



Universidade Federal do Paraná
Setor de Tecnologia
Departamento de Engenharia Mecânica

REFRIGERAÇÃO

TM-182 REFRIGERAÇÃO E CLIMATIZAÇÃO

Prof. Dr. Rudmar Serafim Matos



12. ISOLAMENTO TÉRMICO

Isolantes são materiais de baixo coeficiente de condutividade, que tem por finalidade, reduzir as trocas térmicas indesejáveis e manter a temperatura da parede externa do recinto isolada (lado quente), próxima à do ambiente, a fim de evitar problemas de condensação.

Um bom isolante deve apresentar as seguintes qualidades:

- **ter baixa condutividade térmica;**
- **ter boa resistência mecânica;**
- **não sofrer fisicamente influência da temperatura em que é aplicado;**
- **não ser combustível;**
- **ser imputrecível;**
- **ter baixa permeabilidade ao vapor d'água;**
- **ter baixo custo.**

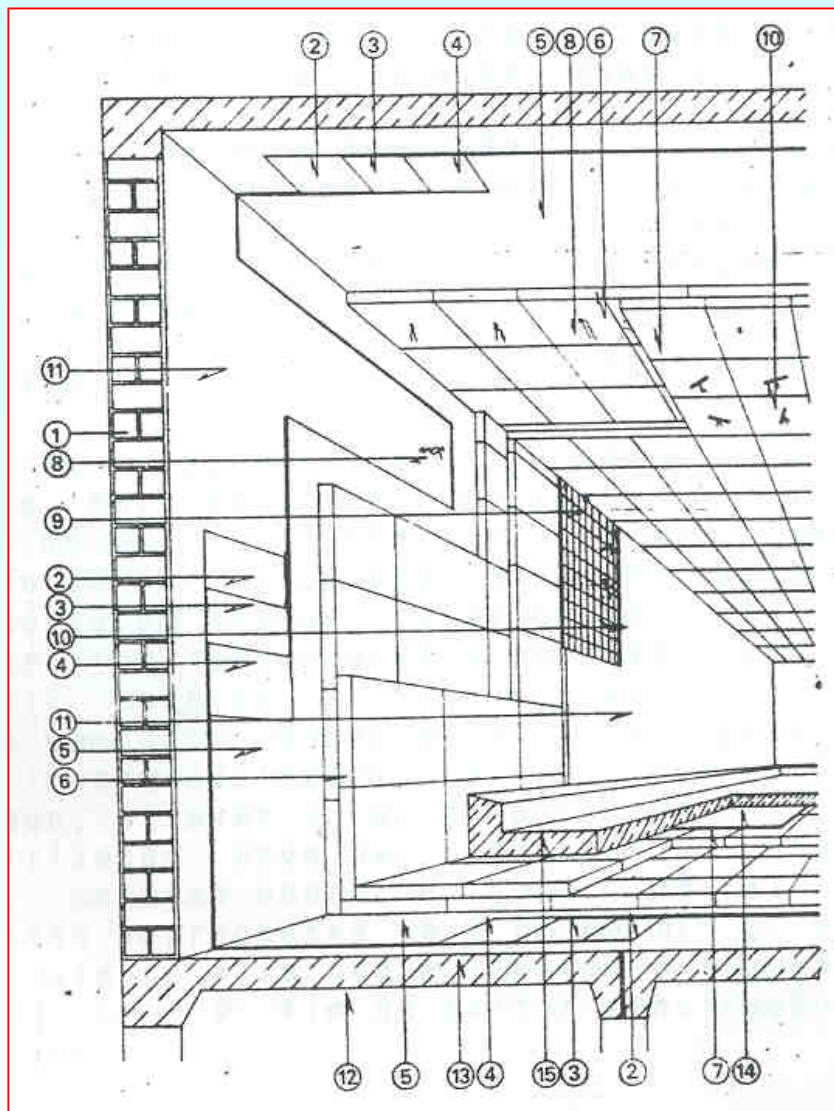
12. ISOLAMENTO TÉRMICO

Os materiais usados como isolantes são:

