

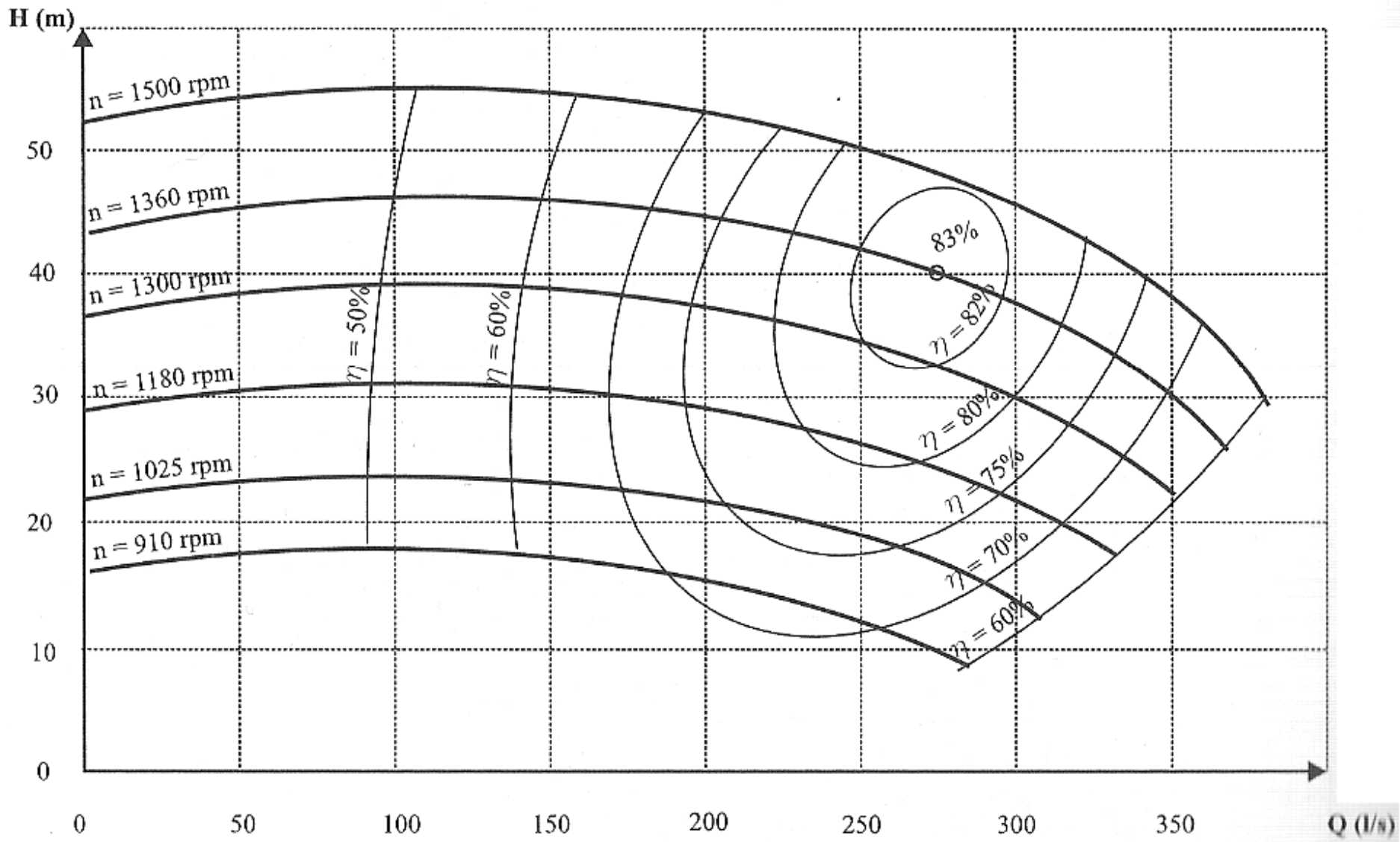
Décima primeira aula de mecânica
dos fluidos para engenharia química
(ME5330)

04/05/2010

Exercício de associação em série

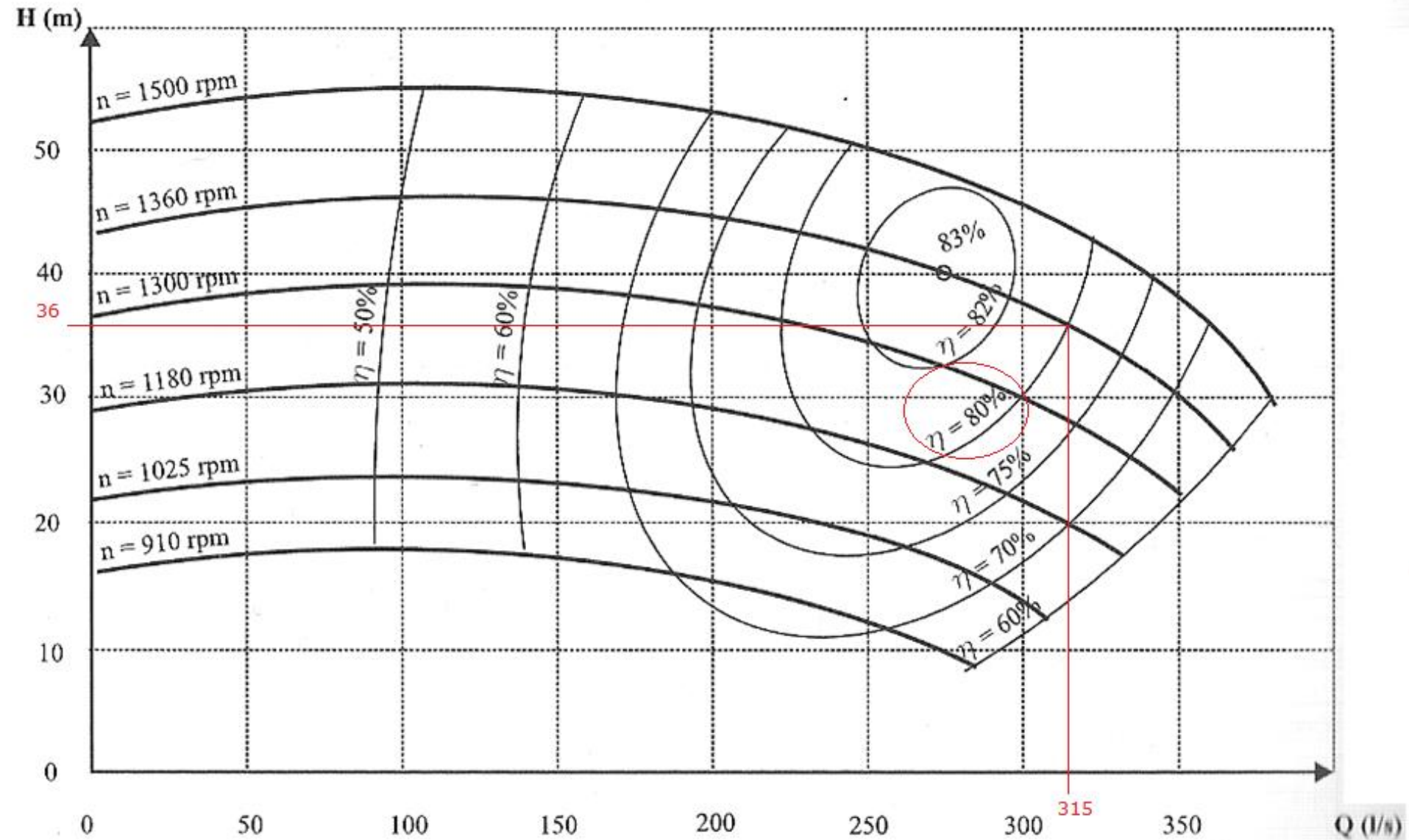
Uma lavoura de arroz distante do manancial de captação d'água necessita de 315 L/s ($\rho = 998,2 \text{ kg/m}^3$) para atender toda a área irrigada. O ponto de captação encontra-se na cota de 90 m acima do nível do mar e a lavoura situa-se na cota de 80 m. A tubulação que conduz a água possui diâmetro interno de 303,2 mm, área de seção livre igual a 722 cm² e coeficiente de atrito obtido com rugosidade equivalente (k) igual a $4,6 \cdot 10^{-5}$ m. O sistema de bombeamento é constituído pela associação em série de duas bombas iguais, operando com 1360 rpm, cujas curvas características encontram-se representadas a seguir. Desprezando o comprimento equivalente dos acessórios, considerando iguais as velocidades de escoamento na admissão e descarga das bombas, pressão na admissão da primeira bomba da associação $p_{a1} = 0$, manômetros nivelados, e que a perda entre as duas bombas associadas é desprezível e calculando a perda de carga pela equação de Darcy_Weisbach, determinar:

- a. a potência consumida pela associação;
- b. a perda de carga na tubulação em J/kg;
- c. a máxima pressão a que se encontra submetida a tubulação;
- d. o comprimento da canalização (distância entre o manancial e a lavoura);
- e. a vazão fornecida à lavoura quando uma das bombas é retirada da instalação através de um by-pass;
- f. a potência útil do motor elétrico neste caso;
- g. a vazão que chega à lavoura, considerando escoamento por ação da gravidade, quando as duas bombas são retiradas do circuito.



Solução

a) Considerando as curvas da bomba que foram dadas para a vazão de 315 L/s, tem-se:



Portanto, como trata-se da associação em série de duas bombas iguais tem-se:

$$H_{B_{AS}} = 2 \times H_B = 2 \times 36 = 72\text{m}$$

$$\eta_{B_{AS}} = \eta_B = 80\%$$

$$N_{B_{AS}} = \frac{\gamma \times H_{B_{AS}} \times Q_{AS}}{\eta_{B_{AS}}} = \frac{998,2 \times 9,8 \times 72 \times 315 \times 10^{-3}}{0,80}$$

$$N_{B_{AS}} \cong 277329,9\text{W}$$

b) escrevendo a equação da CCI, tem-se:

$$H_{\text{inicial}} + H_S = H_{\text{final}} + H_{p_{\text{totais}}}$$

$$90 + H_S = 80 + H_{p_{\text{totais}}}$$

$$\therefore H_S = -10 + H_{p_{\text{totais}}}$$

Como no ponto de trabalho a carga do sistema é igual a carga manométrica, tem-se que:

$$72 = -10 + H_{p_{\text{totais}}}$$

$$\therefore H_{p_{\text{totais}}} = 82\text{m}$$

$$E_{p_{\text{totais}}} = 82 \times 9,8 = 803,6 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

c) A máxima pressão que está submetida a tubulação será na saída da bomba, no caso da segunda bomba, portanto:

$$H_{B_{B1}} = \frac{p_{sI} - p_{aI}}{\gamma} \Rightarrow 36 = \frac{p_{sI} - 0}{998,2 \times 9,8}$$

$$p_{sI} \cong 352165 \text{ Pa}$$

$$H_{B_{B2}} = \frac{p_{sII} - p_{aII}}{\gamma} \Rightarrow 36 = \frac{p_{sII} - 352165}{998,2 \times 9,8}$$

$$p_{sII} = 704330 \text{ Pa}$$

A PRESSÃO DE DESCARGA DA SEGUNDA BOMBA DA ASSOCIAÇÃO EM SÉRIE, NO CASO DE INSTALAÇÃO UMA IMEDIATAMENTE APÓS A OUTRA, NUMA ÚNICA CASA DE MÁQUINA, SERÁ A MÁXIMA PRESSÃO A QUE ESTARÁ SUBMETIDA A TUBULAÇÃO EM QUESTÃO. ESTA PRESSÃO PODERÁ SER REDUZIDA COM O AFASTAMENTO DA SEGUNDA BOMBA, INSTALANDO-A EM UMA SEGUNDA CASA DE MÁQUINA SITUADA NUMA DISTÂNCIA INTERMEDIÁRIA ENTRE O PONTO DE CAPTAÇÃO E O DE DESCARGA.



A pressão máxima calculada é importante para especificação da espessura do tubo selecionado para o projeto

A seguir apresento uma síntese para o dimensionamento dos tubos de uma instalação industrial e que tem com referência os livros, tabelas e apostila mencionados a seguir:

Livro Texto:

TUBULAÇÕES INDUSTRIAIS Volumes 1 e 2

SILVA TELLES, Pedro Carlos

Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. APOSTILA FAENQUIL

Livro Auxiliar:

TABELAS E GRÁFICOS PARA PROJETO DE TUBULAÇÕES

SILVA TELLES, Pedro Carlos e BARROS, Darcy G. de Paula

Editora Interciência Ltda. APOSTILA FAENQUIL - Prof. Clélio

A blue speech bubble with a white outline, pointing downwards and to the left. Inside the bubble, the text "SEREÁ QUE REALMENTE É NECESSÁRIO ESTA SÍNTESE?" is written in white, uppercase, sans-serif font, centered horizontally and vertically.

SEREÁ QUE REALMENTE É
NECESSÁRIO ESTA SÍNTESE?

Nas plantas industriais dos setores químico e petroquímico observa-se uma grande quantidade de complexas redes de tubulações instaladas, o que se deve basicamente à necessidade de transferir e processar fluídos em diversas condições de pressão e temperatura em suas operações produtivas.

