MEMÓRIA DE CÁLCULO

PERDAS IMEDIATAS – ALONGAMENTO TEÓRICO

Bloco B

LOCAL	**Nova Sede do Tribunal Regional Federal da 1ª Região – TRF1**
ENDEREÇO	**Lote 3, Quadra 5, Setor de Administração Federal Sul, Brasília/DF**
FASE DO PROJETO	**Etapa 6**

AGOSTO DE 2017

REVISÕES					
REV.	**DATA**	**DESCRIÇÃO**	**ELAB.**	**CONF.**	**APROV.**
00	31/05/2017	Emissão Inicial	André Abreu	Guilherme Machado	Luís Oliveira

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO

Este documento tem por objetivo fornecer informações sobre os parâmetros e critérios adotados para o cálculo do alongamento teórico dos cabos de protensão.

2. DESCRIÇÃO

Os cabos foram divididos em seções, e a cada duas seções foi medida a variação angular em elevação e em planta, da esquerda para a direita; no caso de cabos do tipo ativo-passivo e no caso de cabos do tipo ativo-ativo, também foram medidas as variações angulares da direita para a esquerda.

Estas variações angulares foram utilizadas para determinar as tensões devido as perdas por atrito em cada seção. A partir destes valores foi então construído o gráfico mostrando a variação da tensão ao longo dos cabos de protensão para as seguintes curvas:

- $\sigma(x)$ = Curva de perda de tensão no caso de cabo ativo-passivo.
- $\sigma_{esq}(x)$ = Curva de perda de tensão partindo da esquerda no caso de cabo do tipo ativo-ativo.
- $\sigma_{dir}(x)$ = Curva de perda de tensão partindo da direita no caso de cabo do tipo ativo-ativo.

Para os cabos do tipo ativo-passivo, foi calculada a área sob a curva $\sigma(x)$ do gráfico de variação da força ao longo do cabo de protensão e esta área foi dividida pelo comprimento do elemento estrutural, para que se pudesse determinar a tensão média.

Para os cabos do tipo ativo-passivo, foi calculada a área sob a curva $\sigma_{esq}(x)$, da seção inicial do gráfico até a interseção com a curva $\sigma_{dir}(x)$ e logo após, foi calculada a área sob a curva $\sigma_{dir}(x)$ da interseção com a curva $\sigma_{esq}(x)$ até a seção final do diagrama; estas áreas foram somadas e divididas pelo comprimento do elemento estrutural para que se pudesse determinar a tensão média.

Para determinação da força média, foi utilizada a tensão média multiplicada pela área teórica nominal da cordoalha.

3. PARÂMETROS DE PROJETO

Características das cordoalhas

Tabela 1 - Características das cordoalhas de sete fios com relaxação baixa - RB

Categoria	Designação[1]	Diâmetro nominal da cordoalha mm	Tolerância no diâmetro nominal mm	Área da seção de aço da cordoalha nominal mm²			Massa nominal kg/1 000 m	Carga de ruptura mínima kN	Carga a 1% de deformação mínima[2] kN	Alongamento total na ruptura mínimo[3] %	Relaxação máxima após 1 000 h[4] %
				Mínimo	Nominal	Máximo					
RB 190	CP 190 RB 9,5	9,5	+ 0,4 - 0,2	54,9	56,2	57,3	441,0	104,3	93,9	3,5	3,5
	CP 190 RB 12,7	12,7		98,6	100,9	102,9	792,0	187,3	168,6		
	CP 190 RB 15,2	15,2		139,9	143,4	146,3	1126,0	265,8	239,2		
RB 210	CP 210 RB 9,5	9,5		54,9	56,2	57,3	441,0	115,3	103,8		
	CP 210 RB 12,7	12,7		98,6	100,9	102,9	792,0	207,0	186,3		
	CP 210 RB 15,2	15,2		139,9	143,4	146,3	1126,0	293,8	264,4		

[1] Os três dígitos constantes na designação correspondem ao limite mínimo da resistência à tração na unidade kgf/mm². Para os efeitos desta Norma, considera-se 1kgf/mm² = 10MPa
[2] O valor da carga a 1% de alongamento é considerado equivalente à carga, a 0,2% de alongamento permanente.
[3] Base de medida: 600 mm mínimo.
[4] Medida a 20°C com aplicação de carga inicial correspondente a 80% da carga de ruptura conforme NBR 7484. Os resultados de relaxação após 1 000 h podem ser obtidos por extrapolação de ensaios de 100 h de duração.

