

MEMORIAL DE CÁLCULO 110214/1-0

TRAVA QUEDAS

FABRICANTE: Technipar Maquinas e Metalurgia Ltda

ENDEREÇO: Rua Antonio Zanini nº 1099
95041-070 - Caxias do Sul - RS

CNPJ: 93.998.953 / 0001-71

Elaborado por:

Jose Sergio Menegaz
Engº Mecânico
CREA 23991



1. OBJETIVO

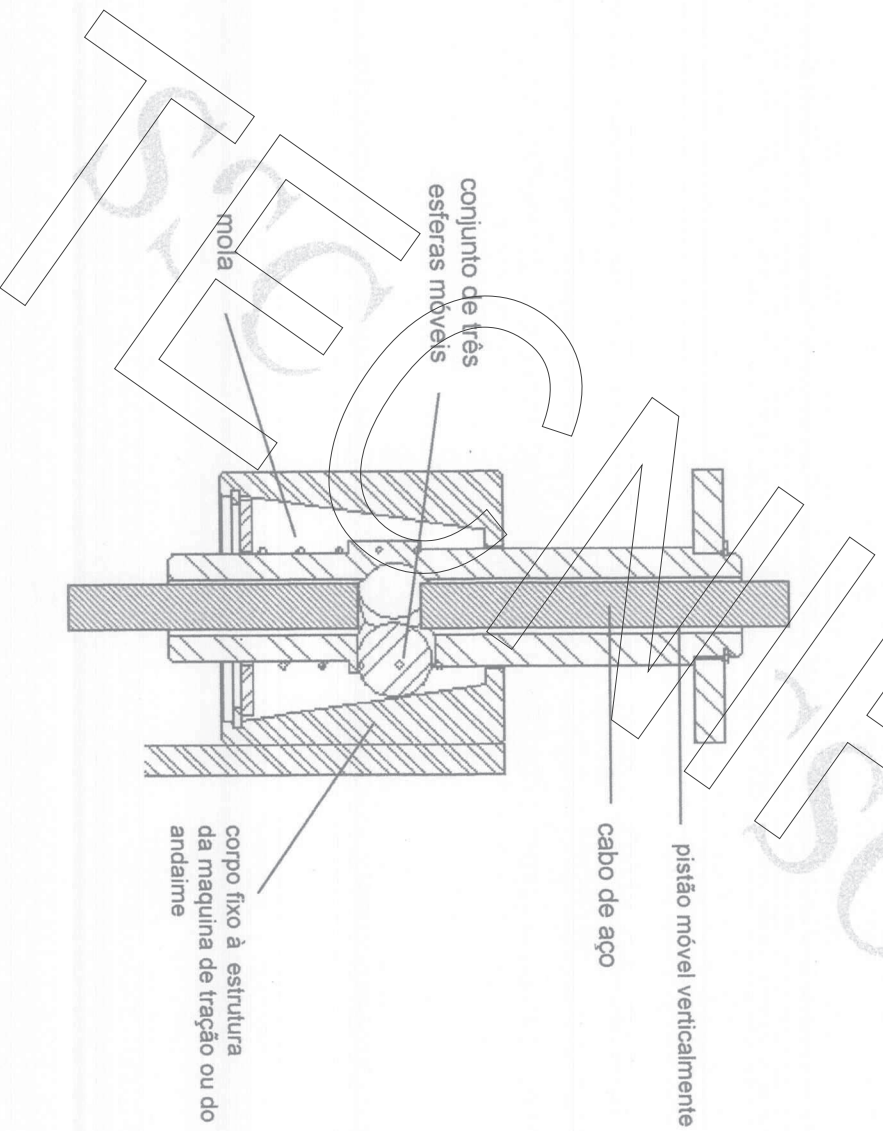
O presente memorial de cálculo objetiva demonstrar as condições de segurança do equipamento em análise, do ponto de vista de seu princípio operacional e dimensionamento de seus componentes, para operação com cargas estáticas máximas até o limite estabelecido no item 2.

