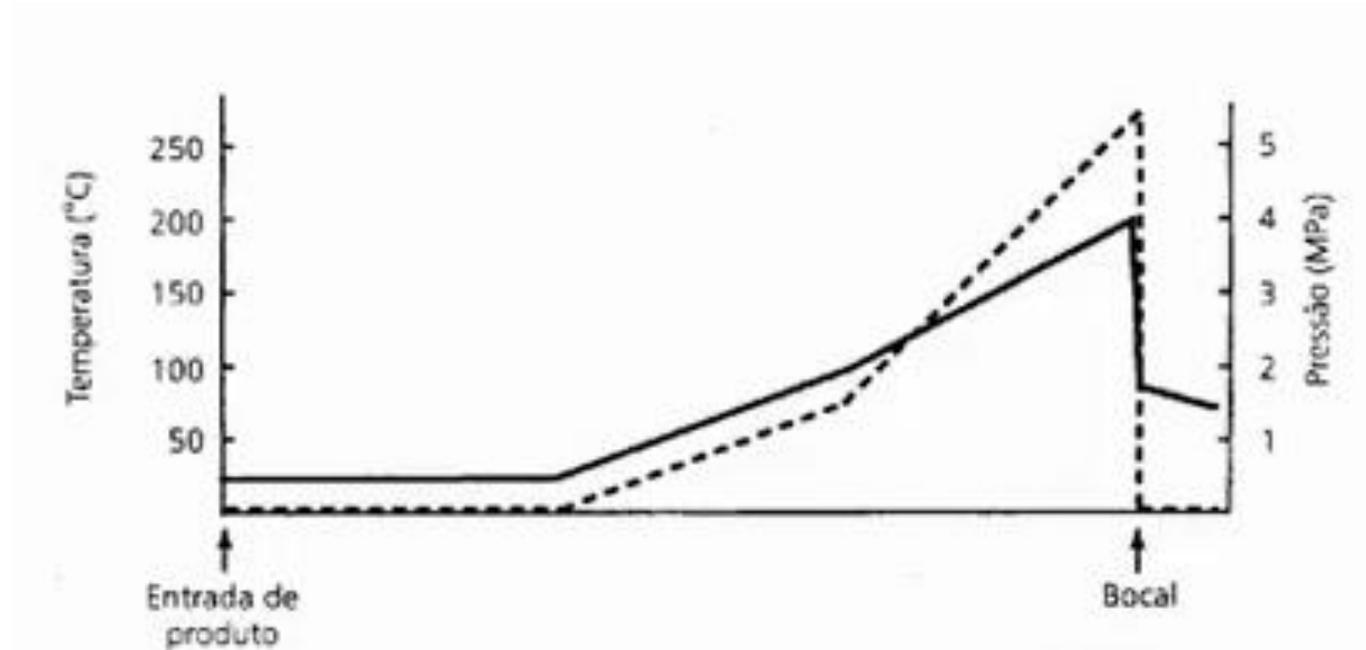
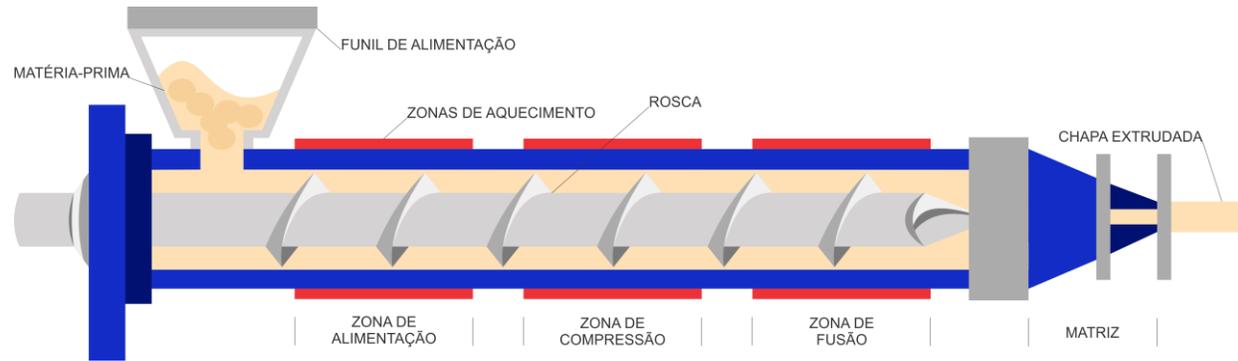
## *Extrusão*

Extrusão termoplástica:

- Produto úmido transportado pela carcaça aquecido, pela rosca sem fim;
- Distância entre o eixo a rosca e carcaça e o passo da rosca diminuem ao longo do comprimento do extrusor, aumentando a pressão do sistema;
- Transporte pela carcaça resulta em grande tensão de cisalhamento, com aquecimento;
- No final, o alimento está a altas temperatura e pressão;
- Ao passar pela matriz, há queda brusca de pressão e temperatura e ocorre a secagem rapidamente (evaporação flash)

# Secagem

# Extrusão



# Secagem

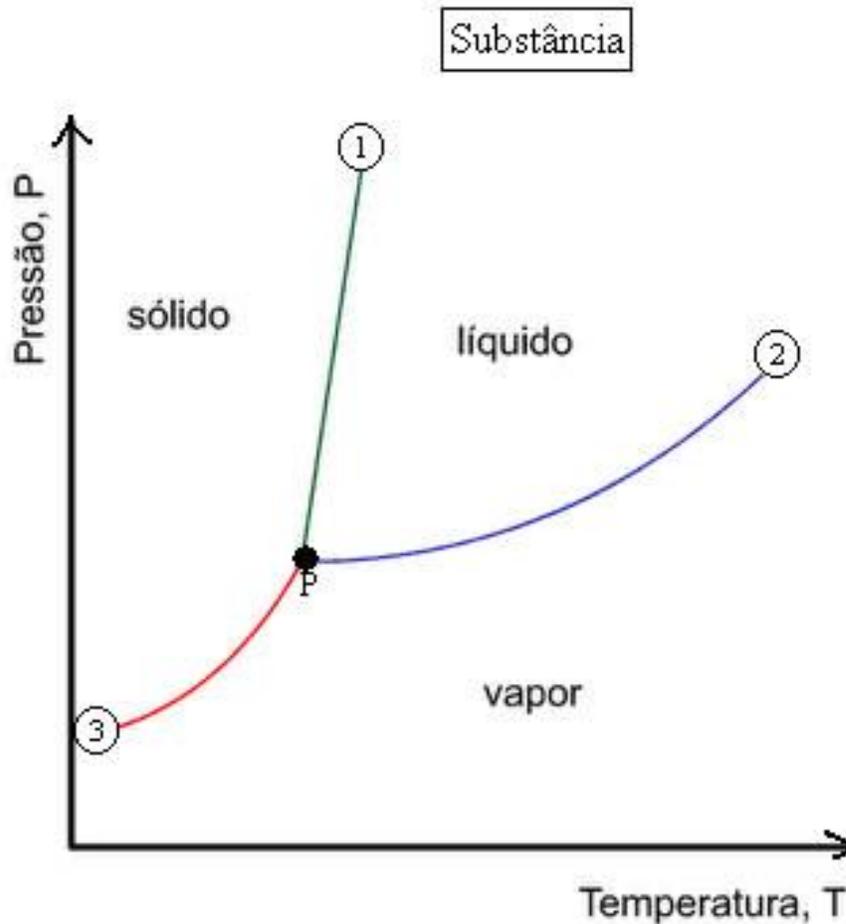


# Extrusão



# Secagem

## Liofilização

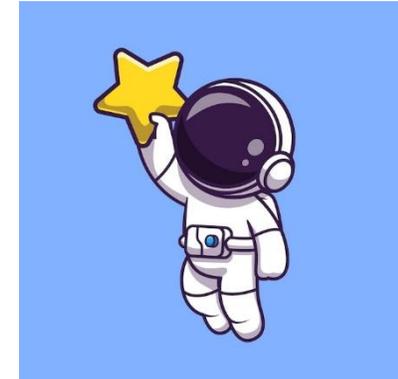


- 1 - Produto é congelado;
- 2 - Redução da pressão;
- 3 - Fornecimento do calor latente em uma temperatura baixa

# Secagem

Secagem a baixas temperaturas;  
Poucas alterações nutricionais e sensoriais  
Alta capacidade de reidratação do produto final  
Processo lento e caro – alto valor agregado

# Liofilização



# Secagem

# Liofilização





## Outros métodos

# Fermentação

## Fermentação láctica



# Fermentação



# Fermentação

## Fermentação alcoólica



# Fermentação





# Fermentação

Fermentação acética

*Fermentação*



# Acidificação

# *Acidificação*



# Uso de aditivos

*Aditivos*

Ácido benzóico  
Ácido sórbico  
Ácido propiônico  
Nitrito  
Nitrato  
Parabenos  
Sulfitos