NOTA Recomenda-se para cálculo estrutural a utilização do valor nominal da área.

Coeficientes para cálculo das perdas de protensão por atrito

μ = 0,50 entre cabo e concreto (sem bainha);

μ = 0,30 entre barras ou fios com mossas ou saliências e bainha metálica;

μ = 0,20 entre fios lisos ou cordoalhas e bainha metálica;

μ = 0,10 entre fios lisos ou cordoalhas e bainha metálica lubrificada;

μ = 0,05 entre cordoalha e bainha de polipropileno lubrificada;

k é o coeficiente de perda por metro provocada por curvaturas não intencionais do cabo. Na falta de dados experimentais, pode ser adotado o valor 0,01 μ (1/m).

4. DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

- 85EA16-EACE-PE-BXX-P00-PT-EST-017-R00
- 85EA16-EACE-PE-BXX-P01-PT-EST-018-R01
- 85EA16-EACE-PE-BXX-P01-PT-EST-019-R01
- 85EA16-EACE-PE-BXX-P01-PT-EST-020-R01
- 85EA16-EACE-PE-BXX-P01-PT-EST-021-R01
- 85EA16-EACE-PE-BXX-P01-PT-EST-022-R01
- 85EA16-EACE-PE-BXX-P01-PT-EST-023-R01
- 85EA16-EACE-PE-BXX-P01-PT-EST-024-R01
- 85EA16-EACE-PE-BXX-P01-PT-EST-025-R01
- 85EA16-EACE-PE-BXX-P01-PT-EST-026-R01
- 85EA16-EACE-PE-BXX-P01-PT-EST-027-R01
- 85EA16-EACE-PE-BXX-P01-PT-EST-028-R02
- 85EA16-EACE-PE-BXX-P01-PT-EST-029-R01
- 85EA16-EACE-PE-BXX-P01-PT-EST-030-R01
- 85EA16-EACE-PE-BXX-P01-PT-EST-031-R01
- 85EA16-EACE-PE-BXX-P01-PT-EST-032-R01
- 85EA16-EACE-PE-BXX-P01-PT-EST-033-R01
- 85EA16-EACE-PE-BXX-COB-PT-EST-035-R01
- 85EA16-EACE-PE-BXX-COB-PT-EST-036-R01
- 85EA16-EACE-PE-BXX-COB-PT-EST-037-R01
- 85EA16-EACE-PE-BXX-COB-PT-EST-038-R01
- 85EA16-EACE-PE-BXX-COB-PT-EST-039-R01
- 85EA16-EACE-PE-BXX-COB-PT-EST-040-R01
- 85EA16-EACE-PE-BXX-COB-PT-EST-041-R01
- 85EA16-EACE-PE-BXX-ZZZ-PT-EST-0042-R03
- DES - FORMA B

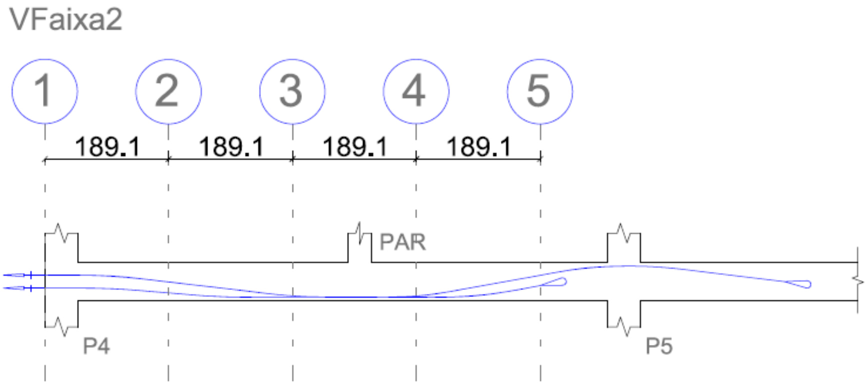
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- NBR 7483:2004

- NBR 6118:2004

6. ANEXOS

BLOCO B
VFAIXA2 (TÉRREO) - CABOS C1, C2, C9 e C10



Para o cálculo do alongamento teórico foram considerados apenas a elevação dos cabos e seus respectivos cortes.

