

Cálculo de Linhas de Vida

Curso de Projeto e Cálculo de Estruturas metálicas

1 - INTRODUÇÃO

Curso de Projeto e Cálculo de Estruturas metálicas

1 – O que são e para que servem as linhas de vida



São sistemas de proteção individual contra quedas (SPIQ), com o objetivo de eliminar o risco de quedas ou minimizar as consequências de quedas dos trabalhadores

Curso de Projeto e Cálculo de Estruturas metálicas

Normas de referência

ABNT NBR16325 – 1: Proteção contra quedas de Altura Parte 1 : Dispositivos de ancoragem tipos A, B e D

ABNT NBR16325 – 2: Proteção contra quedas de altura parte 2: Dispositivos de ancoragem tipo C

ABNT NBR14626: Equipamento de proteção individual – Trava quedas guiado em linha flexível.

ABNT NBR14627: Equipamento de Proteção Individual contra queda de Altura – Trava quedas guiado em linha rígida

ABNT NBR14628: Equipamento de proteção individual – Trava quedas Retrátil

ABNT NBR14629: Equipamento de proteção individual – Absorvedor de energia

ABNT NBR15824: Equipamento de proteção individual – Talabarte de Segurança

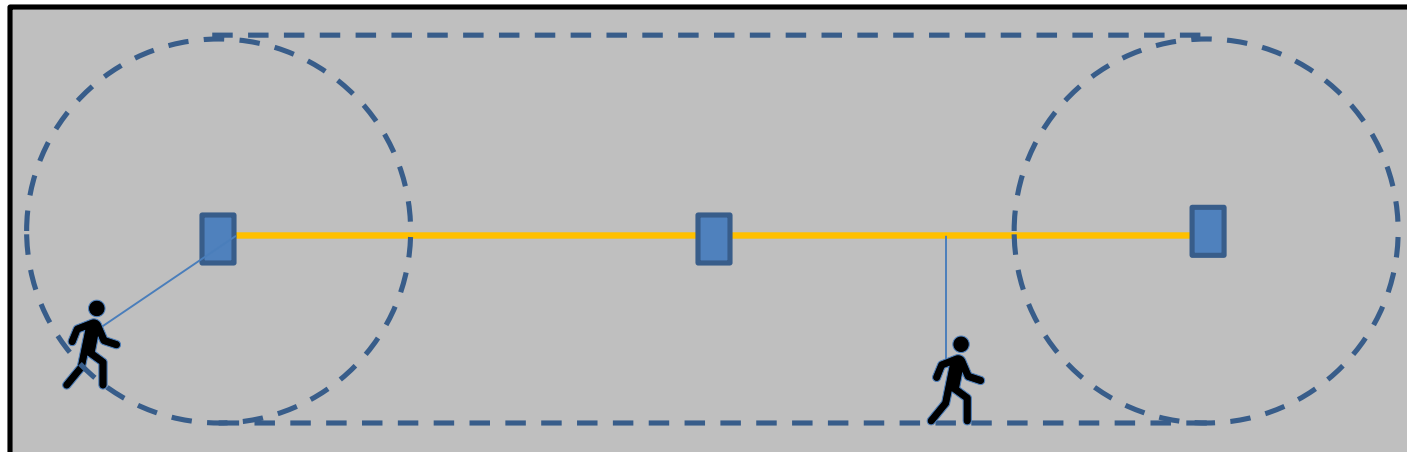
ABNT NBR15836: Equipamento de proteção individual – Cinturão de segurança tipo paraquedista

ABNT 16489: Sistemas de proteção individual contra quedas de altura – Recomendações e orientações para seleção, uso e manutenção

NR-35: Trabalhos em Altura

Sistemas de Trabalho em Altura

(1) Sistemas de Restrição de Movimentação



OBJETIVO: Impedir acesso a locais onde possa haver risco de quedas

Sistema não tão frequentemente empregado devido à natureza das limitações impostas: Limitações de acesso a locais importantes, limitações de movimentação, riscos ocultos, etc.

Sistemas de Trabalho em Altura

(1) Sistemas de Restrição de Movimentação

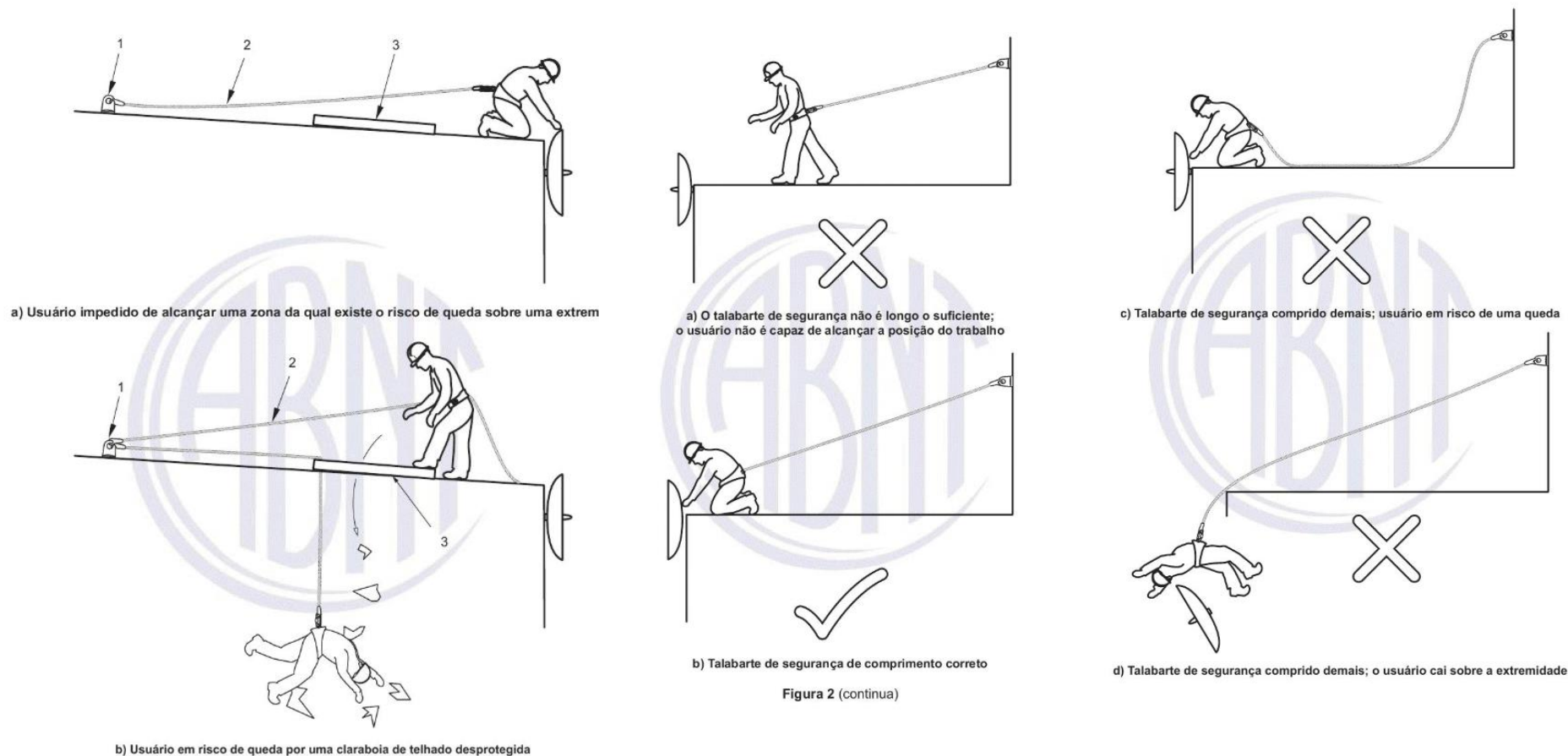
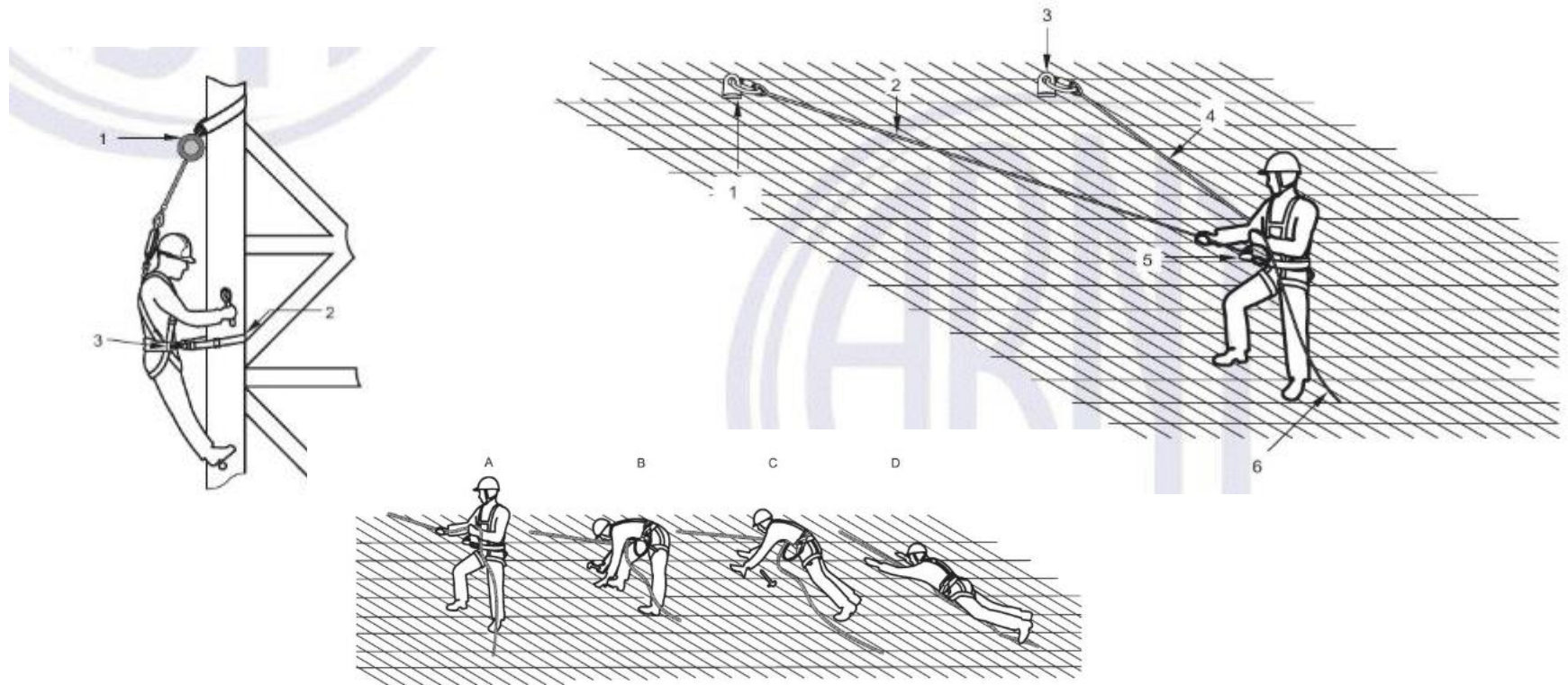


Figura 2 (continua)

Sistemas de Trabalho em Altura

(2) Sistemas de Posicionamento no trabalho



Legenda

- A usuário sustentado pelo sistema de posicionamento no trabalho
- B usuário trabalhando
- C usuário desliza
- D usuário sofre um queda no mesmo nível

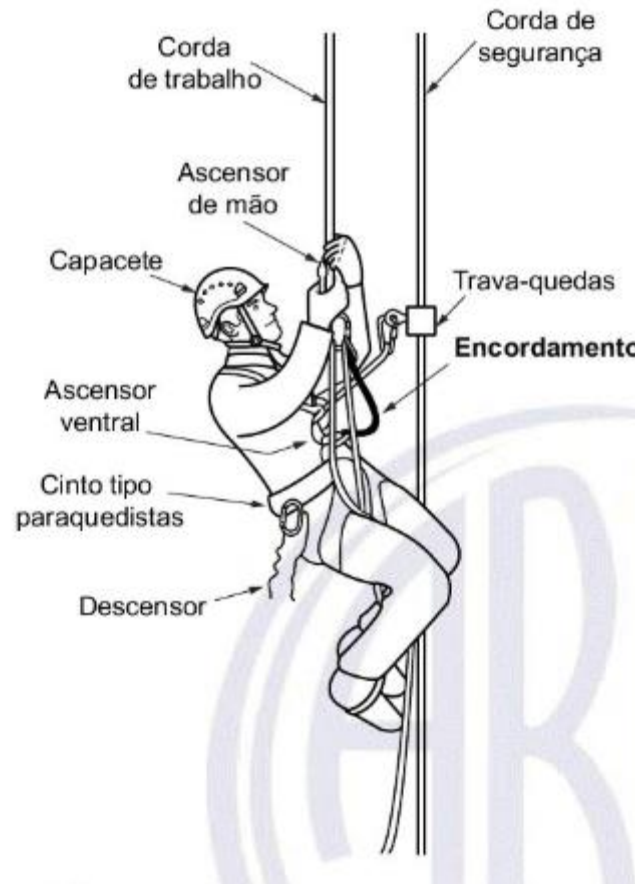
b) Usuário em posição para executar o trabalho, e sofrendo uma queda no mesmo nível

OBJETIVO: Manter o usuário Total ou parcialmente sustentado para execução dos trabalhos

Curso de Projeto e Cálculo de Estruturas metálicas

Sistemas de Trabalho em Altura

(3) Sistemas de Acesso por cordas (NBR 15.595)

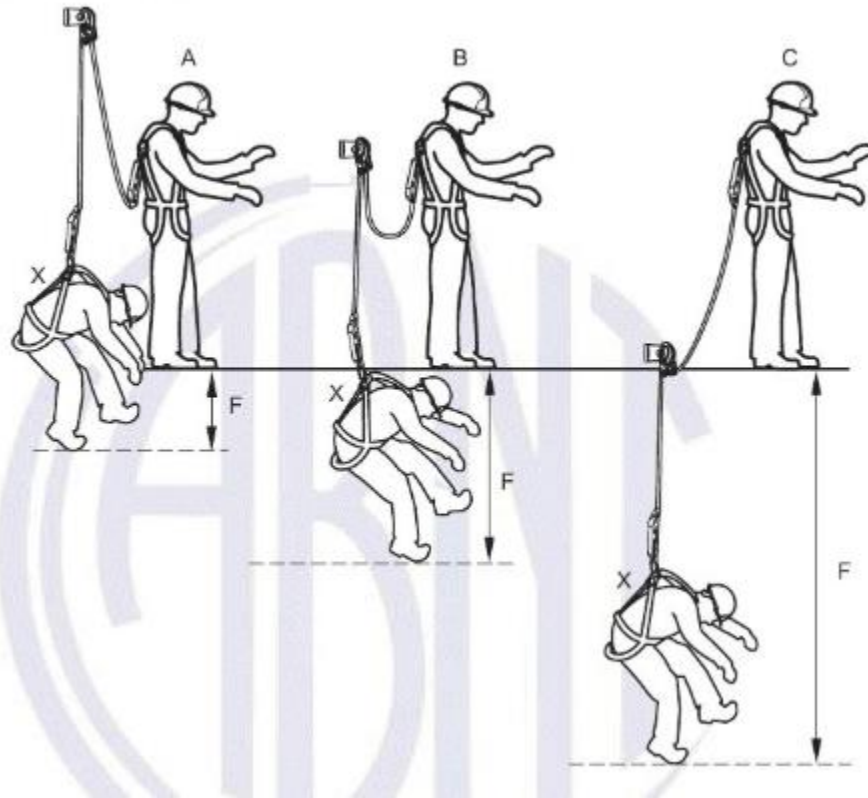


Para acessar o local de trabalho é necessário que o operador se desloque através de cordas (não por içamento)

Curso de Projeto e Cálculo de Estruturas metálicas

Sistemas de Trabalho em Altura

(4) Sistemas de Retenção de Quedas



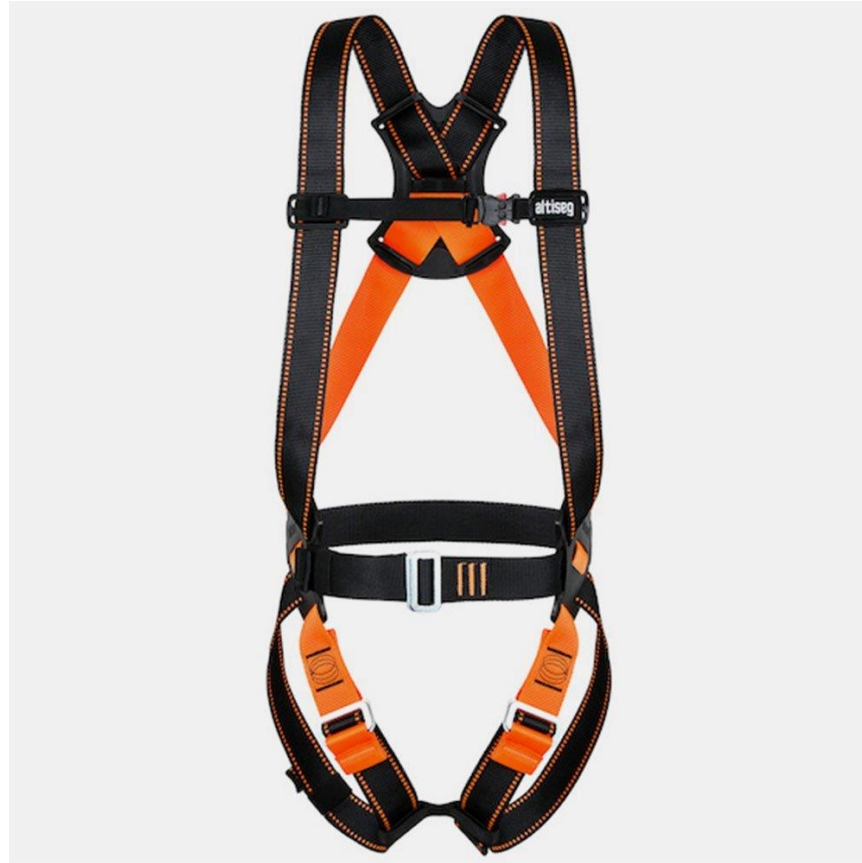
Objetivo: Reter uma queda, limitando o impacto sofrido pelo usuário

Curso de Projeto e Cálculo de Estruturas metálicas

2 – Componentes, Dispositivos e Ancoragens

Curso de Projeto e Cálculo de Estruturas metálicas

Cinturão de segurança tipo Paraquedista (NBR15.836)



Talabartes de Segurança – NBR 15.824



Curso de Projeto e Cálculo de Estruturas metálicas

Absorvedor de Energia – NBR 14629



Força máxima de frenagem: 600 kgf
Resistência Estática: 1500 kgf por 3 minutos

Há absorvedores como componentes separados ou incorporados ao talabarte

Trava Quedas Retrátil – NBR14.628



Conectores – NBR15837



Classe B



Classe M



Classe Q



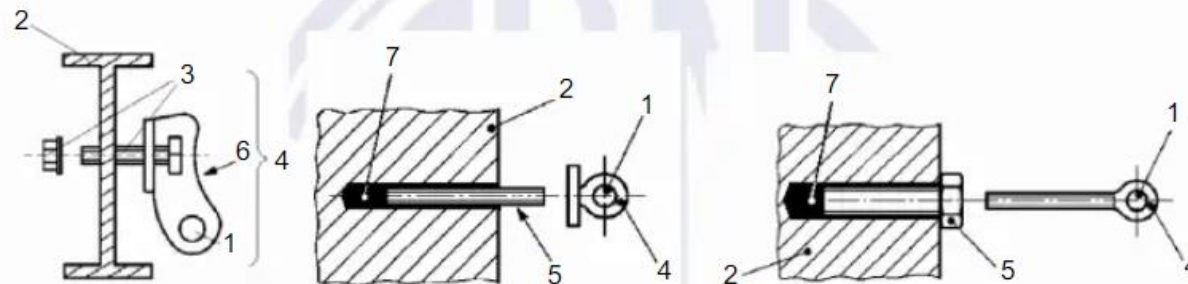
Classe T



Classe A

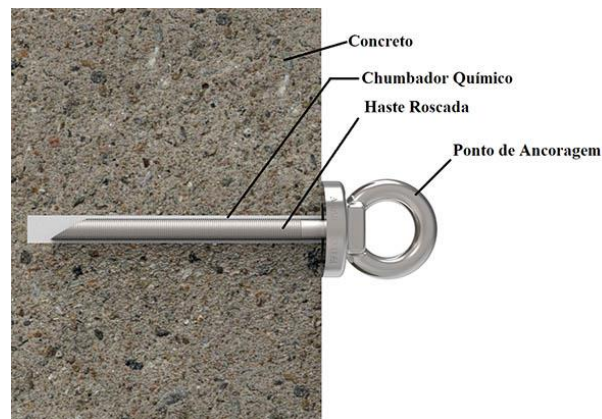
- a) classe B: conector básico, de fechamento automático destinado a ser utilizado como componente;
- b) classe M: conector multiuso, básico ou conector de elo rápido destinado a ser utilizado como componente e que pode ser aplicado conforme o seu maior ou menor eixo;
- c) classe T: conector terminal, de fechamento automático, concebido como elemento terminal de um subsistema, que permite a fixação em uma única direção;
- d) classe A: conector de ancoragem, de fechamento automático, destinado a ser utilizado como componente e concebido para ser unido diretamente a um tipo específico de ancoragem;
- e) classe Q: conector de elo rápido, destinado a ser utilizado em aplicações a longo prazo ou permanentes, cujo fechamento é obtido por um fecho de rosca, sendo este parte estrutural da sustentação do conector, quando completamente atarraxado.

