

Análise de vibração Resumo das fórmulas comuns

Unidades do Sistema Internacional de Unidades (SI) e do Sistema Usual dos EUA
Língua Inglesa
Rev: 2026-05-29

Introdução:

As páginas a seguir contêm uma coleção de equações, conversões e outras informações relacionadas à vibração. Essas informações foram compiladas principalmente para auxiliar os candidatos durante os exames de certificação do Vibration Institute, baseados na norma ISO 18436-2, e também podem ser úteis como referência.

Este “Resumo de Fórmulas Comuns” destina-se a ser um recurso para analistas de vibração e será fornecido na íntegra para todos os exames de certificação online do Vibration Institute e para os exames em papel da Categoria IV. (Para os exames de certificação em papel das Categorias I, II e III, estão incluídas folhas de equações reduzidas, apropriadas para o exame da categoria. Essas folhas de equações reduzidas estão disponíveis para download em <https://www.vi-institute.org/vibration-analyst-equations/>).

*Cópias pessoais do “Resumo de Fórmulas Comuns” **NÃO devem** ser utilizadas durante o exame de certificação VI VA.*

As páginas seguintes incluem:

- A: Unidades*, Constantes* e Conversões*
- B: Forças
- C: Movimentos
- D: Frequências
- E: Processamento de Sinais
- F: Resposta à vibração
- G: Limiar de estabilidade
- H: Fator de amplificação e taxa de amortecimento
- I: Propriedades dos Materiais*
- J: Momentos de Inércia da Área
- K: Momentos de Inércia de Massa
- L: Casos de Cálculo de Rigidez

Observação:

Os números neste “Resumo de Fórmulas Comuns” e em todos os exames de certificação do Vibration Institute são normalmente apresentados sem vírgulas e utilizam um ponto como separador decimal para indicar onde começam os dígitos menores que um (unidade). Exemplo: 10023.7 é dez mil vinte e três e sete décimos (sem vírgulas, um ponto).

	Unidades de medida usuais dos EUA	Unidades SI
A	UNIDADES*, CONSTANTES* E CONVERSÕES*	
① ② ③ ④	comprimento: pé, ft ; polegada, pol massa: slug, lbf s²/ft tempo: segundo, s força: libra-força, lbf Pressão: psi, lbf/in² Aceleração : g, pés/s² ou pol/s² velocidade: pés/s ou pol/s Velocidade de rotação: RPM, RPS, Hz, rad/s ângulo do plano: grau, deg, ° radiano, rad círculo completo = 360° = 2π rad Peso, W: lbf pi, π = 3.142 aceleração padrão da gravidade, g_n = 32.17 pés/s² = 386.1 pol/s² massa** = W/g_n 1 lbf = 0.2248 N 1 pé (ft) = 12 polegadas (pol) 1 polegada (pol) = 1000 mils 1 polegada (pol) = 0.02540 metro = 25.4 mm 1 pol² = 6.452 cm² 1 pol³ = 16.39 cm³ 1 libra (lbf) = 16 onças (oz) 1 onça (oz)** = 28.35 gramas (g) 1 psi = 6.895 kPa 1 lbf/pol = 175.1 N/m = 0.1751 N/mm *As conversões e constantes apresentadas podem ser aproximadas, arredondadas ou indicadas para o campo de vibração. **onde a aceleração da gravidade = g_n	comprimento: metro,m; milímetro,mm massa: quilograma, kg tempo: segundo, s Força: Newton, N Pressão, Pascal, 1 Pa = 1 N/m² aceleração : g, m/s² velocidade: m/s Velocidade de rotação: RPM, RPS, Hz, rad/s ângulo do plano: grau, deg, ° radiano, rad círculo completo = 2π rad = 360° Peso, W : N pi, π = 3.142 padrão da gravidade, g_n = 9,807 m/s² 1 N = 4,448 lbf 1 m = 39.37 pol = 1000 mm 1 mm = 0.03937 polegadas 1 micron (μm) = 0.00003937 pol = 0.0010 mm 1 cm² = 0.1550 pol² 1 cm³ = 0.0610 pol³ 1 kg = 2.205 lbf** 1 grama (g) = 0.0353 oz** 1 kPa = 0.1450 psi = 0.001 MPa 1 kN/m = 5.710 lbf/pol = 1 N/mm *As conversões e constantes apresentadas podem ser aproximadas, arredondadas ou indicadas para o campo de vibração. **onde a aceleração da gravidade = g_n

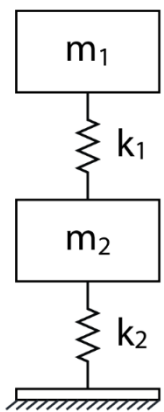
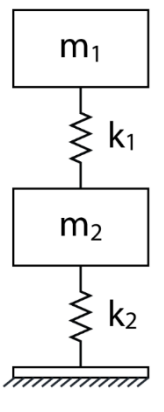
B FORÇAS		
2 3 4	Força de desequilíbrio de massa (lbf) $F = Me \left(\frac{2\pi N}{60} \right)^2$ M = W/g_n, massa, lbf s²/pol W = peso do rotor ou contrapeso, lbf g_n = 386.1 pol/s² e = excentricidade do rotor ou raio do contrapeso, em N = velocidade de rotação, rpm	Força de desequilíbrio de massa (Newtons) $F = Me \left(\frac{2\pi N}{60} \right)^2$ M = massa, kg e = excentricidade do rotor ou raio da massa de equilíbrio, m N = velocidade de rotação, rpm
2 3 4	Força da mola (lbf) $F = Kx$ K = rigidez da mola, lbf/pol x = deflexão relativa, em	Força da mola (Newtons) $F = Kx$ K = rigidez da mola, N/m x = deflexão relativa, m
3 4	Força de amortecimento (lbf) $F = C\dot{x}$ C = constante de amortecimento, lbf s/pol $\dot{x}$ = velocidade relativa, pol/s	Força de amortecimento (Newtons) $F = C\dot{x}$ C = constante de amortecimento, N s/m $\dot{x}$ = velocidade relativa, m/s
3 4	Força de inércia (lbf) $F = M\ddot{x}$ M = massa, lbf s²/pol $\ddot{x}$ = aceleração, pol/s²	Força de inércia (Newtons) $F = M\ddot{x}$ M = massa, kg $\ddot{x}$ = aceleração, m/s²
C MOÇÕES		
1 2 3 4	Aceleração $A = V(2\pi f)$ A = aceleração, pol/s² V = velocidade, polegadas/s f = frequência em Hz (CPS)	Aceleração $A = \frac{V(2\pi f)}{1000}$ A = aceleração, m/s² V = velocidade, mm/s f = frequência em Hz (CPS)

