



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

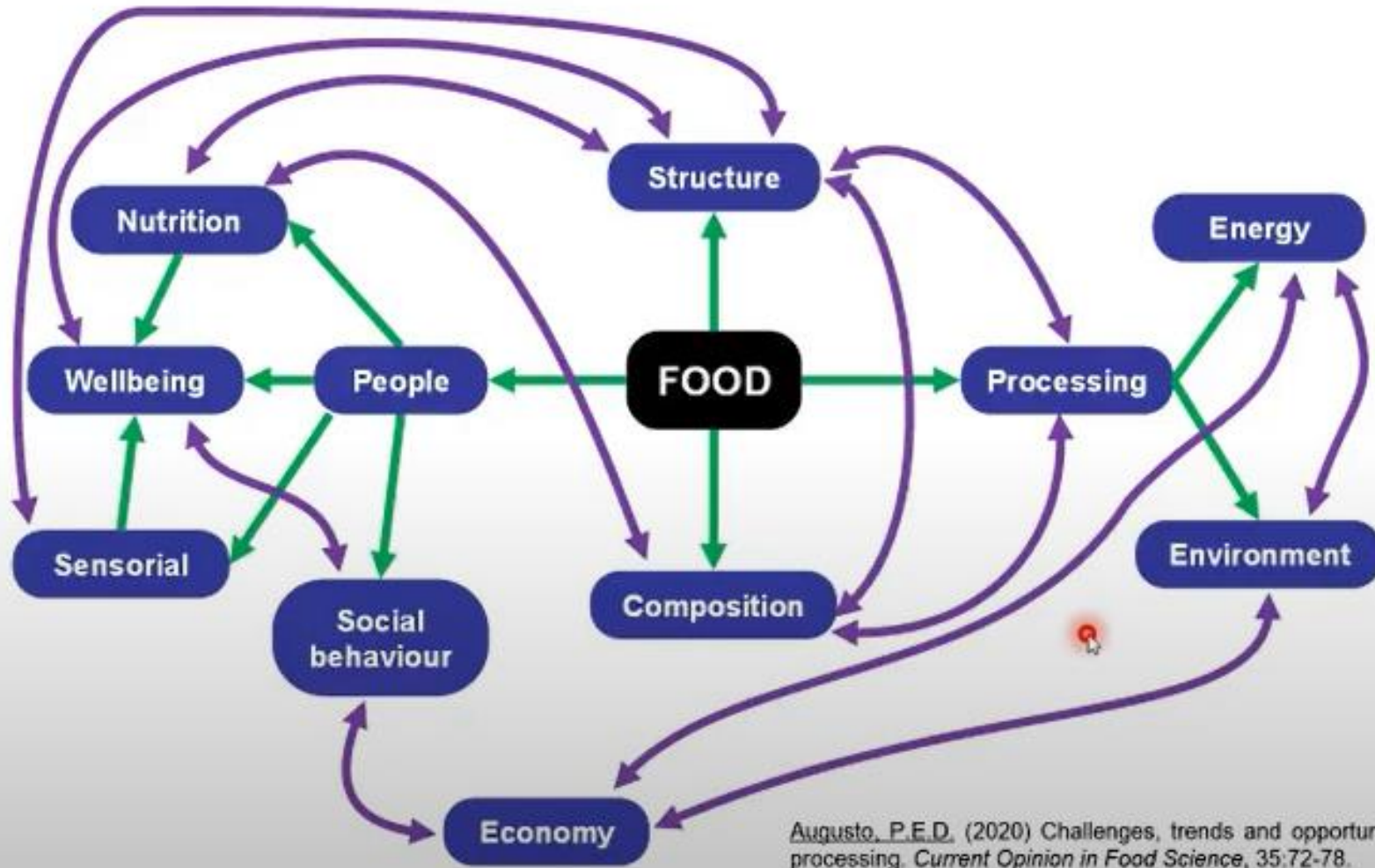
Estabilidade e conservação de alimentos

Gabriela Feltre

Alimentos



Alimentos



Augusto, P.E.D. (2020) Challenges, trends and opportunities in food processing. *Current Opinion in Food Science*, 35:72-78.



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

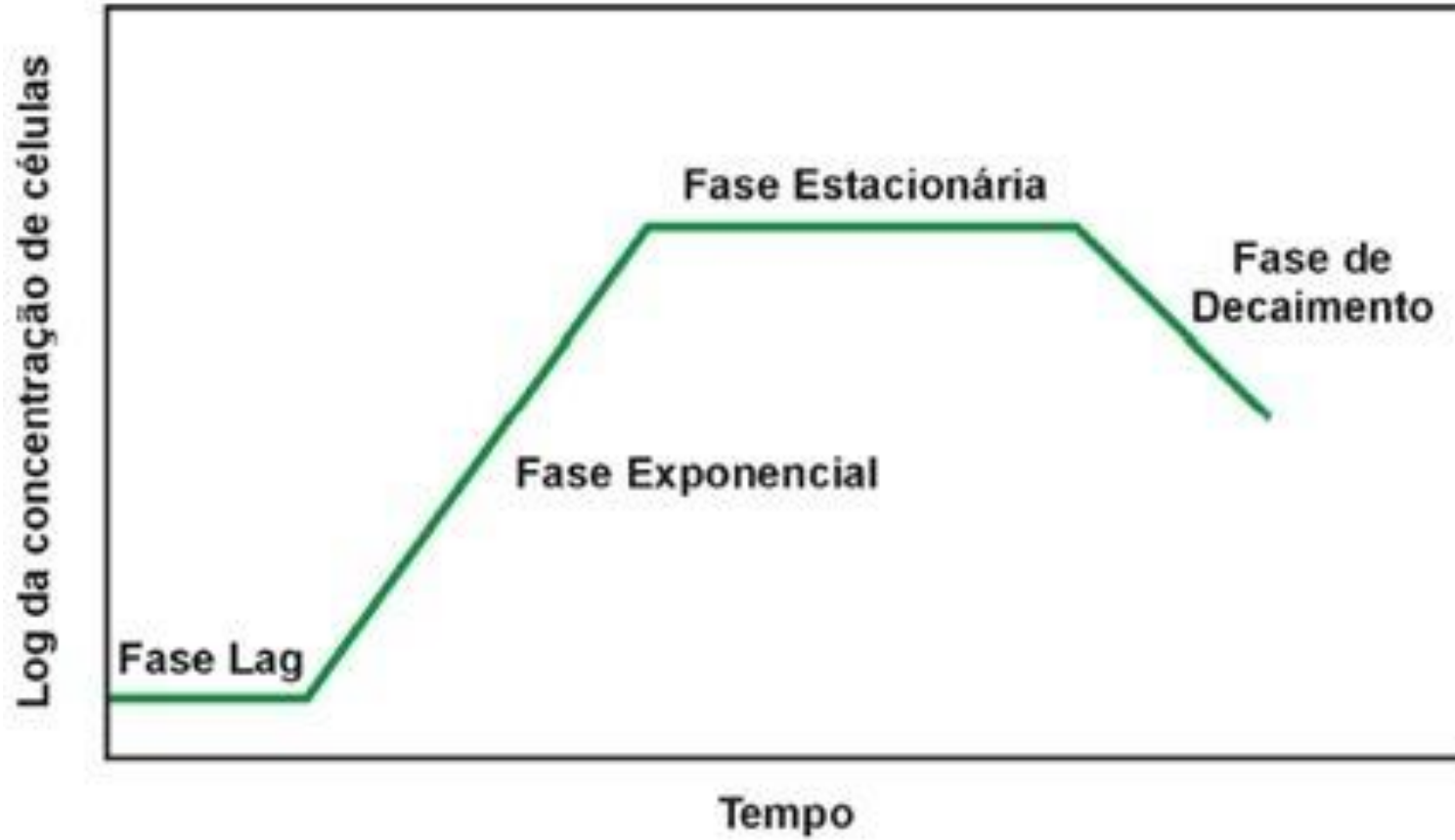


- ✓ Doce de leite;
- ✓ Reação de Maillard.



- ✓ 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

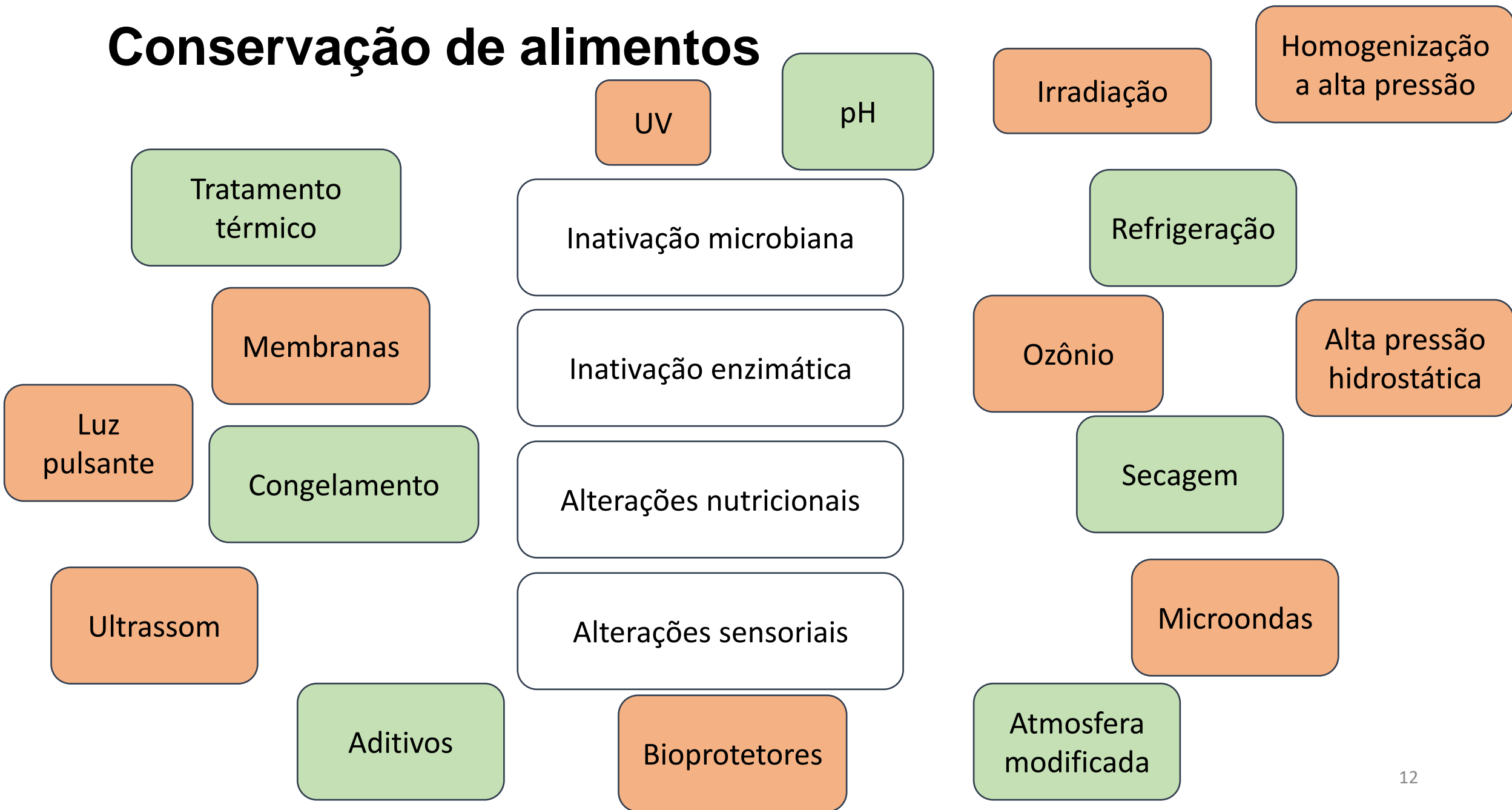
Secagem

Alterações sensoriais

Aditivos

Atmosfera
modificada

Conservação de alimentos



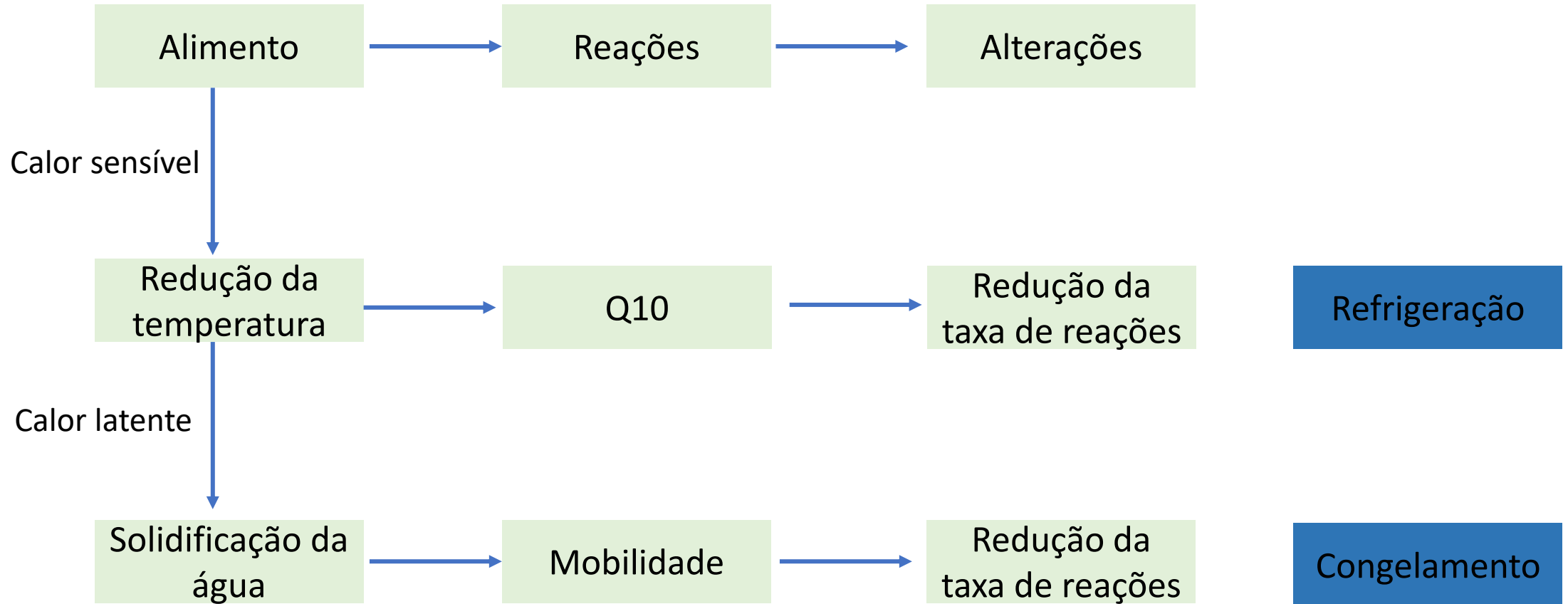


Congelamento e refrigeração

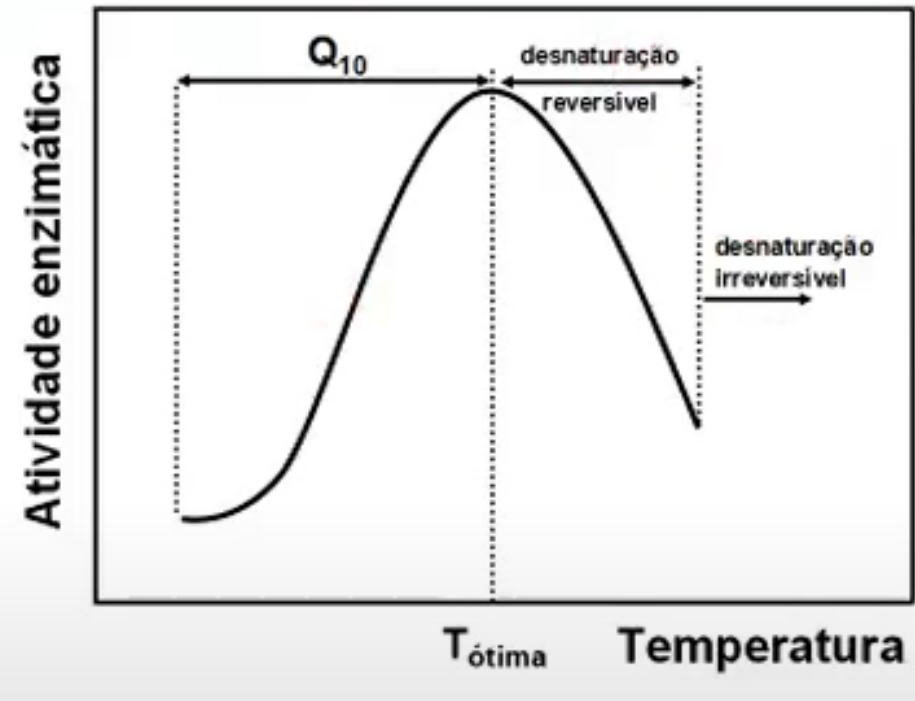
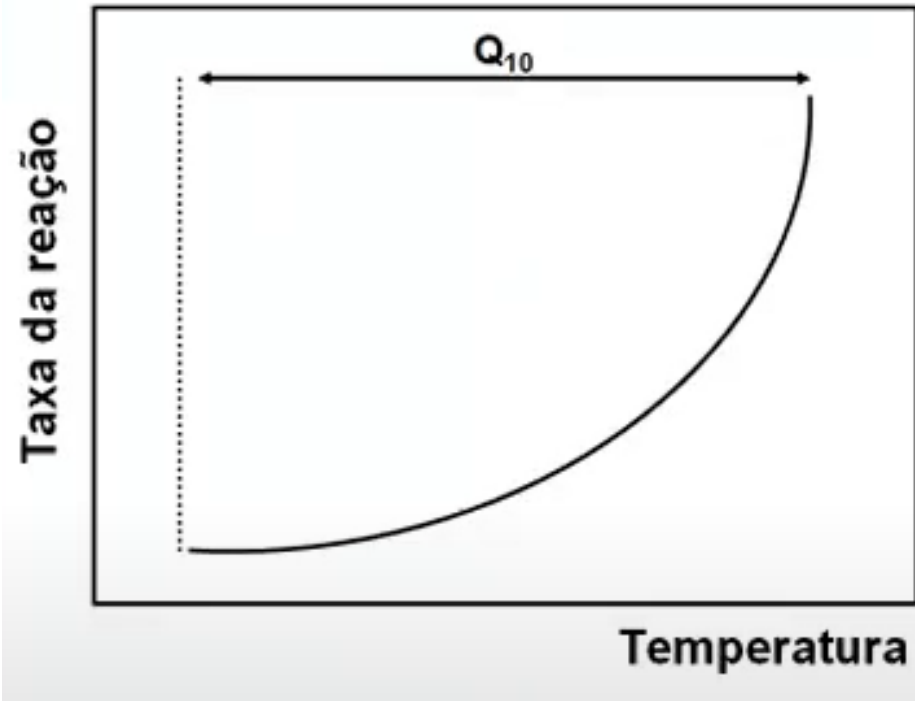
Congelamento e refrigeração