Uma indústria petroquímica de médio porte possui entre 3.000 e 15.000 toneladas de tubulações de aço-carbono instaladas, fazendo com que o adequado dimensionamento desse sistema de tubulações adquira grande importância.

A INFORMAÇÃO ANTERIOR FOI EXTRAÍDA DO ARTIGO: **OTIMIZAÇÃO DE ESPESSURAS EM TUBULAÇÕES INDUSTRIAIS ATRAVÉS DA ANÁLISE ESTRUTURAL**, QUE FOI ESCRITO POR: **Francisco Ruiz Dominguez, MSc (1)**, ENGESERV Ltda. frdominguez@uol.com.br E **Edison Gonçalves, PhD (2)**, Prof.Titular - EPUSP edison@usp.br

DISPONÍVEL NA PÁGINA: http://www.engeserv.com/files/artigo_04.pdf

Pode –se também justificar o seu estudo pelo custo das tubulações.

Em indústrias de processamento, indústrias químicas, refinarias de petróleo, indústrias petroquímicas, boa parte das indústrias alimentícias e farmacêuticas, o custo das tubulações pode representar 70% do custo dos equipamentos ou 25% do custo total da instalação.

DEFINIÇÃO DE UM TUBO

(Especificação para Compra)

DIÂMETRO NOMINAL

NÚMERO DE SÉRIE

TIPO DE EXTREMIDADE →

| |
|--------------------------------|
| Ponta lisa |
| Ponta chanfrada (especificada) |
| Ponta rosqueada (especificada) |

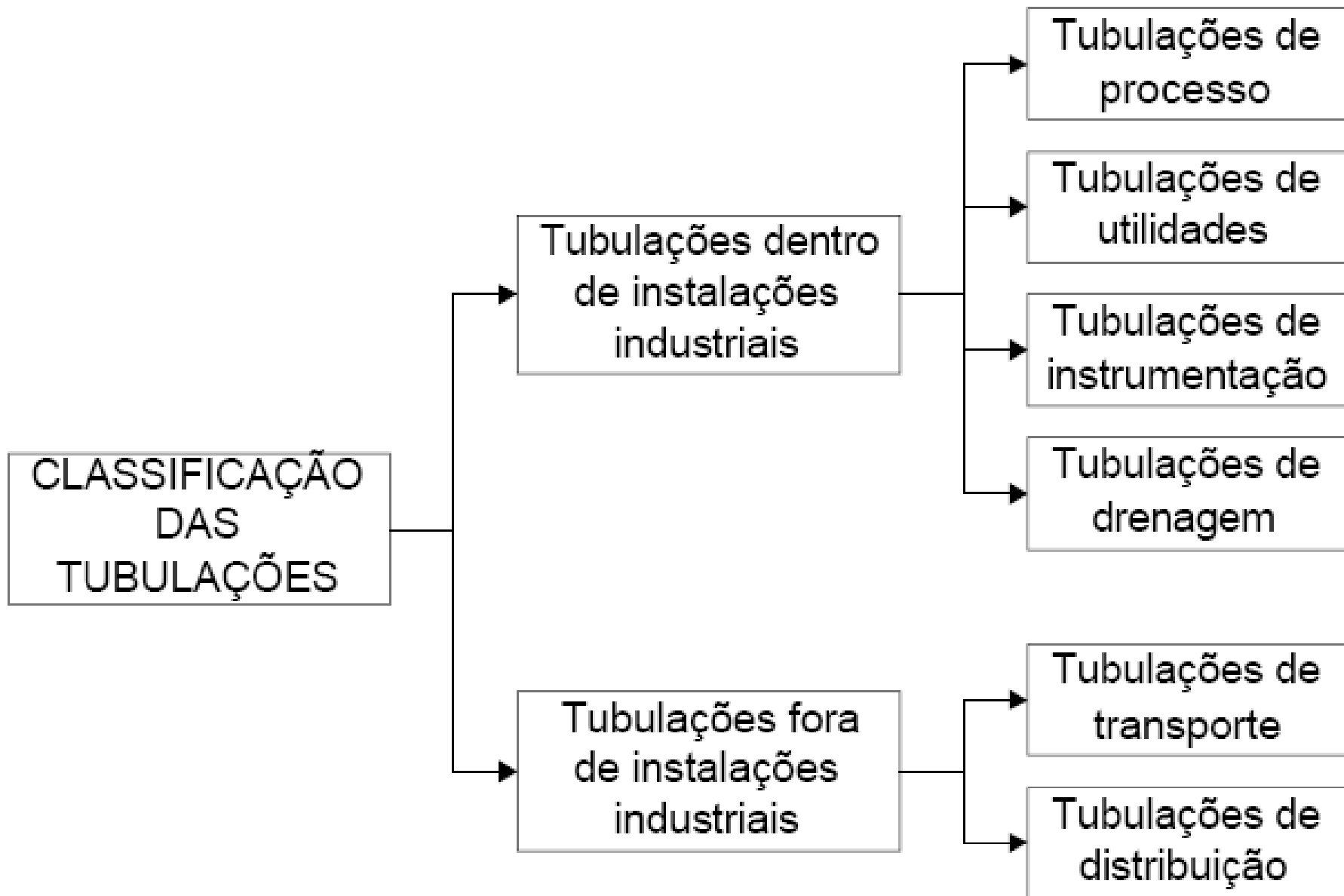
PROCESSO DE FABRICAÇÃO (com ou sem costura)

ESPECIFICAÇÃO DO MATERIAL

TIPO DE ACABAMENTO OU DE REVESTIMENTO

QUANTIDADE →

| |
|--|
| Normalmente indica-se a quantidade total em unidade de comprimento ou em peso. A indicação do comprimento da vara de tubo não é importante porque pode haver variação, em função do processo de fabricação |
|--|



Há uma variedade muito grande de materiais atualmente utilizados para a fabricação de tubos.

ASTM especifica mais de 500 tipos diferentes.