CABOS C1=C2 (4ø12.7mm)

$t = \text{tonne}$

$\text{Área}_{teórica\_aço} = 100.9mm^2$ $\quad fptk = \dfrac{187.3kN}{\text{Área}_{teórica\_aço}} = 1856.29\,MPa$ $\quad fpyk = \dfrac{168.6kN}{\text{Área}_{teórica\_aço}} = 1670.96\,MPa$

$\sigma_{pi} = \min(0.74 \cdot fptk, 0.82 \cdot fpyk) = 1370.19\,MPa$

$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13972.03 \cdot \dfrac{kgf}{cm^2}$ $\quad \mu = 0.20$ $\quad \beta = 0.01 \dfrac{rad}{m}$ $\quad e = 2.72$ $\quad L = 7.56m$

$\kappa = \beta \cdot \mu = 0.002 \cdot \dfrac{rad}{m}$ $\quad n = 5$ $\quad i = 1, 2 .. n$

$S = 0cm, \dfrac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 189 \\ 378 \\ 567 \\ 756 \end{pmatrix} cm$ $\quad \Delta\alpha_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 6.5 \\ 2.63 \\ 3.72 \\ 11.41 \end{pmatrix}°$

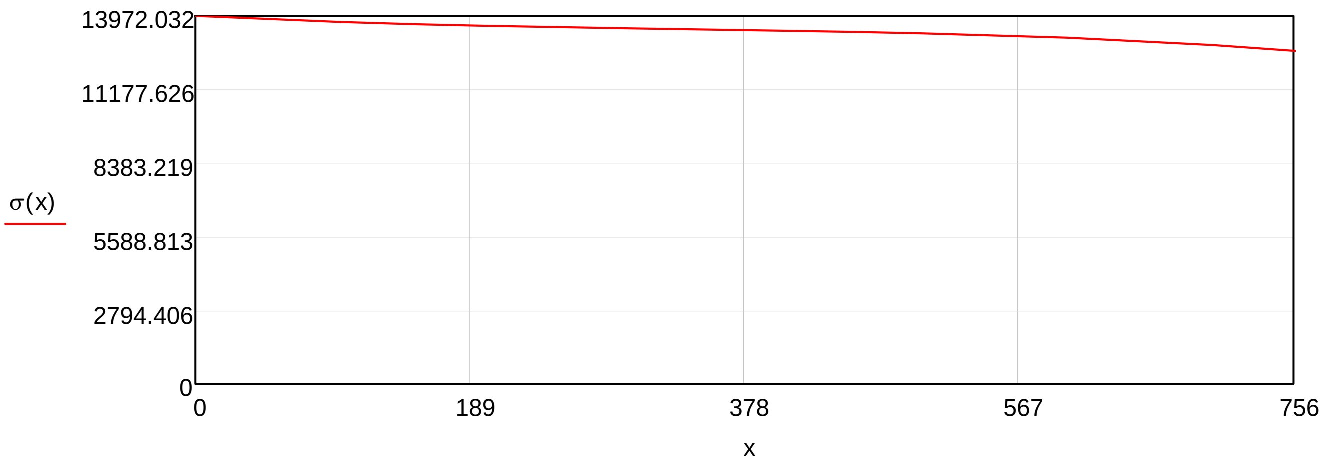
$$\alpha_i = \begin{cases} 0\text{rad} & \text{if } i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \Delta\alpha_{\text{elevação}_i} & \text{if } i > 1 \\ i \cdot \text{rad} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu\cdot\alpha+\kappa\cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13972.03 \\ 13607.05 \\ 13431.84 \\ 13208.53 \\ 12644.9 \end{pmatrix} \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$a = \text{cspline}(S, \sigma_{esq})$$

