

# *AULA 5*

*Volume I do Livro Texto*

## **CONTEÚDO:**

- *Capítulo 16*

*Aquecimento, Isolamento Térmico, Pintura e Proteção.*

## AQUECIMENTO DE TUBULAÇÕES

### MOTIVOS DE AQUECIMENTO

Manter em condições de escoamento líquidos de alta viscosidade ou materiais que sejam sólidos na temperatura ambiente.

Manter determinados líquidos, por exigência de serviço, dentro de certos limites de temperatura.

Pré-aquecer as tubulações, no início do funcionamento, para desfazer depósitos sólidos.

### SISTEMAS USADOS PARA AQUECIMENTO

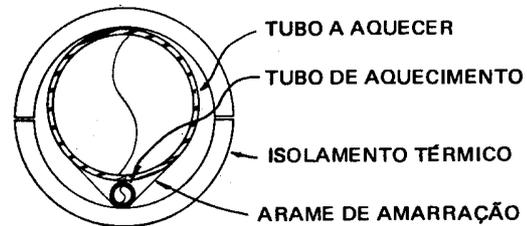
#### 1 – Tubos de aquecimento externo paralelos (POR UM OU MAIS TUBOS DE AQUECIMENTO)

##### VANTAGENS:

- Baixo custo inicial
- Facilidade de manutenção
- Impossibilidade de contaminação do fluido circulante

##### DESVANTAGENS:

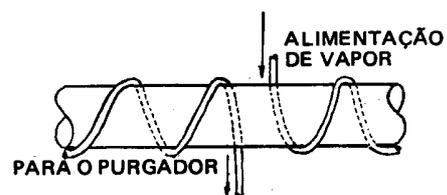
- Aquecimento irregular e de difícil controle
- Aquecimento inicial lento



PODE-SE MELHORAR A EFICIÊNCIA DA TROCA DE CALOR, PREENCHENDO-SE OS ESPAÇOS ENTRE OS TUBOS DE AQUECIMENTO E O TUBO A AQUECER COM MASSAS QUE POSSUAM ALTO COEFICIENTE DE TRANSMISSÃO DE CALOR.

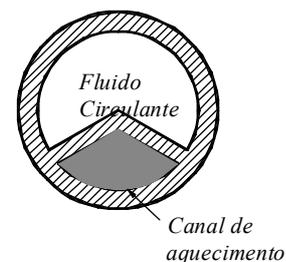
#### 2 – Tubo de aquecimento enrolado externamente

É bem mais caro e mais difícil de ser construído do que os tubos paralelos, porém permite um aquecimento mais intenso e uniforme.

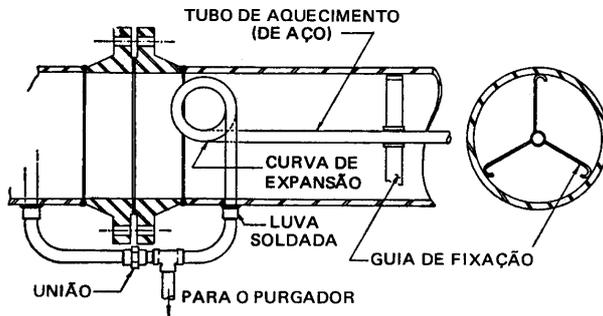


#### 3 – Tubo de aquecimento integral

SISTEMA RARO, EMPREGADO APENAS EM TUBOS NÃO FERROSOS FABRICADOS POR EXTRUSÃO (*alumínio, latão etc.*)



#### 4 – Tubo de aquecimento interno



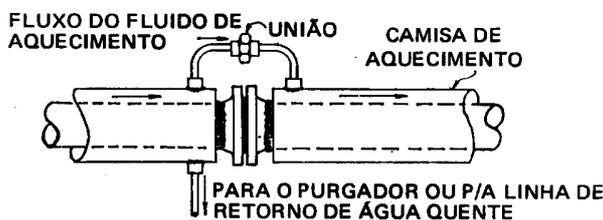
UTILIZADO EM TUBOS DE GRANDES DIÂMETROS  $\varnothing > 20''$

TEM BOA EFICIÊNCIA DE AQUECIMENTO

#### PRINCIPAIS DESVANTAGENS

1. Construção cara e complicada.
2. Problemas de dilatação diferencial entre os tubos (*o tubo de vapor é mais quente e se aquece mais depressa*).
3. Possibilidade de contaminação do fluido circulante.
4. Dificuldade de localização e de reparo dos vazamentos.
5. Não permite a limpeza mecânica interna da tubulação.