1 2 3 4	Velocidade (pol/s) $V = D(2 \pi f)$ D = deslocamento máximo, em f = frequência, ciclos/s (cps ou Hz)	Velocidade (mm/s) $V = D(2 \pi f)$ D = deslocamento máximo, mm f = frequência, ciclos/s (cps ou Hz)
1 2 3 4	Deslocamento (no pico) $D = \frac{V}{2\pi f}$ $D = \frac{A}{(2\pi f)^2}$ V = velocidade, em polegadas/s f = frequência em Hz (CPS) A = aceleração, pol/s ²	Deslocamento (mm de pico) $D = \frac{V}{2\pi f}$ $D = \frac{1000 A}{(2\pi f)^2}$ V = velocidade, mm/s f = frequência em Hz (CPS) A = aceleração, m/s ²
D	FREQUÊNCIAS	
2 3 4	Frequência Natural – Clássica $f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$ k = rigidez, lbf/pol m = W/g _n W = peso, lbf g _n = 386.1 pol/s ² f _n = frequência natural de um sistema com um grau de liberdade, Hz	Frequência Natural - Clássica $f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$ k = rigidez, N/m m = massa, kg f _n = frequência natural de um sistema com um grau de liberdade, Hz
2 3 4	Conversão de Unidades de Frequência $\omega = 2\pi f$ ω = frequência, rad/s f = frequência, Hz ou CPS	Conversão de Unidades de Frequência $\omega = 2\pi f$ ω = frequência, rad/s f = frequência, Hz ou CPS
2 3 4	Velocidade de rotação do rolo $\Omega = \frac{V}{5\pi D}$ V = velocidade da fita, pés/min D = diâmetro do rolo, polegadas Ω = velocidade de rotação, RPS	Velocidade de rotação do rolo $\Omega = \frac{16.66 V}{\pi D}$ V = velocidade da teia, m/min D = diâmetro do rolo, mm Ω = velocidade de rotação, Hz

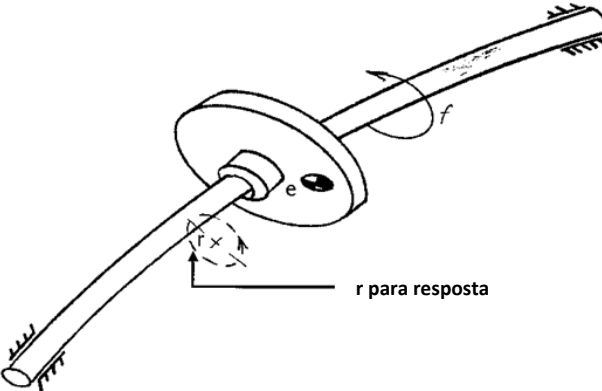
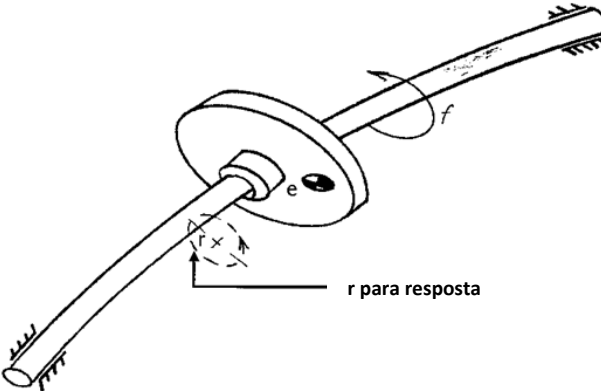
3 4	Frequência Natural - Deflexão Estática* $f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g_n}{\delta_{st}}}$ $g_n = 386.1 \text{ pol/s}^2$ δ_{st} = deflexão estática, em f_n = frequência natural de um sistema com um grau de liberdade, Hz *Válido apenas para taxas de mola lineares e quando a deflexão estática está alinhada com a gravidade.	Frequência Natural - Deflexão Estática* $f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g_n}{\delta_{st}}}$ $g_n = 9.807 \text{ m/s}^2$ δ_{st} = deflexão estática, m f_n = frequência natural de um sistema com um grau de liberdade, Hz *Válido apenas para taxas de mola lineares e quando a deflexão estática está alinhada com a gravidade.
---------------------------	---	--

