

5.6 Tensões e momentos devidos à carga peso

Uma vez que tenham sido determinados o peso linear da linha e o peso de seus componentes principais, através das equações relativas ao cálculo de momentos em uma viga em balanço ou biapoiada, dependendo do caso, o momento máximo de cada trecho pode ser estimado. Conseqüentemente a tensão máxima correspondente é determinada pela divisão do momento máximo encontrado pelo módulo de resistência à flexão do tubo. A Figura 5-9 ilustra como isto pode ser realizado.

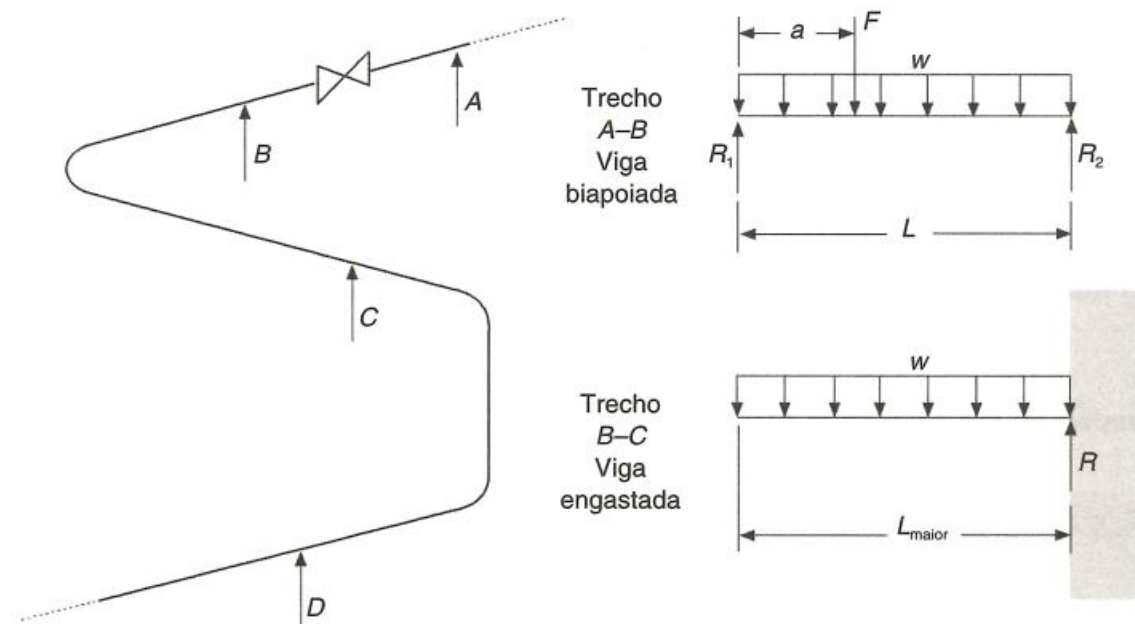


Figura 5-9 Exemplo de como fracionar e modelar um sistema para se estimar os momentos máximos.

Para o trecho A - B (**viga biapoiada**), o momento máximo aproximado pode ser obtido por:

$$M_{m\acute{a}x} = \frac{wL^2}{8} + \frac{Fa(L-a)}{L} \quad (5-19)$$

e para o trecho B - C (**viga em balanço. Não pode ser biapoiada, devido há a força resultante que está fora do eixo ligado as extremidades B e C e que não pode ser equilibrado pelos apoios simples**):

$$M_{m\acute{a}x} = \frac{wL_{maior}^2}{2} \quad (5-20)$$

em que:

F é o peso da Válvula;

a é a distância entre o centro de massa da válvula e um dos suportes;

L_{maior} é o comprimento do maior braço do trecho B - C;

$M_{máx}$ é o momento máximo no trecho analisado.

Para o trecho C - D, nota-se que tanto o braço horizontal superior como o inferior sofrem a mesma deflexão (a extremidade acoplada). Assim sendo, o momento máximo deverá ocorrer no menor braço do conjunto. Conservativamente, o momento pode ser estimado modelando-se este braço como uma Viga cantiléver (que é engastada na extremidade do menor braço) sob a ação de uma carga concentrada F agindo em sua extremidade e de uma carga uniformemente distribuída w (Figura 5-10).