Ancoragens Tipo A1 (NBR 16325 -1)

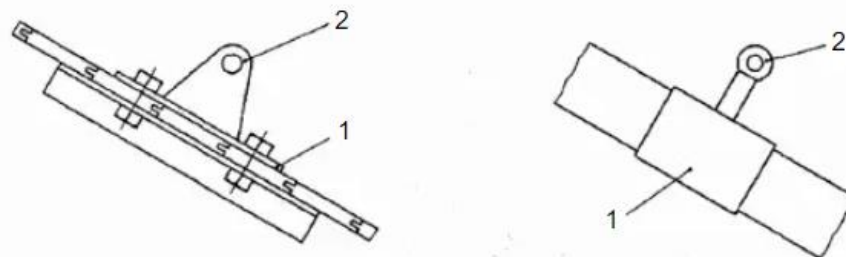


Legenda

- 1 ponto de ancoragem
- 2 estrutura (não faz parte do dispositivo de ancoragem)
- 3 elemento de fixação
- 4 dispositivo de ancoragem (Tipo A1)
- 5 ancoragem estrutural (não faz parte do dispositivo de ancoragem)
- 6 elemento
- 7 fixação permanente (por exemplo, resina)



Ancoragens Tipo A2 (NBR 16325 -1)



Legenda

- 1 dispositivo de ancoragem (Tipo A2)
- 2 ponto de ancoragem

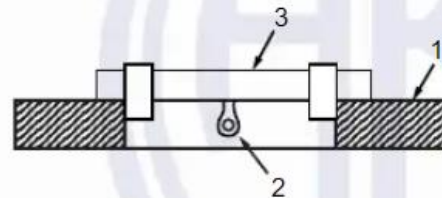
Figura 4 – Tipo A2 – Exemplos, não exaustivos, de dispositivos de ancoragem desenvolvidos para serem instalados em telhados inclinados



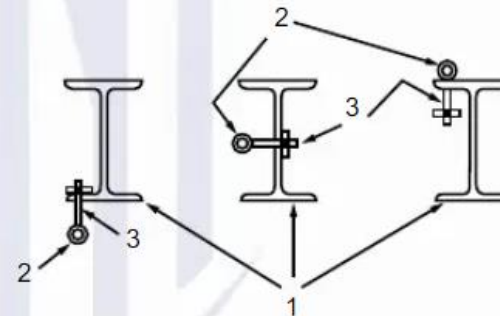
Ancoragens Tipo B (NBR 16325 -1)

tipo B

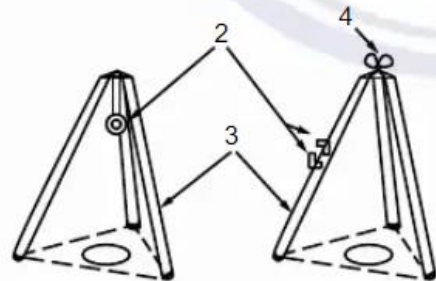
dispositivo de ancoragem transportável com um ou mais pontos de ancoragem estacionário (ver Figura 5)



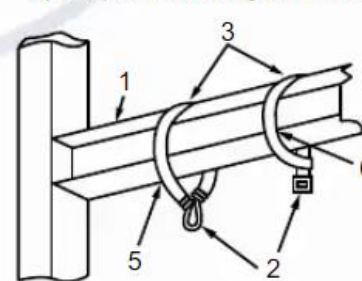
a) viga transversal



b) braçadeira de viga mestra



c) tripés com diferentes tipos de conexão



d) laço de viga

Legenda

- 1 estrutura
- 2 ponto de ancoragem
- 3 dispositivo de ancoragem (tipo B)
- 4 polia-guia para linha ancorada na perna
- 5 laço de viga-mestra
- 6 engate por estrangulamento

Ancoragens Tipo B (NBR 16325 -1)



Curso de Projeto e Cálculo de Estruturas metálicas

Ancoragens Tipo C (NBR 16325 -2)

Dispositivos de ancoragem utilizados em linhas de vida Flexíveis Horizontais



Curso de Projeto e Cálculo de Estruturas metálicas

Ancoragens Tipo D (NBR 16325 -1)

Dispositivos de ancoragem utilizados em linhas de vida Rígidas Horizontais



Curso de Projeto e Cálculo de Estruturas metálicas

3 – Critérios para seleção do tipo de Sistema de Proteção Individual Contra Quedas

Critérios para seleção do Sistema a ser empregado

1 – Definir claramente as características do Trabalho a ser executado:

Qual Atividade será executada?

Com que frequência com a atividade deve ser executada?

Quantas Pessoas são Necessárias para Executar a atividade com segurança?

Qual a mobilidade necessária para que a atividade seja executada corretamente?

Quais as ferramentas e materiais são necessários?

Critérios para seleção do Sistema a ser empregado

Hierarquia das Soluções para o Trabalho em Altura

Tabela 1 – Ilustração da hierarquia de soluções para o trabalho em altura

Níveis de prioridade	Categoria de equipamento do trabalho	Mais alta	Mais baixa
		Exemplos de medidas protetoras	
		Coletiva	Individual
Mais alta	Previne (elimina) uma queda	plataformas de trabalho com guarda-corpo; sistemas de guarda-corpo; barreiras (por exemplo, redes); pisos elevados; plataforma de trabalho aéreo (PTA)	Equipamento de proteção individual de trabalho em altura (sistemas de restrição)
Mais baixa	Minimiza a distância e as consequências de uma queda	sistemas de retenção de queda por redes; sistemas de amortecimento de queda.	Equipamento de proteção individual de trabalho em altura (sistemas de retenção de queda).

NOTA Dentro de cada categoria:

- a) as medidas de proteção coletiva têm prioridade sobre medidas de proteção individual;
- b) equipamento de trabalho apropriado (e sua ordem de prioridade) precisa ser determinado levando em consideração o trabalho a ser empreendido e considerando o risco para aqueles que instalam, utilizam e removem o equipamento e as implicações para o resgate associado com o equipamento do trabalho utilizado.

Critérios para seleção do Sistema a ser empregado

Exemplo 1: Limpeza e manutenção de Calhas



Frequência: Variável conforme Região e dimensões do telhado, mas recomenda-se que a manutenção seja feita em média a cada 6 meses

A quantidade de pessoas varia conforme as dimensões do telhado, mas equipes de 2 pessoas são suficientes para a maior parte dos casos

É necessário que os trabalhadores tenham acesso a todo o comprimento das calhas para executar a atividade, portanto a geometria do telhado deve ser considerada

São necessários equipamentos básicos como vassouras, sacos plásticos, ou equipamentos mais pesados como VAP

ESSA ATIVIDADE NÃO COSTUMA JUSTIFICAR A INSTALAÇÃO DE UM SISTEMA DE LINHA DE VIDAS, A MENOS QUE O ACESSO ÀS CALHAS NO PERÍMETRO SEJA IMPOSSÍVEL. DEVIDO À NATUREZA ESPORÁDICA DA ATIVIDADE, A LOCAÇÃO DE PTA COSTUMA SER SUFICIENTE PARA EXECUÇÃO DOS TRABALHOS.

EM CASO DE OPÇÃO POR INSTALAR UM SISTEMA NA ESTRUTURA, A LINHA DE VIDA TIPO C É A MAIS ADEQUADA

Curso de Projeto e Cálculo de Estruturas metálicas

Critérios para seleção do Sistema a ser empregado

Exemplo 2: Carga, Descarga e Manuseio em Caminhões



Frequência: Alta em indústrias e Comércio

Entre 1 e 2 pessoas por caminhão

É Necessário que o operador tenha acesso a todo o comprimento e largura do veículo para execução da atividade

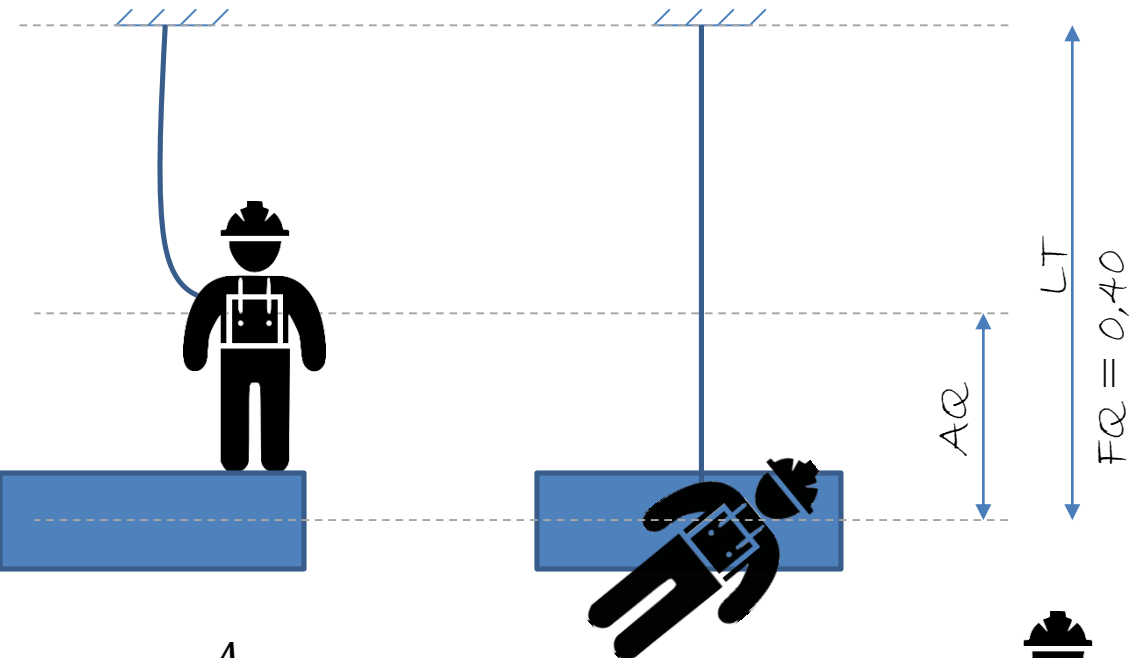
Os equipamentos variam conforme o tipo de carregamento, mas em geral são ferramentas simples, como tesouras, estiletes e fitas.

Na maior parte dos casos, o sistema mais adequado é Linha de Vida Tipo D com sistema de Trava Quedas Retrátil

Curso de Projeto e Cálculo de Estruturas metálicas

4 – Limitações de altura de quedas

Fator de Queda



$$F_q = \frac{A_q}{L_t}$$

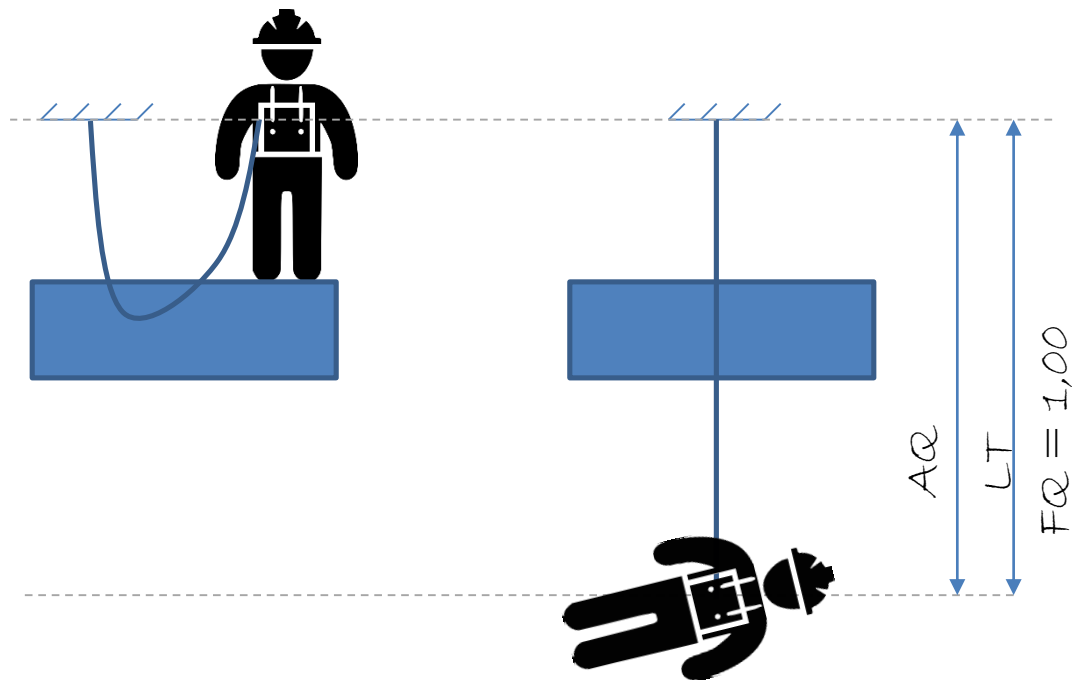
$F_q < 1 = \text{Ideal}$

$1 \leq F_q \leq 2 = \text{Atenção}$

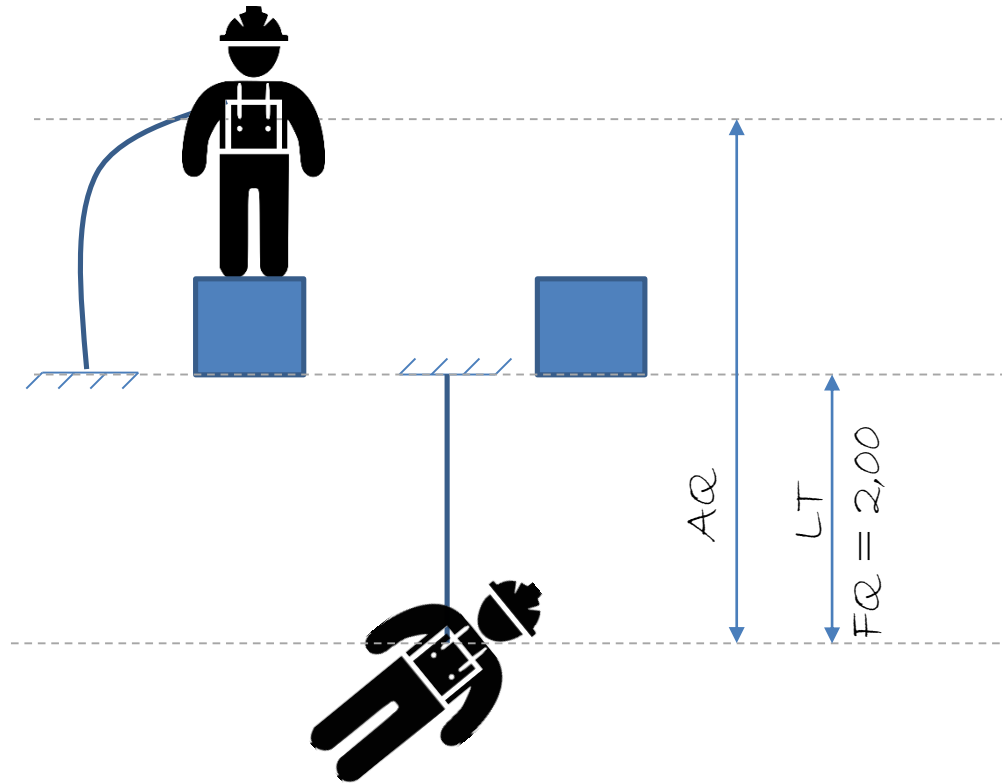
$F_q > 2 = \text{Nunca}$

LT = Comprimento do talabarte
AQ = Altura da queda

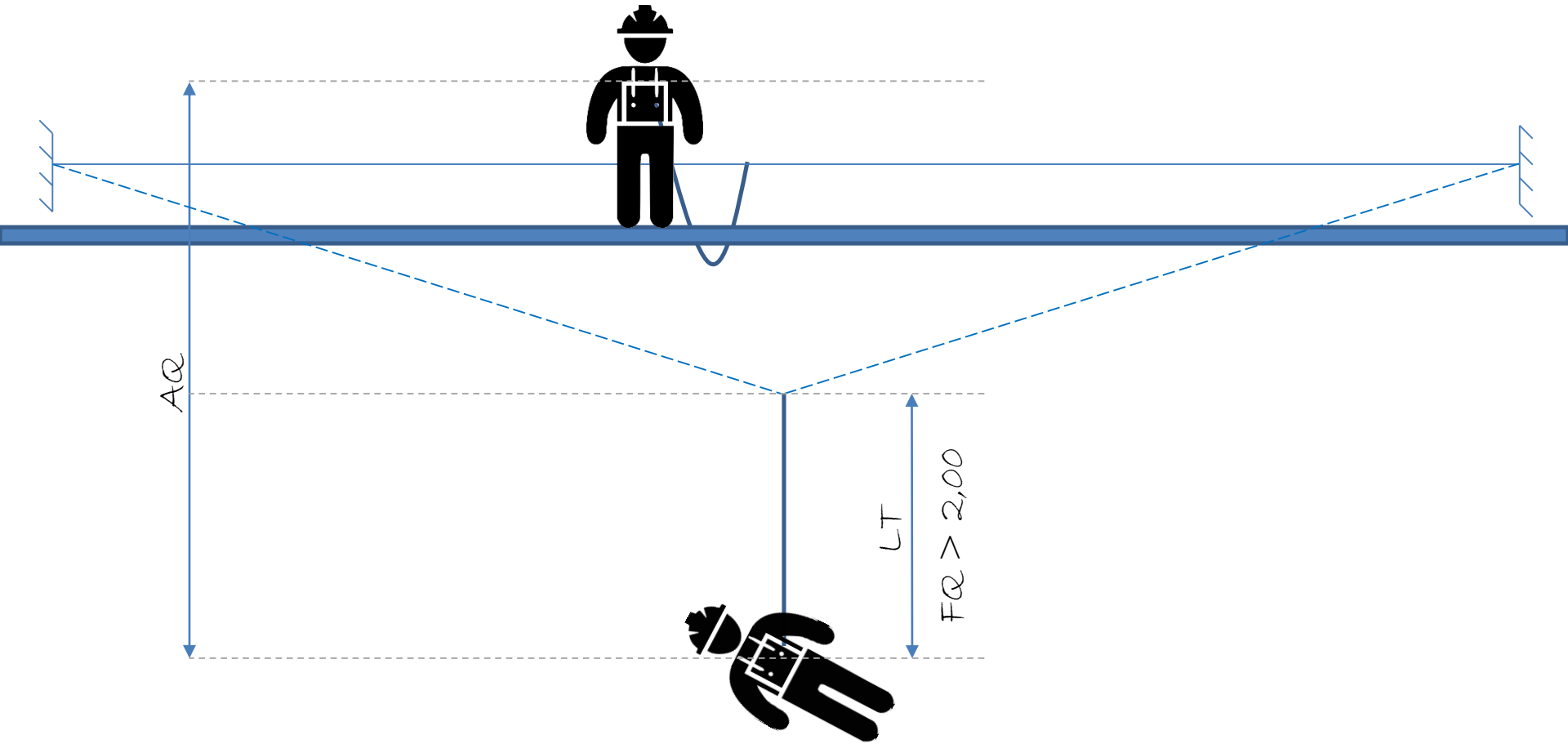
FQ = Fator de Queda



Fator de Queda



Fator de Queda



ZONA LIVRE DE QUEDA (ZQL) – Absorvedor de energia

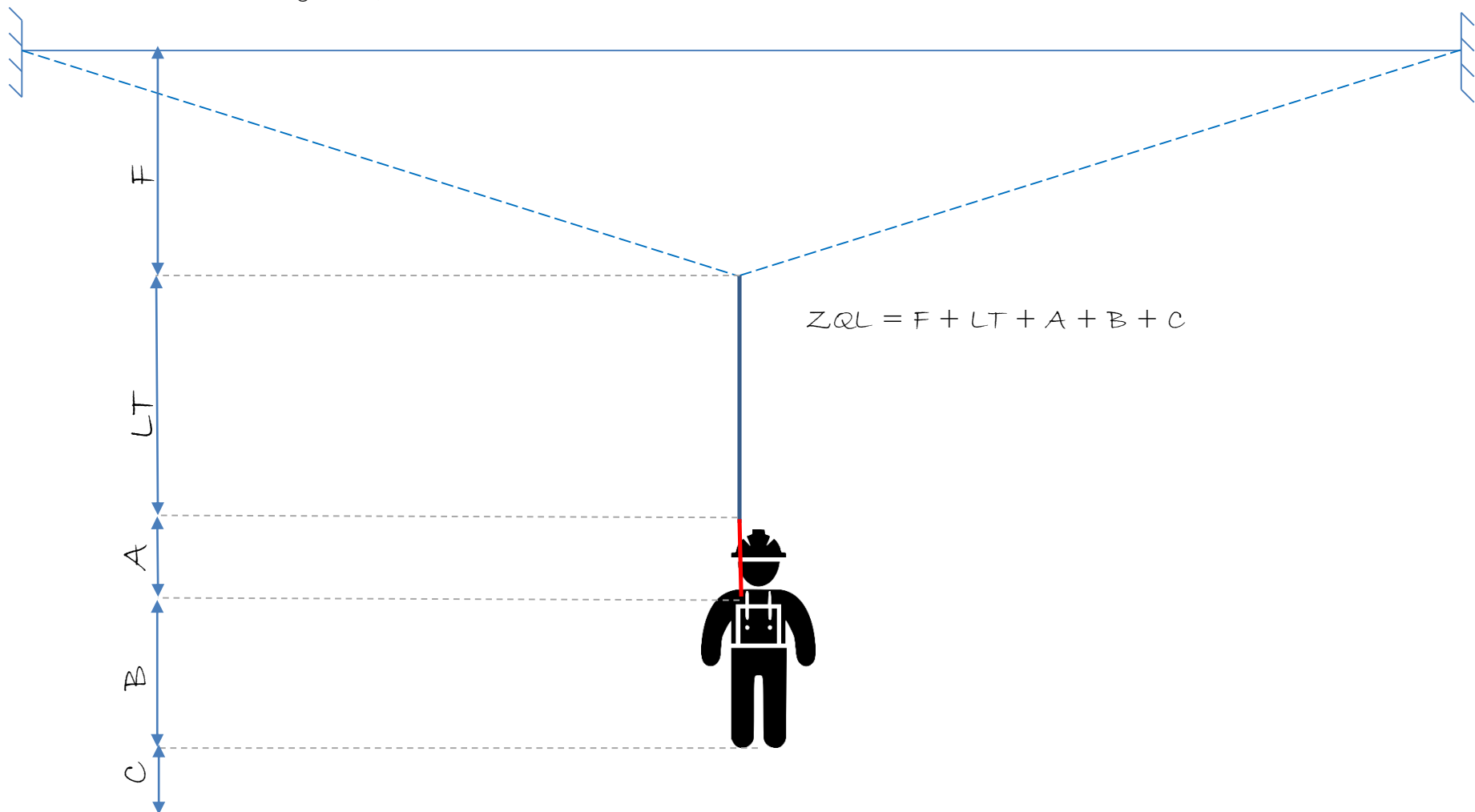
F = Flecha Dinâmica de Cálculo

LT = Comprimento do Talabarte

A = Comprimento do Absorvedor Totalmente Aberto

B = Distância do engate até o pé do operador (1,5m ou 1,8m)

C = Distância de Segurança até um obstáculo (1m)



$$ZQL = F + LT + A + B + C$$

ZONA LIVRE DE QUEDA (ZQL) – Trava quedas Retrátíl

F1 = Flecha inicial Parabólica (3% do vão)

F2 = Flecha Dinâmica de Cálculo

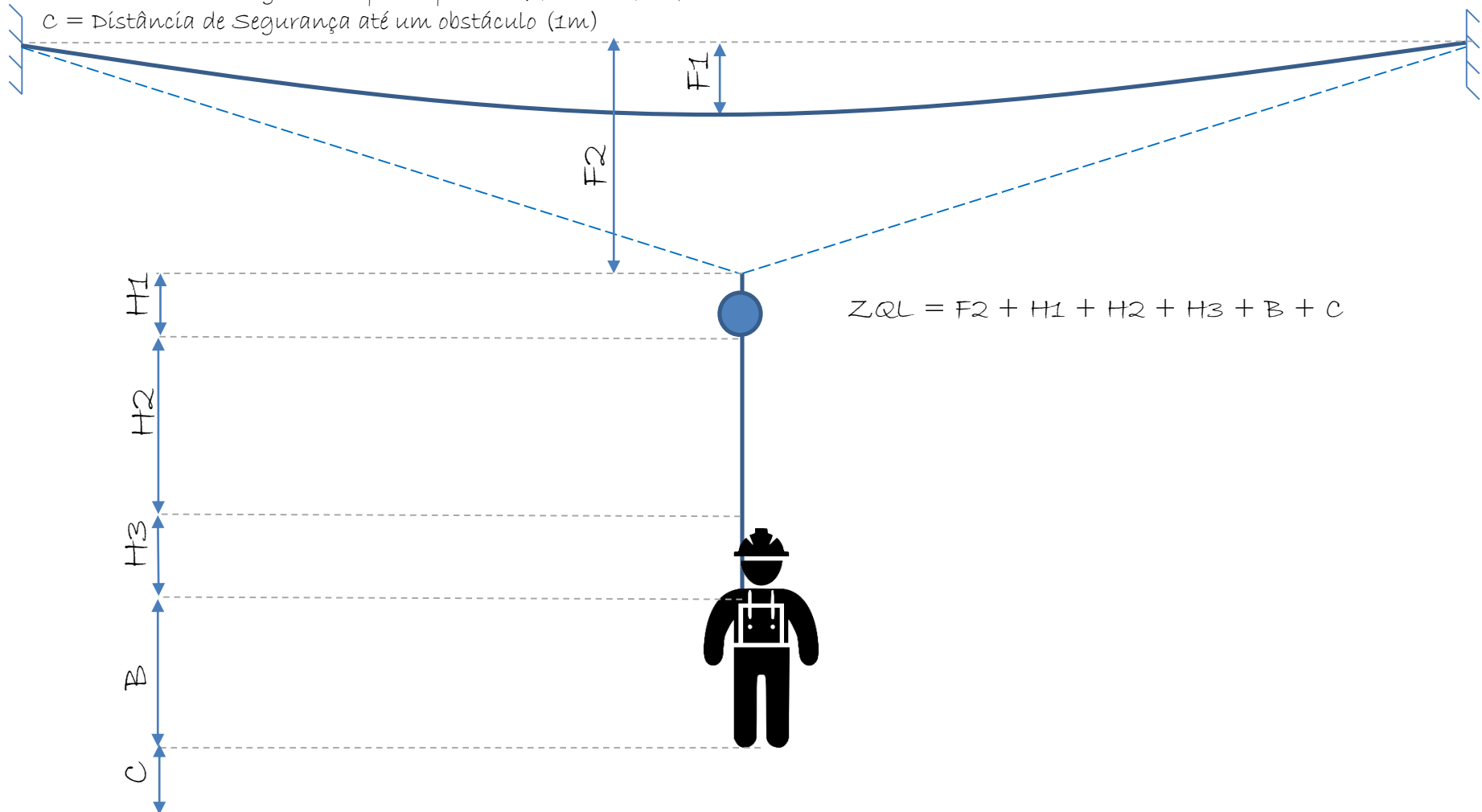
H1 = Distância entre o anel preso à linha de vida até o mosquetão do trava quedas retrátíl, recolhido

H2 = Comprimento de trabalho do cabo retrátíl

H3 = Distância de escorregamento do trava quedas

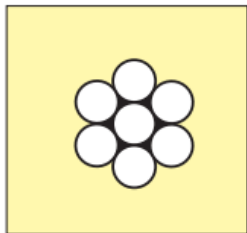
B = Distância do engate até o pé do operador (1,5m ou 1,8m)

C = Distância de Segurança até um obstáculo (1m)

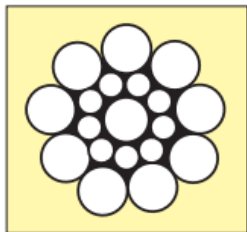


5 – Cabos de aço

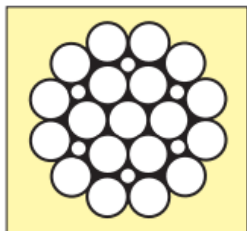
Tipos de Composição e Tipos de Alma (Catálogo CIMAF)



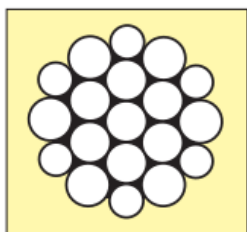
Na composição simples, todos os arames possuem o mesmo diâmetro.



