

### 7.3.2 MÉTODOS GRÁFICOS OU DIRETOS

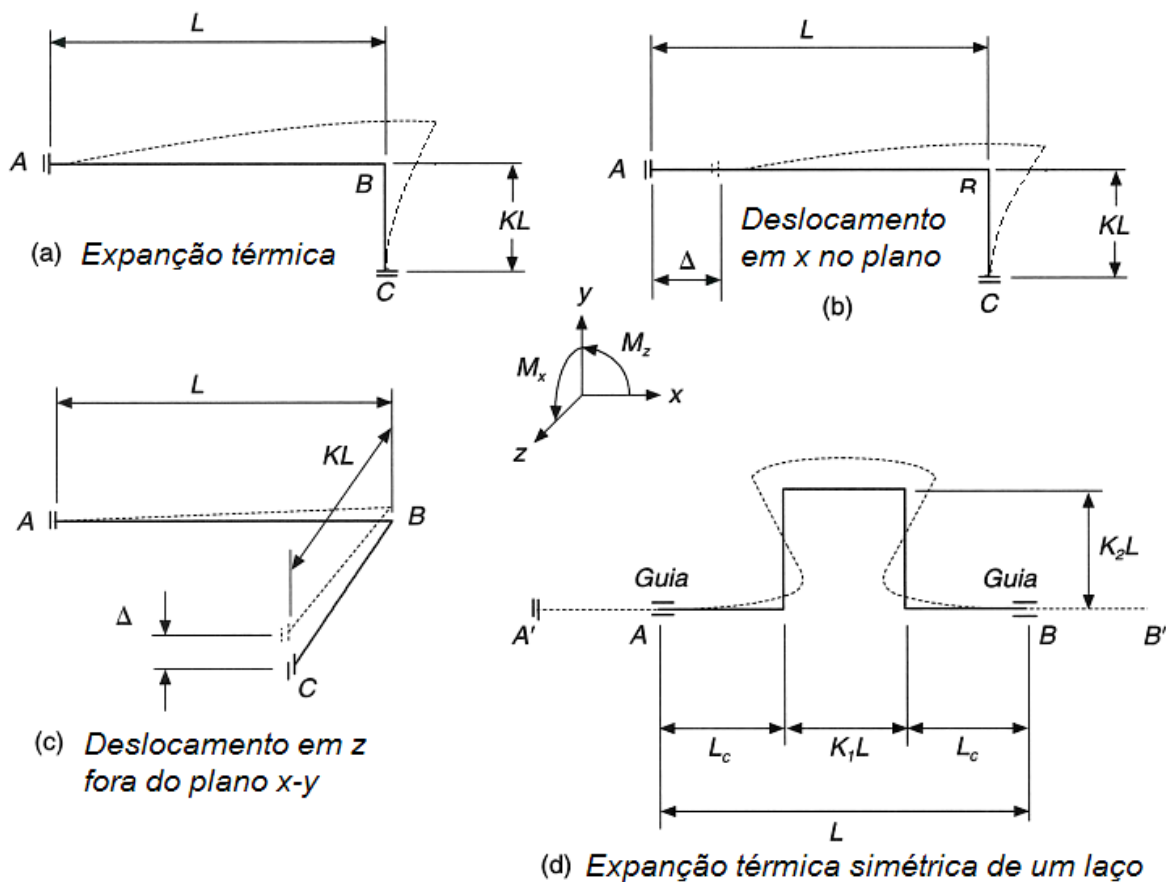
A principal característica dos métodos deste grupo é que eles atendem somente a tipos específicos e simples de configuração, e as soluções são obtidas diretamente de tabelas ou gráficos, partindo-se das dimensões dos membros do sistema, do diâmetro nominal, da temperatura de operação e das características do material empregado.

Diversos métodos gráficos podem ser encontrados na literatura especializada, e os mais difundidos no Brasil são os apresentados no *Design of Piping Systems* da MW Kellogg Company, no *Piping Handbook*, de Reno King, e no *Piping Design and Engineering*, da ITT Grinnell Inc.