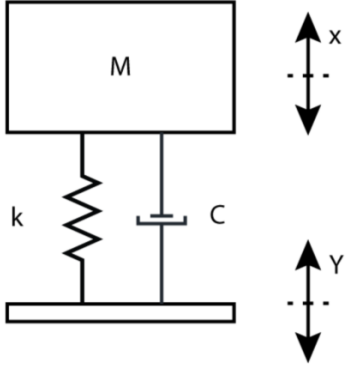
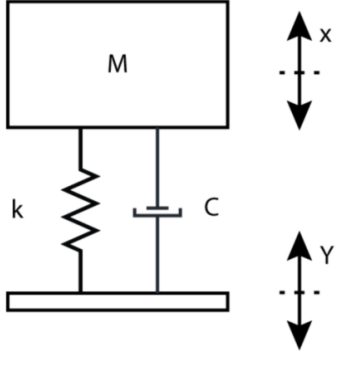
2 3 4	Frequências de rolamento $FTF_i = \left(\frac{\Omega}{2}\right) \left[1 - \left(\frac{B}{P}\right) \cos(CA)\right]$ $FTF_o = \left(\frac{\Omega}{2}\right) \left[1 + \left(\frac{B}{P}\right) \cos(CA)\right]$ $BPFI = \left(\frac{N}{2}\right) \Omega \left[1 + \left(\frac{B}{P}\right) \cos(CA)\right]$ $BPFO = \left(\frac{N}{2}\right) \Omega \left[1 - \left(\frac{B}{P}\right) \cos(CA)\right]$ $BSF = \left(\frac{P}{2B}\right) \Omega \left[1 - \left(\frac{B}{P}\right)^2 \cos^2(CA)\right]$ FTF = frequência fundamental do trem FTF_i = rotação da raça interna FTF_o = pista externa giratória BPFI = frequência de passes de bola, corrida interna BPFO = frequência de passagem da bola, canal externo BSF = frequência de rotação da bola CA = ângulo de contato, graus Ω = velocidade de rotação da pista (Hz ou RPM) N = número de elementos rolantes por linha P = diâmetro primitivo, polegadas B = diâmetro da esfera ou do rolo, polegadas	Frequências de rolamento $FTF_i = \left(\frac{\Omega}{2}\right) \left[1 - \left(\frac{B}{P}\right) \cos(CA)\right]$ $FTF_o = \left(\frac{\Omega}{2}\right) \left[1 + \left(\frac{B}{P}\right) \cos(CA)\right]$ $BPFI = \left(\frac{N}{2}\right) \Omega \left[1 + \left(\frac{B}{P}\right) \cos(CA)\right]$ $BPFO = \left(\frac{N}{2}\right) \Omega \left[1 - \left(\frac{B}{P}\right) \cos(CA)\right]$ $BSF = \left(\frac{P}{2B}\right) \Omega \left[1 - \left(\frac{B}{P}\right)^2 \cos^2(CA)\right]$ FTF = frequência fundamental do trem FTF_i = rotação da raça interna FTF_o = pista externa giratória BPFI = frequência de passes de bola, corrida interna BPFO = frequência de passagem da bola, canal externo BSF = frequência de rotação da bola CA = ângulo de contato, graus Ω = velocidade de rotação da pista (Hz ou RPM) N = número de elementos rolantes por linha P = diâmetro primitivo, mm B = diâmetro da esfera ou do rolo, mm
---	--	--

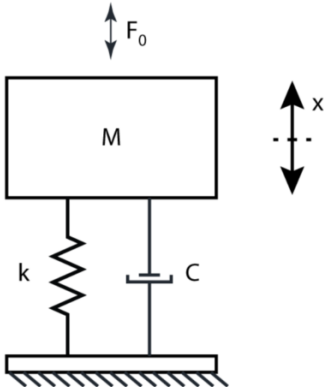
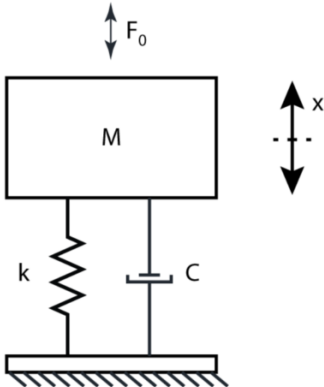
① ② ③ ④	Diretrizes gerais para frequências de rolamento* $BPFO = 0.41 \times N \times \Omega$ $BPFI = 0.59 \times N \times \Omega$ $FTF_i = 0.41 \times \Omega^{**}$ $FTF_o = 0.59 \times \Omega^{**}$ $BSF = 0.22 \times N \times \Omega$ N = número de elementos rolantes por linha Ω = Unidades de velocidade em RPM ou Hz *Para uso SOMENTE na seleção F_{Max}. ** FTF_i aplica-se quando a pista interna gira; FTF_o aplica-se quando a pista externa gira	Diretrizes gerais para frequências de rolamento* $BPFO = 0.41 \times N \times \Omega$ $BPFI = 0.59 \times N \times \Omega$ $FTF_i = 0.41 \times \Omega$ $FTF_o = 0.59 \times \Omega$ $BSF = 0.22 \times N \times \Omega$ N = número de elementos rolantes por linha Ω = Unidades de velocidade em RPM ou Hz *Para uso SOMENTE na seleção F_{Max}. ** FTF_i aplica-se quando a pista interna gira; FTF_o aplica-se quando a pista externa gira
-------------------------------------	---	---