2. CRITÉRIOS PARA DIMENSIONAMENTO

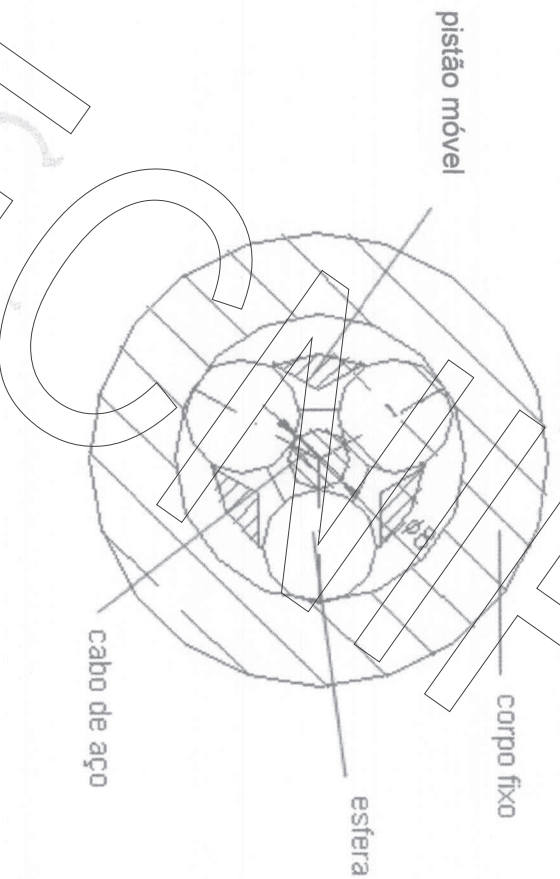
O dimensionamento é efetuado para a máxima capacidade de elevação dos guinchos produzidos pela empresa TECNIPAR MAQUINAS E METALURGIA LTDA, igual à 400 Kgf, com as implicações de ordem dinâmica imposta pela queda da carga.

3. PRINCÍPIO OPERACIONAL

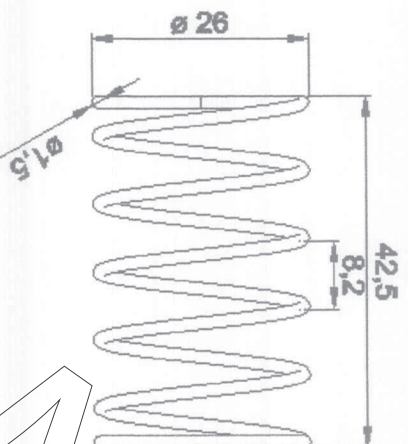
O trava quedas objetiva interromper o processo de queda de uma carga (andaime, cadeira suspensa, etc...) na eventualidade de rompimento do cabo de tração. O conjunto constitui-se dos componentes básicos conforme esquema abaixo:



Em operação normal o pistão móvel é mantido na sua posição inferior, através de um mecanismo ligado ao cabo de tração. Tal mecanismo atua somente enquanto o cabo de tração permanecer tensionado, ou seja, sustentando efetivamente a carga. Em caso de rompimento do cabo de tração, o pistão é liberado, executando o movimento de subida através da mola que atua permanentemente no sentido de sua elevação. Na posição inferior, as três esferas montadas em alojamentos executados no pistão, permitem a livre movimentação do conjunto através do cabo de aço. Em função da execução cônica do diâmetro interno do corpo fixo, quando da elevação do pistão as esferas executam, além do movimento de subida um movimento segundo o plano horizontal no sentido do centro do corpo fixo, conseqüentemente no sentido de pressionamento do cabo de aço, conforme ilustrado no desenho em corte abaixo:



3. ACÇÃO DA MOLA



- Comprimento livre da mola..... $L_0 = 42,50$ mm
- Comprimento da mola totalmente comprimida..... $L_1 = 9,00$ mm
- Comprimento da mola no início da acção das esferas..... $L_2 = 14,00$ mm
- Peso do pistão, esferas e batente..... $G = 0,600$ Kgf
- Curso da mola até início da acção das esferas (14,00 - 9,00)..... $S_1 = 5,00$ mm