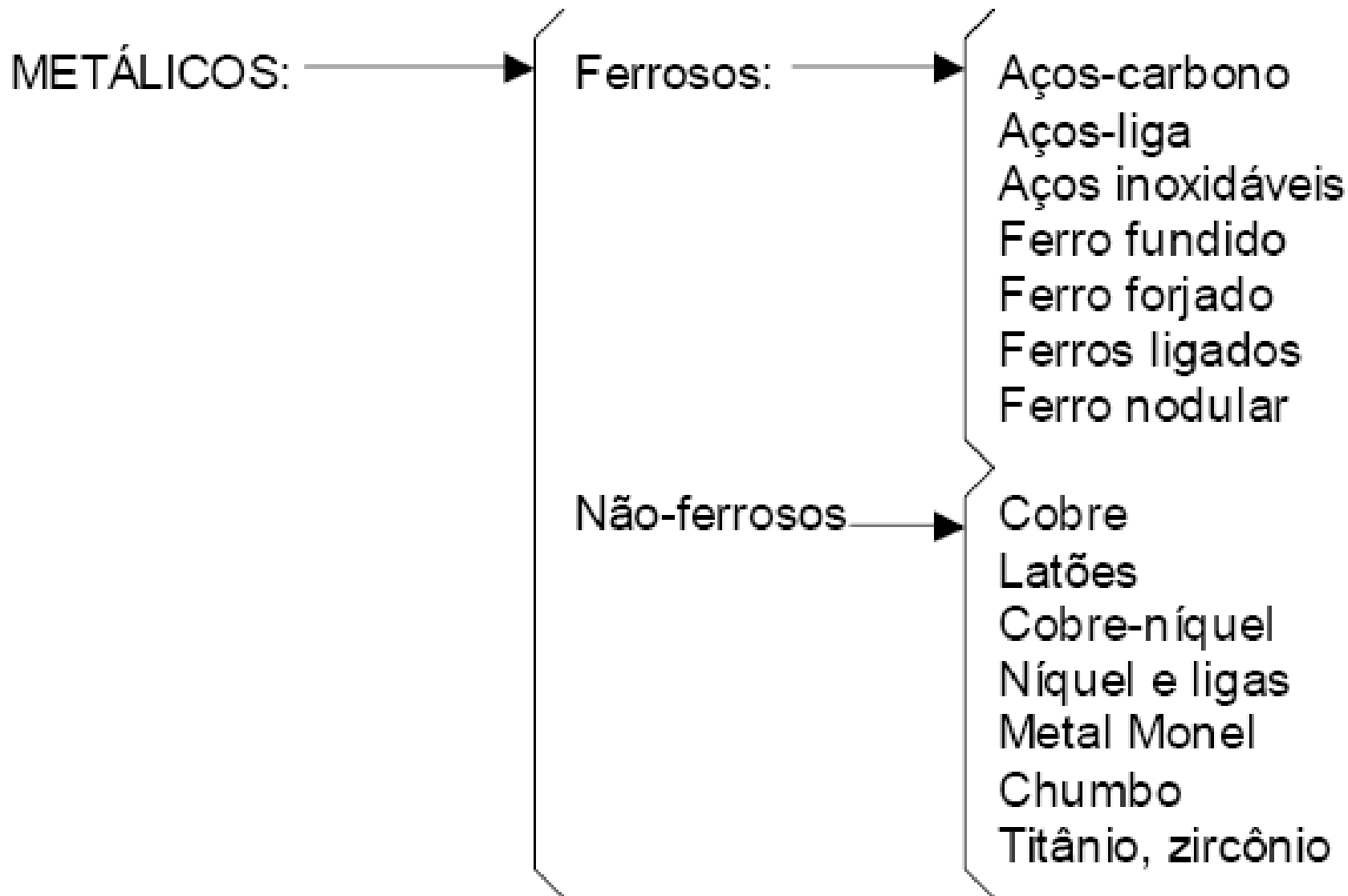
METÁLICOS:

Ferrosos:

Aços-carbono
Aços-liga
Aços inoxidáveis
Ferro fundido
Ferro forjado
Ferros ligados
Ferro nodular

Não-ferrosos

Cobre
Latões
Cobre-níquel
Níquel e ligas
Metal Monel
Chumbo
Titânio, zircônio



NÃO METÁLICOS:

→ Materiais
plásticos

→ Cloreto de polivinil (PVC)
Polietileno
Acrílicos
Acetato de celulose
Epóxi
Poliésteres
Fenólicos etc.

Cimento-amianto

Concreto armado

Barro vidrado

Elastômeros (borrachas)

Vidro

Cerâmica, porcelana etc.

FATORES DE INFLUÊNCIA NA SELEÇÃO DE MATERIAIS

Os principais fatores que influenciam são:

- fluido conduzido – natureza e concentração do fluido, impurezas ou agentes contaminadores; pH; velocidade; toxidez; resistência à corrosão; possibilidade de contaminação;
- condições de serviço – temperatura e pressão de trabalho. (consideradas as condições extremas, mesmo que sejam condições transitórias ou eventuais);
- nível de tensões do material – o material deve ter resistência mecânica compatível com a ordem de grandeza dos esforços presentes (pressão do fluido);
- pesos, ação do vento, reações de dilatações térmicas, sobrecargas, esforços de montagem etc.;
- natureza dos esforços mecânicos – tração; compressão; flexão; esforços estáticos ou dinâmicos; choques; vibrações; esforços cíclicos etc.;
- disponibilidade dos materiais – com exceção do aço-carbono os materiais tem limitações de disponibilidade.

FATORES DE INFLUÊNCIA NA SELEÇÃO DE MATERIAIS (cont.)

- sistema de ligações – adequado ao tipo de material e ao tipo de montagem;
- custo dos materiais – fator frequentemente decisivo; deve-se considerar o custo direto e também os custos indiretos representados pelo tempo de vida, e os consequentes custos de reposição e de paralisação do sistema;
- segurança – do maior ou menor grau de segurança exigido dependerão a resistência mecânica e o tempo de vida;
- facilidade de fabricação e montagem – entre as limitações incluem-se a soldabilidade, usinabilidade, facilidade de conformação etc.;
- experiência prévia – é arriscado decidir por um material que não se conheça nenhuma experiência anterior em serviço semelhante;
- tempo de vida previsto – o tempo de vida depende da natureza e importância da tubulação e do tempo de amortização do investimento, tempo de vida para efeito de projeto é de aproximadamente 15 anos.

OBSERVAÇÕES SOBRE A SELEÇÃO DE MATERIAIS

Para a solução do problema da escolha dos materiais, a experiência é indispensável e insubstituível ou seja, material para ser bom já deve ter sido usado por alguém anteriormente.

Seguir a experiência é a solução mais segura, embora nem sempre conduza à solução mais econômica.

Rotina para seleção de materiais:

- 1 – Conhecer os materiais disponíveis na prática e suas limitações físicas e de fabricação.
- 2 – Selecionar o grupo mais adequado para o caso tendo em vista as condições de trabalho, corrosão, nível de tensão etc.
- 3 – Comparar economicamente os diversos materiais selecionados, levando em conta todos os fatores de custo.

COMPARAÇÃO DE CUSTOS DE MATERIAIS

A comparação de custos deve ser feita comparando a relação custo/resistência mecânica ou seja, a comparação deve ser feita entre preços corrigidos que serão os preços por kg multiplicado pelo peso específico e dividido pela tensão admissível de cada material.