$$\sigma(x) = \text{interp}\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$$



$$\text{Área} = \int_0^L \sigma(x)\,dx \qquad \text{Área} = 101268.05 \cdot \frac{\text{kg}\cdot\text{m}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_m = \frac{\text{Área}}{L} \qquad \sigma_m = 13395.25 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$L_{cabo} = 8.4\text{m} \qquad \text{Área}_{\text{teórica\_aço}} = 100.9 \cdot \text{mm}^2 \qquad E_{\text{teórico\_aço}} = 1950000 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$F_{\text{média\_cabo}} = \sigma_m \cdot \text{Área}_{\text{teórica\_aço}} = 13.5 \cdot t$$

$$\Delta L_{\text{teórico}} = \frac{(\sigma_m)\cdot(L_{cabo})}{E_{\text{teórico\_aço}}} = 58 \cdot \text{mm}$$

CABOS C9=C10 (4ø12.7mm)

$Área_{teórica\_aço} = 100.9mm^2$ $fptk = \dfrac{187.3kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1856.29\,MPa$ $fpyk = \dfrac{168.6kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1670.96\,MPa$

$\sigma_{pi} = \min(0.74\cdot fptk, 0.82\cdot fpyk) = 1370.19\,MPa$

$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13972.03\cdot\dfrac{kgf}{cm^2}$ $\mu = 0.20$ $\beta = 0.01\dfrac{rad}{m}$ $e = 2.72$ $L = 7.56m$

$\kappa = \beta\cdot\mu = 0.002\cdot\dfrac{rad}{m}$ $n = 5$ $i = 1, 2..n$

$S = 0cm, \dfrac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 189 \\ 378 \\ 567 \\ 756 \end{pmatrix} cm$ $\Delta\alpha_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 4.74 \\ 4.67 \\ 0.1 \\ 10.98 \end{pmatrix}°$

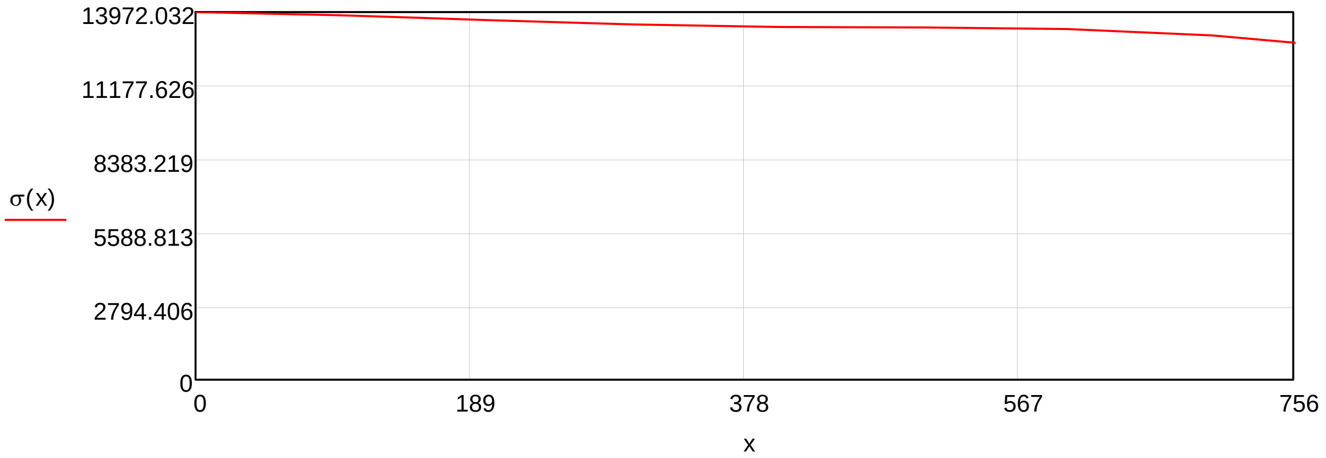
$$\alpha_i = \begin{vmatrix} 0rad \quad \text{if} \quad i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \Delta\alpha_{elevação_i} \quad \text{if} \quad i > 1 \\ i\cdot rad \quad \text{otherwise} \end{vmatrix}$$

