

**Universidade de São Paulo**  
**Faculdade de Ciências Farmacêuticas**  
**Departamento de Tecnologia Bioquímico-Farmacêutica**

# **Leite e derivados**

**FBT0534 – Tecnologia de Alimentos**



**Prof. Alan Giovanini de Oliveira Sartori**  
**FBT / FCF / USP**

# Agenda

---

- Composição química e características do leite de vaca
- Microbiologia do leite de vaca
- Tratamentos térmicos do leite
- Produtos fermentados
- Queijos
- Creme de leite e manteiga



# Leite

---

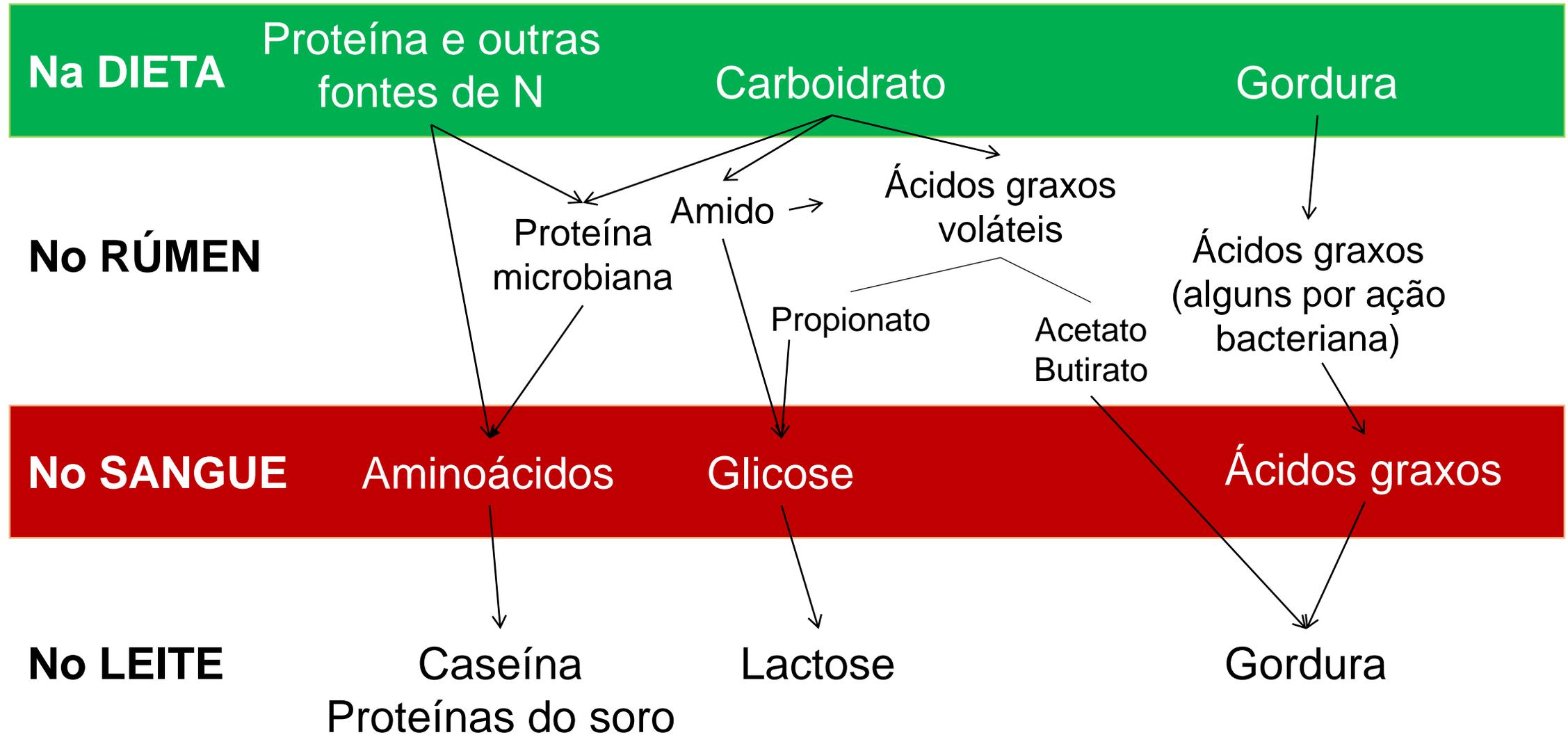
- Um dos produtos mais versáteis da agroindústria de alimentos
- Pode ser transformado em derivados:
  - Salgados, como queijos e manteiga
  - Doces, como iogurte, leite condensado, leite fermentado e doce de leite
  - Ingrediente de receitas, como o leite em pó ou creme de leite
- Há um aumento em lácteos com percentuais reduzidos ou zero de lactose
- 70% da população mundial tem algum nível de intolerância à lactose
- No Brasil: estima-se que entre 35% e 60% da população tem alguma intolerância à lactose

# Leite de vaca: definições

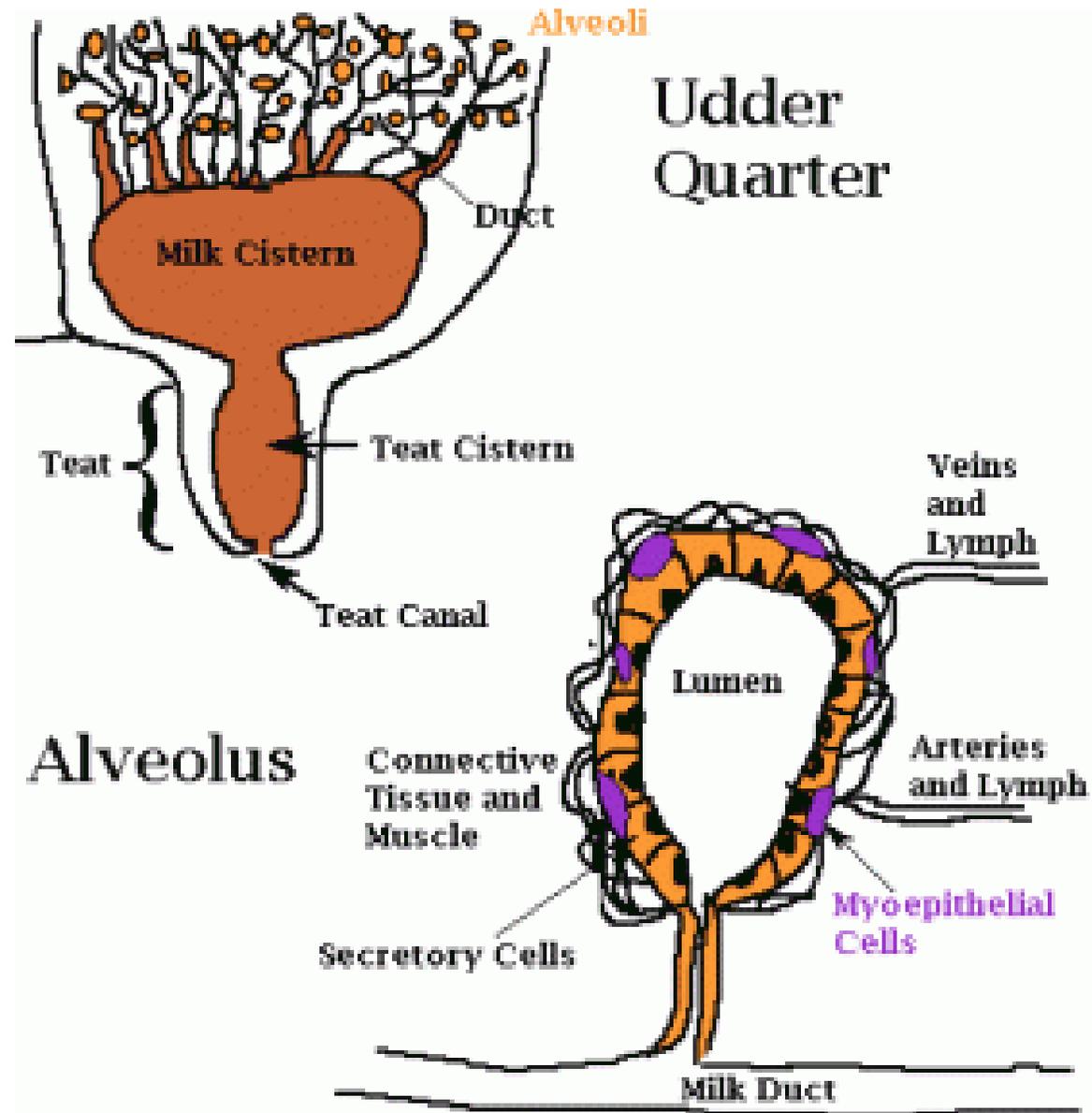
---

- “Produto oriundo da ordenha completa, ininterrupta, em condições de higiene, de vacas sadias, bem alimentadas e descansadas” (Decreto nº 1.903/2017)
- Emulsão de coloração branca, ligeiramente amarelada, de odor suave e sabor adocicado

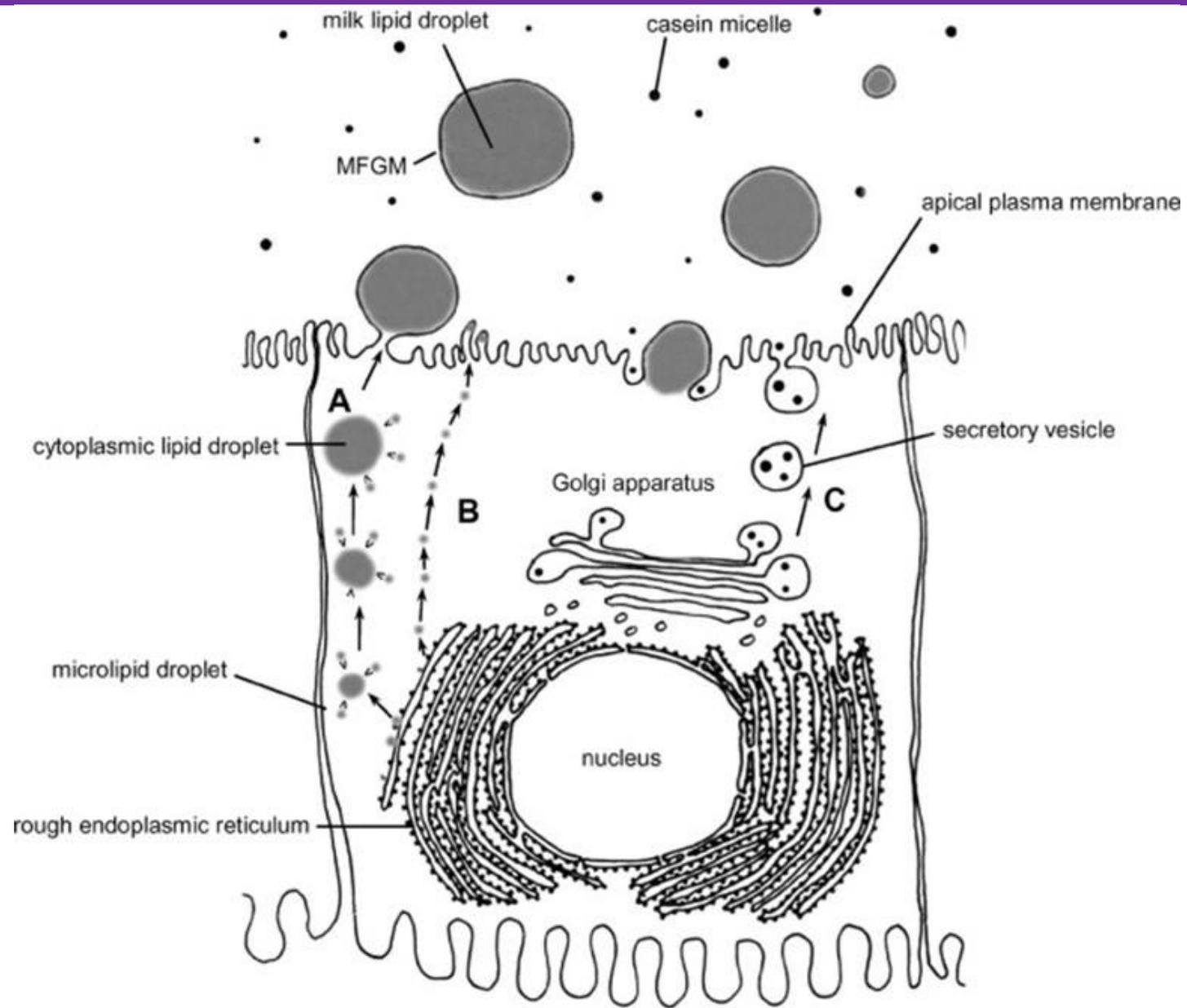
# Conversão de nutrientes no animal



# Biossíntese de leite



# Dentro das células secretoras



# Composição química do leite de vaca

Componente	Porcentagem média	Variação entre as raças ocidentais (% médias)
Água	86,6	85,4-87,7
Lipídeos	4,1	3,4-5,1
Proteínas	3,6	3,3-3,9
Lactose	5,0	4,9-5,0
Cinzas	0,7	0,68-0,74

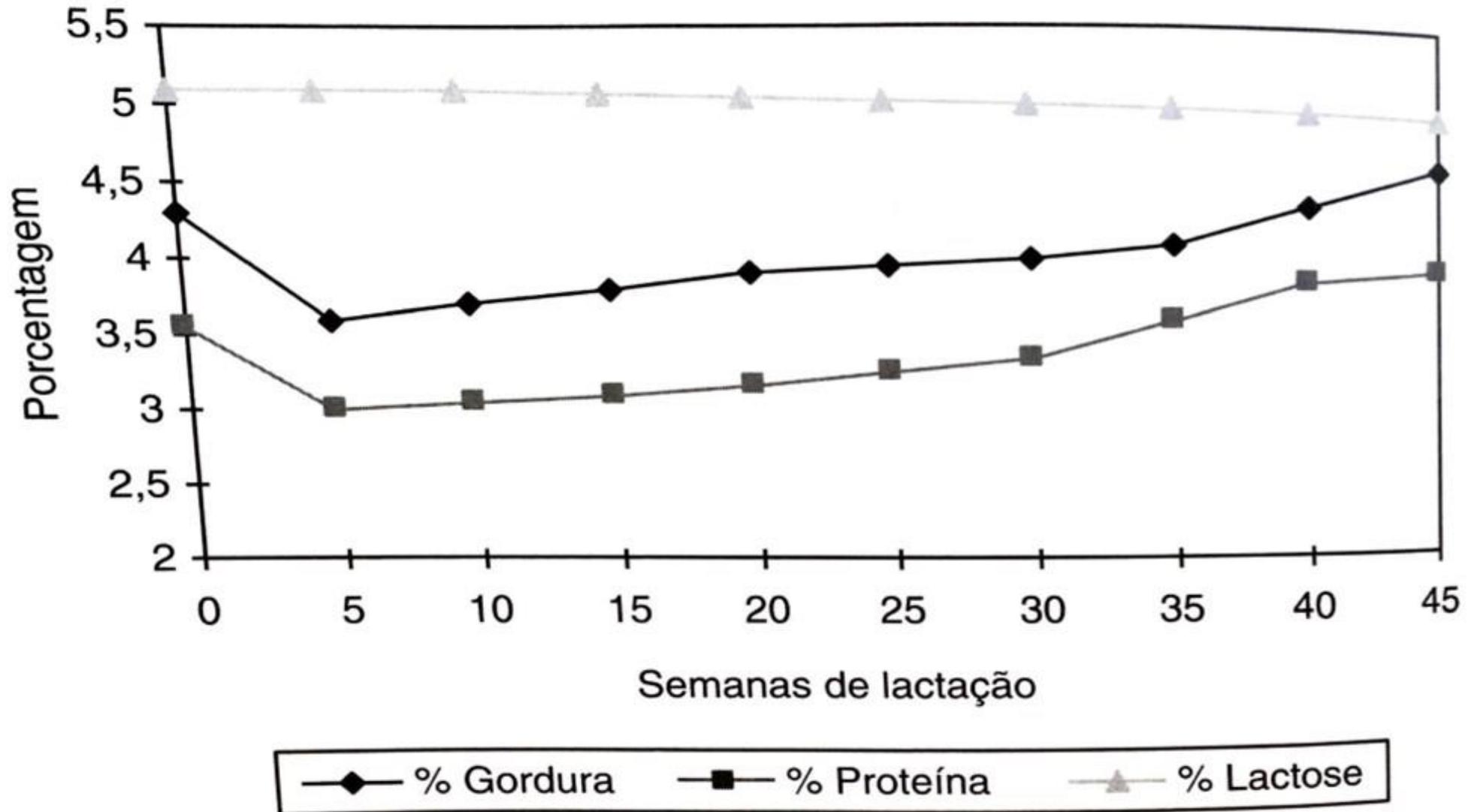
Composição química do leite influencia as suas propriedades organolépticas e industriais