3.1 Força máxima da mola (totalmente comprimida)

A força máxima exercida pela mola é dada por:

$$P = \pi \cdot d^3 \cdot \tau / 16 \cdot r$$

$$P = \pi \cdot 1,5^3 \cdot 40 / 16 \cdot 12,25 \Rightarrow P = 2,16 \text{ Kgf}$$

3.2 Deflexão máxima da mola

A deflexão máxima da mola é dada por:

$$f = 64 \cdot n \cdot P / d^4 \cdot G$$

$$f = 64 \cdot 4,5 \cdot 12,25^3 \cdot 2,16 / 1,5^4 \cdot 85000$$

$$f = 26,57 \text{ mm}$$

3.3 Constante elástica da mola

A constante elástica da mola é dada por:

$$K = P / S$$

$$K = 2,16 / (42,50 - 9) \Rightarrow K = 0,0644 \text{ Kgf / mm}$$

3.4 Força da mola quando as esferas iniciam o pressionamento do cabo de aço

As esferas iniciam o pressionamento do cabo de aço quando a mola está distensionada do valor S_1 igual a 5,00 mm. Nesta condição a força da mola é dada por:

$$F_1 = P - (K \cdot S_1)$$

$$F_1 = 2,16 - (0,0644 \cdot 5) \Rightarrow F_1 = 1,838 \text{ Kgf}$$

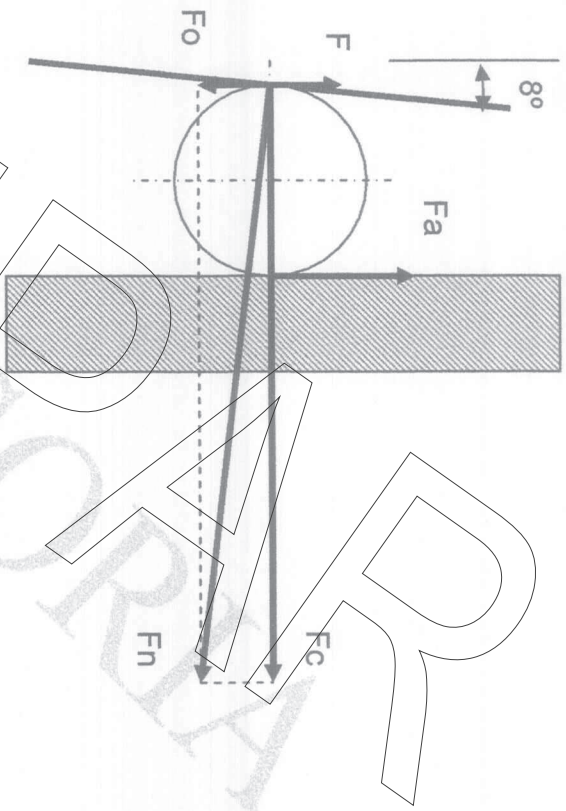
3.5 Força vertical exercida pela mola sobre as esferas

A força vertical exercida pela mola sobre as esferas é dada pela resultante da força da mola (F_1) e pelo peso do conjunto pistão movel (G). Temos então:

$$F = F_1 - G$$

$$F = 1,838 - 0,60 \Rightarrow F = 1,238 \text{ Kgf}$$

5. AÇÃO DAS ESFERAS SOBRE O CABO



5.1 Forças iniciais no processo de detenção da queda

- F..... Força vertical exercida sobre as esferas pela mola = 1,238 Kgf

- Fo..... Reação vertical da parede interna do corpo fixo = 1,238 Kgf

- Fno..... Força normal na parede interna do corpo fixo, dada por:

$$Fno = Fo / \cos 82^\circ$$

- Fco..... Força da esfera sobre o cabo de aço dada por:

$$Fco = Fno \cdot \cos 8^\circ$$

$$Fco = Fno \cdot \sin 82^\circ$$

$$Fco = (Fo / \cos 82^\circ) \cdot \sin 82^\circ \Rightarrow Fco = Fo \cdot \operatorname{tg} 82^\circ$$