Na comparação de custos dos materiais devem ainda ser levados em consideração os seguintes pontos:

- resistência à corrosão (sobreespesura de sacrifício);
- maior ou menor dificuldade de solda;
- maior ou menor facilidade de conformação e de trabalho;
- necessidade ou não de alívio de tensões.

| CUSTO RELATIVO DOS MATERIAIS | | | |
|-------------------------------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------|
| Materiais | | Materiais | |
| | Custo Relativo | | Custo Relativo |
| <i>Aço-carbono estrutural</i> | 1,00 | <i>Ferro fundido</i> | 0,95 |
| <i>Aço-carbono qualificado</i> | 1,15 | <i>Alumínio</i> | 2,5 |
| <i>Aço-liga 1,25Cr – 0,5 Mo</i> | 3,1 | <i>Latão de alumínio</i> | 7,6 |
| <i>Aço inoxidável tipo 304</i> | 11,5 | <i>Metal Monel</i> | 31,8 |
| <i>Aço inoxidável tipo 316</i> | 15,0 | <i>Titânio</i> | 41,0 |

TUBOS DE AÇO-CARBONO (Chamados de uso geral)

- BAIXO CUSTO
- EXCELENTE QUALIDADE MECÂNICA
- FÁCIL DE SOLDAR E DE CONFORMAR
- REPRESENTA 90% DAS TUBULAÇÕES INDUSTRIAIS

UTILIZADO PARA: água doce, vapor, condensado, ar comprimido, óleo, gases e muitos outros fluidos pouco corrosivos.

LIMITES DE TRABALHO PELA TEMPERATURA:

- 450°C para serviço severo
- 480°C para serviço não severo
- 520°C máximo em picos
- 370°C começa deformação por fluência
- 530°C oxidação intensa (escamação)
- -45°C torna-se quebradiço

EXITE AÇOS ESPECIAIS PARA BAIXAS TEMPERATURAS COM MENOS CARBONO E MAIS MANGANÊS PARA TEMPERATURAS ABAIXO DE 0°C E ACIMA DE 400°C É RECOMENDADO A UTILIZAÇÃO DE AÇO-CARBONO ACALMADO (1% de Si)

O AÇO-CARBONO EXPOSTO À ATMOSFERA SOFRE CORROSÃO UNIFORME (ferrugem) E O CONTATO DIRETO COM O SOLO CAUSA CORROSÃO ALVEOLAR PENETRANTE.

DE UM MODO GERAL O AÇO-CARBONO APRESENTA BAIXA RESISTÊNCIA À CORROSÃO (utiliza-se com revestimento ou joga-se com sobre espessura).

OS RESÍDUOS DE CORROSÃO DO AÇO-CARBONO NÃO SÃO TÓXICOS MAS PODEM AFETAR A COR E O GOSTO DO FLUIDO CONDUZIDO.

O AÇO-CARBONO É VIOLENTAMENTE ATACADO PELOS ÁCIDOS MINERAIS, PRINCIPALMENTE QUANDO DILUIDOS OU QUENTES E SUPORTARAZOAVELMENTE O SERVIÇO COM ÁLCALIS.

OS TUBOS DE AÇO-CARBONO SÃO COMERCIALIZADOS SEM TRATAMENTO (TUBO PRETO) OU PROTEGIDOS COM REVESTIMENTO DE ZINCO DEPOSITADO A QUENTE (TUBO GALVANIZADO).

TUBOS DE AÇO-LIGA E AÇOS INOXIDÁVEIS

- OS TUBOS DE AÇO-LIGA OU DE AÇO INOXIDÁVEL SÃO BEM MAIS CAROS
- A SOLDAGEM, CONFORMAÇÃO E MONTAGEM TAMBÉM SÃO MAIS DIFÍCEIS E MAIS CARAS.

CASOS GERAIS DE EMPREGO

- Altas temperaturas
- Baixas temperaturas
- Alta corrosão
- Necessidade de não contaminação
- Segurança

ESPECIFICAÇÃO DE MATERIAL PARA TUBOS DE AÇO NO CASO DE TUBOS AS ESPECIFICAÇÕES MAIS COMUNS SÃO:

ASTM

Aço Carbono:

- A53, A106 = tubo preto
- A120 = tubo preto ou galvanizado

Aço inoxidável:

- A312

DIÂMETROS COMERCIAIS DOS TUBOS DE AÇO

- Norma ANSI. B.36.10 - Aço Carbono e Aço Liga
- Norma ANSI. B.36.19 - Aço Inoxidáveis

TODOS OS TUBOS SÃO DESIGNADOS POR UM NÚMERO CHAMADO “DIÂMETRO NOMINAL IPS” (Iron Pipe Size) ou “BITOLA NOMINAL”

Até 12” o Diâmetro Nominal não corresponde à nenhuma dimensão física do tubo; a partir de 14” o Diâmetro Nominal coincide com o diâmetro externo dos tubos.

NORMA DIMENSIONAL ABNT

A ABNT ADOTOU A ANSI B.36 DESPREZANDO A POLEGADA DO DIÂMETRO NOMINAL USANDO O NÚMERO COMO DESIGNAÇÃO.

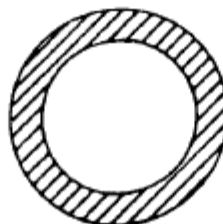
Para cada Diâmetro Nominal fabricam-se tubos com várias espessuras de parede, denominadas “séries” ou “schedule”.

$$\text{Série} = \frac{1000 \times p}{\sigma} \quad \text{onde} \rightarrow \begin{cases} p = \text{pressão interna de trabalho em psig} \\ \sigma = \text{tensão admissível do material em psig} \end{cases}$$

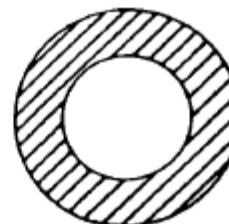
PARA CADA DIÂMETRO NOMINAL O DIAMETRO EXTERNO É SEMPRE CONSTANTE, VARIANDO APENAS O DIÂMETRO INTERNO, QUE SERÁ TANTO MENOR QUANTO MAIOR FOR A ESPESSURA DE PAREDE DO TUBO.