$\sigma_{esq} = \sigma_1\cdot e^{-(\mu\cdot\alpha+\kappa\cdot S)}$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13972.03 \\ 13690.91 \\ 13418.72 \\ 13363.42 \\ 12812.41 \end{pmatrix}\cdot\dfrac{kgf}{cm^2}$$

$$a = \mathrm{cspline}(S, \sigma_{esq})$$

$$\sigma(x) = \mathrm{interp}\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$$



$$\text{Área} = \int_0^L \sigma(x)\,dx \qquad \text{Área} = 101958.67 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

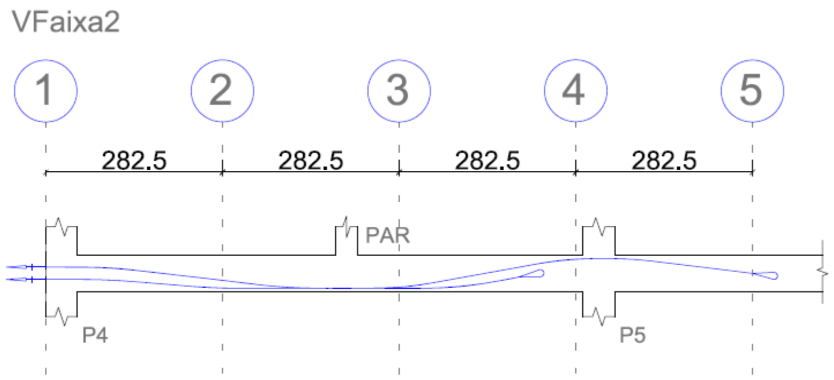
$$\sigma_m = \frac{\text{Área}}{L} \qquad \sigma_m = 13486.6 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$$L_{cabo} = 8.4m \qquad \text{Área}_{teórica\_aço} = 100.9 \cdot mm^2 \qquad E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$$

$$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot \text{Área}_{teórica\_aço} = 13.6 \cdot t$$

$$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 58 \cdot mm$$

VFAIXA2 (TÉRREO) - CABOS C3, C4, C5, C6, C7 e C8



CABOS C3=C4=C5 (4ø12.7mm)

$$Área_{teórica\_aço} = 100.9mm^2 \qquad fptk = \frac{187.3kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1856.29\,MPa \qquad fpyk = \frac{168.6kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1670.96\,MPa$$

$$\sigma_{pi} = \min(0.74 \cdot fptk, 0.82 \cdot fpyk) = 1370.19\,MPa$$

$$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13972.03 \cdot \frac{kgf}{cm^2} \qquad \mu = 0.20 \qquad \beta = 0.01 \frac{rad}{m} \qquad e = 2.72 \qquad L = 11.30m$$

$$\kappa = \beta \cdot \mu = 0.002 \cdot \frac{rad}{m} \qquad n = 5 \qquad i = 1, 2 .. n$$

$$S = 0cm, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 282.5 \\ 565 \\ 847.5 \\ 1130 \end{pmatrix} cm \qquad \Delta\alpha_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 7.24 \\ 10.76 \\ 0.78 \\ 10.33 \end{pmatrix} °$$