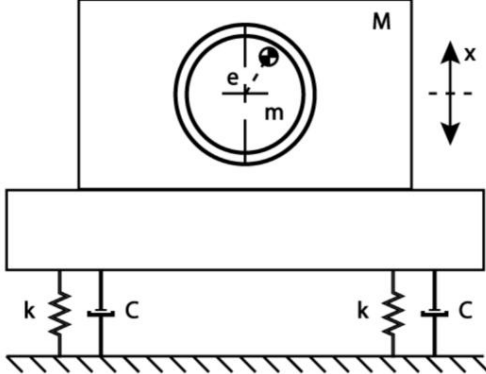
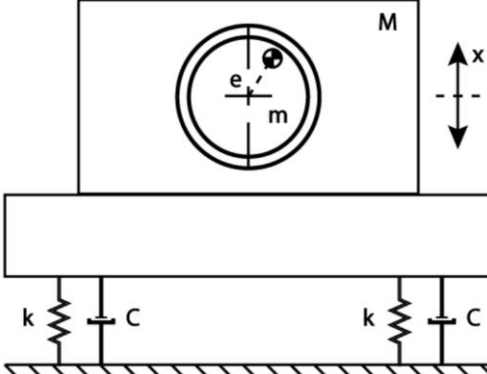
4	Frequências Naturais – 2 Graus de Liberdade Não Amortecidos $\omega^2 = \frac{k_2 + k_1}{2m_2} + \frac{k_1}{2m_1} \pm \sqrt{\frac{1}{4} \left[\frac{k_2 + k_1}{m_2} + \frac{k_1}{m_1} \right]^2 - \frac{k_2 k_1}{m_2 m_1}}$ $f_{1,2} = \frac{1}{2\pi} \omega_{1,2}$ k_1, k_2 = rigidez, lbf/pol m_1, m_2 = massa, lbf-s²/pol ω = frequência natural, rad/s 	Frequências Naturais – 2 Graus de Liberdade Não Amortecidos $\omega^2 = \frac{k_2 + k_1}{2m_2} + \frac{k_1}{2m_1} \pm \sqrt{\frac{1}{4} \left[\frac{k_2 + k_1}{m_2} + \frac{k_1}{m_1} \right]^2 - \frac{k_2 k_1}{m_2 m_1}}$ $f_{1,2} = \frac{1}{2\pi} \omega_{1,2}$ k_1, k_2 = rigidez, N/m m_1, m_2 = massa, kg ω = frequência natural, rad/s 
E	PROCESSAMENTO DE SINAIS	
1 2 3 4	Pico vs. RMS* pico = 1.414 rms *Aplica-se somente a formas de onda senoidais de frequência única.	Pico vs. RMS* pico = 1.414 rms * Aplica-se somente a formas de onda senoidais de frequência única.

① ② ③ ④	Faixas de frequência padrão Velocidade de operação $F_{MAX} \geq 10 \times$ RPM Rolamentos de Elementos Rolantes $F_{MAX} \geq 10 \times$ BPFI Mancais de película fluida $F_{MAX} \geq 10 \times$ RPM Passagem da lâmina/alavanca $F_{MAX} \geq 3 \times$ nº de palhetas/lâminas $\times$ RPM Potência elétrica máxima (F_{MAX}) $\geq 3 \times 2$ $\times$ Frequência da linha Malha de engrenagem $F_{MAX} \geq 3 \times$ Frequência de Engrenagem RPM = velocidade de rotação F_{MAX} = frequência máxima	Faixas de frequência padrão Velocidade de operação $F_{MAX} \geq 10 \times$ RPM Rolamentos de Elementos Rolantes $F_{MAX} \geq 10 \times$ BPFI Mancais de película fluida $F_{MAX} \geq 10 \times$ RPM Passagem da lâmina/alavanca $F_{MAX} \geq 3 \times$ nº de palhetas/lâminas $\times$ RPM Potência elétrica máxima (F_{MAX}) $\geq 3 \times 2$ $\times$ Frequência da linha Malha de engrenagem $F_{MAX} \geq 3 \times$ Frequência de Engrenagem RPM = velocidade de rotação F_{MAX} = frequência máxima
② ③ ④	Resolução de frequência* Resolução de frequência = (extensão de frequência $\times$ fator de ruído da janela $\times 2$) / número de linhas da FFT Fator de ruído da janela: 1.0 para uniforme, retangular, “sem janela” 1.5 para janela Hanning 3.8 para janela de topo plano * capacidade de resolver sinais muito próximos	Resolução de frequência* Resolução de frequência = (extensão de frequência $\times$ fator de ruído da janela $\times 2$) / (número de linhas da FFT) Fator de ruído da janela: 1.0 para uniforme, retangular, “sem janela” 1.5 para janela Hanning 3.8 para janela de topo plano * capacidade de resolver sinais muito próximos
② ③ ④	Tempo de Aquisição de Dados do Bloco (DAT)* DAT = número de linhas FFT/faixa de frequência *Aplicável quando o Fator de Nyquist = 2.56	Tempo de Aquisição de Dados do Bloco (DAT)* DAT = número de linhas FFT/faixa de frequência *Aplicável quando o Fator de Nyquist = 2.56

3 4	Faixa dinâmica $DR = 20 \log \frac{V_m}{V_r}$ $\frac{V_m}{V_r} = 10^{\frac{dB}{20}}$ V_m = tensão medida V_r = referência de tensão DR = faixa dinâmica, dB (decibéis)	Faixa dinâmica $DR = 20 \log \frac{V_m}{V_r}$ $\frac{V_m}{V_r} = 10^{\frac{dB}{20}}$ V_m = tensão medida V_r = referência de tensão DR = faixa dinâmica, dB (decibéis)
F RESPOSTA À VIBRAÇÃO		
4	Resposta de vibração do rotor  $r = \frac{e \left(\frac{f}{f_n} \right)^2}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{f}{f_n} \right)^2 \right]^2 + \left[2\zeta \frac{f}{f_n} \right]^2}}$ r = resposta de vibração do rotor, no pico e = excentricidade da massa, pol f = frequência de excitação, Hz f_n = frequência natural, Hz ζ = coeficiente de amortecimento, C/C_C C = constante de amortecimento, lbf s/pol C_C = amortecimento crítico = 2 m ω_n m = massa, lbf s²/pol $\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}}, \text{ rad/s}$	Resposta de vibração do rotor  $r = \frac{e \left(\frac{f}{f_n} \right)^2}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{f}{f_n} \right)^2 \right]^2 + \left[2\zeta \frac{f}{f_n} \right]^2}}$ r = resposta de vibração do rotor, pico em mm e = excentricidade da massa, mm f = frequência de excitação, Hz f_n = frequência natural, Hz ζ = coeficiente de amortecimento, C/C_C C = constante de amortecimento, N s/m C_C = amortecimento crítico = 2 m ω_n m = massa, N s²/m (= kg) $\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}}, \text{ rad/s}$