- **fibra de madeira aglomerada;**
- **cortiça;**
- **lã de vidro;**
- **lã de rocha;**
- **concreto celular;**
- **espuma de borracha;**
- **poliestireno expandido (Isopor, Styropor);**
- **espumas de poliuretano;**
- **espaço livre entre paredes.**

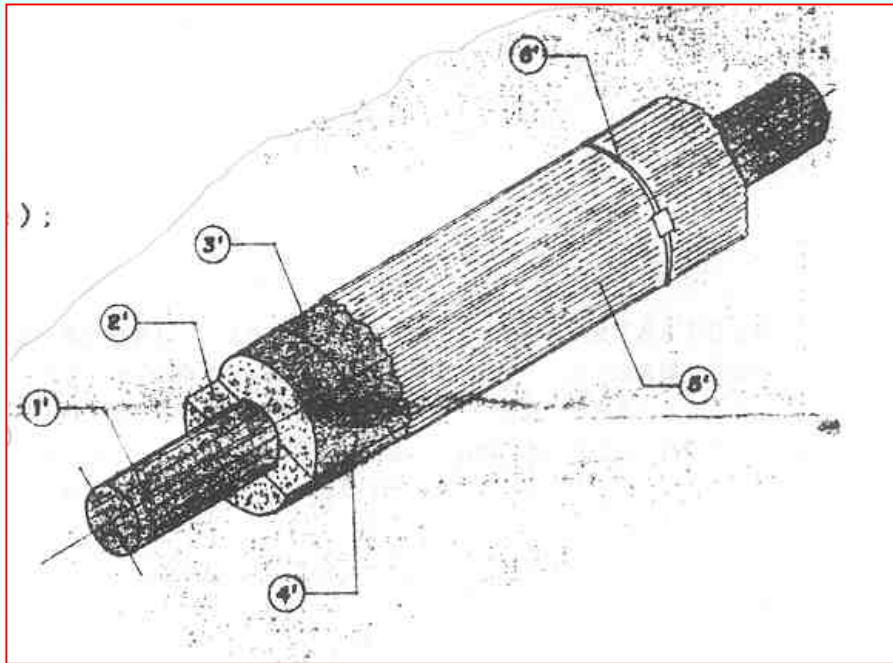