# Fatores que afetam a composição química do leite

---

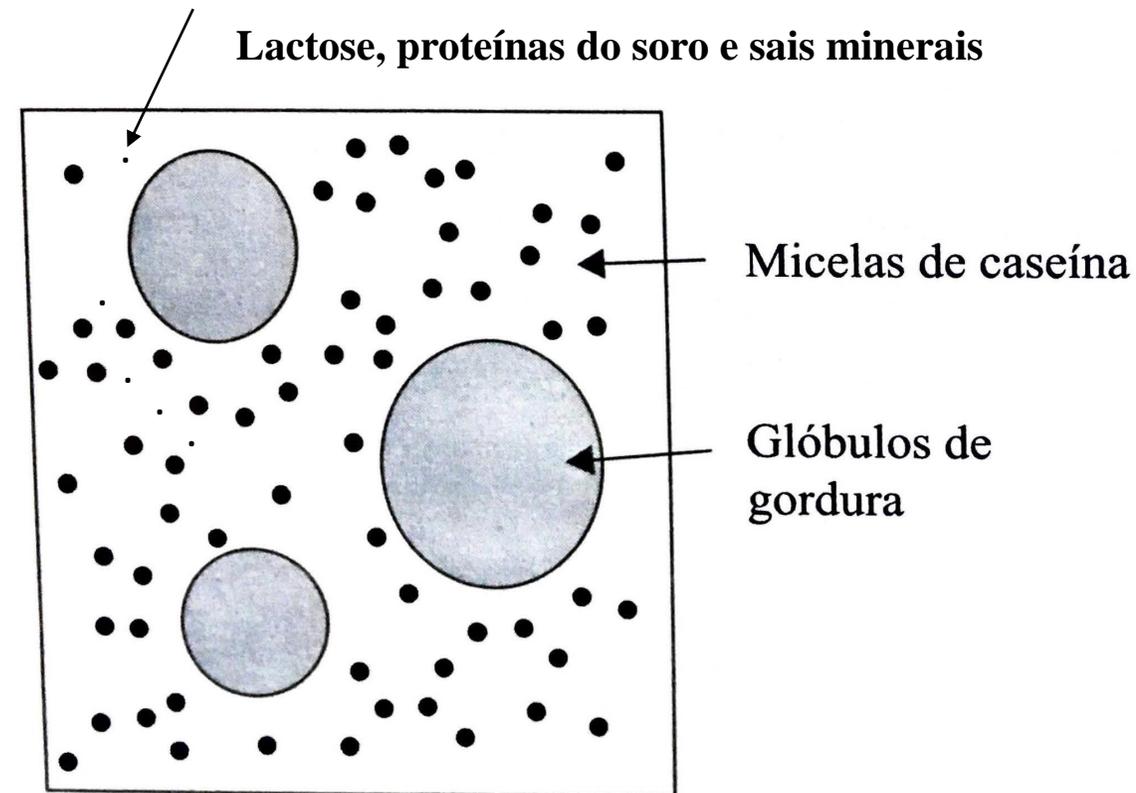
- Ambientais, especialmente a dieta (cerca de 75%):
  - Aporte energético muito baixo: perda de peso e na produção de leite
  - Aporte energético muito elevado: aumenta os custos de produção + doenças metabólicas nas vacas
- Genéticos (cerca de 25%):
  - Variações dentro de uma mesma raça são maiores do que entre raças
- Idade do animal
- Estágio da lactação

# Variação da composição do leite bovino durante a lactação



# Características do leite de vaca

- Maioria dos constituintes se encontra como estruturas grandes, complexas e associadas, como:
  - Micelas de caseína (tamanho coloidal)
  - Glóbulos de lipídeos (emulsão)
- Desta forma, o leite é caracterizado como uma:
  - Suspensão coloidal de caseína
  - Emulsão de glóbulos de lipídeos
  - Solução de lactose, proteínas do soro e sais minerais



# Número e dimensões dos componentes majoritários do leite

Componente	Tamanho (diâmetro, nm)	Número/mL
Lactose	0,5	$10^{19}$
Proteínas do soro	4-6	$10^{77}$
Micela de caseína	30-300	$10^{14}$
Glóbulo de gordura do leite	2.000-3.000	$10^{10}$

# Principais proteínas do leite de vaca

---

- **Caseínas (~80%)**
  - $\alpha_s1$ -caseínas e  $\alpha_s2$ -caseínas
  - $\beta$ -caseínas
  - $\kappa$ -caseínas
- **Proteínas do soro (~20%)**
  - $\beta$ -lactoglobulinas
  - $\alpha$ -lactoalbuminas
  - Albumina sérica
  - Imunoglobulinas
- Polipeptídios da proteólise enzimática limitada das caseínas

# Separação das frações caseína e proteínas do soro

---

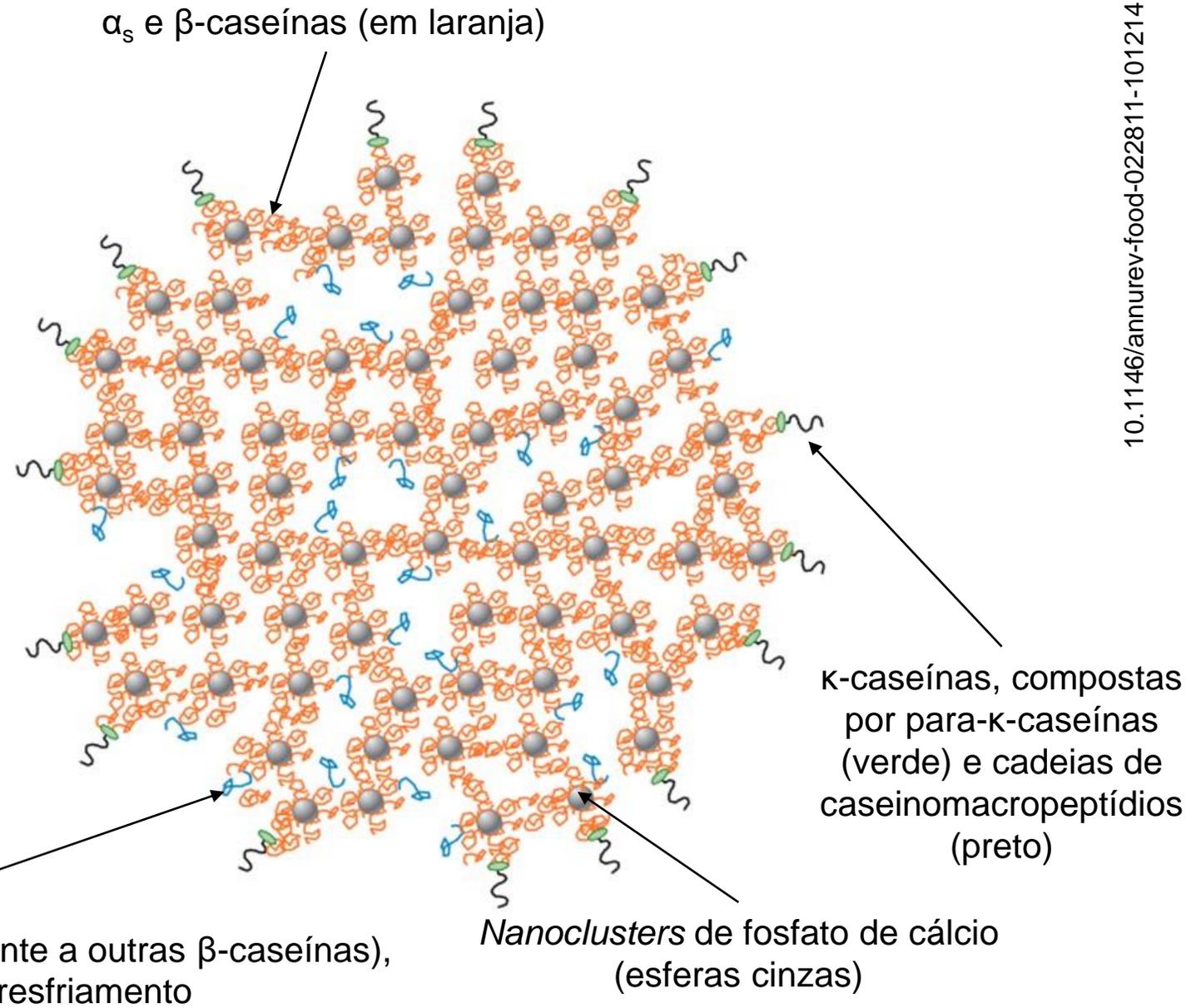
**Acidificação** do leite até o ponto isoelétrico da caseína (pH ~ 4,6 a 20 °C)

**OU**

**Coagulação enzimática** usando a enzima quimosina, com aglomeração das micelas de caseína, como na produção de queijo

# Micelas de caseína

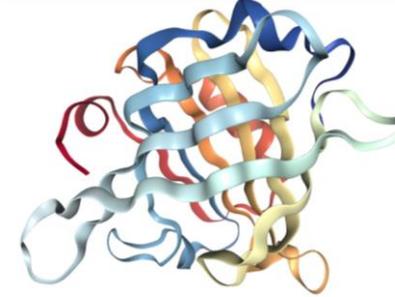
- Esféricas e altamente hidratadas
- Compostas por submicelas/frações com 10 a 20 nm de diâmetro
- Contêm:
- 92% de proteínas:  $\alpha_{s1}$ ,  $\alpha_{s2}$ ,  $\beta$  e  $\kappa$ -caseínas na proporção 3:1:3:1
- 8% de sais, principalmente fosfato de cálcio, ligados às submicelas
- Apresentam carga líquida negativa em condições normais



# Proteínas do soro

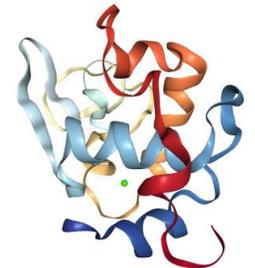
- **$\beta$ -lactoglobulina**

- Apresenta teor elevado de aminoácidos de cadeia ramificada (BCAA, do inglês *branched-chain amino acids*), que são leucina, isoleucina e valina



- **$\alpha$ -lactoalbumina**

- Contém alto teor de triptofano
- 
- Apresentam carga líquida negativa no pH do leite
- Estrutura dobra-se, com os resíduos hidrofóbicos no interior
- Auto associação ou interação com outras proteínas não ocorre, quando nativas



# Lipídios do leite

- Triacilgliceróis: 96 a 98% do total de lipídeos
- Mais de 400 ácidos graxos e 223 triacilgliceróis diferentes já identificados no leite de vaca
- Apenas 13 ácidos graxos presentes em concentrações > 1%:

Palmítico 16:0  
(43,7%)

**Mirístico 14:0**  
**(12,8%)**

**Cáprico 10:0**  
**(3,5%)**

Esteárico 18:0  
(11,3%)

Oleico 18:1  
(11,3%)

**Láurico 12:0**  
**(4,6%)**

**Butanoico 4:0**  
**(3,8%)**

**Caproico 6:0**  
**(2,4%)**

Palmitoleico  
16:1 (2,6%)

# Lipídios do leite

Lipídio	Porcentagem em massa	g/L*
Triacilgliceróis	95,8	30,7
1,2-diacilgliceróis	2,25	0,72
Monoacilgliceróis	0,08	0,03
Ácidos graxos livres	0,28	0,09
Fosfolipídios	1,11	0,36
Colesterol	0,46	0,15
Ésteres de colesterol	0,02	0,006
Hidrocarbonetos	Traços	Traços

\*Com base na porcentagem normal de gordura do leite integral pasteurizado comercial (3,2%)

# Glóbulos de gordura do leite de vaca

---

- Glóbulos envoltos por material da membrana plasmática apical (triacilgliceróis, fosfolipídios, colesterol, proteínas)
- Dispersão da luz sobre os glóbulos de gordura causa aparência cremosa do leite integral
- Densidade menor do que a da água: glóbulos sobem, produzindo a nata do leite não homogeneizado

# Sais do leite

---

- Leite é uma solução supersaturada de cálcio e fósforo, considerando a concentração total
- Formação de fosfato de cálcio nas micelas (fosfato de cálcio coloidal ou *nanocluster* de fosfato de cálcio)
- Diminui a supersaturação, não ocorrendo precipitação
- Fosfato de cálcio também está presente na fase solúvel
- Fosfatos inorgânicos: maior parte como  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  e  $\text{HPO}_4^{2-}$

# Lactose

---

- Carboidrato predominante no leite bovino (50% dos sólidos no leite desnatado)
- Ocorre nas formas  $\alpha$  e  $\beta$ , na proporção  $\beta/\alpha = 1,68$  a 20 °C
- Forma  $\beta$  é muito mais solúvel que a  $\alpha$
- Forma  $\alpha$ -hidratada cristaliza e ocorre em diversos formatos
- Mais conhecido é o *tomahawk*, que confere sensação bucal arenosa aos produtos lácteos

# Concentração dos principais sais, íons e da lactose no leite

Componente	mg/100 mL	Ultrafiltrável (%)	Coloidal (%)
Cálcio total	121 (114-124)	33	67
Íon de cálcio	8 (6-16)	100	0
Magnésio	12,5 (11,7-13,4)	64	36
Citrato	181 (171-198)	94	6
Fósforo inorgânico	65 (53-72)	55	45
Sódio (Na <sup>+</sup> )	60 (48-79)	96	4
Potássio (K <sup>+</sup> )	144 (116-176)	94	6
Cloreto (Cl <sup>-</sup> )	108 (92-131)	100	0
Lactose	4.800 (4.600-4.900)	100	0

# Enzimas do leite de vaca

---

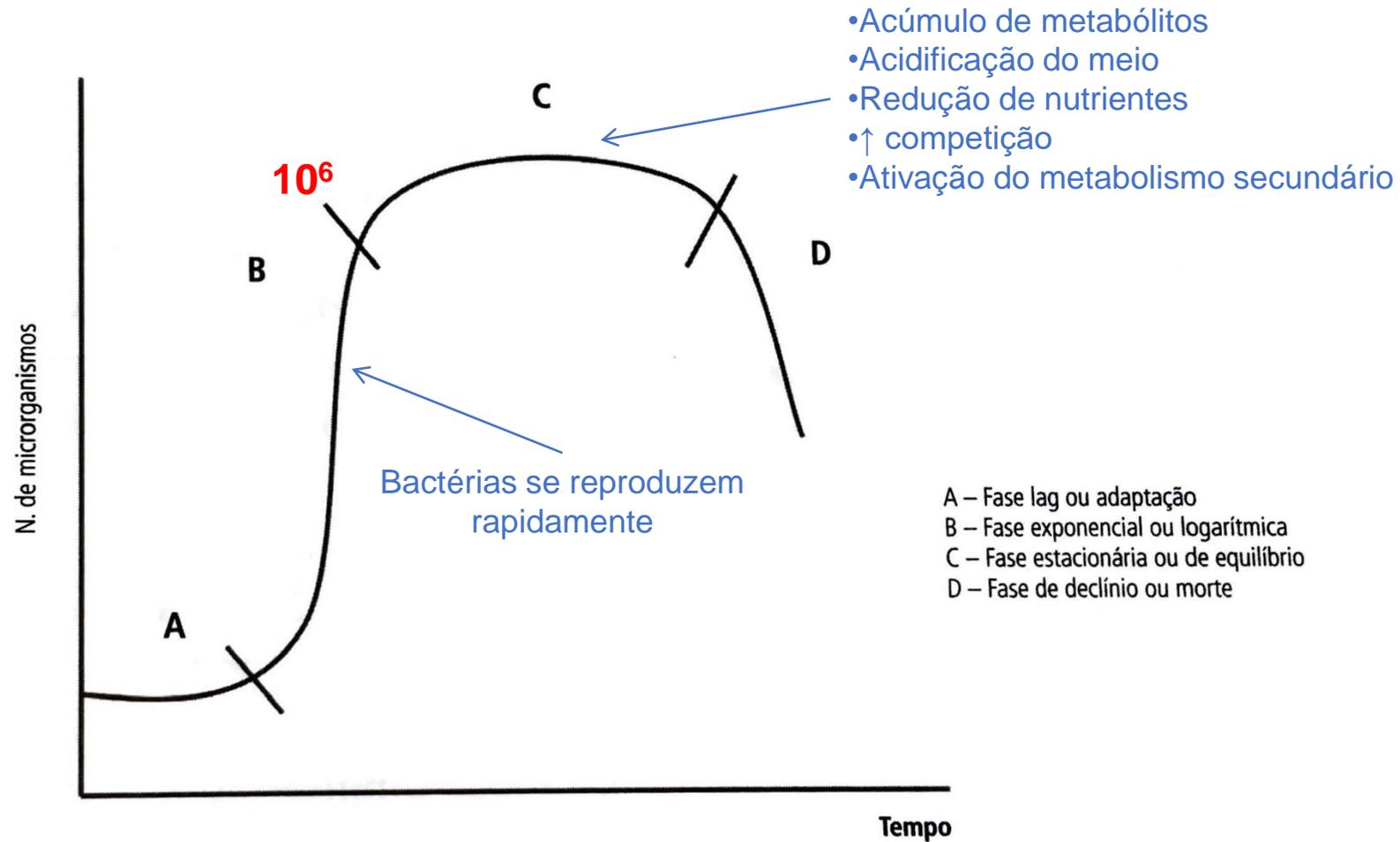
- Micelas de caseína: plasmina e lipase
- Soro do leite: maior ocorrência de catalase e superóxido dismutase
- Distribuição e atividade é afetada pelas condições de processamento e armazenamento
- Armazenamento refrigerado:
  - Lipase é transferida das micelas para os glóbulos de gordura, com lipólise do leite
  - Efeitos significativos no sabor do leite

# Leite e microbiologia

---

- Alta atividade de água
- pH próximo ao neutro (6,6 a 6,8)
- Eh positivo (+0,20 a +0,30 volts) = aeróbico
- Temperatura ambiente ou refrigerada
- Rico em nutrientes, especialmente carboidratos, proteínas e lipídeos
- Bom meio de crescimento de microrganismos, que participam em processos desejáveis e indesejáveis ao longo da cadeia do leite

# Crescimento microbiano



**Figura 2.6.** Curva normal de crescimento bacteriano.

Fonte: Pelczar et al., 1980.<sup>4</sup>

# Microbiologia do leite de vaca

---

- No leite fresco, com contaminação baixa, a microbiota predominante é constituída por bactérias ácido lácticas: *Lactobacillus* e *Lactococcus*
- Todavia, há microrganismos contaminantes...
  - Deteriorantes, que degradam nutrientes e levam à formação de sabor e aroma desagradáveis
  - Patogênicos, que causam doenças
- Bactérias ácido lácticas em grandes quantidades também afetam a qualidade do leite, com aumento da acidez e coagulação do leite
- Por isso, o leite cru deve ser imediatamente refrigerado após a ordenha higiênica (4 a 7 °C, excepcionalmente até 9 °C)