4	Fase $\tan \phi = \frac{2\zeta \frac{f}{f_n}}{1 - \left(\frac{f}{f_n}\right)^2}$ ϕ = phase, deg f = frequência de excitação, Hz f_n = frequência natural, Hz	Fase $\tan \phi = \frac{2\zeta \frac{f}{f_n}}{1 - \left(\frac{f}{f_n}\right)^2}$ ϕ = phase, deg f = frequência de excitação, Hz f_n = frequência natural, Hz
4	Transmissibilidade  $\frac{X}{Y} = \frac{F_{TR}}{F_0} = \frac{\sqrt{1 + \left[2\zeta \frac{f}{f_n}\right]^2}}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{f}{f_n}\right)^2\right]^2 + \left[2\zeta \frac{f}{f_n}\right]^2}}$ F_{TR} = força transmitida, lbf F_0 = força de excitação, lbf f = frequência de excitação, Hz f_n = frequência natural, Hz ω_n = frequência natural, rad/s X = movimento de massa, no pico Y = movimento de base, no pico ζ = taxa de amortecimento = C/C_c k = rigidez da mola, lbf/pol C = constante de amortecimento, lbf s/pol $C_c = 2m\omega_n$ = amortecimento crítico, lbf s/pol M = massa, lbf-s² / pol²	Transmissibilidade  $\frac{X}{Y} = \frac{F_{TR}}{F_0} = \frac{\sqrt{1 + \left[2\zeta \frac{f}{f_n}\right]^2}}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{f}{f_n}\right)^2\right]^2 + \left[2\zeta \frac{f}{f_n}\right]^2}}$ F_{TR} = força transmitida, N F_0 = força de excitação, N f = frequência de excitação, Hz f_n = frequência natural, Hz ω_n = frequência natural, rad/s X = movimento de massa, pico em mm Y = movimento da base, pico em mm ζ = taxa de amortecimento = C/C_c k = rigidez da mola, N/m C = constante de amortecimento, N s/m $C_c = 2m\omega_n$ = amortecimento crítico, N s/m M = massa, kg

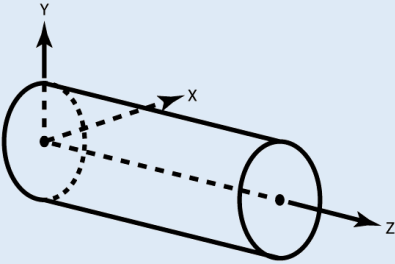
4	Resposta à vibração forçada  $X = \frac{\frac{F_0}{k}}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{f}{f_n}\right)^2\right]^2 + \left[2\zeta \frac{f}{f_n}\right]^2}}$ F_0 = força de excitação, lbf f = frequência de excitação, Hz f_n = frequência natural, Hz ω_n = frequência natural, rad/s X = movimento de massa, pico polegadas ζ = taxa de amortecimento = C/C_c k = rigidez da mola, lbf/pol C = constante de amortecimento, lbf s/pol $C_c = 2m\omega_n$ = amortecimento crítico, lbf s/pol M = massa, lbf s²/pol	Resposta à vibração forçada  $X = \frac{\frac{F_0}{k}}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{f}{f_n}\right)^2\right]^2 + \left[2\zeta \frac{f}{f_n}\right]^2}}$ F_0 = força de excitação, N f = frequência de excitação, Hz f_n = frequência natural, Hz ω_n = frequência natural, rad/s X = movimento de massa, pico mm ζ = taxa de amortecimento = C/C_c k = rigidez da mola, N/m C = constante de amortecimento, N s/m $C_c = 2m\omega_n$ = amortecimento crítico, N s/m M = massa, kg
----------	--	---

4	Razão de resposta do revestimento induzida pelo desequilíbrio de massa  $\frac{MX}{me} = \frac{\left(\frac{f}{f_n}\right)^2}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{f}{f_n}\right)^2\right]^2 + \left[2\zeta \frac{f}{f_n}\right]^2}}$ M = massa total, lbf s²/pol³ m = massa do rotor, lbf s²/pol² X = movimento da carcaça, em polegadas (pico) e = excentricidade do rotor, polegadas f = frequência de excitação, Hz f_n = frequência natural, Hz ω_n = frequência natural, rad/s ζ = taxa de amortecimento = C/C_c k = rigidez da mola, lbf/pol C = constante de amortecimento, lbf s/pol C_c = 2mω_n = amortecimento crítico, lbf s/pol	Razão de resposta do revestimento induzida pelo desequilíbrio de massa  $\frac{MX}{me} = \frac{\left(\frac{f}{f_n}\right)^2}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{f}{f_n}\right)^2\right]^2 + \left[2\zeta \frac{f}{f_n}\right]^2}}$ M = massa total, kg m = massa do rotor, kg X = movimento da carcaça, pico em mm e = excentricidade do rotor, mm f = frequência de excitação, Hz f_n = frequência natural, Hz ω_n = frequência natural, rad/s ζ = taxa de amortecimento = C/C_c k = rigidez da mola, N/m C = constante de amortecimento, N s/m C_c = 2mω_n = amortecimento crítico, N s/m
G	Mancais de película fluida	

