



# PROCESSAMENTO A ALTA PRESSÃO

Profa. Dra. Cynthia Ditchfield



# PROCESSAMENTO A ALTA PRESSÃO

- Conceitos
- Equipamentos
- Aplicações

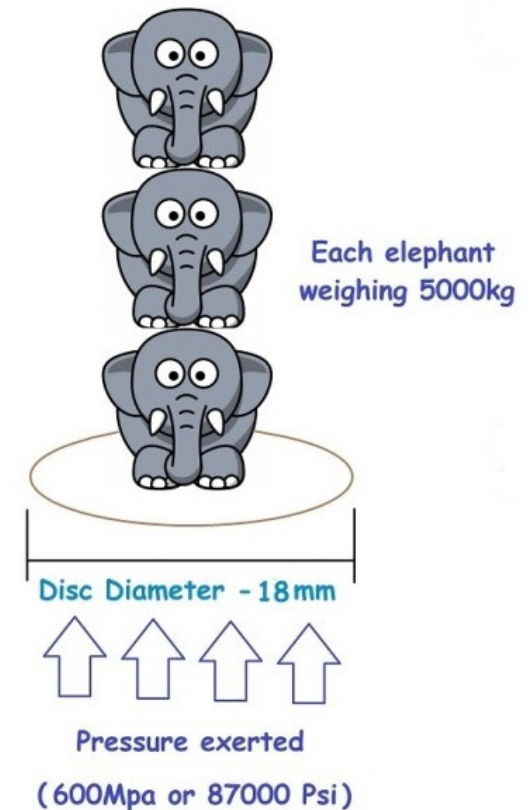


# PROCESSAMENTO A ALTA PRESSÃO

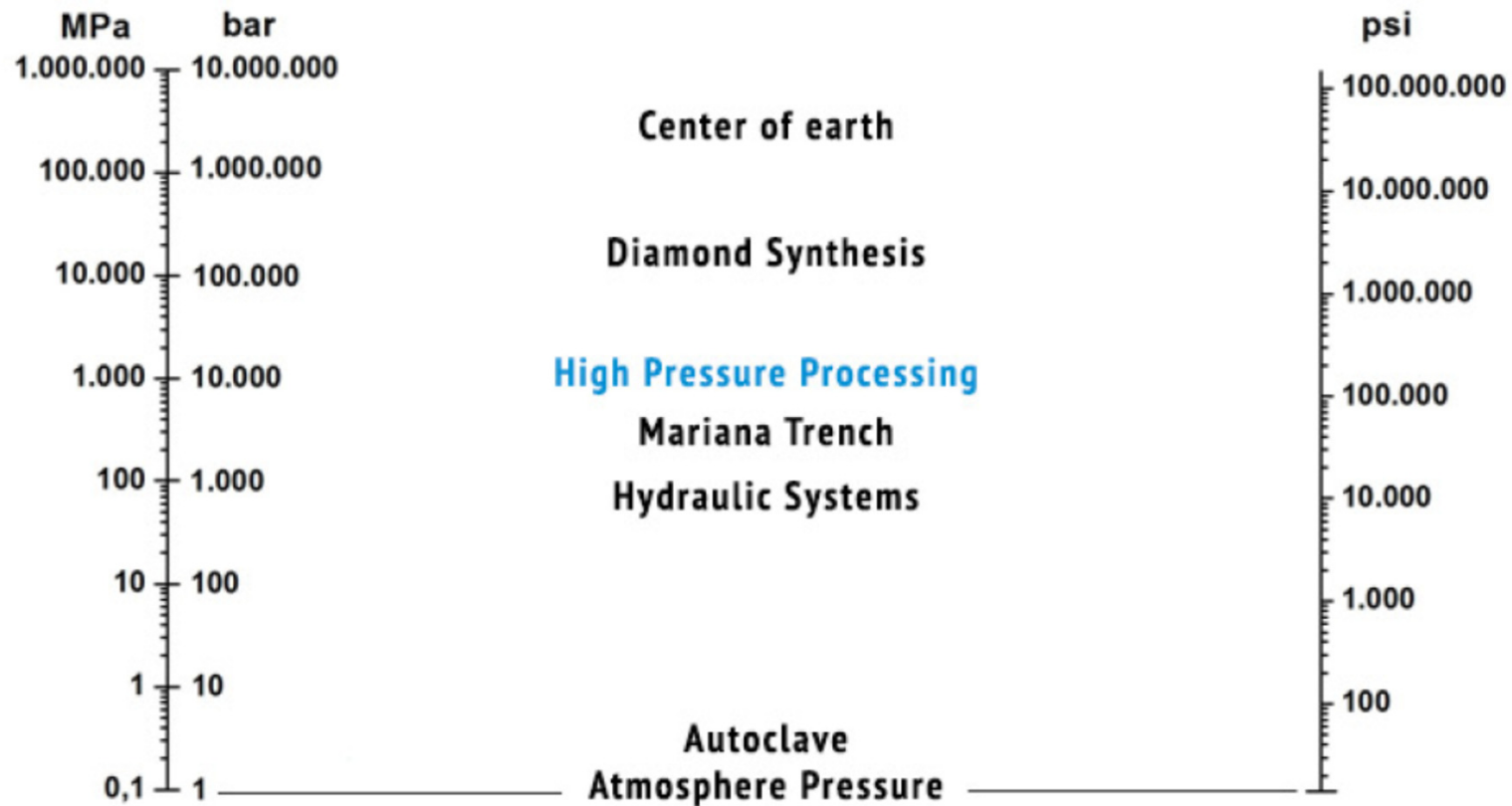
- Alta Pressão Estática
- Alta Pressão Dinâmica ou Homogeneização a Alta Pressão

# PROCESSAMENTO A ALTA PRESSÃO

- Alta Pressão Estática (HPP)
  - ✓ 1899 EUA equipamento 700 Mpa (Leite)
  - ✓ 1990 Japão aplicação comercial (Geleia)
  - ✓ Pressões de (50 a 1000) Mpa
  - ✓ Processo em Batelada ou Semi-contínuo



# PROCESSAMENTO A ALTA PRESSÃO





# PROCESSAMENTO A ALTA PRESSÃO

- Princípios Básicos

- ✓ Princípio de *Le Chatelier*

- \* Sistemas em equilíbrio respondem de modo a minimizar a perturbação
    - \* Alta pressão favorece reações e transições de fase que resultem num volume menor

# PROCESSAMENTO A ALTA PRESSÃO

- Princípios Básicos

- ✓ Princípio de *Le Chatelier*

- \* Força motriz de uma reação é a variação da energia livre de Gibbs ( $\Delta G$ )  $\Delta G = G^{(produtos)} - G^{(reagentes)}$   $\Delta G < 0$  espontâneo

- \*  $dG = -SdT + Vdp + \sum \mu_i dn_i$

- \*  $V = \left[ \frac{\delta G}{\delta P} \right]_{T, n_i}$



# PROCESSAMENTO A ALTA PRESSÃO

- Princípios Básicos

- ✓ Lei de *Pascal* ou Pressão Isostática

- \* A pressão é transmitida instantaneamente e uniformemente por todo o produto
    - \* Independe de forma e tamanho
    - \* Não necessita de contato direto com o meio de aplicação da pressão