# Microrganismos no leite

---

- Maioria dos microrganismos presentes no leite pós-ordenha são mesófilos e psicotróficos, ou seja:
- Crescem melhor em temperaturas entre 25 e 40 °C, mas podem crescer sob refrigeração (2 a 8 °C)
- Também podem existir microrganismos termodúricos
- Ex. esporulados: bactérias do gênero *Bacillus* (ex.: *Bacillus cereus*, que é patogênico, e *Paenibacillus*, que são deteriorantes)
- Toxinas podem ser produzidas durante a esporulação
- Ex. não esporulados: alguns *Streptococcus* e *Microbacterium*
- São aeróbios estritos ou anaeróbios facultativos

# Microrganismos no leite

---

- Cada gênero presente:
  - Usa determinados nutrientes
  - Excreta substâncias resultantes da degradação desses nutrientes
  - Promove alterações na composição do leite
- Intensidade da ação depende:
  - Densidade da população microbiana
  - Efeito de um gênero sobre o outro (um pode favorecer ou prejudicar o crescimento dos demais, conforme produz metabólitos)
  - Há uma relação complexa de simbiose e competição entre os gêneros

# Pasteurização

---

- Pasteurização elimina bactérias Gram-negativas, como coliformes, salmonelas, shiguelas, yersínias e pseudomonas
- Muitas cepas são patogênicas
- Presença dessas bactérias = pasteurização ineficiente

- Quando a população total de microrganismos no leite atinge esse número:
- Danos às características organolépticas são perceptíveis
- Acidez (microrganismos sacarolíticos)
- Proteólise (microrganismos proteolíticos)
- Lipólise (microrganismos lipolíticos)
- Há risco aumentado de saúde ao consumidor
- Produção de toxinas (microrganismos patogênicos)

# Instrução Normativa nº 76/2018 MAPA

---

- Estabelece limites para a contagem padrão em placas, em UFC/mL para o leite cru refrigerado
- Estabelece também a contagem máxima de células somáticas
- Células somáticas indicam problemas de saúde das vacas, como a mastite
- Ex. de células somáticas: leucócitos do úbere da vaca

# Crescimento microbiano

---

- Degradação comumente ocorre fora da célula microbiana, especialmente para proteínas e gorduras
- Bactérias liberam enzimas no meio para degradar as moléculas
- Processo gera compostos intermediários, que podem ser usados por outras bactérias, como:
  - Peptídeos produzidos a partir de proteínas
  - Glicose a partir da lactose
- **Por outro lado**, alguns produtos, como ácido lático e radicais livres da degradação podem inibir o crescimento bacteriano
- Alguns microrganismos produzem deliberadamente substâncias letais a outros microrganismos, com vantagem competitiva pelos nutrientes

# Microrganismos sacarolíticos

---

- Possuem predominantemente rotas metabólicas para a degradação de carboidratos
- No leite, a lactose é o único açúcar
- Microrganismos com a enzima galactosidase (lactase) têm mais chances de sobrevivência
- Ácido láctico: principal metabólito produzido, causando acidificação do leite, que é um problema de qualidade do leite cru
- Grupo coliformes: todos os seus gêneros degradam a lactose produzindo ácido e gás, incluindo *E. coli* e *Enterobacter*
- Enzimas dos coliformes são naturalmente ativadas na presença de lactose

# Microrganismos proteolíticos

---

- Possuem vias metabólicas predominantes para degradação de proteínas por meio de proteases
- Caseínas e proteínas do soro do leite podem ser degradadas
- Maioria das enzimas proteolíticas têm melhor atividade em temperaturas mais baixas (refrigeração)
- Maioria das enzimas proteolíticas são termoestáveis e resistem à pasteurização e ao processamento UHT
- Continuam as suas atividades mesmo após o leite ser beneficiado e embalado
- Degradação proteica gera peptídeos e peptonas, com sabor amargo e cheiro pútrido

# Como evitar os mesófilos e psicrotróficos?

---

- Uma vez liberadas no leite, não há como eliminar as proteases e lipases produzidas por psicrotróficos
- Solução:
- Implementar procedimentos que evitam o contato dos microrganismos psicrotróficos com o leite da ordenha ao beneficiamento
- Higiene em toda a cadeia do leite, principalmente na ordenha!!!
- Também: diminuir o tempo de trânsito do leite cru refrigerado

# Tratamentos térmicos do leite

---

- Pasteurização
- Esterilização comercial

# Pasteurização do leite: objetivos

---

- Destruir/reduzir o número de células vegetativas de microrganismos patogênicos ou deteriorantes
  - Fungos, bolores, leveduras, maioria das bactérias
- Inativar enzimas presentes no leite cru
- Aumentar a vida útil do leite
  - No Brasil: 3 a 8 dias sob refrigeração
- Preservar as suas características sensoriais e valor nutritivo
- Microrganismo alvo: *Coxiella burnetii*
  - Agente etiológico da febre Q
  - Sobrevive a 61,7 °C por 30 min

# Pasteurização lenta (LTLT)

---

- 63-65 °C por 30 min
- Leite mantido sob agitação mecânica, lenta, em tanque pasteurizador
- Dispositivos de controle automático de temperatura, registradores de temperatura, termômetros e outros para garantir o controle técnico e sanitário
- Operação descontínua
- Eficiência na redução de microrganismos: 95%
- Consumo de energia: alto
- Aplicação: viável para pequenos laticínios

# Pasteurização rápida (HTST)

---

- 72-75 °C por 15-20 s
- Em trocadores de calor tubulares ou de placas
- Com válvula para o desvio de fluxo do leite com acionamento automático e alarme sonoro
- Operação contínua
- Eficiência na redução de microrganismos: 99,5%
- Consumo de energia: baixo
- Aplicação: indústrias de grande porte

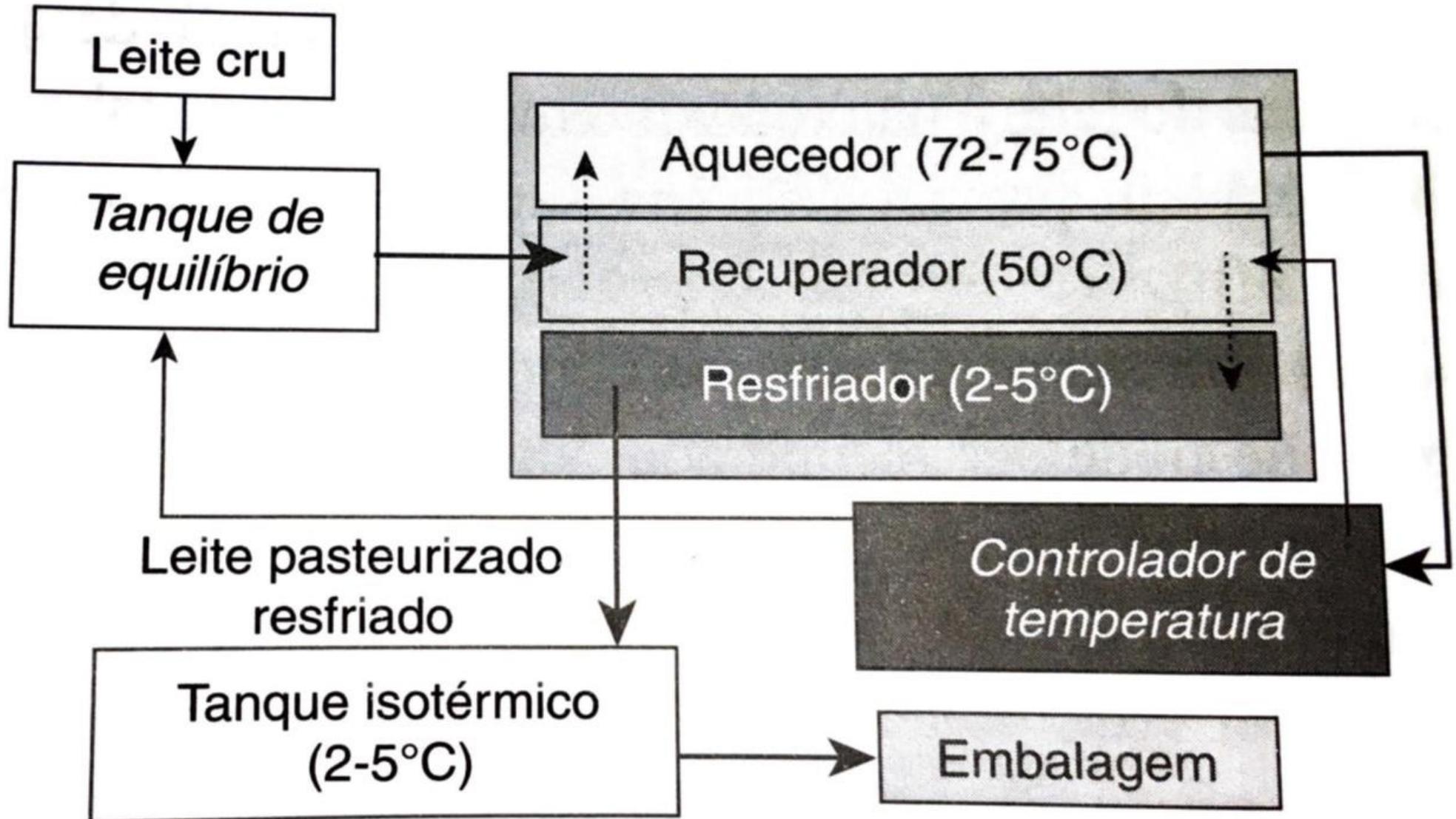
# Pasteurização: eficácia

---

Depende da carga microbiana inicial no leite cru

- Contagem inicial no leite cru:  $1 \times 10^3$  UFC/mL
- Sobrevivem  $0,5 \times 10^1$  UFC/mL
  
- Contagem inicial no leite cru:  $1 \times 10^6$  UFC/mL
- Sobrevivem  $5 \times 10^3$  UFC/mL
  
- Portanto:
  - Leite cru de má qualidade = leite pasteurizado de má qualidade
  - Pasteurização NÃO reverte a má qualidade do leite cru utilizado

# Processo de pasteurização



# Leite pasteurizado

---

- Refrigerado imediatamente após a pasteurização a até 4 °C
- Envasado automaticamente em circuito fechado no menor prazo possível
- Embalagens de vidro ou plástico
- Expedido ao consumo ou armazenado em câmara frigorífica a até 4 °C
- Proibida a repasteurização do leite para consumo humano direto
- Pasteurização reduz 5 a 8 ciclos de reduções decimais de *Campylobacter* e de *Salmonella*
- Esporos de bacilos e clostrídios, como *B. cereus*, se presentes, sobrevivem (resistem a 80 °C por 10 min)
- > 90 °C = alterações sensoriais importantes, com sabor de “cozido”

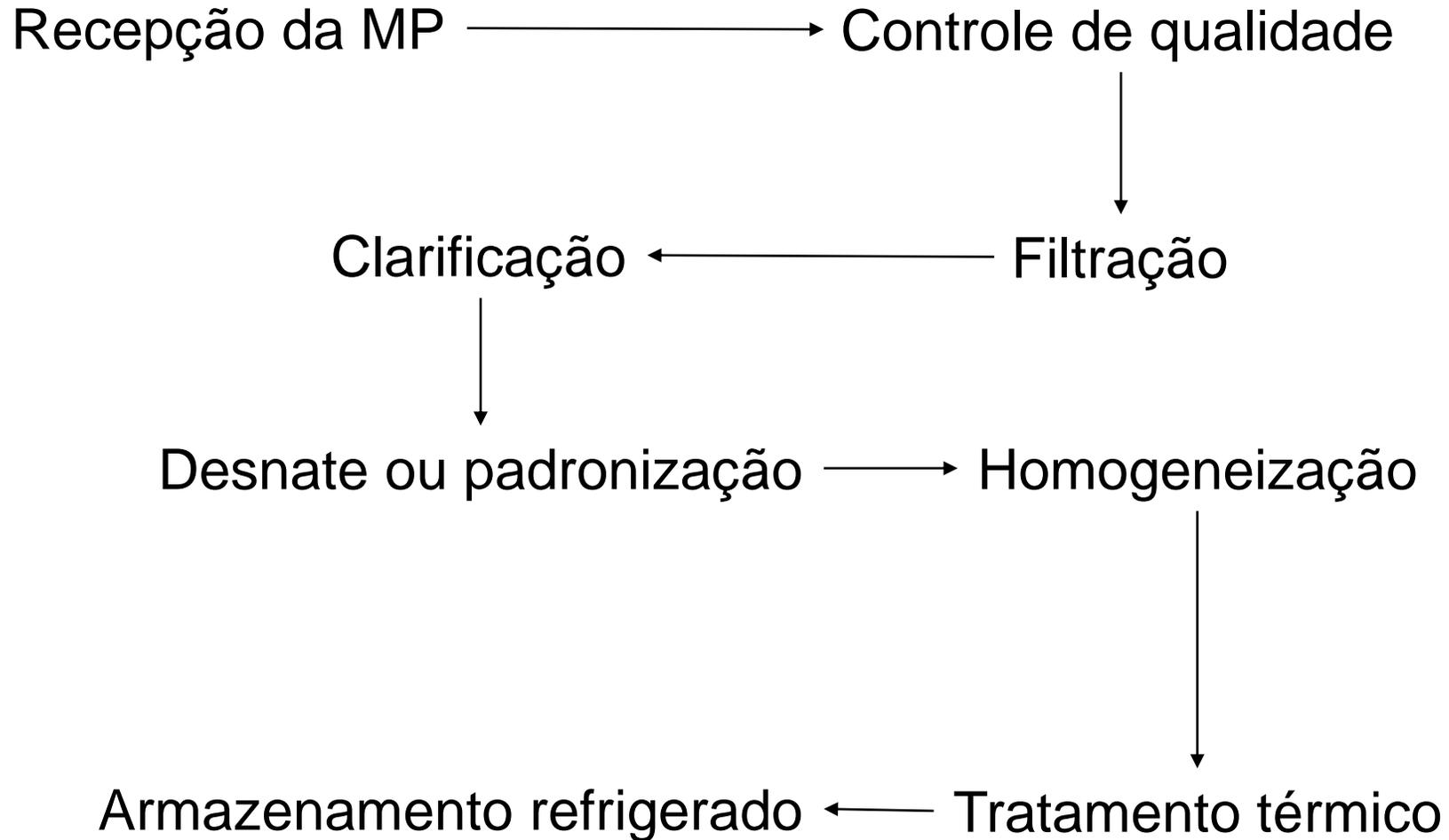
# Tempo e temperatura de estocagem

---

Menor a temperatura de estocagem = Maior a qualidade do leite

# Pré-processamento do leite

---



# Filtração

---

- Leite passa por um filtro com poros entre 25 e 100  $\mu\text{m}$
- Filtro retém maior parte das impurezas que vêm com o leite cru
- Preferível no leite morno (40-45 °C): ocorre em tempo menor
  - Entre recuperador (leite cru) e aquecedor do pasteurizador
- No leite frio: ocorre no tanque de recepção

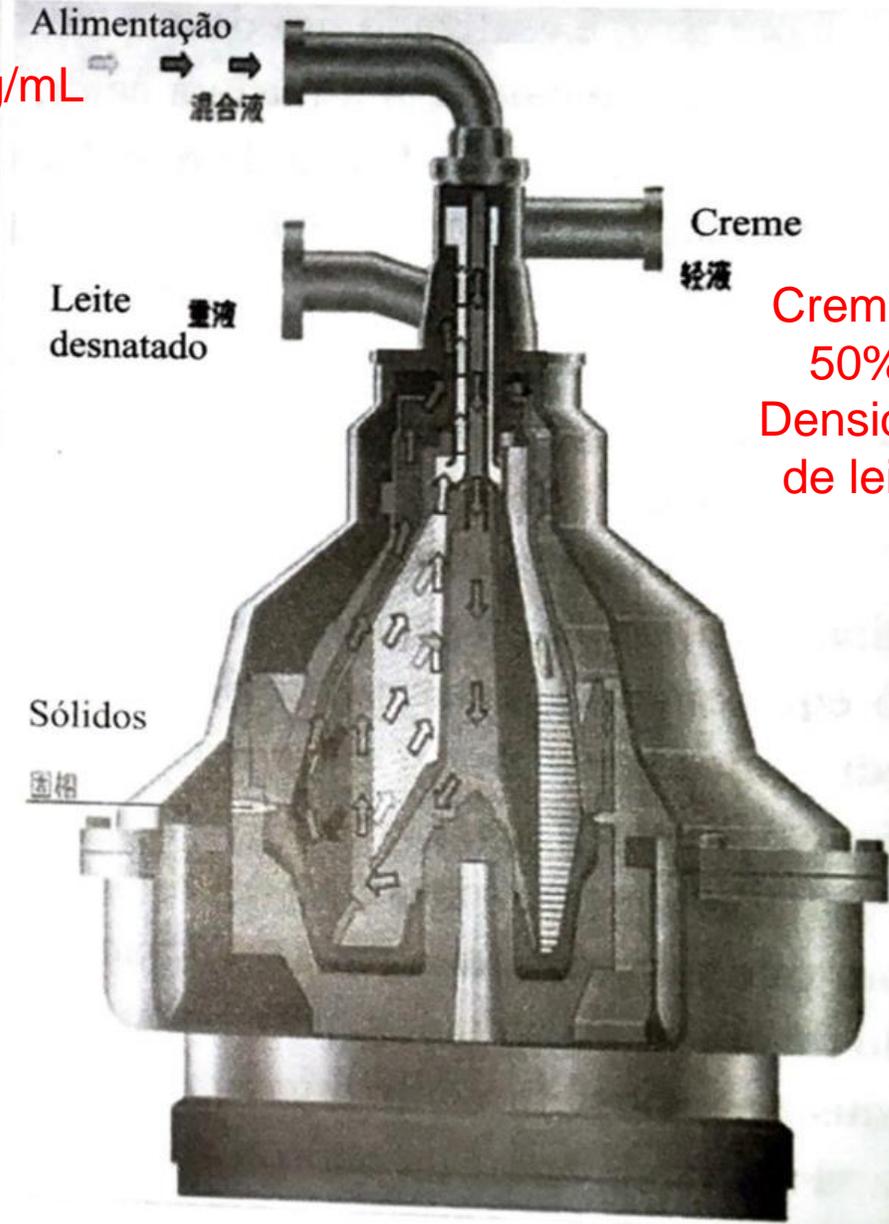
# Padronização

---

- Geralmente baseada no teor de gordura
- Leite padronizado integral tem 3% de gordura
- Leites semidesnatados (valor fixo entre 0,6 e 2,9%)
  
- Por centrifugação = separação do creme de leite e do leite desnatado

# Padronização em centrífuga padronizadora (desnata e padroniza)

Leite entra a cerca de 45 °C  
Densidade do leite integral: 1,028 a 1,034 g/mL



Crema de leite com  
50% de gordura  
Densidade do crema  
de leite: 0,93 g/mL

Também pode ser realizada por adição de crema de leite  
ao leite desnatado

Importante: conhecer o teor de gordura no crema de leite  
e no leite

# Execução da padronização por adição

---

- Por fórmula:
- $CV_f = CV_c \text{ (relativo ao creme de leite)} + CV_l \text{ (relativo ao leite)}$
- $CV_f$ : concentração x volume final da mistura
- $CV_c$ : concentração x volume do primeiro componente
- $CV_l$ : concentração x volume do segundo componente

\*Dividir os valores percentuais por 100 antes de calcular

# Prática por fórmula

---

- Dados:
- Volume final da mistura: 2.000 L
- Concentração final de gordura desejada na mistura: 3,2%
- Concentração de gordura do creme de leite: 50%
- Concentração de gordura do leite desnatado: 0,5%
  
- Pergunta: Quanto adicionar de creme de leite?