Série 40
DIA INT. = 1,049"
ESP = 0,133"



Série 80
DIA INT. = 0,957"
ESP = 0,179"



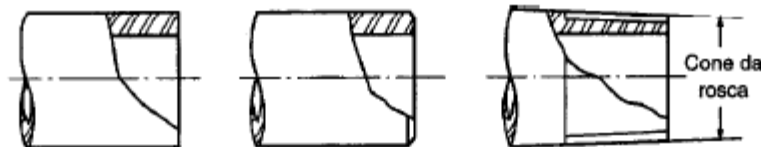
Série 160
DIA INT. = 0,815"
ESP = 0,250"

DIÂMETRO EXTERNO = 1,315"

SEÇÕES TRANSVERSAIS EM TUBOS DE 1" DE DIÂMETRO NOMINAL

| NORMALIZAÇÃO DA ABNT – P-PB-225 | |
|---|--|
| Diâmetros | Séries |
| 1/8", 1/4", 3/8", 1/2", 3/4", 1", 1 1/4", 1 1/2", 2", 2 1/2", 3", 3 1/2", 4", 5", 6", 8", 10", 12", 14", 16", 18", 20", 22", 24", 26", 30" e 36" (OS DIÂMETROS DE 1 1/4", 3 1/2" E 5" SÃO POUCO USADOS NA PRÁTICA) | 10, 20, 30, 40, 60, 80, 100, 120, 140 e 160 (NÃO EXISTE DISPONÍVEL NO MERCADO TODAS AS ESPESSURAS PARA TODOS OS DIÂMETROS) |

TIPOS DE PONTAS DE TUBOS



DIMENSIONAMENTO DO DIÂMETRO DA TUBULAÇÃO

**NA MAIORIA DOS CASOS É
UM PROBLEMA
HIDRÁULICO EM FUNÇÃO:**

Da vazão necessária de fluido
Das diferenças de cotas existentes
Das pressões disponíveis
Das velocidades e perdas de carga
admissíveis
Da natureza do fluido
Do material e tipo da tubulação

EXCEÇÕES

Diâmetro do bocal do equipamento (TUBOS CURTOS)
Vão entre os suportes (VAZÕES PEQUENAS)

O CÁLCULO É FEITO POR APROXIMAÇÕES SUCESSIVAS

CÁLCULO DO DIÂMETRO

Função das velocidades de escoamento
ou
Das perdas de carga

CALCULADO O DIÂMETRO EM FUNÇÃO DO ESCOAMENTO É PRECISO ADEQUAR O VALOR ENCONTRADO COM AS DIMENSÕES NORMALIZADAS PARA FABRICAÇÃO DE TUBOS.

A espessura do tubo é determinada de acordo com a pressão que irá suportar. Desse modo, pode-se classificá-los em classes. Para o tubo de aço varia de “Sch” 40 a 160, já o PVC possui as classes 12, 15, e 20, e o tubo de cimento amianto possui as classes A e B.

NA SÍNTESE APRESENTADA O FOCO SÃO
OS TUBOS METÁLICOS, COM ÊNFASE
NOS TUBOS DE AÇO.

CÁLCULO DA ESPESSURA DA PAREDE DO TUBO (Em função da pressão interna)

$$e = \frac{P \times D}{2 \times \sigma_h}$$

e = espessura da parede em “mm”;

p = pressão hidrostática máxima interna em “kgf/cm²”

D= diâmetro interno em “mm”

σ_h =tensão admissível de resistência à tração do material na temperatura de projeto em “kgf/cm²”

**SÓ PODE SER UTILIZADA SE O DIÂMETRO EXTERNO FOR MAIOR QUE 6 (seis)
VEZES A ESPESSURA DA PAREDE**

CÁLCULO DA ESPESSURA DE PAREDE (Norma ANSI/ASME. B.31)

$$e = \frac{p \times D}{2 \times (\sigma_h \times E + p \times Y)} + C \rightarrow \text{ou} \rightarrow e = \frac{p \times d}{2 \times (\sigma_h \times E + p \times Y - p)} + C$$

p = pressão interna do projeto;

D = diâmetro externo; d = diâmetro interno;

σ_h = tensão admissível do material na temperatura de projeto;

E = coeficiente de eficiência de solda:

$E=1$ – para os tubos sem costura e com costura por solda de topo com radiografia total

$E=0,9$ – para tubo com costura por solda de topo com radiografia parcial

$E=0,85$ – para tubos com costura com solda pelos dois lados

$E=0,8$ – para tubos com costura com solda por apenas um lado

Y = coeficiente de redução de acordo com o material e a temperatura

$Y=0,4$ – para tubos de aço carbono e outros aços ferríticos com temperaturas de até 485°C

$Y=0$ – para tubos de ferro fundido

C = soma das sobreessuras para corrosão, erosão e abertura de roscas

IMPORTANTE

AS FÓRMULAS NÃO PODEM SER APLICADAS QUANDO $(P/(\sigma E)) > 0,385$ E TAMBÉM QUANDO $e > D/6$.

A SOBRE ESPESSURA PARA CORROSÃO E EROSÃO SERÁ O PRODUTO DA TAXA ANUAL DE CORROSÃO PELO NÚMERO DE ANOS DA VIDA ÚTIL; PARA TUBULAÇÕES EM GERAL, TOMA-SE DE 10 A 15 ANOS DE VIDA ÚTIL.

NA FALTA DE DADOS, PARA O AÇO CARBONO, E AÇO DE BAIXA LIGA, CONSIDERA-SE:

1. 1,2 mm como valor mínimo para a sobre espessura de corrosão
2. 2,0 mm em serviços de média corrosão
3. até 4,0 mm em serviços de alta corrosão

Tensão admissível de resistência à tração, que no caso do aço ABNT EB – 255G30 (ASTM A283 grau C) vale aproximadamente 1400 kgf/cm^2

Recomenda-se, por segurança, adotar para a tubulação de baixa pressão a espessura mínima de parede dos condutos forçados, tendo em vista que qualquer defeito de laminação ou efeitos de corrosão afetam o valor da espessura percentualmente. Esse reflexo é maior nas chapas mais finas e é mais difícil a elaboração de uma boa solda nessas chapas. Além disso, a adoção da espessura mínima é recomendada por motivos construtivos, de montagem e de transporte.

OUTROS EXEMPLOS PARA TENSÕES ADMISSÍVEIS

29.3. De acordo com a Norma ANSI B. 31.4, para Oleodutos

| Especificação de material e grau (De acordo com ASTM ou API) | Tensões admissíveis | |
|---|---------------------|-------|
| | kg/cm ² | MPa |
| A - 53 Gr A, A - 106 Gr A, API - 5L Gr A | 1.519 | 148,9 |
| A - 53 Gr B, A - 106 Gr B, API - 5L Gr B | 1.772 | 173,8 |
| API - 5LX Gr X42 | 2.127 | 208,6 |
| API - 5LX Gr X46 | 2.327 | 228,2 |
| API - 5LX Gr X52 | 2.633 | 258,2 |
| API - 5LX Gr X56 | 2.833 | 277,8 |
| API - 5LX Gr X60 | 3.037 | 297,8 |
| API - 5LX Gr X65 | 3.290 | 322,6 |
| API - 5LX Gr X70 | 3.544 | 347,5 |

- Notas:
1. Essas tensões admissíveis aplicam-se aos tubos sem costura e aos tubos com costura obtidos por solda de resistência elétrica ou por solda de arco protegido.
 2. Para os tubos com costura as tensões admissíveis já contém o fator de eficiência de solda, e portanto podem ser empregados diretamente nos cálculos.
 3. Essas tensões admissíveis só podem ser empregados para temperatura até 120° C.

