

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.

Os isolantes são normalmente materiais porosos, cuja elevada resistência térmica se deve à baixa condutividade de ar contido em seus vazios. Na parte sólida e vazia a transferência de calor se dá por condução, no entanto, na parte vazia, devido à imobilidade do ar e do princípio das placas intermediárias, tanto a convecção como a irradiação é desprezível. Assim, quanto menor a densidade e maior o número de poros, maior o poder de isolamento.

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.

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.

12.1 CÁLCULO DA ESPESSURA DO ISOLAMENTO

A espessura do isolamento, a adotar numa instalação frigorífica, é calculada através da expressão a seguir:

$$\dot{Q} = \frac{t_e - t_i + \Delta t_{ins}}{\sum R} \quad (60)$$

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
- $\sum R$ soma das resistências térmicas

A resistência térmica, R é dada por:

- para o ar:

$$R = \sum \frac{1}{\alpha A} \quad (61)$$

- superfície plana:

$$R = \sum \frac{e}{k A} \quad (62)$$

- superfície cilíndrica:

$$R = \frac{1}{2 \pi k l} \ln \frac{r_2}{r_1} \quad (63)$$

- superfície esférica:

$$R = \frac{1}{4 \pi k l} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \quad (64)$$

onde

R	resistência térmica, °C/W
α	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

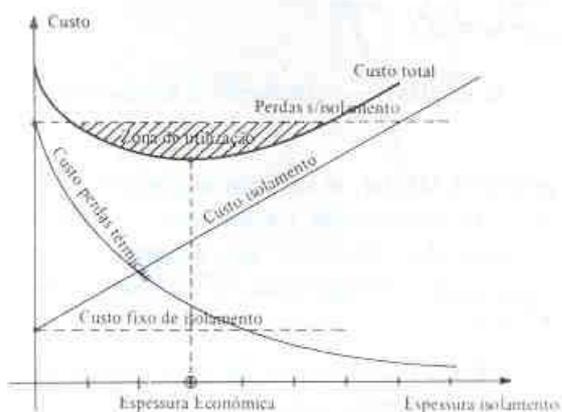
12.2 ESPESSURA ECONÔMICA DE ISOLAMENTO

À medida que aumentamos a espessura do isolamento, as perdas térmicas diminuem, mas o custo do isolamento aumenta.

A espessura econômica do isolamento será aquela para a qual a soma do custo das perdas térmicas e do custo de amortização do material isolante é um mínimo (fig. 140).

A espessura econômica de isolamento corresponde a uma penetração aconselhável da ordem de $\dot{Q}/S = 8,14 \text{ W/m}^2$.