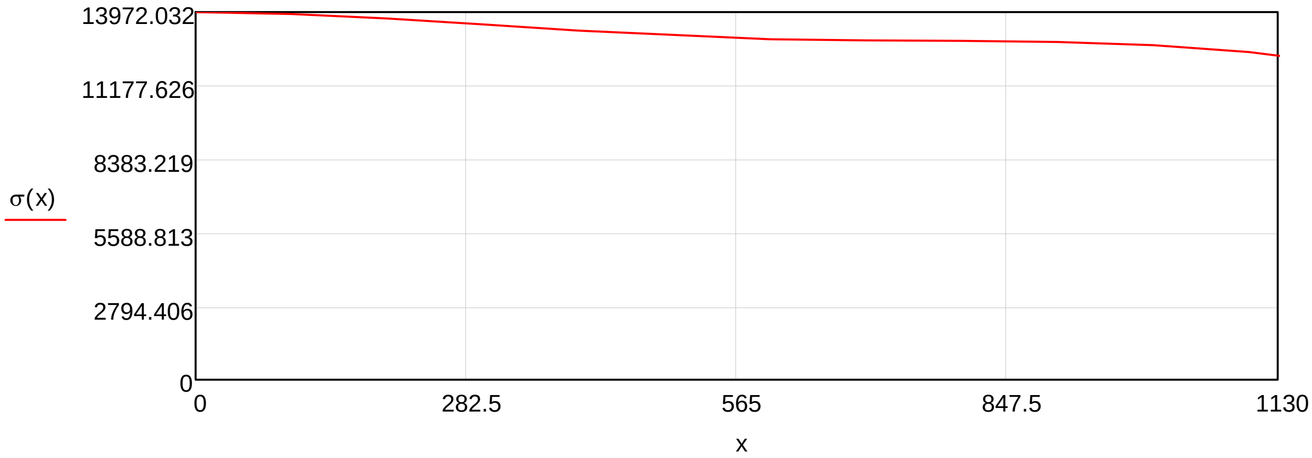
$$\alpha_i = \left| \begin{array}{l} 0rad \quad \text{if} \quad i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \Delta\alpha_{elevação_i} \quad \text{if} \quad i > 1 \\ i \cdot rad \quad \text{otherwise} \end{array} \right.$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13972.03 \\ 13546.6 \\ 12973.72 \\ 12865.55 \\ 12339.98 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$$a = \mathrm{cspline}\left(S, \sigma_{esq}\right)$$

$$\sigma(x) = \mathrm{interp}\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$$



$$\text{Área} = \int_0^L \sigma(x)\, dx \qquad \text{Área} = 148696.66 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$\sigma_m = \frac{\text{Área}}{L} \qquad \sigma_m = 13159 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$$L_{cabo} = 12.20m \qquad \text{Área}_{teórica\_aço} = 100.9 \cdot mm^2 \qquad E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$$

$$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot \text{Área}_{teórica\_aço} = 13.3 \cdot t$$

$$\Delta L_{teórico} = \frac{\left(\sigma_m\right) \cdot \left(L_{cabo}\right)}{E_{teórico\_aço}} = 82 \cdot mm$$

CABOS C6=C7=C8 (4ø12.7mm)

$Área_{teórica\_aço} = 100.9mm^2$ $\quad fptk = \frac{187.3kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1856.29\,MPa$ $\quad fpyk = \frac{168.6kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1670.96\,MPa$

$\sigma_{pi} = \min(0.74\cdot fptk, 0.82\cdot fpyk) = 1370.19\,MPa$

$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13972.03\cdot\frac{kgf}{cm^2}$ $\quad \mu = 0.20$ $\quad \beta = 0.01\frac{rad}{m}$ $\quad e = 2.72$ $\quad L = 11.30m$

$\kappa = \beta\cdot\mu = 0.002\cdot\frac{rad}{m}$ $\quad n = 5$ $\quad i = 1, 2 .. n$

$$S = 0cm, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 282.5 \\ 565 \\ 847.5 \\ 1130 \end{pmatrix} cm \qquad \Delta\alpha_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1.13 \\ 6.06 \\ 0.92 \\ 10.91 \end{pmatrix}°$$