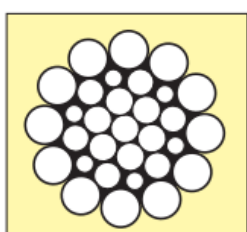
Na composição *Seale* existem pelo menos duas camadas adjacentes com o mesmo número de arames. Todos os arames da camada externa nesta composição possuem diâmetro maior para aumentar a resistência ao desgaste provocado pelo atrito.



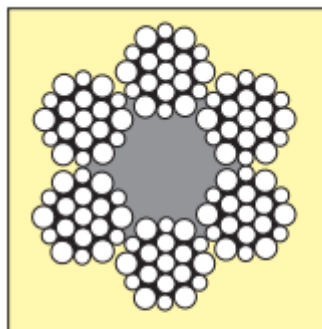
A composição *Filler* possui arames muito finos entre duas camadas. Esta condição aumenta a área de contato, a flexibilidade, a resistência ao amassamento e reduz o desgaste entre os arames.



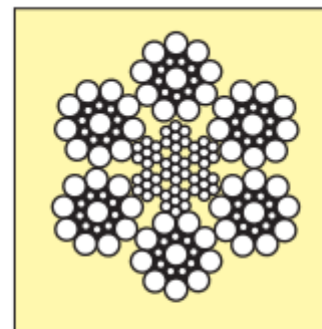
Warrington é a composição onde existe pelo menos uma camada constituída de arames de dois diâmetros diferentes e alternados. Os cabos de aço fabricados com essa composição possuem boa resistência ao desgaste e boa resistência à fadiga.



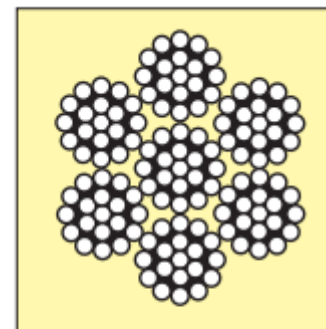
Por outro lado, ainda existem outros tipos de composições que são formadas pela aglutinação de duas das acima citadas, como por exemplo, a composição *Warrington-Seale*, que possui as principais características de cada composição, proporcionando ao cabo alta resistência à abrasão conjugado com alta resistência à fadiga de flexão.



Cabo com Alma de Fibra
AF (fibra natural)
ou
AFA (fibra artificial)



Cabo com Alma de Aço
formada por Cabo
Independente
AACI

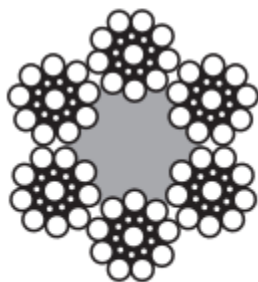


Cabo com Alma de Aço
formada por uma
perna
AA

Exemplo de Especificação

Cabo de aço Ø3/16" , 6X19 SEALE – AF - Galvanizado

Cabo de Aço Zincado Construção 6x19 Alma de Fibra	Código	Dimensão		Massa (kg/m)	Carga de Ruptura (kN)	Bobina (m)
		(mm)	(pol.)			
	2012550Z	4,8	3/16"	0,0845	13,46	500
	2012565Z	6,4	1/4"	0,1500	23,92	500
	2012580Z	8,0	5/16"	0,2380	37,38	500
	2012595Z	9,5	3/8"	0,3360	52,72	500
	2012512Z	12,7	1/2"	0,6010	94,21	500



Obs: Cabos de aço com construção 6x19 de 250 m sob consulta
Acabamento: Zincado (Z)
IPI - 15% Não Incluso + ST
Classificação Fiscal: 73.12.10.90

$$A = F \cdot d^2 \rightarrow A = 0,416 \cdot 4,8^2 = 9,58 \text{ mm}^2$$

Construção do cabo de aço ou cordoalha	Fator "F"
8X19 Seale, 8x25 Filler	0,359
MinePac	0,374
6x7	0,395
6x19 M	0,396
6x31/ 6x36 / 6x41 Warrington Seale	0,410
6x19 Seale	0,416
6x25 Filler	0,418
18x7 Resistente à Rotação	0,426
Cordoalha 7 Fios	0,589
Cordoalha 37 Fios	0,595
Cordoalha 19 Fios	0,600

Exemplo de Especificação

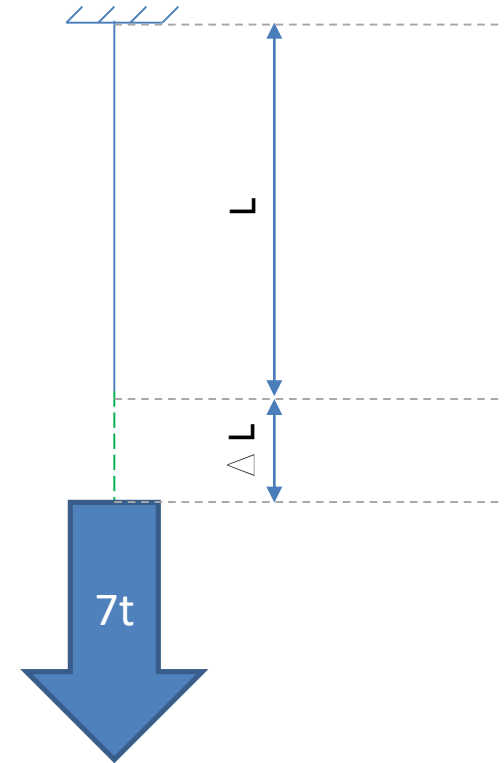
Cabo de aço Ø3/16" , 6X19 SEALE – AF - Galvanizado

	Classe	E (Kgf/mm²)		
Cabos de aço alma de fibra	6 x 7	9.000	a	10.000
	6 x 19	8.500	a	9.500
	6 x 36	7.500	a	8.500
Cabos de aço alma de aço	8 x 19	6.500	a	7.500
	6 x 7	10.500	a	11.500
	6 x 19	10.000	a	11.000
	6 x 36	9.500	a	10.500
Cordoalhas	7 fios	14.500	a	15.500
	19 fios	13.000	a	14.000
	37 fios	12.000	a	13.000

$$\Delta L = \frac{P \cdot L}{E \cdot A}$$

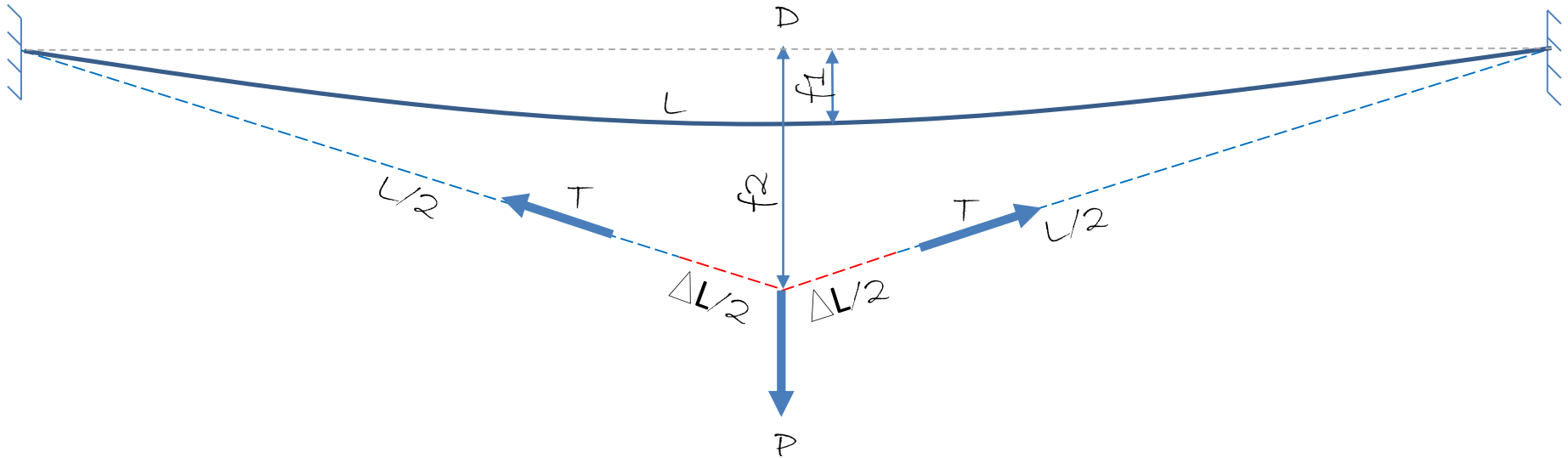
Exemplo: Cabo de aço Ø3/16" , 6X19 SEALE – AF – GALVANIZADO, Comprimento inicial 12m, Carga aplicada de 7tf

$$\Delta L = \frac{7000 \cdot 12000}{9500 \cdot 9,58} = 923mm$$



6 – Como calcular os esforços?

Condições de Equilíbrio



Tração de equilíbrio elástico = Tração de equilíbrio estático

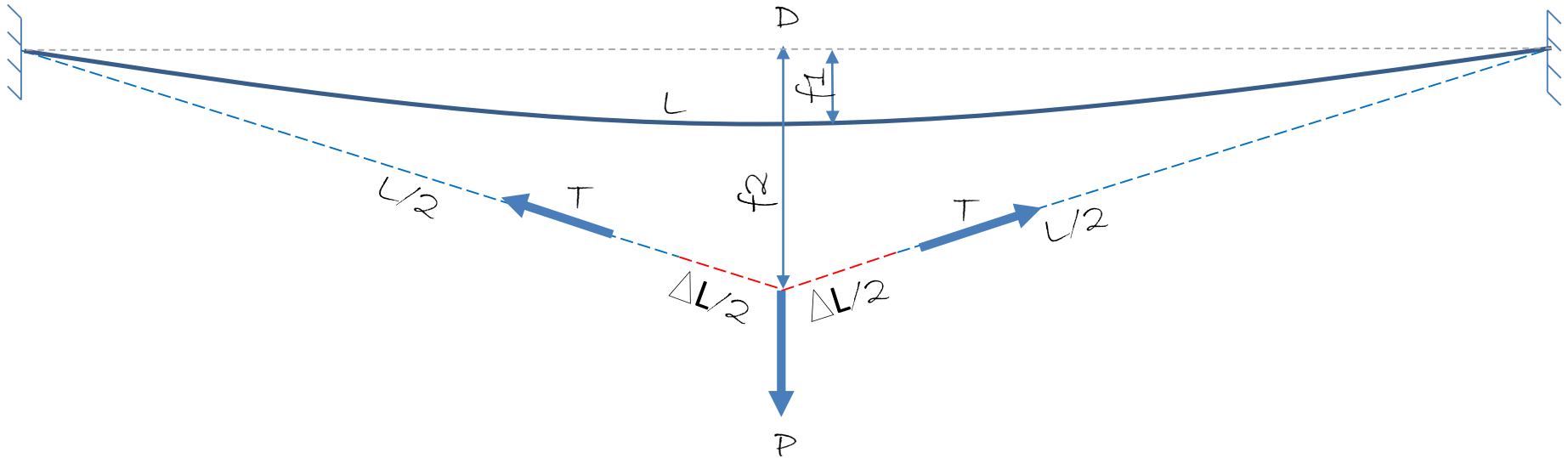
Comprimento inicial L do cabo (Curva parabólica)

$$L = D \cdot \left[1 + \frac{2}{3} \left(\frac{2F_1}{D} \right)^2 - \frac{2}{5} \left(\frac{2F_1}{D} \right)^4 \right]$$

Ex.vão de 15m e flecha inicial de 3% ($0,03 \times 15000 = 450\text{mm}$)

$$L = 15000 \cdot \left[1 + \frac{2}{3} \left(\frac{2 \cdot 450}{15000} \right)^2 - \frac{2}{5} \left(\frac{2 \cdot 450}{15000} \right)^4 \right] = 15036\text{mm}$$

Condições de Equilíbrio



$$\frac{\Delta L}{2} = \frac{T \cdot L}{2 \cdot E \cdot A} \rightarrow T = \frac{\Delta L \cdot E \cdot A}{L}$$

Primeiro estipulamos um valor aleatório de T , e calculamos o alongamento

$$F_2 = \sqrt{\left(\frac{L + \Delta L}{2}\right)^2 - \left(\frac{D}{2}\right)^2}$$

Inserimos o alongamento calculado nessa fórmula para extrair a Flecha dinâmica teórica

$$\frac{F_2}{\left(\frac{L}{2} + \frac{\Delta L}{2}\right)} = \frac{\left(\frac{P}{2}\right)}{T} \rightarrow T = \frac{P(L + \Delta L)}{4 \cdot F_2}$$

Inserimos a flecha dinâmica teórica nessa fórmula para encontrarmos uma tração Estática. Se esta for igual à elástica, o cálculo acaba aqui, caso contrário devemos interpolar até que ambas se igualem

Exemplo:

Calcular a tração no cabo de aço de uma linha de vida horizontal, com vão livre de 8m, a ser utilizada por 1 pessoa, com absorvedor de energia de carga máxima de frenagem = 600kgf. Adotar Cabo de aço 6X19 Ø1/4" Seale – AF – Zincado - IPS, com flecha inicial de 3% do vão total

Comprimento inicial L do cabo (Curva parabólica)

$$L = D \cdot \left[1 + \frac{2}{3} \left(\frac{2F_1}{D} \right)^2 - \frac{2}{5} \left(\frac{2F_1}{D} \right)^4 \right] \rightarrow 8000 \cdot \left[1 + \frac{2}{3} \left(\frac{2 \cdot 0,03 \cdot 8000}{8000} \right)^2 - \frac{2}{5} \left(\frac{2 \cdot 0,03 \cdot 8000}{8000} \right)^4 \right] = 8019mm$$

Tentativa 1: adotaremos carga arbitrária de 1800kgf

$$T = \frac{\Delta L \cdot E \cdot A}{L} \rightarrow 1800 = \frac{\Delta L \cdot 9500 \cdot 0,416 \cdot 6,4^2}{8019} \rightarrow \Delta L = 89,17mm$$

$$F_2 = \sqrt{\left(\frac{L + \Delta L}{2} \right)^2 - \left(\frac{D}{2} \right)^2} \rightarrow \sqrt{\left(\frac{8019 + 89,17}{2} \right)^2 - \left(\frac{8000}{2} \right)^2} = 660mm$$

$$T = \frac{P(L + \Delta L)}{4 \cdot F_2} \rightarrow \frac{600(8019 + 89,17)}{4 \cdot 660} = 1842,76 \text{ kgf (Não converge)}$$

Exemplo:

Tentativa 2: adotaremos carga arbitrária de 1820kgf

$$T = \frac{\Delta L \cdot E \cdot A}{L} \rightarrow 1820 = \frac{\Delta L \cdot 9500 \cdot 0,416.6,4^2}{8019} \rightarrow \Delta L = 90,16mm$$

$$F_2 = \sqrt{\left(\frac{L + \Delta L}{2}\right)^2 - \left(\frac{D}{2}\right)^2} \rightarrow \sqrt{\left(\frac{8019 + 90,16}{2}\right)^2 - \left(\frac{8000}{2}\right)^2} = 663mm$$

$$T = \frac{P(L + \Delta L)}{4 \cdot F_2} \rightarrow \frac{600(8019 + 90,16)}{4 \cdot 663} = 1834,65 \text{ kgf (Não converge)}$$

Tentativa 3: adotaremos carga arbitrária de 1830kgf


$$T = \frac{\Delta L \cdot E \cdot A}{L} \rightarrow 1830 = \frac{\Delta L \cdot 9500 \cdot 0,416.6,4^2}{8019} \rightarrow \Delta L = 90,65mm$$

$$F_2 = \sqrt{\left(\frac{L + \Delta L}{2}\right)^2 - \left(\frac{D}{2}\right)^2} \rightarrow \sqrt{\left(\frac{8019 + 90,65}{2}\right)^2 - \left(\frac{8000}{2}\right)^2} = 664,53mm$$

$$T = \frac{P(L + \Delta L)}{4 \cdot F_2} \rightarrow \frac{600(8019 + 90,65)}{4 \cdot 664,53} = 1830,53 \text{ kgf (Adotaremos tolerância de } \pm 1kgf)$$

Exemplo:

Há literaturas que estipulam um Fator de segurança mínimo de 2 para cabos de aço, porém a NR18, no item 18.16.2.1 estabelece um fator mínimo de 5. Adotaremos esse fator.

Cabo de Aço Zincado Construção 6x19 Alma de Fibra	Código	Dimensão		Massa (kg/m)	Carga de Ruptura (kN)	Bobina (m)
		(mm)	(pol.)			
	2012550Z	4,8	3/16"	0,0845	13,46	500
	2012565Z	6,4	1/4"	0,1500	23,92	500
	2012580Z	8,0	5/16	0,2380	37,38	500
	2012595Z	9,5	3/8"	0,3360	52,72	500
	2012512Z	12,7	1/2"	0,6010	94,21	500

Obs: Cabos de aço com construção 6x19 de 250 m sob consulta
Acabamento: Zincado (Z)
IPI - 15% Não Incluso + ST
Classificação Fiscal: 73.12.10.90

$$FS = \frac{Q_{Rup}}{Q_{Atu}} = \frac{2392}{1830} = 1,307 < 5 \text{ NÃO APROVADO}$$

Nesse caso o cabo deve ser substituído por outro e os cálculos devem ser revisados

Exemplo:

Calcular a tração no cabo de aço de uma linha de vida horizontal, com vão livre de 8m, a ser utilizada por 1 pessoa, com absorvedor de energia de carga máxima de frenagem = 600kgf. Adotar Cabo de aço 6X19 Ø5/16" Seale – AF – Zincado -IPS, com flecha inicial de 3% do vão total

Comprimento inicial L do cabo (Curva parabólica)

$$L = D \cdot \left[1 + \frac{2}{3} \left(\frac{2F_1}{D} \right)^2 - \frac{2}{5} \left(\frac{2F_1}{D} \right)^4 \right] \rightarrow 8000 \cdot \left[1 + \frac{2}{3} \left(\frac{2 \cdot 0,03 \cdot 8000}{8000} \right)^2 - \frac{2}{5} \left(\frac{2 \cdot 0,03 \cdot 8000}{8000} \right)^4 \right] = 8019mm$$

Tentativa 1: adotaremos carga arbitrária de 1830 kgf

$$T = \frac{\Delta L \cdot E \cdot A}{L} \rightarrow 1830 = \frac{\Delta L \cdot 9500 \cdot 0,416 \cdot 8,0^2}{8019} \rightarrow \Delta L = 58,02mm$$

$$F_2 = \sqrt{\left(\frac{L + \Delta L}{2} \right)^2 - \left(\frac{D}{2} \right)^2} \rightarrow \sqrt{\left(\frac{8019 + 58,02}{2} \right)^2 - \left(\frac{8000}{2} \right)^2} = 556,38mm$$

$$T = \frac{P(L + \Delta L)}{4 \cdot F_2} \rightarrow \frac{600(8019 + 58,02)}{4 \cdot 556,38} = 2177,56(N\tilde{a}o\ converge)$$

Exemplo:

Tentativa 2: adotaremos carga arbitrária de 2000 kgf

$$T = \frac{\Delta L \cdot E \cdot A}{L} \rightarrow 2000 = \frac{\Delta L \cdot 9500 \cdot 0,416 \cdot 8,0^2}{8019} \rightarrow \Delta L = 63,41 \text{ mm}$$

$$F_2 = \sqrt{\left(\frac{L + \Delta L}{2}\right)^2 - \left(\frac{D}{2}\right)^2} \rightarrow \sqrt{\left(\frac{8019 + 63,41}{2}\right)^2 - \left(\frac{8000}{2}\right)^2} = 575,62 \text{ mm}$$

$$T = \frac{P(L + \Delta L)}{4 \cdot F_2} \rightarrow \frac{600(8019 + 63,41)}{4 \cdot 575,62} = 2106,2 (\text{Não converge})$$

Tentativa 3: adotaremos carga arbitrária de 2100 kgf

$$T = \frac{\Delta L \cdot E \cdot A}{L} \rightarrow 2100 = \frac{\Delta L \cdot 9500 \cdot 0,416 \cdot 8,0^2}{8019} \rightarrow \Delta L = 66,58 \text{ mm}$$

$$F_2 = \sqrt{\left(\frac{L + \Delta L}{2}\right)^2 - \left(\frac{D}{2}\right)^2} \rightarrow \sqrt{\left(\frac{8019 + 66,58}{2}\right)^2 - \left(\frac{8000}{2}\right)^2} = 586,64 \text{ mm}$$

$$T = \frac{P(L + \Delta L)}{4 \cdot F_2} \rightarrow \frac{600(8019 + 66,58)}{4 \cdot 586,64} = 2067,42 (\text{Não converge})$$

Exemplo:

Tentativa 4: adotaremos carga arbitrária de 2085 kgf

$$T = \frac{\Delta L \cdot E \cdot A}{L} \rightarrow 2085 = \frac{\Delta L \cdot 9500 \cdot 0,416 \cdot 8,0^2}{8019} \rightarrow \Delta L = 66,10 \text{ mm}$$

$$F_2 = \sqrt{\left(\frac{L + \Delta L}{2}\right)^2 - \left(\frac{D}{2}\right)^2} \rightarrow \sqrt{\left(\frac{8019 + 66,10}{2}\right)^2 - \left(\frac{8000}{2}\right)^2} = 585 \text{ mm}$$

$$T = \frac{P(L + \Delta L)}{4 \cdot F_2} \rightarrow \frac{600(8019 + 66,10)}{4 \cdot 585} = 2073,10 \text{ kgf (Não converge)}$$