#### 5 – Camisa externa



CUSTO DE IMPLANTAÇÃO E DE MANUTENÇÃO ELEVADOS

PERMITE AQUECIMENTO RÁPIDO, INTENSO E CONTROLADO

#### 6 – Aquecimento elétrico

CONSISTE NA COLOCAÇÃO DE FIOS ELÉTRICOS, LONGITUDINALMENTE OU EM ESPIRAL, POR FORA DA TUBULAÇÃO.

UTILIZA UMA CORRENTE, DE BAIXA VOLTAGEM E ALTA INTENSIDADE, CONTROLADA POR TERMOSTATO QUE MEDE A TEMPERATURA DA PAREDE DO TUBO.

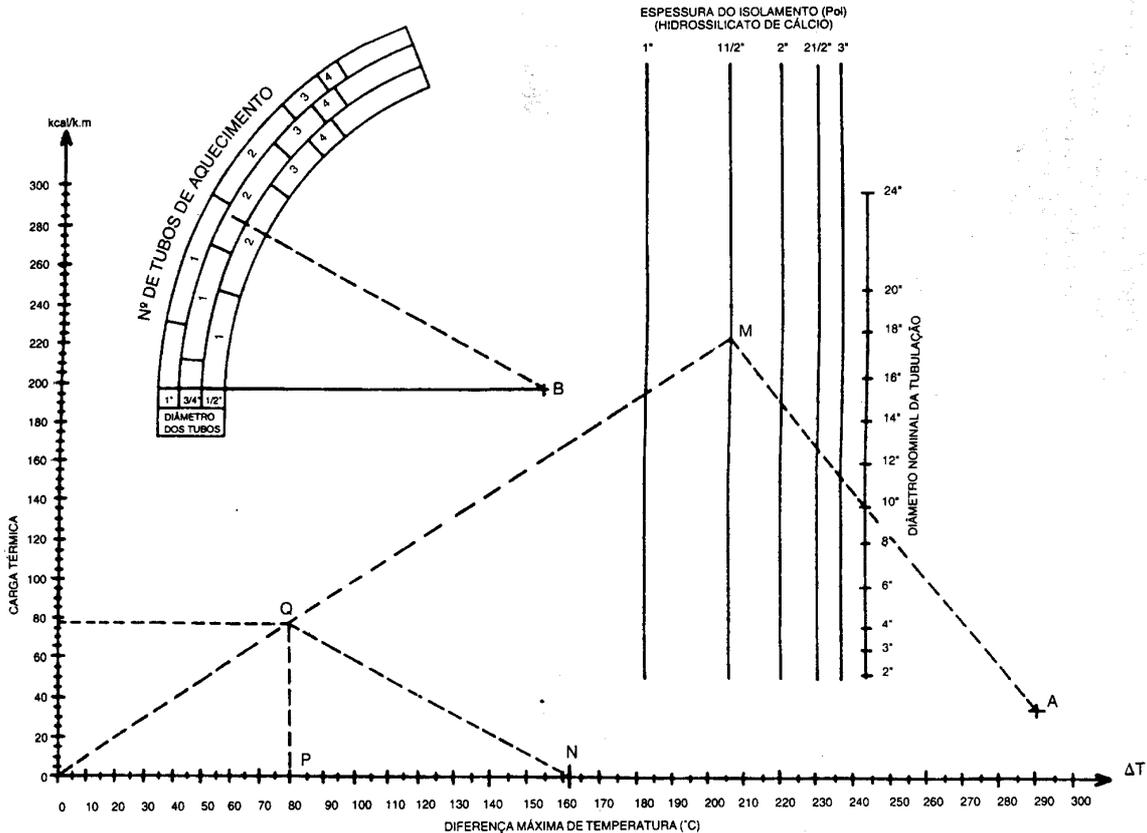
**O CUSTO DE INSTALAÇÃO E OPERACIONAL SÃO RELATIVAMENTE ALTOS**

**VANTAGENS**

- Muito bom controle do aquecimento.
- Aquecimento rápido, de partida instantânea, e uniforme em toda a tubulação.
- Baixo custo de manutenção.