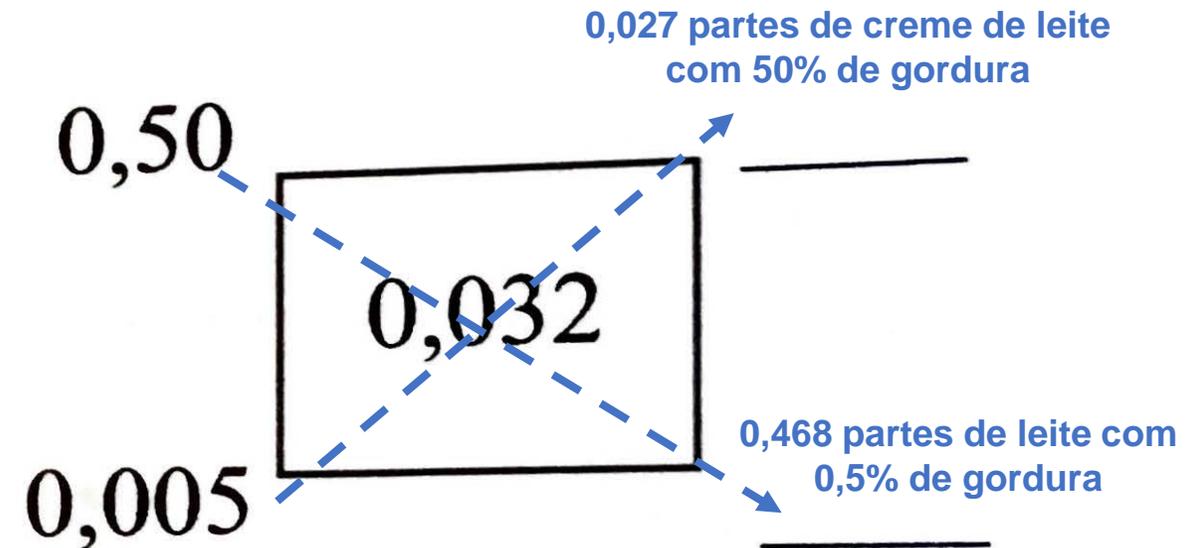
# Execução da padronização por adição

Por Quadrado de Pearson:

Relativo ao creme de leite

Relativo ao leite

0,495 partes na mistura (0,027 partes de creme de leite com 50% de gordura + 0,468 partes de leite com 0,5% de gordura)



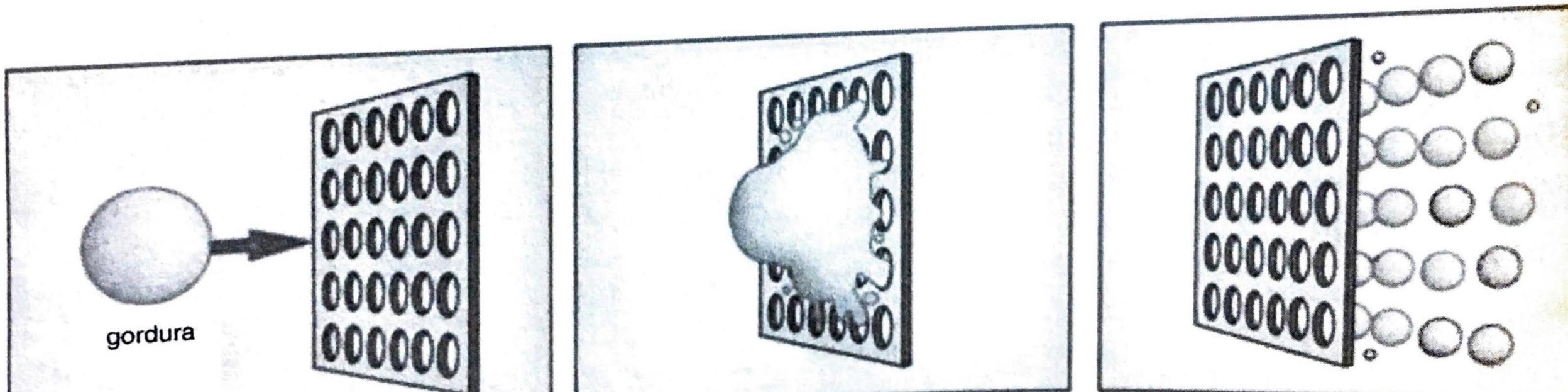
Faz-se a subtração em diagonal, ignorando os valores negativos

# Clarificação

---

- Ocorre na mesma centrífuga de padronização/desnate
- Remove os sólidos mais densos:
  - Sujeira
  - Células somáticas, etc.

# Homogeneização

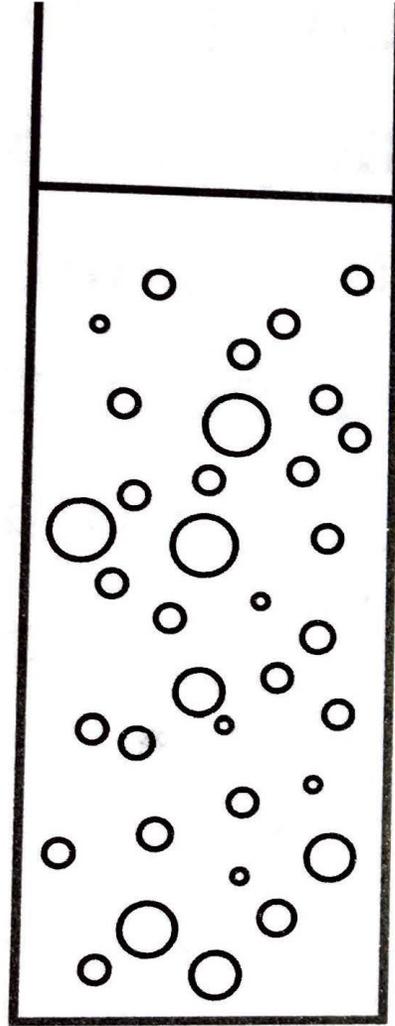


Diâmetro dos glóbulos de gordura

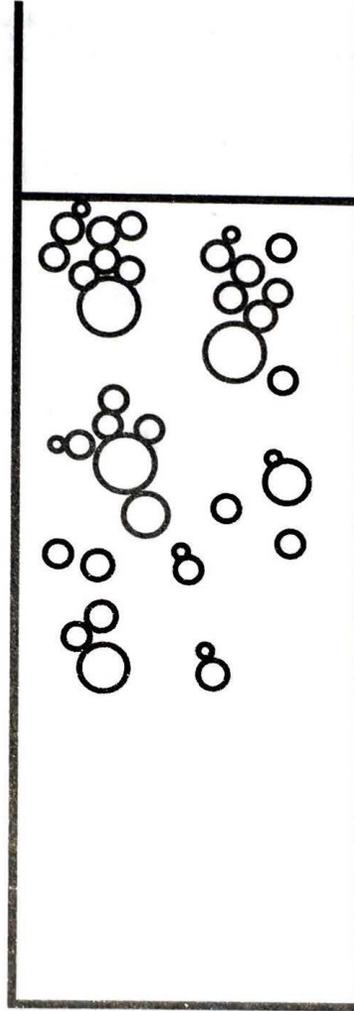
**Antes:** 2 a 6  $\mu\text{m}$ , alguns com até 10  $\mu\text{m}$ , poucos com  $< 0,1 \mu\text{m}$

**Depois:** 0,8 a 3  $\mu\text{m}$ , média de 2  $\mu\text{m}$

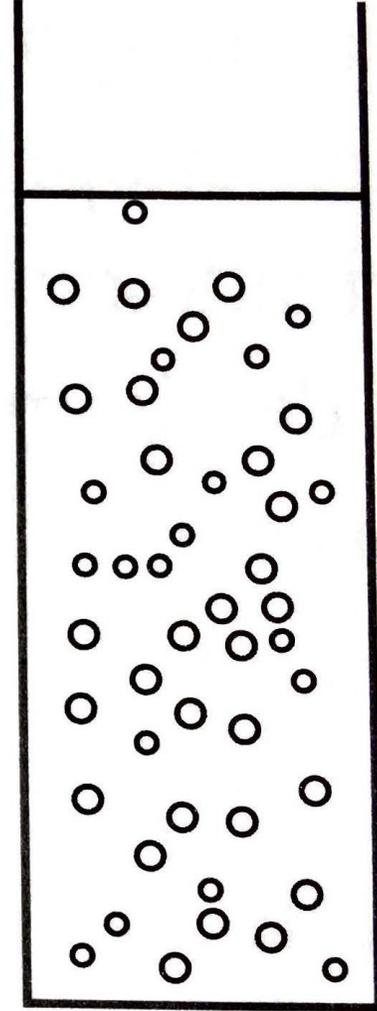
# Homogeneização



Leite cru



Leite cru resfriado  
por uma hora



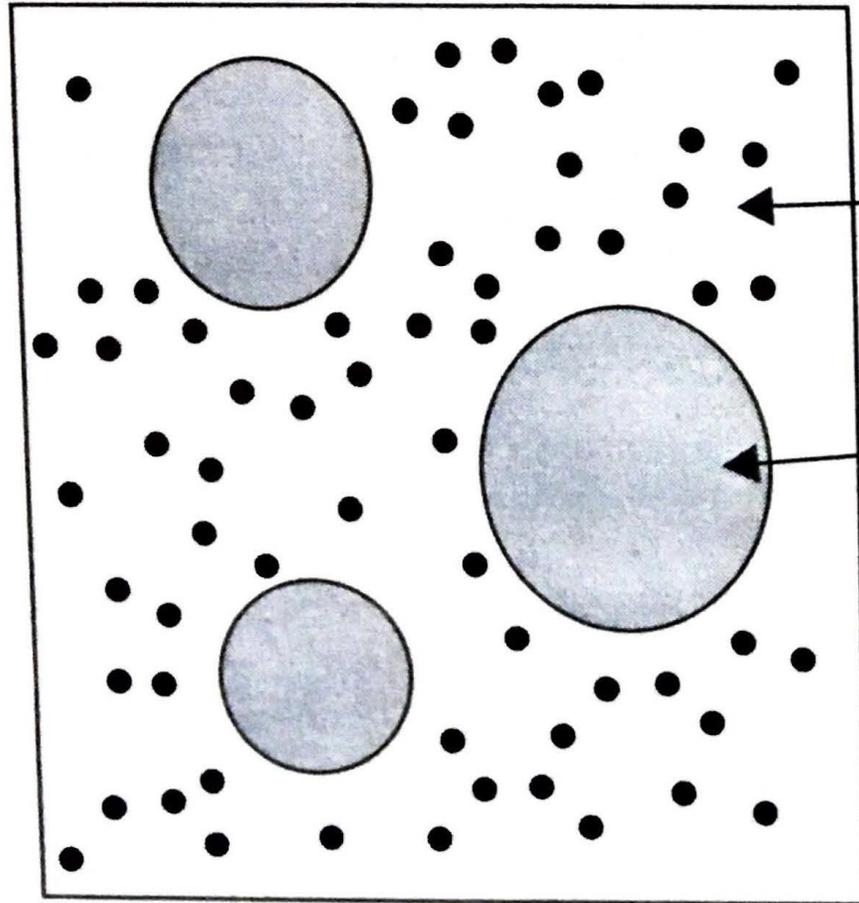
Leite homogeneizado  
armazenado

# Homogeneização

---

- Evita a cremação do leite, quando boa parte da gordura se separa
- Evita a coalescência, que é a fusão de gotas de óleo, difícil de separar depois
- Comum para leites pasteurizados e UHT
- Afetado por:
  - Teor de gordura no leite
  - Estado físico da gordura do leite (ideal temperaturas acima do ponto de fusão da gordura do leite: 33 °C)
  - Pressão
- Lipase deve ser inativada imediatamente depois ou antes = > 55 °C