- Fao = Força de atrito entre a esfera e o cabo de aço dada por:

$$Fao = Fco \cdot \mu$$

$$Fao = Fo \cdot \operatorname{tg} 82^\circ \cdot \mu$$

5.2 Incremento de forças durante o processo de detenção da queda

Quando a esfera é pressionada pela mola, surgem num primeiro momento as forças conforme supra definidas. A força de atrito entre a esfera e o cabo de aço se soma à força da mola, de modo que resulta as seguintes forças:

$$F1 = Fo + Fao$$

$$F1 = Fo + Fo \cdot \operatorname{tg} 82^\circ \cdot \mu \Rightarrow F1 = Fo (1 + \operatorname{tg} 82^\circ \cdot \mu)$$

$$F_{c1} = F1 \cdot \operatorname{tg} 82^\circ \Rightarrow F_{c1} = Fo (1 + \operatorname{tg} 82^\circ \cdot \mu) \cdot \operatorname{tg} 82^\circ$$

$$F_{a1} = F_{c1} \cdot \mu \Rightarrow F_{a1} = Fo (1 + \operatorname{tg} 82^\circ \cdot \mu) \cdot \operatorname{tg} 82^\circ \cdot \mu$$

Considerando-se a força de atrito F_{a1} , temos:

$$F_2 = F_1 + F_{a1}$$

$$F_2 = F_0 (1 + \operatorname{tg} 82^\circ \cdot \mu) + F_0 (1 + \operatorname{tg} 82^\circ \cdot \mu) \cdot \operatorname{tg} 82^\circ \cdot \mu$$

$$F_2 = F_0 (1 + \operatorname{tg} 82^\circ \cdot \mu) (1 + \operatorname{tg} 82^\circ \cdot \mu)$$

$$F_{c2} = F_2 \cdot \operatorname{tg} 82^\circ$$

$$F_{c2} = F_0 (1 + \operatorname{tg} 82^\circ \cdot \mu) (1 + \operatorname{tg} 82^\circ \cdot \mu) \cdot \operatorname{tg} 82^\circ$$

$$F_{a2} = F_{c2} \cdot \mu$$

$$F_{a2} = F_0 (1 + \operatorname{tg} 82^\circ \cdot \mu) (1 + \operatorname{tg} 82^\circ \cdot \mu) \cdot \operatorname{tg} 82^\circ \cdot \mu$$

$$F_{a2} = F_0 (1 + \operatorname{tg} 82^\circ \cdot \mu)^2 \cdot \operatorname{tg} 82^\circ \cdot \mu$$

Considerando-se a força de atrito F_{a2} , temos:

$$F_3 = F_2 + F_{a2}$$

$$F_3 = F_0 (1 + \operatorname{tg} 82^\circ \cdot \mu) (1 + \operatorname{tg} 82^\circ \cdot \mu) + F_0 (1 + \operatorname{tg} 82^\circ \cdot \mu)^2 \cdot \operatorname{tg} 82^\circ \cdot \mu$$

$$F_3 = F_0 (1 + \operatorname{tg} 82^\circ \cdot \mu)^2 + F_0 (1 + \operatorname{tg} 82^\circ \cdot \mu)^2 \cdot \operatorname{tg} 82^\circ \cdot \mu$$

$$F_3 = F_0 (1 + \operatorname{tg} 82^\circ \cdot \mu)^2 (1 + \operatorname{tg} 82^\circ \cdot \mu)$$

$$F_{c3} = F_3 \cdot \operatorname{tg} 82^\circ$$

$$F_{c3} = F_0 (1 + \operatorname{tg} 82^\circ \cdot \mu)^2 (1 + \operatorname{tg} 82^\circ \cdot \mu) \cdot \operatorname{tg} 82^\circ$$

$$F_{a3} = F_{c3} \cdot \mu$$

$$F_{a3} = F_0 (1 + \operatorname{tg} 82^\circ \cdot \mu)^2 (1 + \operatorname{tg} 82^\circ \cdot \mu) \cdot \operatorname{tg} 82^\circ \cdot \mu$$

$$F_{a3} = F_0 (1 + \operatorname{tg} 82^\circ \cdot \mu)^3 \cdot \operatorname{tg} 82^\circ \cdot \mu$$