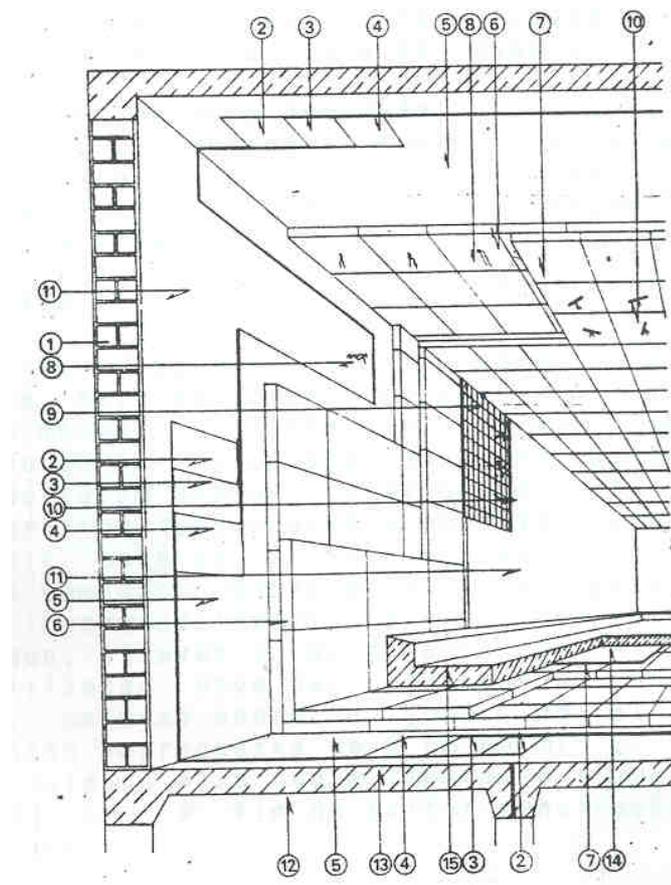
FIGURA 140 - ESPESSURA ECONÔMICA



12.3 ISOLAMENTO DAS CÂMARAS FRIGORÍFICAS

O isolamento de uma câmara frigorífica convencional (fig. 141), tem por objetivo diminuir a penetração de calor pelas paredes, teto e piso e também impedir a condensação da umidade do ar no lado externo da câmara.

FIGURA 141 - ISOLAMENTO DE UMA CÂMARA FRIGORÍFICA



onde, na (fig. 141):

- 1 Alvenaria;
- 2 Primer asfáltico;
- 3 Asfalto 0,84;
- 4 Folha de alumínio: 0,1 mm;
- 5 Asfalto 0,84;
- 6 1ª camada de isopor colada com asfalto;
- 7 2ª camada de isopor colada com asfalto com as juntas desencontradas;
- 8 Arame galvanizado n. 14 fixado na parede por parafuso;
- 9 Tela estuque;
- 10 Cavilha para enrolar o arame e fixar tela estuque;
- 11 Argamassa (cimento e areia 1:4) ou revestimento em chapas de alumínio 0,5mm;
- 12 Canal para ventilação do piso;
- 13 Laje do piso;
- 14 Papelão betuminado (impermeabilização);
- 15 Contra piso de C.A. com junta de dilatação 30m².

12.3.1 Isolamento das paredes

Para um bom isolamento de uma superfície plana, no caso parede, procede-se da seguinte maneira:

Inicialmente as paredes devem ser rebocadas e bem desempenadas com argamassa 1:4 de cimento-areia sem cal.

Em cada 0,50x1,00m ou 1,22x0,60m devem ser aplicados nas paredes dispositivos de fixação, para reter arame galvanizado n. 14 para sustentação das placas e fixação da tela de estuque ou outro tipo de acabamento. Os arames devem sobressair 5 cm da espessura do material isolante.

Depois se preparam as paredes com uma demão de tinta primária (Primer) à razão de 0,40 kg/m². Posteriormente cola-se sobre a parede uma folha de alumínio na espessura de 0,1 mm com asfalto oxidado (tipo 0,84), à razão de 1,5 kg/m², tomando-se a precaução para que as juntas de alumínio sejam sobrepostas de 5 cm no mínimo e bem vedadas com o mesmo tipo de asfalto.

Sugere-se a aplicação de uma folha de alumínio sobre a parede, em vista do seguinte:

Quando a temperatura do ar baixa, atingindo o ponto de orvalho, o excesso de umidade do ar se condensa na isolação. Para 1% de volume de umidade o poder da isolação diminui 6%. Em conseqüência deste processo, a umidade da isolação o pode se congelar.

Com a queda da temperatura há também uma queda da pressão atmosférica, que forma um fluxo e transporta a umidade de ar. Para evitar esta penetração, deve-se aplicar uma barreira de vapor no lado quente da isolação. A melhor barreira de vapor obtém-se com um revestimento de uma folha de alumínio, sendo que as juntas desta folha devem ser bem vedadas com fitas do mesmo alumínio, com uma sobreposição de 5 cm. O material isolante das paredes deve ser do tipo PII (16 a 20 kgf/m²) e deve ser aplicado em duas camadas sobrepostas. Para a colagem da primeira camada de Isopor, usa-se asfalto quente, (tipo 0,84), aplicando-se sobre a placa, em toda sua área. Após a aplicação calafetam-se as

juntas das placas também com o mesmo asfalto, para perfeita vedação. A segunda camada de Isopor deve-se colar na primeira com asfalto, fazendo-se um X na placa, tomando o cuidado para que as juntas fiquem desencontradas. O consumo previsto de asfalto para as duas camadas é de 2,5 a 3 kg/m².