12. ISOLAMENTO TÉRMICO

ISOLAMENTO DE UMA CÂMARA FRIGORÍFICA

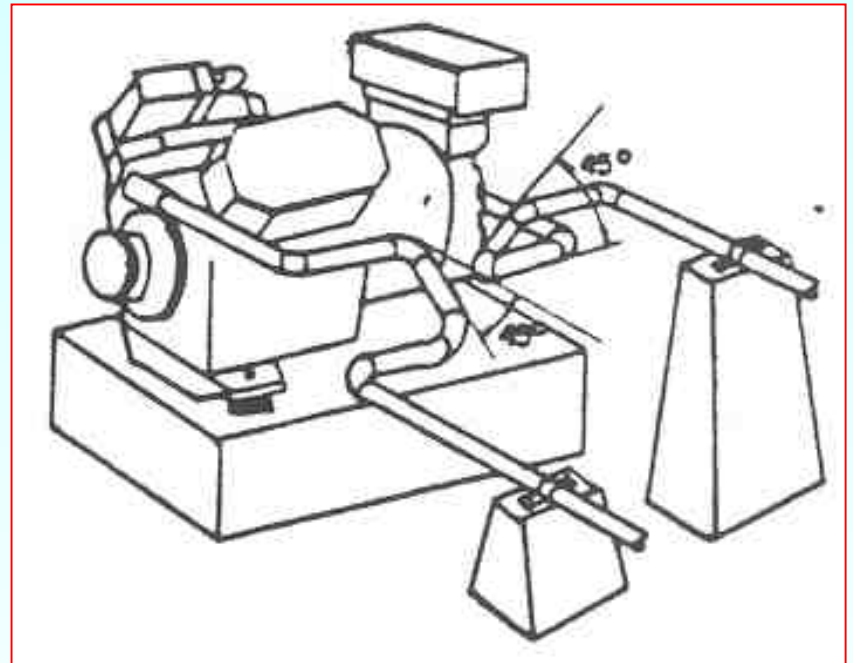


CÂMARA FRIGORÍFICA
MODULADA

12. ISOLAMENTO TÉRMICO



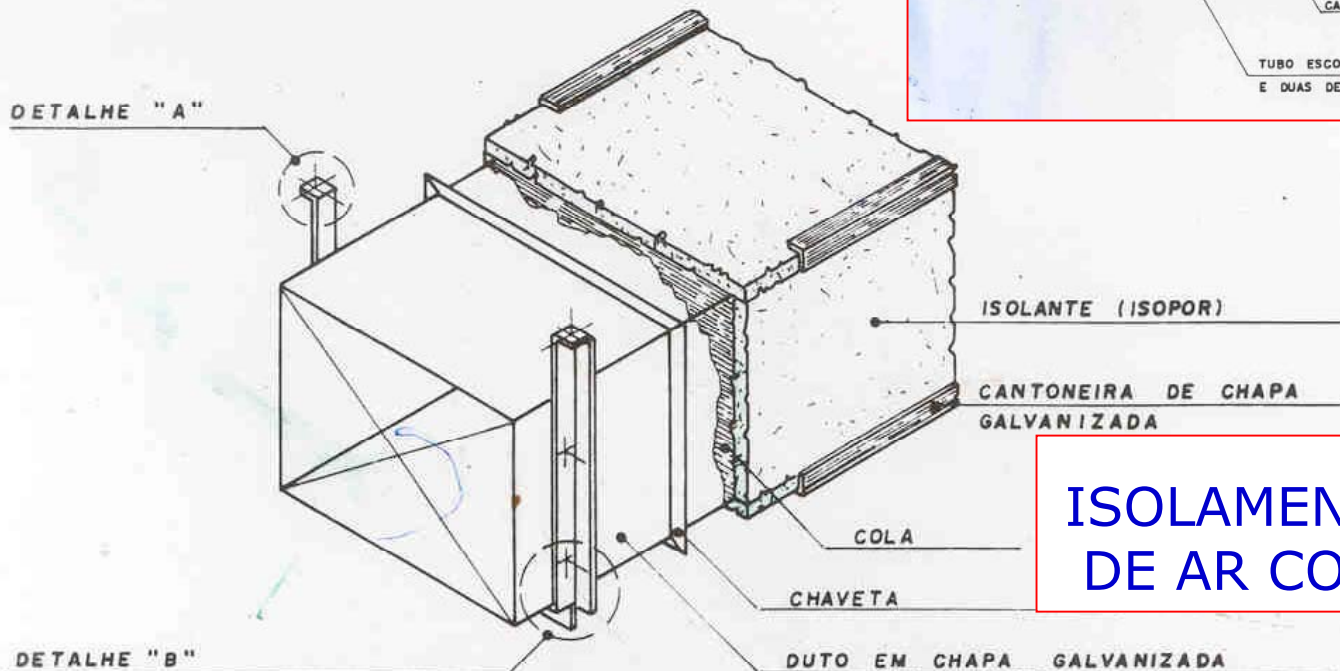
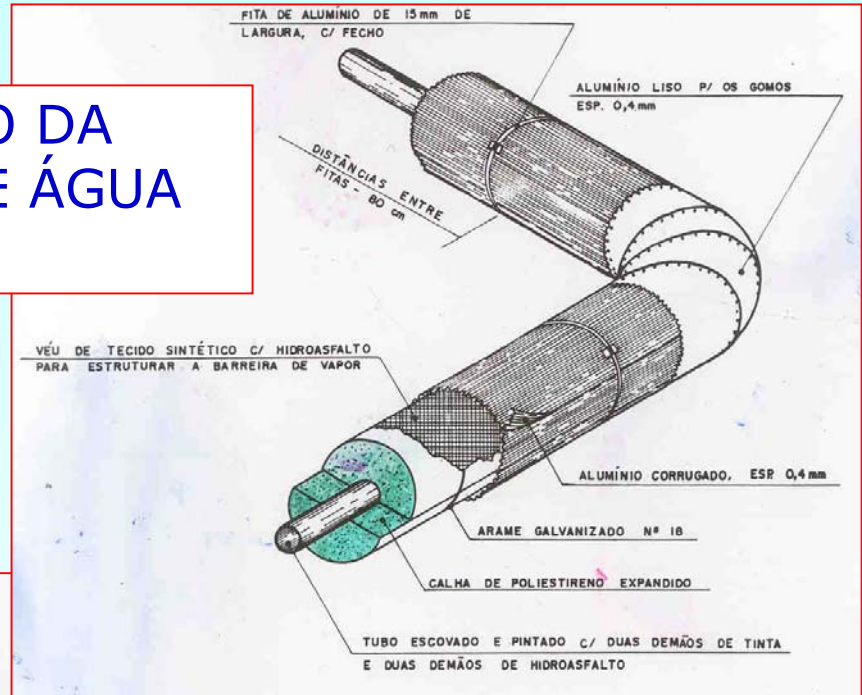
LINHA DE SUCÇÃO