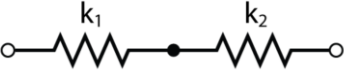
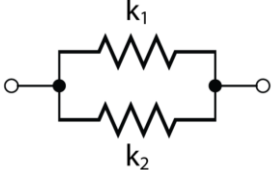
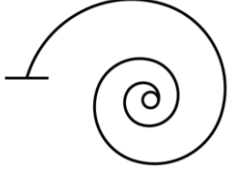
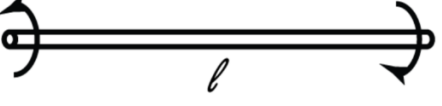
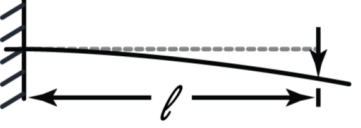
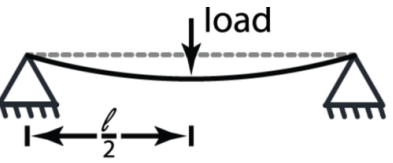
④	Limiar de estabilidade $\omega_s = \omega_o \sqrt{\frac{c}{g_n}}$ ω_s = limiar de estabilidade adimensional ω_o = velocidade de operação do mancal, rad/s c = folga radial do rolamento, polegadas g_n = gravidade padrão, 386.1 pol/s²	Limiar de estabilidade $\omega_s = \omega_o \sqrt{\frac{c}{g_n}}$ ω_s = limiar de estabilidade adimensional ω_o = velocidade de operação do mancal, rad/s c = folga radial do rolamento, m g_n = gravidade padrão, 9.807 m/s²
④	Número de Sommerfeld $S = \frac{\mu N L D}{W} \left(\frac{R}{C} \right)^2$ S = Número de Sommerfeld μ = viscosidade do óleo, lbf s/pol² N = velocidade do eixo, RPS L = comprimento do rolamento, em polegadas D = diâmetro do munhão, em polegadas W = carga no rolamento, lbf R = raio do mancal, em C = folga radial do rolamento, em	Número de Sommerfeld $S = \frac{\mu N L D}{W} \left(\frac{R}{C} \right)^2$ S = Número de Sommerfeld μ = viscosidade do óleo, N s/mm² N = velocidade do eixo, RPS L = comprimento do rolamento, mm D = diâmetro do munhão, mm W = carga no rolamento, N R = raio do munhão, mm C = folga radial do rolamento, mm
H	FATOR DE AMPLIFICAÇÃO E TAXA DE AMORTECIMENTO	
④	Método da Meia Potência $AF = \frac{N_{CR}}{N_2 - N_1}$ AF = fator de amplificação (na ressonância) N_{CR} = velocidade crítica, RPM N_2, N_1 = pontos de meia potência, RPM	Método da Meia Potência $AF = \frac{N_{CR}}{N_2 - N_1}$ AF = fator de amplificação (na ressonância) N_{CR} = velocidade crítica, Hz N_2, N_1 = pontos de meia potência, Hz

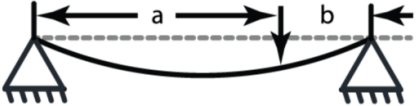
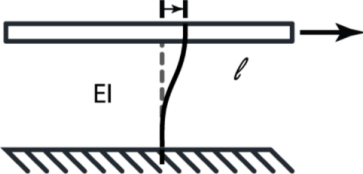
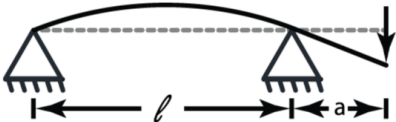
④	Método de mudança de fase $AF = \frac{\pi N_{CR}}{360} \frac{\Delta\phi}{\Delta N}$ AF = fator de amplificação (na ressonância) N_{CR} = velocidade crítica, RPM $\Delta\phi$ = mudança de fase, graus ΔN = variação de velocidade, RPM	Método de mudança de fase $AF = \frac{\pi N_{CR}}{360} \frac{\Delta\phi}{\Delta N}$ AF = fator de amplificação (na ressonância) N_{CR} = velocidade crítica, Hz $\Delta\phi$ = mudança de fase, graus ΔN = variação de velocidade, Hz
④	Método do Domínio do Tempo $\delta = \frac{1}{n} \ln \frac{X_o}{X_n} = \text{decremento logarítmico}$ $\zeta = \frac{C}{C_c} \approx \frac{\delta}{2\pi} \approx \frac{1}{2AF} = \text{taxa de amortecimento}$ n = número de ciclos $\frac{X_o}{X_n}$ = razão de amplitude em n ciclos C = constante de amortecimento, lbf s/pol $C_c = 2M\omega_n$ = amortecimento crítico, lbf s/pol AF = fator de amplificação M = massa do sistema, lbf s² / pol² ω_n = frequência natural do sistema, rad/s	Método do Domínio do Tempo $\delta = \frac{1}{n} \ln \frac{X_o}{X_n} = \text{decremento logarítmico}$ $\zeta = \frac{C}{C_c} \approx \frac{\delta}{2\pi} \approx \frac{1}{2AF} = \text{taxa de amortecimento}$ n = número de ciclos $\frac{X_o}{X_n}$ = razão de amplitude em n ciclos C = constante de amortecimento, N s/m $C_c = 2M\omega_n$ = amortecimento crítico, N s/m AF = fator de amplificação M = massa do sistema, N s² / m ω_n = frequência natural do sistema, rad/s