# PROCESSAMENTO A ALTA PRESSÃO

- Princípios Básicos

- ✓ Aumento Adiabático de Temperatura

- \* Aproximadamente 3 °C a cada 100 MPa

- \* Produtos gordurosos apresentam aquecimento maior

- \* Sistema fechado adiabático

- \*  $\Delta U = Q + W$

# PROCESSAMENTO A ALTA PRESSÃO

- Princípios Básicos

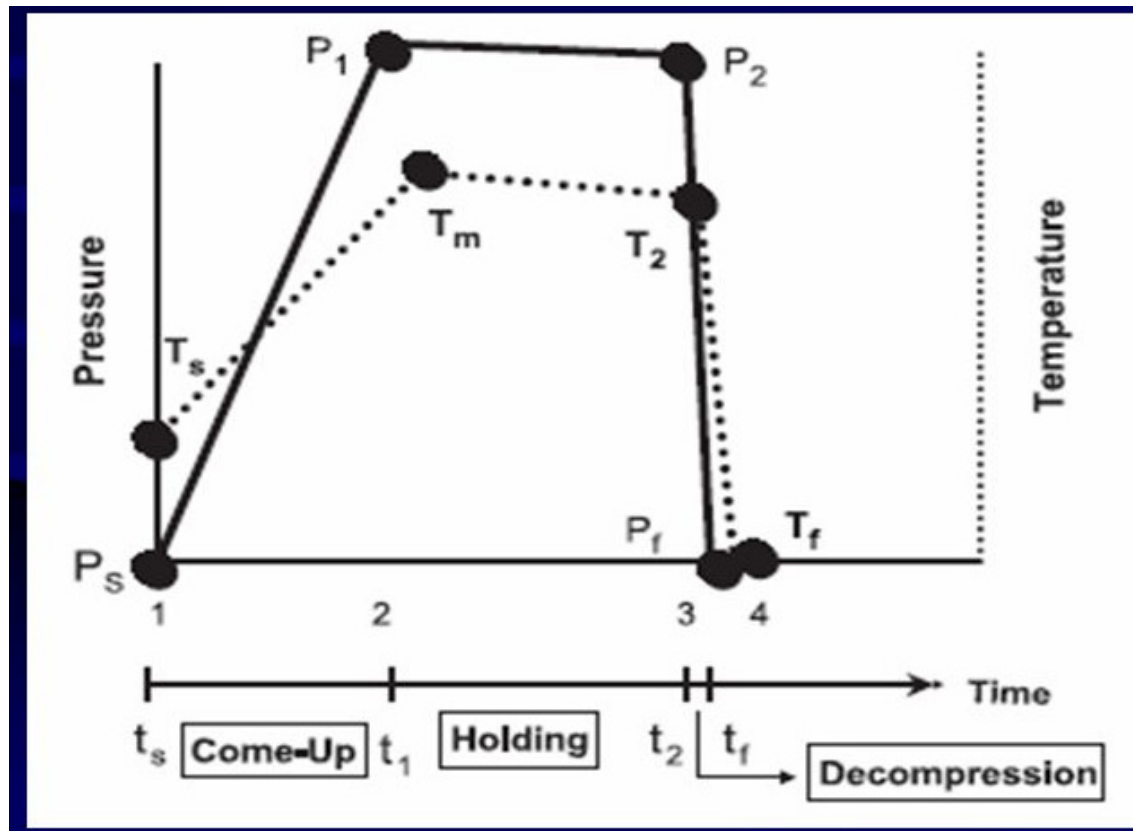
- ✓ Aumento Adiabático de Temperatura

- \*  $\Delta U = W = \int_1^2 P dV$

- \*  $dS = \left(\frac{\delta S}{\delta T}\right)_P dT + \left(\frac{\delta S}{\delta P}\right)_T dP$

- \* Propriedades variam com a pressão

# PROCESSAMENTO A ALTA PRESSÃO



Fonte: [http://images.slideplayer.com.br/2/345753/slides/slide\\_15.jpg](http://images.slideplayer.com.br/2/345753/slides/slide_15.jpg)



# PROCESSAMENTO A ALTA PRESSÃO

- Efeito da Alta Pressão em Microrganismos
  - ✓ Combinação de fatores
    - \* Danos à membrana celular
    - \* Altera a morfologia da célula
    - \* Reações Bioquímicas



# PROCESSAMENTO A ALTA PRESSÃO

- Efeito da Alta Pressão em Microrganismos
  - ✓ Combinação de fatores
    - \* Desnaturação de proteínas
    - \* Inibição de mecanismos genéticos
  - ✓ Microrganismos apresentam diferentes resistências



# PROCESSAMENTO A ALTA PRESSÃO

- Efeito da Alta Pressão em Microrganismos
  - ✓ Aumento da temperatura, pressão e do tempo de retenção aumentam a letalidade do processo
    - \* Relação não é linear
  - ✓ Danos subletais
  - ✓ Pressão crítica mínima, “Come Up Time” e Decompressão



# PROCESSAMENTO A ALTA PRESSÃO

- Efeito da Alta Pressão em Microrganismos

- ✓ Bactérias

- \* Condições do meio afetam a inativação (pH,  $A_w$ , temperatura)
    - \* Estágio do crescimento
    - \* Gram positivos e Gram negativos

# PROCESSAMENTO A ALTA PRESSÃO

**Table 1.2** Pressures required to achieve a 5-log cycle inactivation ratio for certain microorganisms, for a 15-minute treatment (Patterson et al., 1995)

<b>Microorganism</b>	<b>Pressure (MPa)</b>
<i>Yersinia enterocolitica</i>	275
<i>Salmonella typhimurium</i>	350
<i>Listeria monocytogenes</i>	375
<i>Salmonella enteritidis</i>	450
<i>Escherichia coli</i> O157:H7	680
<i>Staphylococcus aureus</i>	700

Fonte: Emerging Technology for Food Processing



# PROCESSAMENTO A ALTA PRESSÃO

**Table 1.3** Predicted treatment pressure required at various temperatures for a 5- $\log_{10}$  inactivation of *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus* in poultry meat and milk, for a treatment time of 15 minutes (Patterson and Kilpatrick, 1998)

Temperature (°C) during pressure treatment	Estimated pressure (MPa)			
	<i>Escherichia coli</i>		<i>Staphylococcus aureus</i>	
	Poultry meat	UHT milk	Poultry meat	UHT milk
10	850	1014	647	749
20	779	966	694	625
30	681	840	735	602
40	544	638	701	583
50	371	392	524	478
60	125	133	177	196

Fonte: Emerging Technology for Food Processing



# PROCESSAMENTO A ALTA PRESSÃO

- Efeito da Alta Pressão em Microrganismos

- ✓ Esporos bacterianos

- \* Altíssima resistência à pressão em temperatura ambiente (> 800 Mpa)

- \* Processamento em ciclos

- \* “Hurdle technology”



# PROCESSAMENTO A ALTA PRESSÃO

- Efeito da Alta Pressão em Microrganismos
  - ✓ Bolores e Leveduras
    - \* Leveduras são mais sensíveis que os bolores
    - \* Inativação em pressões de (300 a 600) MPa



# PROCESSAMENTO A ALTA PRESSÃO

- Efeito da Alta Pressão em Microrganismos

- ✓ Vírus

- \* Resistências variadas

- \* Danos à estrutura viral, dissociação das partículas virais e ruptura da cápsula viral



# PROCESSAMENTO A ALTA PRESSÃO

- Efeito da Alta Pressão em Enzimas
  - ✓ Modifica a estrutura e a conformação das enzimas
  - ✓ Afeta ligações fracas como as interações hidrofóbicas
    - \* Perda de atividade
    - \* Ativação de enzimas
    - \* Alteração das enzimas



# PROCESSAMENTO A ALTA PRESSÃO

- Efeito da Alta Pressão na Qualidade do Alimento

- ✓ Cor

- \* Desnaturação de Proteínas
    - \* Produtos cárneos alteração da mioglobina aparência de cozido
    - \* Carnes curadas/Peixes não altera cor