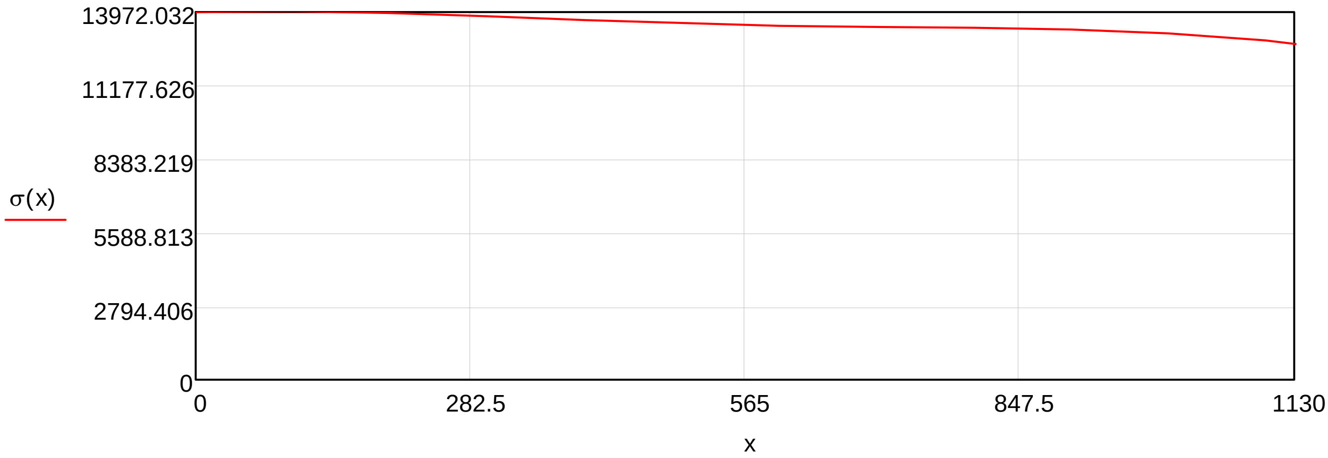
$$\alpha_i = \begin{vmatrix} 0rad \quad \text{if} \quad i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \Delta\alpha_{elevação_i} \quad \text{if} \quad i > 1 \\ i\cdot rad \quad \text{otherwise} \end{vmatrix}$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1\cdot e^{-(\mu\cdot\alpha+\kappa\cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13972.03 \\ 13838.62 \\ 13472.62 \\ 13353.77 \\ 12782.35 \end{pmatrix}\cdot\frac{kgf}{cm^2}$$

$a = \mathrm{cspline}(S, \sigma_{esq})$

$\sigma(x) = \mathrm{interp}\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$



$\text{Área} = \int_0^L \sigma(x)\,dx$ $\qquad \text{Área} = 152991.75 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$

$\sigma_m = \frac{\text{Área}}{L}$ $\qquad \sigma_m = 13539.09 \cdot \frac{kg}{cm^2}$

$L_{cabo} = 12.15m$ $\qquad \text{Área}_{teórica\_aço} = 100.9 \cdot mm^2$ $\qquad E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$

$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot \text{Área}_{teórica\_aço} = 13.7 \cdot t$

$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 84 \cdot mm$

VFAIXA2 - CÁLCULO DAS ARMADURAS DE FRETAGEM

a_0 = Área da placa de distribuição

b = Distância entre eixos das ancoragens

c = Distância entre as ancoragens

d = Distância entre a face do concreto ao eixo da ancoragem

n = Quantidade de ancoragens em elevação

q = Quantidade de cabos alinhados em cada grupo (seção transversal)

EXTREMIDADE ATIVA

$b = 20\text{cm}$ $n = 2$ $q = 5$ $F_{inicial} = 4 \cdot \sigma_1 \cdot \text{Área}_{teórica\_aço} = 553.01\ \text{kN}$

$a_0 = 14\text{cm}$ $c = 6\text{cm}$

$d = 20\text{cm}$ $a_1 = a_0 + c = 20\ \text{cm}$

$F_1 = F_{inicial} \cdot \cos(0°) = 553.01\ \text{kN}$ $F_2 = F_{inicial} \cdot \cos(0°) = 553.01\ \text{kN}$

$T_1 = 0.25 \cdot F_1 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 41.48\ \text{kN}$ $T_2 = 0.25 \cdot F_2 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 41.48\ \text{kN}$

$a_2 = 2 \cdot d + (n - 1) \cdot b = 60\ \text{cm}$

$F = \begin{pmatrix} 553.01 \\ 553.01 \end{pmatrix} \text{kN}$ $T = \begin{pmatrix} 41.48 \\ 41.48 \end{pmatrix} \text{kN}$ $\sum F = 1106.02\ \text{kN}$

$T_n = \frac{2}{3} \cdot \left(1 - \frac{n \cdot a_1}{a_2}\right) \cdot \sum F = 245.78\ \text{kN}$ $fyd = 43.48 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$