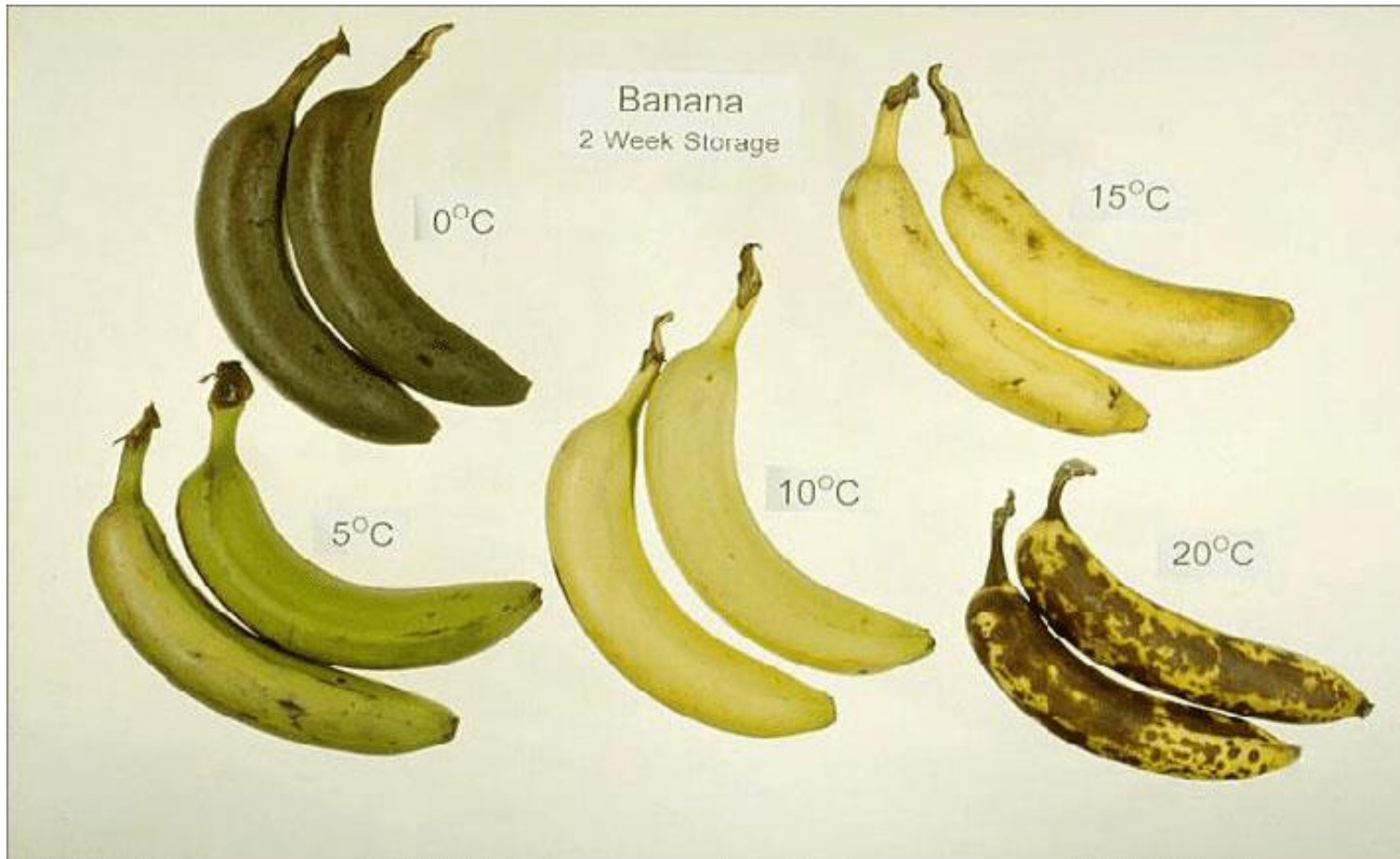
Congelamento e refrigeração



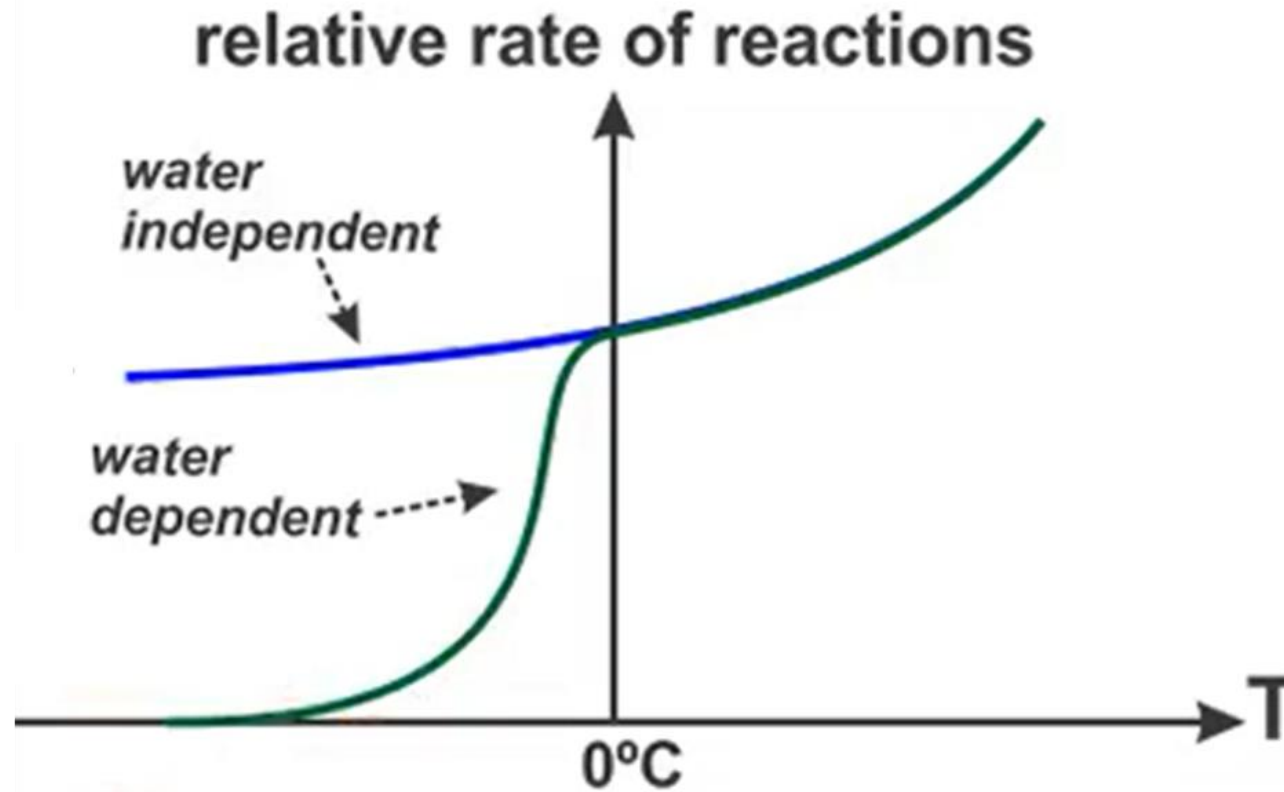
Taxa de reação: Refrigeração



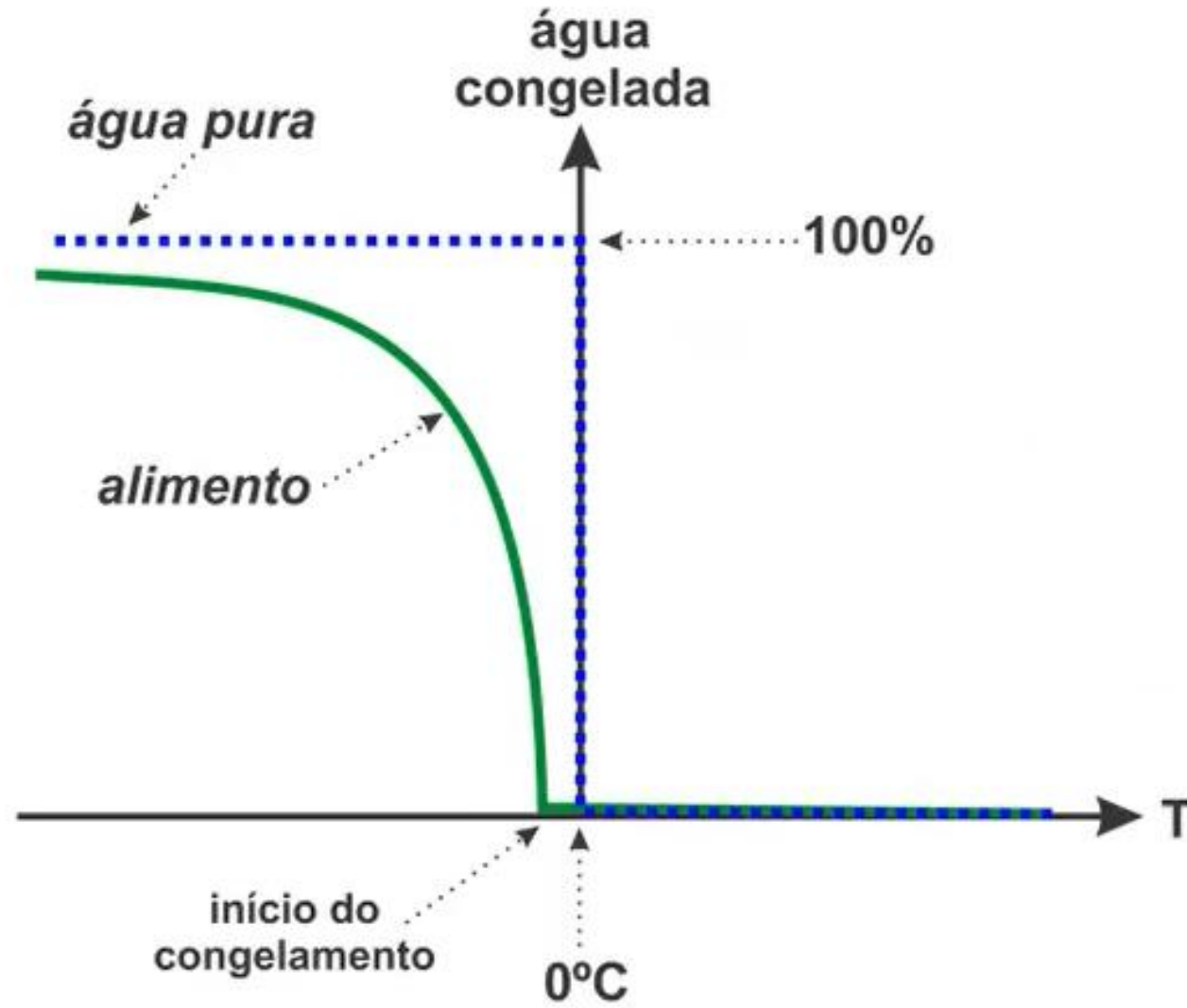
Taxa de reação: Refrigeração



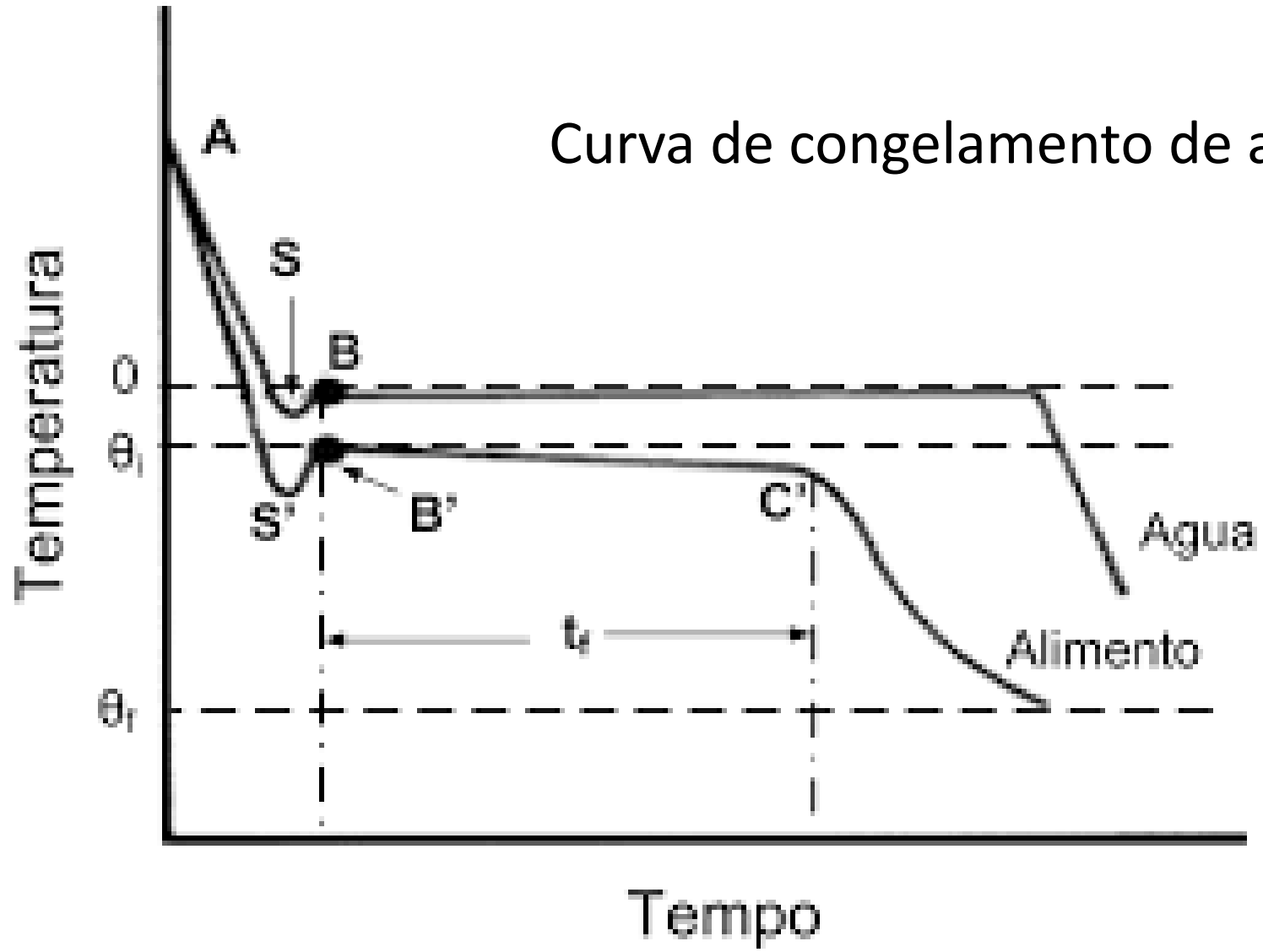
Taxa de reação: Refrigeração e congelamento



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

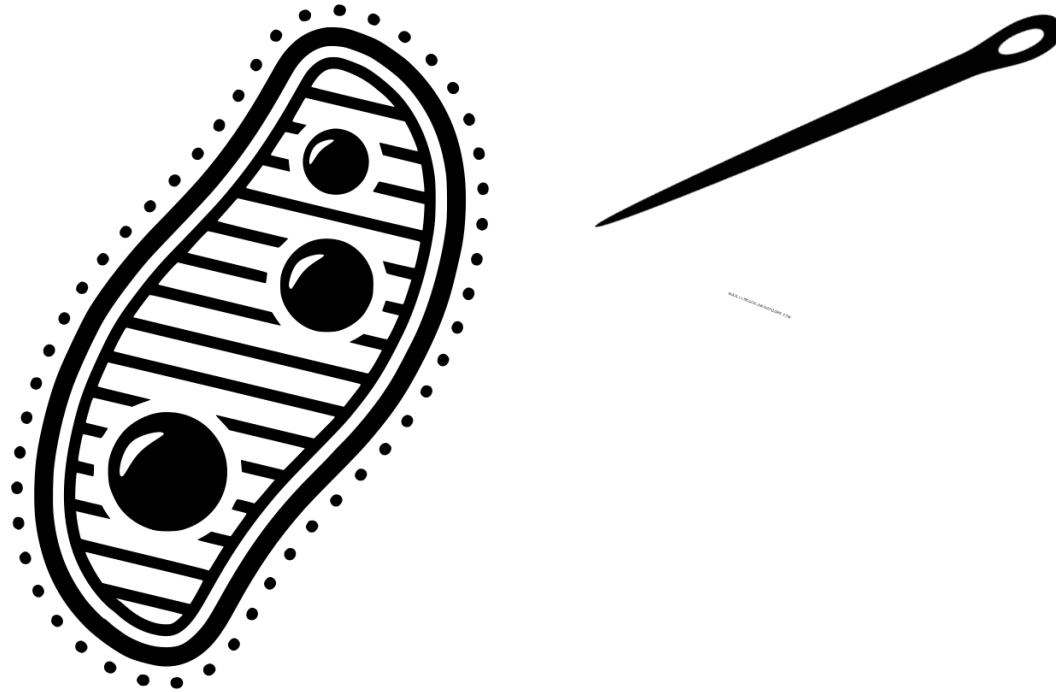
Tamanho



O tamanho dos cristais afeta a qualidade dos alimentos

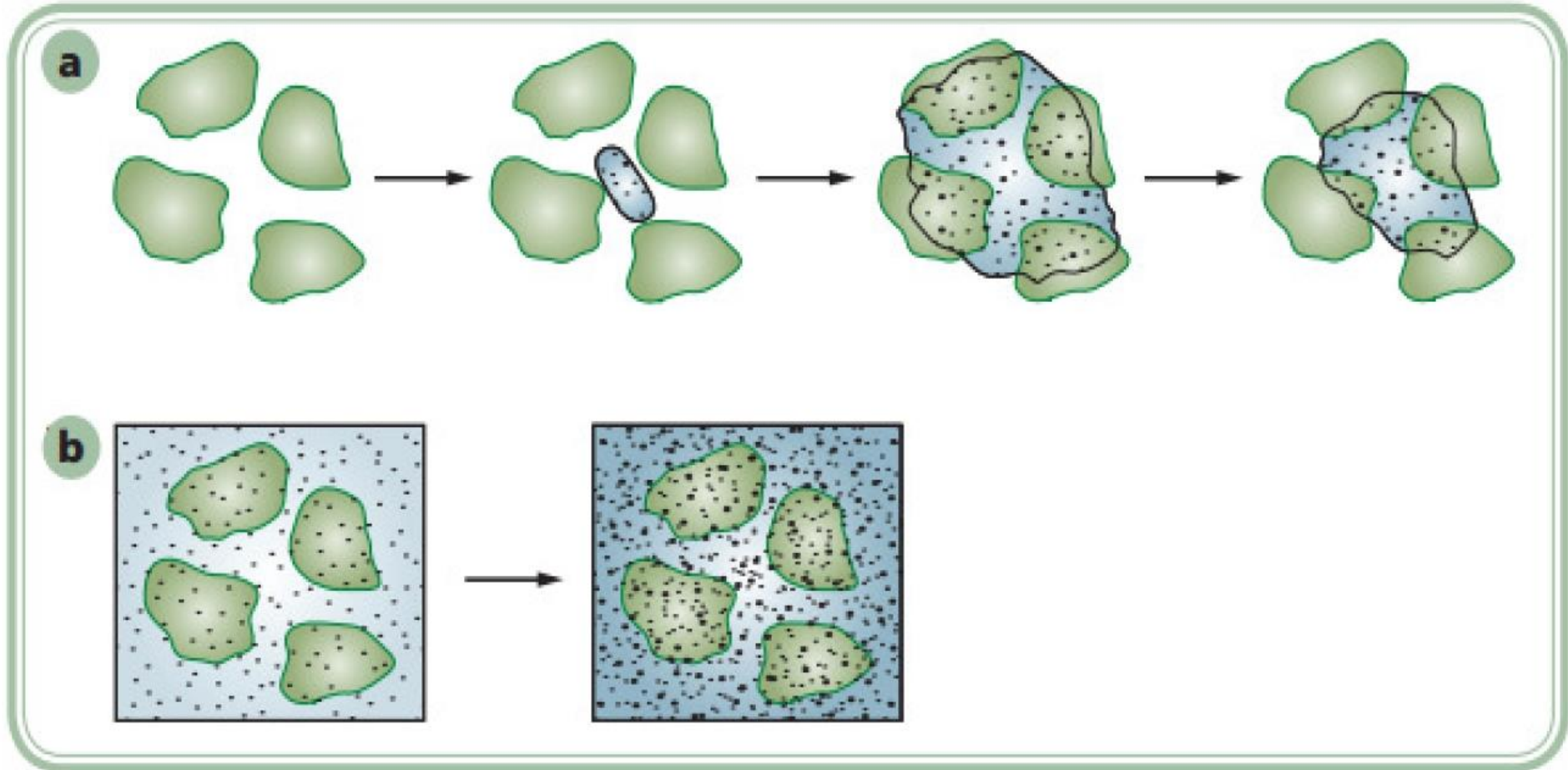
O Volume do gelo é aproximadamente 9% maior que o da água líquida

Tamanho e geometria dos cristais: um problema

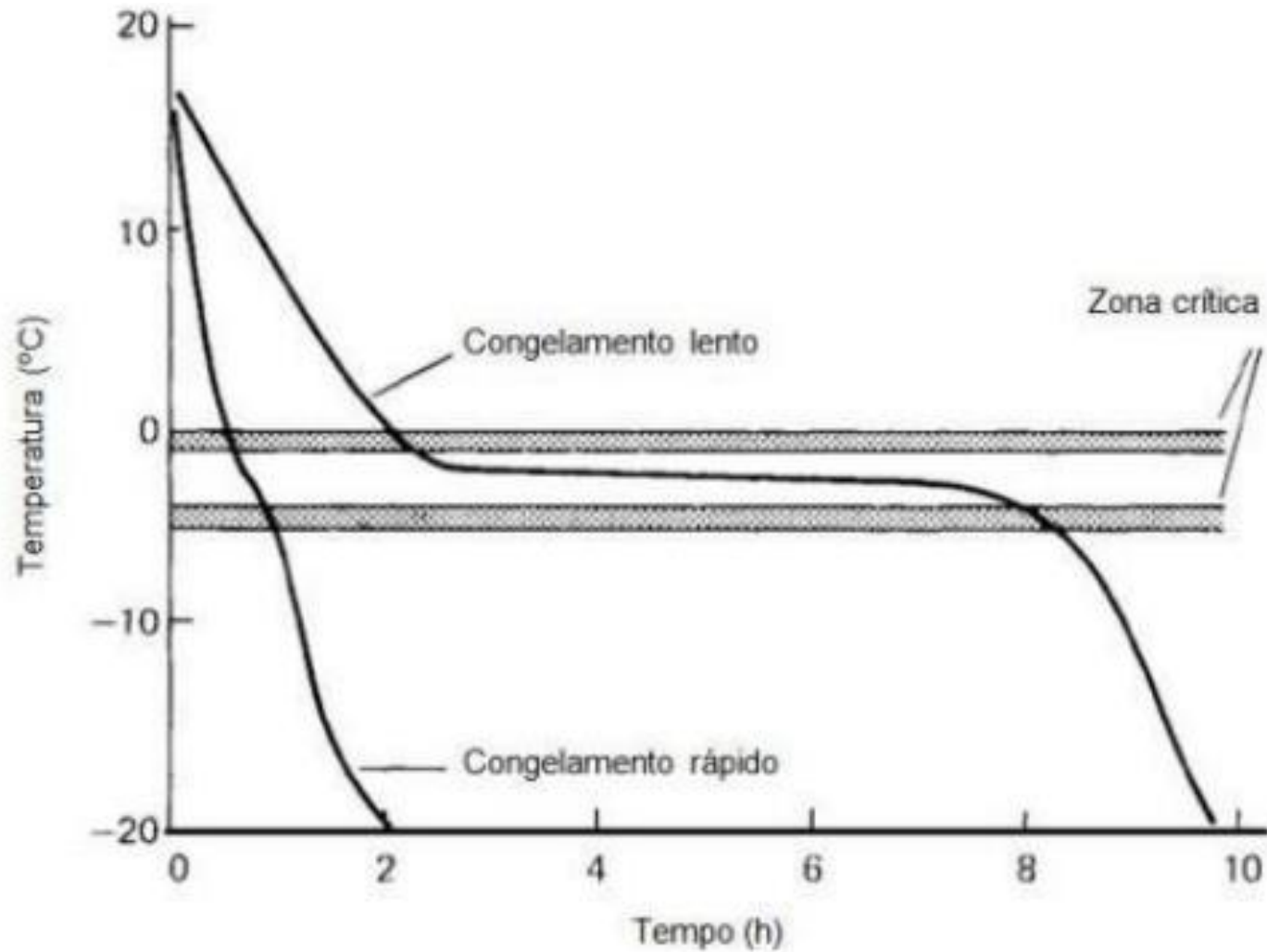


WWW.ULTRACOLORINGPAGES.COM

Formação de cristais de gelo

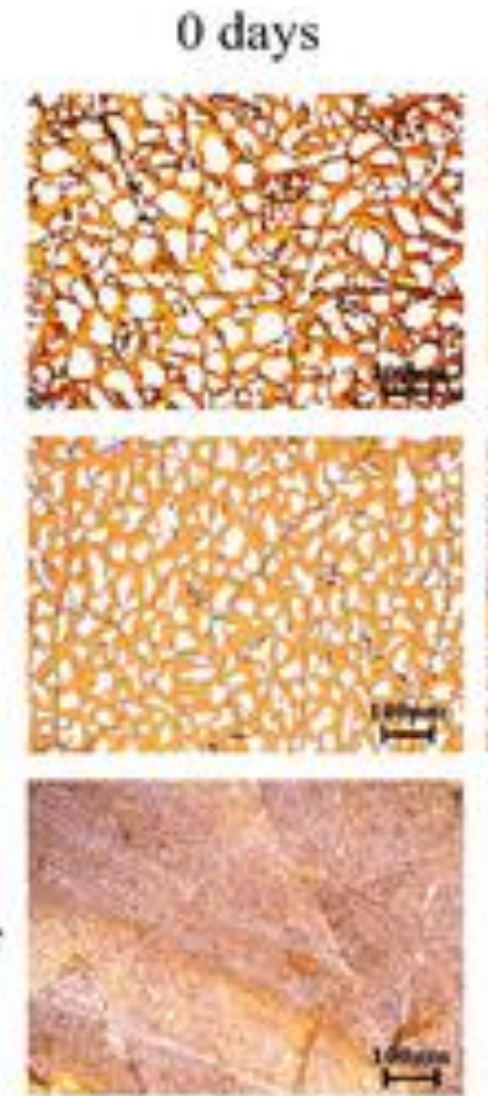
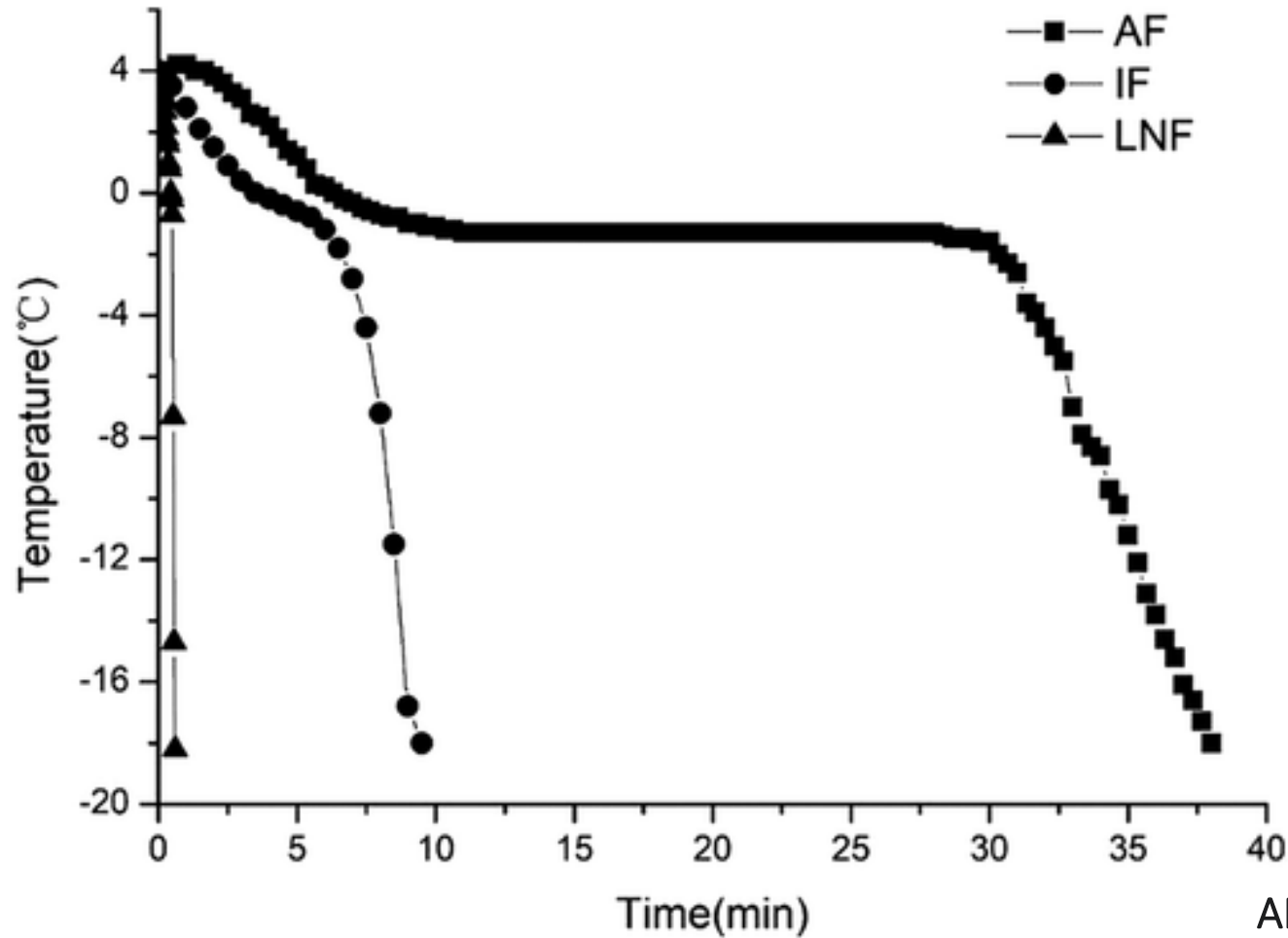


Congelamento de alimentos



Fonte: Fellows, 2000.