## AQUECIMENTO POR MEIO DE TUBOS EXTERNOS PARALELOS

### 1 – Quantidade, diâmetro dos tubos



Ábaco para cálculo de tubos de aquecimento. Extraído da N-42 da PETROBRAS

Exemplo de uso:

Dados: Diâmetro do tubo: 10"  
 Temperatura de aquecimento:  $T_a = 90^\circ\text{C}$   
 Temperatura de saturação do vapor:  $T_v = 172^\circ\text{C}$   
 Temperatura ambiente mínima:  $T_m = 10^\circ\text{C}$   
 Espessura do isolamento (hidrossilicato de Ca) = 1 1/2"

- 1 — Trace uma reta passando pelo ponto 'A' e pelo diâmetro do tubo, até o ponto 'M', na reta da espessura do isolamento
- 2 — Trace uma reta do ponto 'M' até a origem
- 3 — Calcule as diferenças  $T_a - T_m = 90 - 10 = 80^\circ\text{C}$ , e  $T_v - T_m = 172 - 10 = 162^\circ\text{C}$
- 4 — Marque o ponto da diferença  $T_a - T_m$  no eixo  $\Delta T$  (ponto P) e o ponto 'N', correspondente à diferença  $T_v - T_m$
- 5 — Trace uma perpendicular pelo ponto P até a reta de 'M' à origem, determine o ponto 'Q'
- 6 — Trace uma reta do ponto 'Q' ao ponto 'N', correspondente à diferença  $T_v - T_m$
- 7 — Trace pelo ponto 'B' uma paralela à reta NQ, determinando o número necessário de tubos de aquecimento. No caso, servirão 2 tubos de 1/2"
- 8 — A perda de calor por hora e por metro de tubo, será a ordenada do ponto 'Q'.

## 2 – Comprimento dos tubos de aquecimento

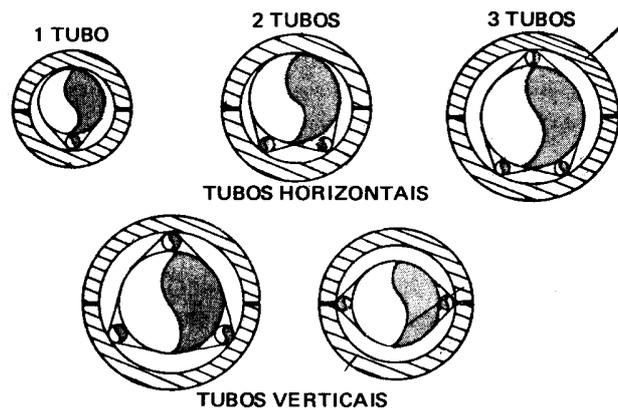
Pressão do Vapor MPa ( $\cong$ Kgf/cm <sup>2</sup> )	Diâmetro Nominal do Tubo de Aquecimento	Comprimento Máximo (m)
até 0,17 ( $\cong$ 1,7)	3/8" – 1/2"	60
	3/4" – 1"	90
0,17 a 1,4 ( $\cong$ 1,7 a 14)	3/8" – 1/2"	60
	3/4" – 1"	120

Extraído da N-42 da PETROBRAS

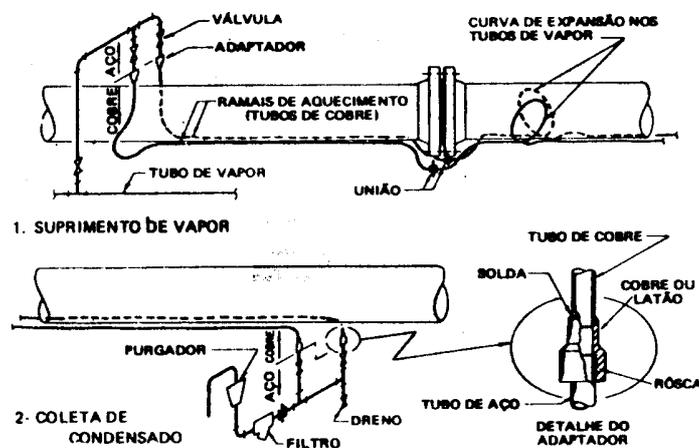
QUANDO O COMPRIMENTO DA TUBULAÇÃO A AQUECER FOR MAIOR QUE O MÁXIMO ADMISSÍVEL PARA O TUBO DE AQUECIMENTO, ESTES ÚLTIMOS SERÃO SUBDIVIDIDOS EM SEÇÕES SUCESSIVAS.