Sob Pressão Externa

Em certos casos, o conduto pode ser submetido a pressão externa uniforme sobre todo o seu perímetro, por exemplo, quando é esvaziado sem os cuidados necessários ou quando não funciona a aeração. A ocorrência de uma depressão parcial, ou total (vácuo), do nível do gradiente dinâmico que ultrapasse a cota inferior do piso da tubulação, poderá causar uma deformação (afundamento) na chapa e o colapso da parede da tubulação. A pressão externa correspondente, de colapso, (p_c), pode ser calculada pela fórmula a seguir.

$$p_c = \frac{2E}{1-\nu^2} \left(\frac{e}{D} \right)^3$$

p_c = pressão externa, ou de colapso (kgf/cm²);

E = módulo de elasticidade do aço (kgf/cm²);

ν = fator de contração transversal;

e = espessura da chapa do conduto;

D = diâmetro interno do conduto;

com “e” e “D” nas mesmas dimensões.

Considerando-se as características do aço, tem-se:

$$p_c = 882.500 \left(\frac{e}{D} \right)^3$$

Se a espessura da chapa é maior que 0,6% do diâmetro interno do conduto, a rigidez da chapa é suficiente para sustentar o vácuo interno.

FINALMENTE PODE-SE PENSAR
EM COMPRAR OS TUBOS ...

DEFINIÇÃO DE UM TUBO

(Especificação para Compra)

DIÂMETRO NOMINAL

NÚMERO DE SÉRIE

TIPO DE EXTREMIDADE

- Ponta lisa
- Ponta chanfrada (especificada)
- Ponta rosqueada (especificada)

PROCESSO DE FABRICAÇÃO (com ou sem costura)

ESPECIFICAÇÃO DO MATERIAL

TIPO DE ACABAMENTO OU DE REVESTIMENTO

QUANTIDADE

- Normalmente indica-se a quantidade total em unidade de comprimento ou em peso. A indicação do comprimento da vara de tubo não é importante porque pode haver variação, em função do processo de fabricação

VOLTANDO AO PROBLEMA, É APRESENTADA A SEGUIR A SOLUÇÃO DO ITEM D

Pela equação de Darcy Weisbach, tem-se:

$$h_f = f \times \frac{L_{\text{total}}}{D_H} \times \frac{v^2}{2g} = f \times \frac{(L_t + \sum Leq)}{D_H} \times \frac{Q^2}{2g \times A^2}$$

Com os dados:

$$Q = 315 \frac{\text{L}}{\text{s}} \rightarrow \rho_{\text{H}_2\text{O}} = 998,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \text{ o que nos permite concluir}$$

que a mesma encontra-se a 20°C e portanto $v_{\text{H}_2\text{O}} = 1,004 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$

$D_{\text{int}} = 303,2\text{mm}$; $A = 722 \text{ mm}$ e $K = 4,6 \times 10^{-5} \text{ m}$, pode-se determinar $f \cong 0,014$

No item b) determinou-se a perda de carga total de 82 m e como a $\Sigma l_{eq}=0$, tem-se:

$$82 = 0,014 \times \frac{L_t}{303,2 \times 10^{-3}} \times \frac{(315 \times 10^{-3})^2}{2 \times 9,8 \times (722 \times 10^{-4})^2}$$

$$\therefore L = 1828,7 \text{ m}$$

e) Para a determinação da vazão de trabalho só com uma bomba deve-se traçar a sua CCI

$$H_S = H_{\text{estático}} + f \times \frac{L_t}{D_H} \times \frac{Q^2}{2g \times A^2}$$

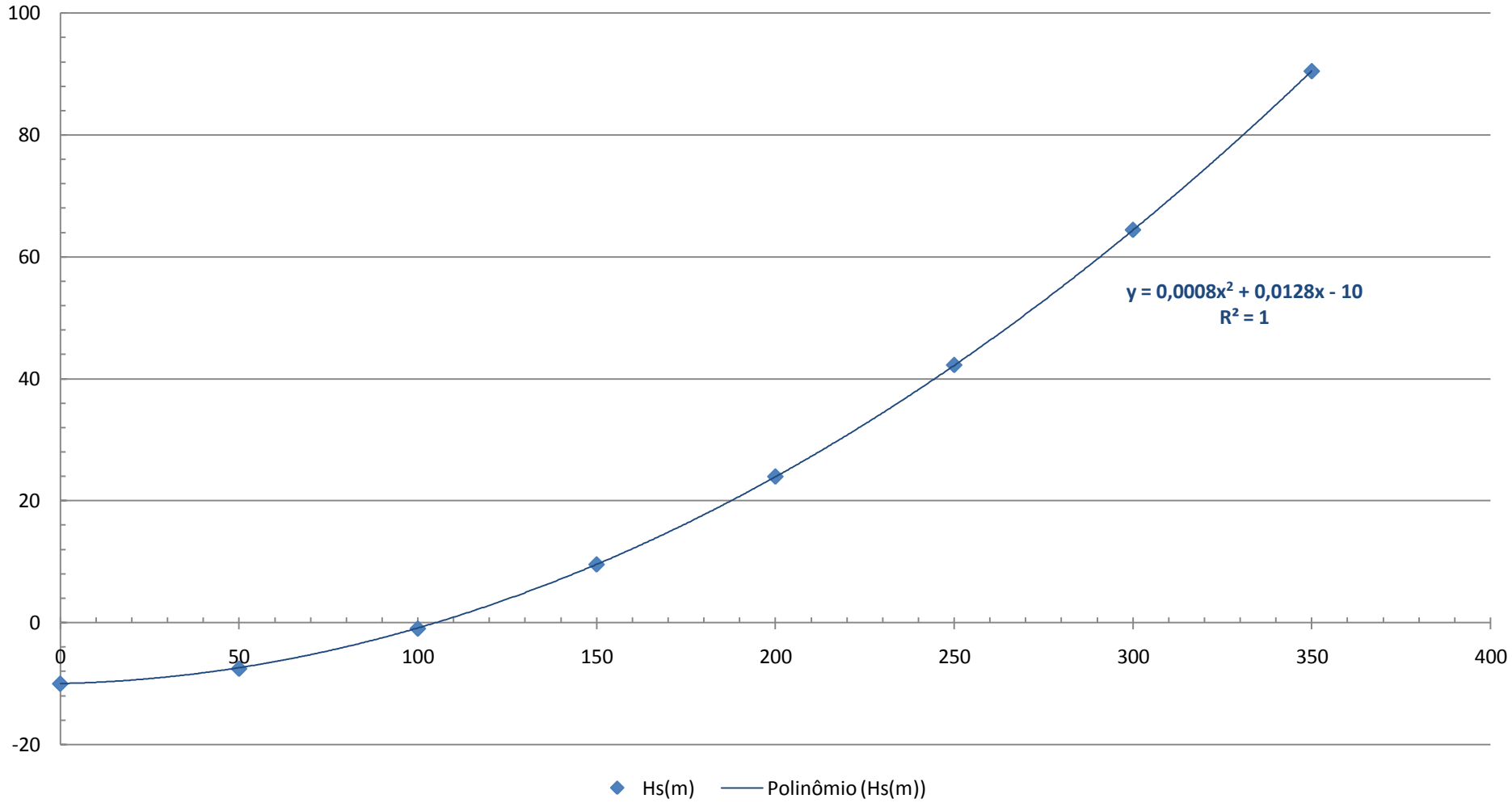
$$H_S = -10 + f \times \frac{1828,7}{0,3032} \times \frac{Q^2}{19,6 \times (722 \times 10^{-4})^2}$$