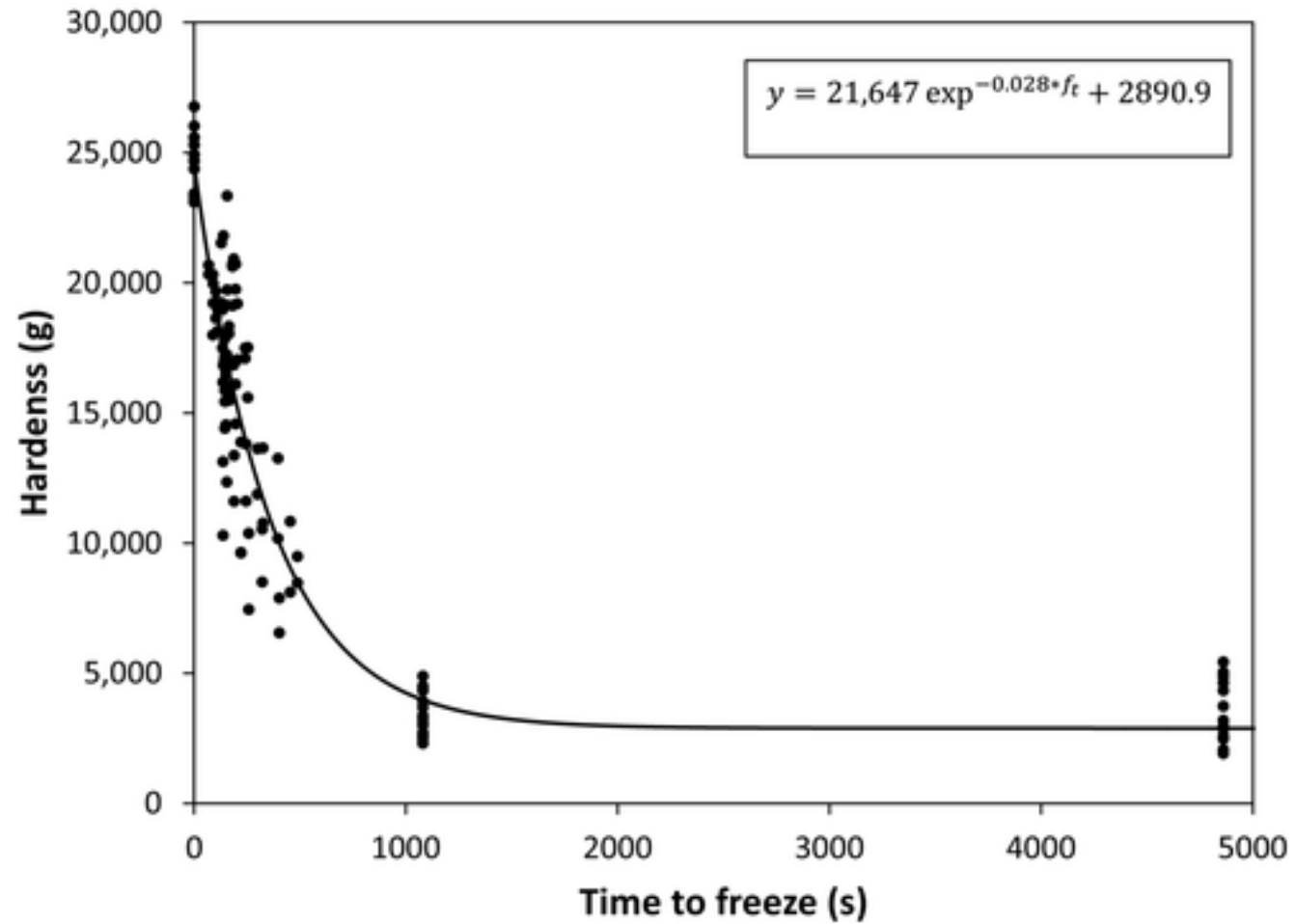
Congelamento de alimentos



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

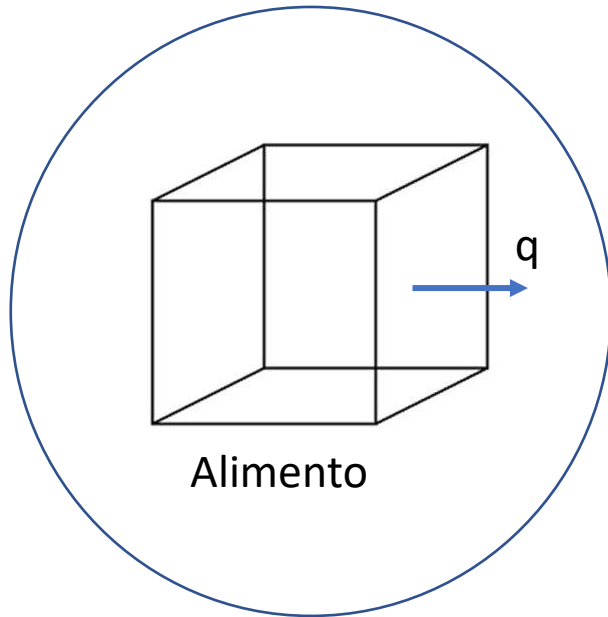
Fonte: Jiang et al., 2020.

Congelamento de alimentos



Fonte: Phinney et al., 2017.

Congelamento de alimentos

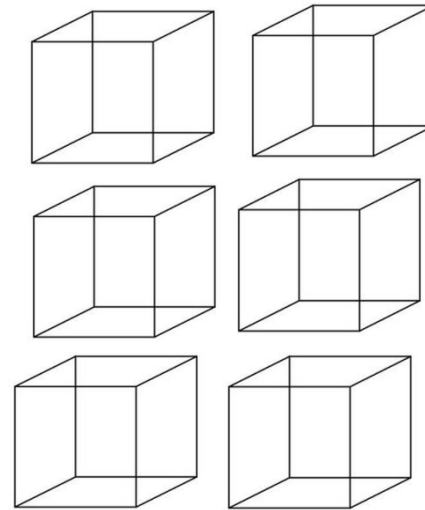
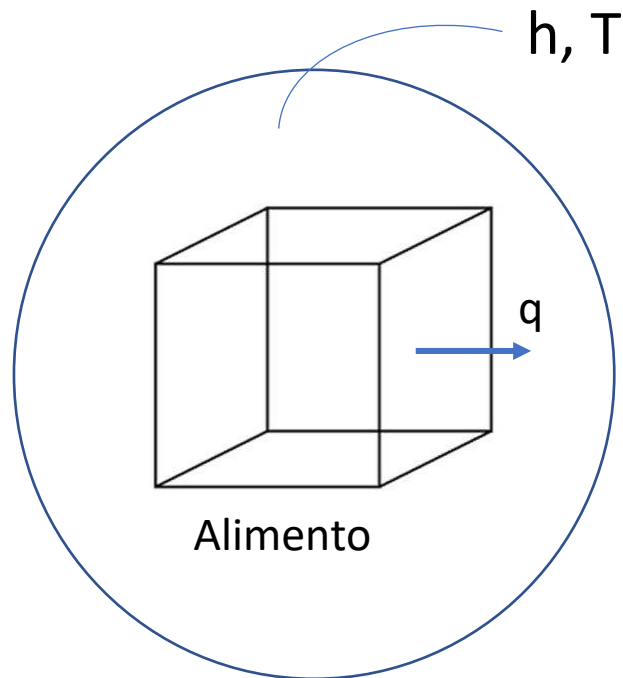


Transferência de calor depende de:

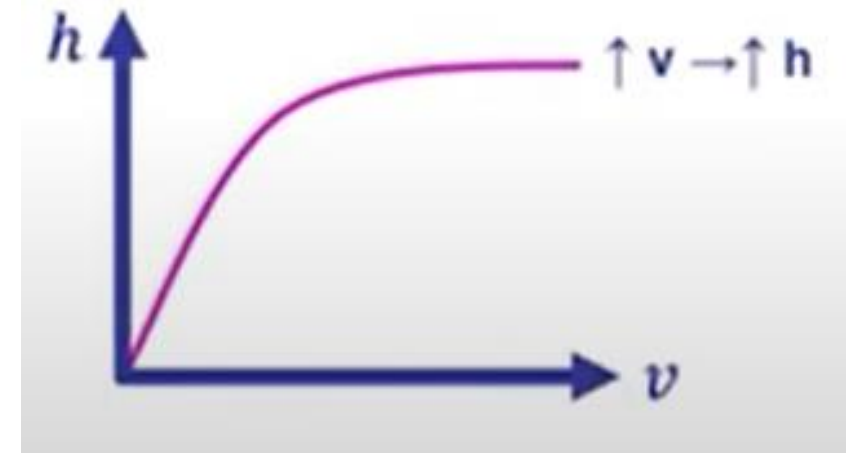
- Propriedades físicas do alimento
- Tamanho do alimento
- Propriedades do fluido

Congelamento de alimentos

Como aumentar a taxa de transferência de calor?



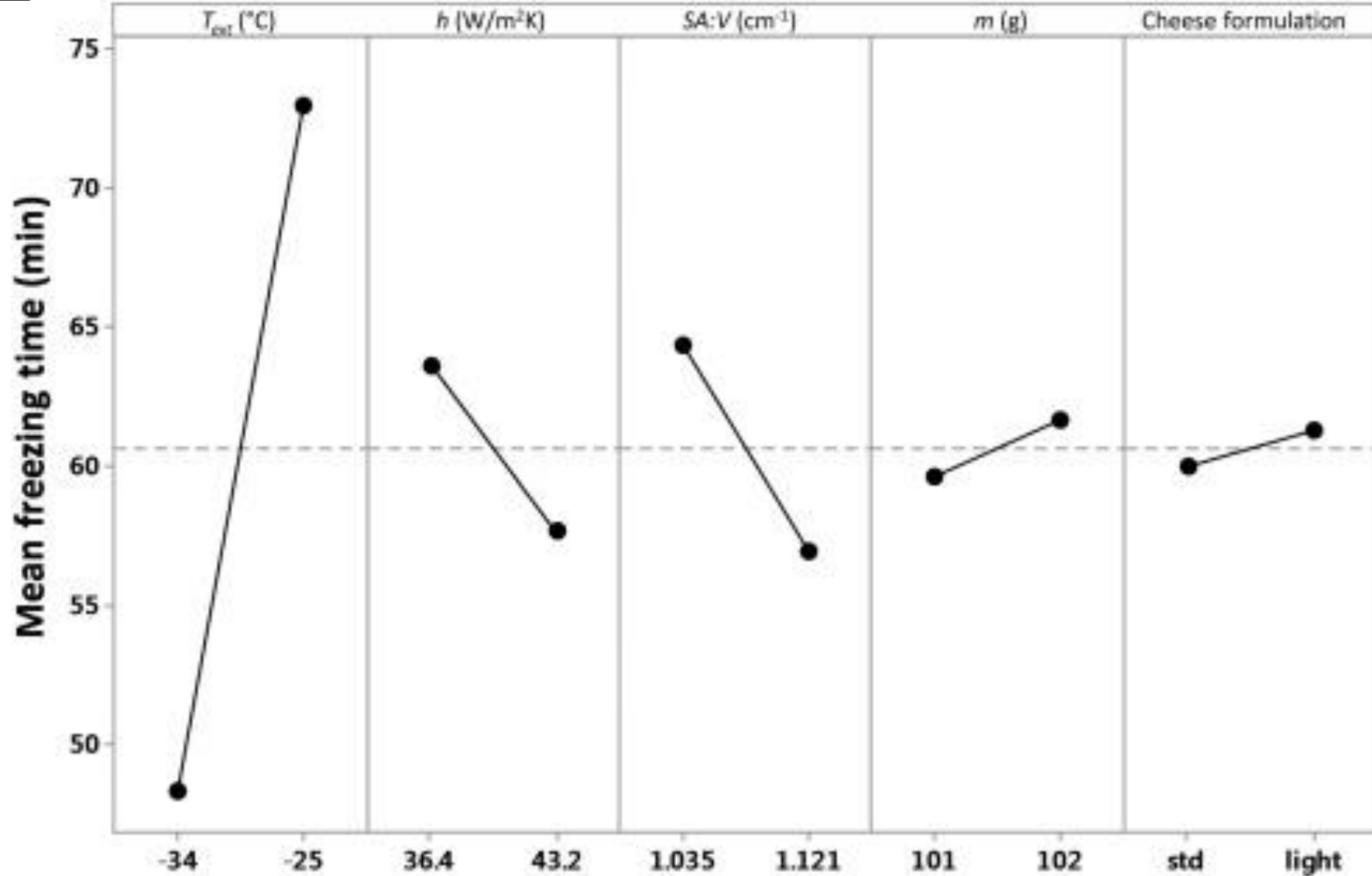
- Tamanho/Área superficial



- Velocidade do fluido

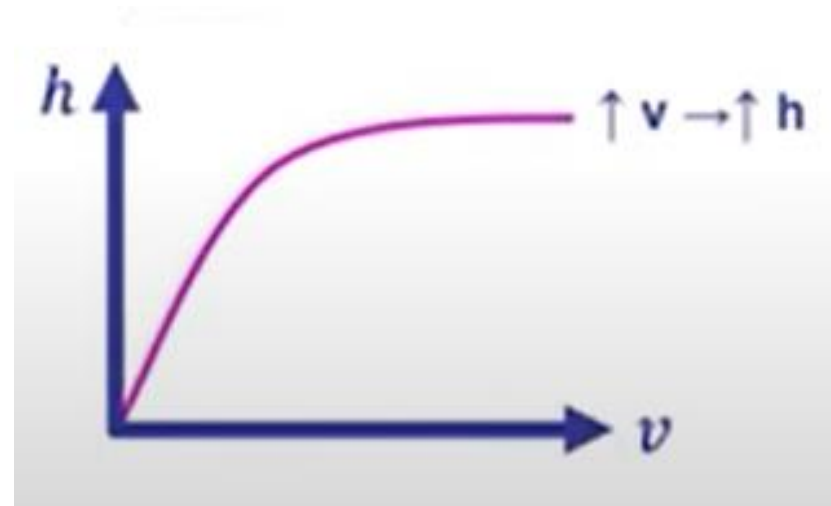
- Reduzir a temperatura do fluido

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

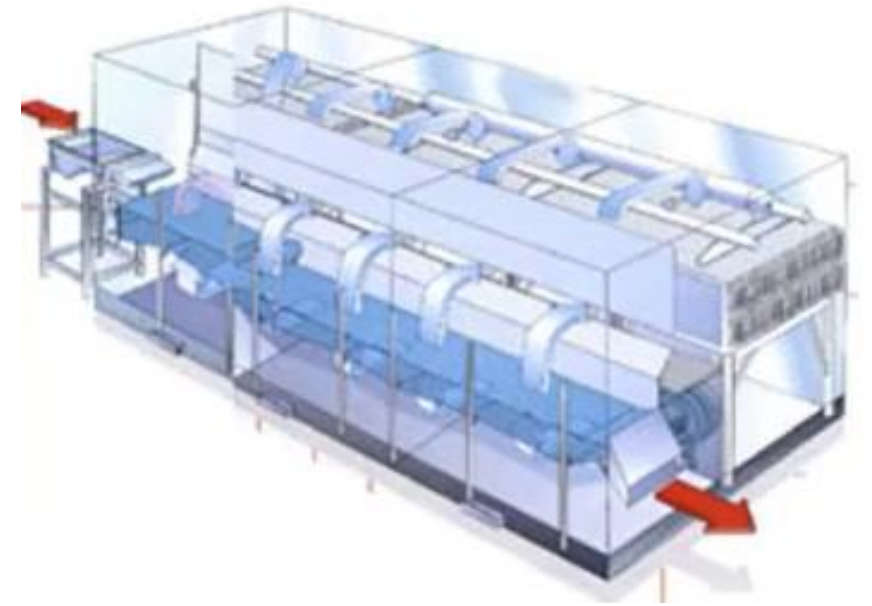
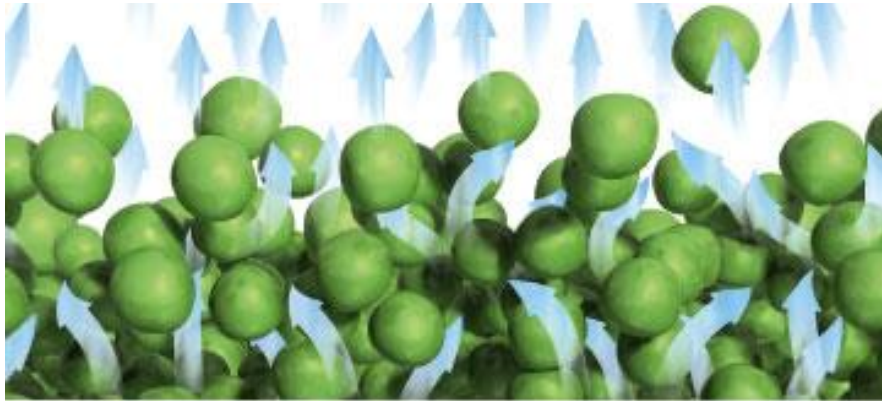
- 1) Pequenos pedaços
- 2) Alta velocidade – Alto h
- 3) Baixa temperatura



Vale a pena?

Congelamento de alimentos

IQF - Individual and quickly freezing



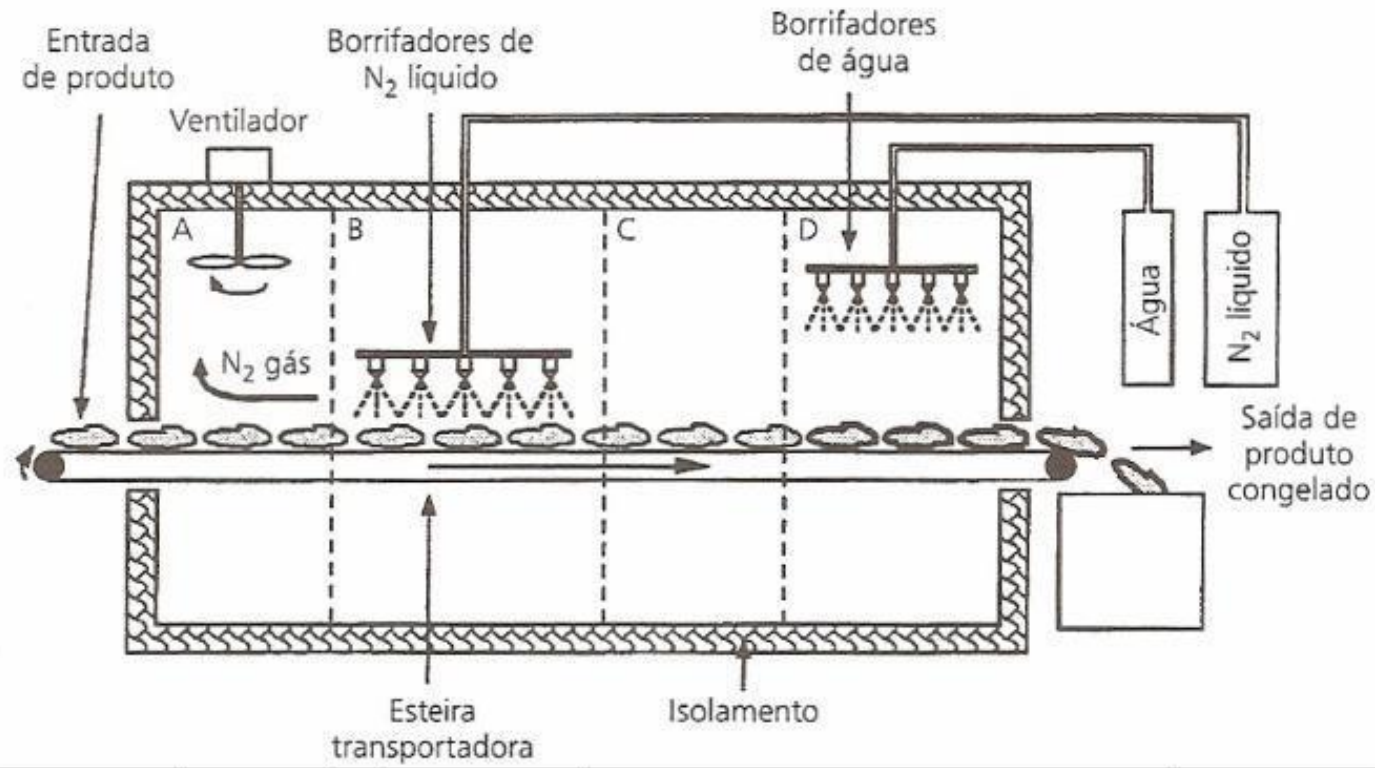
Congelamento de alimentos

IQF - Individual and quickly freezing



Congelamento de alimentos

Congelamento com nitrogênio líquido

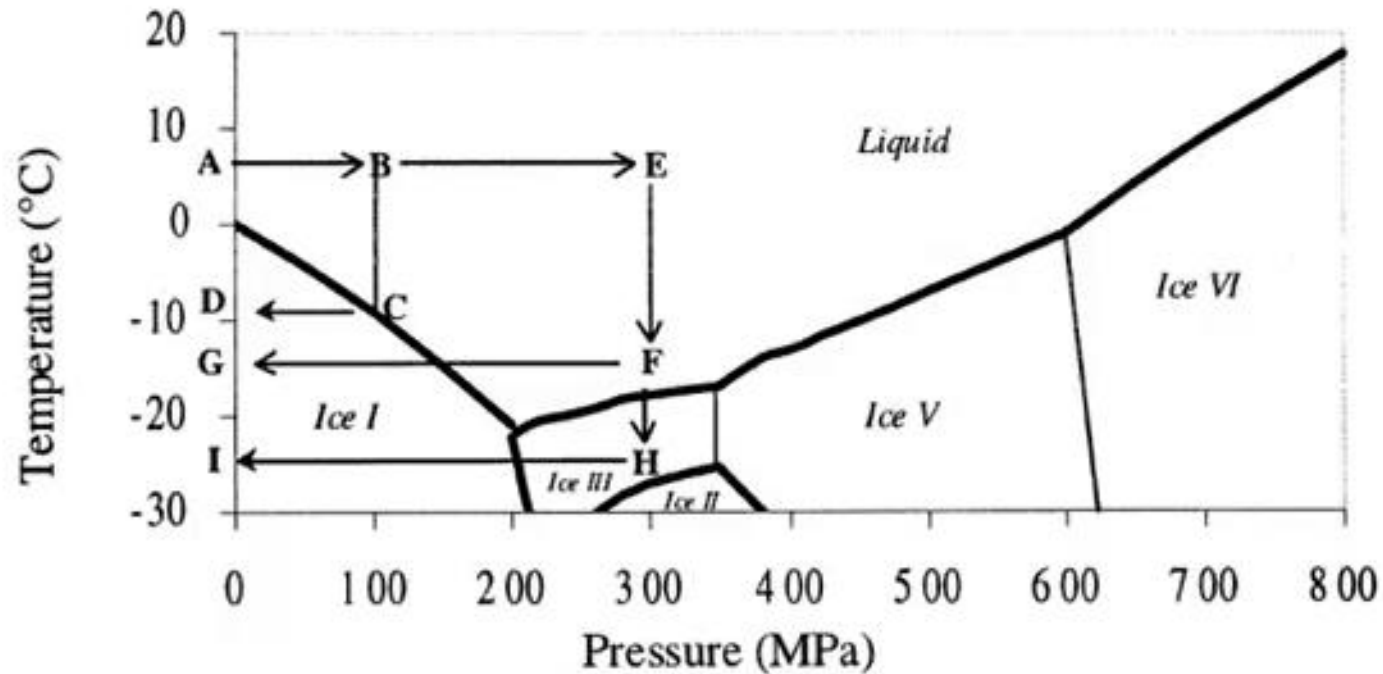


Congelador criogênico de nitrogênio líquido. A: zona de pré resfriamento; B: zona de congelamento; C: zona de equilíbrio; D: zona de vitrificação. Fonte: Ordóñez e Cols (2005).