NÃO É CONVENIENTE QUE OS TUBOS DE AQUECIMENTO TENHAM COMPRIMENTO MUITO CURTO PARA EVITAR QUE OS PURGADORES TENHAM CICLOS RÁPIDOS

## 3 – Disposição dos tubos de aquecimento



## 4 – Alimentação de vapor e descarga de condensado

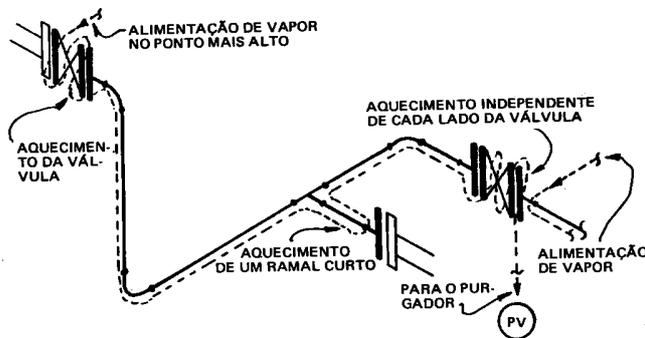


5 – Dimensionamento do tubo tronco

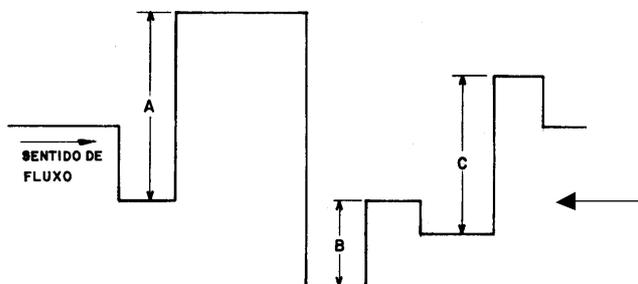
Diâmetro Nominal do Tronco de Vapor	Quantidade e Diâmetro dos tubos de Aquecimento			
	3/8"	1/2"	3/4"	1"
1/2	1 – 2	1	-	-
3/4	3 a 5	2 a 4	1	-
1	6 a 8	5 – 6	2 – 3	1
1 1/2	9 a 18	7 a 12	4 a 7	2 a 3
2	19 a 28	13 a 16	8 a 11	4 a 6

Extraído da N-42 da PETROBRAS

6 – Trajeto dos tubos de aquecimento



DE PREFERÊNCIA O FLUXO DEVE SER DESCENDENTE, PARA QUE O CONDENSADO FORMADO CORRA POR GRAVIDADE PARA OS PURGADORES



QUANDO O FLUXO NÃO FOR DESCENDENTE, A SOMA DE TODAS AS ELEVAÇÕES, MEDIDAS NO SENTIDO DO FLUXO, NÃO DEVE EXCEDER OS VALORES DA TABELA ABAIXO.

Soma das elevações de cota = A + B + C

Pressão do Vapor (MPa)	Soma Total das Elevações de Cota (m)	Valor Máximo de Cada Elevação de Cota (m)
0,14 a 0,17	3,0	1,0
0,17 a 0,35	6,0	1,0
0,35 a 0,42	7,5	3,0
0,42 a 0,53	9,0	3,0
0,53 a 0,70	12,0	3,0
0,70 a 1,05	18,0	6,0
1,05 a 1,40	24,0	6,0

Extraído da N-42 da PETROBRAS

### 7 – Uso de uniões e conexões

DEVEM SER COLOCADAS UNIÕES ONDE EXISTIREM FLANGES, VÁLVULAS E QUAISQUER OUTRAS PEÇAS DESMONTÁVEIS NA TUBULAÇÃO A AQUECER.

### 8 – Dilatação diferencial

COMO OS TUBOS DE AQUECIMENTO SÃO SEMPRE MAIS QUENTES, A DILATAÇÃO DELES SERÁ MAIOR QUE A DO TUBO AQUECIDO E ASSIM SENDO, SÃO NECESSÁRIAS CURVAS DE EXPANSÃO (*normalmente colocadas a cada 15 m*) PARA COMPENSAR A DILATAÇÃO DIFERENCIAL

### 9 – Aquecimento de válvulas e outros equipamentos

É OBTIDO ENROLANDO O TUBO DE AQUECIMENTO NA VÁLVULA OU NO EQUIPAMENTO

### 10 – Massas transmissoras de calor

PODE AUMENTAR EM ATÉ 3 (três) VEZES A EFICIÊNCIA DO AQUECIMENTO

### 11 – Fixação dos tubos de aquecimento

SÃO AMARRADOS COM ARAME GALVANIZADO OU CINTA METÁLICA (não podem ficar presos para não impedir os movimentos de dilatação)