A seguir estende-se uma tela de estuque, fixando-a aos arames que sobressaem do material isolante. Usa-se o ferro redondo de ϕ 3/16 nas juntas da tela, a fim de mantê-la esticada. Sobre a tela de estuque pode ser feito o acabamento com argamassa de cimento e areia sem cal, com traço de 1:4.

12.3.2 Isolamento do piso

Para as câmaras de baixa temperatura, deve-se tomar a precaução para que o piso seja ventilado ou aquecido, a fim de evitar o congelamento do mesmo. Para este fim, a laje deve ser levantada do alicerce, ou serem colocados canais de ventilação natural ou forçada ou ainda serem usadas resistências elétricas.

Em cima do lastro bem desempenado a seco aplica-se a barreira de vapor.

A seguir colam-se as placas de material PIII (20 a 25 kgf/m²) em duas camadas. Sobre a segunda camada de Isopor deve ser feita uma impermeabilização, a fim de se evitar a penetração de umidade e a água, através da parte superior do piso.

Esta impermeabilização deve ser efetuada da seguinte forma com asfalto quente, cola-se sobre o Isopor um feltro asfáltico (15 lb), com as juntas sobrepostas de 5 cm no mínimo e bem vedadas.

Deve-se tomar cuidado para que a impermeabilização se eleve nas paredes até 30 cm, a fim de evitar penetração de umidade nas laterais da parede. Sobre o feltro asfáltico, sem perfurá-lo pode-se armar a laje de concreto armado.

12.3.3 Isolamento do teto

Para a isolação do teto devem ser usadas placas de Isopor desencontradas como nas paredes. O sistema de fixação é análogo ao usado nas paredes. Para o teto pode-se dispensar o uso da tela de estuque, deixando o Isopor exposto, pintando-o com tinta antimofa.

A (fig. 142) ilustra uma câmara frigorífica modulada construída com painéis isolantes com núcleo de poliestireno ou poliuretano expandido.

FIGURA 142 - CÂMARA FRIGORÍFICA MODULADA



12.4 ISOLAMENTO DAS TUBULAÇÕES FRIGORÍFICAS

Como as temperaturas nas linhas raramente são iguais à temperatura ambiente, sempre haverá transferência de calor com o meio ambiente. É, portanto, função da isolação térmica, minimizar esta transmissão de calor.

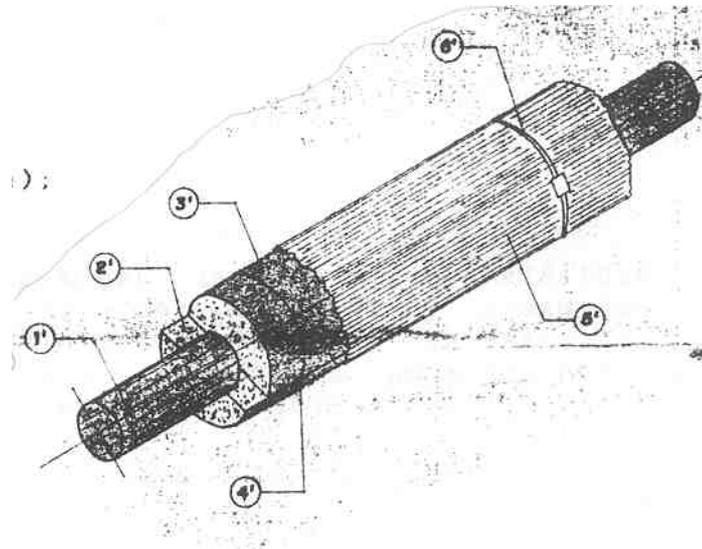
12.4.1 Isolamento da linha de sucção

O isolamento nas linhas de sucção tem por finalidade evitar condensação de água nas paredes do tubo e aumento acima do especificado do superaquecimento do refrigerante que deve estar entre 8 a 11,5°C.