Congelamento de alimentos

Tecnologias Emergentes

Diagrama de fases



- Pressurização e resfriamento
- Despressurização adiabática

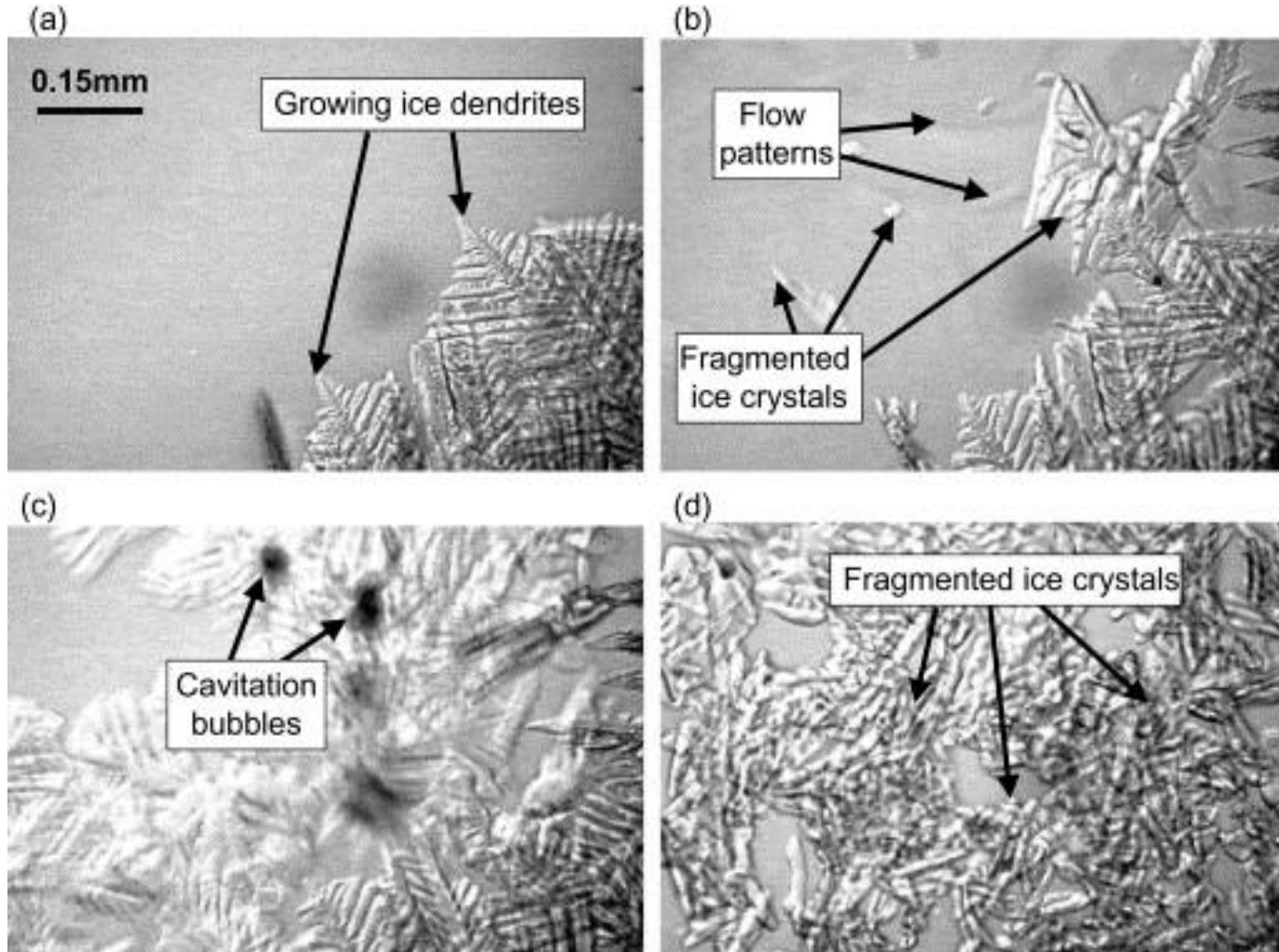


Congelamento rápido

Congelamento de alimentos

Tecnologias Emergentes

Ultrassom



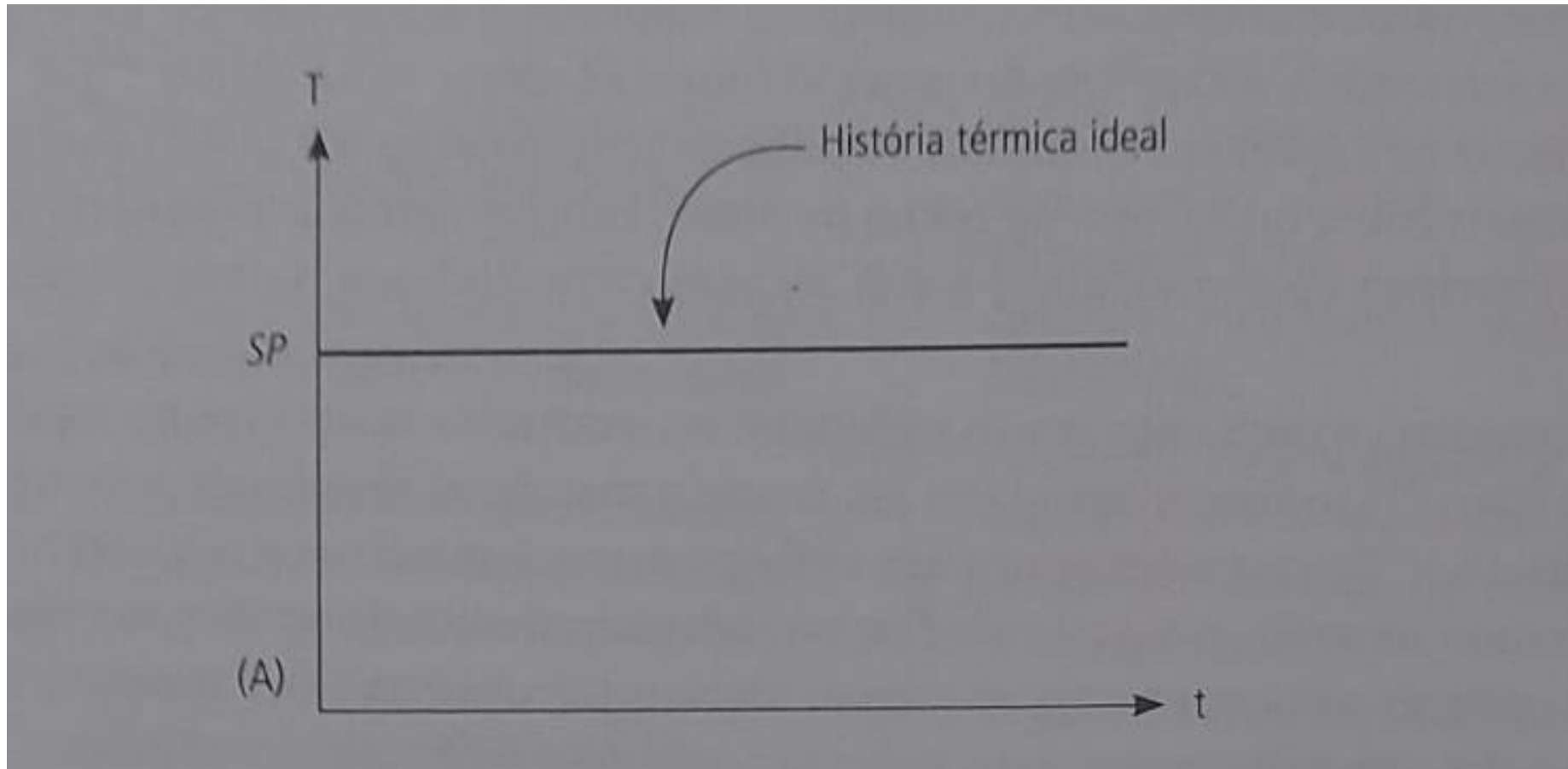
Fonte: Chow et al., 2003.



Congelamento de Alimentos

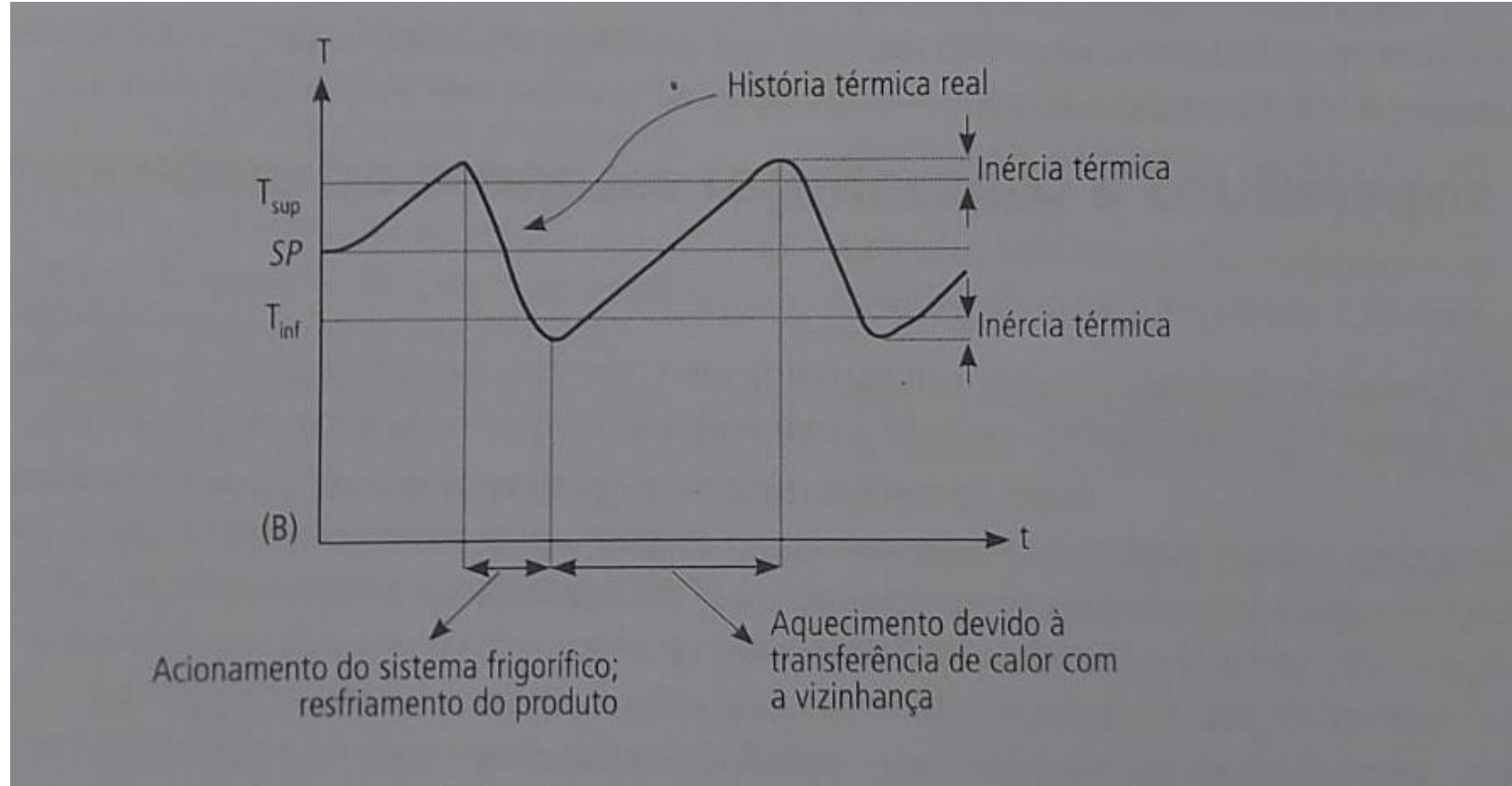
Carga térmica

Resfriar \neq Congelar \neq Estocar



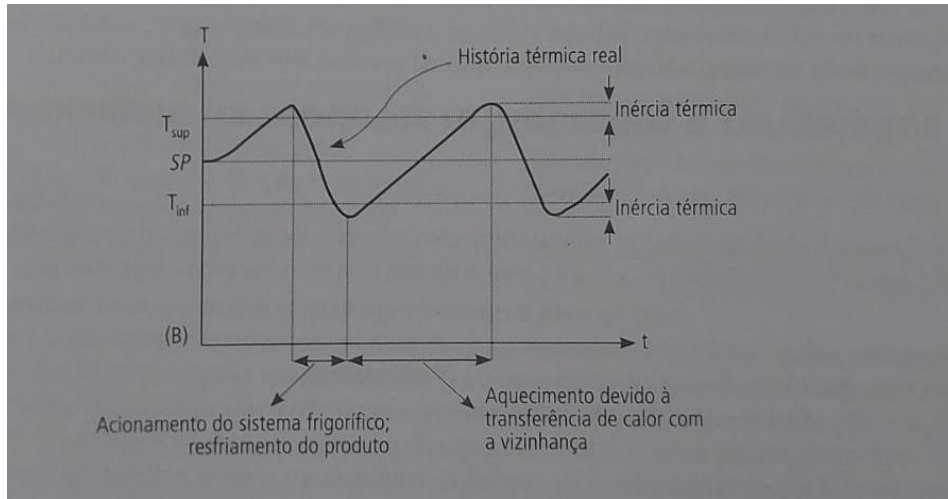
Estocagem

Carga térmica



Estocagem - Resfriamento

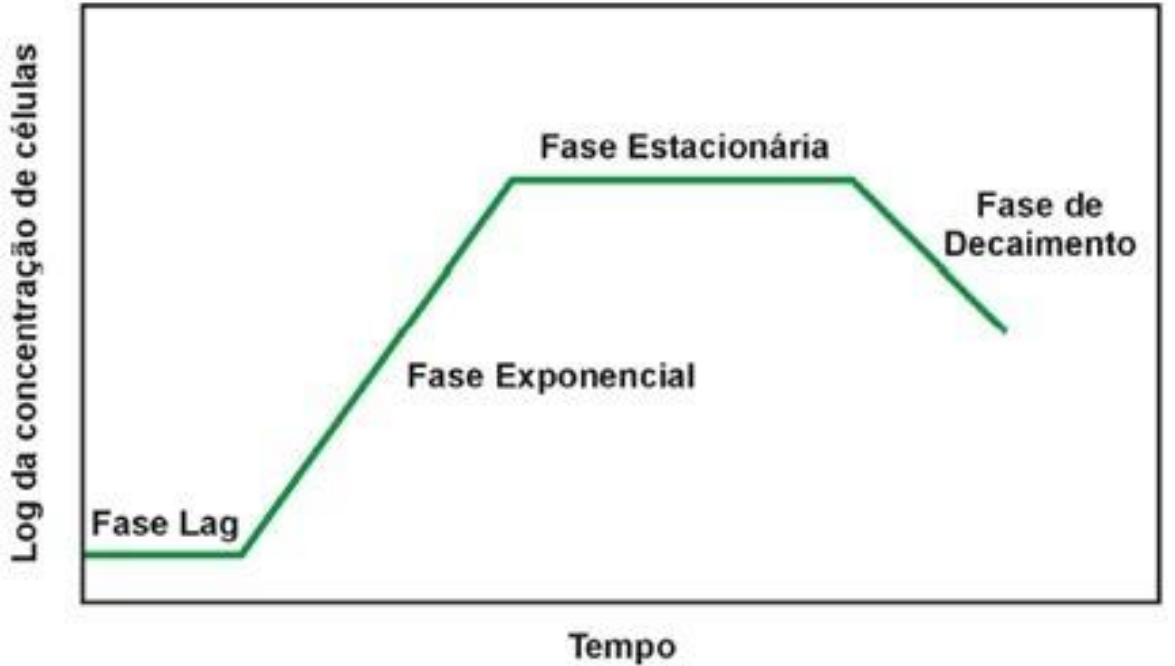
Carga térmica



Fonte: Augusto, 2017

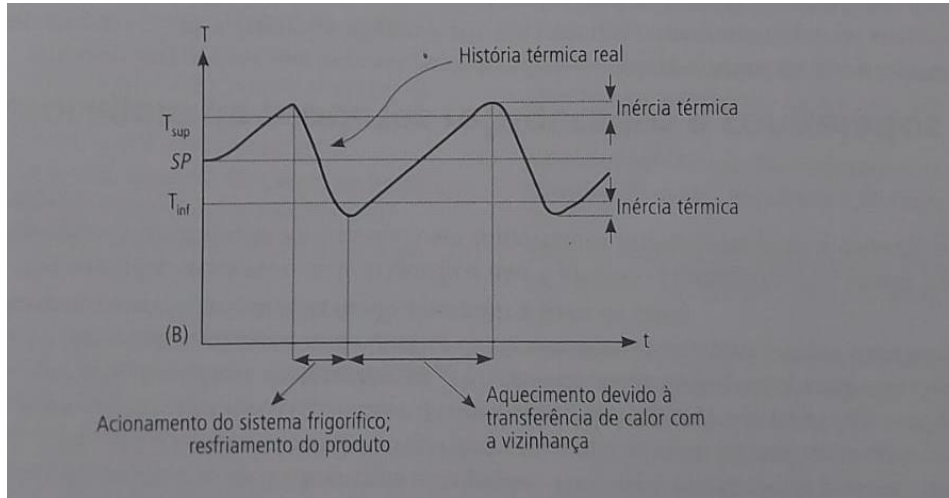


Microbiológicos →



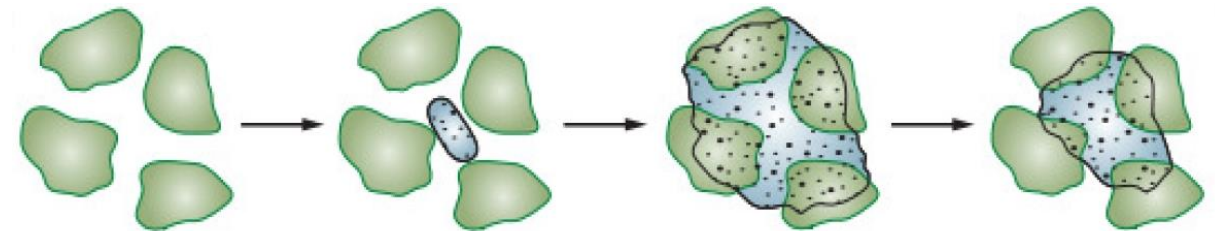
Estocagem - Congelamento

Carga térmica

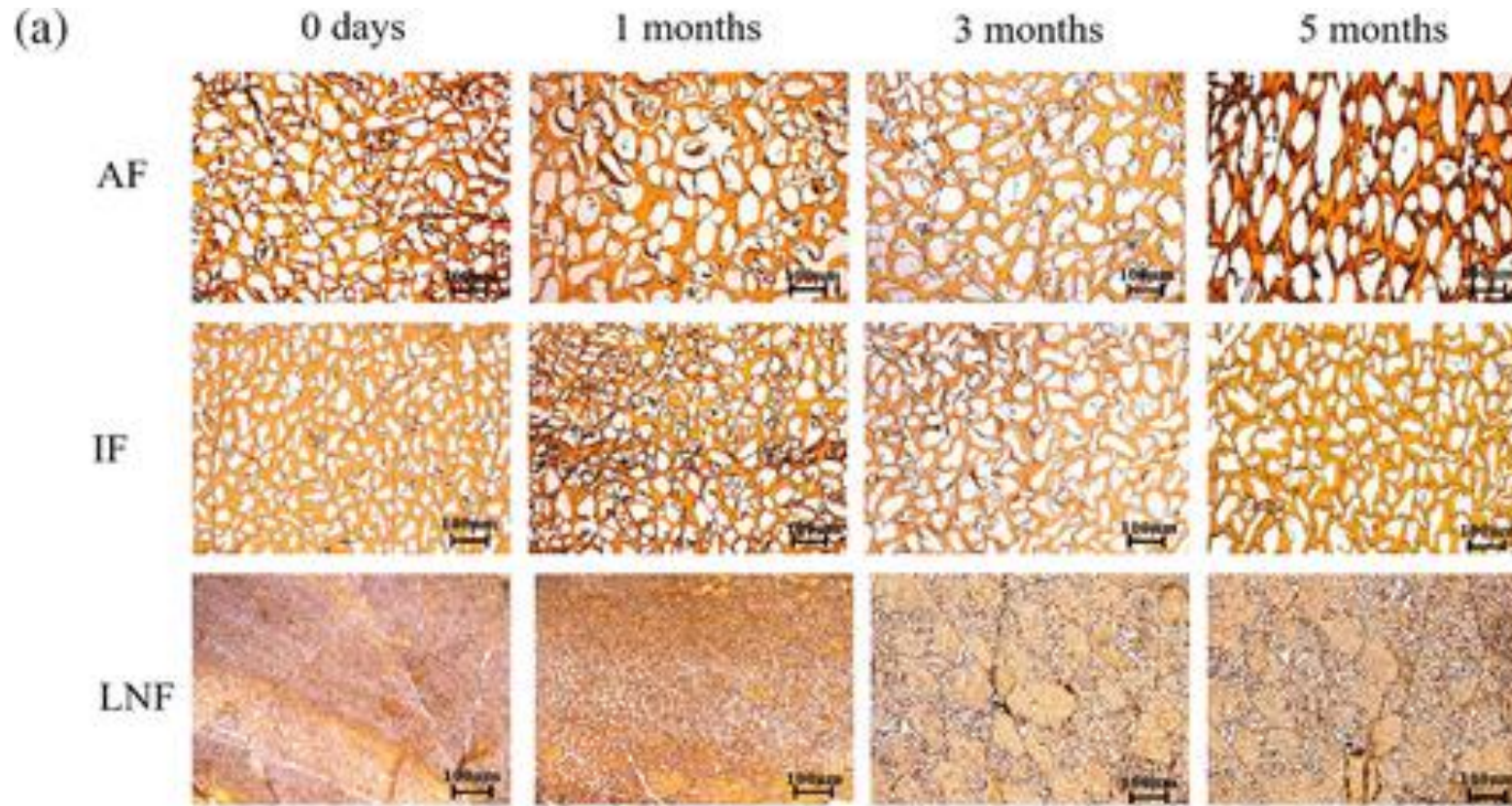


Fonte: Augusto, 2017

Formação de
cristais grandes

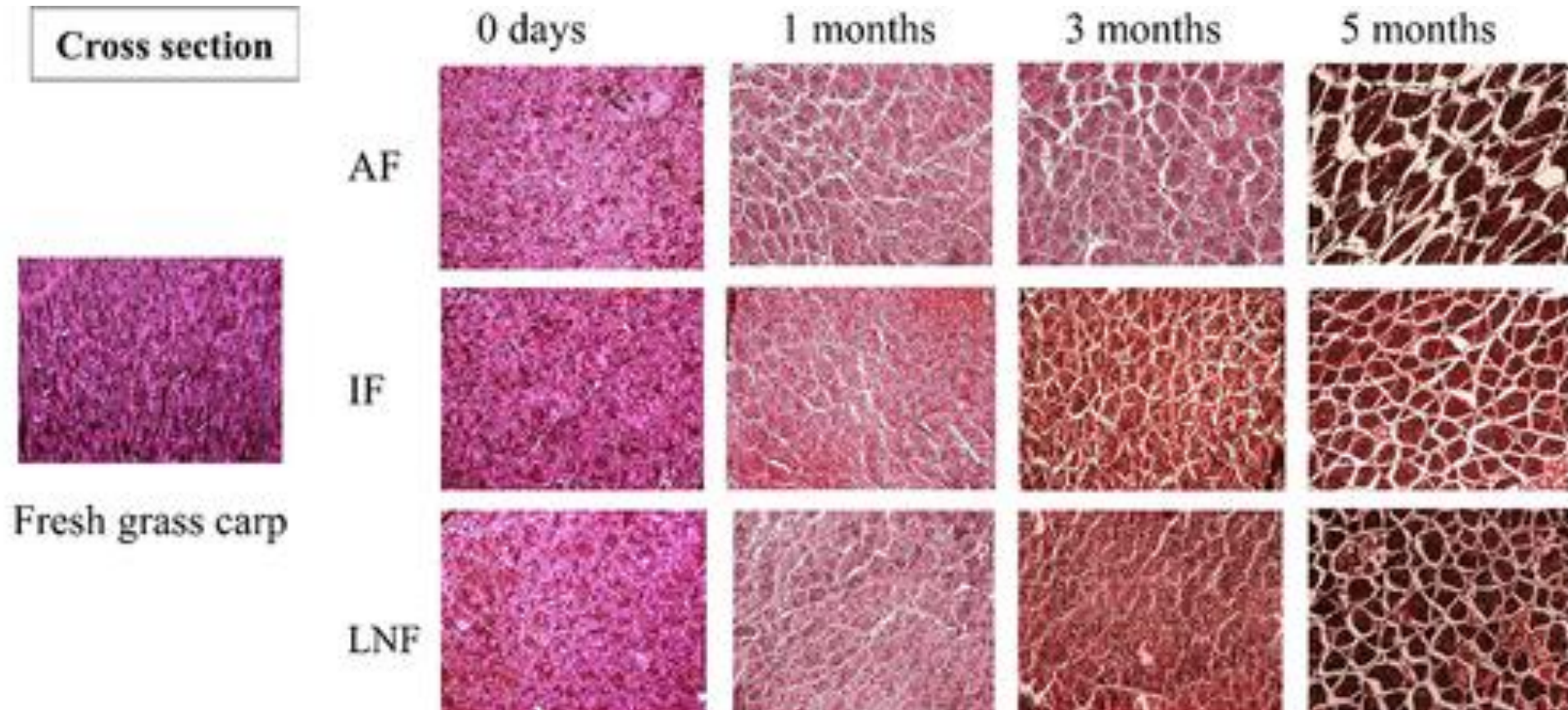


Estocagem



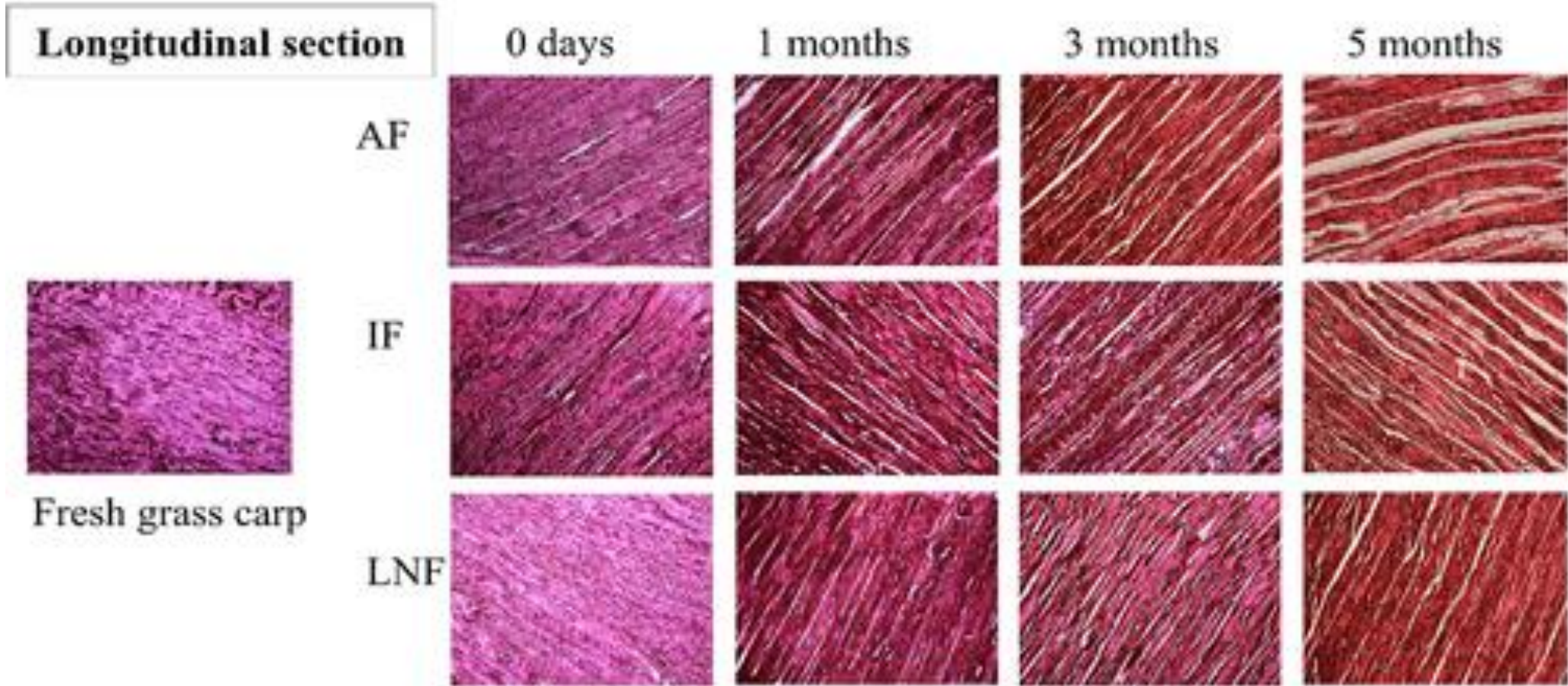
Fonte: Jiang et al., 2020.

Estocagem



Fonte: Jiang et al., 2020.

Estocagem



Fonte: Jiang et al., 2020.



