

Câmaras de conservação

- Aspectos de dimensionamento -

Disciplina de Tecnologia Pós-colheita
Mestrado em Ciência e Tecnologia Pós-colheita
Faculdade de Ciências, Universidade do Porto

Domingos Almeida

Câmaras

- Câmaras de grande capacidade
 - Armazenamento de longa duração
 - Construídas
 - Atmosfera normal vs. atmosfera modificada

- Câmaras de pequena capacidade
 - Armazenamento de pequena rotação
 - Rotatividade
 - Montada com painéis pré-fabricados

Dimensões

- Em função da previsão de colheita ou de compra e da densidade de armazenamento
- Instalação dimensionada para armazenar o máximo previsto/ano
- Enchimento (carga): 6-10 dias
- Esvaziamento (descarga): 3-4 semanas
- Capacidades habituais: 100-400 t

Densidades de armazenamento

- Geral: 130-160 kg/m³

Maçã: 250 kg/m³

Pêra: 280-300 kg/m³

Pêssego: 220 kg/m³

- Volume desocupado (indicativo): 20% (até 40%)

Dimensões – valores indicativos

- Evitar dimensionar câmaras com $> 1500 \text{ m}^3$

- **Altura máxima:** ~8m (câmaras de grande capacidade)
 - ~10 m em sistemas com prateleiras (*racks*)
 - Altura max. de empilhamento sem *racks*: 5-6 m

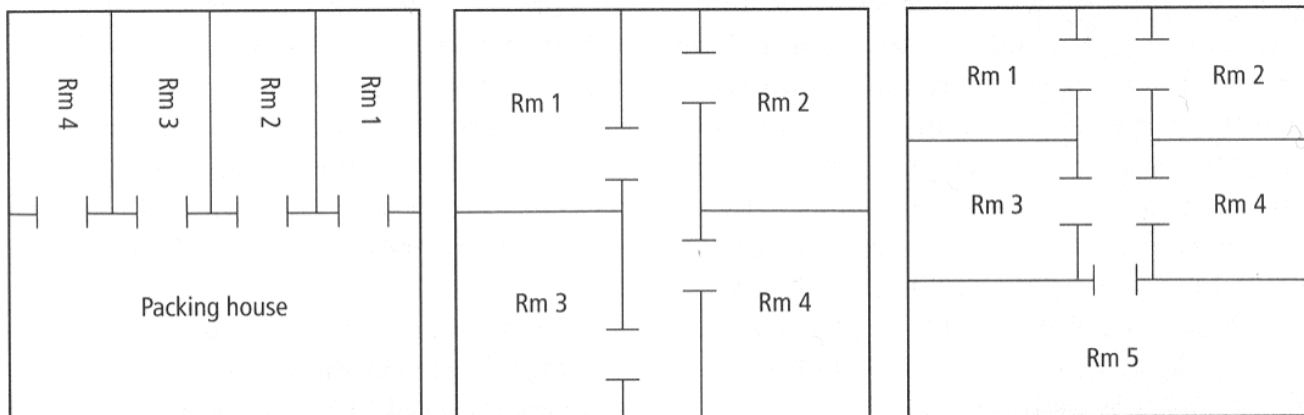
- (Altura mínima: ~6 m)

Dimensões – valores indicativos

- Geometria preferível da área coberta
 - Quadrado menor área de parede por m^2 de chão do que rectângulo.
 - Rectângulo: maior custo de construção e maiores ganhos de calor

Disposição das câmaras

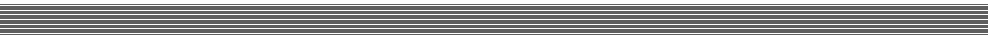
• Exemplos



• Princípios

- Portas abrem para corredor ou ante-câmara
- Fluxos de produto
- Área de corredor vs área de câmaras