Tentativa 5: adotaremos carga arbitrária de 2076 kgf

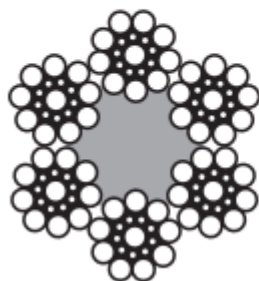
$$T = \frac{\Delta L \cdot E \cdot A}{L} \rightarrow 2076 = \frac{\Delta L \cdot 9500 \cdot 0,416 \cdot 8,0^2}{8019} \rightarrow \Delta L = 65,82 \text{ mm}$$

$$F_2 = \sqrt{\left(\frac{L + \Delta L}{2}\right)^2 - \left(\frac{D}{2}\right)^2} \rightarrow \sqrt{\left(\frac{8019 + 65,82}{2}\right)^2 - \left(\frac{8000}{2}\right)^2} = 584,02 \text{ mm}$$

$$T = \frac{P(L + \Delta L)}{4 \cdot F_2} \rightarrow \frac{600(8019 + 65,82)}{4 \cdot 584,02} = 2076,50 \text{ (OK, CONVERGE)}$$

Exemplo:

Cabo de Aço Zincado Construção 6x19 Alma de Fibra



Código	Dimensão		Massa (kg/m)	Carga de Ruptura (kN)	Bobina (m)
	(mm)	(pol.)			
2012550Z	4,8	3/16"	0,0845	13,46	500
2012565Z	6,4	1/4"	0,1500	23,92	500
2012580Z	8,0	5/16"	0,2380	37,38	500
2012595Z	9,5	3/8"	0,3360	52,72	500
2012512Z	12,7	1/2"	0,6010	94,21	500

Obs: Cabos de aço com construção 6x19 de 250 m sob consulta

Acabamento: Zincado (Z)

IPI - 15% Não Incluso + ST

Classificação Fiscal: 73.12.10.90

$$FS = \frac{Q_{Rup}}{Q_{Atu}} = \frac{3738}{2076} = 1,80 < 5 \text{ NÃO APROVADO}$$

Novamente, o cabo deve ser substituído por outro e os cálculos devem ser revisados

Utilizando a planilha para cálculo iterativo

Dados do Cabo de aço		Unidade	Formulário
Cabo de aço	Ø9/16 - 6X19 SEALE EIPS - AF		
Diâmetro (d)	14,5	mm	
Fator (F)	0,416		
Módulo de elasticidade (E)	9500	kgf/mm²	
Força mínima de Ruptura (Fu)	15200	kgf	
Área Metálica (Am)	87,464	mm²	Am = F . d²

Dados da Linha de Vida Flexível			
Vão Livre (D)	6000	mm	
Taxa da Flecha Inicial (%f1)	3	%	

Cálculo			
Carga P	600	kgf	
Tração Arbitrária no Cabo (T)	2803,164901	kgf	
Flecha Inicial (f1)	180	mm	f1= D . %f1
Comprimento do cabo (L)	6014,4	mm	L = D.(1+2/3(2.f1/D)² -2/5(2.f1/D)^4)
Alongamento (ΔL)	20,29	mm	ΔL = (L . T)/(E . Am)
Flecha Dinâmica (f2)	322,92	mm	f2 = RAIZ((((L+DL)/2)² - (D/2)²)
Tração Teórica do Cabo (T)	2803,16	kgf	
Diferença (T Arbitrário x T Teórico)	0,00	kgf	
Status	CONVERGE		
FATOR DE SEGURANÇA	5,42	5	se > 5 = Aprovado
STATUS FINAL	APROVADO		

VERIFICAR COM DADOS ATUAIS

CALCULAR LISTA RESUMO

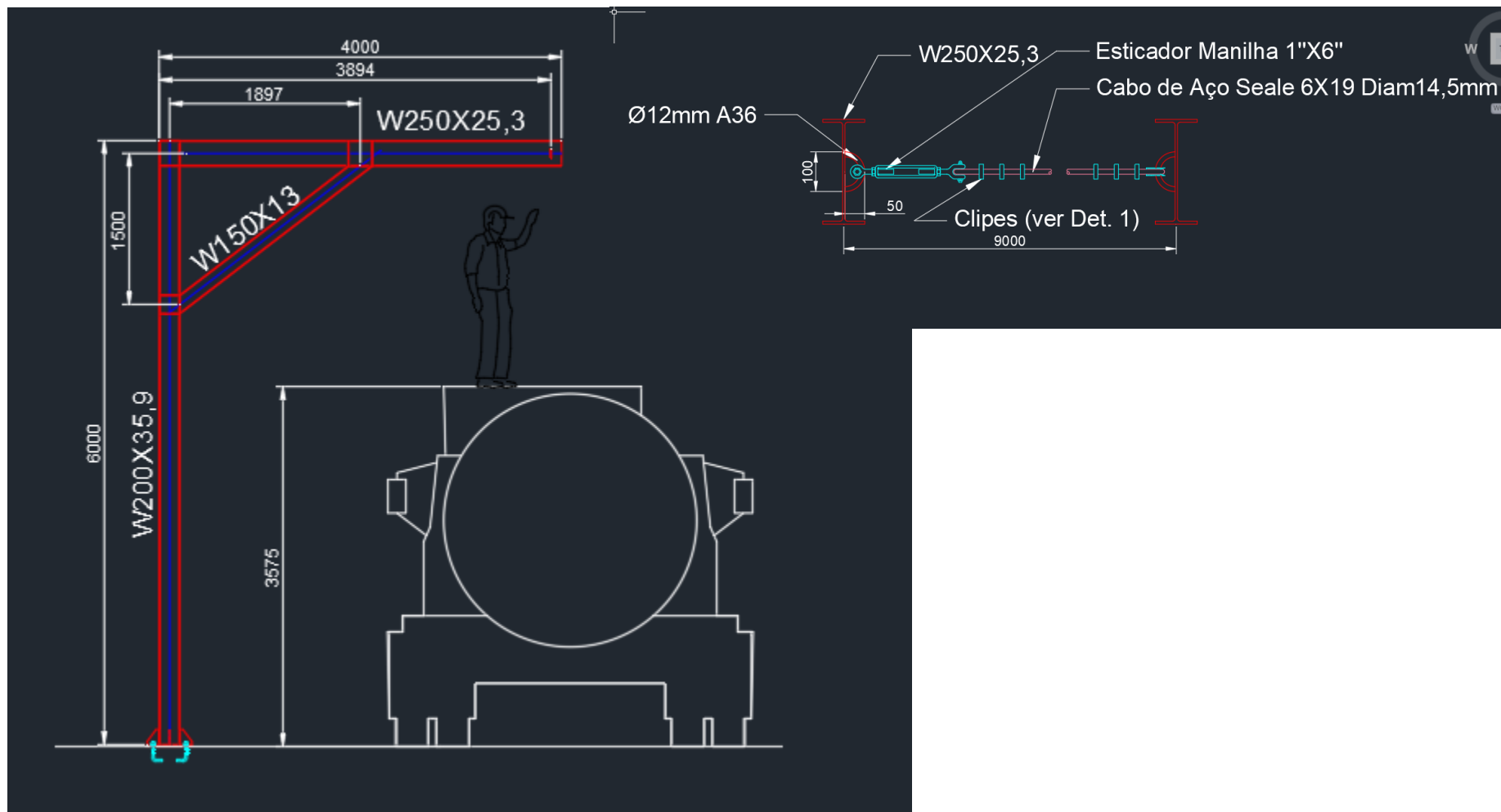
Lista Resumo

Cabo de Aço	f2(mm)	T (kgf)	STATUS	F.S
Ø1/8 - 6X19 SEALE IPS - AF	769	1208	REPROVADO	0,54
Ø5/32 - 6X19 SEALE IPS - AF	666	1384	REPROVADO	0,74
Ø3/16 - 6X19 SEALE IPS - AF	594	1545	REPROVADO	0,95
Ø1/4 - 6X19 SEALE IPS - AF	499	1829	REPROVADO	1,46
Ø1/8 - 6X19 SEALE EIPS - AF	769	1208	REPROVADO	0,60
Ø5/32 - 6X19 SEALE EIPS - AF	666	1384	REPROVADO	0,82
Ø3/16 - 6X19 SEALE EIPS - AF	594	1545	REPROVADO	1,06
Ø1/4 - 6X19 SEALE EIPS - AF	499	1829	REPROVADO	1,69
Ø5/16 - 6X19 SEALE EIPS - AF	438	2075	REPROVADO	2,31
Ø3/8 - 6X19 SEALE EIPS - AF	399	2277	REPROVADO	3,01
Ø7/16 - 6X19 SEALE EIPS - AF	361	2511	REPROVADO	3,70
Ø1/2 - 6X19 SEALE EIPS - AF	340	2665	REPROVADO	4,54
Ø9/16 - 6X19 SEALE EIPS - AF	323	2803	APROVADO	5,42
Ø5/8 - 6X19 SEALE EIPS - AF	309	2927	APROVADO	6,39
Ø3/4 - 6X19 SEALE EIPS - AF	288	3139	APROVADO	8,54
Ø7/8 - 6X19 SEALE EIPS - AF	273	3311	APROVADO	10,90
Ø1" - 6X19 SEALE EIPS - AF	259	3494	APROVADO	13,45
Ø1.1/8 - 6X19 SEALE EIPS - AF	251	3604	APROVADO	16,37
Ø1.1/4 - 6X19 SEALE EIPS - AF	244	3696	APROVADO	19,64
Ø1.1/2 - 6X19 SEALE EIPS - AF	235	3838	APROVADO	26,91
Ø1.5/8 - 6X19 SEALE EIPS - AF	231	3910	APROVADO	31,20
Ø1.3/4 - 6X19 SEALE EIPS - AF	228	3954	APROVADO	35,66
Ø2" - 6X19 SEALE EIPS - AF	224	4036	APROVADO	45,51

O cabo de aço a ser adotado é Diam. 14,5mm 6X19 SEALE, Alma de fibra, Classe de resistência EIPS

Exemplo:

Dimensionar a linha de vida para manuseio de cargas abaixo. Considerar utilização por apenas 1 operador, Com utilização de trava quedas retrátil, com altura de 250mm, e estiramento após queda de 55cm. O comprimento máximo do cabo de vida do dispositivo retrátil é 1,8m



ZONA LIVRE DE QUEDA (ZQL) – Trava quedas Retrátíl

F1 = Flecha inicial Parabólica (3% do vão)

F2 = Flecha Dinâmica de Cálculo

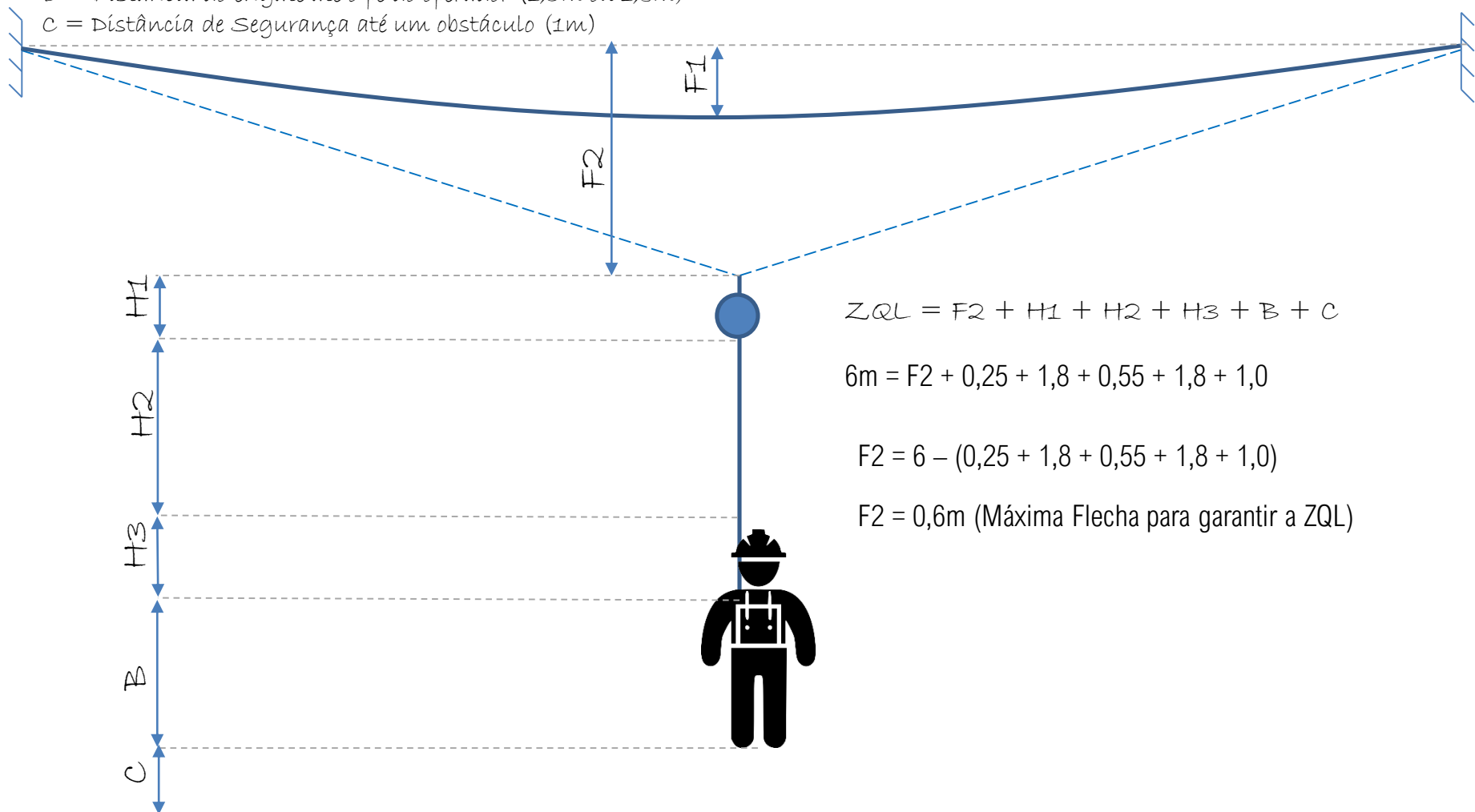
H1 = Distância entre o anel preso à linha de vida até o mosquetão do trava quedas retrátil, recolhido

H2 = Comprimento de trabalho do cabo retrátil

H3 = Distância de escorregamento do trava quedas

B = Distância do engate até o pé do operador (1,5m ou 1,8m)

C = Distância de Segurança até um obstáculo (1m)



$$ZQL = F2 + H1 + H2 + H3 + B + C$$

$$6m = F2 + 0,25 + 1,8 + 0,55 + 1,8 + 1,0$$

$$F2 = 6 - (0,25 + 1,8 + 0,55 + 1,8 + 1,0)$$

$$F2 = 0,6m \text{ (Máxima Flecha para garantir a ZQL)}$$

Exemplo:

Dados do Cabo de aço		Unidade	Formulário
Cabo de aço	Ø9/16 - 6X19 SEALE EIPS - AF		
Diâmetro (d)	14,5	mm	
Fator (F)	0,416		
Módulo de elasticidade (E)	9500	kgf/mm²	
Força mínima de Ruptura (Fu)	15200	kgf	
Área Metálica (Am)	87,464	mm²	Am = F . d²

Dados da Linha de Vida Flexível			
Vão Livre (D)	9000	mm	
Taxa da Flecha Inicial (%f1)	3	%	

Cálculo			
Carga P	600	kgf	
Tração Arbitrária no Cabo (T)	2803	kgf	
Flecha Inicial (f1)	270	mm	f1= D . %f1
Comprimento do cabo (L)	9021,6	mm	$L = D \cdot (1 + 2/3(2 \cdot f1/D)^2 - 2/5(2 \cdot f1/D)^4)$
Alongamento (ΔL)	30,43	mm	$\Delta L = (L \cdot T)/(E \cdot Am)$
Flecha Dinâmica (f2)	484,37	mm	$f2 = \text{RAIZ}(((L+DL)/2)^2 - (D/2)^2)$
Tração Teórica do Cabo (T)	2803,21	kgf	
Diferença (T Arbitrário x T Teórico)	0,21	kgf	
Status	CONVERGE		
FATOR DE SEGURANÇA	5,42	5	se > 5 = Aprovado
STATUS FINAL	APROVADO		

VERIFICAR COM DADOS ATUAIS

CALCULAR LISTA RESUMO

Lista Resumo

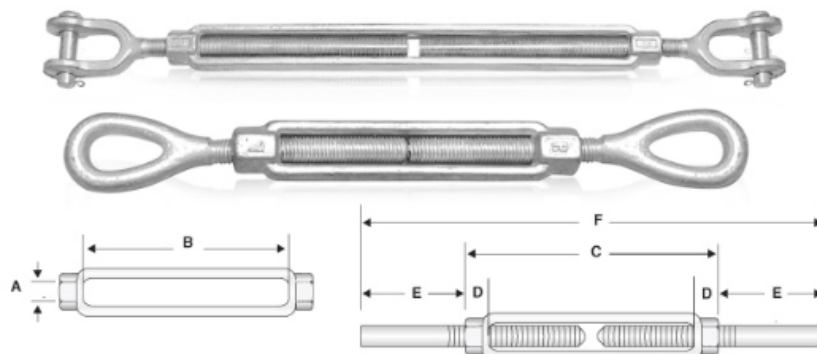
Cabo de Aço	f2(mm)	T (kgf)	STATUS	F.S
Ø1/8 - 6X19 SEALE IPS - AF	1153	1208	REPROVADO	0,54
Ø5/32 - 6X19 SEALE IPS - AF	999	1384	REPROVADO	0,74
Ø3/16 - 6X19 SEALE IPS - AF	891	1545	REPROVADO	0,95
Ø1/4 - 6X19 SEALE IPS - AF	748	1829	REPROVADO	1,46
Ø1/8 - 6X19 SEALE EIPS - AF	1153	1208	REPROVADO	0,60
Ø5/32 - 6X19 SEALE EIPS - AF	999	1384	REPROVADO	0,82
Ø3/16 - 6X19 SEALE EIPS - AF	891	1545	REPROVADO	1,06
Ø1/4 - 6X19 SEALE EIPS - AF	748	1829	REPROVADO	1,69
Ø5/16 - 6X19 SEALE EIPS - AF	658	2075	REPROVADO	2,31
Ø3/8 - 6X19 SEALE EIPS - AF	598	2277	REPROVADO	3,01
Ø7/16 - 6X19 SEALE EIPS - AF	541	2511	REPROVADO	3,70
Ø1/2 - 6X19 SEALE EIPS - AF	510	2665	REPROVADO	4,54
Ø9/16 - 6X19 SEALE EIPS - AF	484	2803	APROVADO	5,42
Ø5/8 - 6X19 SEALE EIPS - AF	464	2927	APROVADO	6,39
Ø3/4 - 6X19 SEALE EIPS - AF	432	3139	APROVADO	8,54
Ø7/8 - 6X19 SEALE EIPS - AF	409	3311	APROVADO	10,90
Ø1" - 6X19 SEALE EIPS - AF	388	3494	APROVADO	13,45
Ø1.1/8 - 6X19 SEALE EIPS - AF	376	3604	APROVADO	16,37
Ø1.1/4 - 6X19 SEALE EIPS - AF	366	3696	APROVADO	19,64
Ø1.1/2 - 6X19 SEALE EIPS - AF	353	3838	APROVADO	26,91
Ø1.5/8 - 6X19 SEALE EIPS - AF	346	3910	APROVADO	31,20
Ø1.3/4 - 6X19 SEALE EIPS - AF	342	3954	APROVADO	35,66
Ø2" - 6X19 SEALE EIPS - AF	335	4036	APROVADO	45,51

Cabo de aço aprovado: Diam. 9X16 SEALE EIPS AF
Flecha Máxima 485mm< 600mm OK

Exemplo:

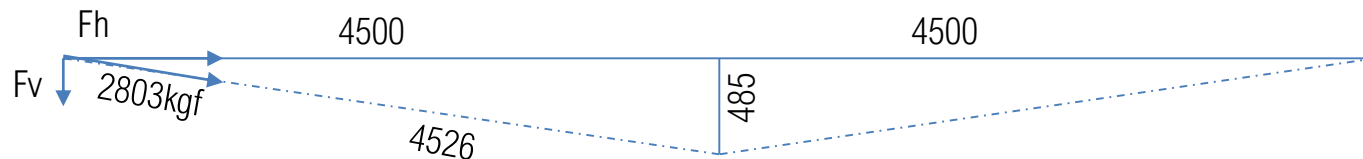
ESTICADOR DE CABO DE AÇO TIPOS: Manilha-Manilha / Manilha-Olhal / Olhal-Olhal

- fabricados conforme Federal Specifications FF-T-7791B, Type 1, Form 1 - Class 7.
- Galvanizadas a quente
- Coefficiente de segurança 5:1
- Teste de carga 2,5 x a carga limite de trabalho



Ø rosca (A) x caixa (B)	Carga Limite de Trabalho (t)	Dimensões (polegadas)			
		C	D	E	F
1/2" x 6"	1,00	7,50	0,75	4,25	16,00
1/2" x 8"	1,00	10,50	0,75	4,25	19,00
1/2" x 12"	1,00	13,50	0,75	4,25	22,00
5/8" x 6"	1,59	7,88	0,94	4,06	16,00
5/8" x 8"	1,59	10,88	0,94	4,06	19,00
5/8" x 12"	1,59	13,88	0,94	4,06	22,00
3/4" x 6"	2,36	8,25	1,13	4,38	17,00
3/4" x 8"	2,36	11,25	1,13	4,38	20,00
3/4" x 12"	2,36	14,25	1,13	4,38	23,00
3/4" x 18"	2,36	20,25	1,13	4,38	29,00
7/8" x 12"	3,27	14,63	1,31	4,69	24,00
7/8" x 18"	3,27	20,63	1,31	-	-
1" x 6"	4,54	9,00	1,50	5,00	19,00
1" x 12"	4,54	15,00	1,50	5,00	25,00
1" x 18"	4,54	21,00	1,50	5,00	31,00
1" x 24"	4,54	27,00	1,50	-	20,00
1.1/4" x 12"	6,90	15,13	1,56	5,38	26,00
1.1/4" x 18"	6,90	21,10	1,56	5,38	-
1.1/4" x 24"	6,90	27,13	1,56	5,38	-
1.1/2" x 12"	9,72	15,75	1,88	-	26,50
1.1/2" x 18"	9,72	21,75	1,88	-	-
1.1/2" x 24"	9,72	27,75	1,88	-	-
1.3/4" x 18"	12,70	-	-	-	-
1.3/4" x 24"	12,70	-	-	-	-
2" x 24"	16,81	29,00	2,50	-	-
2.1/2" x 24"	27,27	31,50	3,75	-	-
2.3/4" x 24"	34,09	31,50	3,75	-	-

Exemplo:



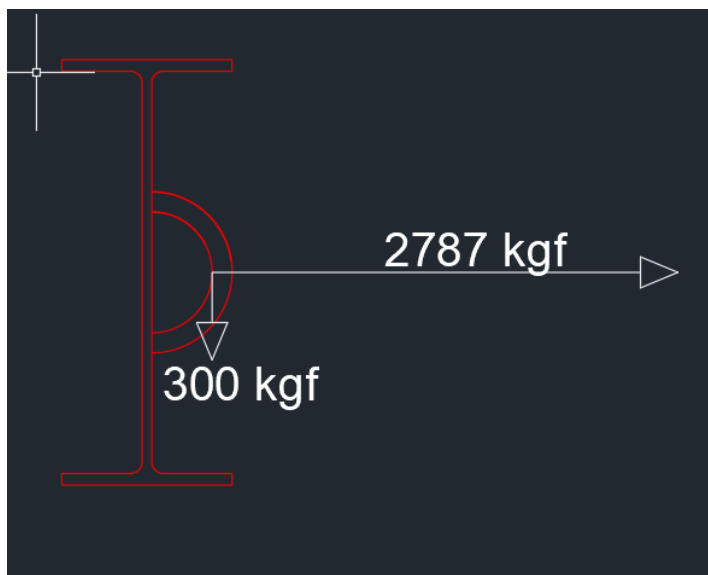
Hipótese 1: Carga aplicada ao centro da LV

$$\frac{F_h}{2803} = \frac{4500}{4526} \rightarrow F_h = 2787 \text{ kgf} \quad \frac{F_v}{2803} = \frac{485}{4526} \rightarrow F_v = 300 \text{ kgf}$$