Processamento térmico

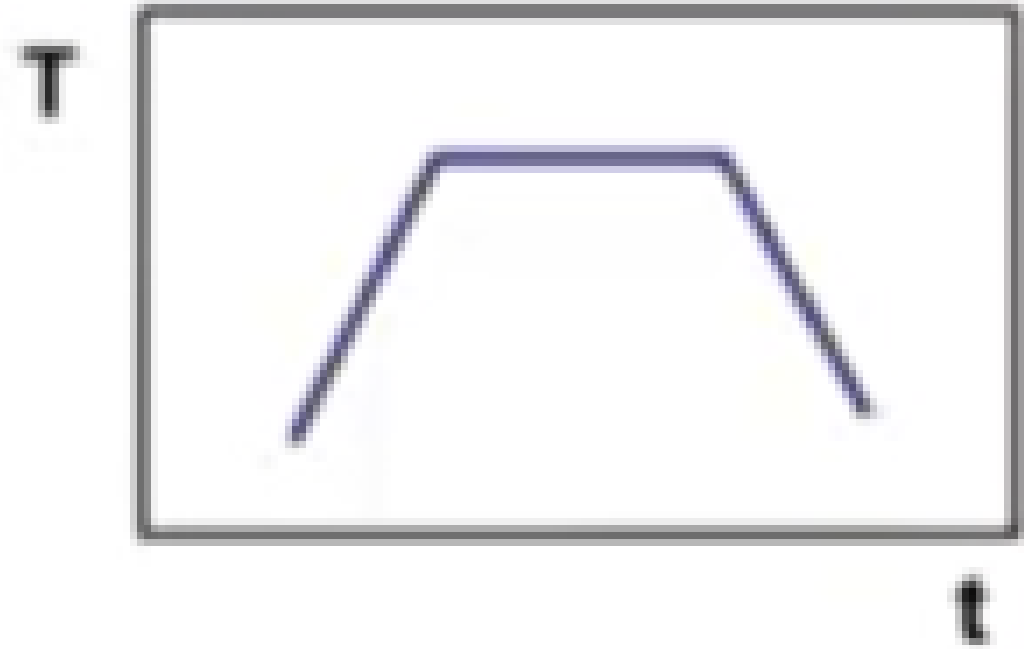
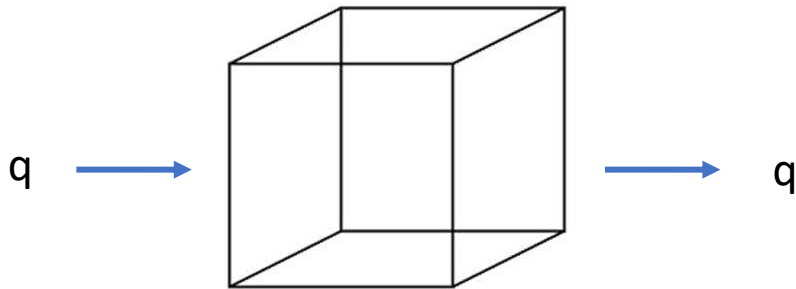
Processamento térmico



Processamento térmico

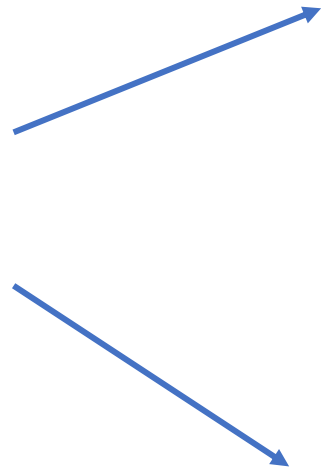


Processamento térmico



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 térmico³

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

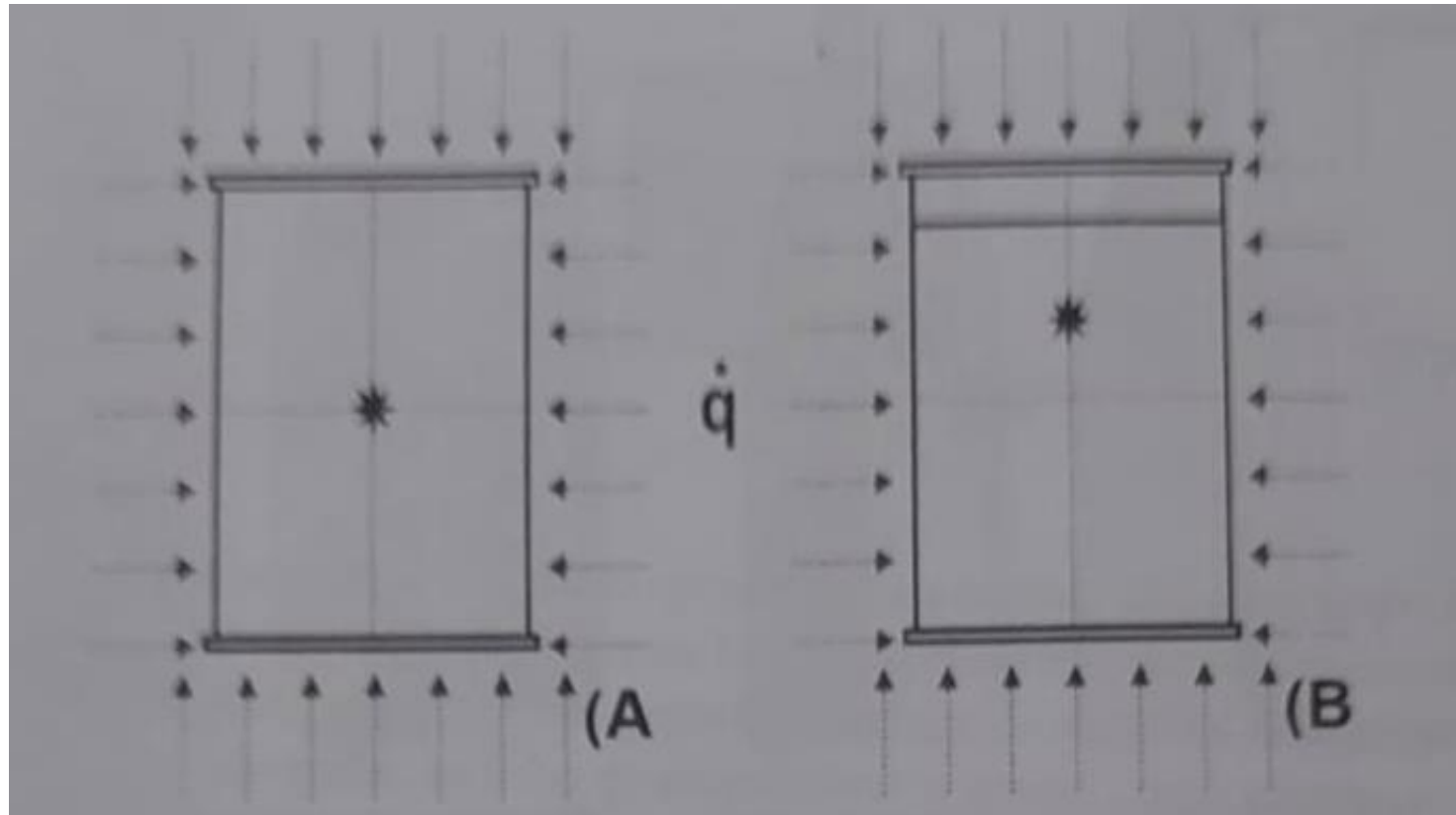
Maior gasto energético

Ponto frio



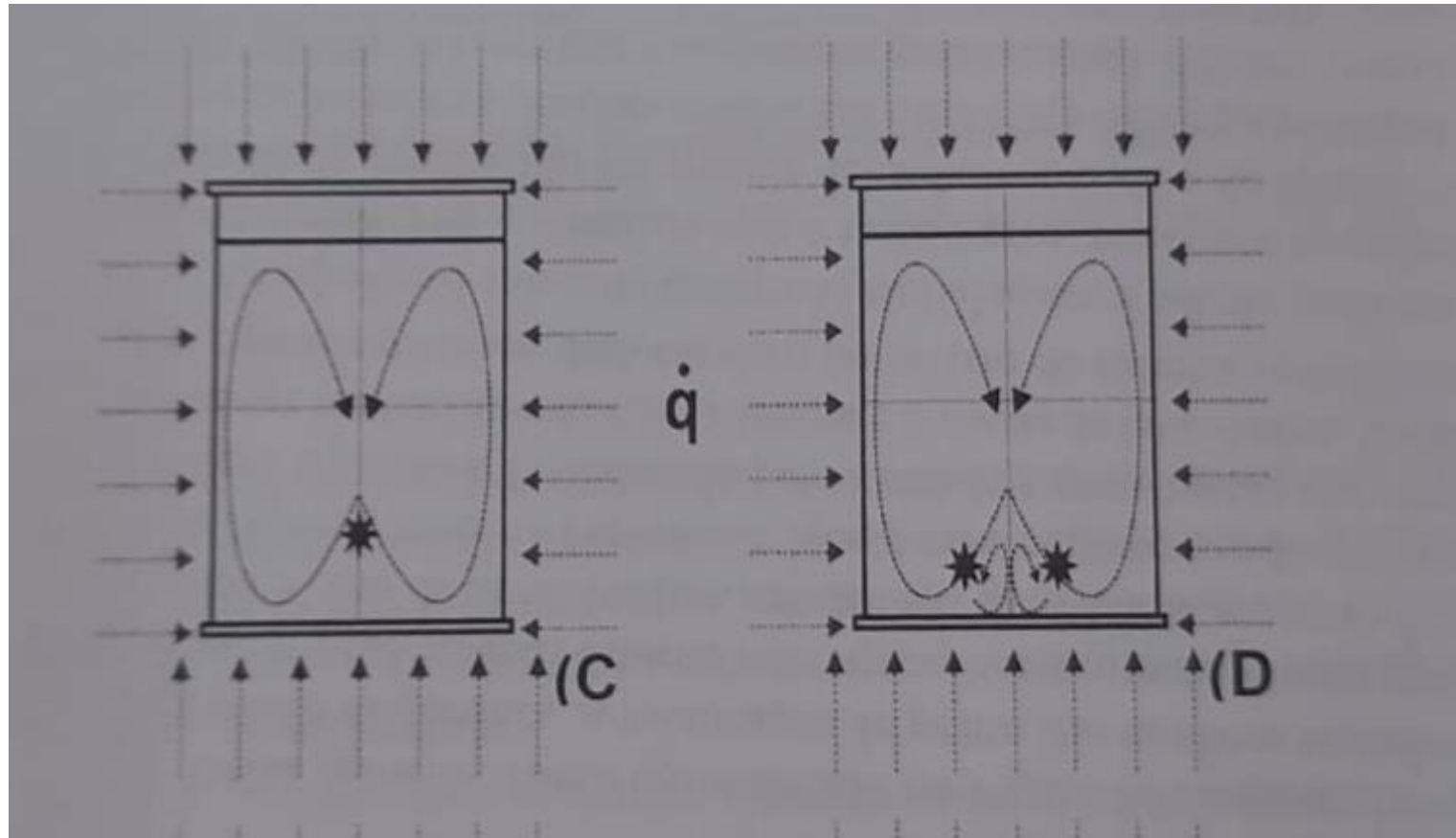
Processamento térmico dentro da embalagem

Ponto frio - sólidos



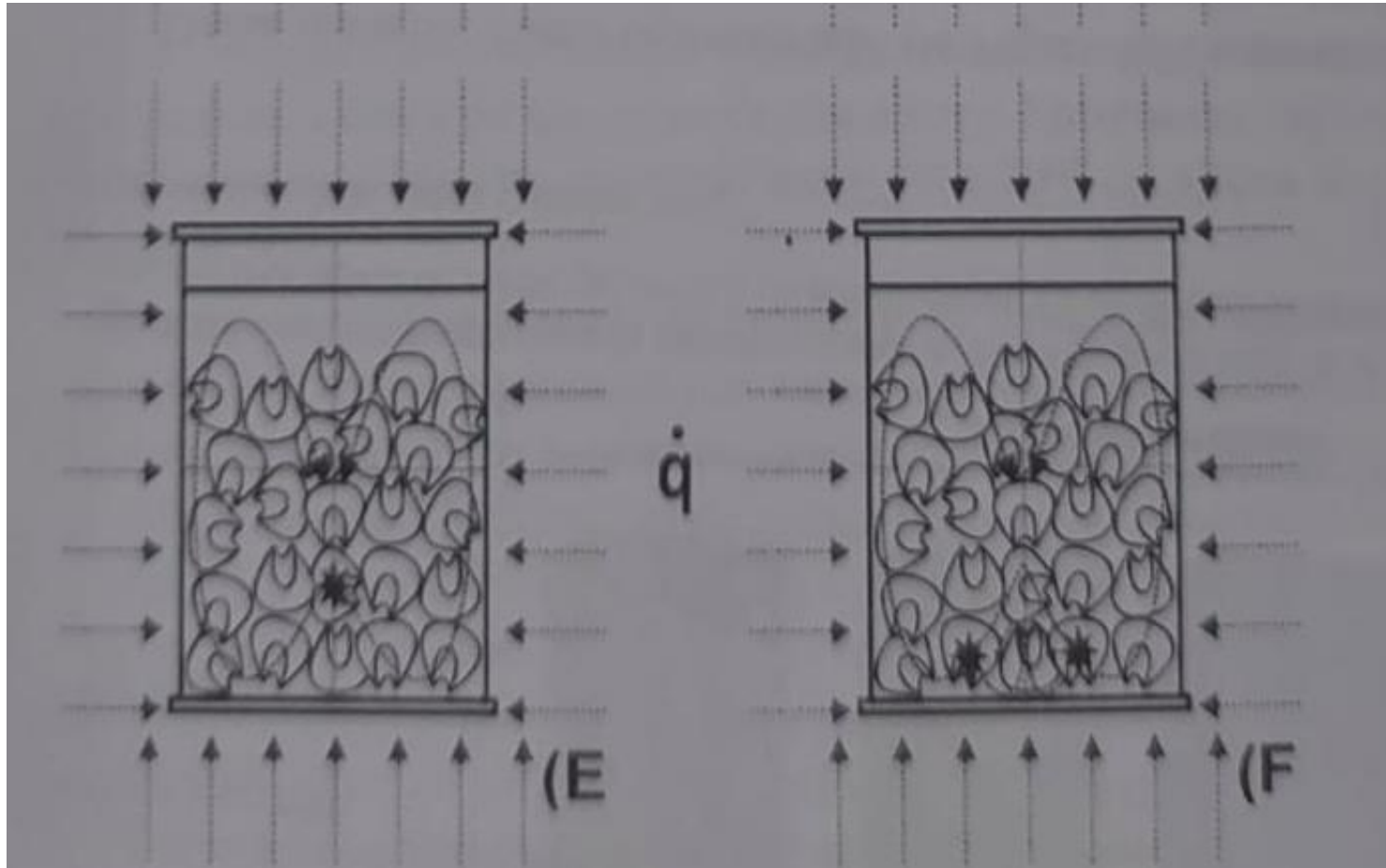
Processamento térmico dentro da embalagem

Ponto frio - líquidos



Processamento térmico dentro da embalagem

Ponto frio - particulados



Processamento térmico

Fora da embalagem

Alimentos líquidos

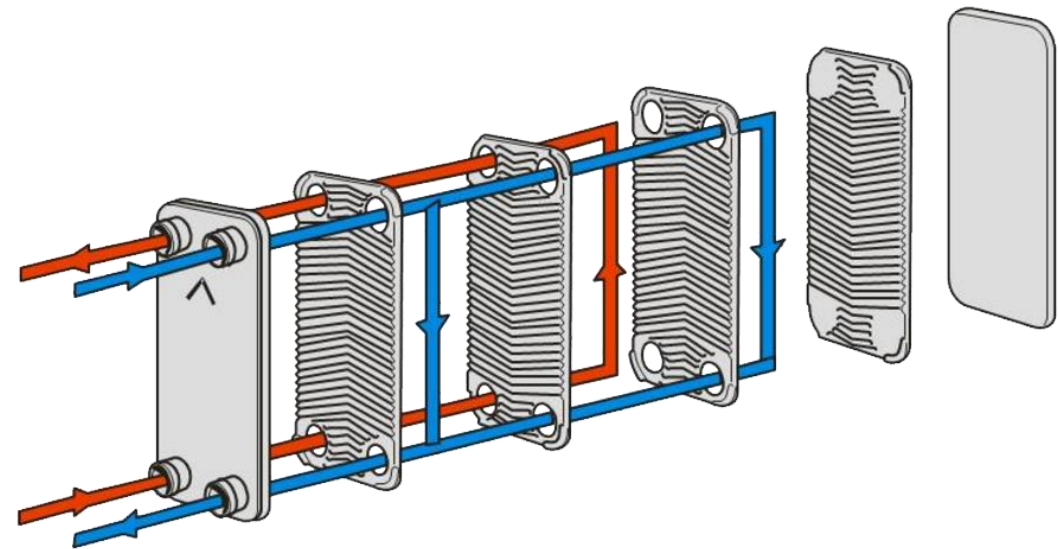
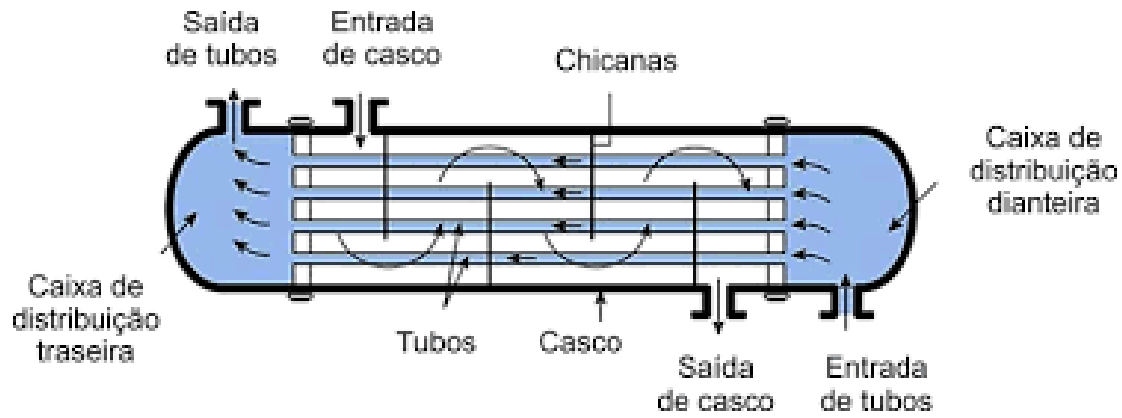
Atenção na segurança da embalagem