# PROCESSAMENTO A ALTA PRESSÃO

- Efeito da Alta Pressão na Qualidade do Alimento
  - ✓ Textura
    - \* Não há tensão de cisalhamento
    - \* Produtos contendo gás podem sofrer distorção
    - \* Formação de géis
    - \* Outras alterações de textura



# PROCESSAMENTO A ALTA PRESSÃO

- Efeito da Alta Pressão na Qualidade do Alimento
  - ✓ Qualidade Sensorial
    - \* Manutenção das características de produtos frescos
    - \* Pode induzir oxidação em produtos cárneos
    - \* Preservação de voláteis





# PROCESSAMENTO A ALTA PRESSÃO

- Efeito da Alta Pressão na Qualidade do Alimento
  - ✓ Qualidade Nutricional
    - \* Efeitos mínimos
    - \* Antioxidantes, Pigmentos e Vitaminas
    - \* Preservação melhor que tratamento térmico convencional



# PROCESSAMENTO A ALTA PRESSÃO

- Efeito da Alta Pressão na Qualidade do Alimento
  - ✓ Rendimento
    - \* Aumento de rendimento
    - \* Menor perda de peso no processamento



# PROCESSAMENTO A ALTA PRESSÃO

- Embalagens

- ✓ Processo em batelada

- \* Embalagem primária final
    - \* Resistência a alterações de volume (até 15 %)
    - \* Manutenção da integridade da selagem e das propriedades de barreira
    - \* Embalagens flexíveis, semirrígidas, embalagens a vácuo



# PROCESSAMENTO A ALTA PRESSÃO

- Equipamentos

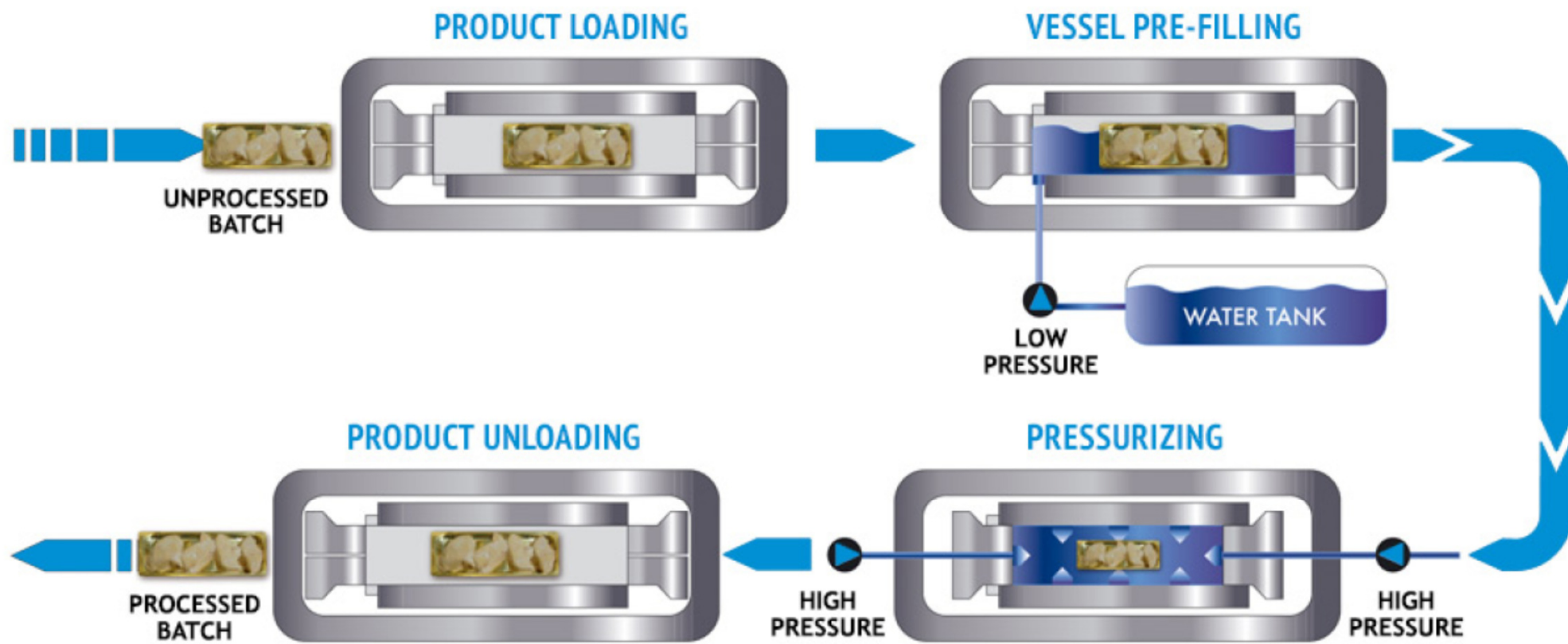
- ✓ Processo em batelada

- \* Produtos já embalados

- \* Vaso de pressão

- \* Fluido para transmissão da pressão (**água**, óleo de rícino, silicone, benzoato de sódio, etanol, glicol)

- \* Bombas para aumentar a pressão pela introdução de fluido no sistema



Fonte: [www.hiperbaric.com](http://www.hiperbaric.com)

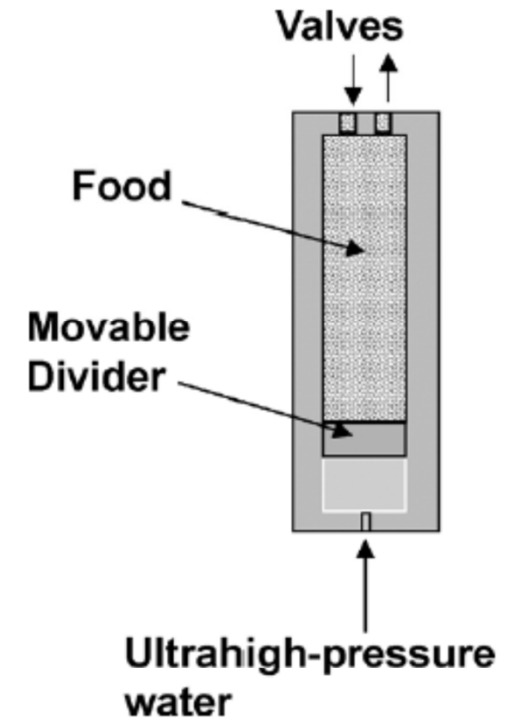
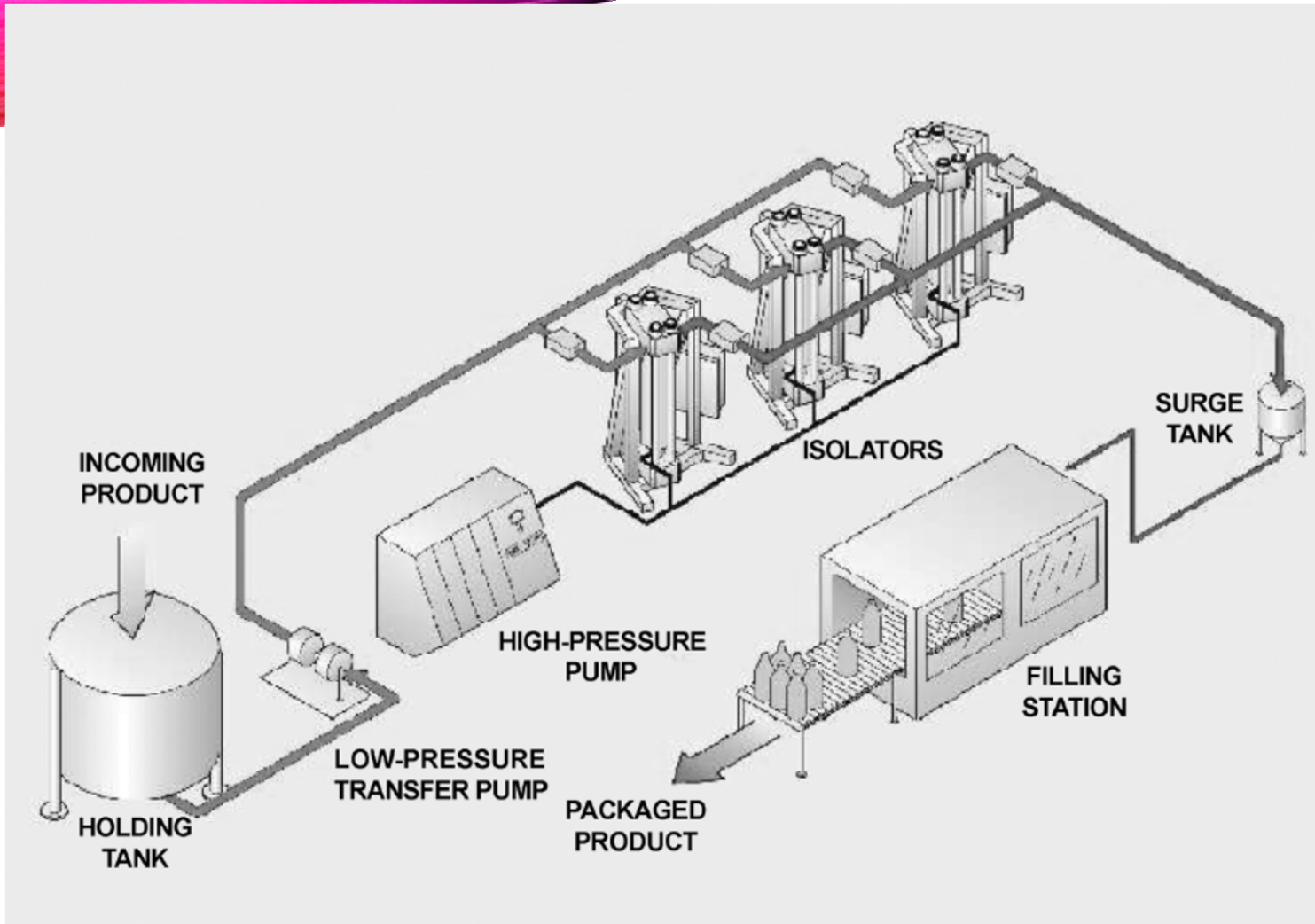