## ISOLAMENTOS TÉRMICOS

APLICAÇÕES DE ISOLAMENTOS TÉRMICOS

LINHAS QUENTES  
LINHAS FRIAS

FINALIDADES DE APLICAÇÃO DOS ISOLAMENTOS TÉRMICOS

MOTIVO ECONÔMICO (Normalmente em  $t > 80^{\circ}\text{C}$  e  $t < 0^{\circ}\text{C}$ )

MOTIVO DE SERVIÇO (Aplicados em qualquer temperatura)

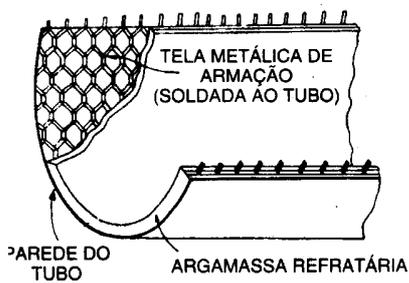
PROTEÇÃO PESSOAL (Aplicado em  $t > 60^{\circ}\text{C}$  e  $t < 0^{\circ}\text{C}$  em tubulações a menos de 2 m de altura ou a menos de 1 m de distância de qualquer piso de operação)

O ISOLAMENTO DE PROTEÇÃO PESSOAL, SE HOUVER VANTAGEM ECONÔMICA, PODE SER SUBSTITUÍDO POR GRADES OU GUARDAS DE PROTEÇÃO

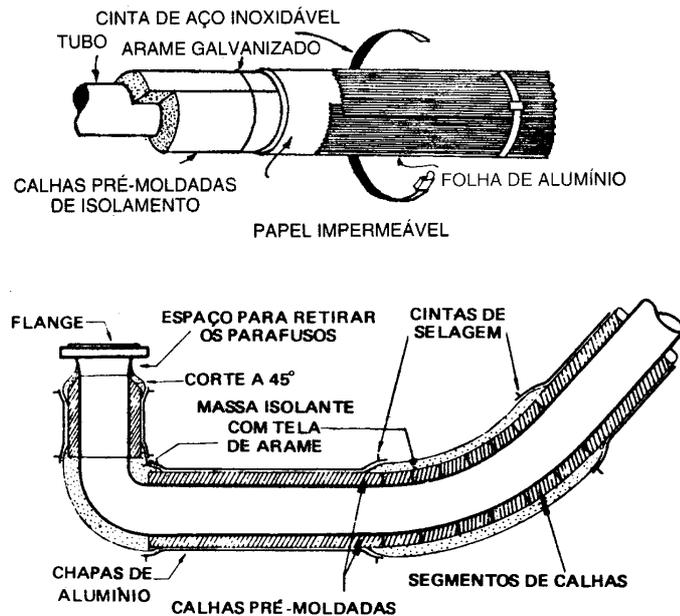
Obs.: Nas linhas frias o motivo pode ser para evitar a formação de orvalho ou de gelo na superfície da tubulação.

## SISTEMAS DE COLOCAÇÃO DOS ISOLAMENTOS TÉRMICOS

### ISOLAMENTO INTERNO



### ISOLAMENTO EXTERNO



## MATERIAIS USADOS PARA ISOLAMENTO TÉRMICO

Material	Limite de Temp. °C	Resistência à			Condutividade Térmica Média BTU (h°F pé <sup>2</sup> /po)					Obs.
		Água ou Umidade	Fogo	Danos Mecânicos	a 40°C	a 100°C	a 200°C	a 300°C	a 400°C	
<i>Isolantes térmicos rígidos</i>										
<i>Materiais em forma de calha ou segmentos pré-moldados</i>										
Hidrossilicato de Ca	até 1000	Boa	Boa	Fraco à tração	0,38	0,40	0,47	0,57		1,2
Composição de Mg 85%	até 320	Fraca	Boa	Fraco à tração	0,40	0,43	0,51	0,59		3,4
Lã mineral (Lã de rocha)	até 900	Boa	Excelente	Fraca	0,32	0,37	0,50	0,64	0,77	5,6,7
Silica diatomácea (Terra diatomácea)	até 1000	Fraca	Regular	Fraca	0,58	0,60	0,68	0,78	0,86	7,8
Lã de vidro	-180 a 540	Excelente	Excelente	Fraca	0,25	0,28	0,30			9
Espuma de plástico (poliestireno expan.)	-50 a 80	Excelente	Não resiste	Regular	0,40					10,11
Cortiça	-50 a 80	Boa	Não resiste	Regular	0,25	0,26				11,12,13
<i>Isolantes térmicos flexíveis</i>										
<i>Materiais em forma de mantas (tecidos)</i>										
Amianto	até 400	Boa	Excelente	Regular	0,47	0,50	0,57	0,65		14
Lã de vidro	Como acima									
Lã mineral										
<i>Materiais aplicados por "spray"</i>										
Poliuretanos	-240 a 100	Boa	Não resiste	Regular	0,14					11