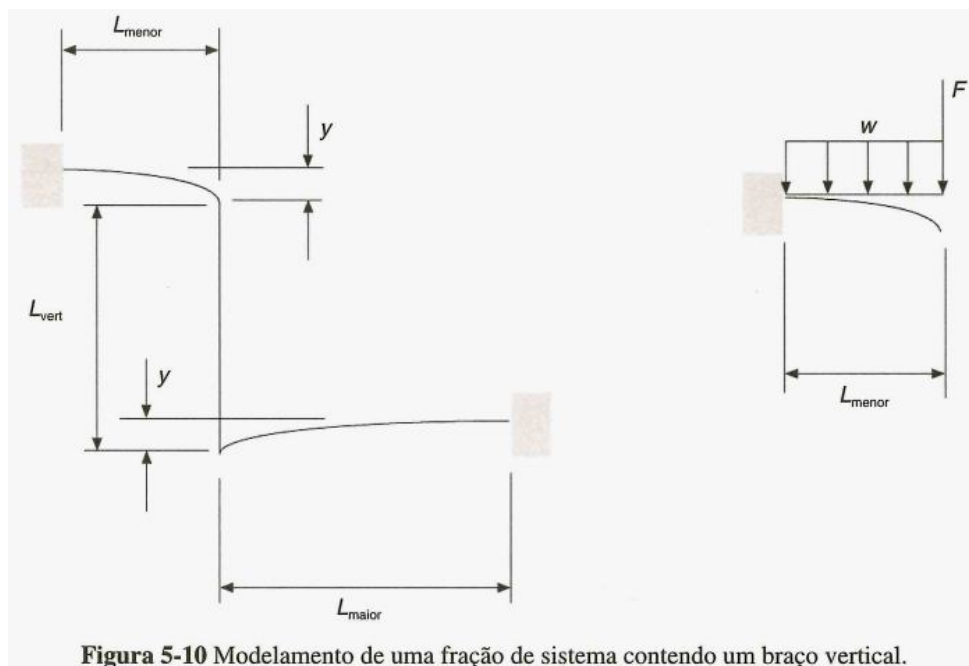


Figura 5-10 Modelamento de uma fração de sistema contendo um braço vertical.