# PROCESSAMENTO A ALTA PRESSÃO

- Equipamentos

- ✓ Processo semi-contínuo

- \* Produtos bombeados para o vaso de pressão
    - \* Vaso de pressão
    - \* Pistão livre
    - \* Enchimento asséptico do produto processado



Fonte: Novel Food Processing Technologies



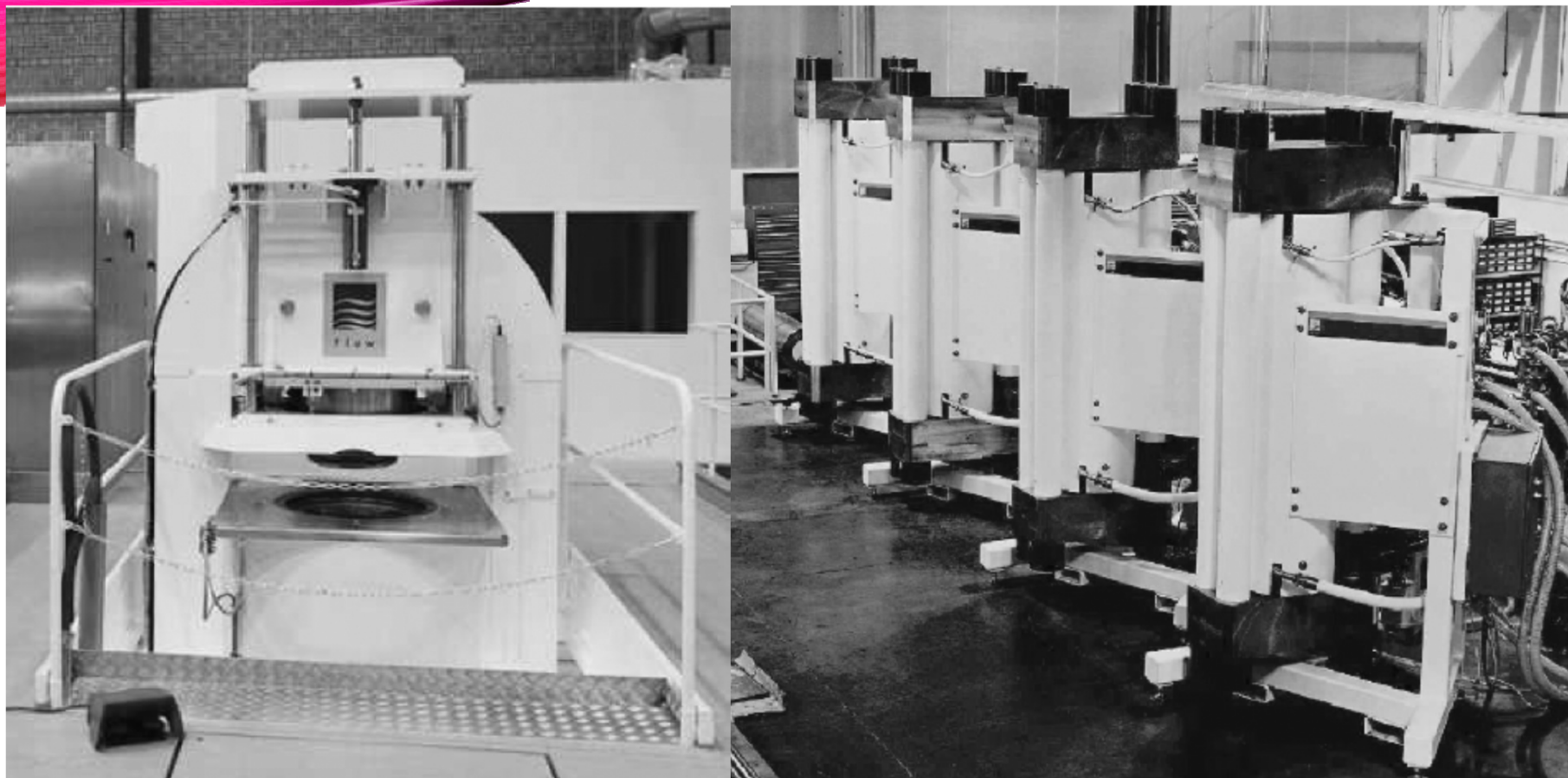
# PROCESSAMENTO A ALTA PRESSÃO

- Equipamentos

- ✓ Vaso de pressão

- \* Forças e ciclagem ruptura do material
    - \* Pré-tensionamento do material
    - \* Formato cilíndrico
    - \* Espessura da parede





Fonte: Novel Food Processing Technologies



# PROCESSAMENTO A ALTA PRESSÃO

- Aplicações

- ✓ Produtos cárneos

- \* Amaciar carne (100 a 150) MPa
    - \* Inativação de microrganismos
    - \* Embutidos, frios fatiados e produtos curados
    - \* Descoloração da carne



# PROCESSAMENTO A ALTA PRESSÃO

- Aplicações

- ✓ Leite e derivados

- \* Propriedades funcionais modificadas
    - \* Iogurte: textura, prevenção da acidificação pós-processo
    - \* Queijos: formação do coalho, microestrutura, maturação, pasteurização
    - \* Hidrolização da  $\beta$ -lactoglobulina para fórmulas infantis