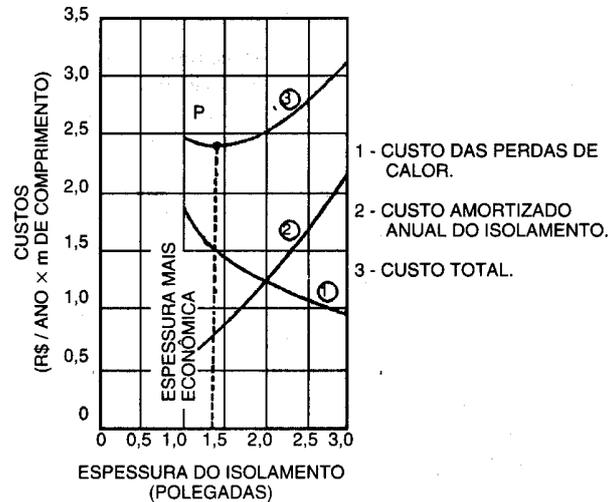
## OBSERVAÇÕES SOBRE A TABELA

- |  |  |
|--|--|
| <p>1 – Material mais usado para tubulação quente</p> <p>2 – Material especificado nas normas PNB-141 e PEB-221 da ABNT, e C-345 da ASTM</p> <p>3 – Material de emprego tradicional antes do aparecimento do hidrossilicato de cálcio</p> <p>4 – Material especificado na norma C-320 da ASTM</p> <p>5 – Material de custo elevado, podendo ser mais econômico devido à menor condutividade térmica</p> <p>6 – Material flexível e capaz de absorver grandes dilatações dos tubos</p> <p>7 – Material não recomendado quando existem cargas externas na tubulação</p> | <p>8 – Material de custo elevado e de alta condutividade térmica. Indicado para temperaturas superiores a 650°C</p> <p>9 – Material macio, flexível e leve</p> <p>10 – Material muito usado para tubulações de baixas temperaturas</p> <p>11 – Para uso em baixas temperaturas</p> <p>12 – Material moldado ou granulado e aglutinado</p> <p>13 – Material de boa resistência a choques e vibrações</p> <p>14 – Empregado como segunda camada para recobrir outros materiais isolantes</p> |
|--|--|

## ESPESSURAS DOS ISOLAMENTOS TÉRMICOS

### 1 – Espessura calculada por motivo econômico

A ESPESSURA IDEAL É RESULTANTE DA COMPARAÇÃO ECONÔMICA ESTRE O CUSTO DO ISOLAMENTO E O CUSTO DA ENERGIA PERDIDA.



A quantidade de calor trocada através do isolamento térmico pode ser avaliada pela seguinte fórmula:

$$Q_i = \frac{2\pi KL(T_s - T_a)}{2,3 \log \frac{r_2}{r_i} + \frac{K}{r_e(h + 0,9h_r)}}$$

- $Q_i$  = quantidade de calor trocada na unidade de tempo (BTU/hora)
- $K$  = coeficiente de condutividade térmica do isolamento considerado para a temperatura em questão (BTU/pé x hora x °F)
- $L$  = comprimento do tubo (pés)
- $T_s$  = temperatura do tubo (°F)
- $T_a$  = temperatura ambiente (°F)
- $r_2$  = raio externo do isolamento (pés)
- $r_i$  = raio interno do isolamento (pés)
- $h$  = coeficiente de convecção (BTU/pe<sup>2</sup> x hora x °F)
- $h_r$  = coeficiente de radiação (BTU/pe<sup>2</sup> x hora x °F)

### 2 - Espessura calculada por motivo de serviço

$$Q_i = mc\Delta t$$

em que:

- $m$  = peso do fluido que entrou na tubulação durante o tempo considerado (Kg/hora)
- $c$  = calor específico do fluido na temperatura média considerada (Cal/Kg x °C)
- $\Delta t$  = maior diferença de temperatura que possa haver entre o fluido que entra e o fluido da tubulação

A ESPESSURA A ADOTAR SERÁ AQUELA QUE CORRESPONDER A UM VALOR DE  $Q_i$  (calculado acima), IGUAL AO VALOR DE  $Q_i$

## 3 – Considerações sobre a espessura do isolamento térmico

A EFICIÊNCIA DO  
ISOLAMENTO TÉRMICO  
VARIA COM

(*circunstâncias locais*)

- localização da tubulação
- temperatura ambiente
- umidade do ar
- velocidade do vento.