Então

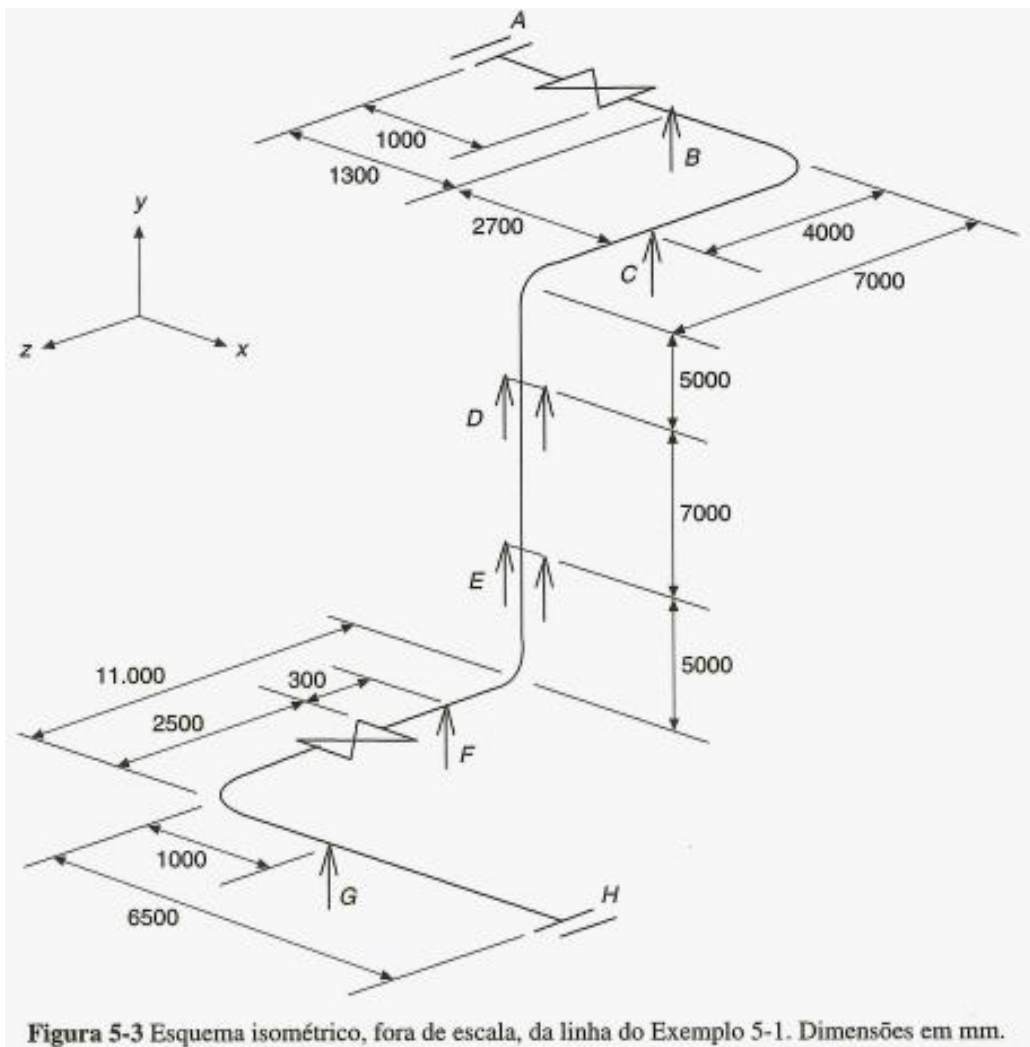
$$M_{máx} = \frac{wL_{menor}^2}{2} + FL_{menor} \quad (5-21)$$

em que

$$F = w\left(\frac{L_{maior}}{2} + L_{vert}\right) \quad (5-22)$$

EXEMPLO NUMÉRICO 5 (Exemplo 5-3 no livro)

Seja o sistema apresentado na Figura 5-3. Este consiste em uma linha conectada por flanges a dois bocais de equipamento (pontos A e H), composta de tubos sem costura, em aço-carbono ASTM A106 grau A, diâmetro nominal de 10 polegadas, schedule standard (diâmetro interno 254,51 mm, parede de 9,27 mm), isolados termicamente com 75 mm de lã mineral (peso específico de 133524 N/m^3). Neste exemplo, todas as Válvulas são do tipo gaveta, de classe 150 psi, isoladas e com flanges. Considere que os bocais de equipamento estão atuando como ancoragem, a temperatura de projeto em 180°C e também a ocorrência de teste hidrostático. Determinar a tensão máxima em cada segmento.



Solução:

A tabela abaixo lista os pesos aproximado dos principais componentes do sistema.

Disciplina: CALCULO DE TENSÕES EM SISTEMAS DE TUBULAÇÕES INDUSTRIAIS

Descrição	Obs. Dimensional	Peso Vazio	Isolamento	Fluido	Total
Tubo de 10", diâmetro nominal, <i>schedule standard</i>	-	587,60 N/m	109,50 N/m	499,35 N/m	1196,46 N/m
Curva de 10", <i>schedule standard</i> , raio longo	$l = 508,00 \text{ mm}$ $l_c = 381,00 \text{ mm}$ $l_{cg} = 242,55 \text{ mm}$	326,27 N	61,95 N	255,79 N	644,00 N
Válvula gaveta de 10", classe 150, com flanges	s/flg 330,20 mm c/flg 475,49 mm	2090,66 N	164,25 N	449,42 N	s/flg 2704,33 N c/flg 3238,11 N
Flange de 10", classe 150	cada: 73,15 mm	266,89 N	-	-	266,89 N