# PROCESSAMENTO A ALTA PRESSÃO

- Aplicações

- ✓ Pescados

- \* Pasteurização de pescado cru
    - \* Produtos derivados de peixe
    - \* Pode induzir a oxidação de lipídios



# PROCESSAMENTO A ALTA PRESSÃO

- Aplicações

- ✓ Cereais

- \* Redução do potencial alergênico
    - \* Formação de géis
    - \* Modificação da hidratação
    - \* Descontaminação de produtos (massas e outros)
    - \* Aumento da digestibilidade da amilase



# PROCESSAMENTO A ALTA PRESSÃO

- Aplicações

- ✓ Frutas e Vegetais

- \* Branqueamento (depende do efeito nas enzimas e das condições)
    - \* Descontaminação de produtos frescos e minimamente processados
    - \* Pasteurização de sucos e purês
    - \* Pode causar ativação das enzimas



# PROCESSAMENTO A ALTA PRESSÃO

- Aplicações

- ✓ Géis

- \* Formação de géis por pressurização
    - \* Proteína de soja, clara e gema de ovo, amido, alginatos, pectina, etc
    - \* Géis mais macios e mais resistentes à ruptura
    - \* Melhora na digestibilidade



# PROCESSAMENTO A ALTA PRESSÃO

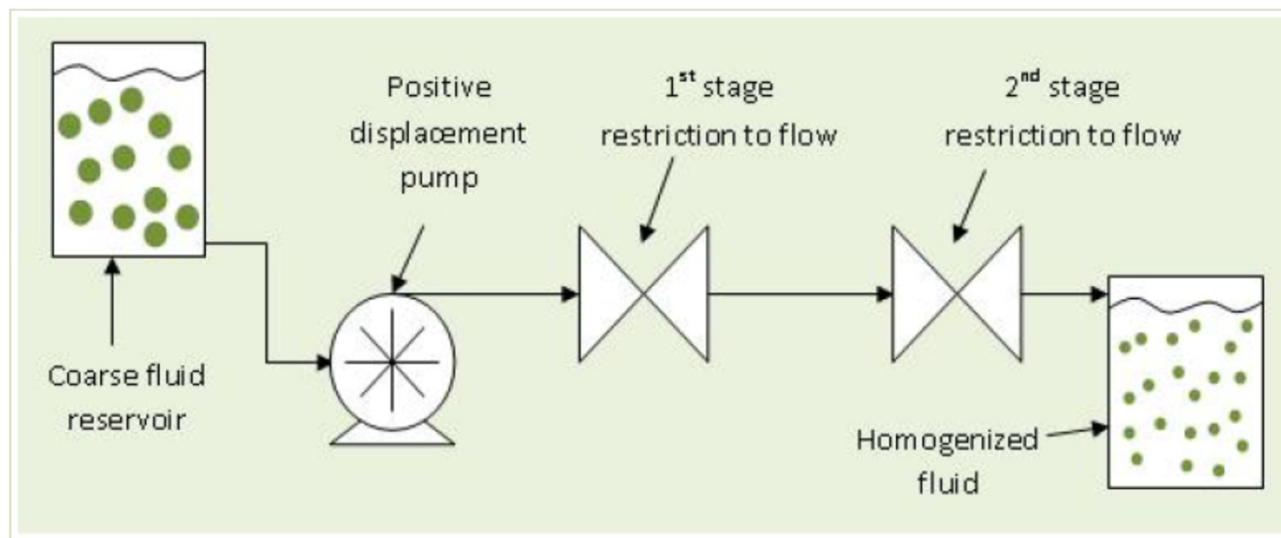
- Alta Pressão Dinâmica ou Homogeneização a Alta Pressão
  - ✓ Desenvolvido para o processamento de leite
  - ✓ Apenas para alimentos líquidos com poucos sólidos suspensos
  - ✓ Pressões de (50 a 400) Mpa
  - ✓ Processo mecânico





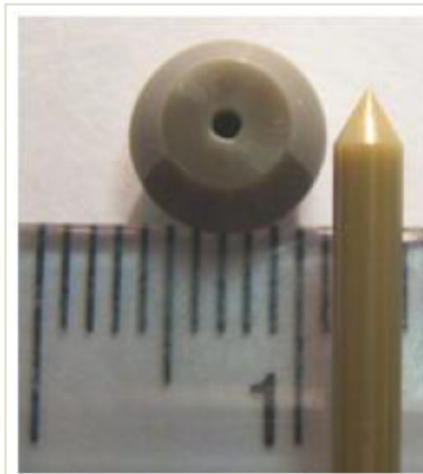
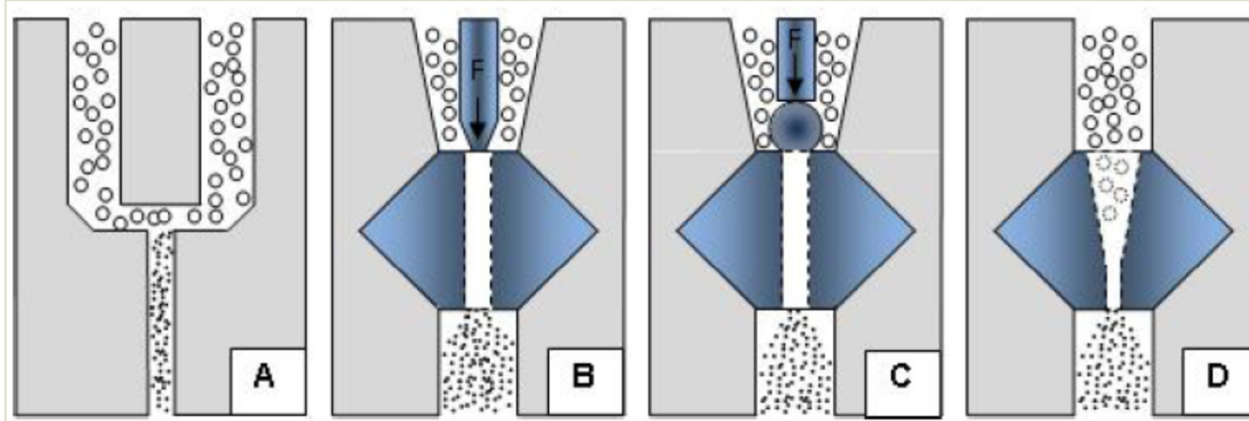
# PROCESSAMENTO A ALTA PRESSÃO

- Alta Pressão Dinâmica ou Homogeneização a Alta Pressão
  - ✓ Forçar a passagem do fluido por uma passagem estreita
  - ✓ Válvula ou bocal
  - ✓ Fenômenos reológicos: cavitação, atrito, alta taxa de cisalhamento e turbulência