As cartas de solução gráfica da Kellogg, assim como as tabelas da Grinnell, por constituírem exemplos característicos deste grupo de métodos, são discutidas aqui através de exemplos numéricos.

#### 7.3.2.1 MÉTODO GRÁFICO KELLOGG

As cartas gráficas Kellogg, reproduzidas no Anexo 10, são especialmente apropriadas para a verificação preliminar do trajeto da tubulação, pois é simples e rápido determinar o comprimento mínimo necessário de um determinado membro em relação a um outro.



**Figura 7-21** Configurações atendidas diretamente pelas cartas Kellogg.

Fundamentadas na análise de duas configurações básicas (ver Figura 7-21) e no emprego de um módulo de elasticidade de 200 GPa (29 Mpsi), estas cartas podem ser combinadas de modo a resolver problemas ou sistemas mais complexos. Entretanto, para este tipo de cálculo, é importante que o sistema seja tão flexível que a margem de segurança envolvida torne prescindível a exatidão, e que isto seja sempre feito com cautela.

**EXEMPLO 7-13**

Dado o sistema ilustrado no item a da Figura 7-21, com uma perna  $AB$  de 12 m, montado em tubos de diâmetro nominal de 8 pol, *schedule* 40, aço-carbono ASTM A-106 Gr A, encontre o comprimento mínimo do membro  $BC$  e os momentos e forças nas extremidades ancoradas  $A$  e  $C$ . A temperatura de operação é de  $160^\circ\text{C}$ , e o sistema atende à norma ASME B31.3.

Partindo-se das informações a respeito do material, da temperatura de operação e da norma aplicável, temos coeficiente de expansão térmica  $e = 1,67 \text{ mm/m}$ ,  $S_h = 99,01 \text{ MPa}$ ,  $S_c = 110,32 \text{ MPa}$  (Anexo 7) e portanto, através da equação 3-11,  $S_A = 162,7 \text{ MPa}$ .

Convertendo estes valores para unidades inglesas (Anexo 1), de modo a se poder utilizar as cartas originais da Kellogg, tem-se  $e = 0,020 \text{ pol/pés}$ ,  $S_A = 23590 \text{ lbf/pol}^2$ ,  $L_{AB} = 39,37 \text{ pés}$ .

Para a determinação do comprimento mínimo da perna  $BC$  emprega-se a carta C-5 do Anexo 10. Para tanto, localiza-se no gráfico o cruzamento da curva referente ao diâmetro de 8 pol com o ponto da ordenada correspondente ao resultado da equação a seguir:

$$\frac{LS_A}{10^7 e} \approx 4,63 \quad (7-187)$$

Localizado o ponto de cruzamento, lê-se a projeção na abscissa:  $K \approx 0,26$ . Multiplicando o fator  $K$  por  $L_{AB}$  temos o comprimento mínimo requerido de 10,23 pés ou 3,12 m para a perna  $BC$ .

Para determinar as forças e momentos atuantes nas extremidades ancoradas, emprega-se a carta C=6 do Anexo 10. Partindo do valor de  $K$ , temos  $A_1=4,8$ ,  $A_2=0,5$ ,  $A_3=0,18$  e  $A_4=0,9$ . Então

$$F_{xA} = -F_{xC} = -\frac{10^6 A_1 Je}{L^2} = -\frac{10^6 \times 4,8 \times 72,49 \times 0,02}{39,37^2} = -4489,7 \text{ lbf} = -19979,2 \text{ N}$$

$$F_{yA} = -F_{yC} = \frac{10^6 A_2 Je}{L^2} = \frac{10^6 \times 0,5 \times 72,49 \times 0,02}{39,37^2} = 467,7 \text{ lbf} = +2981,2 \text{ N}$$

$$M_{zA} = \frac{10^6 A_3 Je}{L} = \frac{10^6 \times 0,18 \times 72,49 \times 0,02}{39,37} = 6628,5 \text{ lbf} \cdot \text{pé} = +8988,3 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$M_{zC} = -\frac{10^6 A_4 Je}{L} = -\frac{10^6 \times 0,9 \times 72,49 \times 0,02}{39,37} = -33142,5 \text{ lbf} \cdot \text{pé} = -44941,2 \text{ N} \cdot \text{m}$$