ISOLAMENTO ACÚSTICO
E ANTIVIBRATÓRIO DAS
TUBULAÇÕES

12. ISOLAMENTO TÉRMICO

ISOLAMENTO DA TUBULAÇÃO DE ÁGUA GELADA



ISOLAMENTO DE DUTOS DE AR CONDICIONADO

12. ISOLAMENTO TÉRMICO

ESPESSURA DO ISOLAMENTO

onde,

$\dot{Q}$	taxa de transferência de calor, W
t_e	temperatura externa, °C
t_i	temperatura interna, °C
Δt_{ins}	diferencial de temperatura devido à insolação
ΣR	soma das resistências térmicas
R	resistência térmica, °C/W
a	coeficiente de filme do ar, W/m ² °C
k	coeficiente de condutividade térmica, W/m°C
e	espessura da parede ou do isolamento, m
A	área de troca térmica, m ²
l	comprimento do cilindro, m
r_1	raio interno do isolamento, m
r_2	raio externo do isolamento, m

$$\dot{Q} = \frac{t_e - t_i + \Delta t_{ins}}{\Sigma R}$$

• para o ar:

$$R = \sum \frac{1}{\alpha A}$$

• superfície plana:

$$R = \sum \frac{e}{k A}$$

• superfície cilíndrica:

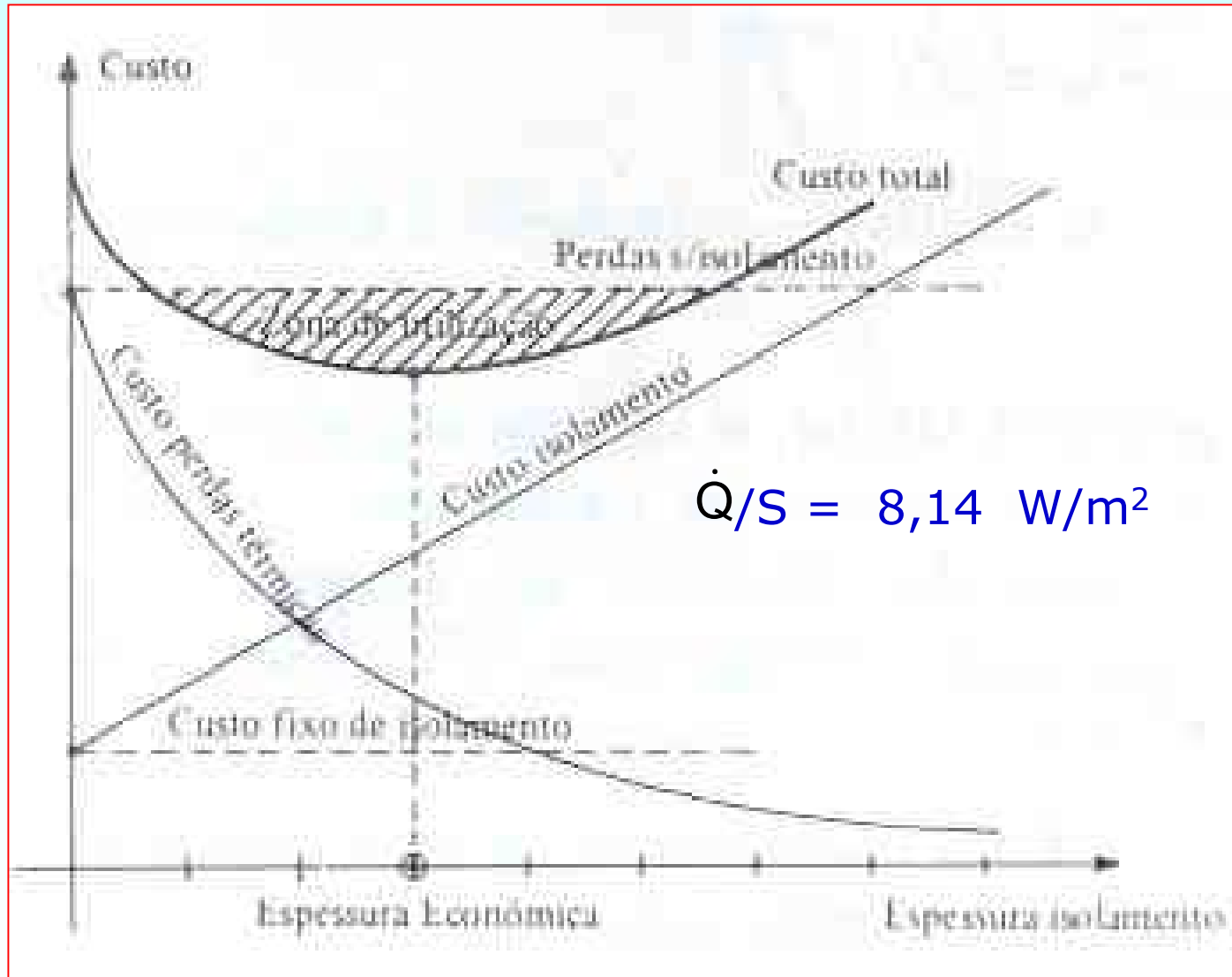
$$R = \frac{1}{2 \pi k l} \ln \frac{r_2}{r_1}$$

• superfície esférica:

$$R = \frac{1}{4 \pi k l} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$$

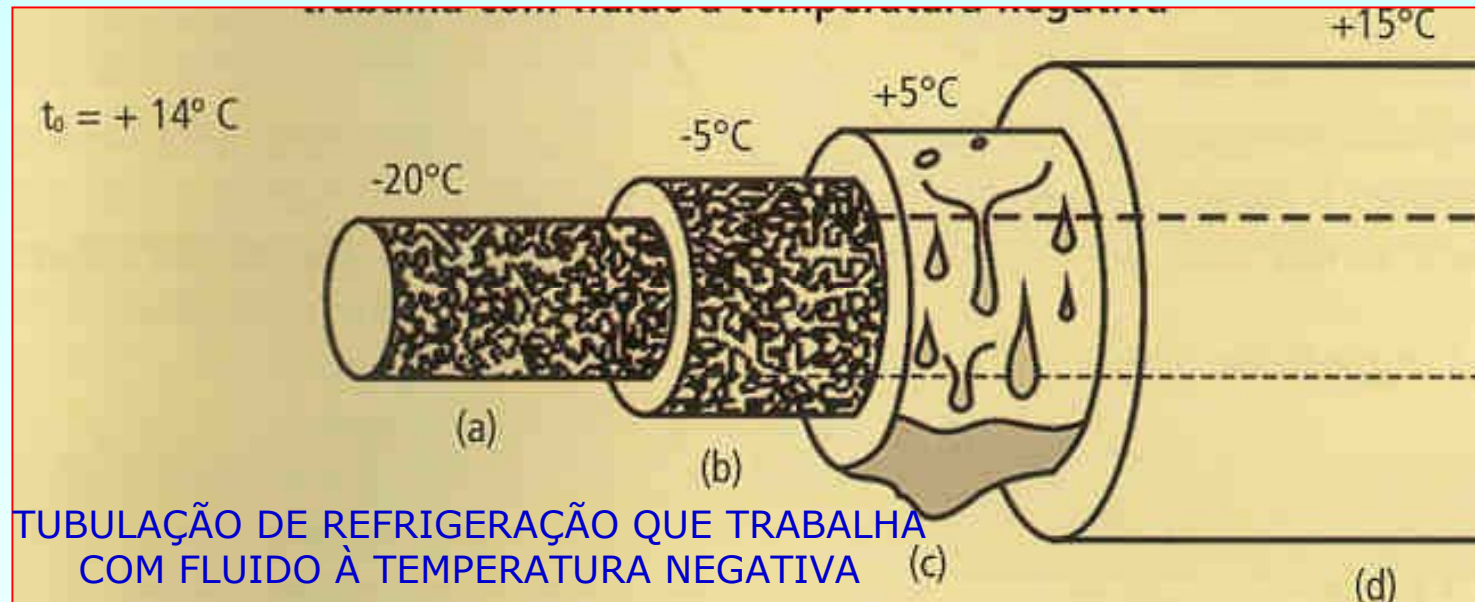
12. ISOLAMENTO TÉRMICO

ESPESSURA ECONÔMICA DO ISOLAMENTO



12. ISOLAMENTO TÉRMICO

CONDENSAÇÃO SUPERFICIAL



Fatores de penetração de umidade nos isolantes:

- permeabilidade do vapor d'água;
- ação higroscópica do material;

Problemas:

- umidade excessiva no ar e paredes;
- umidade dos materiais;
- aumento do (k);
- oxidação;
- variação de dimensões;
- destruição mecânica;
- apodrecimento.

12. ISOLAMENTO TÉRMICO

CONDENSAÇÃO SUPERFICIAL

$$\dot{G} = \frac{\Delta p}{\sum R_v}$$

onde

$\dot{G}$

taxa de transferência de vapor, g/h

Δp

diferencial de pressão, kPa

$\sum R_v$

soma das resistências à condução de vapor

- superfície plana:

$$R_v = \frac{e}{\mu A}$$

R_v

resistência à difusão do vapor de água, kPa h/g

μ

permeabilidade ao vapor de água, g/m h kPa

l

comprimento do cilindro, m

- superfície cilíndrica:

$$R_v = \frac{1}{2 \pi \mu l} \ln \frac{r_2}{r_1}$$

r_1

raio interno do isolamento, m

r_2

raio externo do isolamento, m

A

área da seção, m²

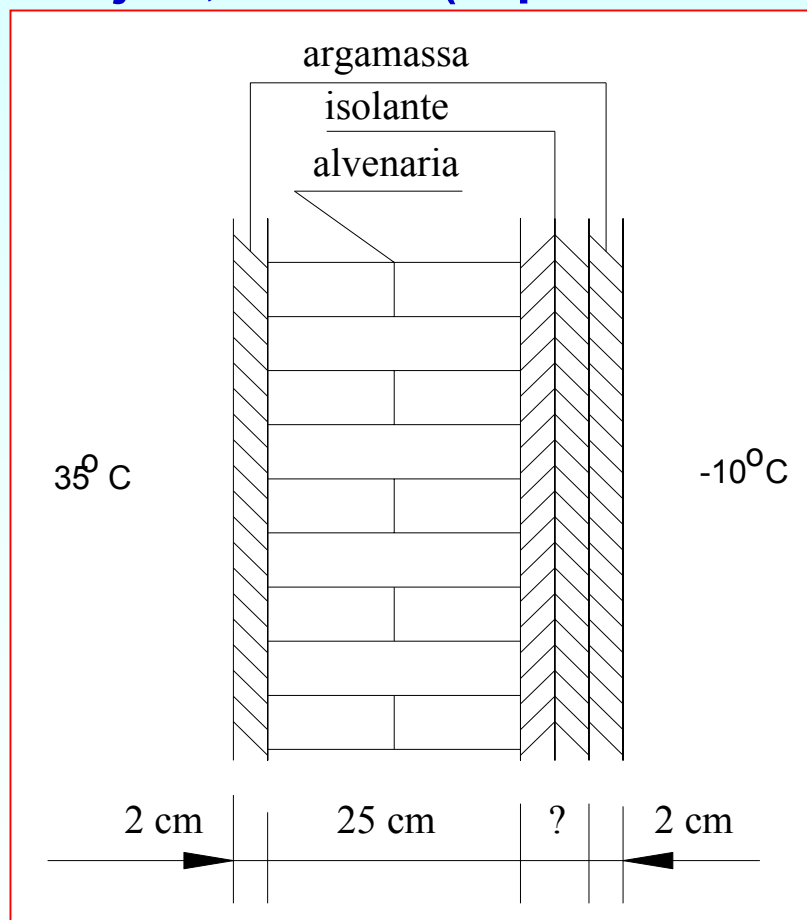
- superfície esférica:

$$R_v = \frac{1}{4 \pi \mu} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$$

12. ISOLAMENTO TÉRMICO

12.9 EXEMPLOS ILUSTRATIVOS

EXEMPLO 12.9.1: Calcule a espessura do isolante (Styropor) de uma parede clara e face oeste (fig. 148), para que o fluxo de calor por unidade de área seja $8,13 \text{ W/m}^2$ (espessura econômica).



12. ISOLAMENTO TÉRMICO

EXEMPLO 12.9.1:

SOLUÇÃO

conhecendo-se:

$$\alpha_i = 17,45 \text{ W/ m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\alpha_e = 34,89 \text{ W/ m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$k_1 = 1,28 \text{ W/m}^\circ\text{C}$$

$$k_2 = 1,165 \text{ W/m}^\circ\text{C}$$

$$k_3 = 0,034 \text{ W/m}^\circ\text{C}$$

$$k_4 = 1,28 \text{ W/m}^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_{\text{ins}} = 2 \text{ (TABELA 13)}$$

$$\frac{\dot{Q}}{A} = \frac{t_e - t_i + \Delta t_{\text{ins}}}{\sum R}$$

onde:

$$\sum R = \frac{1}{\alpha_i} + \frac{e_1}{k_1} + \frac{e_2}{k_2} + \frac{e_3}{k_3} + \frac{e_4}{k_4} + \frac{1}{\alpha_e}$$

$$8,13 = \frac{(35 - (-10) + 2)}{\frac{1}{34,89} + \frac{0,02}{1,28} + \frac{0,25}{1,165} + \frac{e_3}{0,034} + \frac{0,02}{1,28} + \frac{1}{17,45}}$$

$$e_3 = 0,185 \text{ m}$$

12. ISOLAMENTO TÉRMICO

12.9 EXEMPLOS ILUSTRATIVOS

EXEMPLO 12.9.2: Verificar a possibilidade de condensação no interior de uma parede de um frigorífico (fig. 149), constituída de: 30 cm de tijolos maciços isolada internamente com 15 cm de poliestireno expandido de 20 kgf/m³, quando sujeita às condições abaixo:

Externas:

$$t_1 = 30^{\circ}\text{C}$$

$$\phi_1 = 85 \%$$

$$\mu_A = 0,165 \text{ g/ m h kPa}$$

$$k_A = 0,977 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Considerar } S = 1 \text{ m}^2 \text{ e } \alpha_1 = \alpha_2 = 8,14 \text{ W/ m}^2\text{ }^{\circ}\text{C}$$