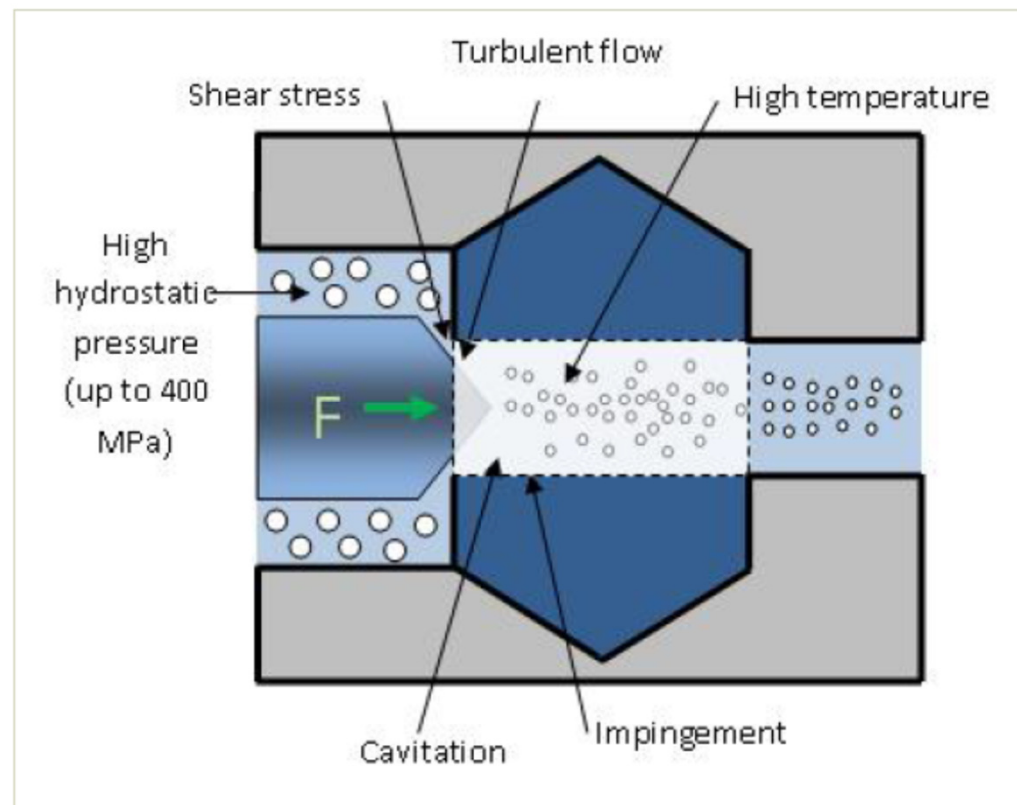
Fonte: <http://web.utk.edu/~fedehigh%20pressure%20homogenization.html>

**Figure 3.** Common high pressure homogenization valves: (A) microfluidics; (B) ceramic needle and seat; (C) ceramic ball and seat; (D) diamond, sapphire, or ruby nozzle (F refers to force exerted on the needle)



**Figure 4.** High pressure homogenization diamond nozzle and ceramic needle and seat valves

Fonte: <http://web.utk.edu/~fede/high%20pressure%20homogenization.html>

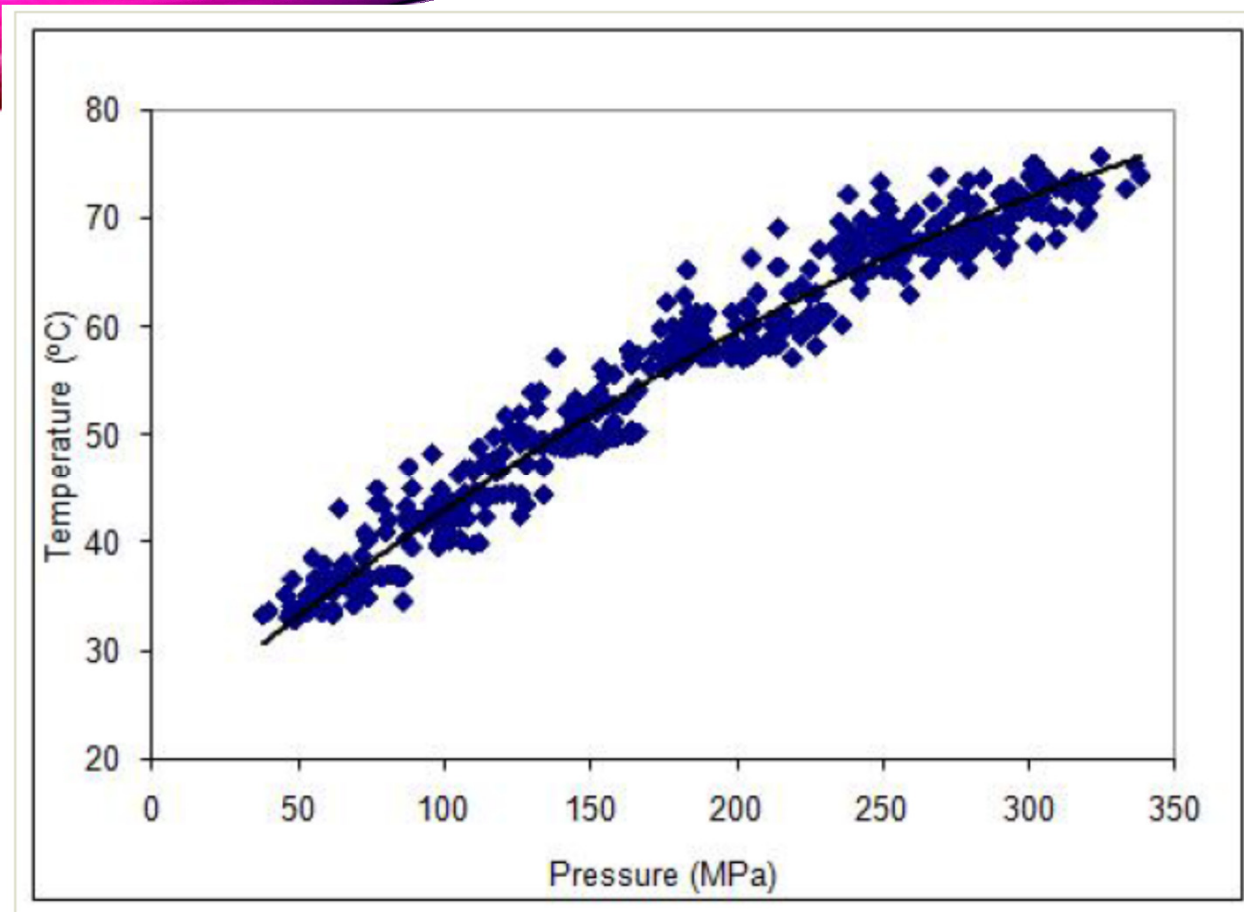


Fonte: <http://web.utk.edu/~fede/high%20pressure%20homogenization.html>



# PROCESSAMENTO A ALTA PRESSÃO

- Alta Pressão Dinâmica ou Homogeneização a Alta Pressão
  - ✓ Geração de calor por atrito e compressão
  - ✓ Temperatura aumento entre (17 a 21) °C para cada 100 MPa
  - ✓ Inativação Microbiana e Enzimática por efeito combinado de calor e pressão



Fonte: <http://web.utk.edu/~fede/high%20pressure%20homogenization.html>



# PROCESSAMENTO A ALTA PRESSÃO

- Alta Pressão Dinâmica ou Homogeneização a Alta Pressão
  - ✓ Maior estabilidade e vida de prateleira
  - ✓ Redução do tamanho de partículas em emulsões e suspensões
  - ✓ Viscosidade do fluido afeta o resultado do processo