- Segmento A-B (**viga biapoiada**): Considere a Equação 5-19, sendo $w = 1196 \text{ N/m}$; $F = 3238,11 \text{ N} - 449,42 \text{ N} = 2789 \text{ N}$ (Válvula vazia, isolada e acoplada a dois flanges); $L = 1300 \text{ mm} = 1,3 \text{ m}$ e $a = 1000 \text{ mm} - 475,49 \text{ mm} / 2 = 762 \text{ mm} = 0,762 \text{ m}$. O momento máximo é então estimado por

$$M_{m\acute{a}x} = \frac{wL^2}{8} + \frac{Fa(L-a)}{L} = 1132 \text{ Nm}$$

Sabendo-se que o módulo de resistência da seção transversal do tubo de 10 polegadas, *schedule standard*, é de $4,9004 \times 10^{-4} \text{ m}^3$ (anexo 2), tem-se a tensão máxima do segmento: 2,31 MPa.

- Segmento B-C (**viga em balanço**): Através da Equação 5-20, com $w = 1196 \text{ N/m}$ e $L_{\text{maior}} = 4000 \text{ mm} = 4 \text{ m}$, tem-se o momento máximo:

$$M_{m\acute{a}x} = \frac{wL_{\text{maior}}^2}{2} = 9568 \text{ Nm}$$

o que indica uma tensão máxima de 19,5 MPa.

- Segmento C-D (**viga biapoiada**): Situação similar à do segmento A-B, porém sem a carga concentrada. Momento máximo estimado em 1346 N-m para $w = 1196 \text{ N/m}$ e $L = 3000 \text{ mm} = 3 \text{ m}$, através da Equação 5-19. Tensão máxima de 2,75 MPa.
- Segmento D-E: As tensões em trechos verticais de uma tubulação não podem ser determinadas por meio tipo de análise empregado para os demais segmentos

anteriores, uma vez que estes trechos não geram momentos. Entretanto, considera-se que não há necessidade de se estimar a tensão gerada pela carga peso, uma vez que o posicionamento dos suportes em D e em E obedece às recomendações para a locação de suportes, tal como apresentadas no Capítulo 4.

- Segmento E-F (**viga biapoiada**): Através da Equação 5-19, e empregando $w = 1196$ N/m e $L = 8200$ mm = 8,2 m, tem-se o momento máximo de 10052,4 N-m e, portanto, a tensão máxima de **20,5 MPa**. (Obs. O livro considera o segmento como **viga em balanço**, assim, obtém um valor muito elevado: 82,1 MPa, que é exagerado!)
- Segmento F-G: Este trecho apresenta uma configuração que não foi apresentada na Figura 5-9. Entretanto, este segmento pode ser considerado como **viga em balanço** e analisado utilizando-se o mesmo raciocínio empregado para gerar as Equações 5-21 e 5-22. Tanto o braço maior como o menor sofrem a mesma deflexão. Por conseqüência, o momento máximo deverá ocorrer no menor braço (**ligado ao suporte G, sendo considerado engastado**) do conjunto. Portanto, o momento pode ser estimado modelando-se este braço como uma Viga cantiléver, sob a ação de uma carga concentrada F agindo em sua extremidade, e de uma carga uniformemente distribuída w . Em concordância com as equações apresentadas no Anexo 13, a carga concentrada é admitida como sendo composta de metade do peso do braço maior (**sendo considerado como viga biapoiada**) e mais uma parcela do peso da Válvula:

$$M_{máx} = \frac{wL_{menor}^2}{2} + FL_{menor}$$

sendo

$$F = w \frac{L_{maior}}{2} + P_{valv} \frac{a}{L_{maior}} \quad (5-23)$$

em que P_{valv} é o peso da Válvula, 2789 N; a é a distância do **centro da Válvula ao ponto F** = 300 mm + 475,49 mm/2 = **537,7 mm = 0,5377 m**; L_{menor} e L_{maior} iguais a 1000 mm = 1 m e 2800 mm = 2,8 m, respectivamente. Obtém-se assim o valor de **4526 Nm** para o momento máximo no segmento e de **9,23 MPa** para a tensão máxima.

Caso a Válvula já está no L_{menor} , a formula será alterada como:

$$M_{m\acute{a}x} = \frac{wL_{menor}^2}{2} + FL_{menor} + P_{valv}a \quad (5-24)$$

sendo

$$F = w \frac{L_{maior}}{2} \quad (5-25)$$

em que **a** é a distância do **centro da Válvula ao ponto G**.