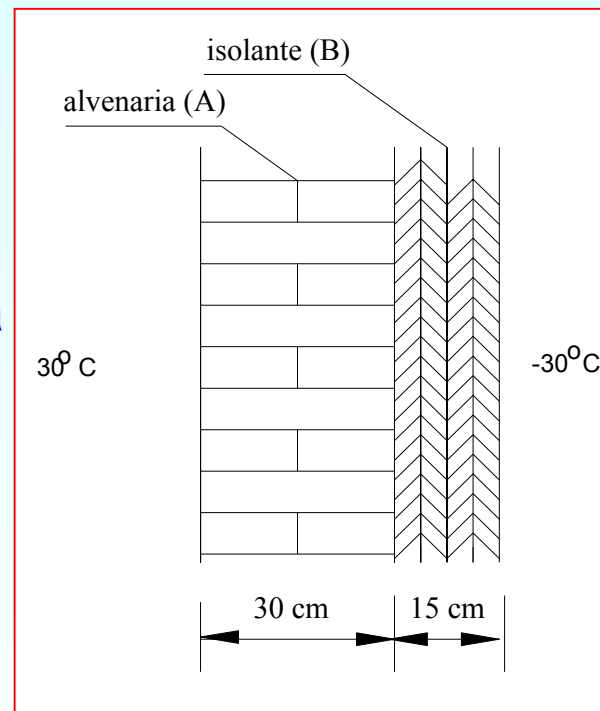
Internas:

$$t_2 = -30^{\circ}\text{C}$$

$$\phi_2 = 90 \%$$

$$\mu_B = 0,0075 \text{ g/m h kPa}$$

$$k_B = 0,035 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$$



12. ISOLAMENTO TÉRMICO

EXEMPLO 12.9.2:

SOLUÇÃO

✓ a) taxa de transferência de calor, Q:

$$\dot{Q} = \frac{t_e - t_i + \Delta t_{\text{ins}}}{\sum R}$$

$$\dot{Q} = \frac{(30 - (-30) + 0)}{\frac{1}{8,14 \times 1} + \frac{0,30}{0,977 \times 1} + \frac{0,15}{0,035 \times 1} + \frac{1}{8,14 \times 1}} = 12,4 \text{ W}$$

✓ b) cálculo das temperaturas:

$$\dot{Q} = \frac{\Delta t_x}{R_x} \quad 12,4 = \frac{30 - t_{1A}}{\frac{1}{8,14}}$$

onde:

$$t_{1A} = 28,48^\circ \text{C}$$

$$12,4 = \frac{30 - t_{AB}}{\frac{1}{8,14} + \frac{0,3}{0,977}}$$

$$t_{AB} = 24,67^\circ \text{C}$$

$$12,4 = \frac{t_{B2} - (-30)}{\frac{1}{8,14}}$$

$$t_{B2} = -28,48^\circ \text{C}$$

12. ISOLAMENTO TÉRMICO

EXEMPLO 12.9.2:

SOLUÇÃO

- ✓c) determinação das pressões de saturação:
onde da tabela de propriedades do ar úmido:

$$t_1 = 30^\circ \text{C} \therefore p_{s1} = 4,2462 \text{ kPa}$$

$$t_{1A} = 28,48^\circ \text{C} \therefore p_{s1A} = 3,8908 \text{ kPa}$$

$$t_{B2} = -28,48^\circ \text{C} \therefore p_{sB2} = 0,0445 \text{ kPa}$$

$$t_{AB} = 24,67^\circ \text{C} \therefore p_{sAB} = 3,1085 \text{ kPa}$$

$$t_2 = -30^\circ \text{C} \therefore p_{s2} = 0,03802 \text{ kPa}$$

- ✓d) determinação das pressões de vapor:

$$\phi = \frac{p_v}{p_s}$$

$$0,85 = \frac{p_{v1}}{4,2462}$$

$$p_{v1} = 3,6093 \text{ kPa}$$

$$0,90 = \frac{p_{v2}}{0,03802}$$

$$p_{v2} = 0,0342 \text{ kPa}$$

12. ISOLAMENTO TÉRMICO

EXEMPLO 12.9.2:

SOLUÇÃO

da taxa de transferência de vapor, G:

$$\dot{G} = \frac{\Delta p}{\sum R_v}$$

$$R_v = \frac{e}{\mu A}$$

$$\dot{G} = \frac{3,6093 - 0,0342}{\frac{0,3}{0,165 \times 1} + \frac{0,15}{0,0075 \times 1}} = 0,164 \text{ g/h}$$

$$0,164 = \frac{3,6093 - p_{vAB}}{0,3}$$

$$0,165$$

$$p_{vAB} = 3,3 \text{ kPa} > p_{sAB} = 3,11 \text{ kPa}$$