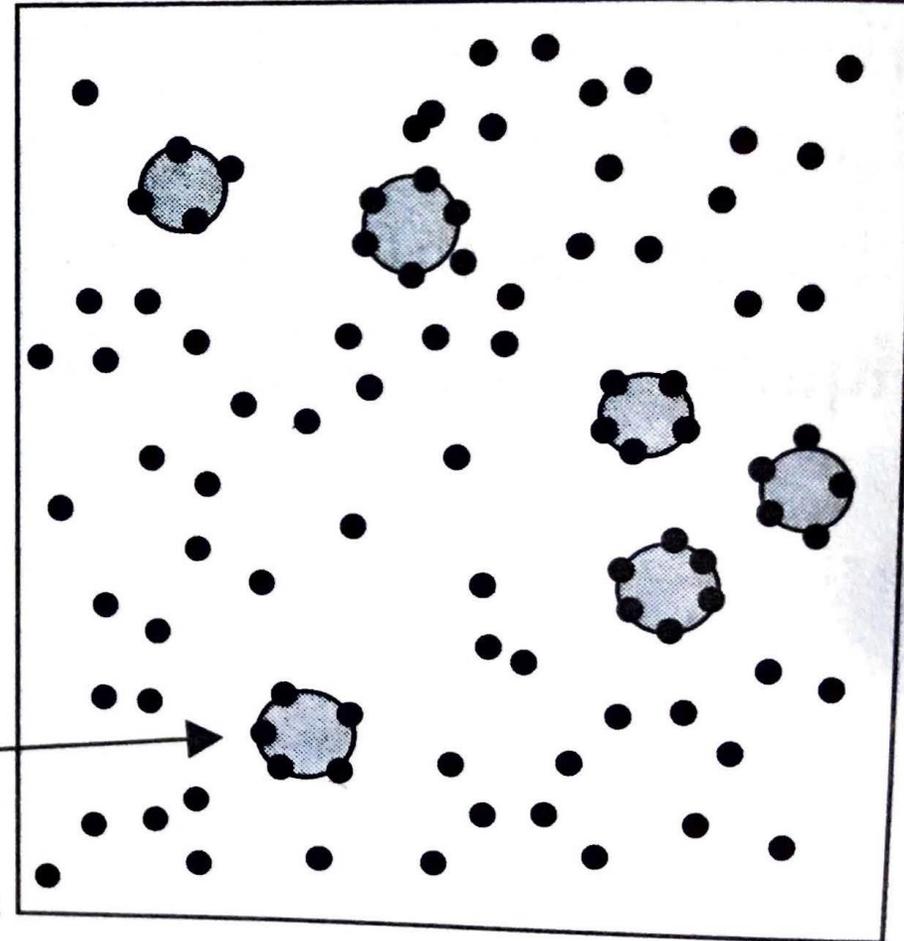
# Homogeneização



Antes da homogeneização

Micelas de caseína

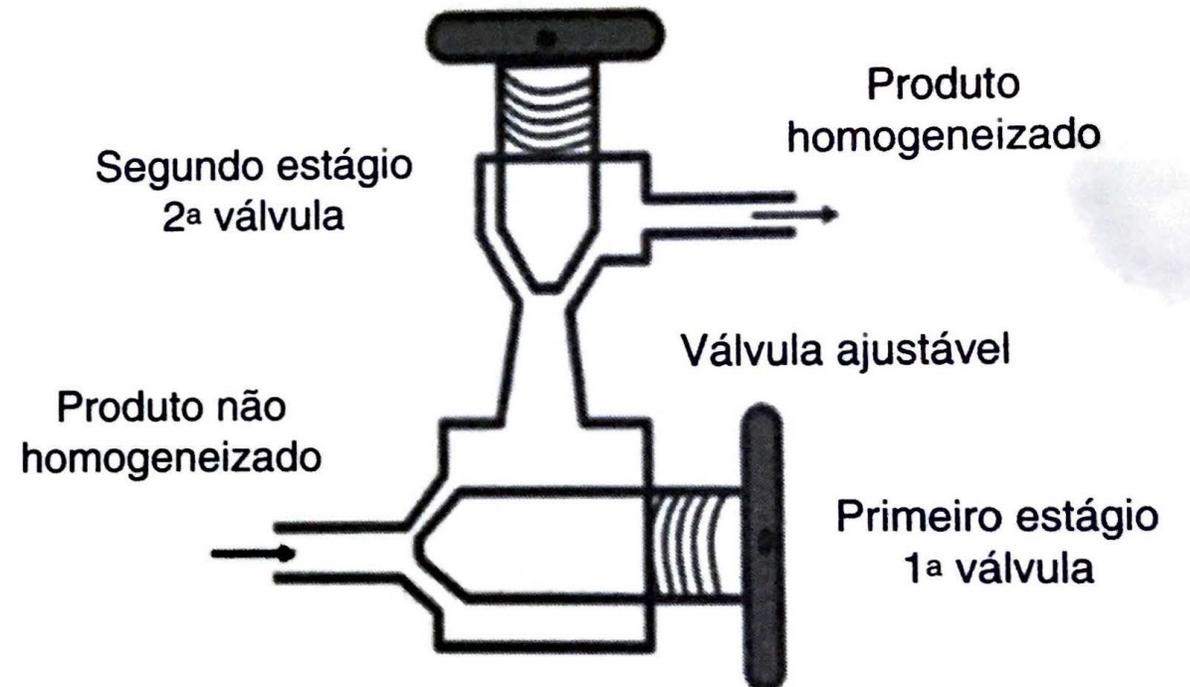
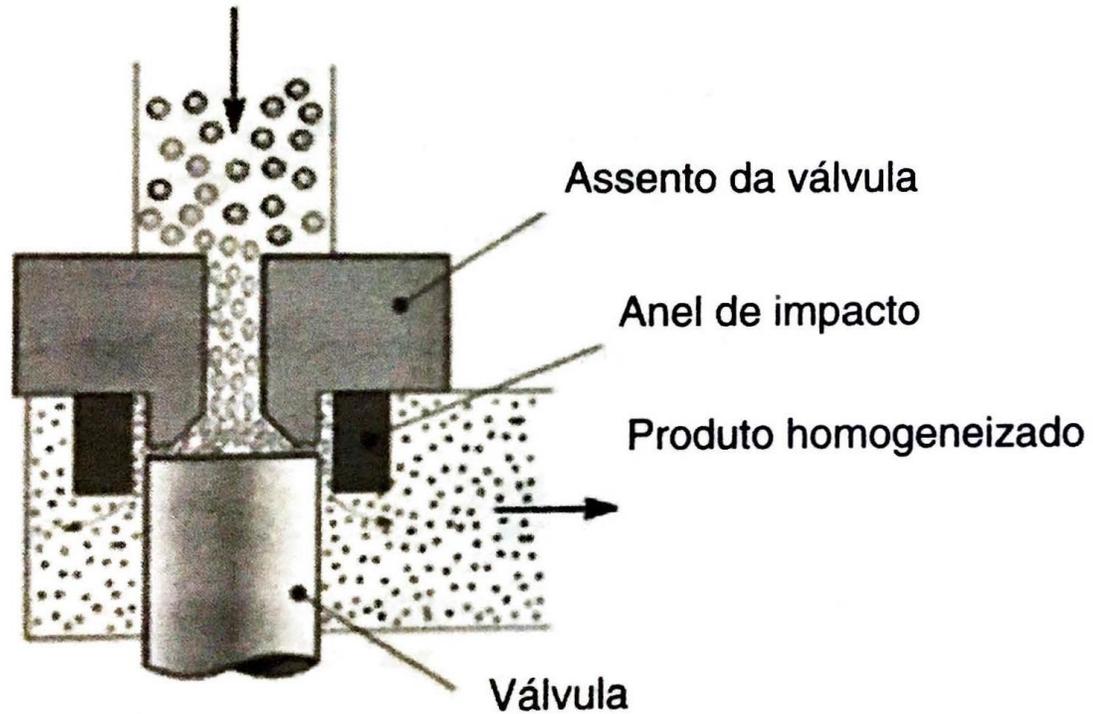
Glóbulos de  
gordura



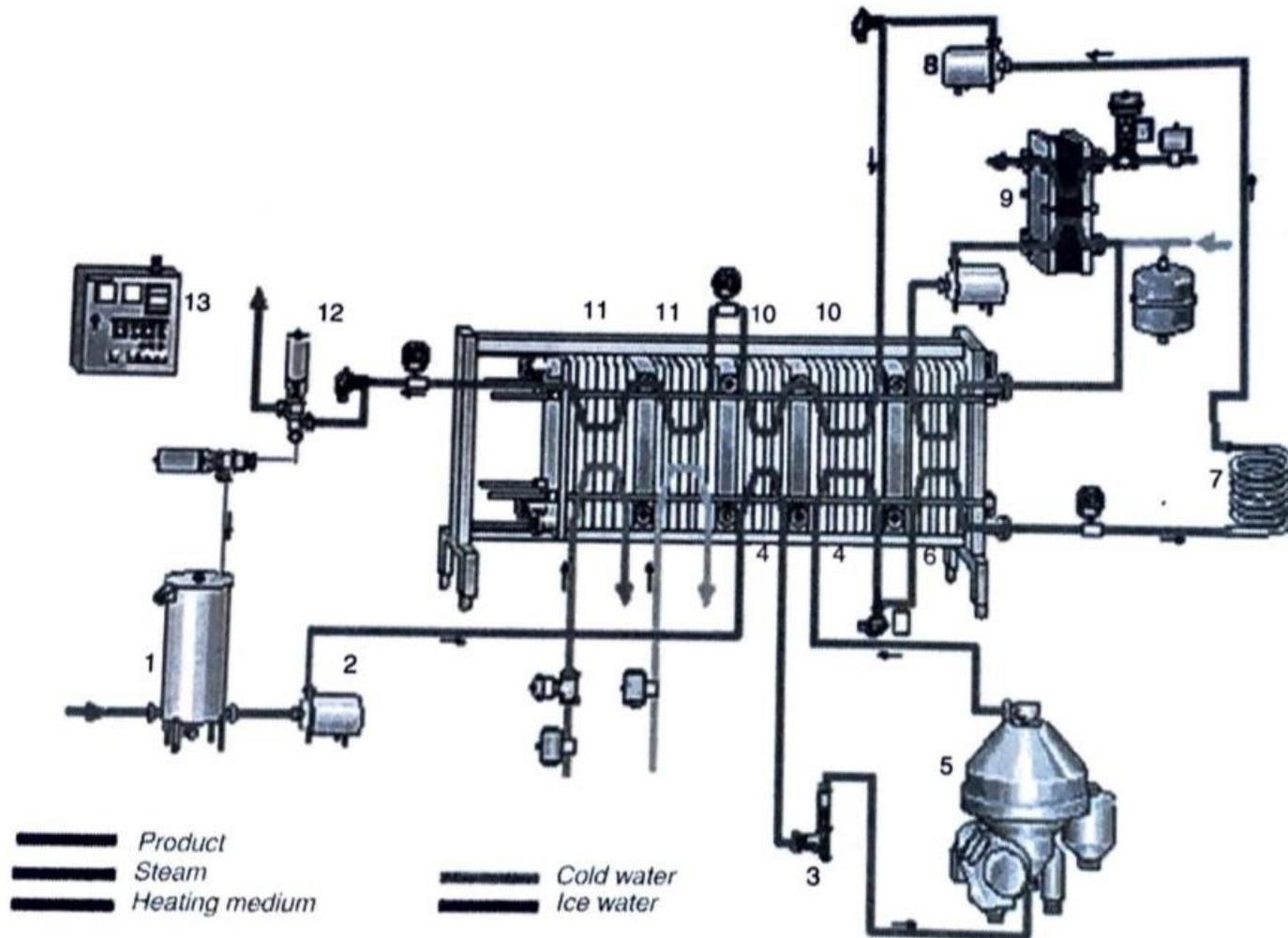
Gordura –  
Agregados de  
micelas de caseína

Depois da homogeneização

# Homogeneizador a pressão



# Unidade de pasteurização



- 1-Tanque de equilíbrio
- 2-Bomba centrífuga (leite cru)
- 3-Válvula de controle de fluxo
- 4-Recuperador (entrada de leite cru)
- 5-Desnatadeira/Clarificadora
- 6-Aquecedor
- 7-Tubo de retenção (*holder*)
- 8-Bomba centrífuga (leite pasteurizado)
- 9-Aquecedor a placas (fonte calor)
- 10-Recuperador (entrada de leite quente)
- 11-Resfriador
- 12-Válvula de desvio
- 13-Controlador

# Como estender a vida útil do leite pasteurizado?

---

- Possível estender a vida útil do leite pasteurizado de 3-8 dias para até 21 dias
- **Processo de membranas (microfiltração)**
  - Remove mecanicamente células bacterianas e esporos do leite (99,5%)
  - Após desnate, o leite passa por membranas de cerâmica com poros de 0,8 a 1,4  $\mu\text{m}$ , e depois é padronizado, pasteurizado, resfriado e envasado
- **Bactofugação**
  - Dois separadores de remoção de bactérias ligados em série, antes do separador para desnate
  - Esporos têm maior densidade específica que o leite e o creme
  - Removidos mecanicamente do leite cru usando força centrífuga

# Leite UHT

---

- Leite homogeneizado submetido, durante 2 a 4 s, a 130-150°C, mediante um processo térmico de fluxo contínuo
- Imediatamente resfriado a  $< 32^{\circ}\text{C}$  e envasado sob condições assépticas em embalagens estéreis e hermeticamente fechadas

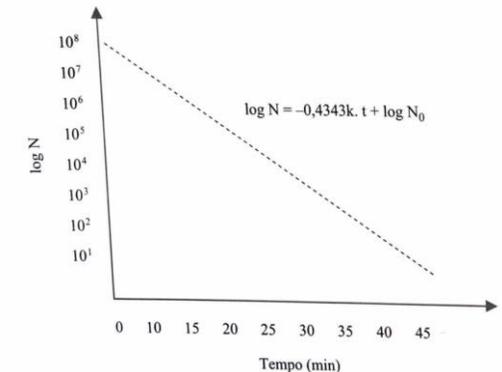
# Esterilidade comercial

---

- Conceito estabelecido pelo *Codex Alimentarius*
- Para alimentos com baixa acidez ( $\text{pH} > 4,5$ ) comercializados em embalagens assépticas ou enlatados, estocados e armazenados em temperatura ambiente
- NÃO há destruição de todos os microrganismos
- PORÉM: NÃO deve haver multiplicação de deteriorantes ou presença de patógenos
- Microrganismos alvo: esporos de *Bacillus subtilis* ou de *Bacillus stearothermophilus*
- Baseia-se na redução de:
  - 10-12D de esporos de *Bacillus subtilis*
  - 8D de esporos de *Bacillus stearothermophilus*

# Valor D

- Tempo necessário para reduzir um ciclo logarítmico (90%) da população microbiana inicial
- Reflete a resistência térmica de um microrganismo ao tratamento térmico
- Determinado para cada microrganismo, para cada alimento, para cada temperatura
- Representa a probabilidade de contaminação
- Nas condições do processamento UHT: cinética de inativação dos microrganismos é de primeira ordem

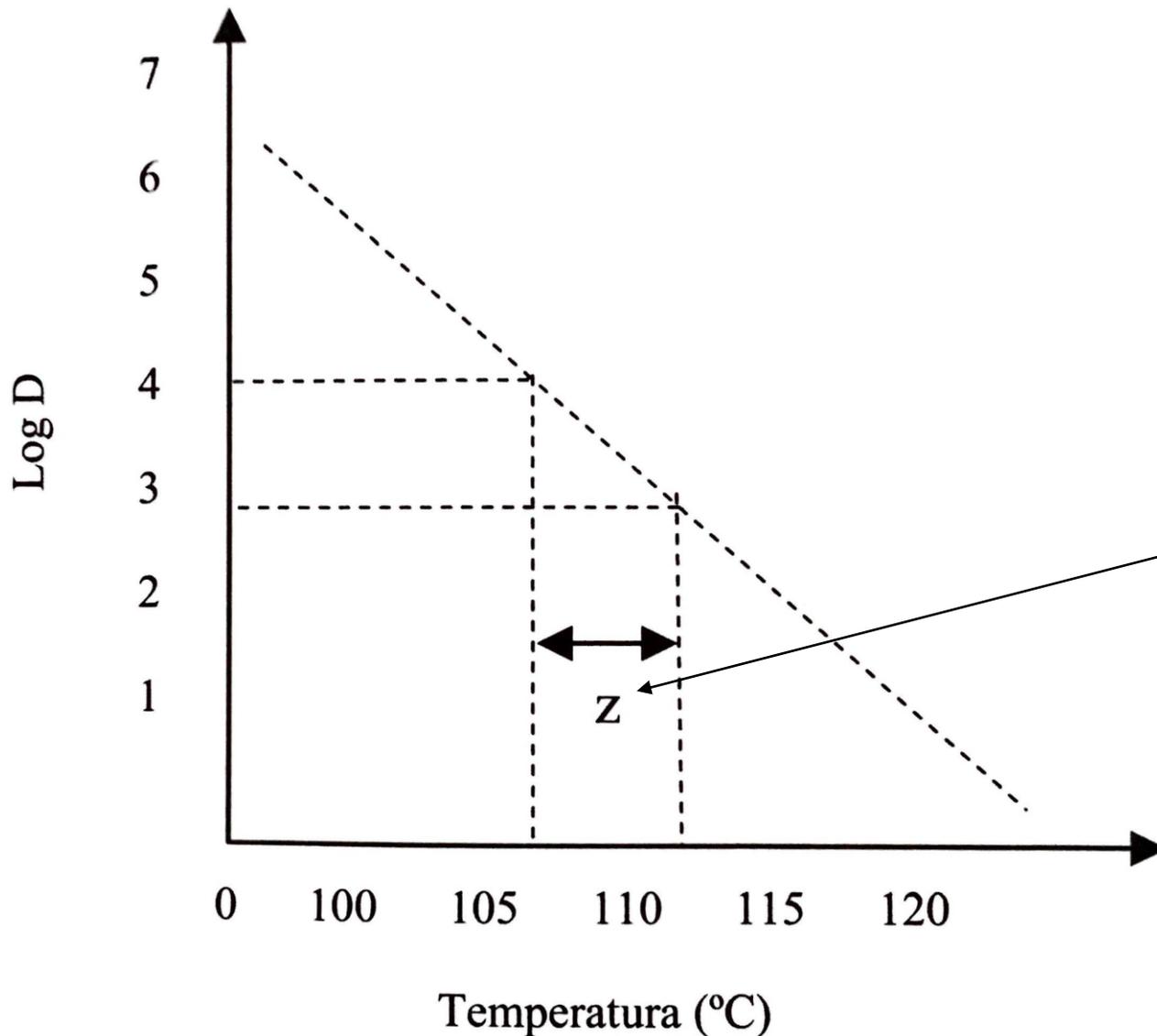


# Exemplo

---

- Supondo: cada litro de leite tem 1 esporo de *Bacillus subtilis*
- Objetivo: reduzir 10D
- Concentração final:  $10^{-10}$
- Significado: 1 litro (1 embalagem) contaminada para cada 10.000.000.000 produzidos(as)

# Curva de destruição térmica



**Valor z:** incremento de temperatura para que a curva de destruição térmica atravesse um ciclo logarítmico

Ou seja, demonstra a resistência térmica de um microrganismo em diferentes temperaturas

Quanto precisa aumentar a temperatura para diminuir o tempo de exposição ao calor?

## Valor F (tempo)

---

- Considerando que a destruição de microrganismos ocorre também antes (aquecimento) e depois (resfriamento) do período de retenção, ou seja, quando se atinge a temperatura do tratamento térmico:

$$F = \sum (TL \times \Delta t)$$

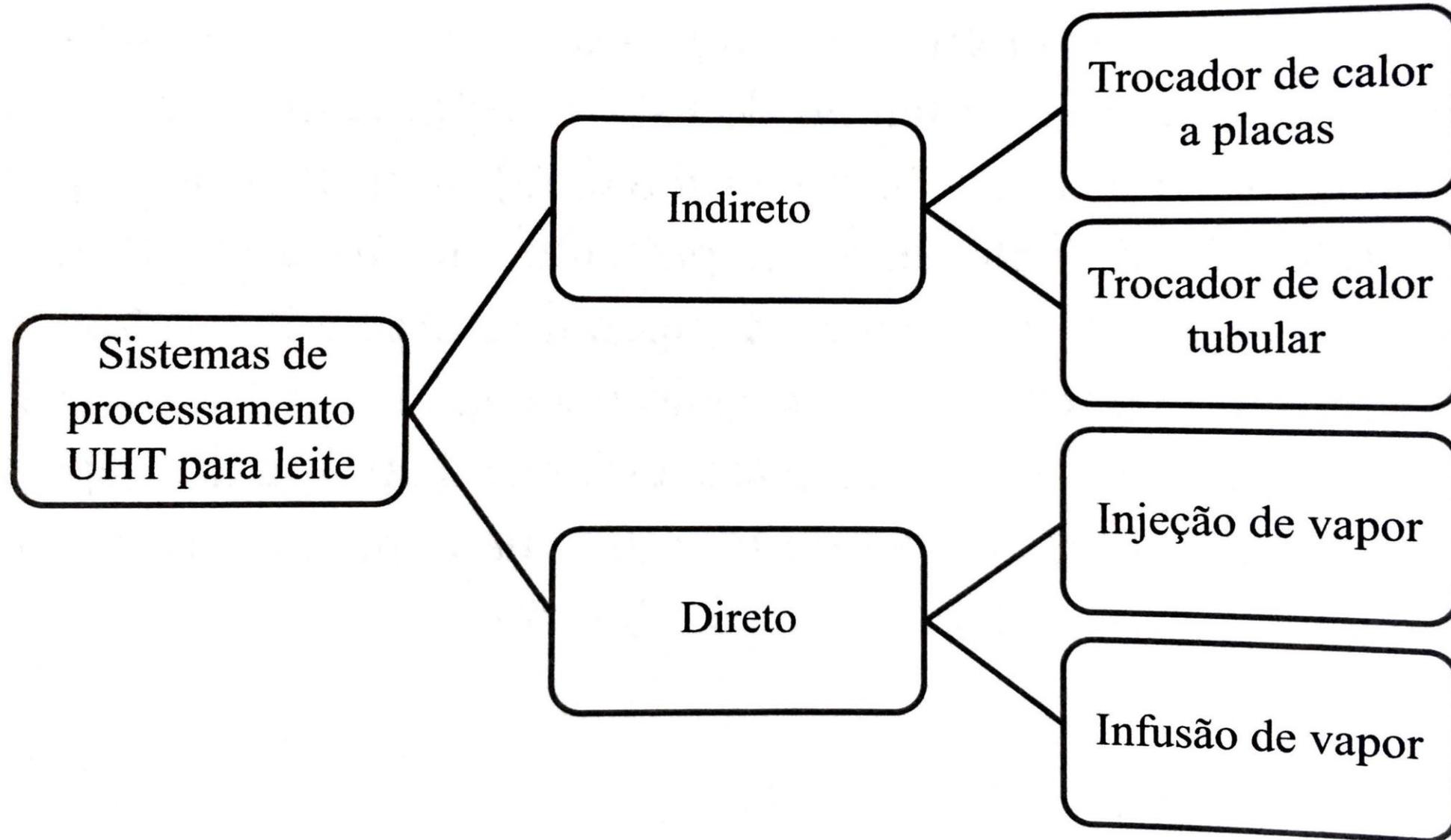
- **TL**: taxa letal em cada temperatura do processo térmico
- **$\Delta t$** : intervalo em cada temperatura (min) do processo (aquecimento + retenção + resfriamento)