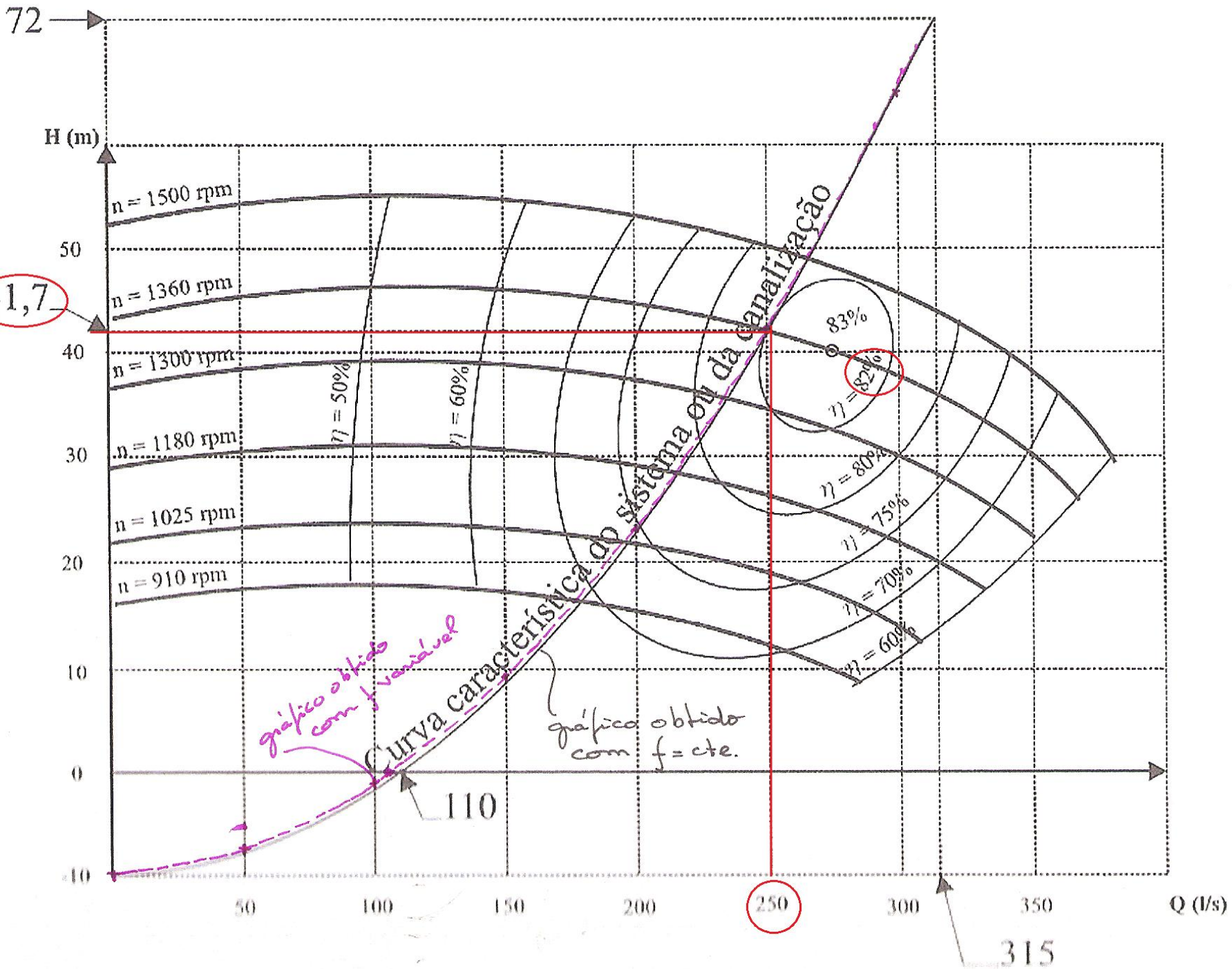
$$H_S = -10 + f \times 59031,4 \times Q^2$$

Pelo Excel, tem-se:

| Q (L/s) | f | Hs(m) |
|---------|--------|-------|
| 0 | 0 | -10 |
| 50 | 0,0167 | -7,5 |
| 100 | 0,0153 | -1,0 |
| 150 | 0,0147 | 9,6 |
| 200 | 0,0144 | 24,0 |
| 250 | 0,0142 | 42,3 |
| 300 | 0,0140 | 64,4 |
| 350 | 0,0139 | 90,4 |

CCI





PORTANTO PARA UMA BOMBA SE TEM O PONTO DE
TRABALHO:

$$Q_{\tau} \cong 250 \frac{\text{L}}{\text{s}} \rightarrow H_{B_{\tau}} \cong 41,7\text{m} \rightarrow \eta_{B_{\tau}} \cong 82\%$$

e)

$$N_{B_{\tau}} = \frac{\gamma \times Q_{\tau} \times H_{B_{\tau}}}{\eta_{B_{\tau}}} = \frac{998,2 \times 9,8 \times 0,250 \times 41,7}{0,82}$$

$$N_{B_{\tau}} \cong 124367,2 \text{ W} \cong 124,4 \text{ kW}$$

f) Para se determinar a vazão de queda livre basta ler a vazão para carga do sistema igual a zero, ou colocar na equação da linha de tendência que $H_s = 0$, portanto:

$$0 = 0,0008 \times Q^2 + 0,0128 \times Q - 10$$

$$Q_{qL} = \frac{-0,0128 + \sqrt{0,0128^2 + 4 \times 0,0008 \times 10}}{2 \times 0,0008}$$

$$Q_{qL} \cong 104,1 \frac{\text{L}}{\text{s}}$$