O isolamento térmico deve ser feito com borracha esponjosa, lã de vidro ou isopor em calhas com espessura de 2". Além do isolamento térmico a linha de sucção deve ter isolamento especial com material adequado, formando uma barreira de vapor, impedindo deste modo, a condensação de água na superfície externa da tubulação causada pela migração de vapor de água pela parede do isolante térmico.

Deve-se cobrir todo o conjunto de isolamento com folha de alumínio, prevendo-se uma proteção dinâmica ao isolamento. A (fig. 143) ilustra o isolamento da linha de sucção.

FIGURA 143 - ISOLAMENTO DA LINHA DE SUCÇÃO



onde

1	tubo de cobre	4	arame galvanizado
2	borracha esponjosa (isolante)	5	alumínio corrugado # 0,2 mm
3	revestimento sobre o isolante	6	fita com fecho # 1,5 mm

12.4.2 Isolamento da linha de descarga

O isolamento fica a critério do projetista, porém a temperatura de trabalho é, por volta de 90°C, podendo atingir valores mais altos. Aconselha-se o isolamento térmico quando a linha estiver exposta a temperaturas do ar externo muito baixas ou quando a tubulação passar em locais que possam ser alcançadas por leigos.

12.4.3 Isolamento da linha de líquido

O isolamento da linha, também fica a critério do projetista, porém a temperatura da linha de líquido varia de 35 a 40°C e aconselha-se o isolamento térmico quando a linha atravessar locais em que receba a ação direta do sol.

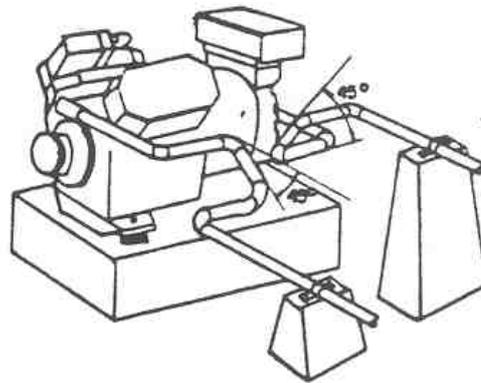
12.5 ISOLAMENTO ACÚSTICO E ANTIVIBRATÓRIO DAS TUBULAÇÕES

Vibração é causada pela pulsação do gás e pelas máquinas que estão conectadas diretamente à tubulação. A importância do controle das vibrações, não pode ser subestimada. Isto não implica que a vibração possa ser eliminada completamente, mas que possa ser colocada em níveis toleráveis. Para controlar essa força flutuante, utilizam-se suportes para as tubulações com amortecedores para absorver as vibrações, prevenindo-as de transmitir a estrutura do prédio.

Estes amortecedores podem ser calços de borracha ou outro material dúctil que amortee as vibrações.

As vibrações vindas do compressor podem ser amortecidas substancialmente, utilizando-se curvas inclinadas a 45° na sucção e descarga (fig. 144). como mostra a figura ao lado e suportes fixos que prendam completamente as tubulações. Deste modo, os suportes prendem os tubos fazendo as curvas trabalharem absorvendo as vibrações.

FIGURA 144 - CURVAS INCLINADAS A 45° NA SUCÇÃO E DESCARGA



12.6 ISOLAMENTO DAS TUBULAÇÕES DE ÁGUA GELADA

As tubulações de água gelada deverão ser isoladas podendo ser utilizado calhas de poliestireno (isopor).

O isolamento térmico deverá ser aplicado em duas camadas, conforme a (tab. 3).