# Exemplificando

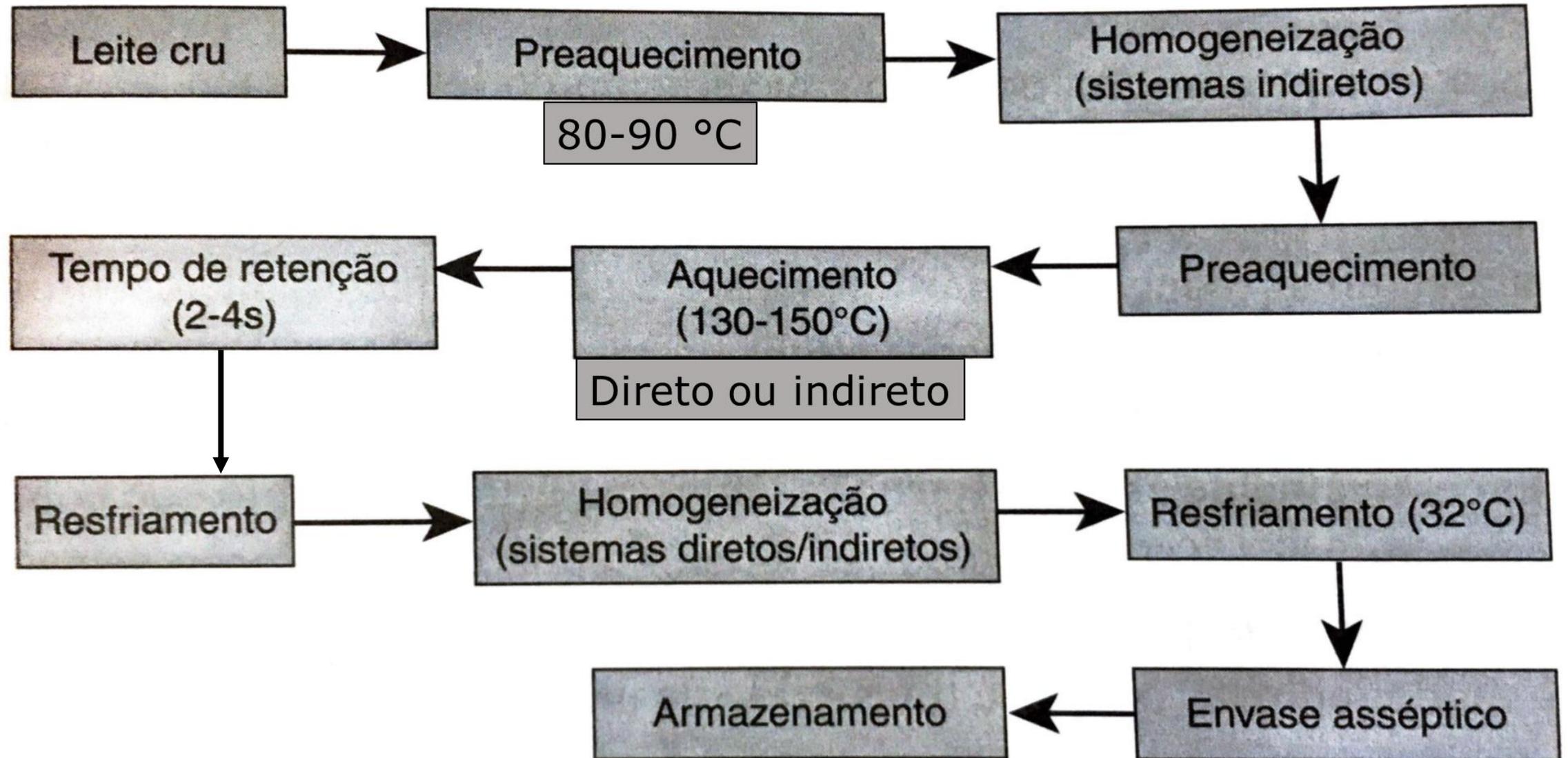
---

- Um processamento UHT deve reduzir 10D do *Bacillus subtilis*
- Valor  $D_{130^{\circ}\text{C}} = 0,4 \text{ s}$
- Valor  $F = 4 \text{ s}$
- O leite não precisa ficar 4 s na temperatura de retenção ( $130^{\circ}\text{C}$ )
- Mas a soma das 3 etapas deve ser igual a 4 s

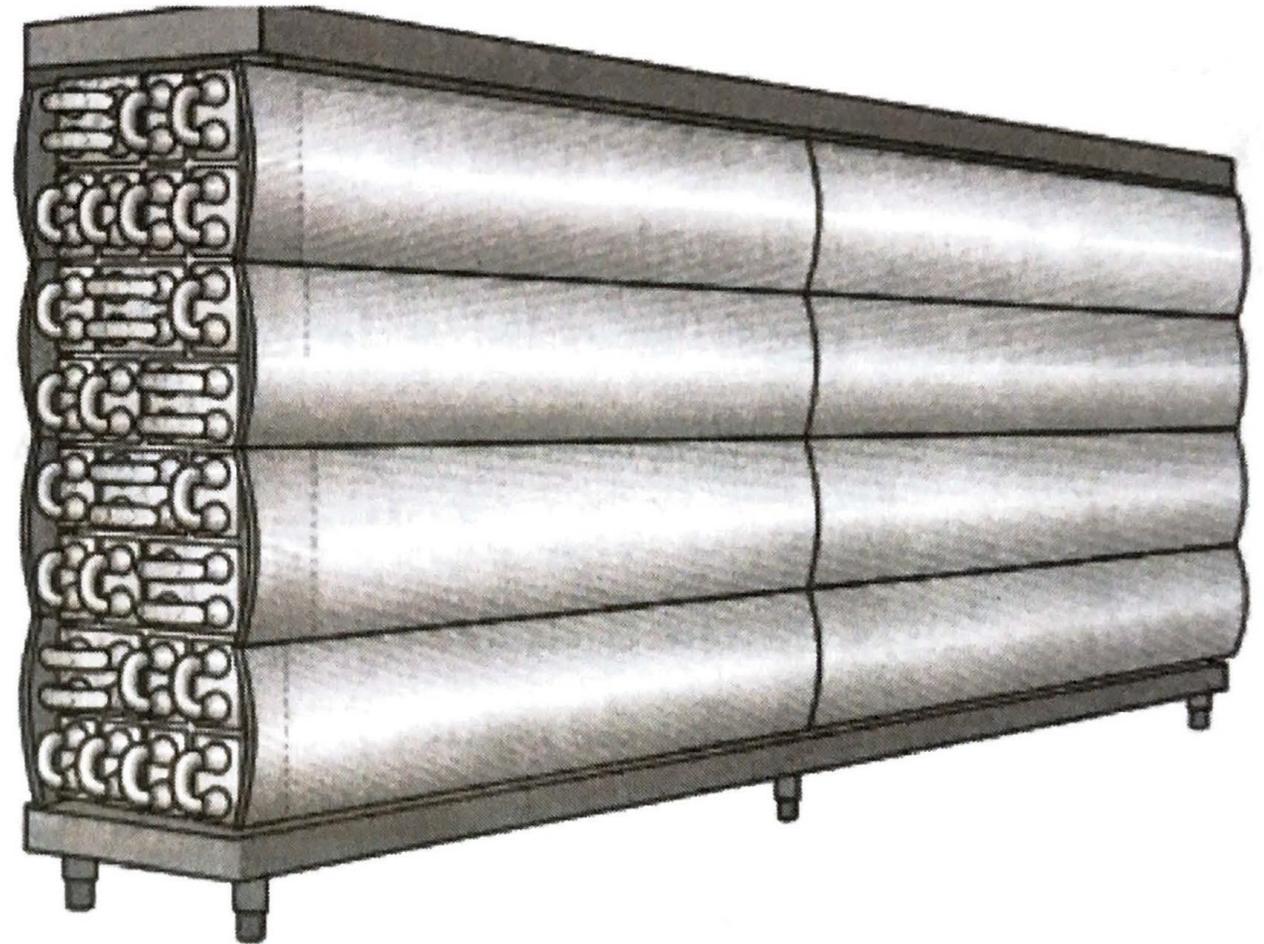
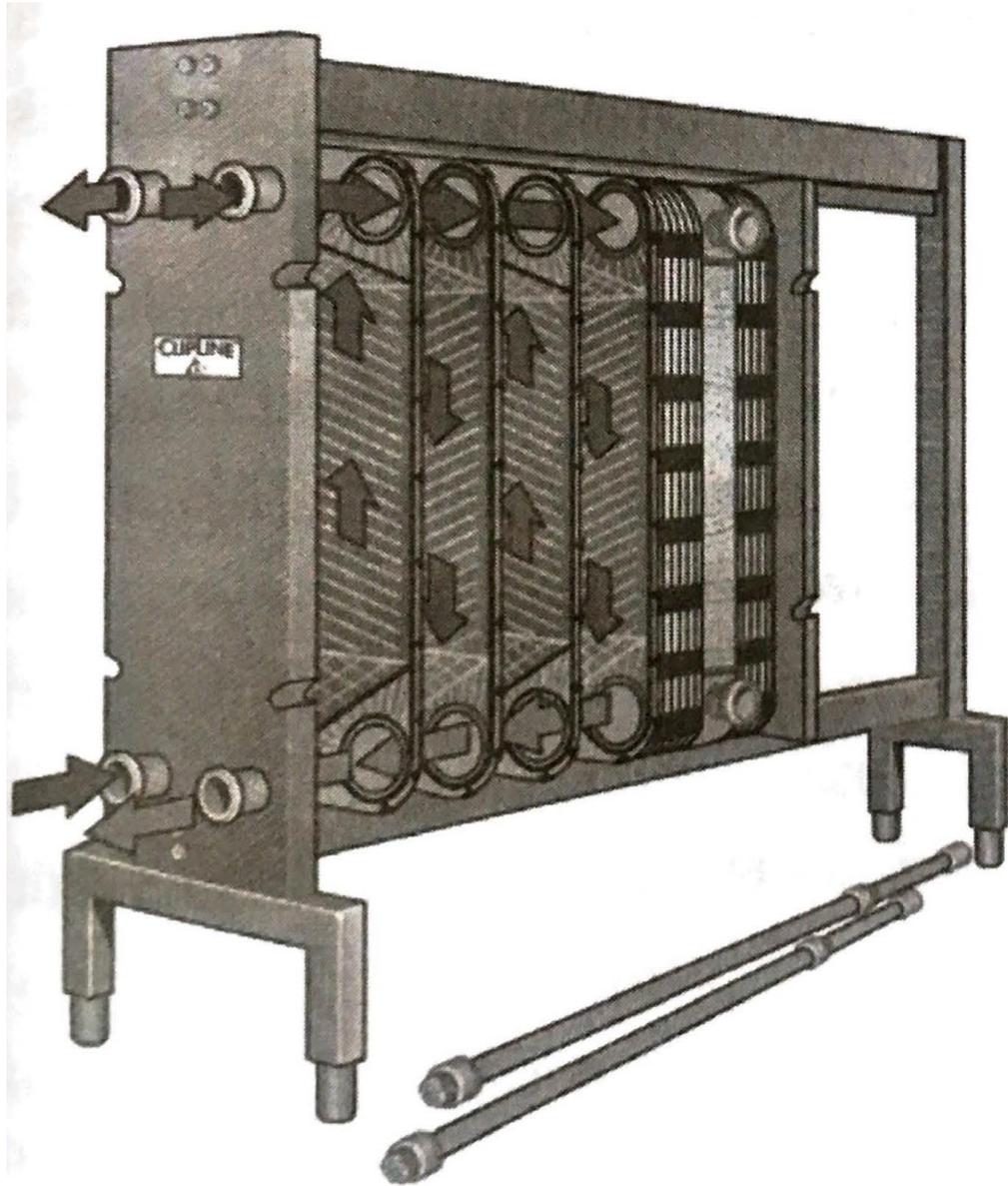
# Sistemas de processamento UHT para leite



# Operação de esterilização comercial



# Trocador de calor a placas (esquerda) e tubular (direita)



# Estabilidade térmica do leite

---

- Tempo necessário para gerar coagulação a determinada temperatura e pH (tratamento térmico pode causar a coagulação das proteínas do leite)
- Quanto mais demora, melhor a sua qualidade
- O leite é apto para o processamento?
  
- Analisada pelo **teste do álcool**
- Leite é misturado a volume igual de álcool e proteínas instáveis floculam
- Leites instáveis ao álcool: ácidos devido à alta população microbiana acidificante

# Vida útil do leite UHT

---

- Limitada por aspectos sensoriais e não microbiológicos
- Pode haver durante o armazenamento:
- Sedimentação ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  torna-se menos solúvel e dissocia-se em  $\text{HPO}_4^{2-}$ , que tem mais afinidade com o  $\text{Ca}^{2+}$  e forma fosfato de cálcio, supersaturando a fase aquosa e precipitando o fosfato de cálcio)
- Coagulação leve, devido à ligação da  $\beta$ -lactoglobulina à caseína
- Formação de sabores indesejáveis
- Cozido, aquecido = diacetil e outros produtos da reação de Maillard
- Sabor de ranço, oxidado = ação de enzimas lipolíticas termorresistentes
- Sabor amargo = ação de enzimas proteolíticas termorresistentes

# Leites fermentados

---

- Fermentação como forma de aumento da vida útil do leite
- Antiguidade: leites fermentados eram considerados como remédios para distúrbios gastrointestinais (probióticos)
- Fermentação inicia com a hidrólise da lactose em galactose e glicose por culturas starters, que têm lactase:
  - Glicose é prontamente fermentada em ácido láctico
  - Galactose é convertida em glicose por bactérias galactose positivas
- Qualidade do leite usado é essencial:
  - Pasteurizado ou UHT
  - Resíduos de antibióticos/sanitizantes e leucócitos de mastite inibem crescimento de culturas starters

# Leites fermentados: o que são?

---

- Produto obtido da fermentação do leite pela ação de microrganismos adequados, coagulação proteica e redução do pH (Decreto 9.013/2017)
- Pode-se adicionar leite em pó e outros ingredientes
- Existem vários tipos de leites fermentados
- **Em comum:** presença de ácido láctico da fermentação da lactose, com ação de microrganismos termofílicos e mesofílicos, que promovem a coagulação da caseína

# Leites fermentados

---

- Iogurte
- Leites fermentados ou cultivados
- Leite acidófilo ou acidofilado
- Kumys
- Kefir
- Coalhada

# logurte

- Fermentação NECESSARIAMENTE com *Streptococcus thermophilus* e *Lactobacillus bulgaricus*
- Pode ser acompanhados, de forma complementar, por outras bactérias ácido-láticas, que contribuem para as características do produto final
- Incubação a 42 °C por 4-8 horas, até pH = 4,6



# Leite fermentado ou cultivado

- Fermentação com um ou vários dos seguintes cultivos:
- *Lactobacillus acidophilus*
- *Lactobacillus casei*
- *Bifidobacterium* sp.
- *Streptococcus thermophilus*
- Outras bactérias ácido-láticas
- Incubação a 37-40 °C (depende)



# Leite acidófilo

---

- Fermentação de estirpes selecionadas de *L. acidophilus* sobre leite padronizado UHT
- Incubação: 37-40 °C por 18-20 horas (depende)
- Sabor fortemente ácido

# Kefir

---

- Fermentação com cultivos ácido-láticos provenientes de “grãos” de Kefir
- *Lactobacillus kefir*, espécies do gênero *Leuconostoc*, *Lactococcus* e *Acetobacter*, leveduras fermentadoras e não fermentadoras de lactose
- Heterofermentação: ácido láctico, CO<sub>2</sub>, etanol
- Incubação: 18-22°C por 18-24 horas (depende)

# Kumys

---

- Feito de leite de égua ou de camela (tradicionalmente)
- Pode ser feito com leite de outras espécies
- Fermentação com *L. delbrueckii* subsp. *Bulgaricus* e *Kluyveromyces marxianus*
- Heterofermentação: ácido láctico, CO<sub>2</sub>, etanol
- Incubação: 26-28 °C por 7 horas (depende)

# Coalhada

---

- Fermentação por cultivos de bactérias lácticas mesofílicas
- *L. lactis*, *L. cremoris* e *L. diacetylactis*
- Crescimento ótimo a 18-35 °C