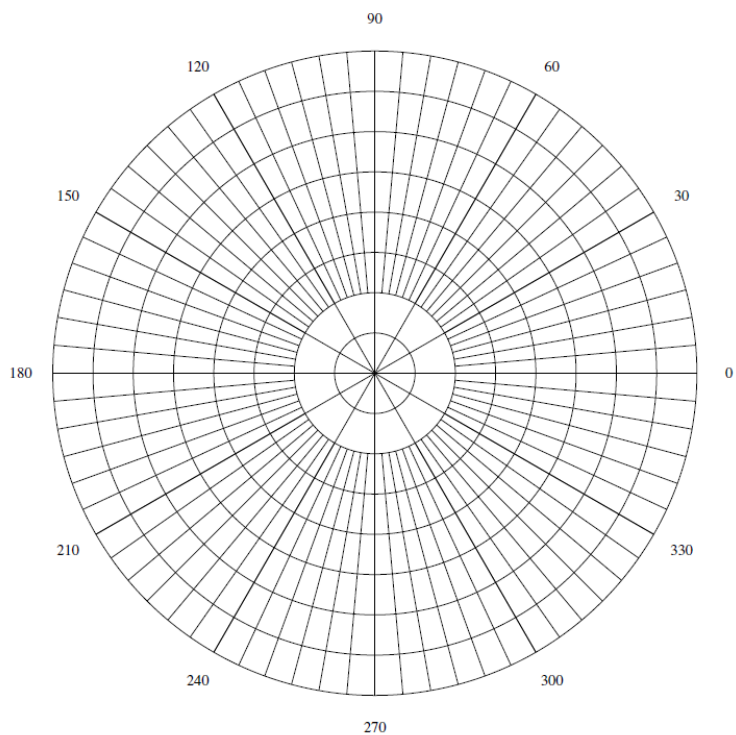
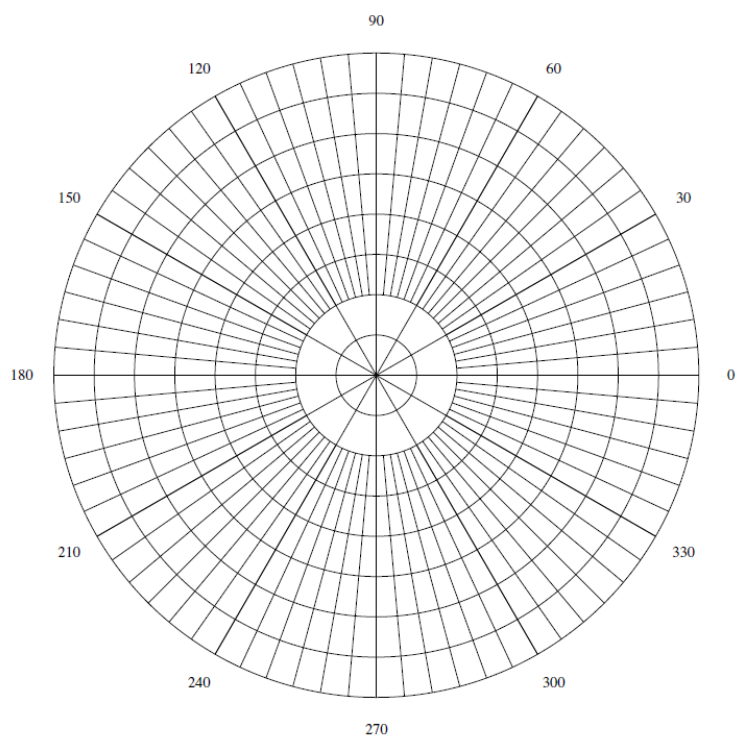
4	Método de canal duplo/constante duplo Cálculo do amortecimento: $AF = \frac{\left(\frac{f_a}{f_b}\right)^2 + 1}{\left(\frac{f_a}{f_b}\right)^2 - 1}$ f_a = frequência acima da ressonância, onde a parte real ou imaginária da função de transferência atinge um pico f_b = frequência abaixo da ressonância, onde a parte real ou imaginária da função de transferência atinge um pico de sinal oposto. AF = fator de amplificação (na ressonância) $AF \approx \frac{1}{2\frac{C}{C_c}} \approx \frac{1}{(2\zeta)}$ C = constante de amortecimento, lbf s/pol $C_c = 2M\omega_n$ amortecimento crítico, lbf s/pol AF = fator de amplificação M = massa do sistema, lbf s² / pol² ω_n = frequência natural do sistema, rad/s	Método de canal duplo/constante duplo Cálculo do amortecimento: $AF = \frac{\left(\frac{f_a}{f_b}\right)^2 + 1}{\left(\frac{f_a}{f_b}\right)^2 - 1}$ f_a = frequência acima da ressonância, onde a parte real ou imaginária da função de transferência atinge um pico f_b = frequência abaixo da ressonância, onde a parte real ou imaginária da função de transferência atinge um pico de sinal oposto. AF = fator de amplificação (na ressonância) $AF \approx \frac{1}{2\frac{C}{C_c}} \approx \frac{1}{(2\zeta)}$ C = constante de amortecimento, N s/m $C_c = 2M\omega_n$ amortecimento crítico, N s/m AF = fator de amplificação M = massa do sistema, N s² / m ω_n = frequência natural do sistema, rad/s
EU	PROPRIEDADES DO MATERIAL As constantes apresentadas podem ser aproximadas, arredondadas ou indicadas para o campo de vibração.	
4	E = Módulo de Elasticidade Alumínio 10.0×10^6 lbf/pol² Ferro fundido dúctil 24.5×10^6 lbf/pol² Aço 29.0×10^6 lbf/pol² Titânio 14.9×10^6 lbf/pol² G = Módulo de Rigidez Alumínio 3.9×10^6 lbf/pol² Ferro fundido dúctil 9.3×10^6 lbf/pol² Aço 11.2×10^6 lbf/pol² Titânio 5.2×10^6 lbf/pol²	E = Módulo de Elasticidade Alumínio 69 GPa Ferro fundido dúctil 169 GPa Aço 200 GPa Titânio 103 GPa G = Módulo de Rigidez (GPa = 10^9 Pa) Alumínio 27 GPa Ferro fundido dúctil 64 GPa Aço 77 GPa Titânio 41 GPa