TABELA 3 - ESPESSURA DO ISOLAMENTO EM TUBULAÇÕES DE ÁGUA GELADA

Diâmetro (pol.) (tubo)	Espessura (mm) (isolante)
até 1 1/2	25
de 2 até 6	50
de 8 até 14	60
de 16 até 18	75

O isolamento deverá ser aplicado sobre as superfícies metálicas completamente limpas, livres de ferrugem, óleo, graxa ou quaisquer outras impurezas. As tubulações não galvanizadas deverão ser limpas com escova de aço e pintadas com tinta anticorrosiva antes de receber o isolamento.

Os trechos retos dos tubos deverão ser isolados por meio de calhas pré-moldadas. As curvas deverão ser isoladas com segmentos de calhas. Superfícies

irregulares, tais como derivações e acessórios, deverão ser isolados com pedaços de calhas. Válvulas e flanges deverão ser isolados com lã de vidro e partes de calhas.

A primeira camada deverá á ser aplicada de modo que as peças isolantes sejam ajustadas e coladas em toda a extensão de sua superfície externa das tubulações com asfalto oxidado a quente e amarradas com arame de aço galvanizado n. 18 com espaçamento de 50 cm. As peças da segunda camada deverão ser coladas as primeiras com asfalto oxidado à quente e amarradas com arame galvanizado n. 18 (duas amarrações a cada 50 cm). Todas as juntas das calhas, segmentos de calhas ou partes deverão ser preenchidas com asfalto oxidado a quente, sendo que cuidados especiais deverão ser tomados para evitar a ocorrência de falhas de vedação por onde possa penetrar a umidade.

Sobre a segunda camada de isolamento deverá ser aplicado véu de fibra de vidro, espessura de 0,8 mm, com asfalto oxidado a quente para garantir perfeita barreira de vapor.

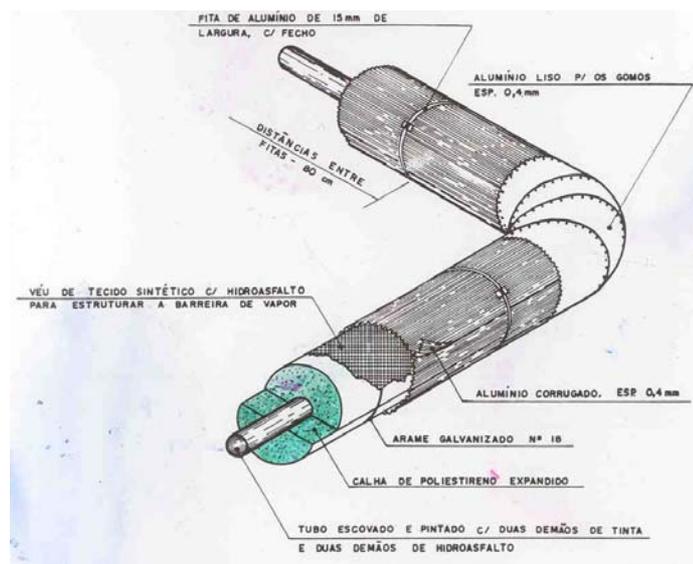
O isolamento deverá ser revestido com folhas de alumínio corrugadas de 0,15 mm de espessura com corrugações de 3/16", coladas ao isolamento com asfalto oxidado. As folhas de alumínio deverão ser sobrepostas de 5 cm em ambos os sentidos. Ambas as sobreposições deverão ser coladas com asfalto.

Cuidados especiais deverão ser tomados durante a amarração para que as pontas dos arames não danifiquem as folhas de alumínio. Caso isto ocorra o local afetado deverá á ser imediatamente reparado, colando-se sobre o mesmo um pedaço de folha de alumínio com asfalto oxidado a quente.

O revestimento de alumínio deverá ser fixado com cintas de alumínio de 0,5 mm de espessura e 12,5 mm de largura, dotado de fecho também em alumínio.

A (fig. 145) ilustra o isolamento de uma tubulação de água gelada com calhas de isopor.