# Requisito importante para leites fermentados

---

- Fermentos lácteos devem ser:
  - Viáveis, ativos e abundantes no produto final e durante todo o prazo de validade
- Segundo a IN n° 46/2007:
  - Mínimo de  $10^7$  UFC de bactérias lácticas/g para iogurte, leite acidófilo, kefir e Kumys
  - Mínimo de  $10^6$  UFC de bactérias lácticas/g para leite fermentado e coalhada
  - Mínimo de  $10^4$  UFC de leveduras/g para kefir e kumys

## Legislação (IN n° 46/2007)

---

- Para produtos com várias cepas: contagem se refere ao total de bactérias lácticas e não a cada cepa
- Leites fermentados **não** podem ser submetidos a tratamento térmico após a fermentação

# Legislação (IN n° 46/2007)

---

- Classificação quanto à adição de outros produtos/substâncias alimentícias:
- Sem adição: base láctea representa 100% do total de ingredientes do produto
- Com açúcar, açucarados ou adoçados e/ou aromatizados/saborizados
- Com adições: base láctea representa  $\geq 70\%$  do total de ingredientes

# Legislação (IN n° 46/2007)

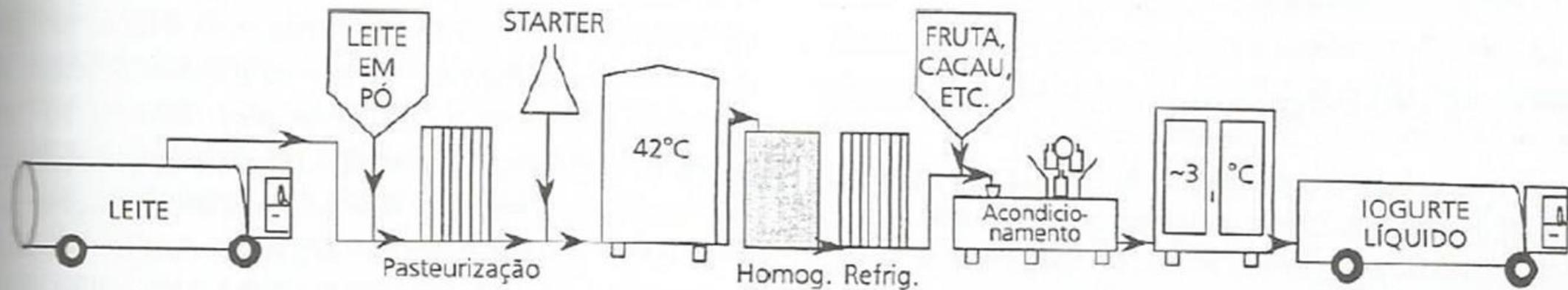
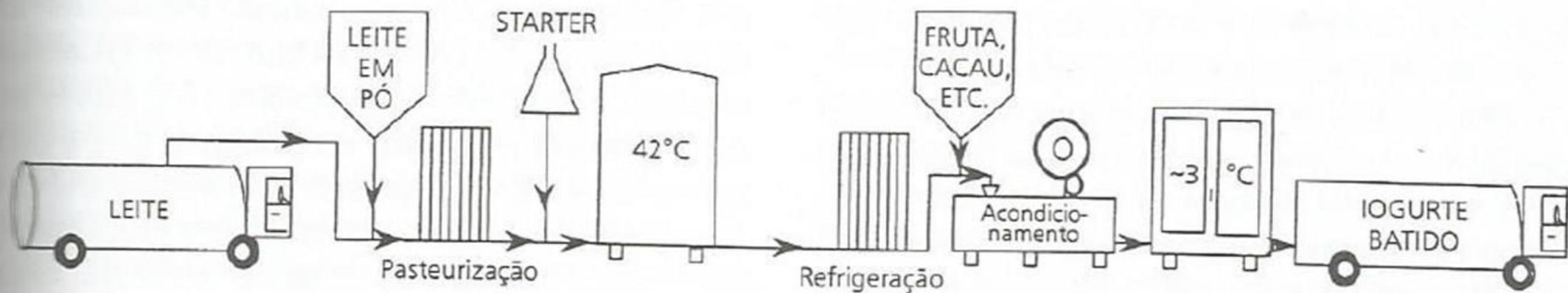
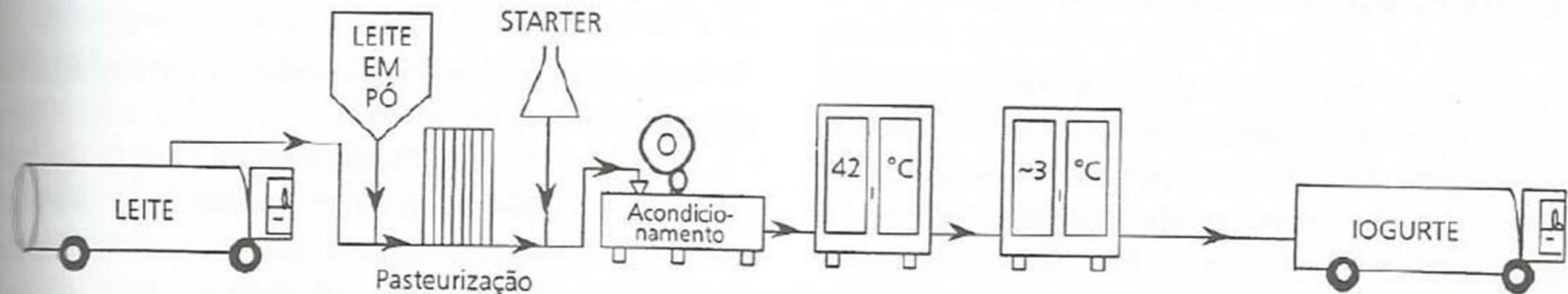
---

- Classificação quanto à adição de saborizantes:
  - Natural (sem saborizantes)
  - Com frutas
  - Com saborizantes
- Classificação quanto ao teor de gordura:
  - Com creme ( $\geq 6$  g/100 g)
  - Integrais ( $\geq 3$  g/100 g)
  - Parcialmente desnatados ( $\leq 2,9$  g/100 g)
  - Desnatados ( $\geq 0,5$  g/100 g)

# Classificação quanto às características físicas do gel:

---

- **logurte tradicional, clássico ou firme:** fermentação na própria embalagem final, consumo com colher
- **logurte batido:** fermentação em fermentadeiras ou incubadoras com posterior quebra do coágulo e envase
  - Textura semissólida obtida durante o resfriamento
- **logurte líquido ou “para beber”:** fermentação em tanques com posterior quebra do coágulo, produto resfriado em trocador de calor de placas, podendo ser homogeneizado (consistência líquida)



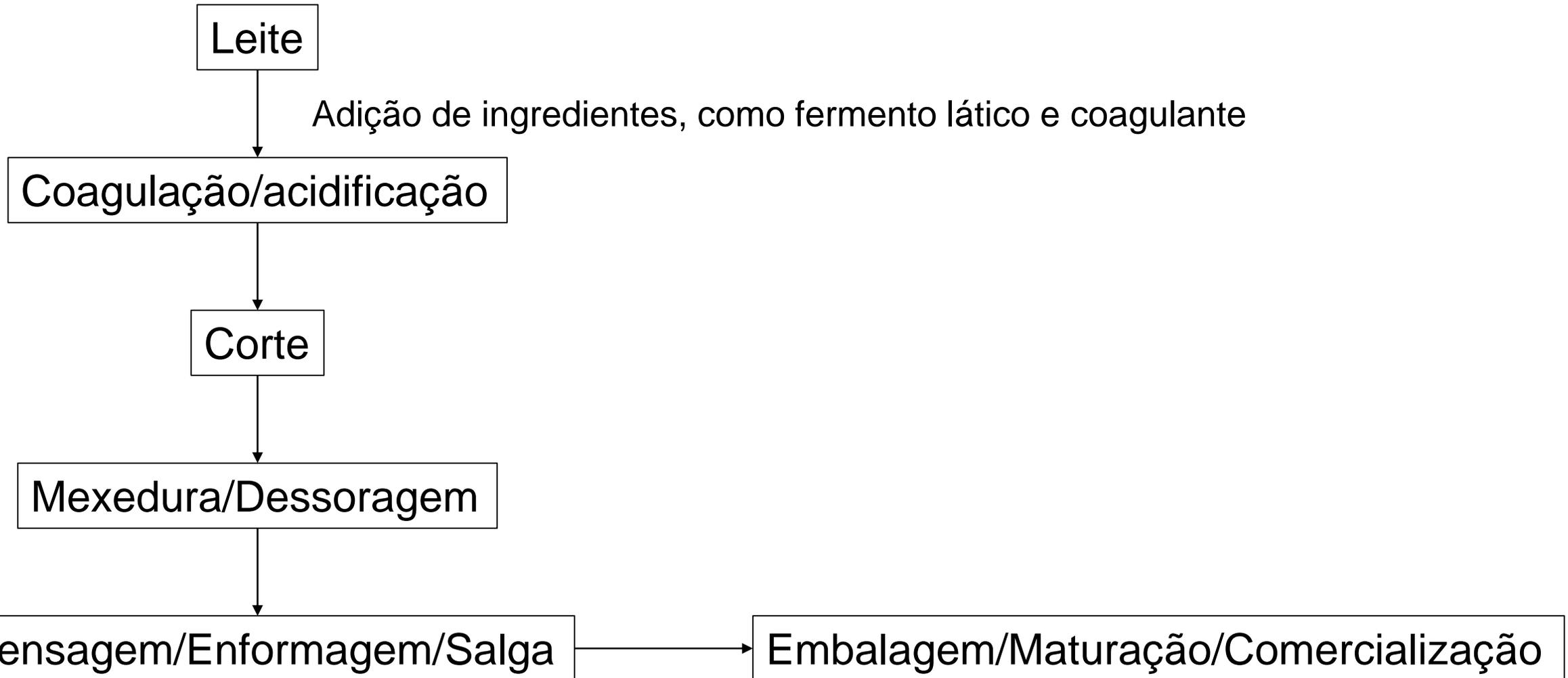
# Queijo

---

- Obtido pela separação do soro após a coagulação do leite
- Pode-se obter uma variedade grande de queijos com o uso de diferentes ingredientes e etapas de produção
- Produção envolve, basicamente:
- **Acidificação**, pela fermentação da lactose por bactérias lácticas do fermento
- **Coagulação**, com formação do gel da coalhada, que retém a caseína, lactose, gordura, água e bactérias lácticas
- **Desidratação**, com remoção do soro até atingir a umidade adequada
- **Maturação ou cura**, com alterações no sabor, aroma e textura

Quanto ao processo de obtenção da massa	Quanto ao tratamento da coalhada	Quanto ao teor de gordura no extrato seco (GES) (Portaria 146/96)	Quanto ao teor de umidade (Portaria 146/96)
<p><b>Enzimático</b>            Obtido por ação predominante do coalho ou enzimas coagulantes.            Ex.: Minas Frescal, Parmesão, Prato, Muçarela.</p>	<p><b>Massa crua</b>            Aquecimento da coalhada a <math>\leq 38</math> °C.            Ex.: Minas Padrão, Camembert, Minas Frescal.</p>	<p><b>Extragordo</b>            Com mais de 60% de GES.            Ex.: Requeijão, Cream-cheese.</p>	<p><b>Muito alta umidade</b>            Com teor de umidade acima de 55% (m/m). Queijos moles.            Ex.: Minas Frescal, Requeijão, Petit-Suisse, Cottage.</p>
<p><b>Lático ou ácido</b>            Obtido por ação predominante do ácido produzido por bactérias lácticas ou pela adição direta de ácido ao leite.            Ex.: Petit-Suisse, Cottage, Cream-cheese, Quark.</p>	<p><b>Massa semicozida</b>            Aquecimento da coalhada entre 40 e 45 °C com água quente ou vapor indireto.            Ex.: Prato, Gouda, Muçarela.</p>	<p><b>Gordo</b>            Com GES entre 45% e 59,9%.            Ex.: Prato, Cheddar, Gouda.</p>	<p><b>Alta umidade</b>            Com teor de gordura entre 46% e 54,9% (m/m). Queijos macios.            Ex.: Queijo de Coalho, Gorgonzola, Camembert, Muçarela.</p>
<p><b>Fusão</b>            Obtido por ação mecânica e calor, com adição de sais fundentes.            Ex.: Queijos fundidos ou processados, Requeijão.</p>	<p><b>Massa cozida</b>            Aquecimento da coalhada entre 45 e 50 °C, com vapor indireto.            Ex.: Parmesão, Emmental, Provolone.</p>	<p><b>Semigordo</b>            Com GES entre 25% e 44,9%.            Ex.: Reino, Muçarela, Parmesão, Minas Frescal.</p>	<p><b>Média umidade</b>            Com teor de umidade entre 36% e 45,9% (m/m). Queijos semiduros.            Ex.: Prato, Gouda, Reino, Queijo de Coalho.</p>
<p><b>Extraído do soro</b>            Obtido por ação de calor e ácido, com precipitação de proteínas.            Ex.: Ricota.</p>		<p><b>Magro</b>            Com GES entre 10% e 24,9%.            Ex.: Cottage, Ricota.</p>	<p>Baixa umidade            Com teor de umidade até 35,9% (m/m). Queijos duros.            Ex.: Parmesão, Emmental.</p>
		<p><b>Desnatado</b>            Com menos de 10% de GES.            Ex.: Quark de leite desnatado (3% de GES).</p>	

# Etapas básicas da produção de queijos



# Ingredientes básicos

---

- **Leite:** de boa qualidade e pasteurizado, normalmente por HTST, que ocorre a 72-75 °C/15 s
- **Por que não se faz queijo com leite UHT?**
- Exposição ao calor, dependendo do tempo, desnatura as proteínas do soro
- > 60 °C por 30 min: desnaturação das proteínas do soro
- > 70 °C: desnaturação das proteínas do soro é acelerado
- A 95 °C: desnaturação térmica da  $\beta$ -lactoglobulina é irreversível
- $\kappa$ -caseína complexa com a  $\beta$ -lactoglobulina desnaturada, dificultando/impedindo a formação de coalho
- **Obs.:** desnaturação da  $\alpha$ -lactoalbumina é reversível com resfriamento

# Ingredientes básicos

---

- **Cloreto de cálcio** (0,2 g/L), que se dissocia em  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Cl}^-$ :
- Tem que ser adicionado, pois parte do cálcio solúvel necessário para a coagulação é insolubilizado na pasteurização e fica indisponível para a formação da coalhada
- **Urucum** (10 a 15 mL para cada 100 L de leite):
- Adicionado em queijos como Prato, do Reino e Cheddar
- **Lipase de cabrito ou cordeiro**:
- A pasteurização afeta a atividade de lipases responsáveis por liberarem ácidos graxos responsáveis pelo sabor picante em queijos maturados, como o Provolone e o Parmesão

# Ingredientes básicos

---

- **Nitrato de sódio ou nitrato de potássio** (5 a 20 g para cada 100 L de leite):
  - Previnem o desenvolvimento de *Clostridium tyrobutyricum*, *C. butyricum* e *C. sporogenes*, que provocam estufamento tardio em queijos maturados
- **Fermentos lácticos (culturas starters):**
  - Bactérias lácticas selecionadas que fermentam a lactose e produzem ácido láctico. Ex.: *Lactococcus lactis*, *Leuconostoc* sp., *Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *lactis*, *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* e *Lactobacillus helveticus*
- **Coalho:**
  - Constituído de quimosina e pepsina em diferentes proporções (ex.: 8:1 a 9:1 em estômago de bezerros (produto comercial))

# Acidificação

---

- Consiste na produção de ácido láctico pelas bactérias lácticas a partir da fermentação da lactose
- Adição de fermentos lácticos dificulta o desenvolvimento de bactérias patogênicas
- Fermentação promove a produção de ácido láctico a partir da lactose (na verdade, da glicose produzida a partir da lactose)
- Acidificação direta é por adição de ácido de grau alimentício no leite, que é permitida em queijos como Mussarela, Cottage e alguns tipos de Minas Frescal
- Ajuda na coagulação do leite, pois faz com que o pH do leite se aproxime do pH ótimo do coagulante, acelerando a coagulação

# Coagulação

---

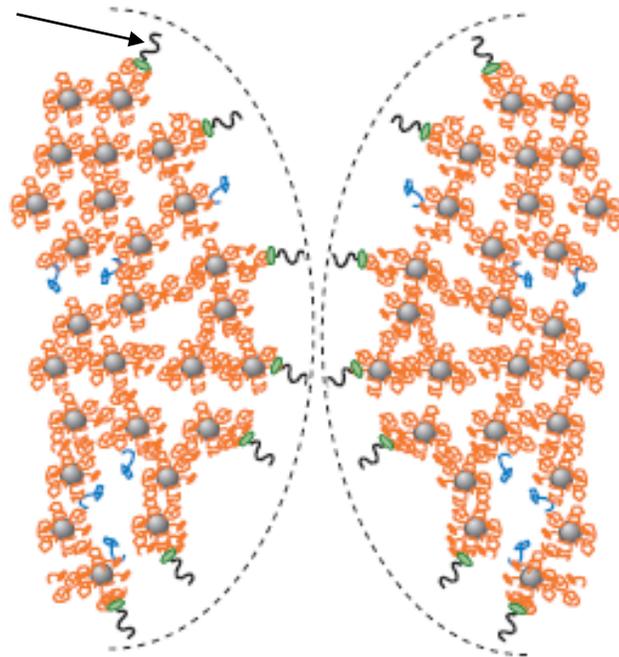
- Pode ser de dois tipos:
- **Ácida**
- Bactérias lácticas reduzem o pH (mais  $H^+$ ), neutralizando as cargas negativas das caseínas, que então se agregam, formando a coalhada
- Pode ser realizada com adição direta de ácido no leite, reduzindo o tempo de coagulação
- Queijo Cottage é tradicionalmente obtido sem a adição de coalho, sendo coagulado por ação de ácidos, como o ácido acético, presente no vinagre
- Fresco, obtido com leite, creme de leite e sal, com coalhada drenada e não prensada
- Ricota também é obtida por coagulação ácida (mas também pode ser por coagulação enzimática) das proteínas presentes no soro do leite