EM FUNÇÃO DAS CIRCUNSTÂNCIAS LOCAIS OS DADOS FORNECIDOS PELOS FABRICANTES SOBRE COEFICIENTES DE TRANSMISSÃO DE CALOR DEVEM SER UTILIZADOS COM CAUTELA

NA PRÁTICA RARAMENTE A ESPESSURA DOS ISOLAMENTOS TÉRMICOS É DETERMINADA POR CÁLCULOS.

Na maioria dos casos utiliza-se espessuras já consagradas pelo uso

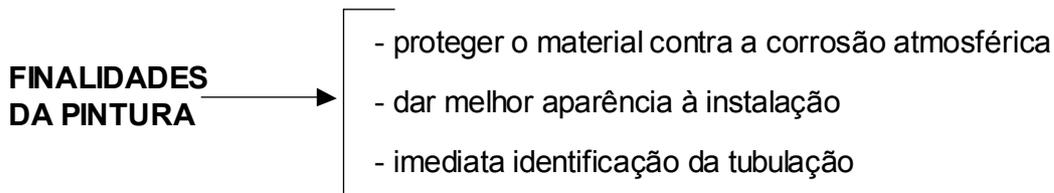
<i>Espessura do isolamento térmico da tubulação (mm) Hidrossilicato de cálcio</i>														
<i>Diâmetro Nominal (pol)</i>	<i>Temperatura de operação da tubulação (°C)</i>													
	75	100	125	150	175	200	250	300	350	400	450	500	550	600
3/4	25	25	38	38	51	51	63	63	63	63	63	63	63	63
1	25	25	38	38	51	51	63	63	63	63	63	63	63	63
2	25	25	38	38	51	51	63	63	63	63	63	63	76	76
3	25	25	38	38	51	51	63	63	63	63	63	76	76	89
4	25	25	38	38	51	51	63	63	63	63	76	76	89	89
6	25	25	38	38	51	51	63	63	76	76	89	102	102	114
8	25	25	38	38	51	51	63	76	76	89	102	114	114	126
10	25	38	38	51	51	63	63	76	89	102	102	114	126	126
12	25	38	38	51	63	63	76	76	89	102	114	126	126	126
14	25	38	38	51	63	63	76	89	89	102	114	126	126	126
16	25	38	51	51	63	63	76	89	102	102	114	126	126	126
20	25	38	51	51	63	63	76	89	102	114	126	126	126	126
24	25	38	51	51	63	63	76	89	102	114	126	126	126	126

QUANDO AS PERDAS DE CALOR DEVAM SER REDUZIDAS AS ESPESSURAS DO ISOLAMENTO DEVEM SER AUMENTADAS, PORQUE AS TABELAS MOSTRAM VALORES MÉDIOS.

OS VALORES DAS TABELAS TAMBÉM DEVEM SER AUMENTADOS PARA AS TUBULAÇÕES SITUADAS EM AMBIENTES DE BAIXA TEMPERATURA, DE GRANDE UMIDADE OU PARA TUBULAÇÕES EXPOSTAS AO VENTO E À CHUVA.