**EXEMPLO 7-14**

Seja o sistema ilustrado em (b) da Figura 7-21, sendo a extremidade  $A$  submetida a um deslocamento de 60 mm no sentido  $AB$ . Determine o comprimento mínimo do membro  $BC$  e os momentos e forças nas extremidades ancoradas  $A$  e  $C$ . Considere o comprimento da perna  $AB$  em 12 m, tubos de 8 pol e Sch 40 em aço-carbono ASTM A-106 Gr A, temperatura de operação  $160^\circ\text{C}$ . Norma aplicável, ASME B31.3.

Como no exemplo anterior, temos  $e = 0,020 \text{ in/ft}$ ,  $S_A = 23590 \text{ lbf/in}^2$ ,  $L_{AB} = 39,37 \text{ ft}$ .

Neste caso, emprega-se a carta C-7 do Anexo 10 para a determinação do comprimento mínimo da perna  $BC$ , localizando-se o cruzamento da curva referente ao diâmetro de 8 polegadas com o ponto da ordenada correspondente ao seguinte resultado:

$$\frac{L^2 S_A}{10^7 \Delta} \approx 1,55 \quad (7-192)$$

Determinado o ponto de cruzamento, lê-se a projeção na abscissa:  $K = 0,47$ . Multiplicando

o fator  $K$  por  $L_{AB}$  temos o comprimento mínimo requerido de 5,64 m ou 18,50 ft para a perna  $BC$ .

Através da carta C-8 do Anexo 10 determinam-se as forças e momentos atuantes nas extremidades ancoradas. Para  $K = 0,47$ , tem-se  $A_1 = 9,8$ ,  $A_2 = 2,2$ ,  $A_3 = 0,71$  e  $A_4 = 3,0$ .

Sabendo-se que  $J = 3,0172 \times 10^{-5} \text{ m}^4$  ou  $72,5 \text{ in}^4$  (Anexo 2),

$$F_{xA} = -F_{xC} = -\frac{10^5 A_1 J \Delta}{L^3} = -\frac{10^5 \times 9,8 \times 72,49 \times 60 / 25,4}{39,37^3} = -2750 \text{ lbf} = -12237 \text{ N}$$

$$F_{yA} = -F_{yC} = \frac{10^5 A_2 J \Delta}{L^3} = \frac{10^5 \times 2,2 \times 72,49 \times 60 / 25,4}{39,37^3} = 617 \text{ lbf} = +2747 \text{ N}$$

$$M_{zA} = \frac{10^5 A_3 J \Delta}{L^2} = \frac{10^5 \times 0,71 \times 72,49 \times 60 / 25,4}{39,37^2} = 7844 \text{ lbf} \cdot \text{pé} = +10639 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$M_{zC} = -\frac{10^5 A_4 J \Delta}{L^2} = -\frac{10^5 \times 3,0 \times 72,49 \times 60 / 25,4}{39,37^2} = -33142 \text{ lbf} \cdot \text{pé} = -44952 \text{ N} \cdot \text{m}$$

**EXEMPLO 7-15**

Seja o sistema ilustrado em (c) da Figura 7-21, com a extremidade  $C$  submetida a um deslocamento positivo de 60 mm no eixo  $y$ , perpendicular ao plano  $ABC$ . Determine o comprimento mínimo do membro  $CB$  e os momentos e forças nas extremidades ancoradas  $A$  e  $C$ . Considere o comprimento da perna  $AB$  em 12 m, tubos de 8 polegadas e  $sch$  40 em aço-carbono ASTM A-106 Gr A, temperatura de operação 160°C. Norma aplicável, ASME B31.3.