# PROCESSAMENTO A ALTA PRESSÃO

- Aplicações

- ✓ Leite e Derivados

- \* Homogeneização do leite

- \* Redução dos glóbulos de gordura

- \* Modificação das micelas de caseína e da sua interação com a gordura



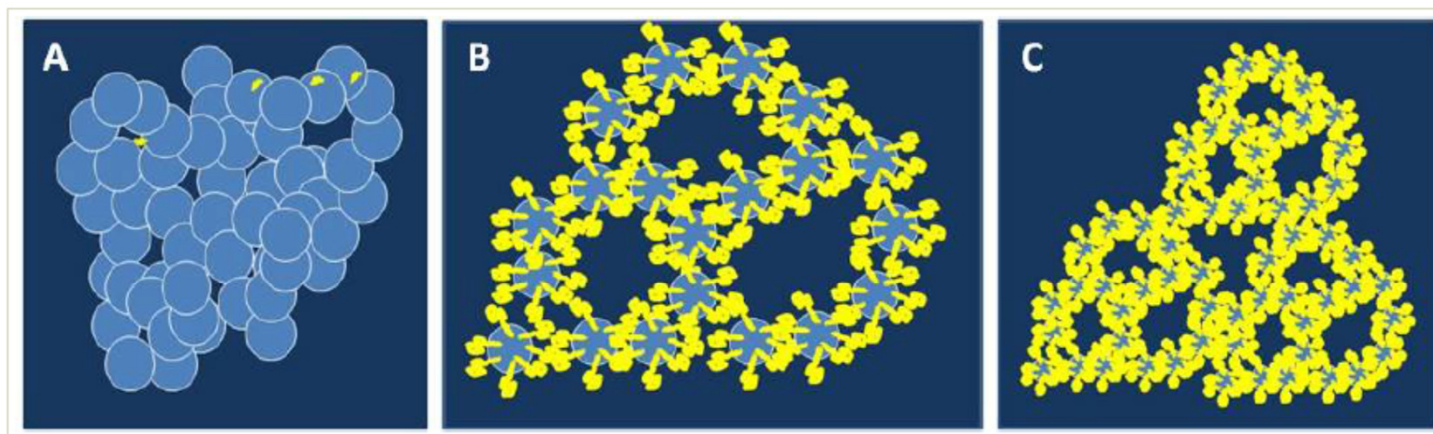


# PROCESSAMENTO A ALTA PRESSÃO

- Aplicações

- ✓ Leite e Derivados

- \* Queijos e iogurtes: redução da sinérese e melhor textura



**Figure 4.** Gel matrix in yogurts made from raw milk (A), thermally processed milk (B), and HPH + thermally processed milk (C). (Light blue: casein micelles; yellow: whey proteins)