Considerando-se a força de atrito F_{a3} , temos:

$$F_4 = F_3 + F_{a3}$$

$$F_4 = F_0 (1 + \operatorname{tg} 82^\circ \cdot \mu)^2 (1 + \operatorname{tg} 82^\circ \cdot \mu) + F_0 (1 + \operatorname{tg} 82^\circ \cdot \mu)^3 \cdot \operatorname{tg} 82^\circ \cdot \mu$$

$$F_4 = F_0 (1 + \operatorname{tg} 82^\circ \cdot \mu)^3 + F_0 (1 + \operatorname{tg} 82^\circ \cdot \mu)^3 \cdot \operatorname{tg} 82^\circ \cdot \mu$$

$$F_4 = F_0 (1 + \operatorname{tg} 82^\circ \cdot \mu)^3 (1 + \operatorname{tg} 82^\circ \cdot \mu)$$

$$F_{c4} = F_4 \cdot \operatorname{tg} 82^\circ$$

$$F_{c4} = F_0 (1 + \operatorname{tg} 82^\circ \cdot \mu)^3 (1 + \operatorname{tg} 82^\circ \cdot \mu) \cdot \operatorname{tg} 82^\circ$$

$$F_{c4} = F_0 (1 + \operatorname{tg} 82^\circ \cdot \mu)^4 \cdot \operatorname{tg} 82^\circ$$

$$F_{a4} = F_{c4} \cdot \mu$$

$$F_{a4} = F_0 (1 + \operatorname{tg} 82^\circ \cdot \mu)^3 (1 + \operatorname{tg} 82^\circ \cdot \mu) \cdot \operatorname{tg} 82^\circ \cdot \mu$$

$$F_{a4} = F_0 (1 + \operatorname{tg} 82^\circ \cdot \mu)^4 \cdot \operatorname{tg} 82^\circ \cdot \mu$$

Conforme se verifica, as equações obtidas para o incremento da força de atrito entre as esferas e o cabo de aço seguem uma progressão geométrica de razão $(1 + \operatorname{tg} 82^\circ \cdot \mu)$, com valor numérico igual à 1,77115 (para $\mu = 0,1$).

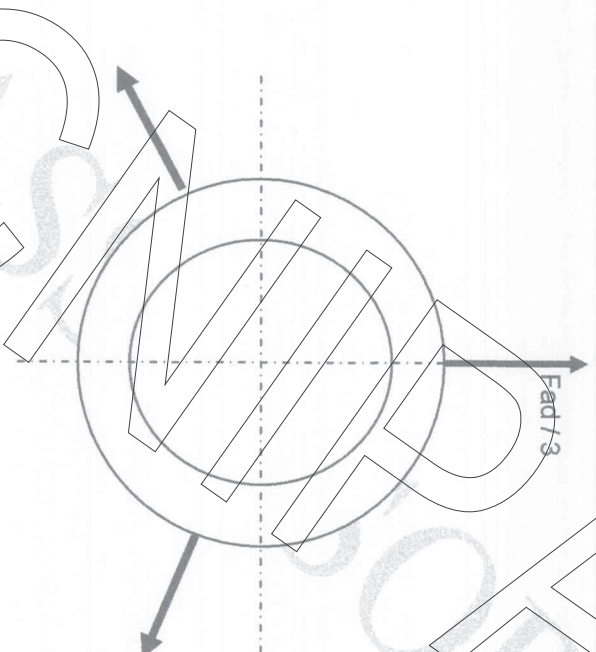
7. VALOR DA FORÇA DE ATRITO

A força P a ser sustentada é igual à 600 Kgf (carga de teste conforme NE 1808). O coeficiente de atrito entre as esferas e o cabo de aço é igual à 0,15 (seco). Consideramos no entanto o coeficiente de atrito como se lubrificado, uma vez que o sistema pode operar sob condições de chuva. Neste caso o coeficiente de atrito estático é igual à 0,1, o que nos leva à uma força de aperto das esferas sobre o cabo de aço dada por:

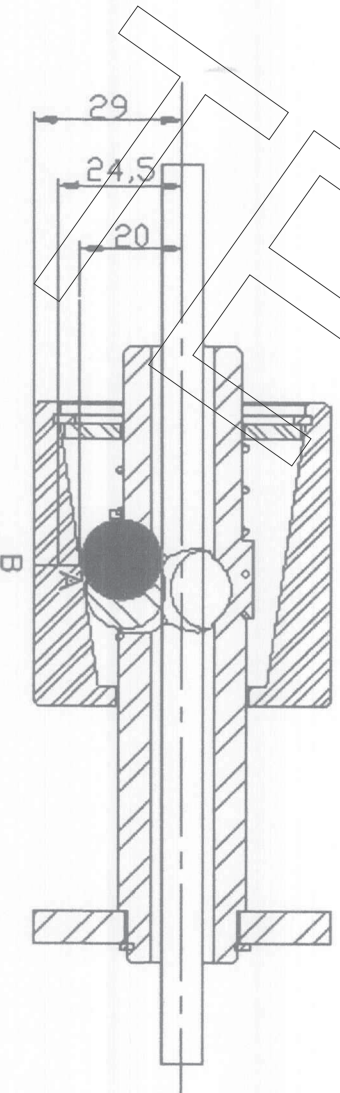
$$Pd = Fad = Fnd \cdot \mu$$

$$450 = Fnd \cdot 0,1 \Rightarrow Fnd = 600 / 0,1 \Rightarrow Fnd = 6000 \text{ Kgf}$$

8. VERIFICAÇÃO DO CORPO FIXO DO TRAVA QUEDAS



8.1 Seção transversal do corpo fixo no ponto de aplicação da carga



8.2 Determinação das tensões nos pontos A e B

8.2.1 Determinação de m

$$m = 1 / (h^2 - h_1^2) \{ h^2 [1/4 (h / 2r)^2 + 1/8 (h / 2r)^2 + \dots] - [1/4 (h_1 / 2r)^2 + 1/8 (h_1 / 2r)^2 + \dots] \}$$

$$m = 1 / (0,9^2 - 0,45^2) \{ 0,9^2 [1/4 (0,9 / 2.2,45)^2 + 1/8 (0,9 / 2.2,45)^2 + \dots] - [1/4 (0,45 / 2.2,45)^2 + 1/8 (0,45 / 2.2,45)^2 + \dots] \}$$

$$m = 1 / 0,6075 \{ 0,81 [0,018742 + 0,009371 + 0,006247 + 0,004685] - [0,009371 + 0,004685 + 0,003123 + 0,002342] \}$$

$$m = 1,646 \{ 0,81 [0,039045] - [0,019521] \} \Rightarrow m = 0,0321$$

8.2.2 Determinação de e

$$e = r [m / (m + 1)]$$

$$e = 2,45 [0,0321 / (0,0321 + 1)] \Rightarrow e = 0,076 \text{ cm}$$

8.2.3 Área da seção transversal

$$A = ((0,5 + 1,25) / 2) \cdot 5$$

$$A = 0,975 \cdot 5 \Rightarrow A = 4,87 \text{ cm}^2$$

8.2.4 Momento fletor

$$M = M_0 - P \cdot r / 2$$

$$M = [(P \cdot r / 2) (1 - 2/\pi)] - (P \cdot r / 2)$$

$$M = [(2000 \cdot 2,45 / 2) (1 - 2/\pi)] - (2000 \cdot 2,45 / 2)$$

$$M = [(2450) (0,363)] - (2450) \Rightarrow M = -1560 \text{ Kgfc} \cdot \text{cm}$$

8.2.5 Determinação das tensões

8.2.5.1 Tensão no ponto A

$$\sigma_A = [M (h_1 - e)] / (A \cdot e \cdot r_1)$$

$$\sigma_A = [-1560 (0,45 - 0,076)] / (4,87 \cdot 0,076 \cdot 2) \Rightarrow \sigma_A = -788 \text{ Kg} / \text{cm}^2$$

8.2.5.2 Tensão no ponto B

$$\sigma_B = [M (h_1 + e)] / (A \cdot e \cdot r_2)$$

$$\sigma_B = [1560 (0,45 + 0,076)] / (4,87 \cdot 0,076 \cdot 2,9) \Rightarrow \sigma_B = 764 \text{ Kg} / \text{cm}^2$$