Hipótese 2: Carga Aplicada diretamente sobre o olhal:

$$F_v = 600 \text{ kgf (Para baixo)}$$

Exemplo:



Resistência do Olhal à tração máxima:

$$N_{t,Sd} = 1,5 \cdot 2787 = 4180,5 \text{ kgf}$$

$$N_{t,Rd} = \frac{A_g \cdot F_y}{1,1} = \frac{2 \cdot \pi \cdot D^2 \cdot 0,25 \cdot F_y}{1,1} = \frac{2 \cdot \pi \cdot D^2 \cdot 0,25 \cdot F_y}{1,1}$$

$$4180,5 = \frac{2 \cdot \pi \cdot D^2 \cdot 0,25 \cdot 2500}{1,1}$$

$$D = \sqrt{\frac{4180,5 \cdot 1,1}{2 \cdot \pi \cdot 0,25 \cdot 2500}} = 1,08 \text{ cm OK!}$$

Resistência do Olhal à cortante máxima:

$$N_{t,Sd} = 1,5 \cdot 2787 = 4180,5 \text{ kgf}$$

$$\tau_{Sd} = \frac{V_{Sd}}{A_g} = \frac{4180,5}{\pi \cdot 1,2^2 \cdot 0,25} = \frac{4180,5}{\pi \cdot 1,2^2 \cdot 0,25} = 3696,4 \text{ kN/cm}^2$$

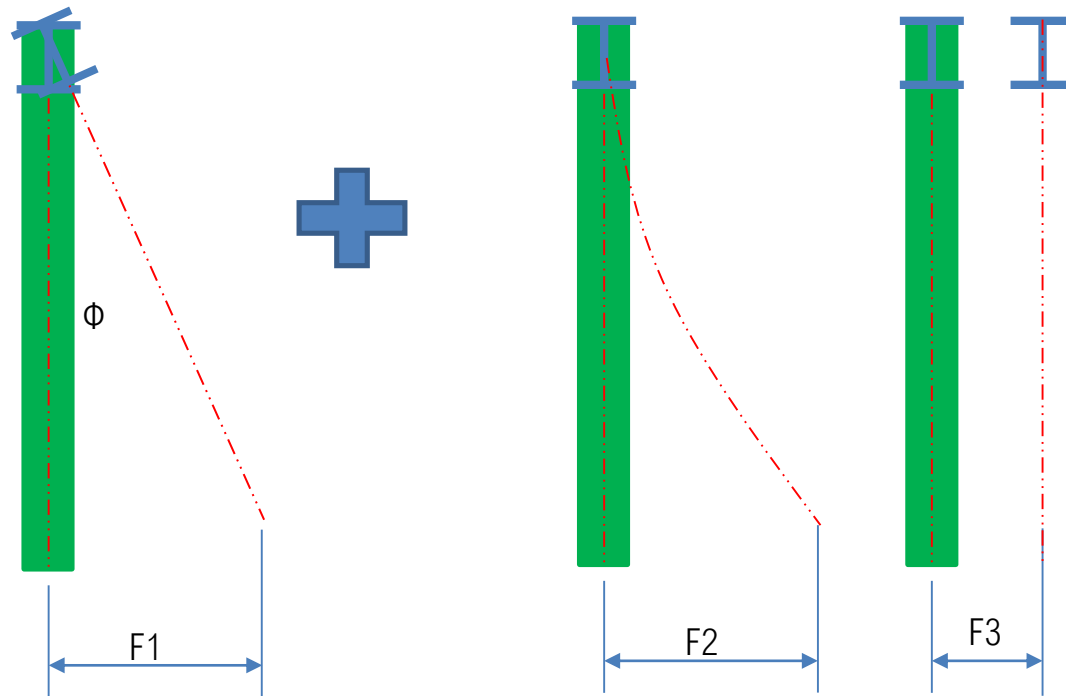
$$\tau_{Rd} = \frac{0,60 \cdot F_y}{1,1} \text{ (5.5.2.3, item B da NBR8800)}$$

$$\tau_{Rd} = \frac{0,60 \cdot 2500}{1,1} = 1363 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} - \text{Olhal Reprovado}$$

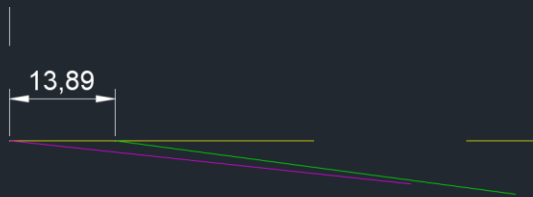
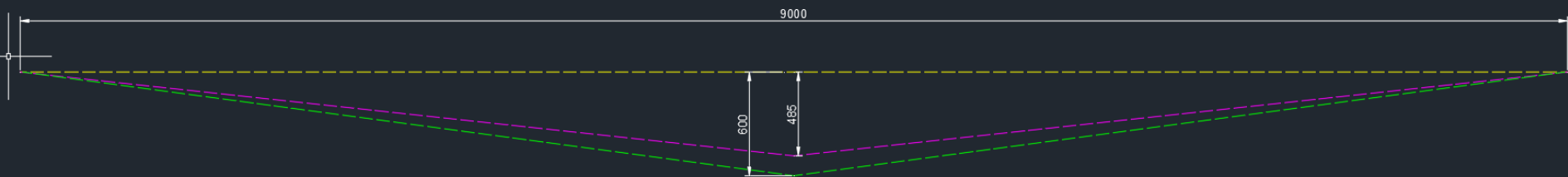
$$\frac{V_{Sd}}{A_g} = \frac{0,60 \cdot 2500}{1,1} \rightarrow \frac{V_{Sd}}{\pi \cdot D^2 \cdot 0,25} = \frac{0,60 \cdot 2500}{1,1} \rightarrow D = \sqrt{\frac{V_{Sd} \cdot 1,1}{0,25 \cdot \pi \cdot 0,60 \cdot 2500}} \rightarrow D = \sqrt{\frac{4180,5 \cdot 1,1}{0,25 \cdot \pi \cdot 0,60 \cdot 2500}} = 3,9 \text{ cm}$$

Adotaremos Barra redonda 1. $\frac{3}{4}$ " ASTM A36

Cálculo da Flecha limite



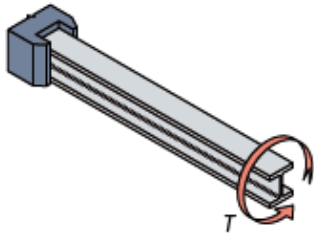
Não Há um Estado Limite de Serviço Estipulado em norma para essa flecha, porém é possível trabalharmos com um hipótese de serviço baseada no cálculo da ZQL



Flecha devido à torção

$$T = F \cdot d \rightarrow T = 28,03 \cdot 379,1 = 10627 \text{ kN.cm}$$

7



As Case 1 but one end (at $x = 0$) is restrained against warping as well as against torsion.

Point torque T applied at free end.

Note that the free end may or may not be supported; torsional behaviour is no different.

$$\phi = [Ta/(GI_T)] \{ \tanh(L/a) [\cosh(x/a) - 1] - \sinh(x/a) + x/a \}$$

$$\phi' = [T/(GI_T)] [\tanh(L/a) \sinh(x/a) - \cosh(x/a) + 1]$$

$$\phi'' = [T/(GI_T a)] [\tanh(L/a) \cosh(x/a) - \sinh(x/a)]$$

$$\phi''' = [T/(GI_T a^2)] [\tanh(L/a) \sinh(x/a) - \cosh(x/a)]$$

where

$$a = \sqrt{EI_w / GI_T}$$

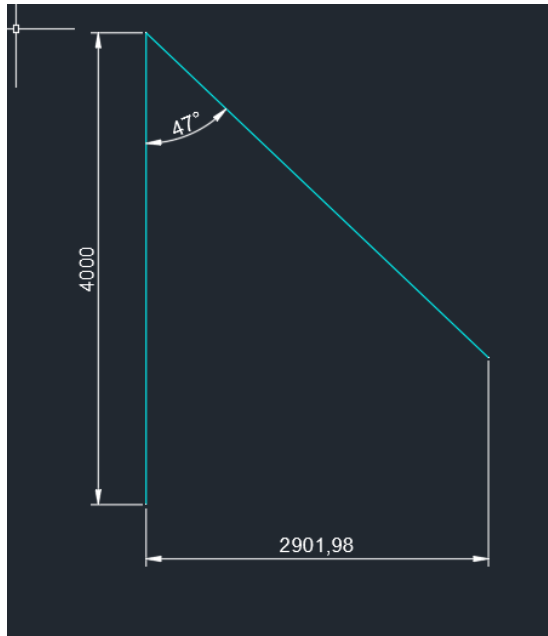
$$a = \sqrt{\frac{E \cdot C_w}{G \cdot I_t}} \rightarrow \sqrt{\frac{20000 \cdot 69502}{7700 \cdot 14,51}} = 111,54$$

$$\phi = \frac{T \cdot a}{G \cdot I_t} \left\{ \tanh(L/a) \cdot [\cosh(x/a) - 1] - \sinh\left(\frac{x}{a}\right) + x/a \right\}$$

$$\phi = \frac{10627 \cdot 111,54}{7700 \cdot 14,51} \left\{ \tanh(600/111,54) \cdot [\cosh(600/111,54) - 1] - \sinh\left(\frac{600}{111,54}\right) + 600/111,54 \right\}$$

$$\phi = \frac{10627 \cdot 111,54}{7700 \cdot 14,51} \{ 0,999 \cdot 107,43 - 108,42 + 5,379 \} = 46,51^\circ$$

Flecha devido à torção



Flecha Elevada, devido à torção, devemos buscar um ângulo máximo de $13,69/2902 \times 47 = 0,22^\circ$

Nessas situações, Perfis I não se comportam bem quando torções elevadas são esforços predominantes, uma solução seria trabalhar com uma linha de vida rígida ligando os dois semi-pórticos.

Supondo que desejemos continuar com o conceito de linha de vida flexível nesse caso, vamos dimensionar o pilar ideal, utilizando seção circular e limitando a flecha devido a essa torção à aproximadamente a 3/4 da flecha total.

Supondo Tubo 24" SCH 40 Temos > $D = 609,6\text{mm}$ $t = 17,4\text{mm}$

$$\phi = \frac{2T \cdot L}{\pi \cdot (R^4 - R_i^4)G} \rightarrow \frac{2 \cdot 10627 \cdot 600}{\pi \cdot (30,48^4 - 28,74^4)7700} \rightarrow 0,0029\text{rad} \cdot \frac{180}{\pi} = 0,17^\circ$$

Com isso a flecha devido à torção fica $0,17 / 47 \times 2902 = 10,5 \text{ mm}$

Tensão Máxima de cisalhamento devido à torção:

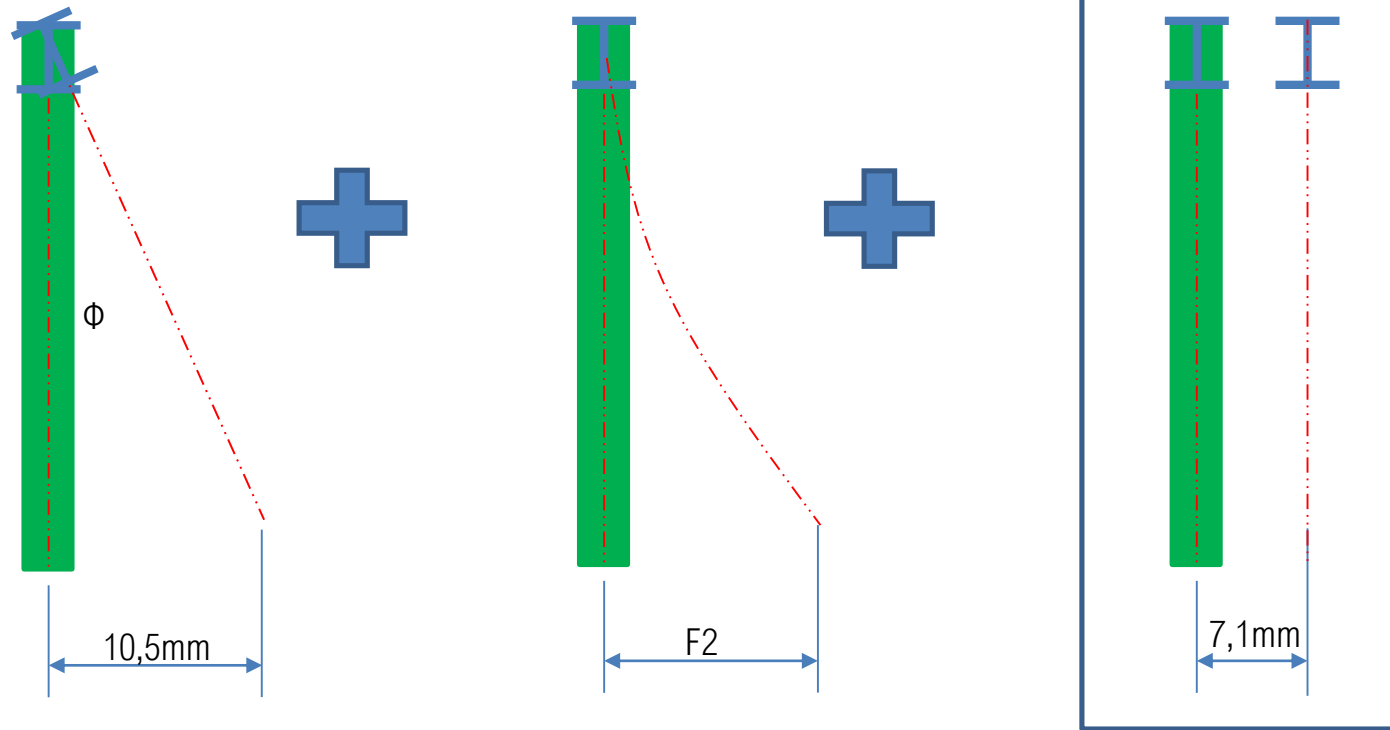
$$\tau = \frac{2 \cdot T \cdot R}{\pi \cdot (R^4 - R_i^4)} = \frac{2 \cdot 10627 \cdot 30,48}{\pi \cdot (30,48^4 - 28,74^4)} = 0,87 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < \frac{0,6 \cdot 25}{1,1} = 13,63 \text{ kN/cm}^2$$

Flecha devido à torção

Tubos Schedule

Polegada	Schedules														
		5		10		20		40		80		160		XXS	
	mm	Par.	Peso	Par.	Peso	Par.	Peso	Par.	Peso	Par.	Peso	Par.	Peso	Par.	Peso
1/8"	10,20	-	-	1,24	0,280	1,50	0,320	1,73	0,370	2,41	0,460	-	-	-	-
1/4"	13,72	-	-	1,65	0,500	2,00	0,580	2,24	0,630	3,02	0,810	-	-	-	-
3/8"	17,15	-	-	1,65	0,640	2,00	0,750	2,31	0,860	3,20	1,120	-	-	-	-
1/2"	21,34	1,65	0,813	2,11	1,020	2,50	1,160	2,77	1,290	3,73	1,640	4,75	1,940	7,47	2,54
3/4"	26,67	1,65	1,030	2,11	1,300	2,50	1,490	2,87	1,710	3,91	2,220	5,54	2,880	7,82	3,63
1"	33,40	1,65	1,310	2,77	2,120	3,00	2,250	3,38	2,540	4,55	3,290	6,35	4,240	9,09	5,45
1.1/4"	42,16	1,65	1,670	2,77	2,730	3,00	2,890	3,56	3,440	4,85	4,540	6,35	5,600	9,70	7,75
1.1/2"	48,26	1,65	1,930	2,77	3,160	3,00	3,350	3,65	4,110	5,08	5,480	7,14	7,240	10,16	9,54
2"	60,33	1,65	2,420	2,77	3,980	3,50	4,900	3,91	5,530	5,54	7,580	8,71	11,080	11,07	13,41
2.1/2"	73,03	2,11	3,750	3,05	5,330	3,50	6,000	5,16	8,750	7,01	11,570	9,53	14,920	14,02	20,37
3"	88,90	2,11	4,510	3,05	6,450	4,00	8,370	5,49	11,450	7,62	15,480	11,13	21,300	15,24	27,65
3.1/2"	101,60	2,11	5,170	3,05	7,400	4,00	8,620	5,74	13,760	8,08	18,900	12,70	27,800	-	-
4"	114,30	2,11	5,830	3,05	8,350	4,00	10,900	6,02	16,300	8,56	22,620	13,49	33,500	17,12	40,98
5"	141,30	2,77	9,450	3,40	11,600	5,00	16,800	6,55	22,090	9,53	31,380	15,88	49,100	19,05	57,36
6"	168,28	2,77	11,300	3,40	13,800	5,00	20,310	7,11	28,650	10,97	43,160	18,24	67,400	21,92	79,10
8"	219,08	2,77	14,800	3,76	19,900	6,50	34,100	8,18	42,970	12,70	64,570	23,02	111,300	-	-
10"	273,05	3,40	22,600	4,19	27,800	6,50	42,700	9,27	60,300	12,70	81,500	28,57	171,200	25,40	154,95
12"	323,85	3,96	31,400	4,57	36,000	6,50	50,900	9,27	71,900	12,70	97,400	33,34	238,800	25,40	186,73
14"	355,60	3,96	34,400	4,78	41,300	7,92	67,870	11,13	94,400	19,05	157,920	35,71	281,400	-	-
16"	406,40	4,20	51,500	4,78	47,300	7,92	77,780	12,40	123,160	21,44	203,280	40,49	364,930	-	-
18"	457,20	4,20	46,800	4,78	53,200	7,92	87,700	14,27	155,750	23,83	254,330	45,25	459,050	-	-
20"	508,00	4,78	59,300	5,54	68,600	9,53	116,970	15,09	183,140	26,10	310,910	50,01	564,540	-	-
24"	609,60	5,54	82,500	6,35	94,500	9,52	140,800	17,48	254,880	30,96	441,310	-	-	-	-

Cálculo da Flecha limite



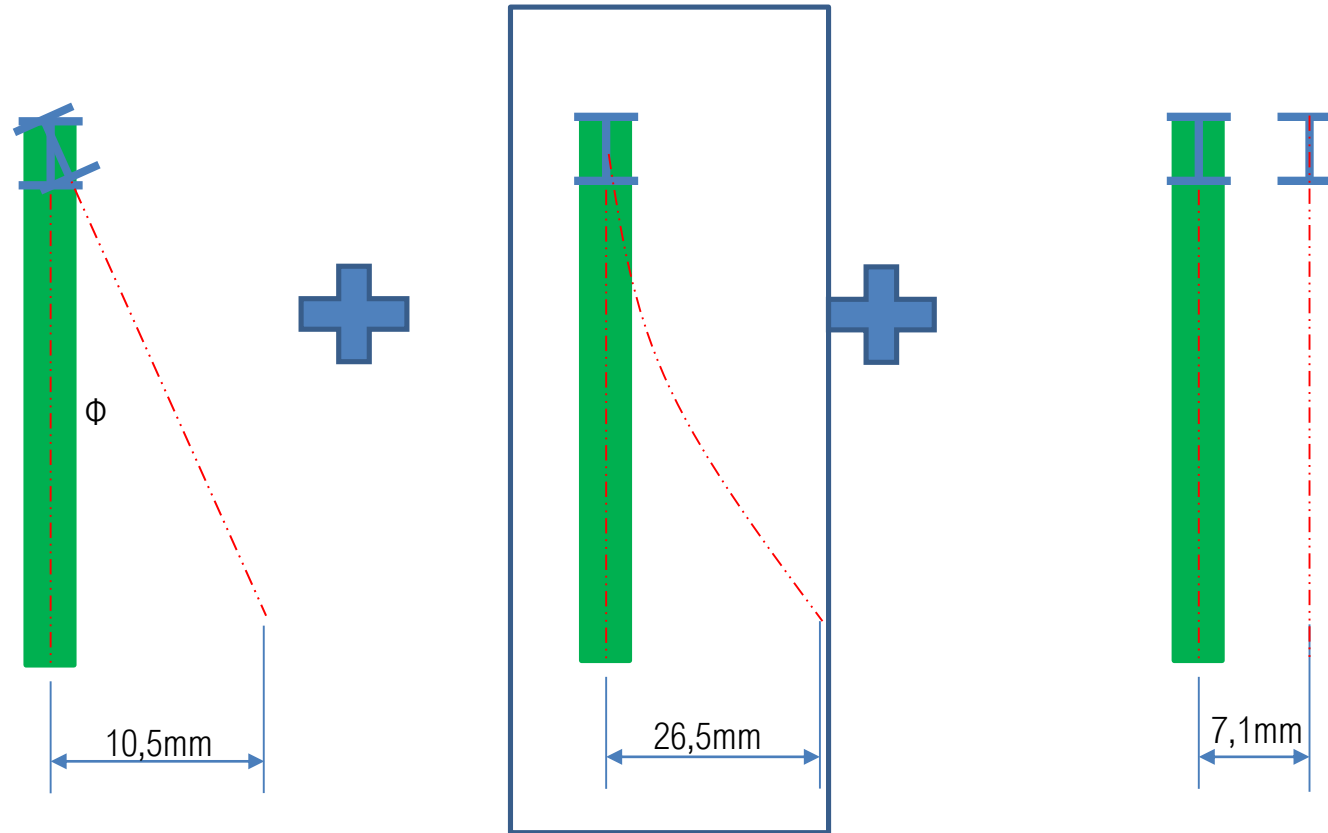
Flecha no pilar devido à carga horizontal:

$$I = \frac{\pi \cdot (R^4 - R_i^4)}{4} = \frac{\pi \cdot (30,48^4 - 28,74^4)}{4} = 142.033 \text{ cm}^4$$

$$f_3 = \frac{P \cdot L^3}{3 \cdot E \cdot I} \rightarrow \frac{28,03.600^3}{3.20000.142033} = 0,71 \text{ cm} = 7,1 \text{ mm}$$

A esta altura a ZQL já está comprometida, vamos seguir com o cálculo e limitar o comprimento de trabalho do Cabo do trava quedas retrátil