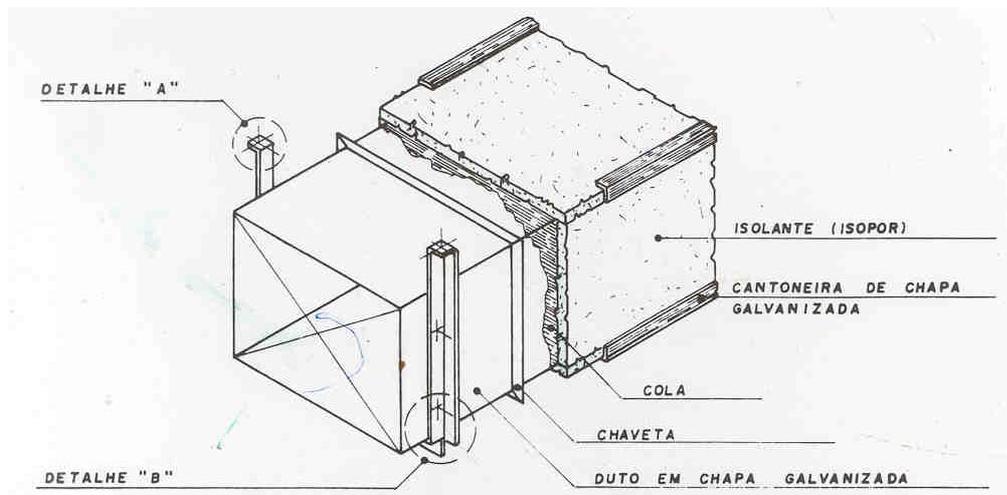
FIGURA 145 - ISOLAMENTO DA TUBULAÇÃO DE ÁGUA GELADA



12.7 ISOLAMENTO DE DUTOS DE AR CONDICIONADO

A necessidade do isolamento térmico dos dutos de ar condicionado decorre do fato deles transportarem ar a temperatura mais baixa que as dos ambientes onde passam. Situação em que pode ocorrer risco de condensação de umidade na superfície dos dutos não isolados e perdas de frio decorrentes do não isolamento dos dutos (fig. 146).

FIGURA 146 - ISOLAMENTO DE DUTOS DE AR CONDICIONADO



12.8 CONDENSAÇÃO SUPERFICIAL

O problema da condensação é um dos obstáculos que um isolamento térmico deve superar. A impregnação de um isolante com água provoca a redução da capacidade de isolamento. Para cada aumento de 1% no teor em peso de umidade de um isolante, aumenta de 1 a 3% a sua condutividade térmica.

A existência de água nas paredes das câmaras que trabalham abaixo de 0°C, possibilita o congelamento da mesma, destruindo o isolante. Em tubulações frigoríficas com isolamento deficiente, formam-se gotas de água sobre a superfície, provenientes da condensação do vapor de água, contido no ar atmosférico, que comprometem sensivelmente o funcionamento do sistema como um todo, causando sérios danos e aumentando as perdas energéticas.

A condensação é um fenômeno físico e ocorre em uma superfície com temperatura abaixo da temperatura de orvalho.

A uma determinada temperatura, o ar pode conter uma determinada quantidade limite de água em forma de vapor, que exerce pressão de vapor chamada de pressão de saturação.

O ar quente contém uma quantidade maior de vapor de água do que o ar frio, e, quando resfriado, produz aumento da pressão de vapor e, conseqüentemente, aumento na umidade relativa, que pode chegar a 100%. Nesta