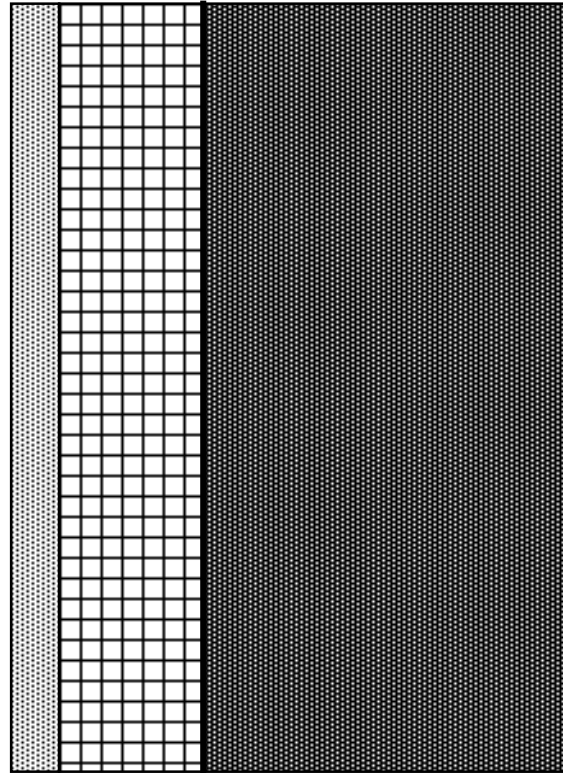
Isolamento



Constituição típica de uma parede de câmara construída

Barreira anti-vapor

Revestimento interior



Alvenaria
ou revestimento
do painel

Isolamento

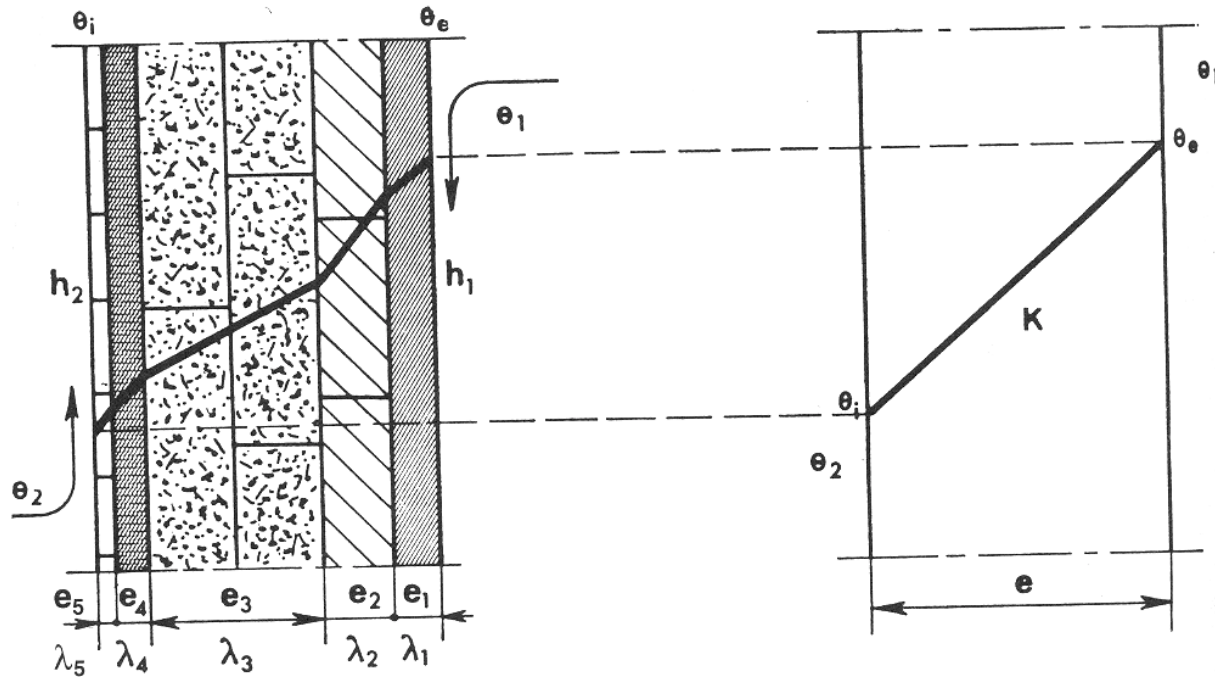
Condutividade térmica

- Quantidade de calor que é conduzida por unidade de tempo através de uma unidade de espessura de uma material se existir um gradiente de temperatura através dessa espessura.

$$\lambda \quad W / m / ^\circ C$$

Metais:	50-400 W/m/°C
Ligas:	10-120 W/m/°C
Água (a 20 °C):	0,597 W/m/°C
Ar (a 20 °C):	0,0251 W/m/°C
Materiais isolantes:	0,035-0,173 W/m/°C

Transmissão através de paredes



Transferência global de calor

Condução-convecção

$$q = UA(T_e - T_i)$$

- q , perda de calor (W)
- A , superfície exposta (m^2)
- U , coeficiente global transferência de calor ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot^\circ\text{C}^{-1}$)
- T_i , temperatura do ar interior ($^\circ\text{C}$)
- T_e , temperatura do ar exterior ($^\circ\text{C}$)

Transmissão de calor através das paredes

Coeficiente global de transmissão (W/m²/K)

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_e} + \frac{e_1}{\lambda_1} + \dots + \frac{e_n}{\lambda_n} + \frac{1}{h_i}}$$

Características de um bom isolante

- Baixa densidade
- Não higroscópico
- Não inflamável ou auto-extinguível
- Resistência à compressão
- Não reactivo com materiais de construção
- Imputrescível
- Inodoro