Cálculo da Flecha limite



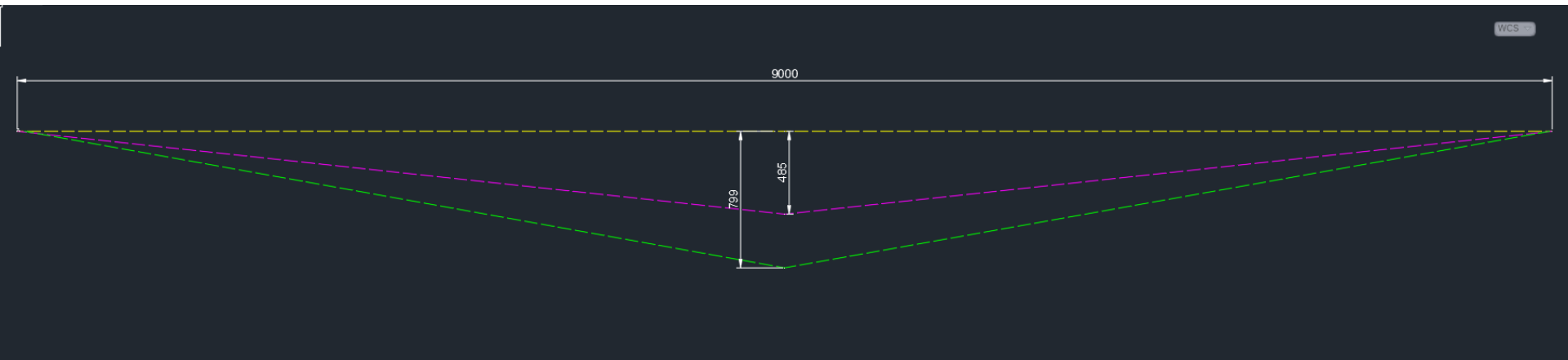
Flecha na viga devido à carga Horizontal arbitrariamente, e adotaremos seção circular 12" SCH 40 D=323,85, t= 9,27

$$I = \frac{\pi \cdot (R^4 - R_i^4)}{4} = \frac{\pi \cdot (16,19^4 - 15,26^4)}{4} = 11370 \text{ cm}^4$$

$$f_2 = \frac{P \cdot L^3}{3 \cdot E \cdot I} \rightarrow F_2 = \frac{28,03 \cdot 400^3}{3 \cdot 20000 \cdot 11370} = 26,5 \text{ mm}$$

Com essas informações, temos a flecha final = 10,5 + 26,5 + 7,1 = 44,1mm

Cálculo da Flecha limite



ZONA LIVRE DE QUEDA (ZQL) – Trava quedas Retrátíl

F1 = Flecha inicial Parabólica (3% do vão)

F2 = Flecha Dinâmica de Cálculo

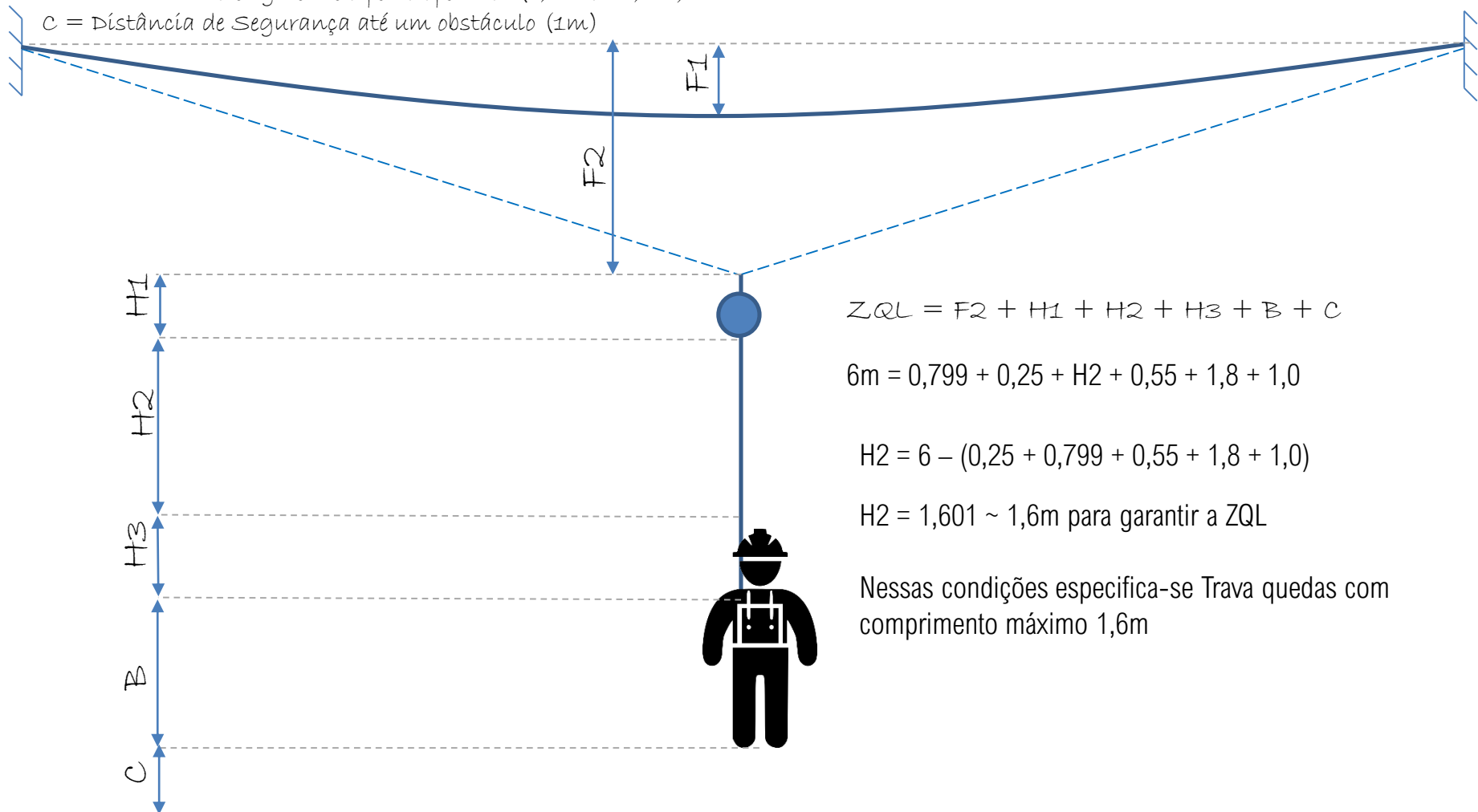
H1 = Distância entre o anel preso à linha de vida até o mosquetão do trava quedas retrátíl, recolhido

H2 = Comprimento de trabalho do cabo retrátíl

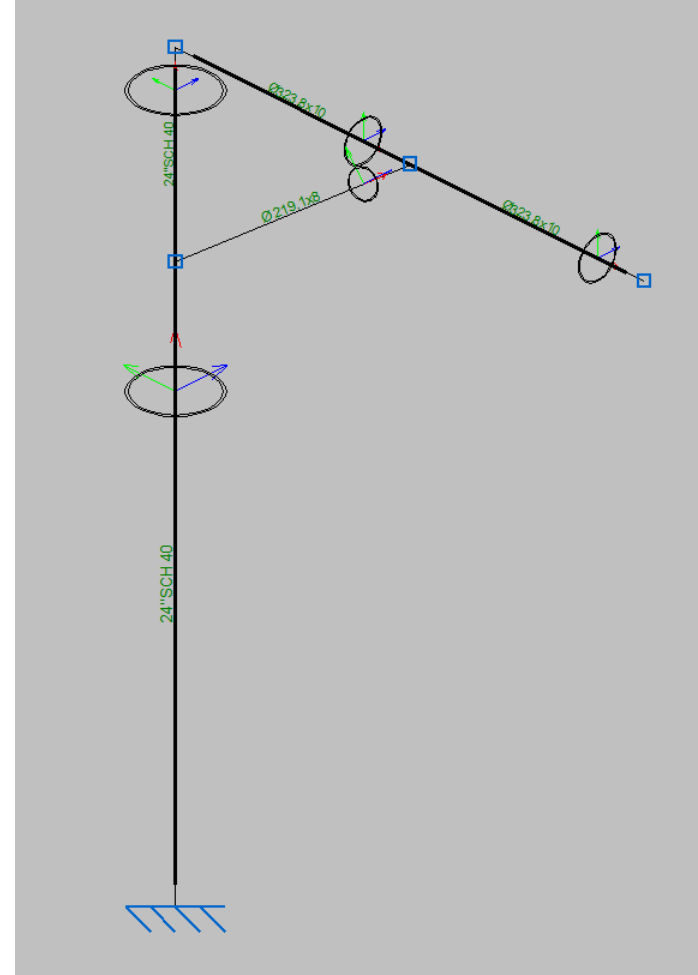
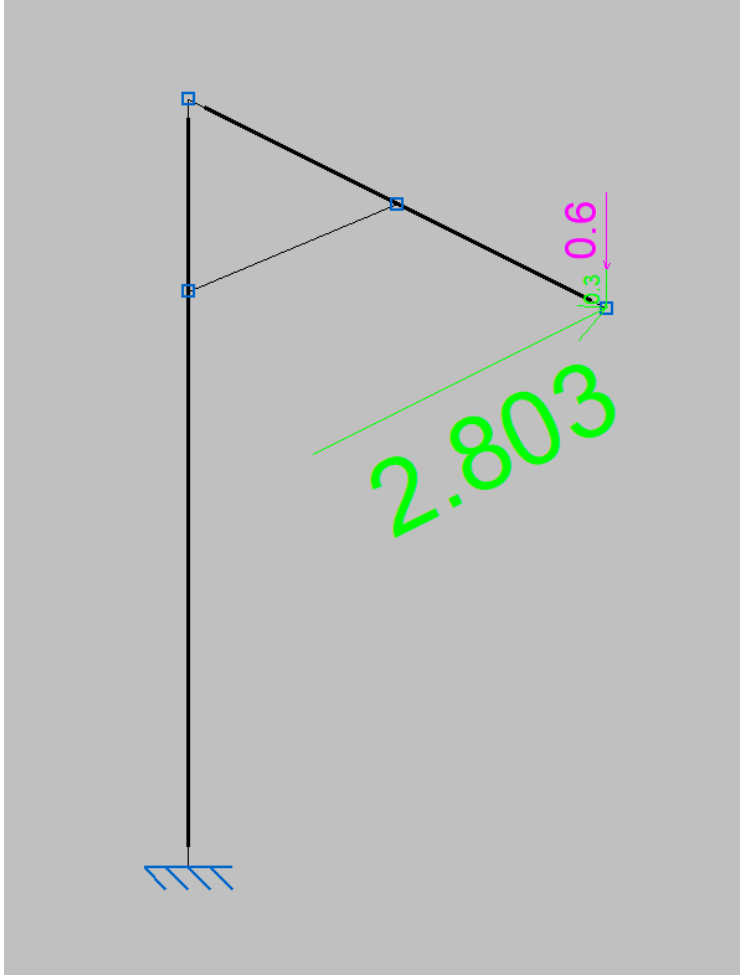
H3 = Distância de escorregamento do trava quedas

B = Distância do engate até o pé do operador (1,5m ou 1,8m)

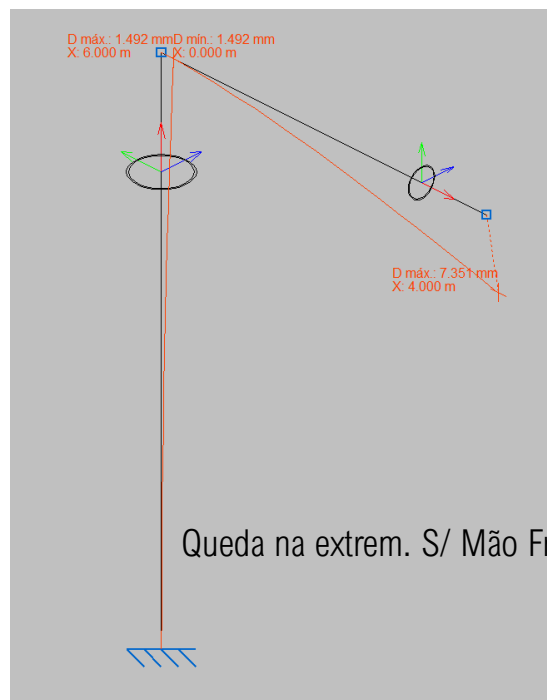
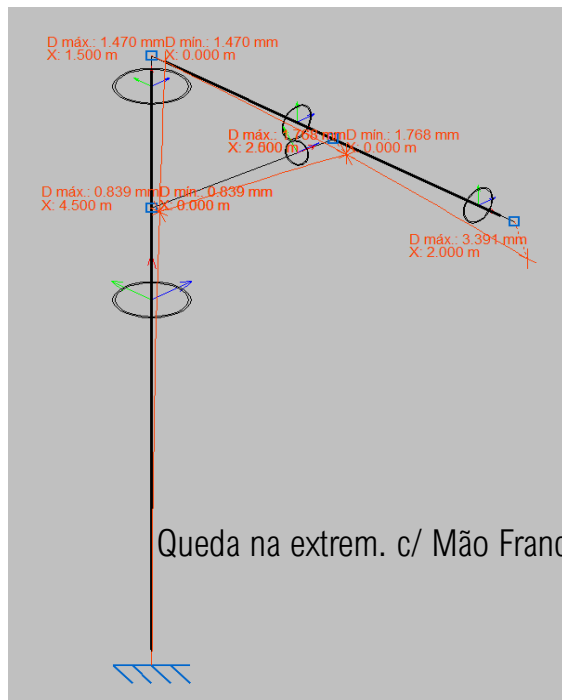
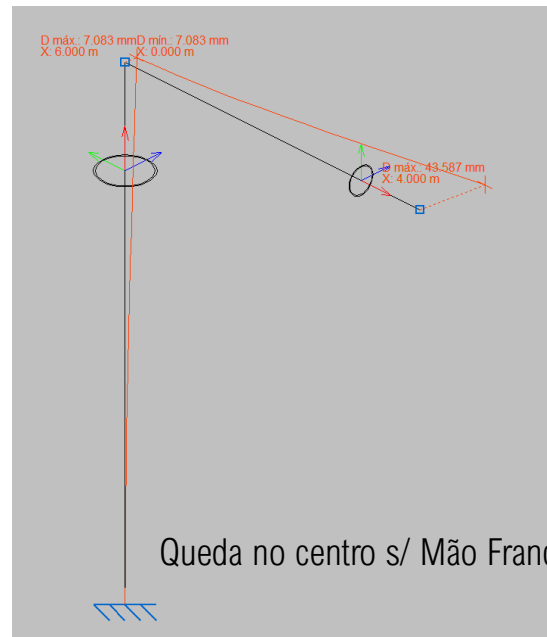
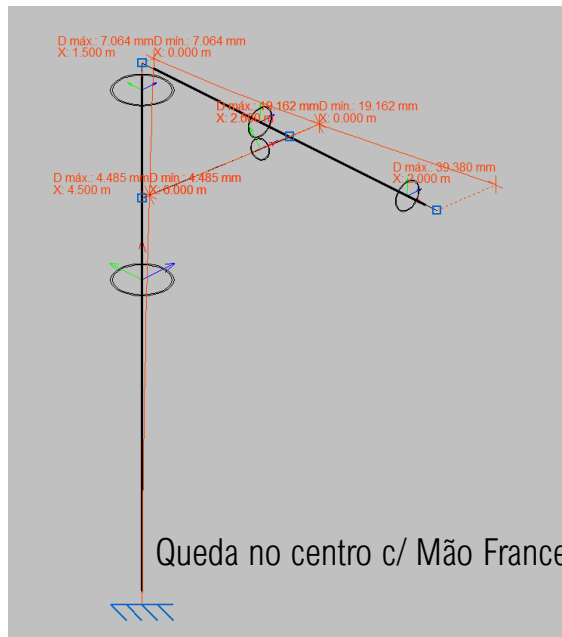
C = Distância de Segurança até um obstáculo (1m)



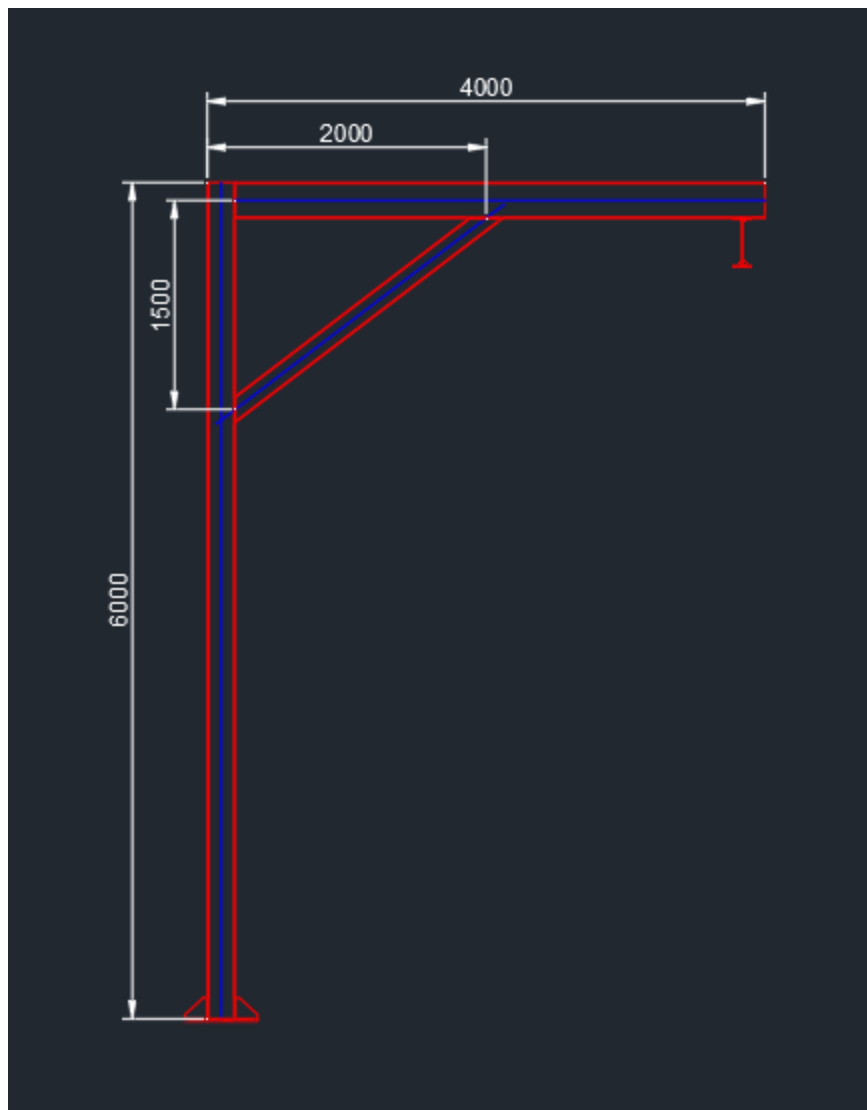
Cálculo com Metalicas 3D



Cálculo com Metalicas 3D



Exemplo 3



Dimensionar a linha de vida para manuseio de cargas abaixo. Considerar utilização por apenas 1 operador, Com utilização de trava quedas retrátil, com altura de 250mm, e estiramento após queda de 55cm. O comprimento máximo do cabo de vida do dispositivo retrátil é 1,8m. A distância entre dois pórticos é de 9m

ZONA LIVRE DE QUEDA (ZQL) – Trava quedas Retrátíl

F1 = Flecha inicial Parabólica (3% do vão)

F2 = Flecha Dinâmica de Cálculo

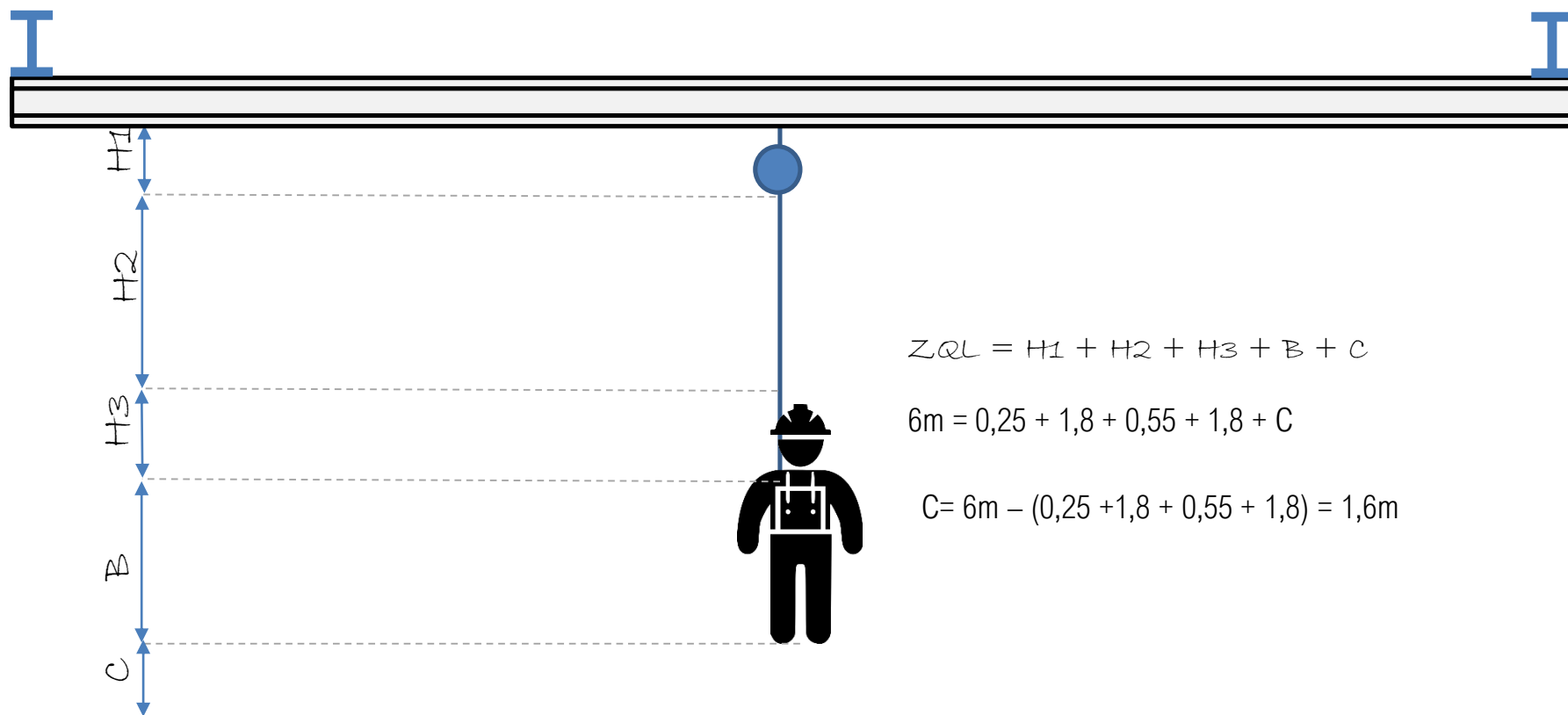
H1 = Distância entre o anel preso à linha de vida até o mosquetão do trava quedas retrátíl, recolhido

H2 = Comprimento de trabalho do cabo retrátíl

H3 = Distância de escorregamento do trava quedas

B = Distância do engate até o pé do operador (1,5m ou 1,8m)

C = Distância de Segurança até um obstáculo (1m)



$$ZQL = H1 + H2 + H3 + B + C$$

$$6m = 0,25 + 1,8 + 0,55 + 1,8 + C$$

$$C = 6m - (0,25 + 1,8 + 0,55 + 1,8) = 1,6m$$

Exemplo 3

Cálculo da Viga 1



$$M_{sd} = \frac{P.L}{4} = \frac{1,5 . 6 . 900}{4} = 2025 \text{ kN.cm}$$

$$M_{sd} = \frac{q.L^2}{8} = \frac{1,25 . 0,00225 . 900^2}{8} = 287,76 \text{ kN.cm}$$

$$C_b = 1,32$$

Resultado: 94,8%

W 150 x 22,5 (H)					
d(mm)	152	Wx(cm²)	161,7	rx(cm)	6,51
bf(mm)	152	Wy(cm²)	50,9	ry(cm)	3,65
d'(mm)	119	Zx(cm³)	179,6	Área(cm²)	29
tw(mm)	5,8	Zy(cm³)	77,9	ho/tw	20,5
tf(mm)	6,6	Ix(cm⁴)	1229	b/tf	11,5
h(mm)	138,8	Iy(cm⁴)	387	Peso (kg/m)	22,5