- Segmento G - H (**viga biapoiada**): Empregando-se $w = 1196 \text{ N/m}$ e $L = 5500 \text{ mm} = 5,5 \text{ m}$ para a Equação 5-19, tem-se momento máximo de 4522 Nm e a tensão máxima correspondente de 9,23 MPa.

Tabela 5-6 Tensão máxima estimada para cada segmento entre suportes do sistema apresentado no Exemplo 5-2

Segmento	Tensão Máxima [MPa]	Segmento	Tensão Máxima [MPa]
A - B	2,31	E - F	20,5
B - C	19,5	F - G	9,38
C - D	2,75	G - H	9,23

Capítulo 6. ANÁLISE DAS CARGAS OCASIONAIS

6.1 Cargas originais pela ação do vento

Normalmente, no Brasil, é difícil que a velocidade do vento ultrapasse 20 m/s; mesmo durante tempestades litorâneas é raro que se observem velocidades maiores que 50 m/s. Entretanto, notadamente nas regiões Sul e Sudeste, tornados podem alcançar 130 m/s (máximo valor registrado). Em determinados pontos de um tornado a velocidade do vento possa atingir 220 m/s.

A força exercida pela ação do vento sobre um objeto pode ser estimada por meio da equação de Bernoulli:

$$F_v = \frac{C_d V^2 \rho D}{2} \quad (6-1)$$

em que:

F_v é a força exercida pelo vento, por metro linear do tubo, [N/ m];

C_d é o coeficiente de arrasto aerodinâmico, adimensional;

V é a velocidade do vento, [m/s];

ρ é a densidade do ar, [kg/m³];

D é o diâmetro do tubo, considerando isolamento térmico, [m].

O valor do coeficiente de arrasto aerodinâmico C_d varia em função do número de Reynolds e também do número de Mach. Este coeficiente, para Mach aproximadamente igual a 0,35, pode ser obtido diretamente pela determinação do número de Reynolds (Equação 6-2) e da Figura 6-1.

$$Re = \frac{\rho D V}{\mu} \quad (6-2)$$

$$Mach = \frac{V}{c} \quad (6-2)$$

onde μ é a viscosidade dinâmica do ar, [kg/(m.s)] e c é a velocidade do som no ar atmosférico, [m/s]. Para ar atmosférico padrão, **a velocidade do som varia linearmente de 340 m/s ao nível do mar para 315 m/s a 6000 m de altitude.**

Para o caso de áreas expostas a ciclones violentos, em que os ventos possam atingir números de Mach maiores de 0,35, o gráfico da Figura 6-2 fornece fatores

percentuais de correção. O número de Reynolds é um parâmetro adimensional, que constitui um indicativo do grau de turbulência do fluxo. O número de Mach é a razão entre a velocidade relativa do objeto estudado e a velocidade do som no fluido; neste caso, é a razão entre a velocidade do vento e a velocidade do som na atmosfera. O número de Mach é um parâmetro que caracteriza os efeitos da compressibilidade em escoamentos.