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



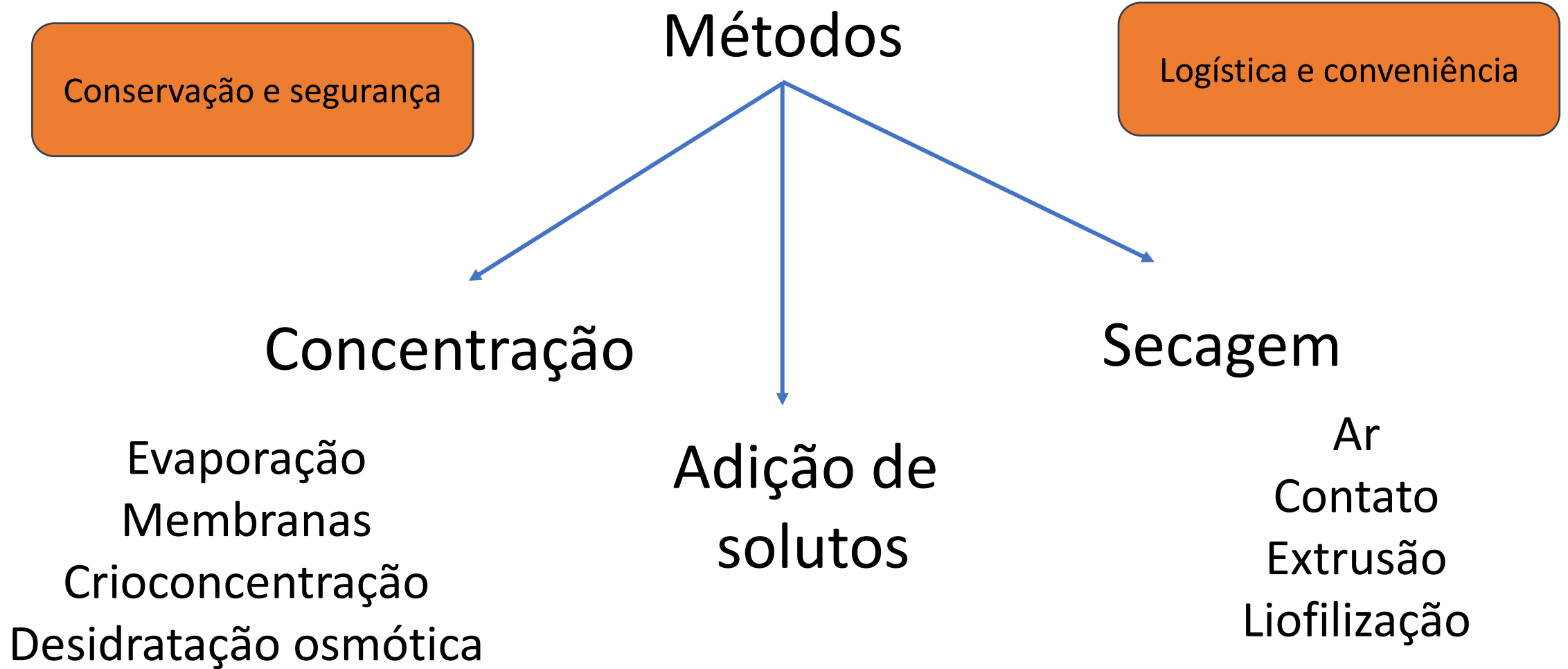


Redução da atividade de água

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

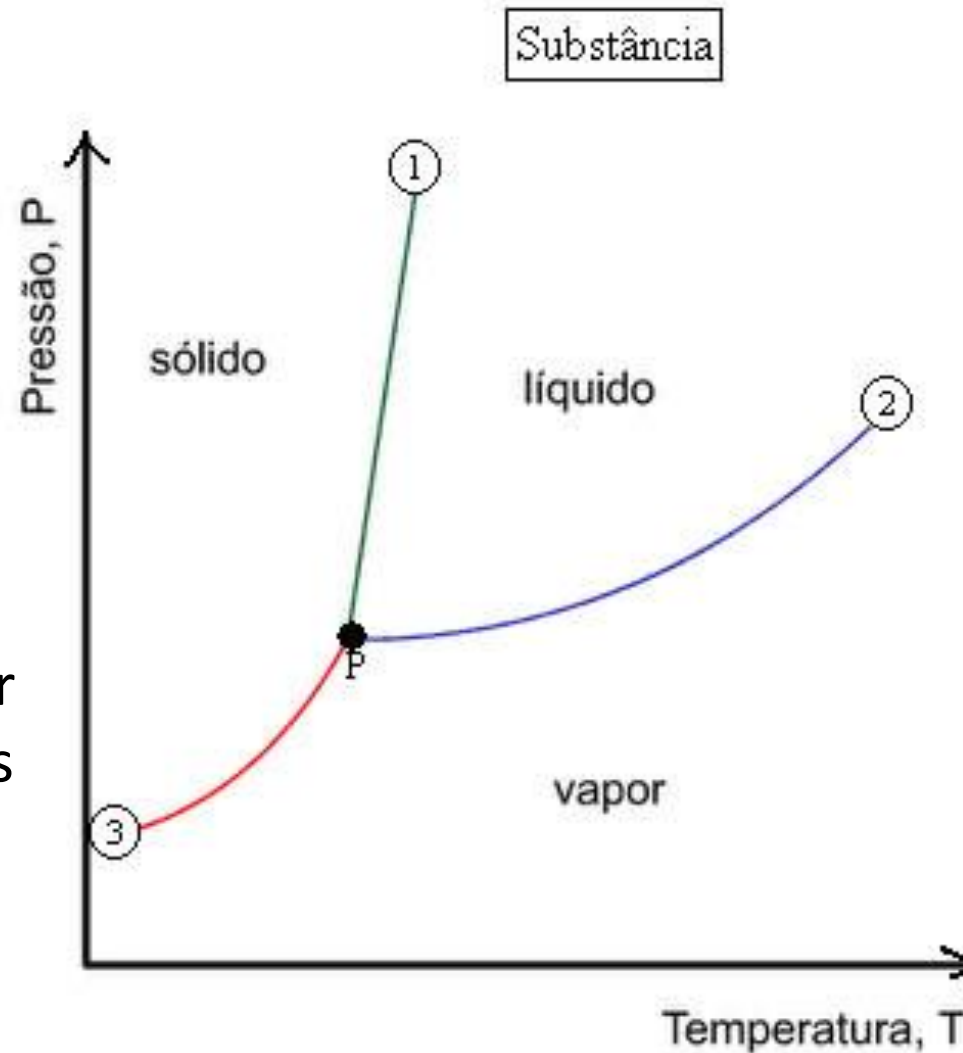
Evaporação

- 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

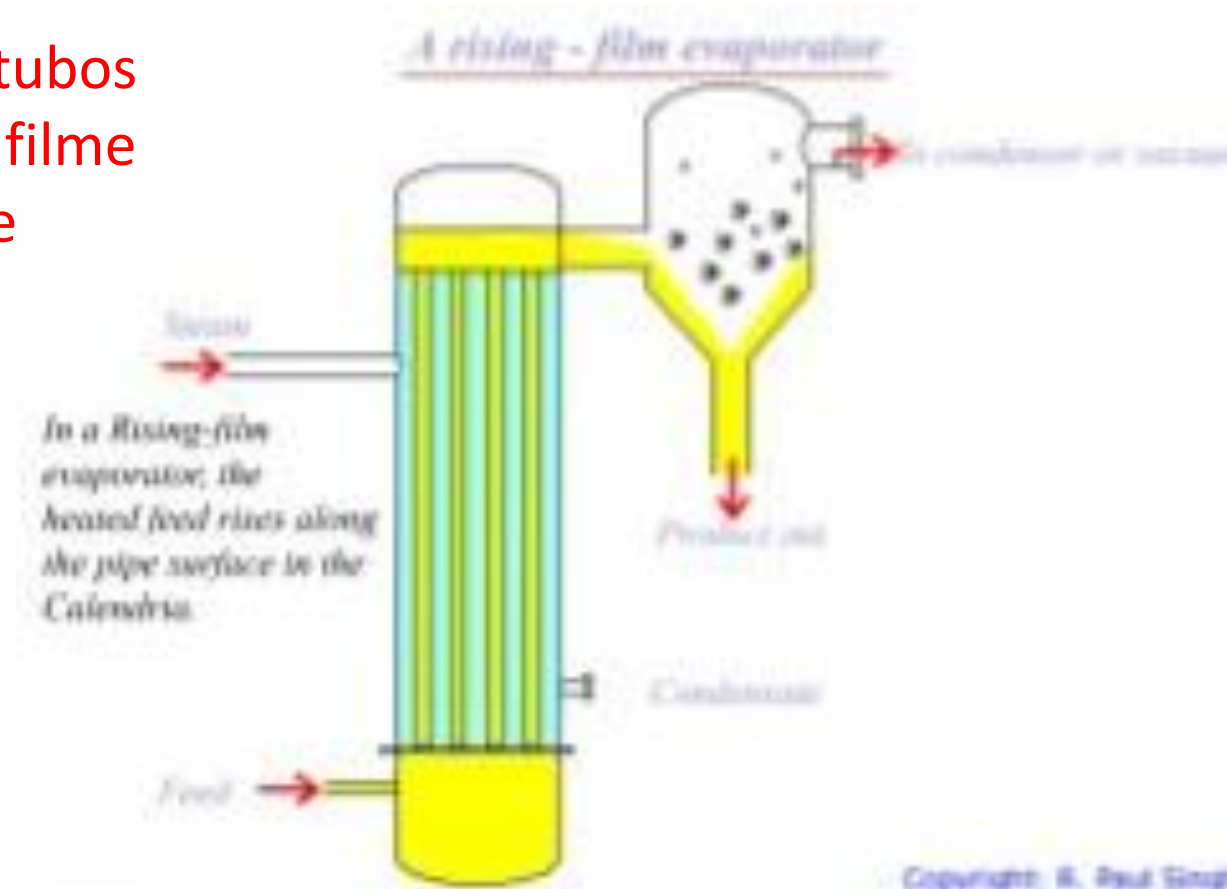


Redução da pressão permite fazer o processo em temperaturas mais baixas

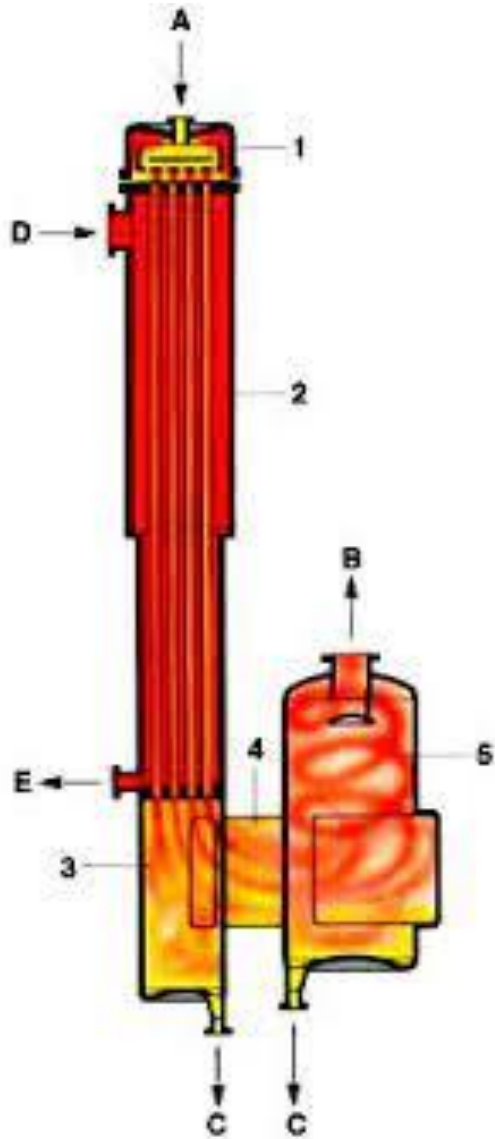
Concentração

Evaporação

Evaporador de tubos longos vertical: filme ascendente

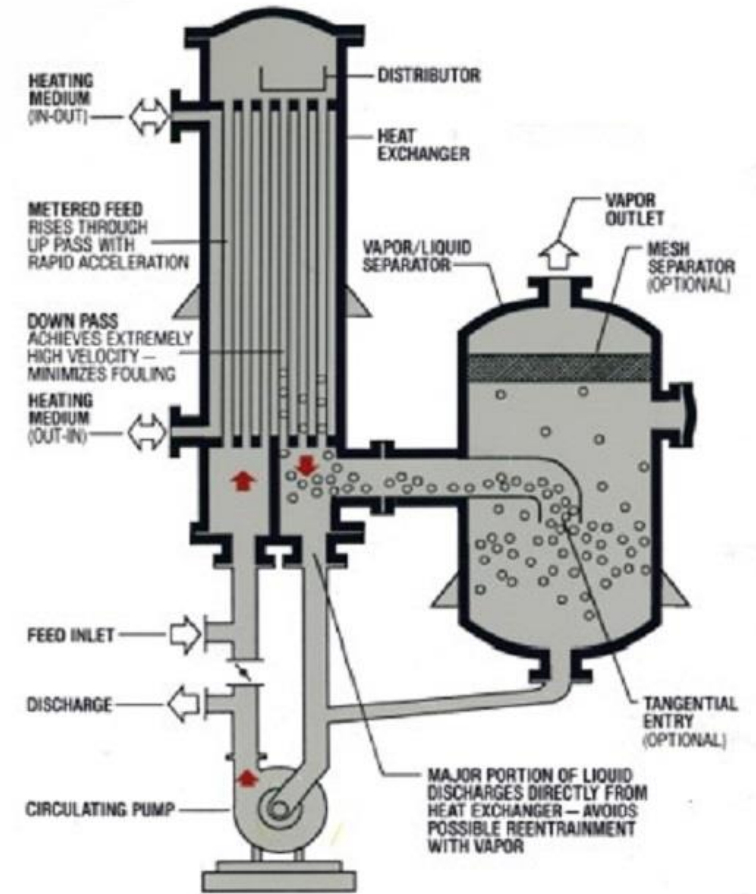


Concentração



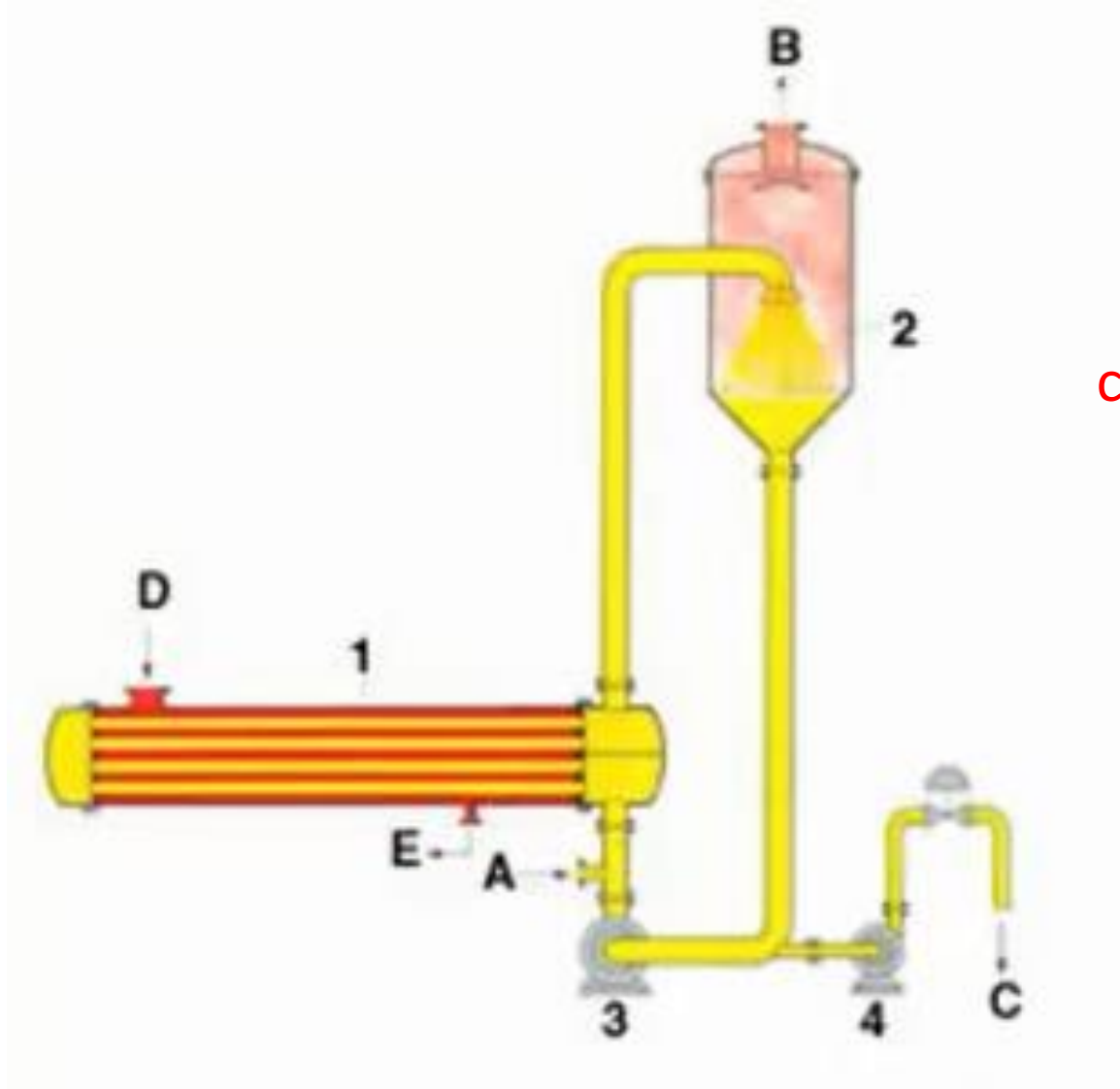
Evaporador de tubos longos vertical: filme descendente

Evaporação



Concentração

Evaporação

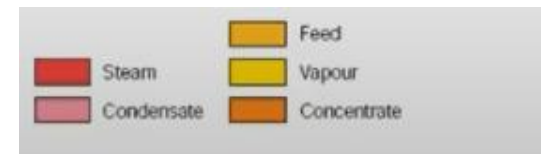
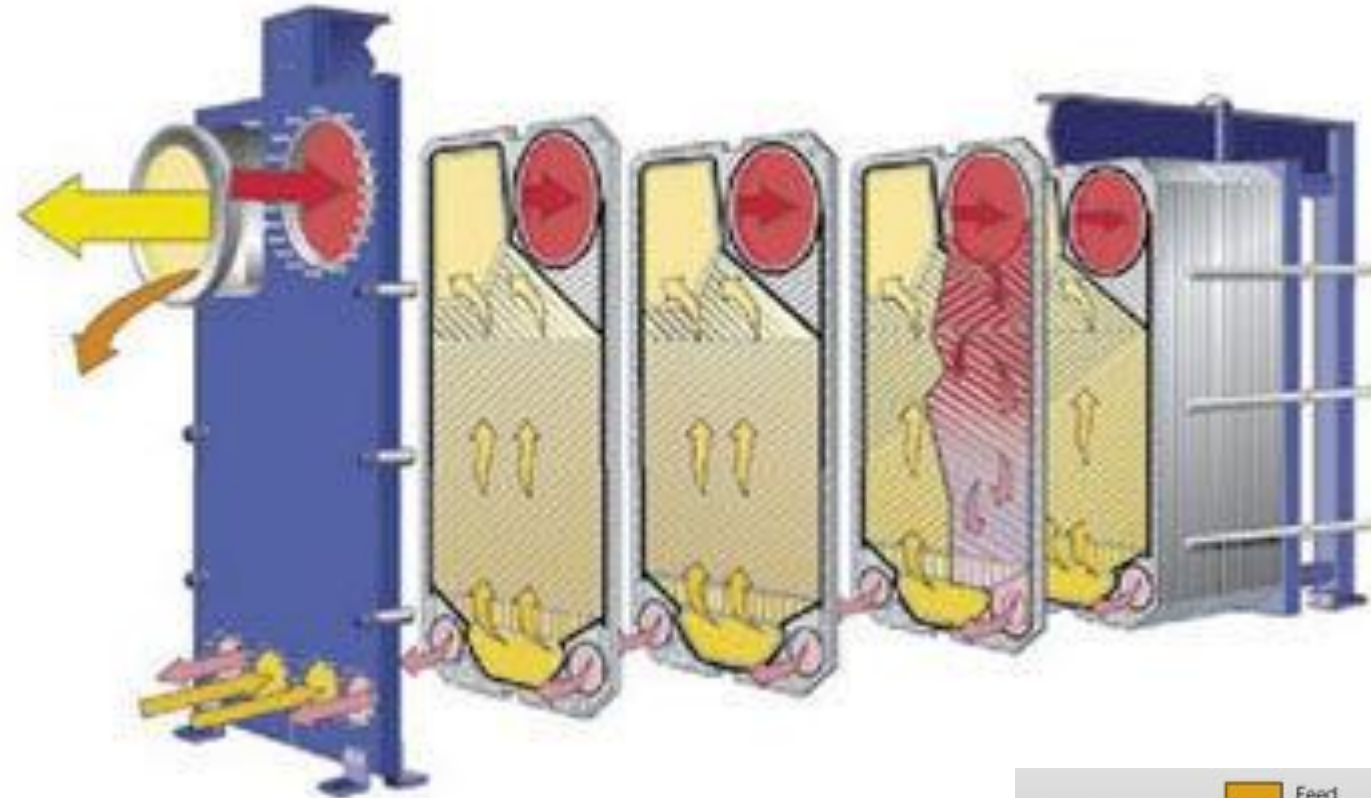


Evaporador de
circulação forçada:
casco e tubo
horizontal

Concentração

Evaporação

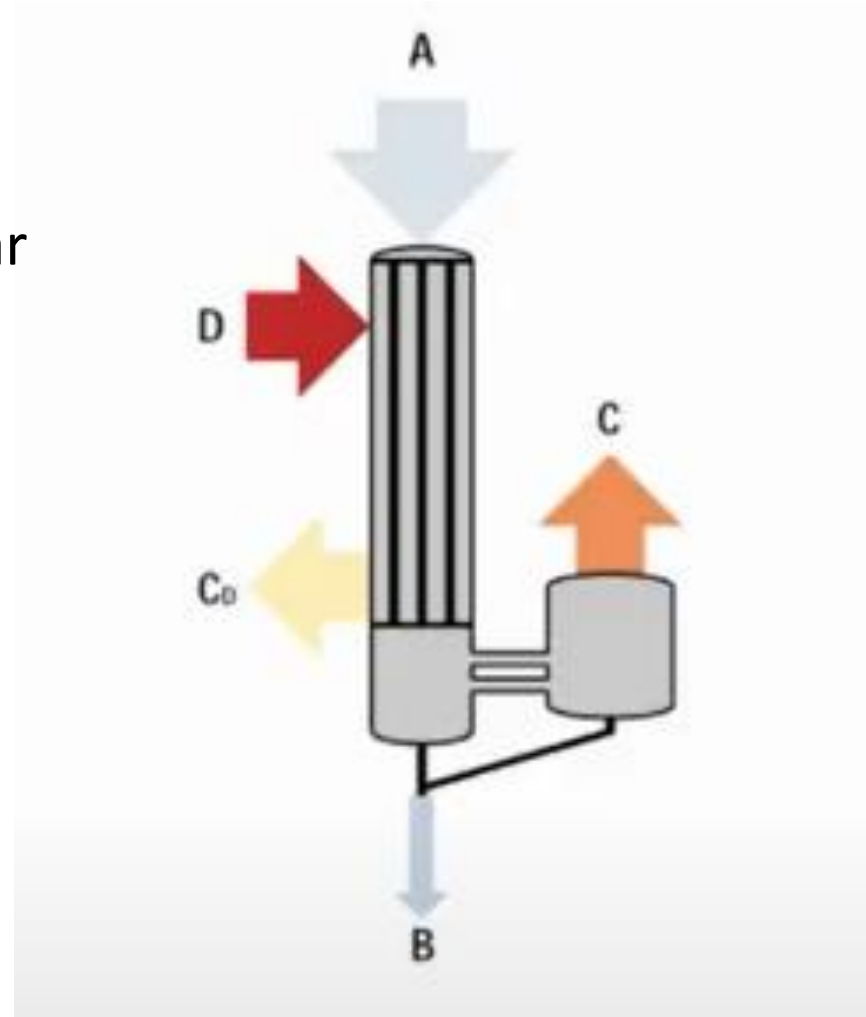
Evaporador a placas



Concentração

Evaporação

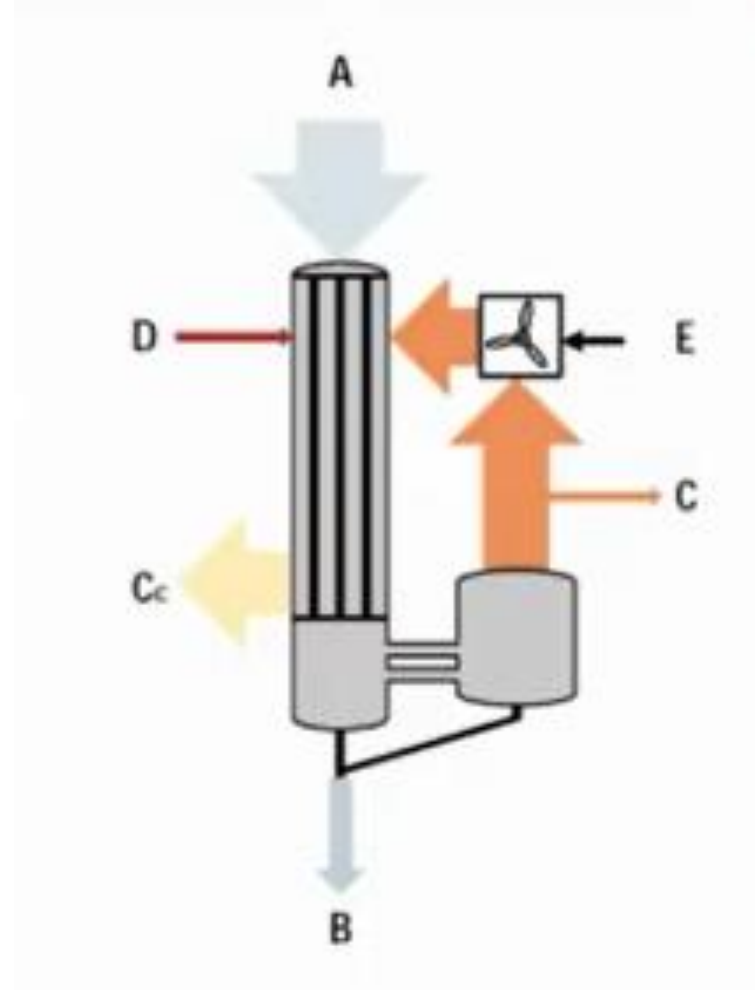
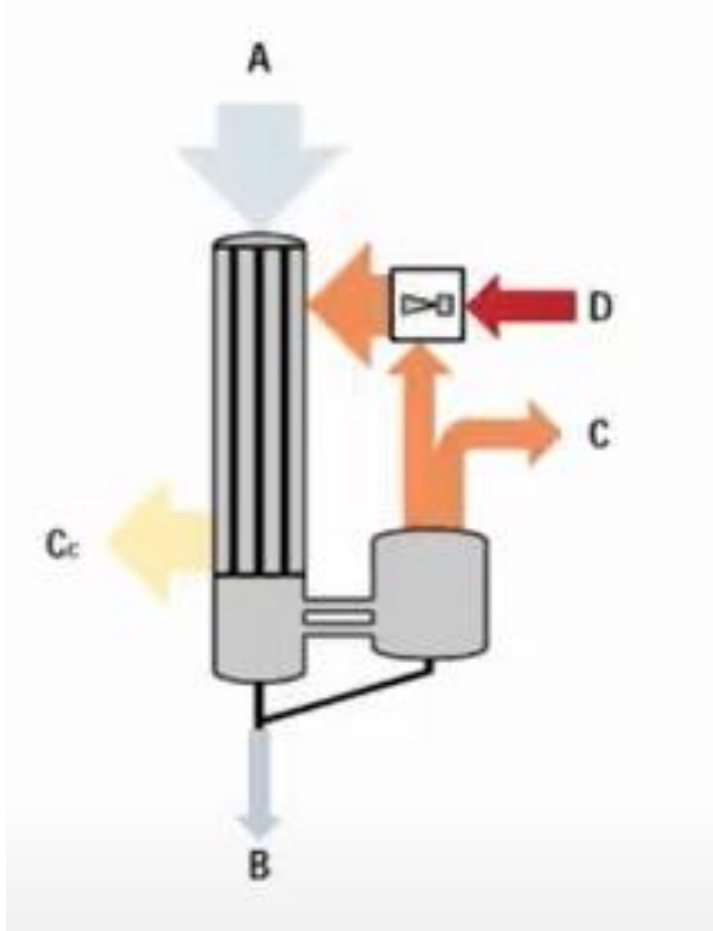
Como economizar energia?



Concentração

Evaporadores de múltiplos efeitos

Evaporação



Concentração

Evaporação

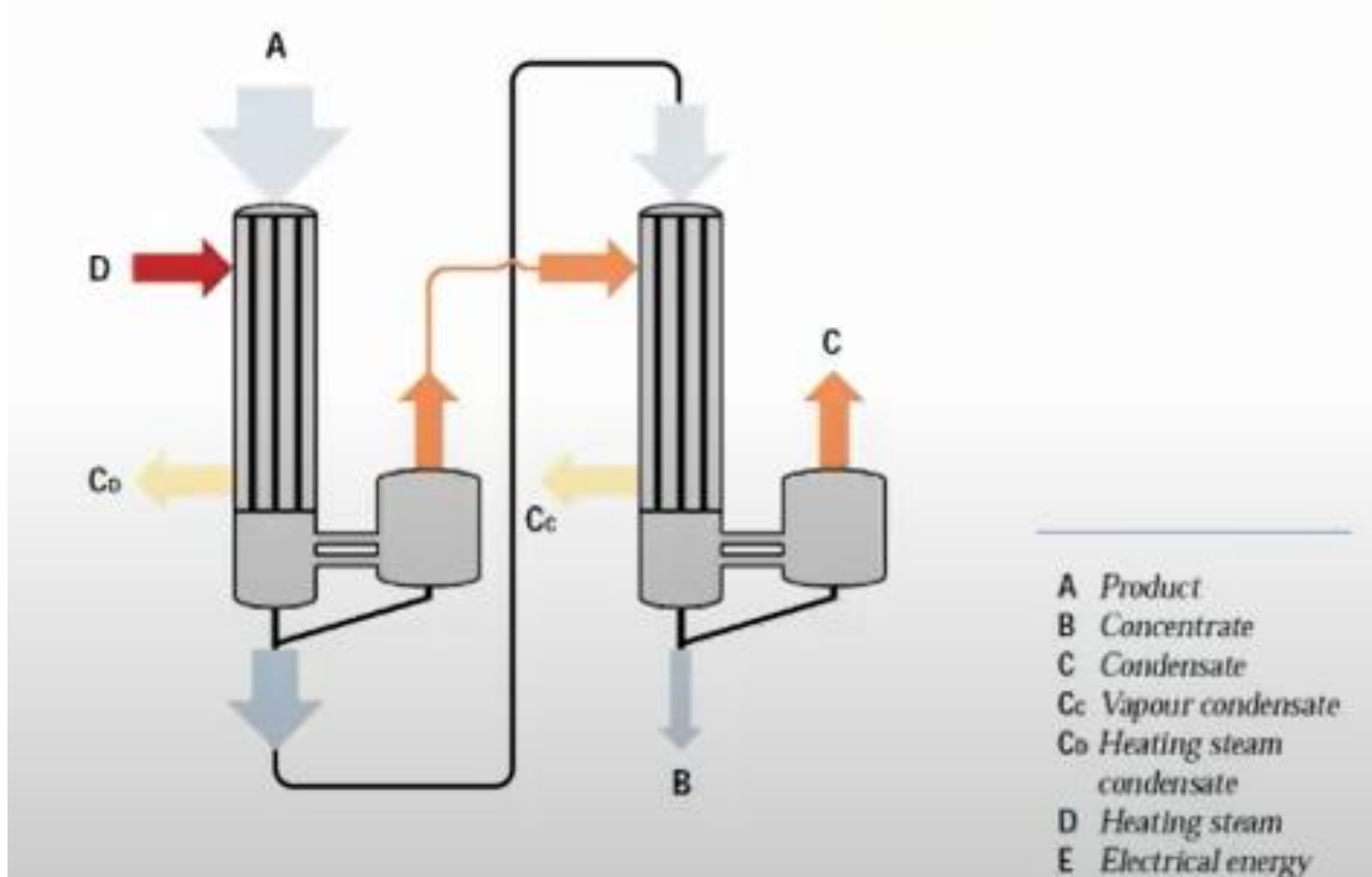


Table 13.3 Steam consumption with vapour recompression and multiple effect evaporation

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

Fonte: Fellows, 2000.