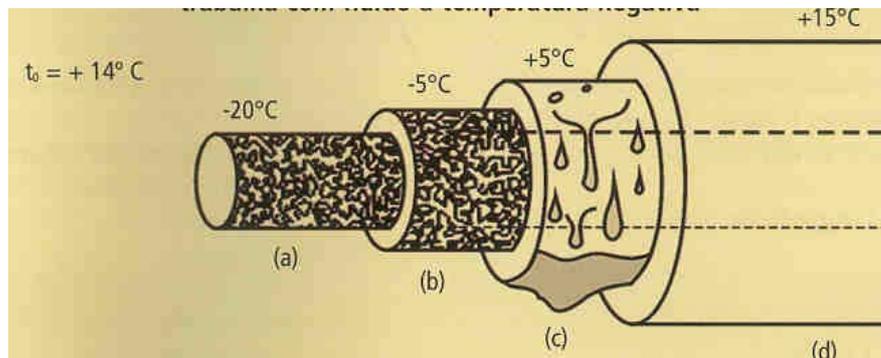
situação atinge-se a pressão de saturação a uma dada temperatura, que nada mais é do que a temperatura de orvalho.

Quando a temperatura desse ar fica abaixo da temperatura de orvalho, ele é incapaz de conter tanta água em forma gasosa, portanto, esse excesso deve, forçosamente, passar do estado gasoso para o estado líquido, fenômeno que é chamado de condensação.

Em temperaturas inferiores à do ponto de orvalho, o vapor de água condensa em forma de gotas ou cristais de gelo.

Se considerarmos, por exemplo, uma tubulação de refrigeração, como é mostrada na (fig. 147), que trabalha com fluido à temperatura negativa, observaremos a formação de gelo em sua superfície, quando esta não está isolada (a). Não obstante, se a espessura do isolamento for insuficiente, continuará ocorrendo a formação de cristais de gelo sobre a superfície do isolamento, no caso de a temperatura superficial ser inferior a 0°C (b), ou gotas de orvalho, se esta temperatura estiver entre 0°C e a temperatura de orvalho (c). Com a espessura correta de isolamento (d), obtém-se temperatura superficial superior à temperatura de orvalho e, com isso, não ocorre condensação.

FIGURA 147 - TUBULAÇÃO DE REFRIGERAÇÃO QUE TRABALHA COM FLUIDO À TEMPERATURA NEGATIVA



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.

A transferência de vapor é calculada através da expressão análoga transferência de calor, a seguir:

$$\dot{G} = \frac{\Delta p}{\sum R_v} \quad (65)$$

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

A resistência à transferência de vapor, é dada por:

- superfície plana:

$$R_v = \frac{e}{\mu A} \quad (66)$$

- superfície cilíndrica:

$$R_v = \frac{1}{2 \pi \mu l} \ln \frac{r_2}{r_1} \quad (67)$$

- superfície esférica:

$$R_v = \frac{1}{4 \pi \mu} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \quad (68)$$

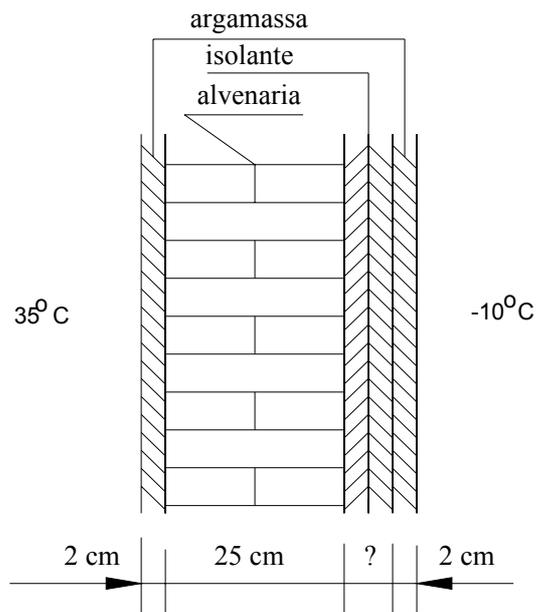
onde

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
 r_1 raio interno do isolamento, m
 r_2 raio externo do isolamento, m
 A área da seção, m²

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 W/m² (espessura econômica).

FIGURA 148 - PERFIL DA PAREDE



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/m^3 , 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:

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

$$\phi_2 = 90\%$$

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

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

FIGURA 149 - PERFIL DA PAREDE