Fonte: <http://web.utk.edu/~fede/high%20pressure%20homogenization.html>

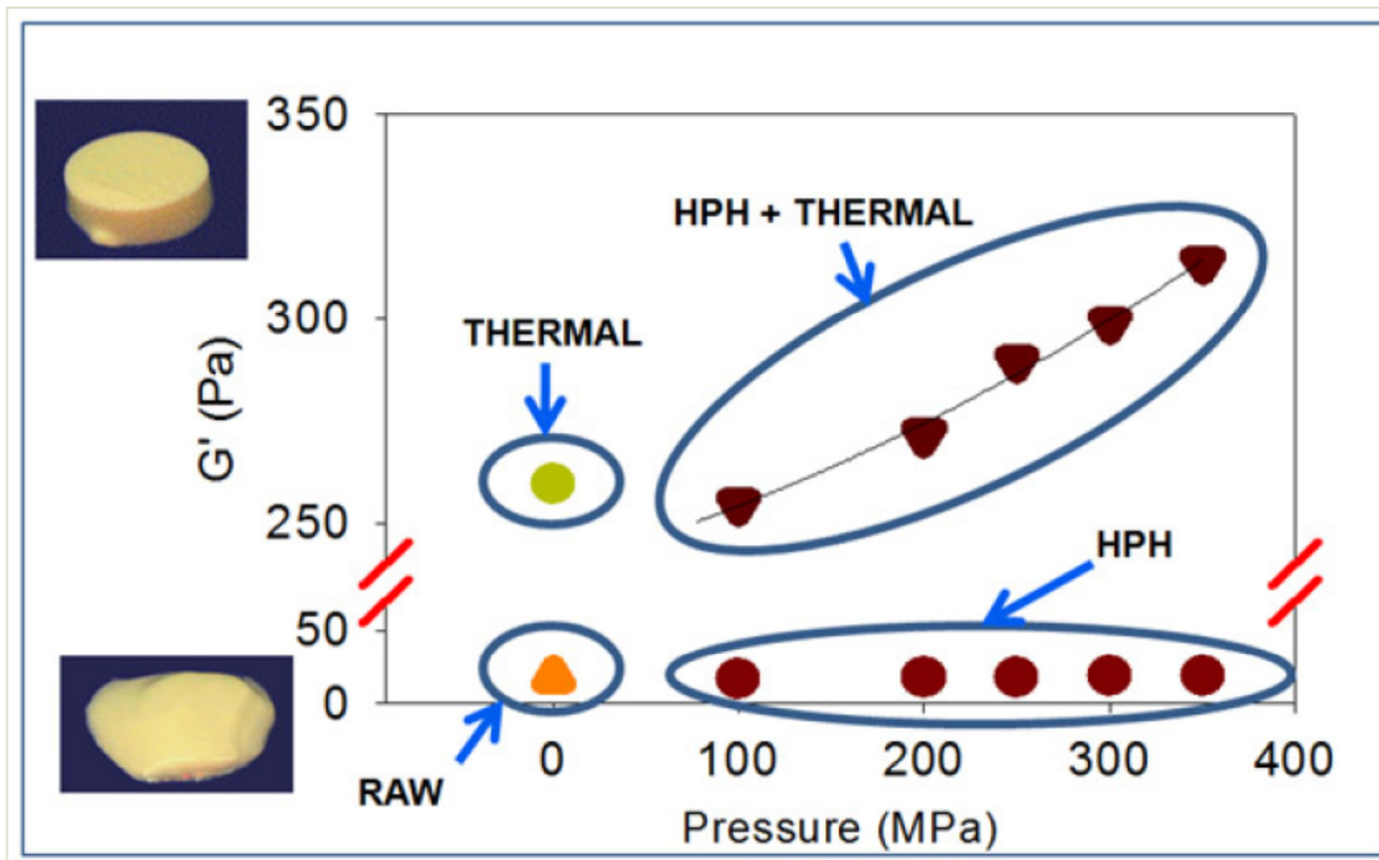
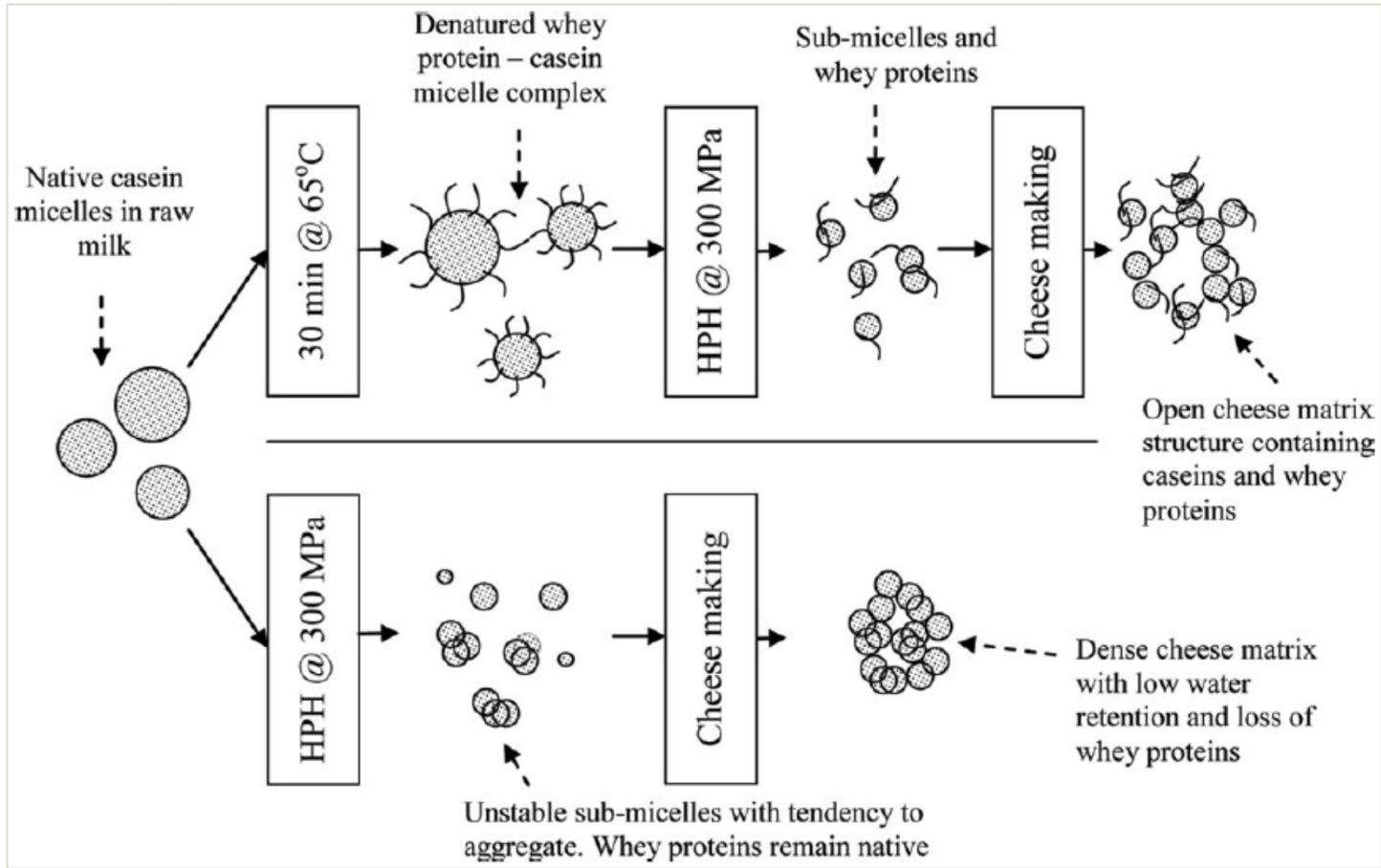
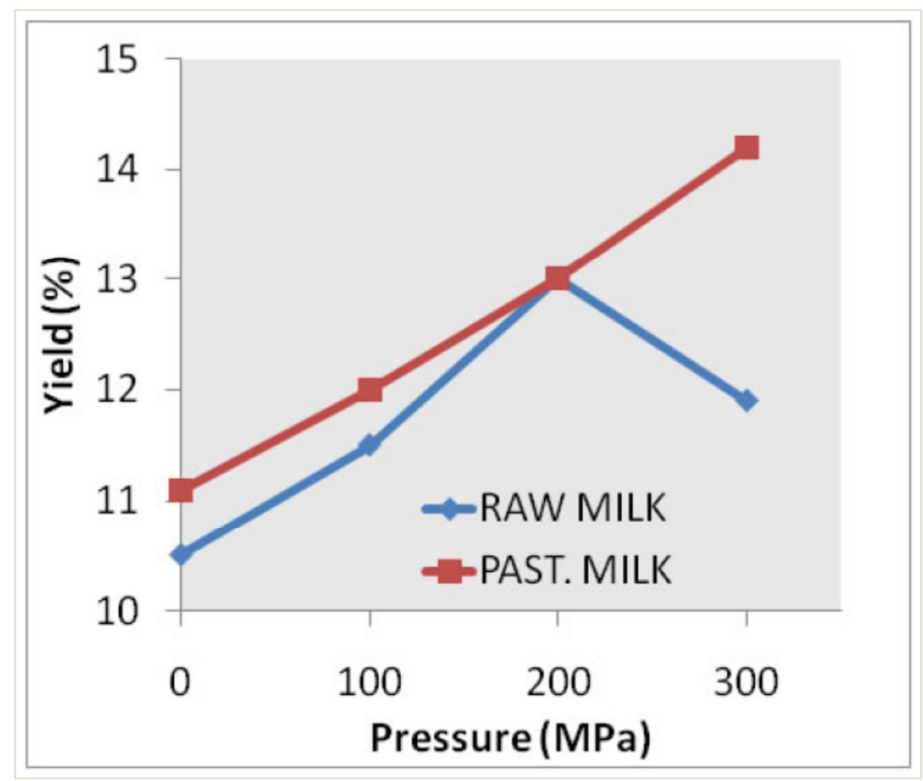
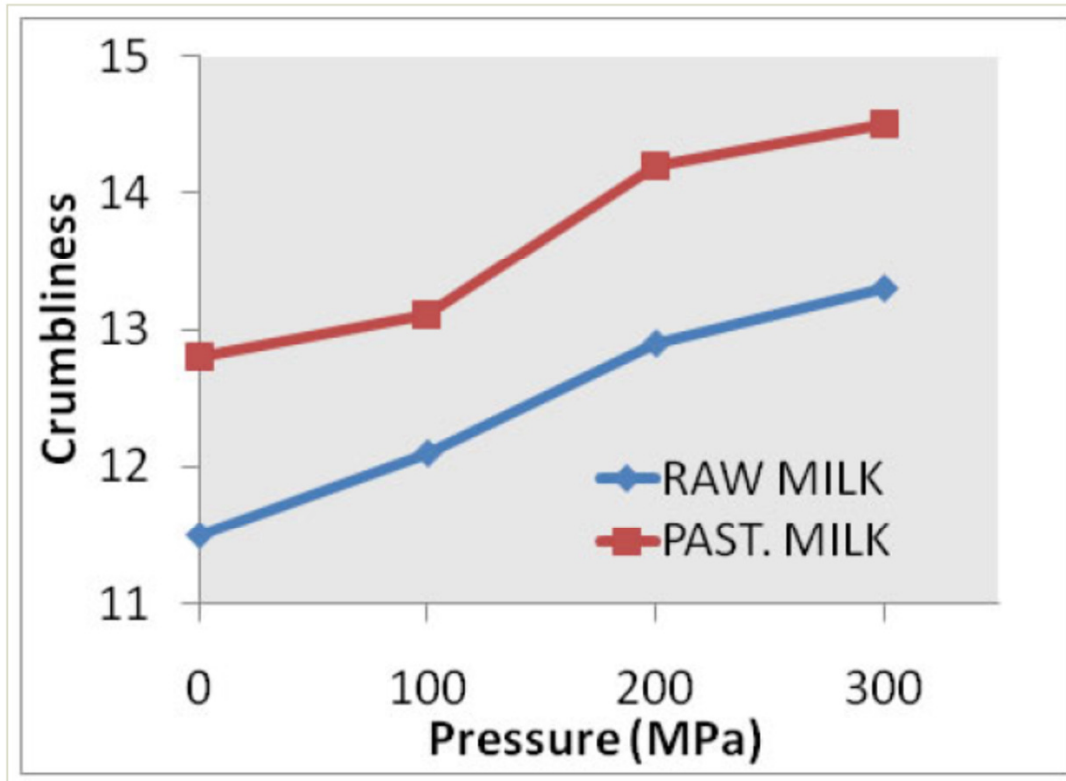


Figure 3. Elastic modulus ( $G'$ , Pa) of model yogurt made from raw milk processed using combinations of thermal processing and high pressure homogenization (source: Journal of Dairy Science 2008, 91(10):3761-3767)

Fonte: <http://web.utk.edu/~fede/high%20pressure%20homogenization.html>



Fonte: <http://web.utk.edu/~fede/high%20pressure%20homogenization.html>



Fonte: <http://web.utk.edu/~fede/high%20pressure%20homogenization.html>



# PROCESSAMENTO A ALTA PRESSÃO

- Aplicações

- ✓ Pasteurização de Alimentos Líquidos

- \* Sucos

- \* Mel

- \* Polpas de frutas



# PROCESSAMENTO A ALTA PRESSÃO

- Aplicações

- ✓ Emulsificação

- \* Maionese e molhos

- \* Sorvete

- \* Licores cremosos