4	Densidade Alumínio 0.0978 lbm/pol³ Ferro fundido dúctil 0.2579 lbm/pol³ Aço 0.2836 lbm/pol³ Titânio 0.1620 lbm/pol³	Densidade Alumínio 2712 kg/m³ Ferro fundido dúctil 7300 kg/m³ Aço 7850 kg/m³ Titânio 4500 kg/m³
J	MOMENTOS DE INÉRCIA DE ÁREA  <i>A figura também se aplica à Seção K.</i>	
4	Momento de inércia da área de flexão $I_x = I_y = \frac{\pi D^4}{64} \quad (\text{eixo sólido})$ $I_x = I_y = \frac{\pi(D^4 - d^4)}{64} \quad (\text{eixo oco})$ $I_x = I_y$ = momento de inércia da área de flexão de uma seção transversal circular, pol⁴ D = diâmetro externo, polegadas d = diâmetro interno, polegadas	Momento de inércia da área de flexão $I_x = I_y = \frac{\pi D^4}{64} \quad (\text{eixo sólido})$ $I_x = I_y = \frac{\pi(D^4 - d^4)}{64} \quad (\text{eixo oco})$ $I_x = I_y$ = momento de inércia da área de flexão da seção transversal circular, mm⁴ D = diâmetro externo, mm d = diâmetro interno, mm
4	Momento de inércia da área polar $J = \frac{\pi D^4}{32} \quad (\text{eixo sólido})$ $J = \frac{\pi(D^4 - d^4)}{32} \quad (\text{eixo oco})$ J = momento de inércia da área polar da seção transversal circular, Pol⁴ D = diâmetro externo, polegadas d = diâmetro interno, polegadas	Momento de inércia da área polar $J = \frac{\pi D^4}{32} \quad (\text{eixo sólido})$ $J = \frac{\pi(D^4 - d^4)}{32} \quad (\text{eixo oco})$ J = momento de inércia da área polar da seção transversal circular, mm⁴ D = diâmetro externo, mm d = diâmetro interno, mm
K	MOMENTOS DE INÉRCIA DE MASSA	

④	Momento de inércia de massa, disco fino $I_x = I_y = \frac{MD^2}{16}$ $I_x = I_y$ = momento de inércia de massa, lbf s² pol M = massa, lbf s² /pol D = diâmetro, polegadas	Momento de inércia de massa, disco fino $I_x = I_y = \frac{MD^2}{16}$ $I_x = I_y$ = momento de inércia de massa, kg m² M = massa, kg D = diâmetro, m
④	Momento de inércia de massa polar, eixo $J = \frac{MD^2}{8}$ J = momento de inércia de massa polar, lbf s² pol M = massa, lbf s² /pol D = diâmetro, polegadas	Momento de inércia de massa polar, eixo $J = \frac{MD^2}{8}$ J = momento de inércia de massa polar, kg m² M = massa, kg D = diâmetro, m
L	CASOS DE CÁLCULO DE RIGIDEZ Todos os casos apresentados aplicam-se a ambos os sistemas de unidades.	
④	Parâmetros comuns para o uso consuetudinário das fórmulas de maiúsculas e minúsculas nos EUA k = rigidez, lbf/pol k_t = rigidez torsional, lbf pol/rad I = momento de inércia da área de flexão de uma seção transversal circular, pol⁴ J = momento de inércia da área polar de uma seção transversal circular, pol⁴ D = diâmetro externo, polegadas d = diâmetro interno, polegadas d = diâmetro da haste da bobina, pol A = área da seção transversal, pol² n = número de turnos, contagem l = comprimento total, pol E = Módulo de Elasticidade, lbf/pol² G = Módulo de Rigidez, lbf/pol²	Parâmetros comuns para o uso de fórmulas CASE no SI k = rigidez, N/m k_t = rigidez torsional, N m/rad I = momento de inércia da área de flexão da seção transversal circular, m⁴ J = momento de inércia da área polar da seção transversal circular, m⁴ D = diâmetro externo, m d = diâmetro interno, m d = diâmetro da haste da bobina, m A = área da seção transversal, m² n = número de turnos, contagem l = comprimento total, m E = Módulo de Elasticidade, Pa G = Módulo de Rigidez, Pa

4	Caso A: Molas em série  $k = \frac{1}{\frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2}}$	Caso B: Molas em paralelo  $k = k_1 + k_2$
4	Caso C:  $k_t = \frac{EI}{\ell}$	Caso D:  $k = \frac{EA}{\ell}$
4	Caso E:  $k_t = \frac{GJ}{\ell}$	Caso F:  $k = \frac{Gd^4}{64nR^3}$
4	Caso G:  $k = \frac{3EI}{\ell^3}$	Caso H: <i>Load = carregar</i>  $k = \frac{48EI}{\ell^3}$
4	Caso I:  $k = \frac{192EI}{\ell^3}$	Caso J:  $k = \frac{768EI}{7\ell^3}$

4	Caso K:  $k = \frac{3EI\ell}{a^2b^2}$ $\ell = a + b$	Caso L:  $k = \frac{12EI}{\ell^3}$
4	Caso M:  $k = \frac{3EI}{(\ell+a)a^2}$	Caso N:  $k = \frac{12EI}{a^2(3\ell+4a)}$



Esta página foi deixada intencionalmente em branco.