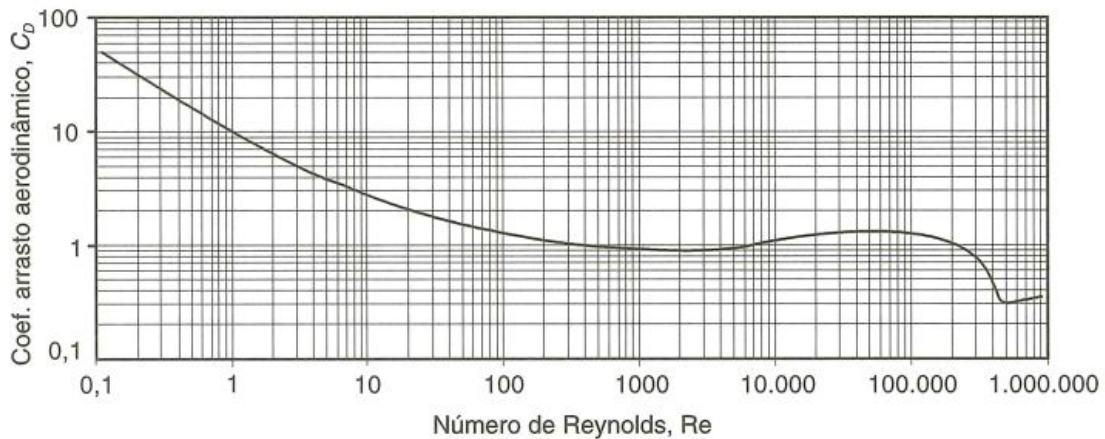


Figura 6-1 Gráfico para determinação de coeficientes de arrasto aerodinâmico para cilindros circulares de comprimento infinito, perpendiculares à direção do fluxo. Válido para Mach 0,35.

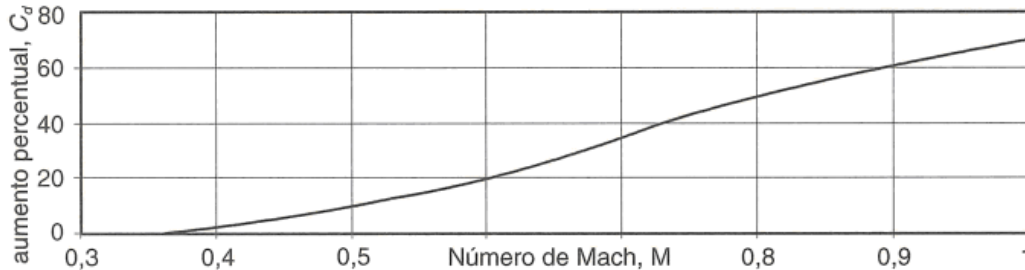


Figura 6-2 Gráfico para correção dos coeficientes de arrasto aerodinâmico apresentados na Figura 6-1, para números de Mach maior que 0,35.

Para que os efeitos dinâmicos do fluxo turbulento e da variação irregular da velocidade do ar sejam considerados, ao final da estimativa a carga originada pela ação dos ventos é multiplicada por um fator adicional de segurança. Este fator, chamado de fator de turbulência (*gust factor*), tem seu valor entre 1,0 e 1,3. Sugere-se aqui o emprego do valor de 1,3 para este fator no caso de previsão de ventos da ordem de 50 m/s ou mais e de 1,0 para velocidades iguais ou menores que 20 m/s (Figura 6-3).

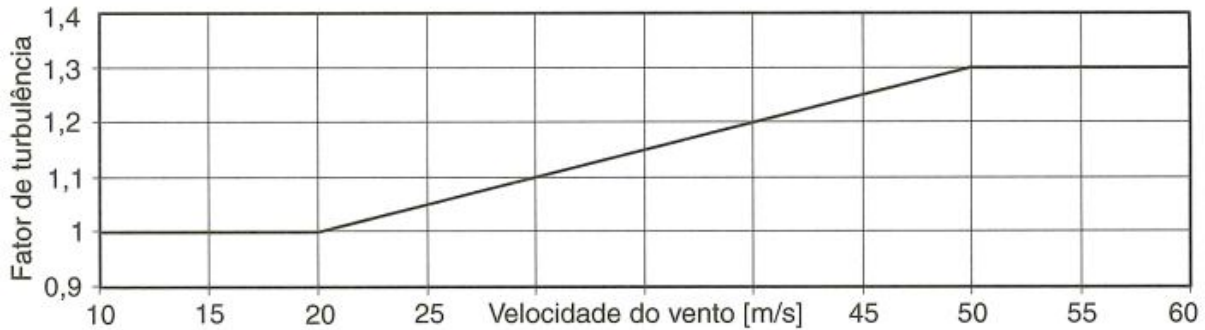


Figura 6-3 Emprego do fator de turbulência em função da velocidade do vento.