1. Verificação da Esbeltez do perfil

Limite	Real	Status	%	
N.A	138	OK	0,0%	λx
N.A	247	OK	0,0%	λy

2. Resistência à tração

Nrd(kN)	Nsd(kN)	Status	%	Coef. S
910	0	OK	0,0%	1,1

Listar Perfis que atendem

Perfil	Peso	%
W 150 x 22,5 (H)	22,50	83,18%
W 150 x 24,0	24,00	83,21%
W 200 x 26,6	26,60	71,03%
W 310 x 28,3	28,30	99,36%
W 250 x 28,4	28,40	85,07%
W 150 x 29,8 (H)	29,80	46,71%
W 200 x 31,3	31,30	50,38%
W 250 x 32,7	32,70	48,94%
W 310 x 32,7	32,70	72,56%
W 360 x 32,9	32,90	64,83%
W 200 x 35,9 (H)	35,90	33,64%
W 150 x 37,1 (H)	37,10	30,59%
W 250 x 38,5	38,50	34,38%
W 310 x 38,7	38,70	32,88%
W 410 x 38,8	38,80	54,20%

Esforços e Distâncias

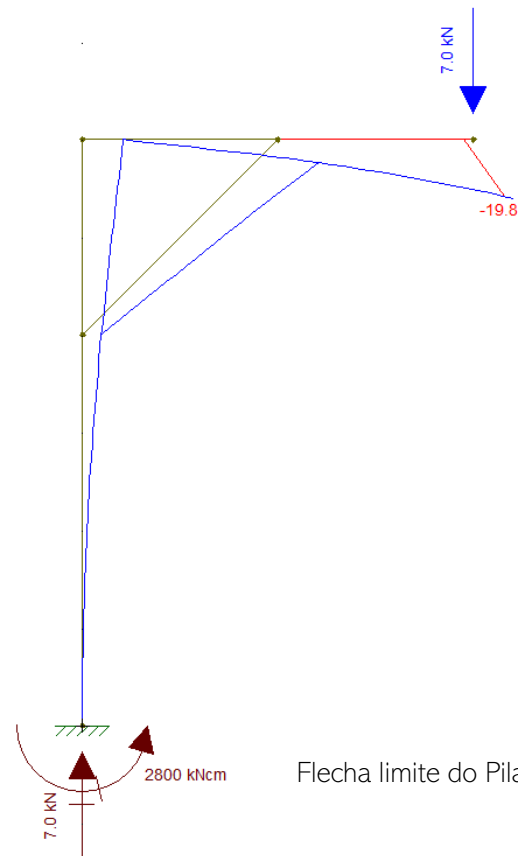
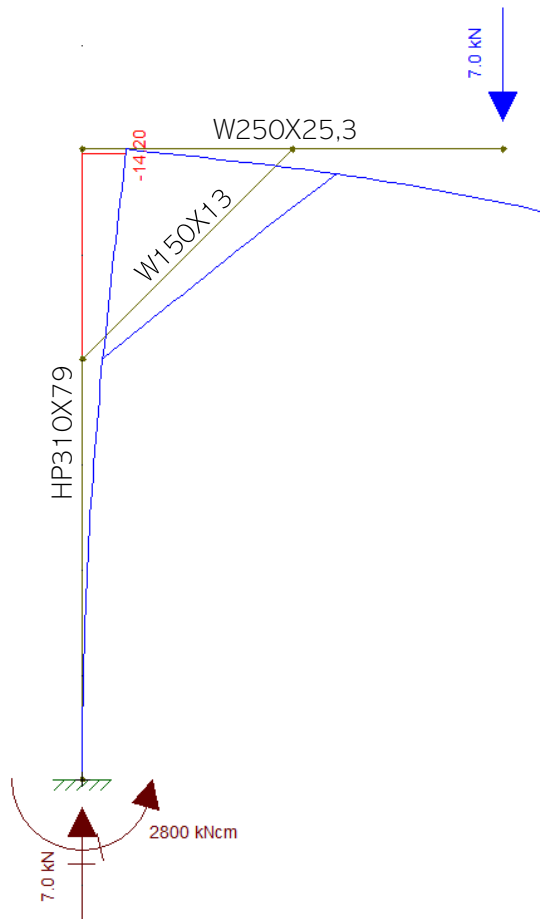
Lx (mm)	9000		
Ly (mm)	9000		
N(kN)	0		
Vx(kN)	0		
Vy(kN)	3		
Mx(kN.cm)	2309		
My(kN.cm)	0		
kx	1		
ky	1	kz	1
d (mm)	0	Cb	1,32
Lb (mm)	9000		
Material			
ASTM A572GR50			
Fy(kN/cm²)	34,5		

Exemplo 3

Flecha devido ao peso próprio

$$y = \frac{5 \cdot q \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I_x} = \frac{5 \cdot 0,00225 \cdot 900^4}{384 \cdot 20000 \cdot 1229} = 7,8 \text{ mm}$$

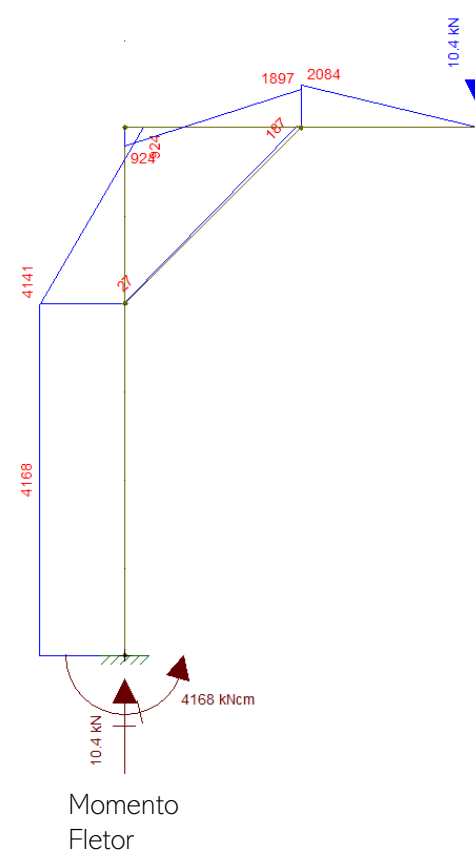
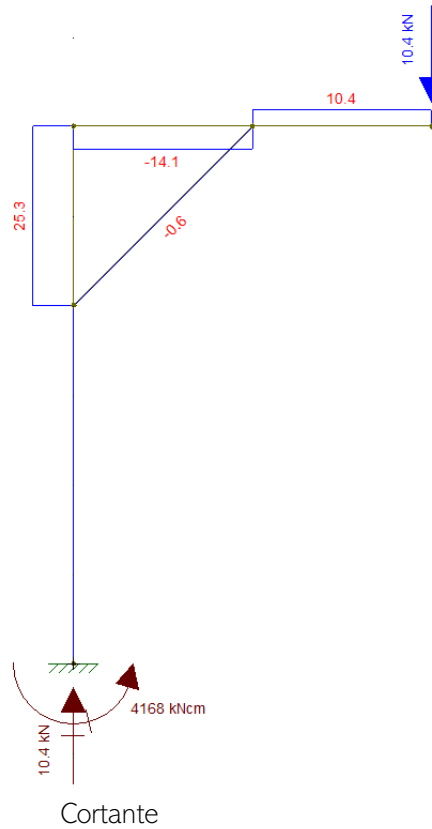
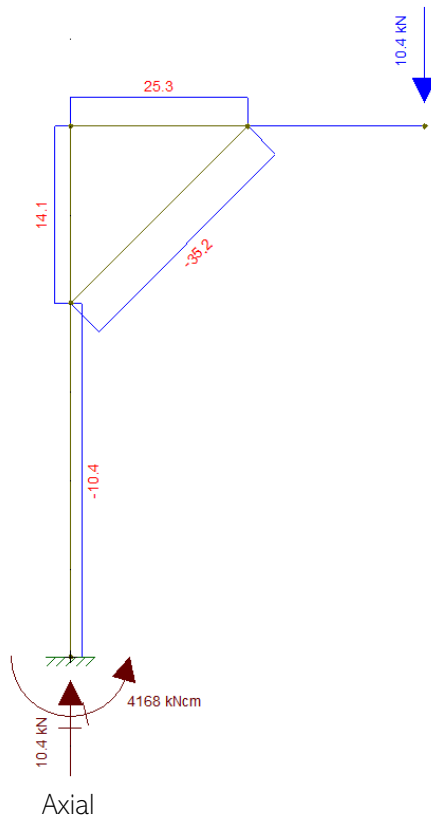
Cálculo do Pórtico na situação mais crítica



Flecha limite do Pilar: $H/300 = 6000/300 = 20 \text{ mm}$

Exemplo 3

ELU



Exemplo 3

Verificação do Pilar

Dimensionamento de Perfis I e H Laminados Padrão Açominas

Esforços e Distâncias	
Lx (mm)	4500
Ly (mm)	6000
N(kN)	-10,4
Vx(kN)	0
Vy(kN)	25,3
Mx(kN.cm)	4168
My(kN.cm)	0
kx	1
ky	1
d (mm)	0
Lb (mm)	4500
Material	
ASTM A572GR50	
Fy (kN/cm²)	34,5

kz	1
Cb	1

Resultado: 41,4%

HP 310 x 79,0 (H)					
d(mm)	299	Wx(cm³)	1091,3	rx(cm)	12,77
bf(mm)	306	Wy(cm³)	343,7	ry(cm)	7,25
d'(mm)	245	Zx(cm³)	1210,1	Área(cm²)	100
tw(mm)	11	Zy(cm³)	525,4	ho/tw	22,3
tf(mm)	11	Ix(cm⁴)	16316	b/tf	13,9
h(mm)	277	Iy(cm⁴)	5258	Peso (kg/m)	79,0

Limite: 36,3 Compacta
Limite: 13,7 25,1 semicomcompacta

1. Verificação da Esbeltez do perfil

Limite	Real	Status	%	
200	35	OK	17,6%	λ_x
200	83	OK	41,4%	λ_y

2. Resistência à tração

Nrd(kN)	Nsd(kN)	Status	%	Coef. S
N.A	0	N.A	0,0%	1,1

Exemplo 3

Verificação da Viga

3

Resultado: 89,6%

W 150 x 18,0

d(mm)	153	Wx(cm²)	122,8	rx(cm)	6,34
bf(mm)	102	Wy(cm²)	24,7	ry(cm)	2,32
d'(mm)	119	Zx(cm³)	139,4	Área(cm²)	23,4
tw(mm)	5,8	Zy(cm³)	38,5	ho/tw	20,5
tf(mm)	7,1	Ix(cm⁴)	939	b/tf	7,2
h(mm)	138,8	Iy(cm⁴)	126	Peso (kg/m)	18,0

Limite: 36,3 Compacta

Limite: 13,7 25,1 Compacta

1. Verificação da Esbeltez do perfil

Limite	Real	Status	%	
300	32	OK	10,5%	λx
300	172	OK	57,5%	λy

57,5%

2. Resistência à tração

Nrd(kN)	Nsd(kN)	Status	%	Coef. S
734	25,3	OK	3,4%	1,1

Esforços e Distâncias

Lx (mm)	2000
Ly (mm)	4000
N(kN)	25,3
Vx(kN)	0
Vy(kN)	14,1
Mx(kN.cm)	2084
My(kN.cm)	0
kx	1
ky	1
d (mm)	0
Lb (mm)	4000
Material	
ASTM A572GR50	
Fy (kN/cm²)	34,5

kz	1
Cb	1

Exemplo 3

Verificação da Mão Francesa

Esforços e Distâncias	
Lx (mm)	2828
Ly (mm)	2828
N(kN)	-35,2
Vx(kN)	0
Vy(kN)	0,6
Mx(kN.cm)	187
My(kN.cm)	0
kx	1
ky	1
d (mm)	0
Lb (mm)	2828
Material	
ASTM A572GR50	
Fy (kN/cm²)	34,5

kz	1
Cb	1

Resultado:

63,7%

W 150 x 13,0					
d(mm)	148	Wx(cm²)	85,8	rx(cm)	6,18
bf(mm)	100	Wy(cm²)	16,4	ry(cm)	2,22
d'(mm)	118	Zx(cm³)	96,4	Área(cm²)	16,6
tw(mm)	4,3	Zy(cm³)	25,5	ho/tw	27,4
tf(mm)	4,9	Ix(cm4)	635	b/tf	10,2
h(mm)	138,2	Iy(cm4)	82	Peso (kg/m)	13,0

Limite: 36,3 Compacta

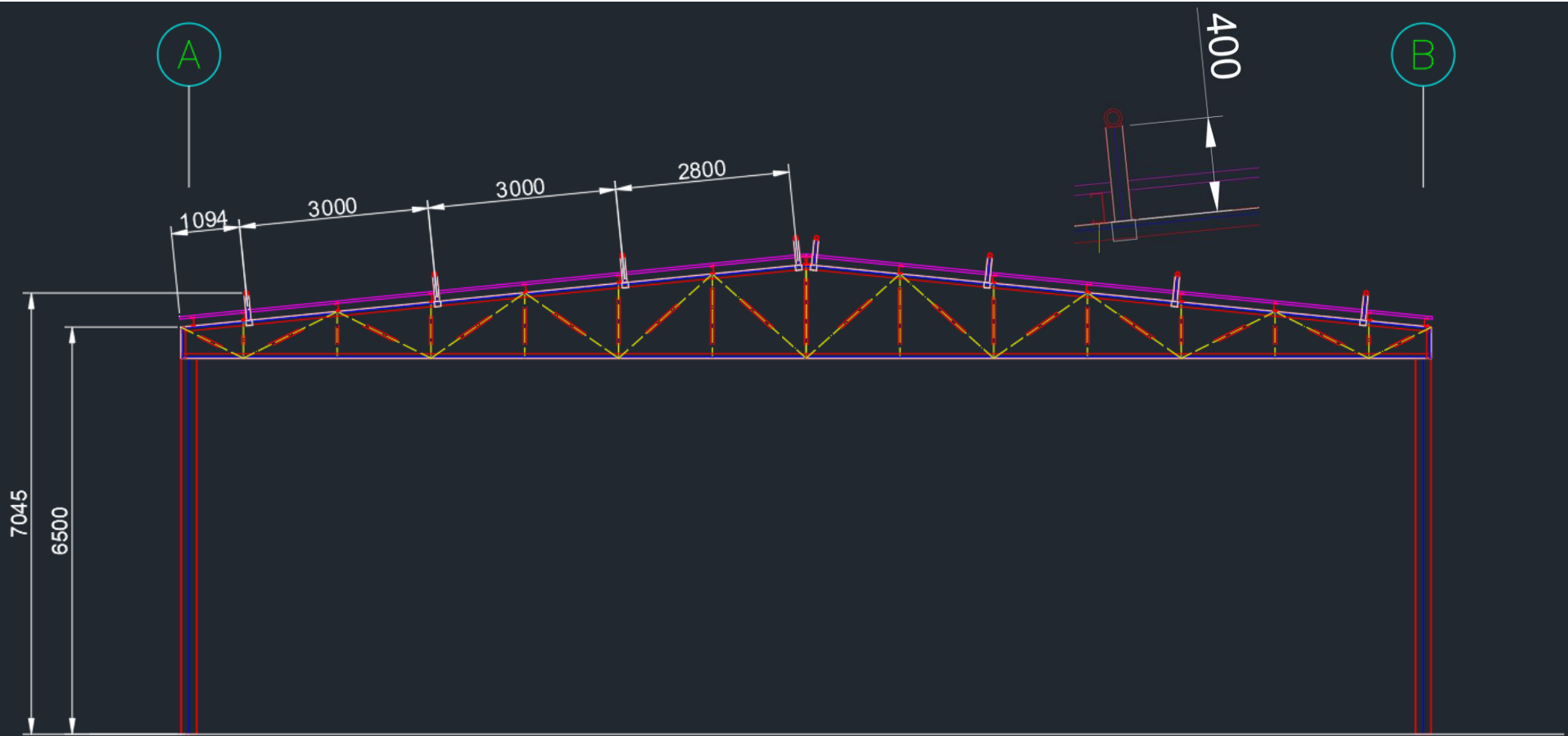
Limite: 13,7 25,1 Compacta

Limite: 36,3 Compacta
Limite: 13,7 25,1 Compacta

1. Verificação da Esbeltez do perfil				
Limite	Real	Status	%	
200	46	OK	22,9%	lx
200	127	OK	63,7%	ly

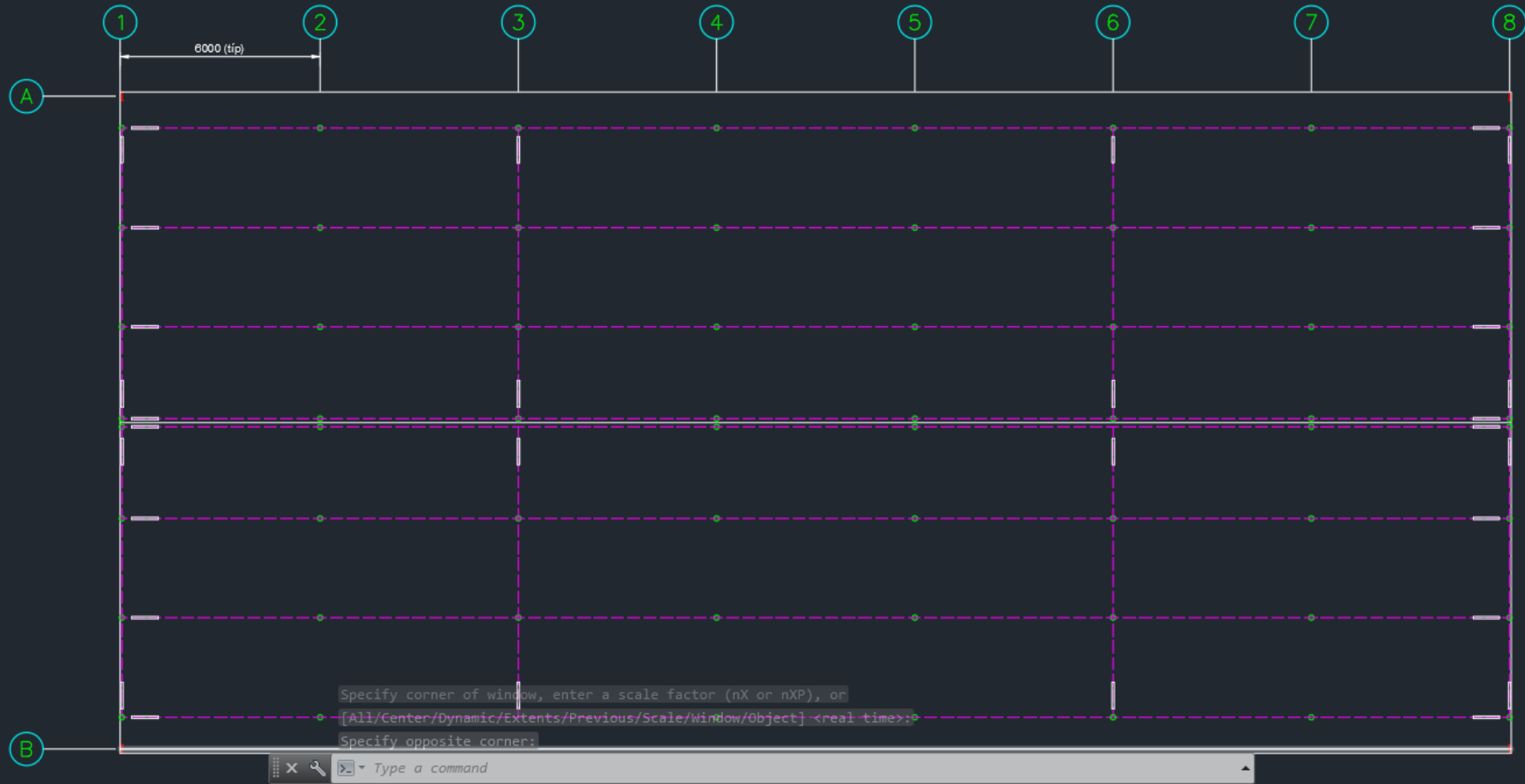
2. Resistência à tração				
Nrd(kN)	Nsd(kN)	Status	%	Coef. S
N.A	0	N.A	0,0%	1,1

Exemplo 4



Dimensionar os elementos da linha de vida flexível horizontal para utilização de 3 pessoas por vão com talabarte de segurança, com comprimento 1,50m, provido de absorvedor de energia com abertura de 50cm.

Exemplo 4



Exemplo 4

Efeito da queda de Vários trabalhadores (Recomendações Norma Canadense Z259.16)

A.8 Masse cumulée équivalente (voir l'article 7.3.7.2)

Pour la chute de plusieurs travailleurs, l'une des approches communément utilisées consiste à additionner les masses des travailleurs de façon à obtenir une seule masse pour les analyses selon des techniques qui ne s'appliquent qu'à la chute d'un seul travailleur.

De recherches antérieures sur les chutes de plusieurs travailleurs sans AÉI avaient montré qu'il était pratiquement impossible d'obtenir des forces d'impact simultanées maximales pour les cas de chute de plusieurs travailleurs, mais, selon des recherches plus récentes sur les AÉI, des impacts simultanés sont possibles à cause de la plus grande durée de l'arrêt de chute.

Au cours de l'élaboration du [tableau 7.1](#), le Groupe de travail a décidé de supposer de façon prudente que tous les impacts surviennent simultanément. En effet, il était d'avis que cette exigence ne serait pas indûment onéreuse pour la conception de la plupart des systèmes d'ancrage très rigides.

Au cours de l'élaboration du [tableau 7.2](#), le Groupe de travail a utilisé un logiciel pour analyser une grande variété de systèmes de CAH. À cette fin, on a comparé l'analyse de la masse cumulée à une chute en cascade pour laquelle la simulation informatique tenait compte des masses de tous les travailleurs déjà tombés d'une CAH à mesure que les effets de la chute du suivant se faisaient sentir sur le système. Dans la plupart des cas analysés, le facteur cumulatif choisi donnait des résultats raisonnables ou prudents.

Il faut noter que les valeurs des facteurs cumulatifs recommandés fournies par d'autres sources sont inférieures à celles prescrites par cette norme. Toutefois, beaucoup de formules cumulatives ont été élaborées à l'aide de masses en chutes de 100 kg, avant que l'utilisation des AÉI ne devienne commune (elle réduit le rapport entre la force maximale d'impact et le poids mort du travailleur), alors que cette norme exige des masses de 140 kg, comme l'explique l'article 7.3.2.