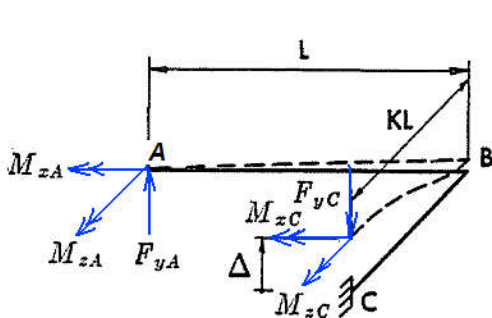
Destes dados, temos novamente  $e = 0,020 \text{ in/ft}$ ,  $S_A = 23590 \text{ lbf/in}^2$ ,  $L_{AB} = 39,37 \text{ ft}$  e  $j = 72,5 \text{ in}^4$ .

A carta a ser empregada para determinar o comprimento mínimo do membro  $AB$ , neste caso, é de número C-9, do Anexo 10. Tendo o tubo 8 polegadas e

$$\frac{L^3 S_A}{10^7 \Delta} \approx 1,55 \tag{7-197}$$

temos que  $K = 1,0$ , o que indica um comprimento mínimo de 12 m ou 39,37 ft para o membro  $BC$ .

As forças e momentos nas ancoragens então estimadas pela carta C-10:  $A_1 = 37$ ,  $A_2 = 8,0$ ,  $A_3 = 29$ ,  $A_4 = 29$  e  $A_5 = 8,0$ , para  $K = 1,0$ , o que nos traz



$$F_{yA} = -F_{yC} = \frac{+10^3 A_1 J \Delta}{L^3} \approx 104 \text{ lbf} \tag{7-198}$$

$$M_{xA} = \frac{-10^3 A_2 J \Delta}{L^2} \approx -884 \text{ lbf} \cdot \text{ft} \tag{7-199}$$

$$M_{zA} = \frac{+10^3 A_3 J \Delta}{L^2} \approx 3204 \text{ lbf} \cdot \text{ft} \tag{7-200}$$

$$M_{xC} = \frac{-10^3 A_4 J \Delta}{L^2} \approx -3204 \text{ lbf} \cdot \text{ft} \tag{7-201}$$

$$M_{zC} = \frac{+10^3 A_5 J \Delta}{L^2} \approx 884 \text{ lbf} \cdot \text{ft} \tag{7-202}$$

Em unidades SI,

$$F_{yA} = -F_{yC} = +462 \text{ N}$$

$$M_{xA} = -1199 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$M_{zA} = +4345 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$M_{xC} = -4345 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$M_{zC} = +1199 \text{ N} \cdot \text{m}$$

**EXEMPLO 7-16**

Seja um sistema formado por dois membros retilíneos, perpendiculares entre si, tal como ilustrado (a) da Figura 7-21. Supondo que a extremidade A é submetida a um deslocamento de +60 mm no eixo x, e a um outro igual no eixo z, estimar o comprimento mínimo do membro BC e os momentos e forças nas extremidades ancoradas A e C. Considere o comprimento da perna AB em 12 m, tubos de 8 polegadas e sch 40 em aço-carbono ASTM A-106 Gr A, temperatura de operação 160°C, ASME B31.3 como norma aplicável.

A dimensão mínima para BC pode ser estimada pela comparação dos resultados obtidos separadamente através das cartas C-5 e C-7 do Anexo 10. Dos Exemplos 7-14 e 7-15, sabe-se que o deslocamento de +60 mm no eixo x exige ao menos 5,64 m ou 18,50 ft, enquanto o movimento no eixo z pede 12 m ou 39,37 ft. O resultado a ser considerado o comprimento mínimo de BC é o maior deles, 12 m.