Concentração

Evaporação



Concentração

Evaporação



Concentração

*Evaporação +
Adição de solutos*

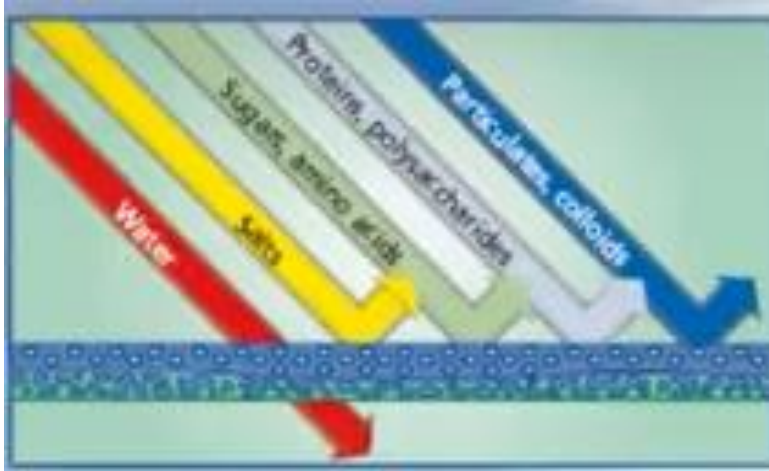
- Frutas + Açúcares
- Pectina, ácidos
- Retirada da água, incorporação de sólidos

- Conservação:
Processo térmico
Baixo pH
Baixa aw

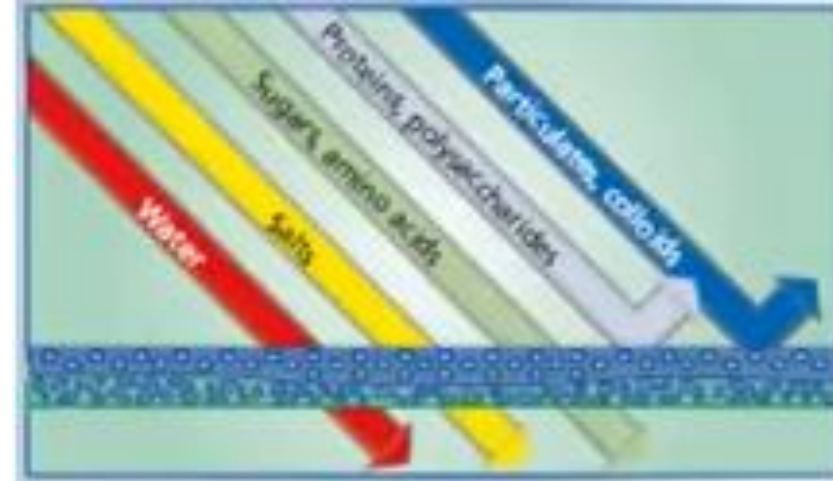


Concentração

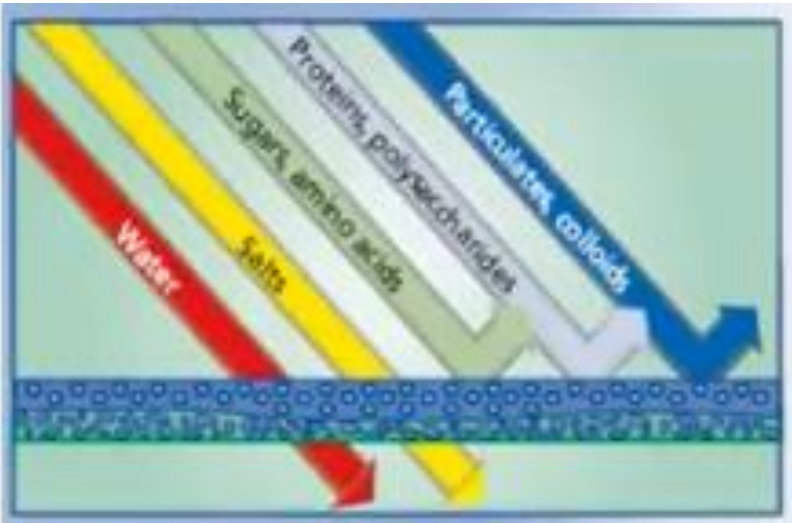
Membranas



Osmose reversa



Ultrafiltração



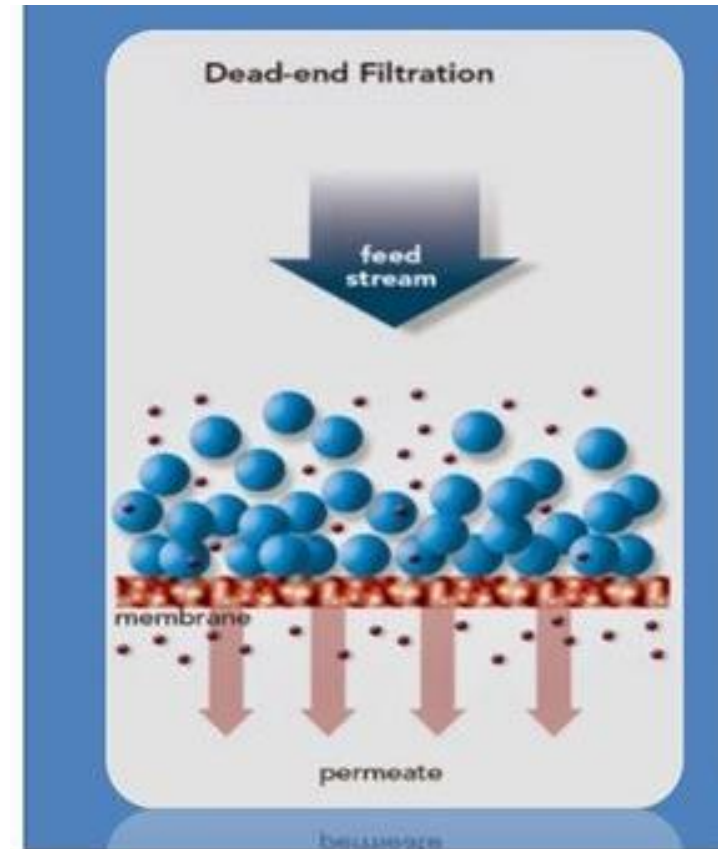
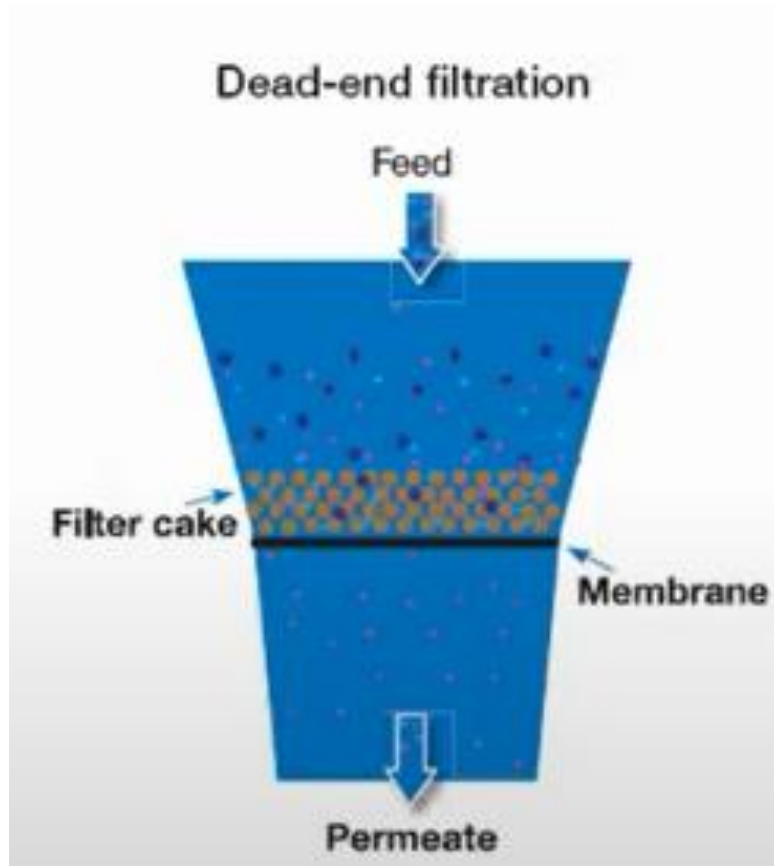
Nanofiltração



Microfiltração

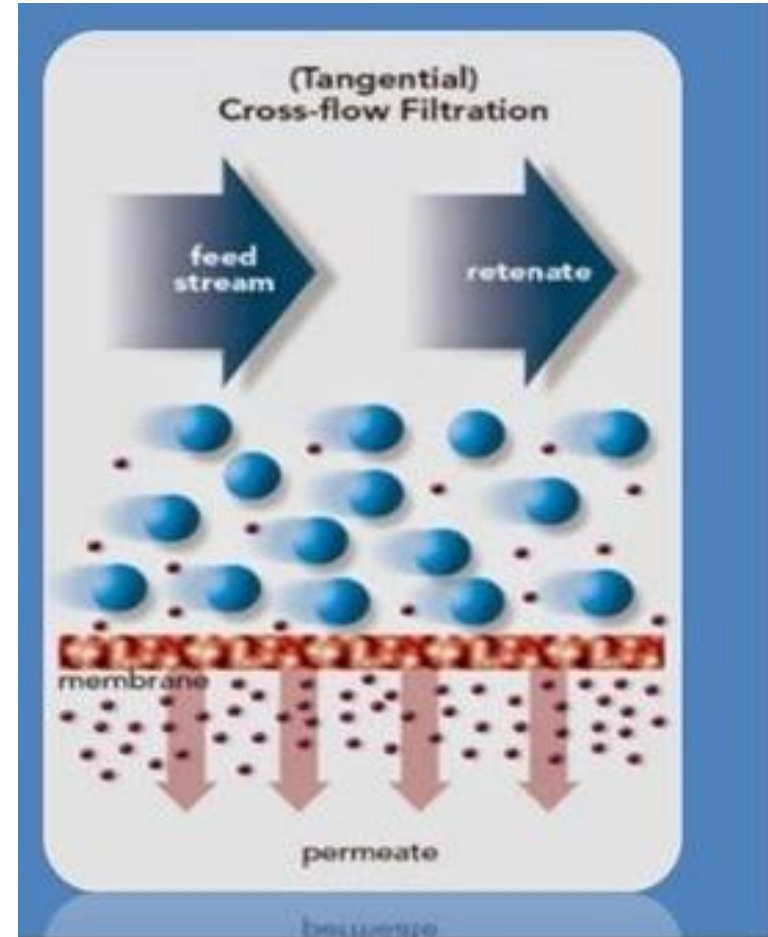
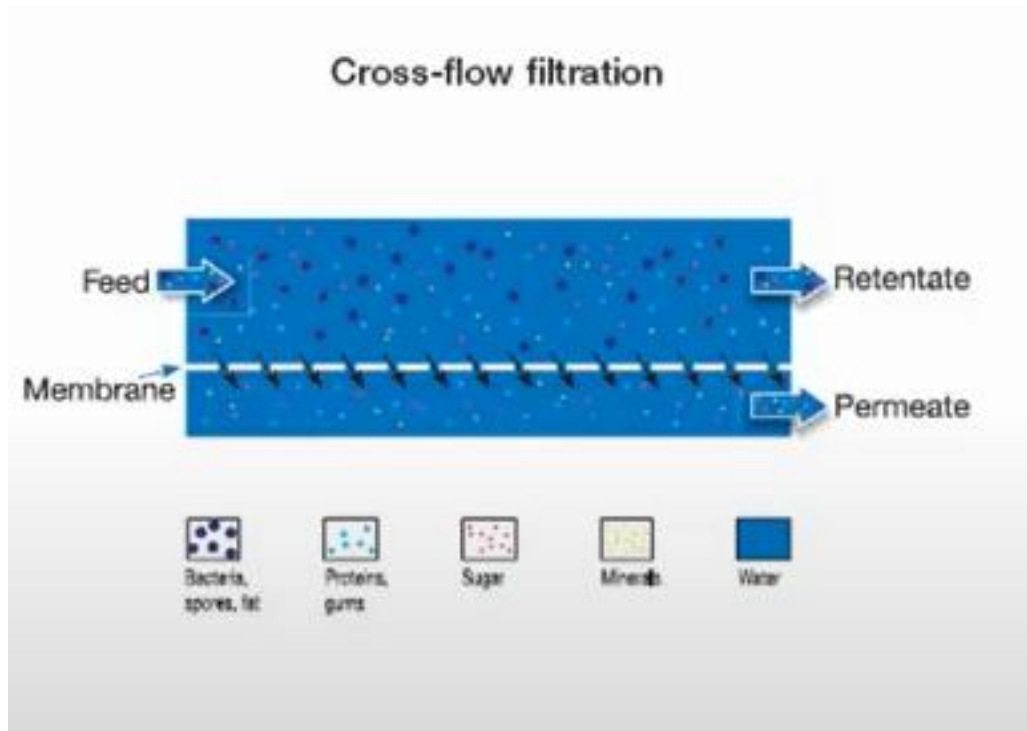
Concentração