Tableau 7.1

Facteur cumulatif M pour les systèmes d'ancrage rigides

(voir les [articles 7.3.7.2](#) et [A.8](#))

Nombre de travailleurs qui tombent	Systèmes utilisant des AÉI ou des CAA à embrayage
2	2,00
3	3,00
4	4,00

Tableau 7.2

Facteur cumulatif M pour les systèmes d'ancrage flexibles

(voir les [articles 7.3.7.2](#), [A.8](#) et [A.12](#))

Nombre de travailleurs qui tombent	Systèmes utilisant des AÉI ou des CAA à embrayage
2	1,75
3	2,25
4	2,75

Portanto para sistemas de ancoragem flexíveis, a massa equivalente de cálculo para 3 trabalhadores pode ser adotada como: $600\text{kgf} + 1,75 \times 100\text{kgf} = 775\text{kgf}$

De forma conservadora adotaremos o multiplicador para ancoragens rígidas = $600\text{kgf} + 2 \times 100\text{kgf} = 800\text{kgf}$

Exemplo 4

Efeito de vários módulos sem contenção horizontal

Calcula-se a tração para o vão completo, e aplica-se um fator de redução para obter a tração máxima nos módulos

$$T_{eq} = T \cdot C_r$$

$$C_r = \frac{0,47 \cdot n + 1,53}{n + 1} \quad n = \text{Número de módulos iguais}$$

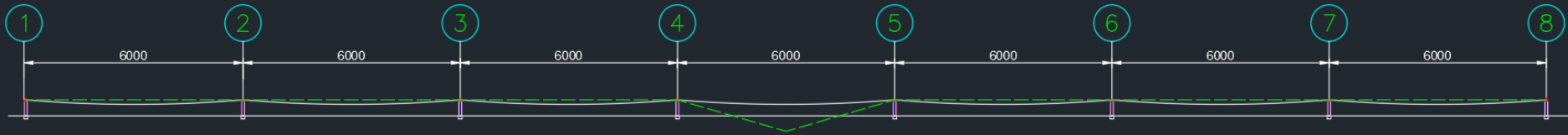
Extraído do manual *Design of Horizontal Lifeline Systems, Update of technical guide*
(Galy, Bertrand ; Lan, André)

Calcula-se a flecha final geometricamente, somando o comprimento inicial (considerando as curvas catenárias previstas) com o alongamento através da equação da elasticidade

$$\Delta L = \frac{T \cdot L}{E \cdot A}$$

$$L = D \cdot \left[1 + \frac{2}{3} \left(\frac{2F_1}{D} \right)^2 - \frac{2}{5} \left(\frac{2F_1}{D} \right)^4 \right]$$

Exemplo 4



Comprimento inicial do cabo: (Flecha inicial 3% de 6000 = 180mm)

$$L = 7 \cdot D \cdot \left[1 + \frac{2}{3} \left(\frac{2F_1}{D} \right)^2 - \frac{2}{5} \left(\frac{2F_1}{D} \right)^4 \right]$$

$$L = 7 \cdot 6000 \cdot \left[1 + \frac{2}{3} \left(\frac{2 \cdot 180}{6000} \right)^2 - \frac{2}{5} \left(\frac{2 \cdot 180}{6000} \right)^4 \right] = 42100 \text{ mm}$$

Exemplo 4

Cálculo da tração simulada para o vão de 42m

Dados do Cabo de aço		Unidade	Formulário
Cabo de aço	Ø5/8 - 6X19 SEALE EIPS - AF		
Diâmetro (d)	16	mm	
Fator (F)	0,416		
Módulo de elasticidade (E)	9500	kgf/mm²	
Força mínima de Ruptura (Fu)	18700	kgf	
Área Metálica (Am)	106,496	mm²	Am = F . d²

Dados da Linha de Vida Flexível			
Vão Livre (D)	42000	mm	
Taxa da Flecha Inicial (%f1)	3	%	

Cálculo			
Carga P	800	kgf	
Tração Arbitrária no Cabo (T)	3661,168292	kgf	
Flecha Inicial (f1)	1260	mm	f1= D . %f1
Comprimento do cabo (L)	42100,6	mm	L = D.(1+2/3(2.f1/D)² -2/5(2.f1/D)^4)
Alongamento (ΔL)	152,35	mm	ΔL = (L . T)/(E . Am)
Flecha Dinâmica (f2)	2308,17	mm	f2 = RAIZ((((L+DL)/2)² - (D/2)²)
Tração Teórica do Cabo (T)	3661,17	kgf	
Diferença (T Arbitrário x T Teórico)	0,00	kgf	
Status	CONVERGE		
FATOR DE SEGURANÇA	5,11	5	se > 5 = Aprovado
STATUS FINAL	APROVADO		

VERIFICAR COM DADOS ATUAIS

CALCULAR LISTA RESUMO

Lista Resumo

Cabo de Aço	f2(mm)	T (kgf)	STATUS	F.S
Ø1/8 - 6X19 SEALE IPS - AF	5917	1475	REPROVADO	0,44
Ø5/32 - 6X19 SEALE IPS - AF	5112	1691	REPROVADO	0,60
Ø3/16 - 6X19 SEALE IPS - AF	4549	1889	REPROVADO	0,77
Ø1/4 - 6X19 SEALE IPS - AF	3805	2243	REPROVADO	1,19
Ø1/8 - 6X19 SEALE EIPS - AF	5917	1475	REPROVADO	0,49
Ø5/32 - 6X19 SEALE EIPS - AF	5112	1691	REPROVADO	0,67
Ø3/16 - 6X19 SEALE EIPS - AF	4549	1889	REPROVADO	0,87
Ø1/4 - 6X19 SEALE EIPS - AF	3805	2243	REPROVADO	1,38
Ø5/16 - 6X19 SEALE EIPS - AF	3332	2552	REPROVADO	1,88
Ø3/8 - 6X19 SEALE EIPS - AF	3021	2810	REPROVADO	2,44
Ø7/16 - 6X19 SEALE EIPS - AF	2722	3112	REPROVADO	2,99
Ø1/2 - 6X19 SEALE EIPS - AF	2554	3313	REPROVADO	3,65
Ø9/16 - 6X19 SEALE EIPS - AF	2419	3496	REPROVADO	4,35
Ø5/8 - 6X19 SEALE EIPS - AF	2308	3661	APROVADO	5,11
Ø3/4 - 6X19 SEALE EIPS - AF	2138	3949	APROVADO	6,79
Ø7/8 - 6X19 SEALE EIPS - AF	2014	4189	APROVADO	8,62
Ø1" - 6X19 SEALE EIPS - AF	1895	4450	APROVADO	10,56
Ø1.1/8 - 6X19 SEALE EIPS - AF	1829	4610	APROVADO	12,80
Ø1.1/4 - 6X19 SEALE EIPS - AF	1776	4746	APROVADO	15,30
Ø1.1/2 - 6X19 SEALE EIPS - AF	1699	4961	APROVADO	20,82
Ø1.5/8 - 6X19 SEALE EIPS - AF	1661	5072	APROVADO	24,05
Ø1.3/4 - 6X19 SEALE EIPS - AF	1638	5142	APROVADO	27,42
Ø2" - 6X19 SEALE EIPS - AF	1598	5273	APROVADO	34,84

$$C_r = \frac{0,47 . n + 1,53}{n + 1}$$
$$C_r = \frac{0,47 . 7 + 1,53}{7 + 1} = 0,6025$$

$$T_{eq} = 0,6025 . 3661 = 2205,75$$

Exemplo 4

Alongamento do cabo

$$\Delta L = \frac{T \cdot L}{E \cdot A} \rightarrow \Delta L = \frac{22,06 \cdot 4210}{9500 \cdot 1,064} = 9,19 \text{ cm (4,58cm para cada lado)}$$

Comprimento Final do Cabo

$$L_f = L + \Delta L$$

$$L_f = 42100 + 92 = 42192 \text{ mm}$$

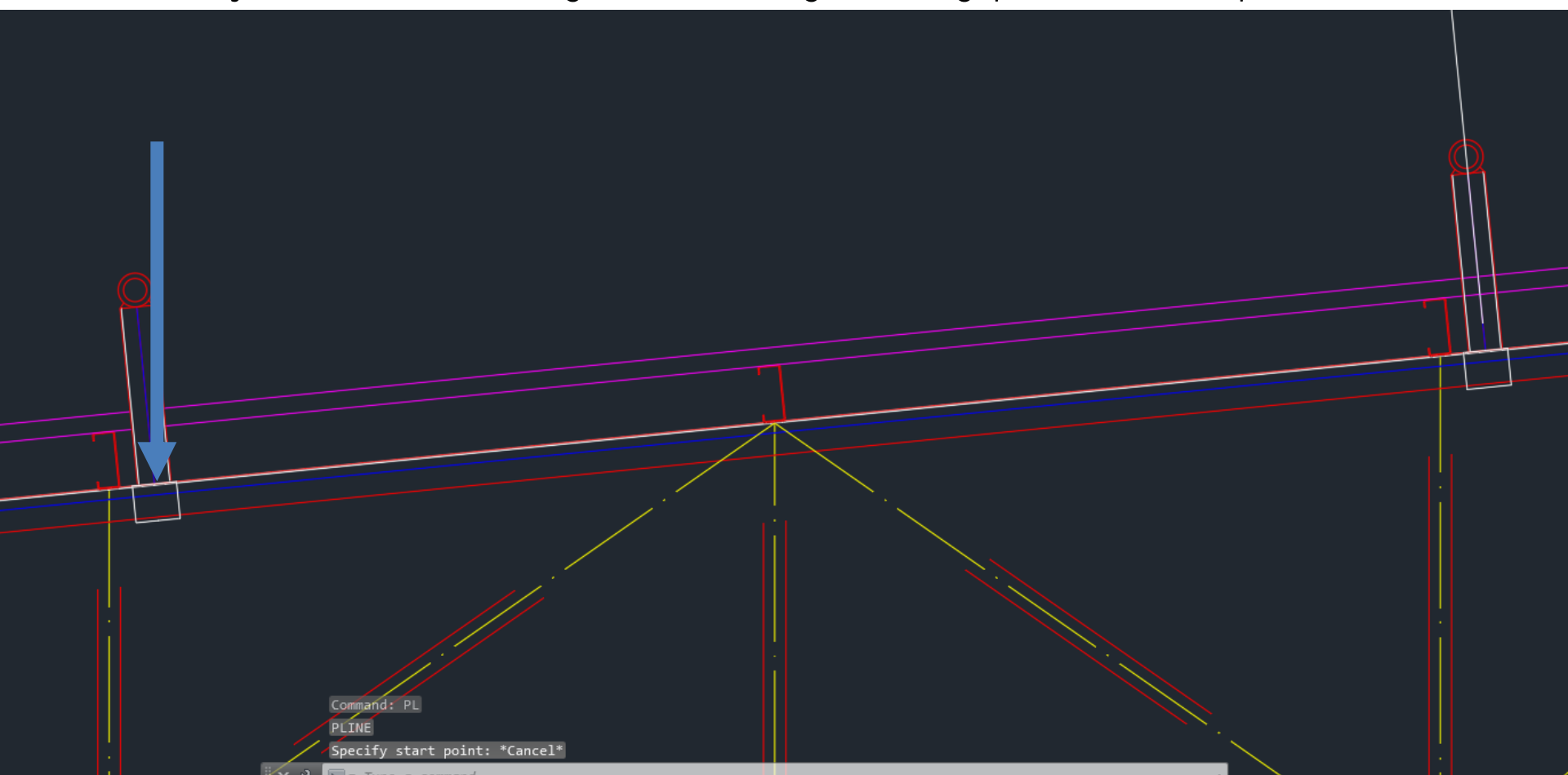
Comprimento do cabo no vão central:

$$L_c = 42192 - 6 \cdot 6000 = 6192 \text{ (3096 para cada lado)}$$

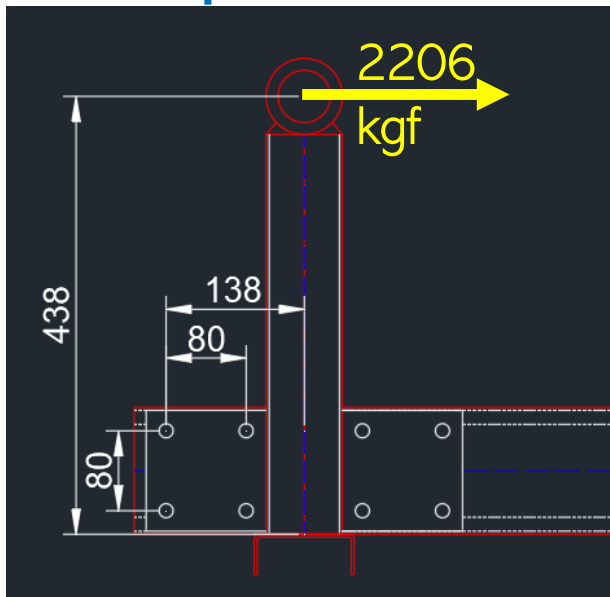


$$F = \sqrt{(3096)^2 - 3000^2} = 765 \text{ mm (Necessário verificar a flecha do pilarete)}$$

Verificar as treliças centrais com uma carga de $1,5 \cdot 400 \text{ kgf} = 600 \text{ kgf}$ pontual, vertical e para baixo



Exemplo:



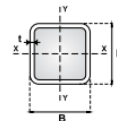
Resistência do Olhal à cortante máxima:

$$N_{t,Sd} = 1,5 \cdot 2206 = 3309 \text{ kgf}$$

$$\frac{V_{Sd}}{A_g} = \frac{0,60 \cdot 2500}{1,1} \rightarrow \frac{V_{Sd}}{\pi \cdot D^2 \cdot 0,25} = \frac{0,60 \cdot 2500}{1,1} \rightarrow$$

$$D = \sqrt{\frac{V_{Sd} \cdot 1,1}{0,25 \cdot \pi \cdot 0,60 \cdot 2500}} \rightarrow D = \sqrt{\frac{3309 \cdot 1,1}{0,25 \cdot \pi \cdot 0,60 \cdot 2500}} = 1,76 \text{ cm}$$

Adotaremos Barra redonda 3/4



Verificação do Pilarete

$$M_{Sd} = T \cdot d = 1,5 \cdot 22,06 \cdot 43,8 = 1449,4 \text{ kN.cm}$$

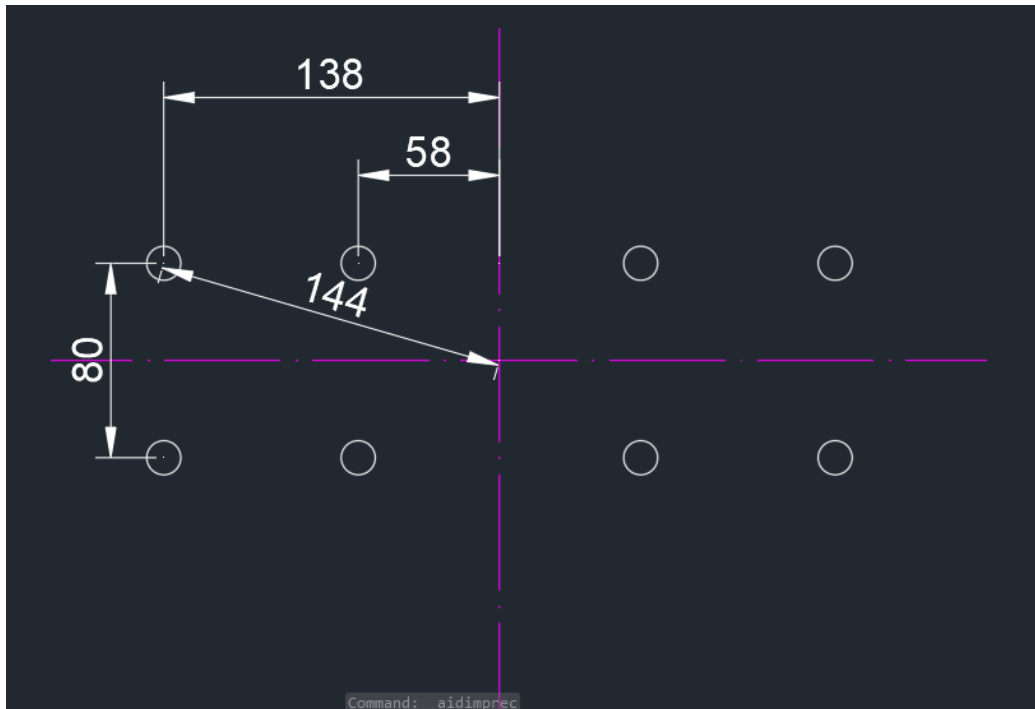
$$M_{Rd} = \frac{Z \cdot F_y}{1,1} \rightarrow 1449,4 = \frac{Z \cdot 25}{1,1} \rightarrow Z = 63,77 \text{ cm}^4$$

Adotaremos Tubo Quadrado 100X100X5,00 mm ASTM A36

Dimensões Externas	Espessura da Parede	Massa por Unidade de Comp.	Área da Seção Transversal	Momento de Inércia	Raio de Giração	Módulo Elástico Resist. à Flexão	Módulo Plástico Resist. à Flexão	Const. Torção	Módulo Resist. à Torção	Perímetro
B x B (mm)	t (mm)	P (kg/m)	A (cm²)	I (cm⁴)	r (cm)	W (cm³)	Z (cm³)	J (cm⁴)	W _t (cm³)	U (m²/m)
100 x 100	4,5	13,0	16,5	249	3,89	49,9	59,0	402	75,1	0,380
	5,0	14,3	18,2	271	3,86	54,2	64,6	441	81,7	
	5,6	15,9	20,3	296	3,82	59,2	71,0	485	89,3	
	6,3	17,8	22,7	314	3,72	62,8	76,4	536	97,0	
	7,1	19,9	25,4	340	3,66	68,0	83,6	589	106	
	8,0	22,3	28,4	366	3,59	73,2	91,1	645	114	
	8,8	24,3	31,0	386	3,53	77,2	97,1	690	121	
	10,0	27,4	34,9	411	3,43	82,2	105	750	130	
	11,0	29,8	38,0	400	3,25	80,1	106	767	132	
	12,5	33,4	42,6	410	3,10	82,1	111	804	137	
110 x 110	5,0	15,8	20,1	368	4,28	66,9	79,3	594	101	0,418
	5,6	17,6	22,4	403	4,24	73,2	87,3	655	110	
	6,3	19,7	25,1	430	4,14	78,2	94,4	726	120	
	7,1	22,1	28,1	468	4,08	85,0	104	800	131	
	8,0	24,6	31,4	506	4,01	91,9	113	879	143	
	8,8	26,9	34,3	536	3,95	97,4	121	944	152	
	10,0	30,3	38,6	575	3,86	105	132	1.032	164	
	11,0	33,1	42,2	569	3,67	103	134	1.072	169	
	12,5	37,1	47,3	591	3,53	107	143	1.139	178	
	14,0	42,3	53,8	638	3,38	113	151	1.228	190	
120 x 120	5,0	17,3	22,1	485	4,68	80,9	95,4	778	122	0,459
	5,6	19,4	24,7	532	4,64	88,7	105	860	134	
	6,3	21,7	27,6	572	4,55	95,3	114	955	146	
	7,1	24,3	31,0	624	4,49	104	126	1.056	160	
	8,0	27,2	34,7	677	4,42	113	138	1.163	175	
	8,8	29,8	37,9	720	4,36	120	148	1.252	186	
	10,0	33,5	42,7	777	4,26	129	162	1.376	203	
	11,0	36,7	46,7	778	4,08	130	166	1.445	210	
	12,5	41,1	52,4	817	3,95	136	178	1.551	223	
	14,2	46,2	58,8	844	3,79	141	189	1.638	234	
140 x 140	16,0	51,3	65,3	855	3,62	142	197	1.690	240	0,490
	18,0	58,0	75,0	900	3,47	150	210	1.800	260	

Exemplo:

Cálculo do diâmetro dos parafusos



$$I_p^2 = \sum (x^2 + y^2)$$

$$I_p^2 = 2 \cdot (2 \cdot (5,8^2 + 13,8^2)) + 2 \cdot (4 \cdot 4^2)$$

$$I_p^2 = 1024,32 \text{ cm}^2$$

$$V_M = \frac{M}{I_p^2} \cdot d = \frac{1449,4}{1024,32} \cdot 14,4 = 20,37 \text{ kN}$$

$$V_h = \frac{1,5 \cdot 20,26}{8} = 3,80 \text{ kN}$$

$$V = \sqrt{3,8^2 + 20,37^2} = 20,72 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} = \frac{0,4 \cdot A_p \cdot F_u}{1,35} = \frac{0,4 \cdot \pi \cdot D^2 \cdot 0,25 \cdot F_u}{1,35}$$

Utilizaremos parafusos ASTM A307

$$D = \sqrt{\frac{V \cdot 1,35}{0,4 \cdot \pi \cdot 0,25 \cdot F_u}} = \sqrt{\frac{20,72 \cdot 1,35}{0,4 \cdot \pi \cdot 0,25 \cdot 41,5}} = 1,45 \text{ cm}$$

Adotaremos Diâmetro 5/8" (16mm)

Exemplo: Cálculo da espessura da chapa

- quando a deformação no furo para forças de serviço não for uma limitação de projeto

$$F_{c,Rd} = \frac{1,5 \ell_f t f_u}{\gamma_{a2}} \leq 3,0 d_b t f_u / \gamma_{a2}$$

onde:

ℓ_f é a distância, na direção da força, entre a borda do furo e a borda do furo adjacente ou a borda livre;

d_b é o diâmetro do parafuso;

t é a espessura da parte ligada;

f_u é a resistência à ruptura do aço da parede do furo.

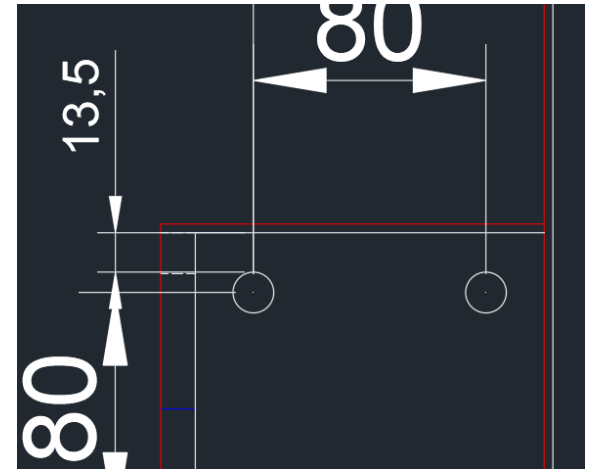
$$F_{cRd} = \frac{1,5 \cdot 1,35 \cdot t \cdot 40}{1,35} \rightarrow t = \frac{20,72 \cdot 1,35}{1,5 \cdot 1,35 \cdot 40} = 0,345 \text{ cm}$$

Adotar Chapa #3/16 (4,76mm) – Verificar Resistência Final

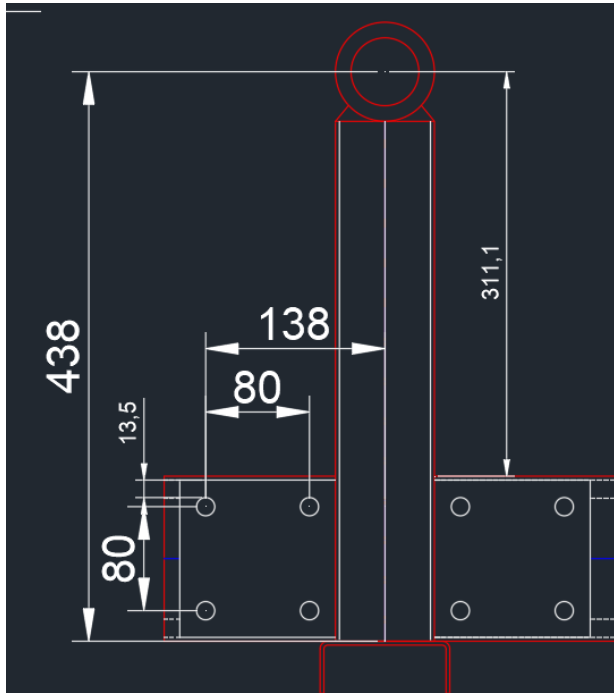
$$F_{cRd} = \frac{1,5 \cdot 1,35 \cdot 0,476 \cdot 40}{1,35} \rightarrow 28,56 \text{ kN}$$

Verificar Limite Superior

$$F_{cRd} \leq 3 \cdot 1,6 \cdot 0,476 \cdot \frac{40}{1,35} = 67,69 \text{ OK!}$$



Exemplo: Cálculo da Flecha no pilarete



$$f = \frac{P \cdot L^3}{3 \cdot E \cdot I} = \frac{22,06 \cdot 31,1^3}{3 \cdot 20000 \cdot 271} = 0,04 \text{ cm} = 0,4 \text{ mm}$$

Flecha desprezível

ZONA LIVRE DE QUEDA (ZQL) – Trava quedas Retrátíl

F1 = Flecha inicial Parabólica (3% do vão)

F2 = Flecha Dinâmica de Cálculo

H1 = Distância entre o anel preso à linha de vida até o mosquetão do trava quedas retrátíl, recolhido

H2 = Comprimento de trabalho do cabo retrátíl

H3 = Distância de escorregamento do trava quedas

B = Distância do engate até o pé do operador (1,5m ou 1,8m)

C = Distância de Segurança até um obstáculo (1m)