## PINTURA DAS TUBULAÇÕES INDUSTRIAIS

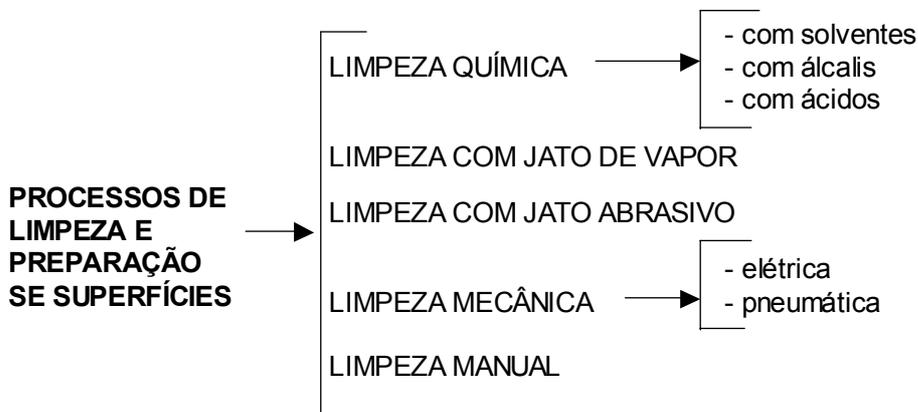
TODAS AS TUBULAÇÕES DE AÇO-CARBONO E AÇOS LIGAS, NÃO ENTERRADAS E QUE NÃO TENHAM ISOLAMENTO TÉRMICO, DEVEM RECEBER ALGUM TIPO DE PINTURA.



FAZER UMA BOA PINTURA E MANTÊ-LA EM BOAS CONDIÇÕES É O MEIO MELHOR E MAIS ECONÔMICO DE PROLONGAR A VIDA DA TUBULAÇÃO.

## PREPARAÇÃO DAS SUPERFÍCIES PARA A PINTURA

A PINTURA SERÁ TANTO MAIS DURÁVEL E RESISTENTE QUANTO MELHOR TIVER SIDO A PREPARAÇÃO PRÉVIA DA SUPERFÍCIE.



## TINTAS E SISTEMAS DE APLICAÇÃO

AS TINTAS COMUNS NÃO RESISTEM A TEMPERATURAS ACIMA DE 80 °C.

TINTAS A BASE DE SILICONE, DEPENDENDO DA COMPOSIÇÃO, PODEM TRABALHAR ATÉ A 500 °C

PODE-SE FAZER PINTURA INTERNA DO TUBO PARA PROTEGE-LOS  
CONTRA A CORROSÃO PELO FLUIDO CIRCULANTE.

### CORES PARA IDENTIFICAÇÃO DAS TUBULAÇÕES – Norma NB 54 da ABNT

verde	água	alumínio	combustíveis gasosos ou líquidos de baixa viscosidade
branco	vapor	preto	combustíveis e inflamáveis de alta viscosidade
azul	ar comprimido	vermelho	sistemas de combate a incêndio
amarelo	gases em geral	cinza-claro	vácuo
laranja	ácidos	castanho	outros fluidos não especificados
lilas	álcalis		

## PROTEÇÃO DE TUBULAÇÕES ENTERRADAS E SUBMERSAS

VISA PROTEGER CONTRA A CORROSÃO E CONTROLAR A AÇÃO ELETROLÍTICA DE  
CORRENTES ELÉTRICAS GERADAS  
PELA DIFERENÇA DE POTENCIAL ENTRE O TUBO E O MEIO

### SISTEMAS MAIS USUAIS

<b>1 - Revestimento com esmalte de alcatrão de hulha</b>	Aplicação a quente em espessuras de 3 a 8 mm. O esmalte deve ser imediatamente recoberto com uma camada de véu de fibra de vidro e outra de papel feltro
<b>2 – Revestimento com asfalto</b>	Aplicação semelhante ao descrito acima Tem menor custo e vida mais curta que o revestimento de alcatrão
<b>3 – Revestimento com fitas plásticas</b>	É um revestimento de qualidade inferior, empregado em pequenos trechos ou para reparos e falhas em outros revestimentos.
<b>4 – Revestimento com polietileno (ou com polipropileno) extrudado</b>	É feita a extrusão da resina plástica, com espessura de 3 a 5 cm, diretamente sobre a superfície do tubo.
<b>5 – Revestimento misto a base de epóxi e polietileno extrudado</b>	Tinta de fundo a base de epóxi aplicada eletrostaticamente, seguida de uma camada de adesivo a base de polietileno e finalmente uma camada de polietileno aplicado por extrusão

## PROTEÇÃO CATÓDICA

Nos casos mais simples é feito com “anodos de sacrifício” (Mg, Zn, Al) enterrados no solo de espaço em espaço e ligados eletricamente à tubulação

**Nos casos de solos de grande resistividade deve-se empregar o sistema de proteção catódica por “corrente impressa”**

*Uma fonte externa de energia introduz uma corrente contínua entre a tubulação e os anodos, que neste caso deve ser de grafita ou ligas especiais (Fé-Si, Fé-Cr-Si)*

# AULA 5

Referente ao Capítulo 16 do Livro Texto