Membranas



Concentração

Membranas





Concentração

Membranas



Estabilidade de alimentos

Concentração

Crioconcentração

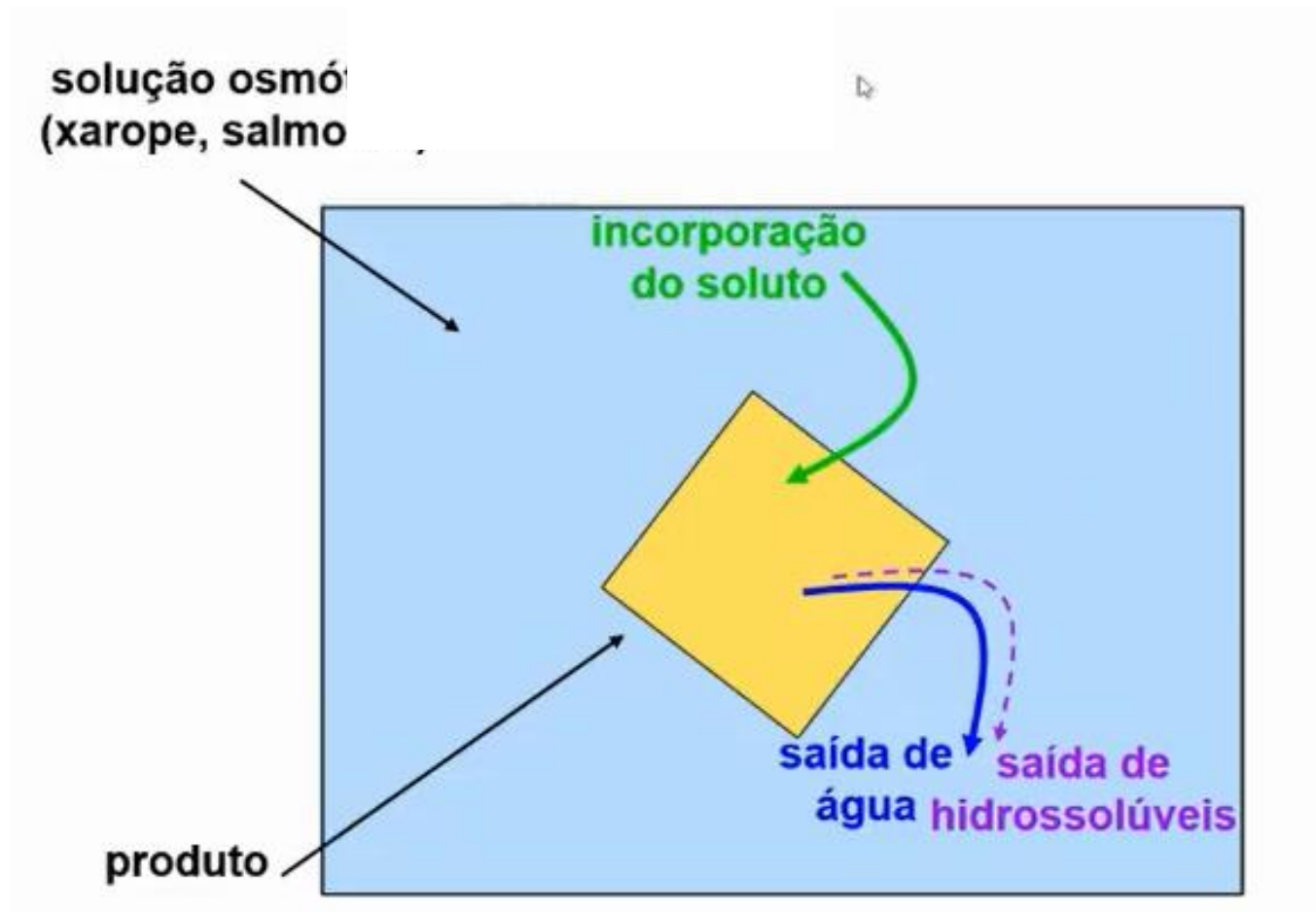


Freeze concentrator



Concentração

Desidratação osmótica



Concentração



Desidratação osmótica





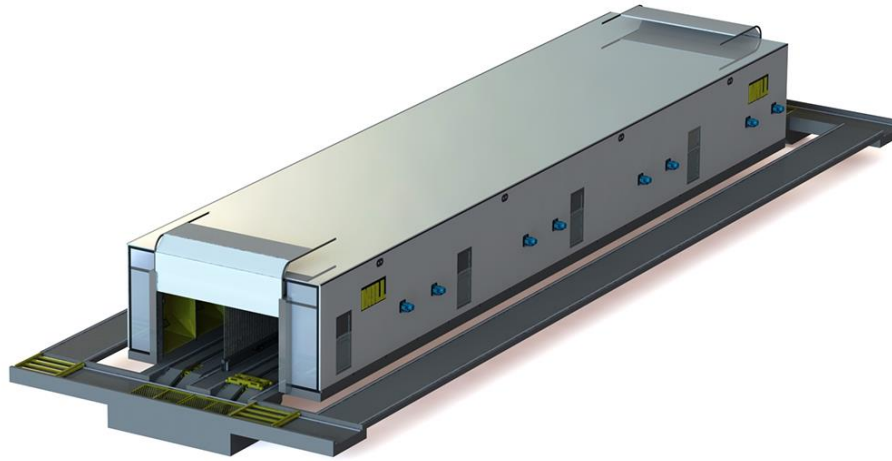
Secagem

Secagem



Secagem

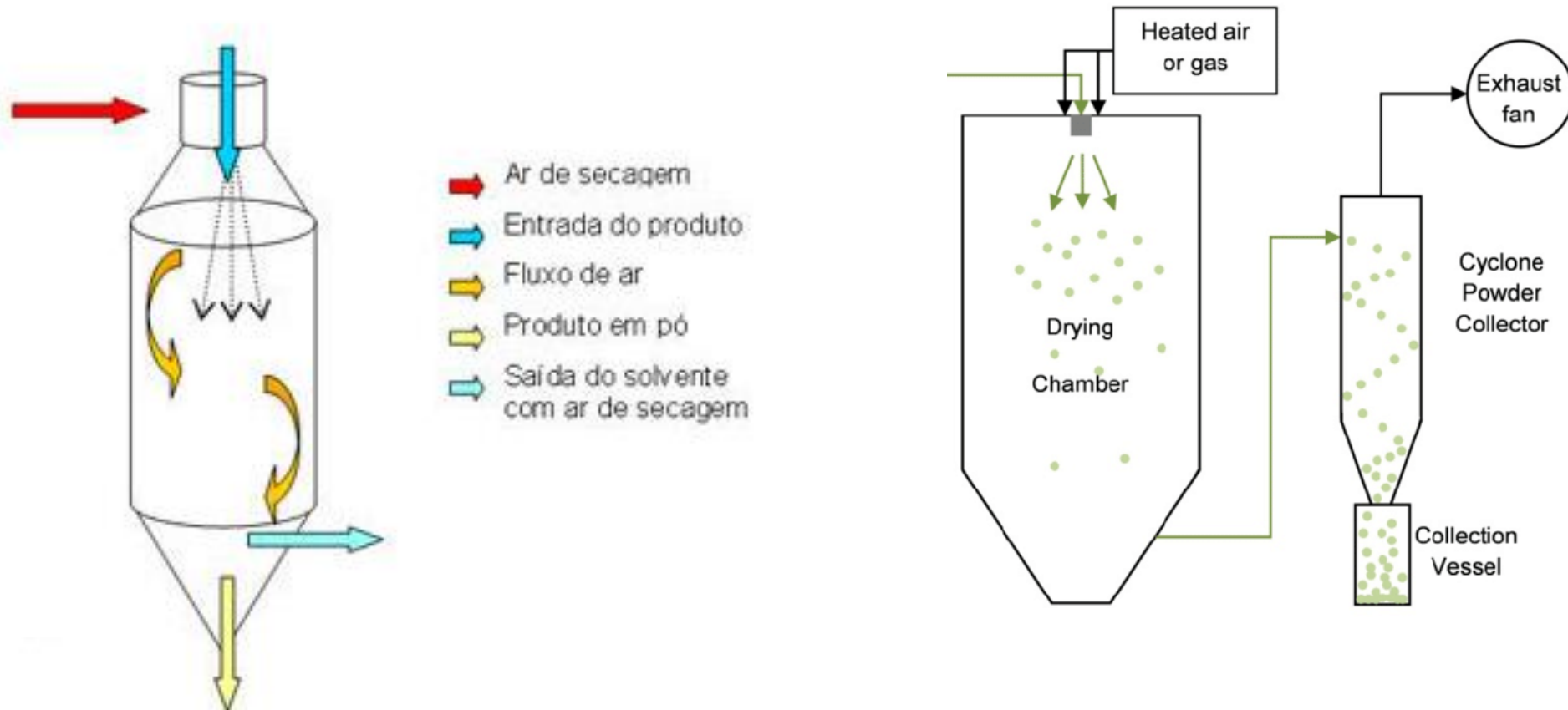
Ar - Sólidos



Secagem

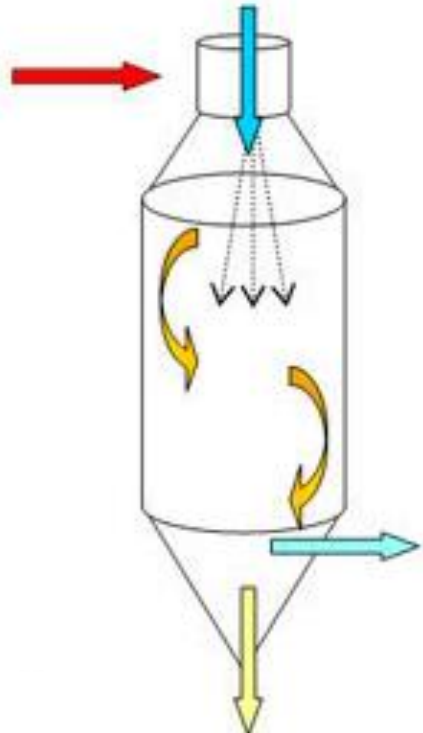
Ar - Líquido

Atomização – Spray dryer

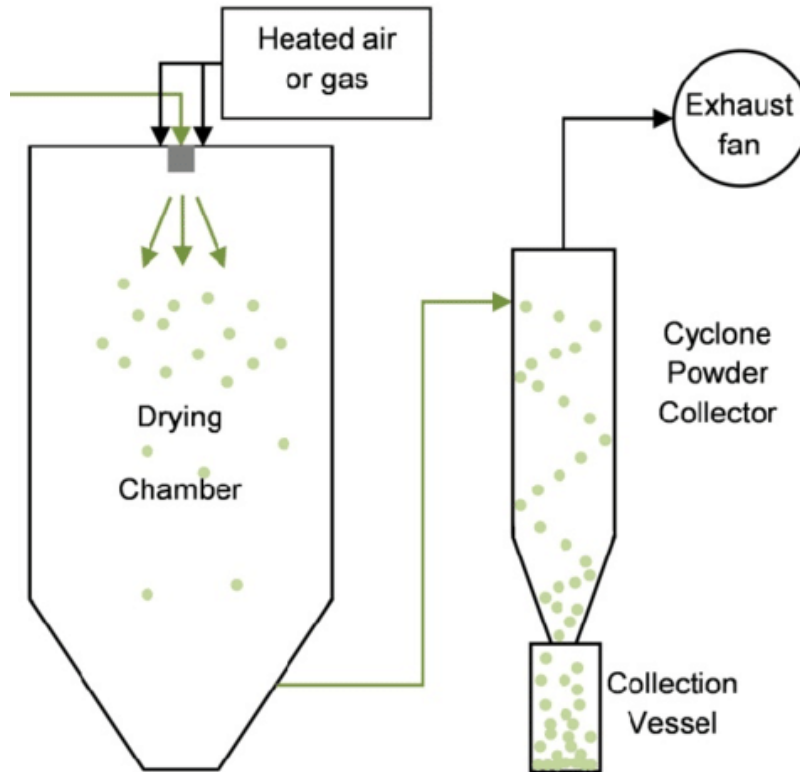


Secagem

Atomização – Spray dryer



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



Ar - Líquido



Rotating atomizer wheel in operation



Pressure nozzle atomizer in operation

Secagem

Ar - Líquido

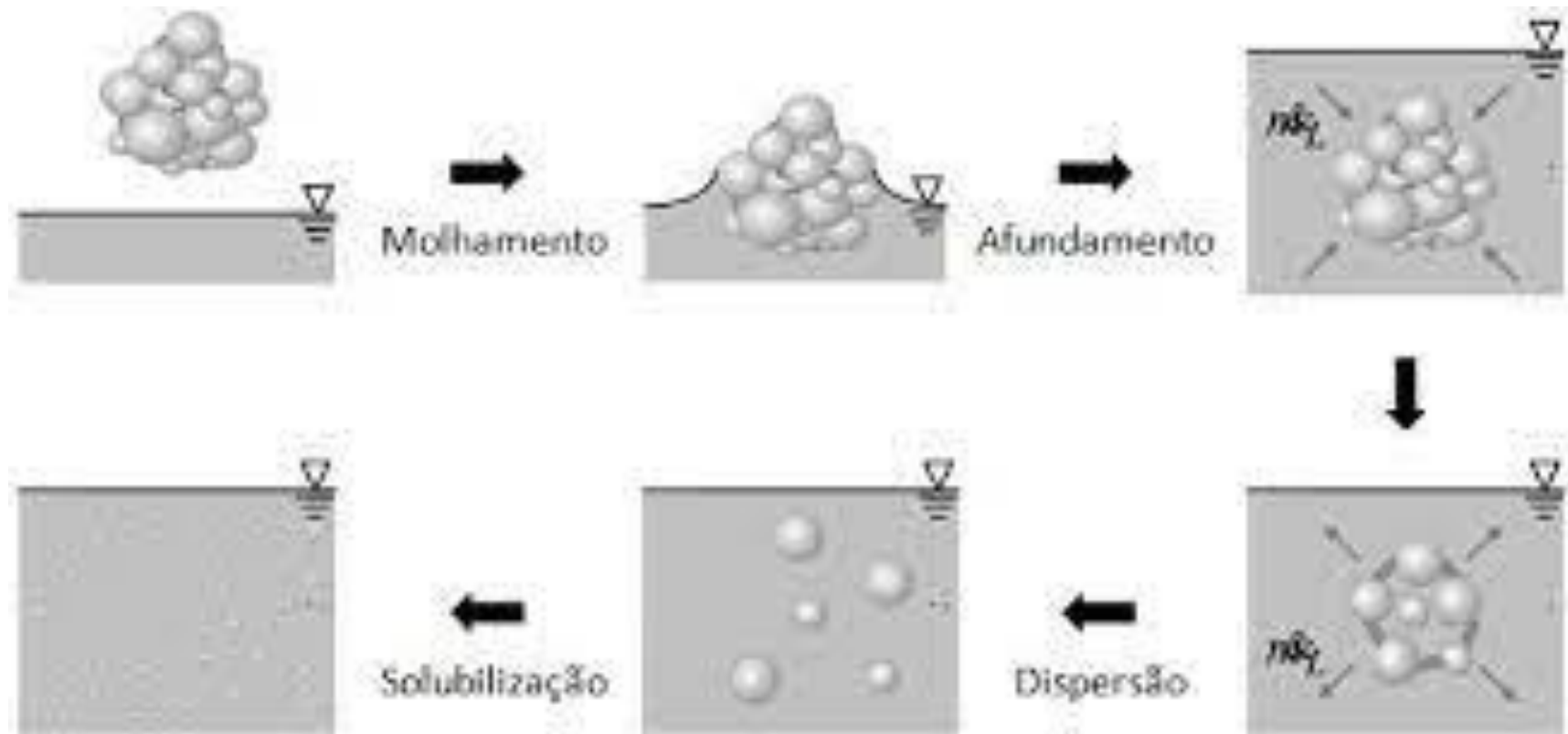
Atomização – Spray dryer



Secagem

Ar - Líquido

Atomização – Spray dryer

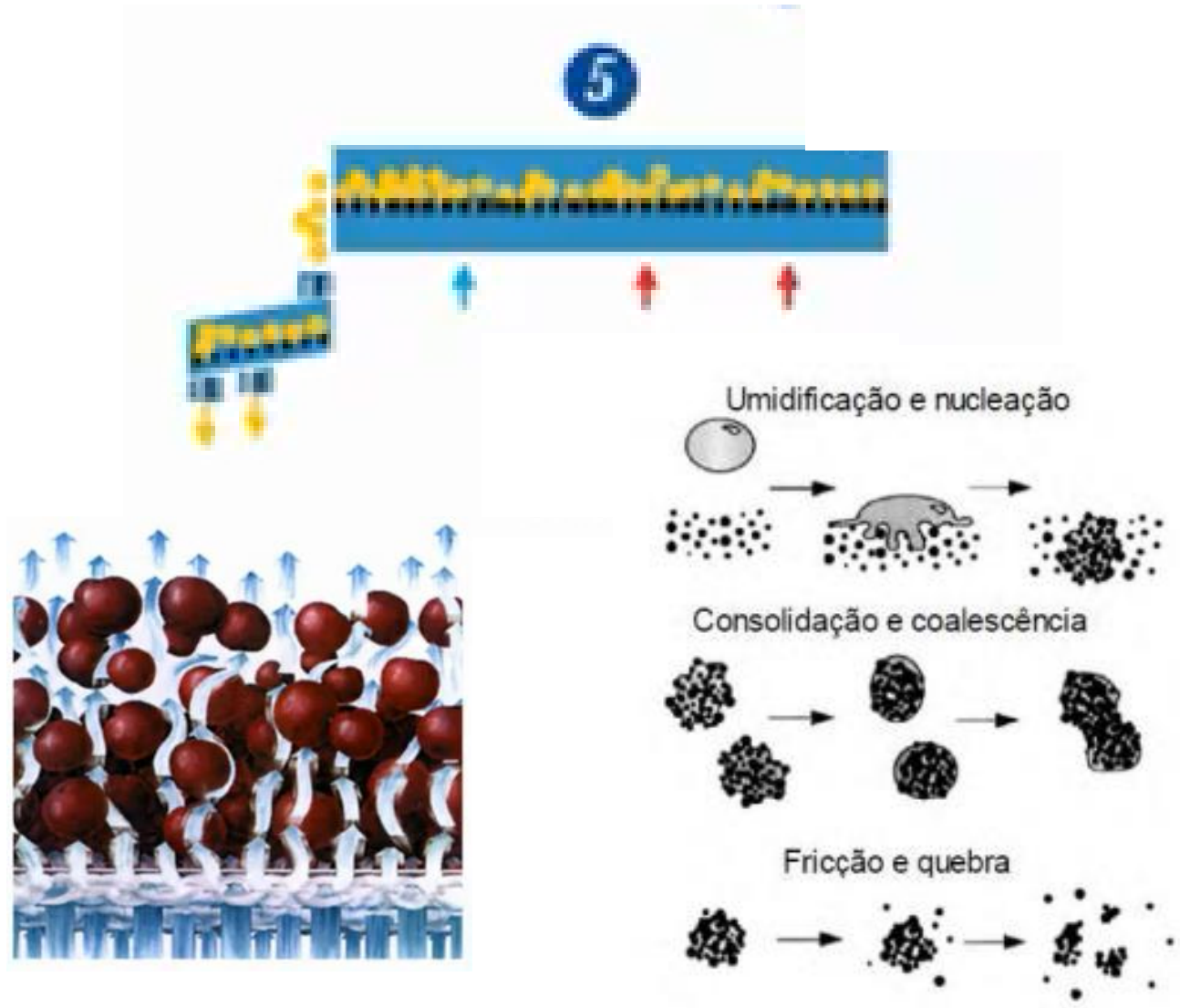


Secagem

Atomização – Spray dryer

Ar - Líquido

Aglomerador

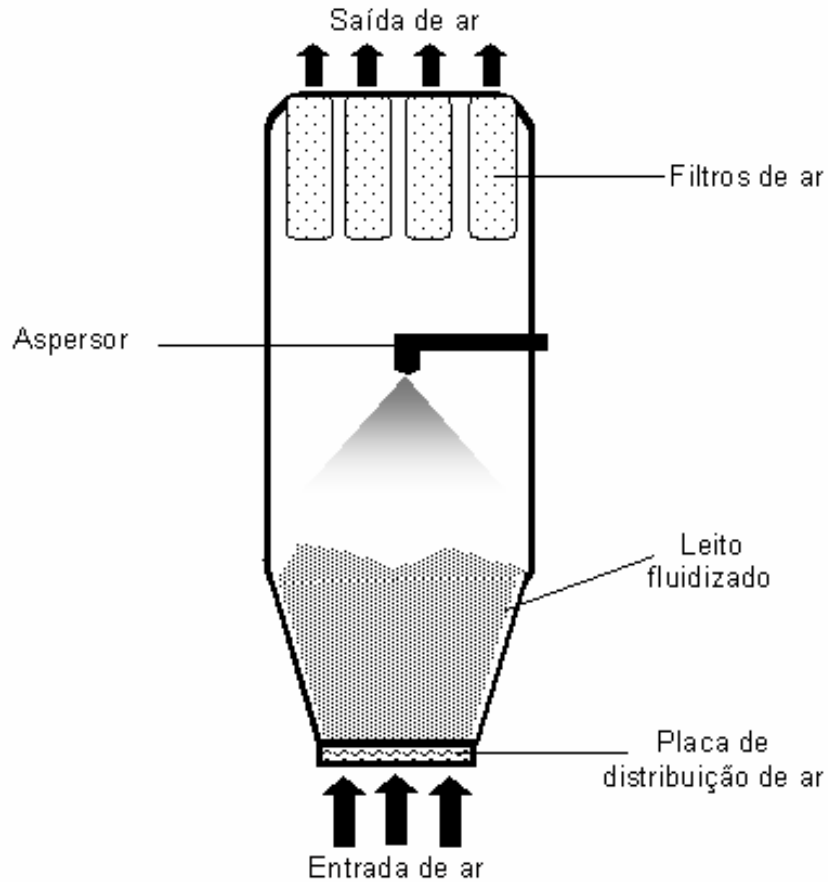


Estado vítreo para estado gomoso

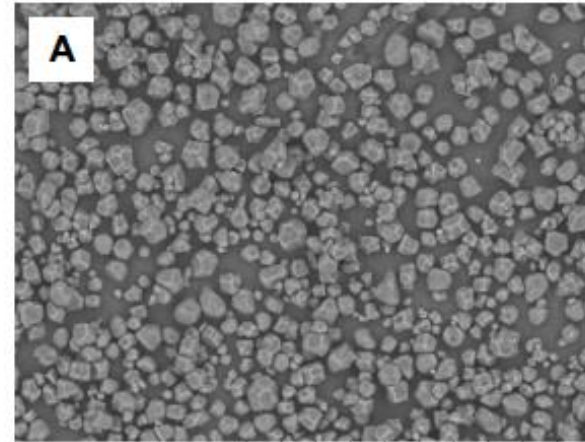
Secagem

Atomização – Spray dryer

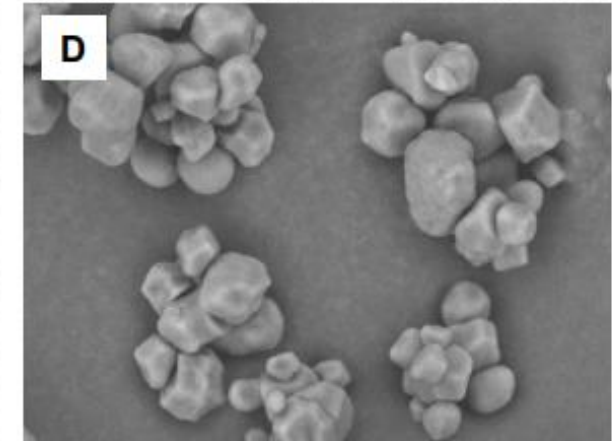
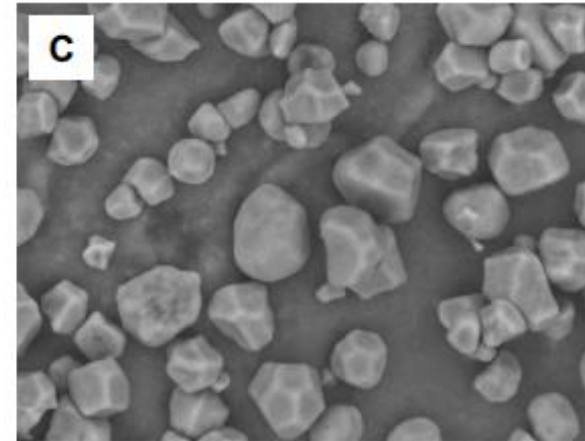
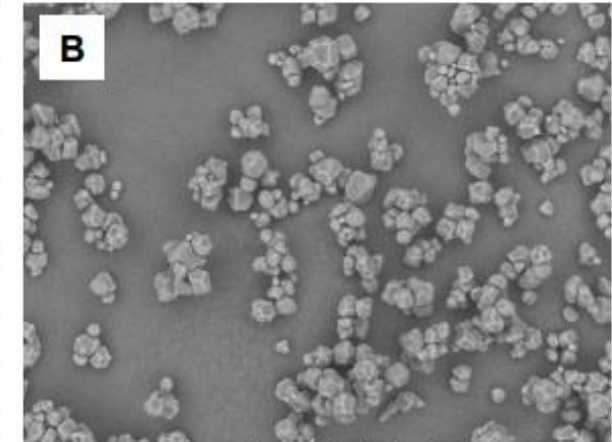
Ar - Líquido



Amido de milho
nativo



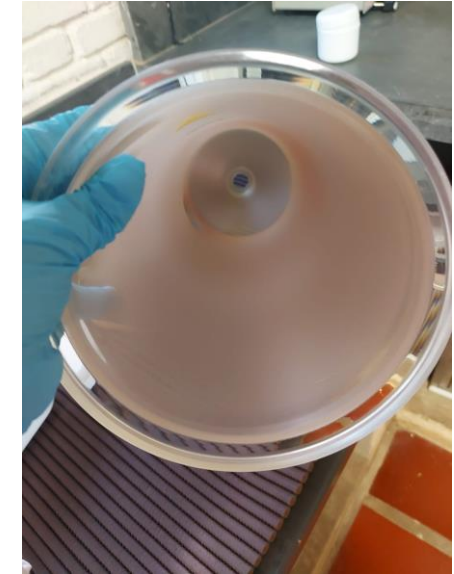
SFB



Secagem

Atomização – Spray dryer

Ar - Líquido



Secagem

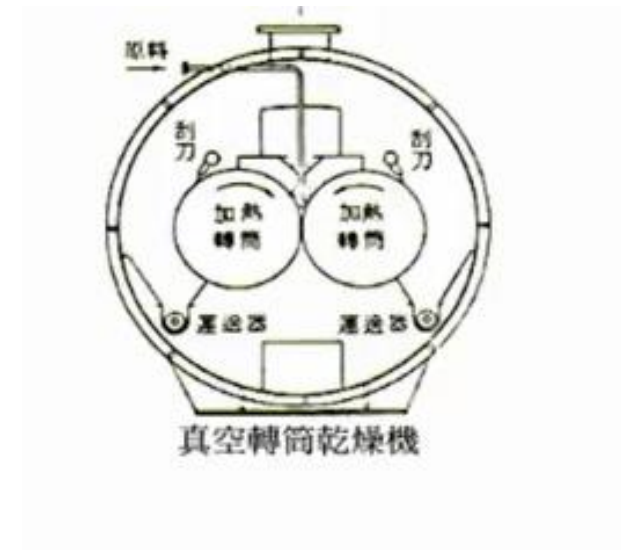
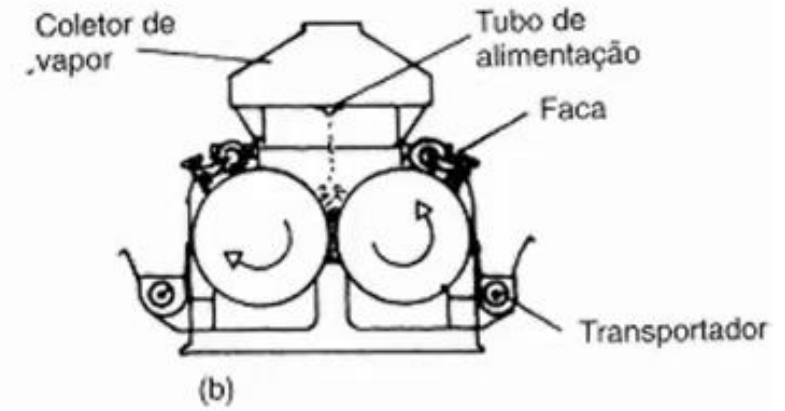
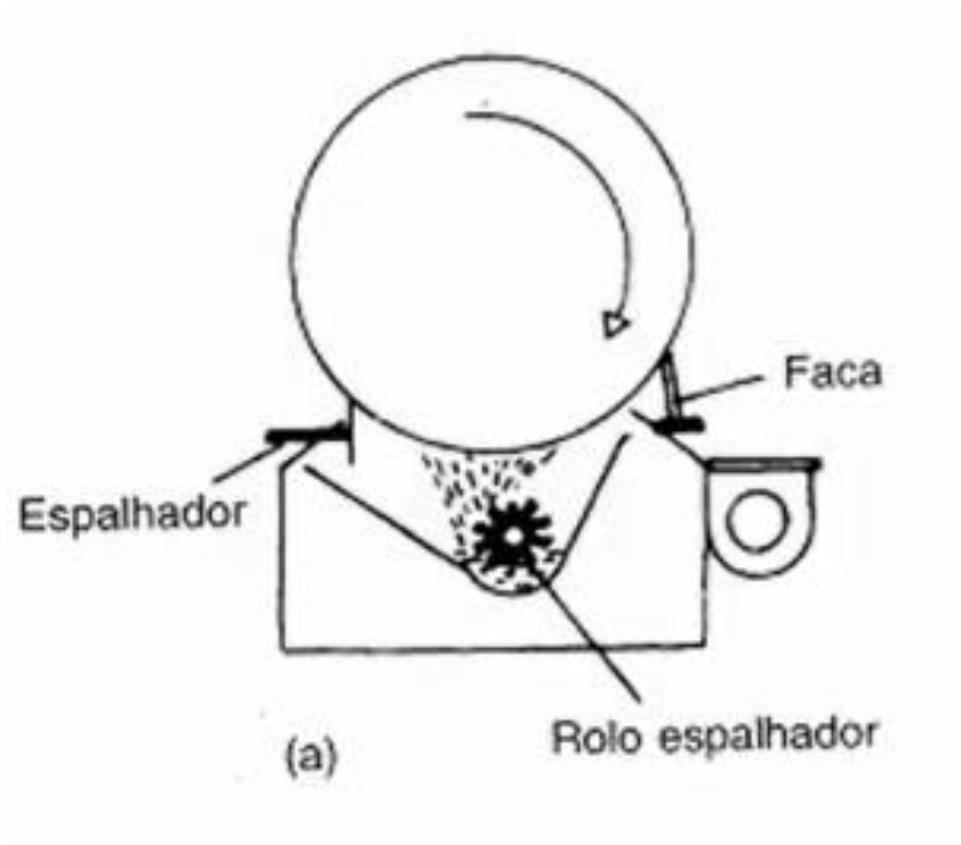
Contato

- 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

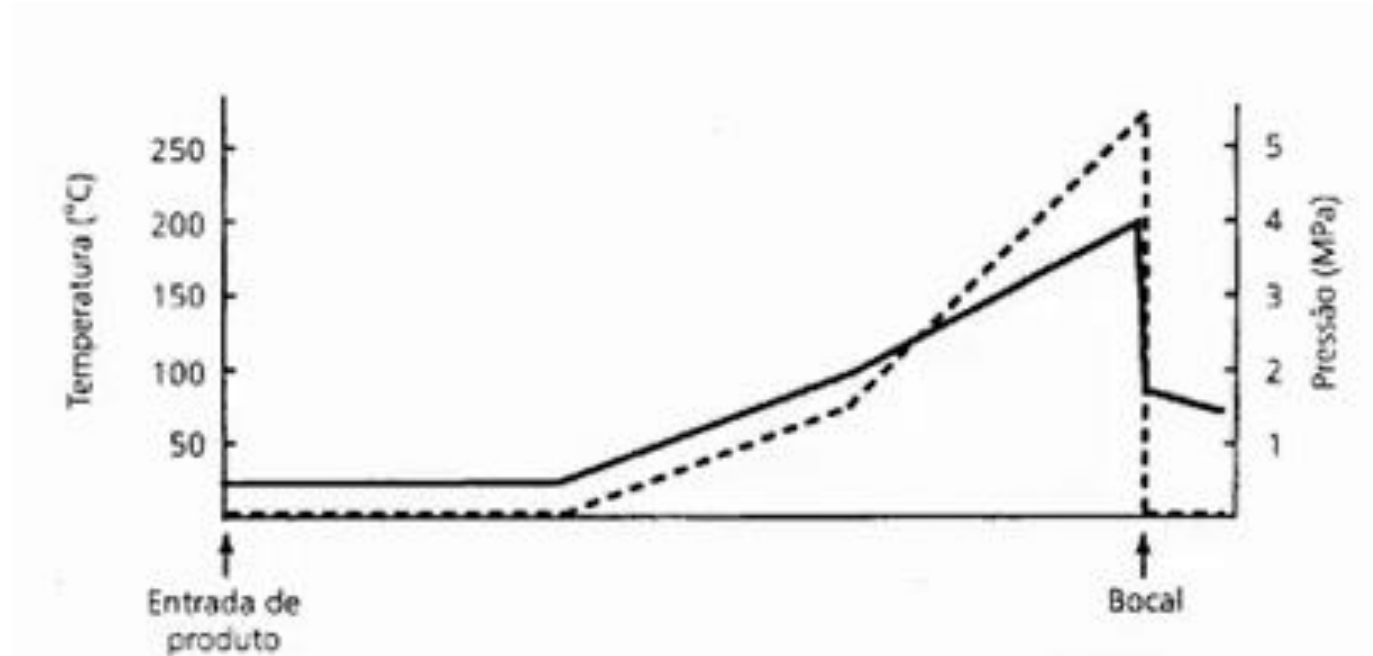
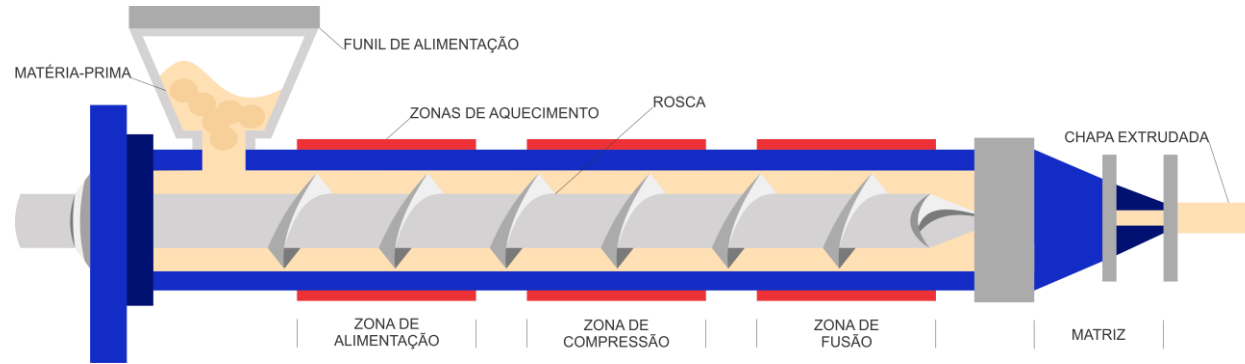
Extrusão

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

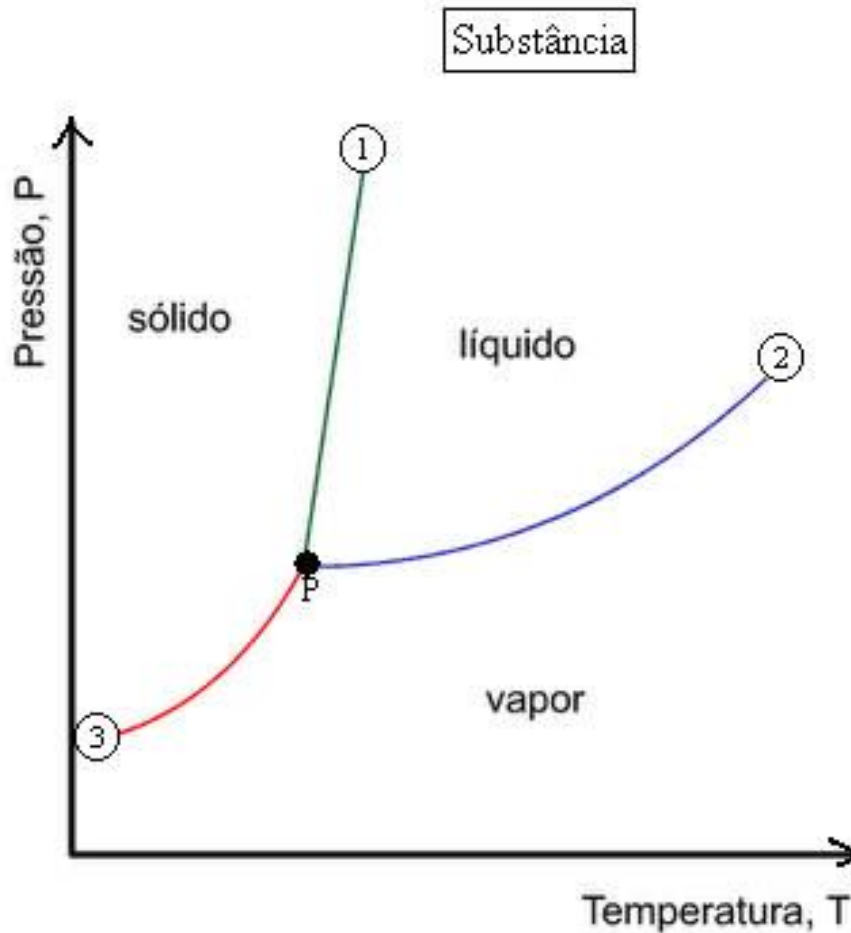


Extrusão



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