EXEMPLO NUMÉRICO 6 (Exemplo 6-1 no livro)

Seja o sistema hipotético apresentado no Exemplo 5-1 (Figura 5-3). Neste exemplo, estima-se a carga a que serão submetidos os suportes, devido à ação de ventos da ordem de 50 m/s, ao longo do eixo x. Foi considerado que o sistema está situado ao nível do mar.

Solução:

Lembrando que o diâmetro nominal da tubulação é de 10 polegadas, e que a espessura do isolamento é de 75 mm, temos: $D=273,05\text{mm}+2\times 75\text{mm}=0,423\text{ m}$.

Considerando as características do ar atmosférico como $\rho = 1,201\text{ kg/m}^3$ e, $\mu = 1,814\times 10^{-5}\text{ kg/(m.s)}$, determina-se

$$Re = \frac{\rho DV}{\mu} = \frac{1,201\text{kg} \times 0,423\text{m} \times 50\text{m/s}}{\text{m}^3 \times 1,814 \times 10^{-5}\text{ kg/(ms)}} = 1,4 \times 10^6$$

Este valor nos indica um C_d de aproximadamente 0,35 através do gráfico da Figura 6-1 e então

$$F_v = \frac{C_d V^2 \rho D}{2} = \frac{0,35 \times (50\text{m/s})^2 \times 1,201\text{kg/m}^3 \times 0,423\text{m}}{2} = 222\text{N/m}$$

Como o número de Mach:

$$Mach = \frac{V}{c} = \frac{50\text{m/s}}{340\text{m/s}} \approx 0,15 < 0,35$$

então, não é necessário corrigir C_d através do gráfico da Figura 6-2.

Para $V=50\text{m/s}$, toma-se o fator de turbulência 1,3 (Figura 6-3), então a força final:

$$F = 1,3 \times 222\text{N} / \text{m} \approx 289\text{N} / \text{m}$$

QUESTÕES

11. Seja a fração de um sistema hipotético, tal como representada na Figura 5-8. Considere o peso linear da tubulação, $w=1191,1\text{ N/m}$, e o peso da Válvula como 3079 N (válvula vazia, isolada e acoplada a dois flanges). A posição dos suportes já está especificada. Considere que a Válvula está conectada a um bocal de equipamento (ponto J), que atua como ancoragem. Determine as tensões máximas em cada segmento.

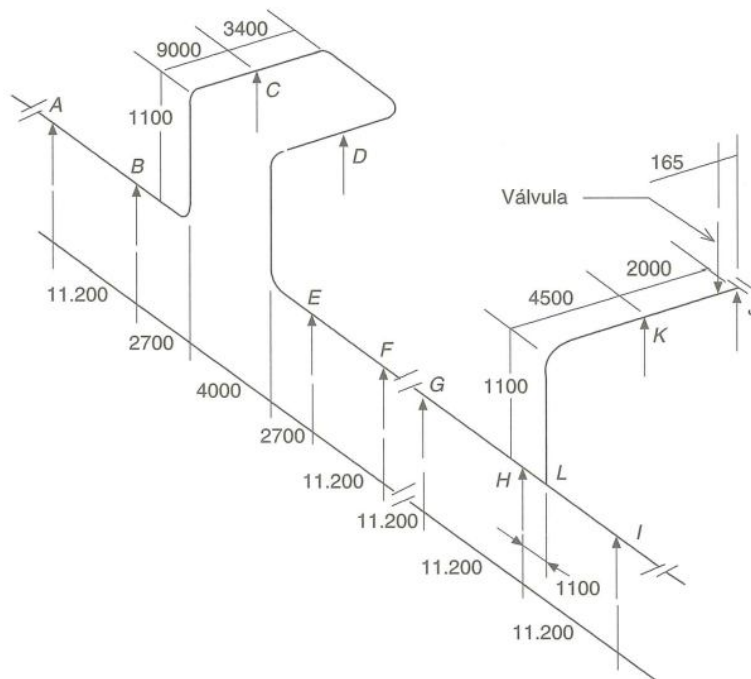


Figura 5-8 Esquema isométrico, fora de escala, da linha do Exemplo 5-2. Dimensões em mm.

12. Repita EXEMPLO NUMÉRICO 6 com velocidade de vento $V=30\text{m/s}$.