# Coagulação

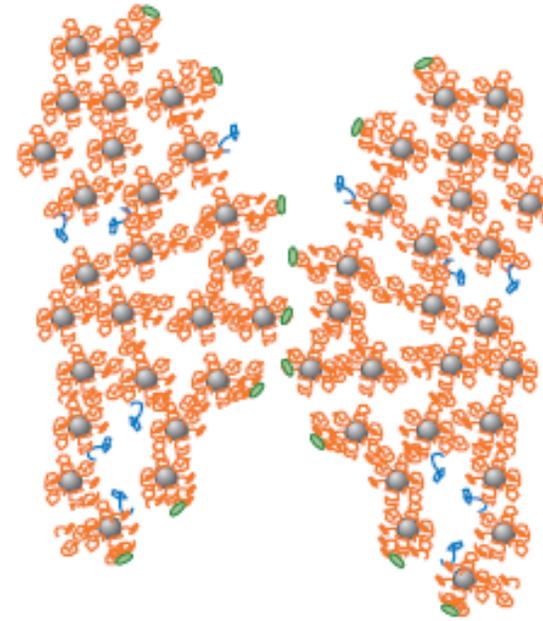
---

- **Enzimática**
- Cerca de 75% da produção total de queijos é fabricada com coalho
- Usam-se enzimas como o coalho ou coagulantes, que são proteolíticas e atuam na  $\kappa$ -caseína, localizada na superfície da micela
- Há clivagem da ligação entre a para- $\kappa$ -caseína e o caseinomacropéptido, que vai para o soro
- Para- $\kappa$ -caseína é hidrofóbica e liga-se com as outras caseínas para formar a coalhada (para- $\kappa$ -caseinato de cálcio), que precipita
- Coalhada formada retém gordura, água, lactose e bactérias lácticas na rede proteica

Caseinomacropéptídeos (em preto)



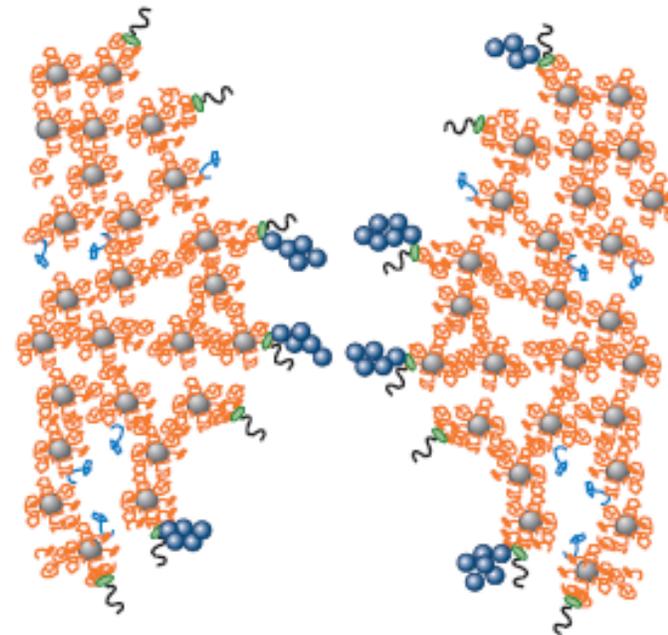
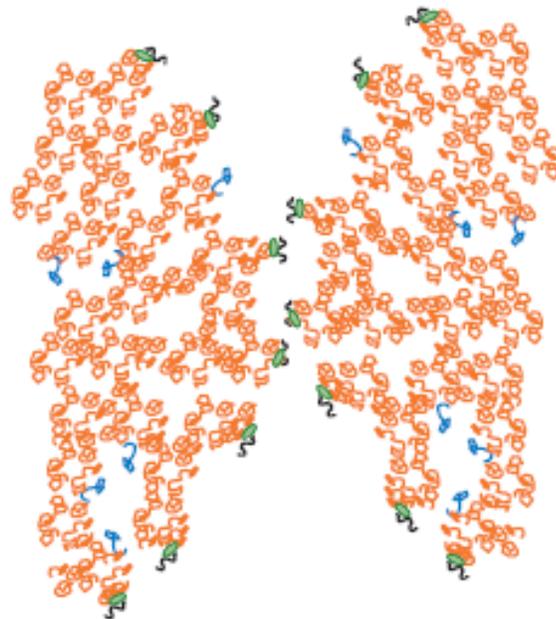
Micela intacta de caseína



Micela de caseína após coagulação com quimosina (sem caseinomacropéptídeos)

Linhas tracejadas indicam repulsão entre micelas de caseína

Micela de caseína após acidificação, sem adição de coagulante (cargas neutralizadas na superfície das caseínas, sem repulsão entre elas)



Micela de caseína após aquecimento, com ligações com  $\beta$ -lactoglobulina (em azul), que impede coagulação

# Operações após a coagulação

---

- Necessárias para provocar a **sinérese**, ou seja, a expulsão do soro retido na coalhada
- Sinérese:
  - Concentra de seis a 12 vezes a gordura e a proteína do leite
  - Alcance do teor de umidade final do queijo
- Taxa e extensão da sinérese dependem de vários fatores, como:
  - Composição do leite, tamanho do corte dos grãos da coalhada, pH do soro, temperatura de cozimento, velocidade de mexedura no tanque e tempo de fabricação

# Corte, mexedora e aquecimento

---

- **Corte** deve ser feito quando a coalhada está firme
- Feito com a lira, que apresenta fios alinhados e separados por uma mesma distância, que podem ser na vertical ou horizontal
- Após o corte, a mistura de grãos da coalhada e soro é mexida por 15 a 20 min para promover a sinérese do grão (**mexedura**)
- Deve ser lenta, pois a coalhada está frágil e os grãos podem reduzir de tamanho, se não for realizada adequadamente
- Em queijos frescos: após a mexedura, é feita a **enformagem** da massa
- Em queijos semiduros e duros: etapa posterior é o **aquecimento** dos grãos da coalhada, com agitação
- Aquecimento favorece a saída da lactose dos grãos para o soro (delactosagem)

# Dessoragem, pré-prensagem e enformagem

---

- Após o aquecimento, os grãos se tornam mais firmes, com aspecto de borrachentos
- Neste ponto, promove-se a **dessoragem**, que é a separação do soro
- Pode ser realizada a **pré-prensagem**, com uso de pesos ou em prensa pneumática
- **Enformagem** ocorre em formas de tamanhos e formatos variados, de acordo com as características de cada queijo
- Ex.: queijos com olhaduras, como o Emmental, são fabricados em formas grandes de 80 a 120 kg para evitar a saída do CO<sub>2</sub> de dentro do queijo e permitir a formação de olhaduras
- Objetivo da prensagem e enformagem é obter uma massa contínua

# Salga

---

- **Salga** auxilia na dessoragem e no teor de umidade final
- Sal age como conservante, reduzindo a atividade de água e contribui para a qualidade e sabor do queijo
- Inibe a produção de ácido láctico pelas bactérias lácticas e o desenvolvimento de bactérias patogênicas
- Principal forma de salga é imersão do queijo em uma salmoura de cloreto de sódio (NaCl) mantida sob refrigeração entre 10 a 12 °C
- Queijos ficam imersos na salmoura entre algumas horas e dias
- Qualidade microbiológica da salmoura deve ser monitorada, por ser fonte de contaminação

# Maturação de queijos

---

- Queijos recém-fabricados são semelhantes: massa borrachenta composta de caseína intacta com sabor de ácido láctico
- Durante a maturação ocorrem mudanças microbiológicas e bioquímicas (proteólise, lipólise) no queijo para que ele apresente sabor, aroma, consistência e até mudanças na aparência
- Maturação pode variar entre duas semanas (Minas Padrão) e dois anos (Parmesão)
- Ácido láctico presente na forma de lactato é metabolizado na forma de compostos de aroma e sabor pelas bactérias do fermento secundário (normalmente bactérias heterofermentativas, que produzem diversos compostos a partir do lactato ou citrato)

# Queijos de maturação externa

---

- **Maturados na superfície por mofo** (*Penicillium camemberti*) na superfície, como os queijos Camembert e Brie
- Outros são **maturados na superfície por bactérias** do grupo corineforme, especialmente a *Brevibacterium linens*
- Queijos conhecidos como de casca lavada ou casca maturada (*smear cheese*)
- Casca alaranjada e aroma forte

# Queijos de maturação interna

---

- **Queijos em que o mofo *Penicillium roqueforti* cresce no interior,** formando veios azul-esverdeados e aroma típico
  - Inclui queijos Gorgonzola, Roqueforti, Queijo Azul e Stilton
- **Queijos maturados internamente por bactérias** podem ser classificados de acordo com a umidade:
  - **Extraduros** (que maturam por seis a 24 meses), como o Grana Padano e o Parmesão
  - **Duros**, como o Cheddar e suas variações
  - **Semiduros**, como o Prato e do Reino

# Queijos com olhaduras

---

- **Queijos com olhaduras propiônicas** (Emmental, Maasdam), fabricados com bactérias propiônicas, apresentando olhaduras grandes e numerosas
- Bactérias propiônicas fermentam o lactato com produção de ácido propiônico (sabor adocicado), ácido acético e  $\text{CO}_2$ , responsável pelas olhaduras
- **Queijos com olhaduras aromáticas** (Gouda, Edam) apresentam poucas olhaduras e pequenas
- Bactérias aromáticas fermentam o citrato, presente no leite, produzindo diacetil (aroma de manteiga), acetaldeído e  $\text{CO}_2$

# Creme de leite e manteiga

---

- Elaboração artesanal de manteiga obtida a partir do leite integral é milenar
- Separação do creme do leite e sua pasteurização propostas no fim do século XIX
- Manteiga é um produto proveniente do creme de leite pasteurizado, sendo opcional o uso de fermentos lácteos e NaCl

# Creme de leite

---

- Classificação pode ser baseada no teor de gordura, no tratamento térmico submetido, e se passou ou não por fermentação láctica
- No Brasil, são encontrados principalmente:
  - Creme de leite UHT
  - Creme de leite pasteurizado
  - Ambos não fermentados
- Especialmente no Sul, há o creme de leite pasteurizado com maior teor de gordura (até 50%), que é a nata

# Creme de leite: classificação com base no teor de gordura

---

- Portaria 146/1996 do MAPA
- Creme de baixo teor de gordura (10 ou 19,9 g/100 g de creme)
- Creme (20 ou 49,9 g/100 g de creme)
- Creme de alto teor de gordura (acima de 50 g/100 g de creme)
  
- Matéria gorda > 40% m/m: opcionalmente denominado “duplo creme”
- Matéria gorda > 35% m/m: opcionalmente denominado “creme para bater”
  
- Cremes homogeneizados, denominados “homogeneizados”

# Produção de creme de leite: etapas

---

- **Separação** entre a fase creme e a fase leite, por centrifugação
- **Padronização** do creme para o teor de gordura desejado, durante a própria centrifugação
- **Tratamento térmico** para aumentar a vida útil, normalmente por:
  - Pasteurização HTST (75 °C/15 s para creme com 20 g/100 g de creme)
  - Sistema UHT (135-150 °C durante poucos segundos)
- **Homogeneização**, que é aplicada apenas para certos produtos
- Não é realizada para a fabricação de manteiga e chantili
- Glóbulos pequenos de gordura inviabilizam inversão de fase (manteiga) e dificultam formação da espuma (chantili)

# Manteiga

---

- Portaria 146/1996 do MAPA regulamenta esse produto
- Manteiga não maturada é obtida a partir do creme de leite pasteurizado
- Manteiga maturada é obtida a partir do creme de leite pasteurizado e fermentado com fermentos lácticos específicos
- Sabor e aroma da manteiga maturada dependem dos microrganismos empregados

# Manteiga

---

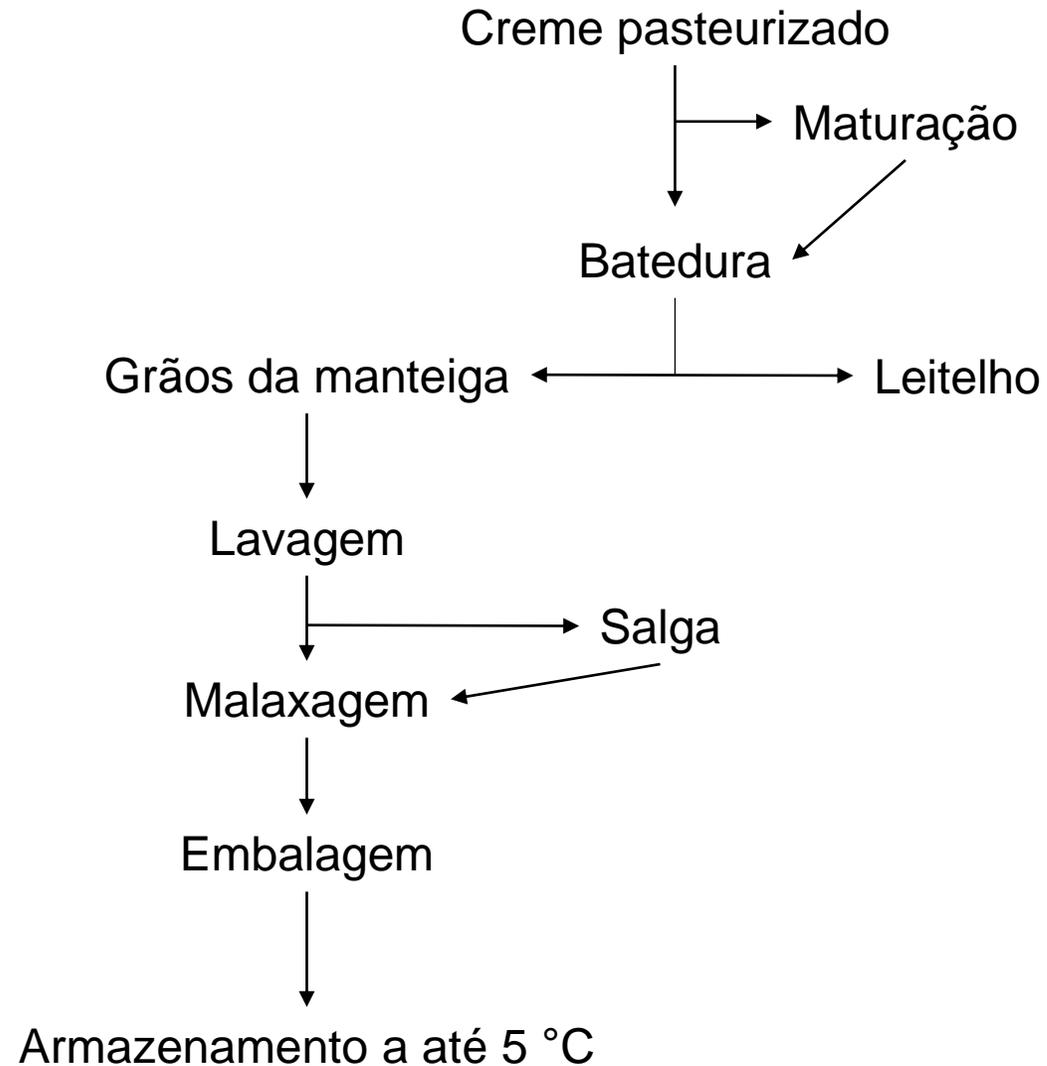
- Pode ser denominada manteiga com ou sem sal
- Adição permitida de até 2 g de cloreto de sódio por 100 g de produto
- Manteiga salgada deve conter pelo menos 80 g de gordura por 100 g de produto
- Manteiga sem sal deve conter pelo menos 82 g de gordura por 100 g de produto
- A 20 °C, manteiga deve ser sólida e untuosa, além de apresentar consistência pastosa e textura lisa com distribuição uniforme de água
- Manteiga pode conter no máximo 16 g de água por 100 g de produto e cerca de 2 g de sólidos não gordurosos para cada 100 g de produto, como proteínas e carboidratos

# Manteiga: principais etapas de produção

---

- Após o **desnate do leite**, é feita a **padronização** até, normalmente, 35-40%
- **Maturação** é opcional, envolvendo a adição de fermento láctico
- **Batedura**: glóbulos de gordura cercados por membrana são colapsados, a gordura sai e fica em volta de bolhas de ar, expulsando o leitelho
- **Salga** dos grãos de manteiga
- **Malaxagem**: pode ser feita na própria batedeira, com grãos sob agitação a certa temperatura
  - Objetivo é pulverizar a fase aquosa que permanece junto aos grãos, com obtenção de massa compacta e homogênea
- **Embalagem** que proteja de odores estranhos e de perigos

# Fluxograma com as etapas gerais da produção de manteiga



# Referência básica

- Swaisgood, H.E. Características do leite. Em: Damodaran, S.; Parkin, K.L.; Fennema, O.R. Química de Alimentos de Fennema. 4ª Ed. Porto Alegre: Artmed, 2010. p. 689-718.
- Corassin, C.H.; de Oliveira, C.A.F.; da Cruz, A.G.; Zacarchenco, P.B. Introdução. Em: da Cruz, A.G.; Zacarchenco, P.B.; de Oliveira, C.A.F.; Corassin, C.H. Química, Bioquímica, Análise Sensorial e Nutrição no Processamento de Leite e Derivados. 1ª Ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2016. p. 1-13.
- Cruz, A.G.; Zacarchenco, P.B.; Oliveira, C.A.F.; Corassin, C.H. Processamento de leites de consumo. Rio de Janeiro: Elsevier, 2017. 355 p.
- Cruz, A.G.; Zacarchenco, P.B.; Oliveira, C.A.F.; Corassin, C.H. Processamento de produtos lácteos. 1ª ed. Vol. 3. Rio de Janeiro: Elsevier, 2017. 330 p.

Obrigado

[alangosartori@usp.br](mailto:alangosartori@usp.br)