Materiais isolantes

Material	Densidade (kg/m ³)	Coef. condutividade térmica (W/m/°C)
Fibra de vidro ou lã de vidro	22	0,035
	29	0,032
Poliestireno expandido	16	0,040
	20	0,038
	25	0,038
Poliuretano	30-40	0,016-0,019 (novo)
		0,024 (velho)

Espessura do isolamento

- **Objectivo:**
 - **Equilíbrio entre:**
 - Custo inicial (investimento)
 - Custos de operação
- **Manter a transmissão global de calor entre**
 - $0,3 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$ ($R = 3,5 \text{ m}^2.\text{K.W}^{-1}$)
 - $0,14 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$ ($R = 7 \text{ m}^2.\text{K.W}^{-1}$)
- **Isolamento do tecto**
 - $0,094 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$ ($R = 10,6 \text{ m}^2.\text{K.W}^{-1}$)

Cálculo da espessura do isolamento

Coeficiente de transmissão global (W/m²/°C)

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_e} + \frac{e_1}{\lambda_1} + \dots + \frac{e_n}{\lambda_n} + \frac{1}{h_i}}$$

Coeficiente de transmissão térmica da parede exterior: $h_e = 20$ W/m²/°C

Coeficiente de transmissão térmica da parede interior : $h_i = 10$ W/m²/°C

Valor de U normalmente assumido: 0,3 W/m²/°C

Fórmula expedita

$$U = \frac{\lambda}{e} \Leftrightarrow e = \frac{\lambda}{U}$$

Exercício

Calcule a espessura de um isolamento de poliestireno expandido encostado a uma parede de betão de 25 cm de espessura assumindo um valor de $U=0,3 \text{ W/m}^2/\text{°C}$.

Condutividade poliestireno: $0,03 \text{ W/m}^2/\text{°C}$

Condutividade betão: $1 \text{ W/m}^2/\text{°C}$

$$0,3 = \frac{1}{\frac{1}{20} + \frac{0,25}{1} + \frac{x}{0,03} + \frac{1}{10}}$$

$$x = 0,088m$$

Barreira anti-vapor

- **A eficácia do isolamento depende da barreira anti-vapor**
- Reduzir as trocas gasosas com o exterior
- Diminuir a pressão parcial de vapor de água que chega ao isolamento
- Não deve permitir transferência de água superior a $1-2 \text{ g/m}^2/24\text{h}$

- **Materiais**
 - Chapas de aço
 - Lâminas de alumínio
 - Polietileno
 - Emulsões betuminosas

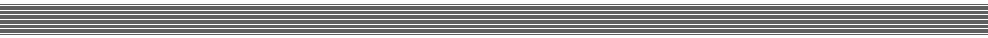
Câmaras de AC

- Paineis de poliuretano 35-40 kg.m⁻³ recobertas de cada lado com chapa de aço tratada e lacada
- Juntas seladas hermeticamente
- Portas
 - Estanques, fecho hermético
- Sistemas de equilíbrio da pressão
 - Válvulas equilibradoras de pressão
 - Sacos de compensação

Medição da hermiticidade

- Submeter a câmara a sobrepressão ou depressão de 20 mm H₂O
- Não deve re-equilibrar a pressão em menos de 1 h

Estiva



Estiva

- Favorecer uma circulação metódica do ar na carga armazenada para:
 - Arrefecimento rápido (no caso do arrefecimento em câmara)
 - Assegurar a homogeneidade da temperatura na câmara
 - Armazenamento de longa duração: diferença máxima 1 °C
 - Armazenamento de curta duração
- Fácil remoção do etileno das embalagens