As forças e momentos gerados nas ancoragens, por sua vez, são estimados pela soma dos resultados obtidos pelas cartas C-6 e C-8 do Anexo 10, e a consulta as cartas deve ser feita agora com o mesmo K, o qual deve ser o maior valor. Portanto, neste caso, K seria de 1,0. No caso de uma das cartas não trabalhar com o novo valor de K, o analista deve optar, com bom senso, entre consultar a tabela empregando os limites extremos de K ou simplesmente não efetuar a estimativa, desprezando as forças e momentos referentes à carta em questão.

Outro cuidado a ser tomado, muito importante, é com as coordenadas dos resultados, porque as cartas *não são* referentes a deslocamentos nas mesmas ancoragens.

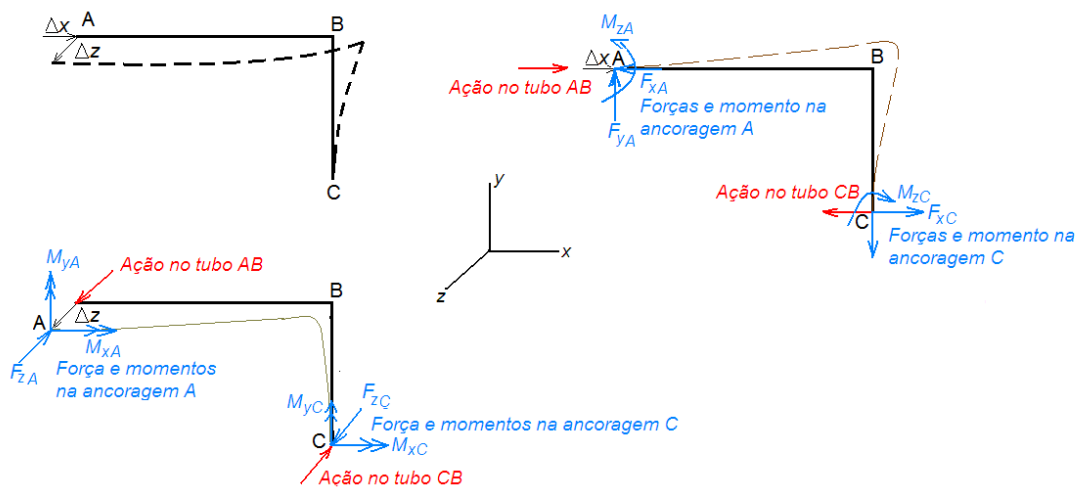


Figura para o EXEMPLO 7-16 do livro

Pelos resultados do EXEMPLO 7-14, tem-se

$$F_{xA} = -F_{xC} = -\frac{10^5 A_1 J \Delta}{L^3} = -\frac{10^5 \times 9,8 \times 72,49 \times 60 / 25,4}{39,37^3} = -2750 \text{ lbf} = -12237 \text{ N}$$

$$F_{yA} = -F_{yC} = \frac{10^5 A_2 J \Delta}{L^3} = \frac{10^5 \times 2,2 \times 72,49 \times 60 / 25,4}{39,37^3} = 617 \text{ lbf} = +2747 \text{ N}$$

$$M_{zA} = \frac{10^5 A_3 J \Delta}{L^2} = \frac{10^5 \times 0,71 \times 72,49 \times 60 / 25,4}{39,37^2} = 7844 \text{ lbf} \cdot \text{pé} = +10639 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$M_{zC} = -\frac{10^5 A_4 J \Delta}{L^2} = -\frac{10^5 \times 3,0 \times 72,49 \times 60 / 25,4}{39,37^2} = -33142 \text{ lbf} \cdot \text{pé} = -44952 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Pelos resultados do EXEMPLO 7-15 como  $K=1$ , trocando nos resultados EXEMPLO 7-15 a letra C por A, A por C, x por y e z por x, podemos obter os resultados deste exemplo como a tabela abaixo:

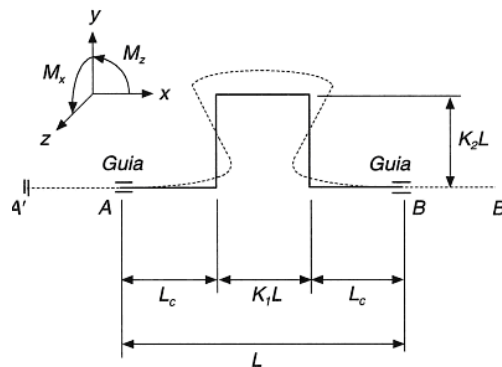
Resultados provocados pelo deslocamento em z	Correspondentes do EXEMPLO 7-15
$F_{zA} = -F_{zC} = -462 \text{ N}$	$F_{yA} = -F_{yC} = 462 \text{ N}$
$M_{yA} = +4345 \text{ N} \cdot \text{m}$	$M_{xC} = -4345 \text{ N} \cdot \text{m}$
$M_{xA} = +1199 \text{ N} \cdot \text{m}$	$M_{zC} = +1199 \text{ N} \cdot \text{m}$
$M_{yC} = +1199 \text{ N} \cdot \text{m}$	$M_{xA} = -1199 \text{ N} \cdot \text{m}$
$M_{xC} = +4345 \text{ N} \cdot \text{m}$	$M_{zA} = +4345 \text{ N} \cdot \text{m}$

Os sinais na tabela deste exemplo (a coluna esquerda) são segundo da figura acima.

Não há mesmos componentes entre os resultados provocados pelos deslocamentos em x e z da extremidade A. Então não há necessidade de soma. **Caso há mesmos componentes, deve fazer somatório.**

**EXEMPLO 7-17**

Seja uma lira de expansão tal como a ilustrada no item d da Figura 7-21, em tubos de 18 polegadas de diâmetro nominal, sch 20, aço ASTM A-106 Gr A, operando a 160°C. A distância entre ancoragens A'B' é de 50 m, as guias estão a 3 m de cada lado da lira ( $L_c$ ) e  $K_1 L$  é igual a 6 m. Determine o comprimento requerido  $K_2 L$  e estime as forças e momentos que atuam nas ancoragens e guias. Considerar ASME B31.3 como norma aplicável.



(d) Expansão térmica simétrica de um laço

**Solução:**

Dos dados apresentados, temos  $e = 0,020$  in/ft,  $A'B' = 164,0$  ft,  $S_A = 23.590$  lbf/in<sup>2</sup>,  $J = 678,25$  in<sup>4</sup> e  $L = 12$  m (39,37 ft). Da carta C-11 do Anexo 10,

$$\Delta = e \times A'B' = 3,29 \text{ in} \quad (7-203)$$

Como  $L_c=3m$  e  $K_1L=6m$ , então  $L=2L_c+K_1L=2 \times 3m+6m=12m$ , assim

$$K_1 = \frac{K_1 L}{L} = \frac{6m}{12m} = 0,5$$
$$\frac{L^2 S_A}{10^7 D \Delta} = \frac{39,37^2 \times 23590}{10^7 \times 18 \times 3,29} \approx 0,062$$

Pela carta C-11 do ANEXO 10, obter-se:  $K_2=0,275$ . Através da carta C-12, encontramos:  $A_1=0,76$  e  $A_2=1,05$ . Então:

$$F_{xA'} = -F_{xB'} = \frac{-10^6 A_1 J \Delta}{L^3} \approx -27.791 \text{ lbf} \quad (7-206)$$

$$M_{zA} = -M_{zB} = \frac{+10^5 A_2 J \Delta}{L^2} \approx 151.043 \text{ lbf} \cdot \text{ft} \quad (7-207)$$

Convertendo para unidades SI,

$$F_{yA'} = -F_{xB'} = -123.670 \text{ N}$$
$$M_{zA} = -M_{zB} = +204.869 \text{ N} \cdot \text{m}$$

## QUESTÕES

- Repita EXEMPLO 7-16 com  $L_{AB} = 10$  m, e os deslocamentos da extremidade A são 50 mm em +x e -z respectivamente. Mantém-se os outros sem alteração.
- Repita EXEMPLO 7-17 com apenas de alteração:  $L_c = 4$  m.