Princípios de uma boa estiva

Armazenamento de longa duração

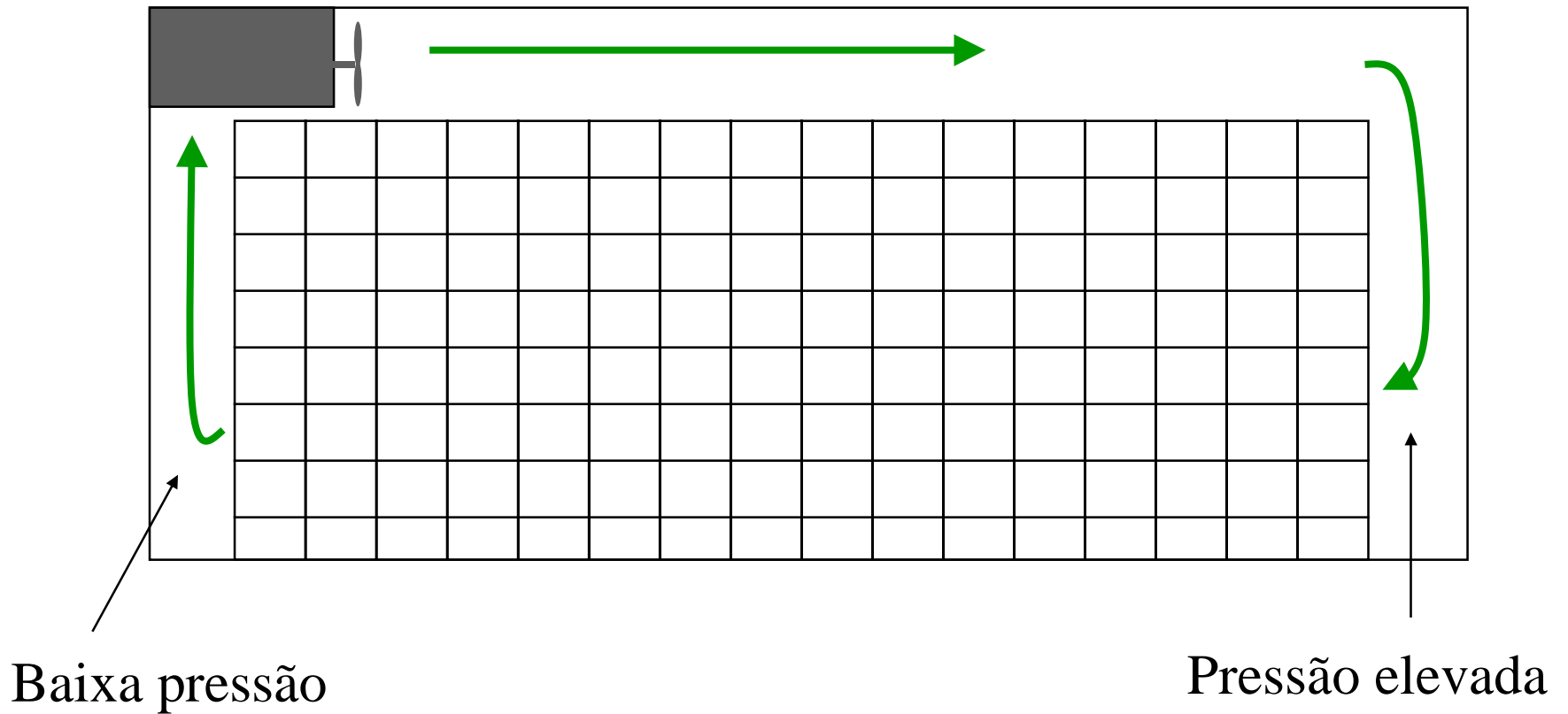
- Se não houver pré-arrefecimento, não ultrapassar a carga diária prevista no dimensionamento
- As aberturas nas paletes ficam orientadas na direcção paralela à circulação do ar
- Volume livre: 10-20% do volume total da câmara
- Circulação do ar
 - Velocidade à saída do evaporador: 2-5 m/s
 - Velocidade de contacto com os produtos em arrefecimento: 0,3-0,5 m/s
 - Velocidade de contacto com os produtos em armazenamento: 0,05-0,2 m/s

Distâncias a respeitar (indicativas)

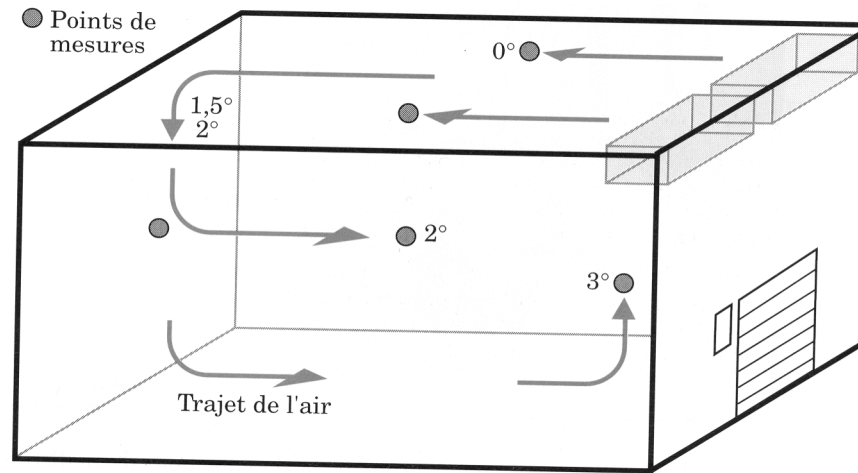
Armazenamento de longa duração

Distâncias entre a carga e	Distância (m)
Parede oposta ao evaporador	0,50 – 0,80
Parede do lado do evaporador	0,50
Paredes laterais	0,20-0,40
Tecto	0,80-1,00

Representação esquemática das zonas de sobrepressão e de depressão



Colocação dos sensores de temperatura



- **Mínimo**

- Um sensor à entrada dos evaporadores
- Um sensor à saída dos evaporadores