$As_1 = \frac{\max(T)}{fyd} = 0.95\ \text{cm}^2$ $As_2 = q \cdot \left(\frac{T_n}{fyd}\right) = 28.26\ \text{cm}^2$

EXTREMIDADE PASSIVA

$q = 6$

$F_{inicial} = 553.01\,kN$

$a_0 = 14\,cm$

$d = 30cm$

$a_1 = 2 \cdot d = 60 \cdot cm$

$F = q \cdot F_{inicial} \cdot \cos(7°) = 3293.32\,kN$

$T = 0.25 \cdot F \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 631.22\,kN$

$fyd = 43.48 \cdot \frac{kN}{cm^2}$

$As_4 = \frac{T}{fyd} = 14.52\,cm^2$

$As_{fretagem} = As_1 = 0.95\,cm^2$

Adotado espiral ø8mm - 5 passos por cabo em cada trecho de ancoragem ativa e passiva.

$As_{estribos} = \frac{\max(As_2, As_4)}{4} = 7.07\,cm^2$

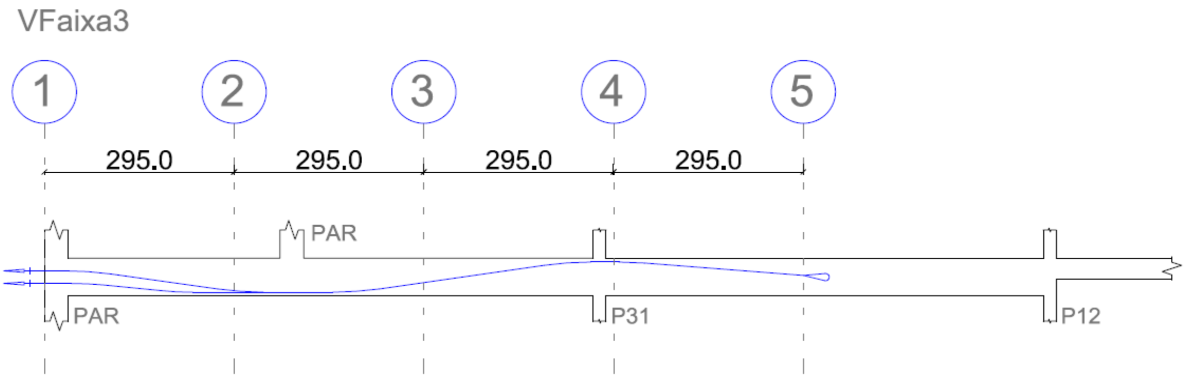
$L = \max(a_1, a_2) = 60\,cm$

$bitola_{estribo} = 12.5mm$

$adotados = ceil\left(\frac{As_{estribos}}{bitola_{estribo}^2}\right) = 5$

Estribos duplos $adotados = 5$ ø12.5mm em cada trecho de ancoragem ativa e passiva distribuídos em $L = 60\,cm$

VFAIXA3 (TÉRREO) - CABOS C1 a C6



CABOS C1=C2=C3 (4ø12.7mm)

$Área_{teórica\_aço} = 100.9mm^2$ $\quad fptk = \dfrac{187.3kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1856.29\,MPa$ $\quad fpyk = \dfrac{168.6kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1670.96\,MPa$

$\sigma_{pi} = \min(0.74 \cdot fptk, 0.82 \cdot fpyk) = 1370.19\,MPa$

$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13972.03 \cdot \dfrac{kgf}{cm^2}$ $\quad \mu = 0.20$ $\quad \beta = 0.01 \dfrac{rad}{m}$ $\quad e = 2.72$ $\quad L = 11.80m$

$\kappa = \beta \cdot \mu = 0.002 \cdot \dfrac{rad}{m}$ $\quad n = 5$ $\quad i = 1, 2 .. n$

$$S = 0cm, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 295 \\ 590 \\ 885 \\ 1180 \end{pmatrix} cm \qquad \Delta\alpha_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 6.07 \\ 14.38 \\ 8.31 \\ 4.57 \end{pmatrix} °$$

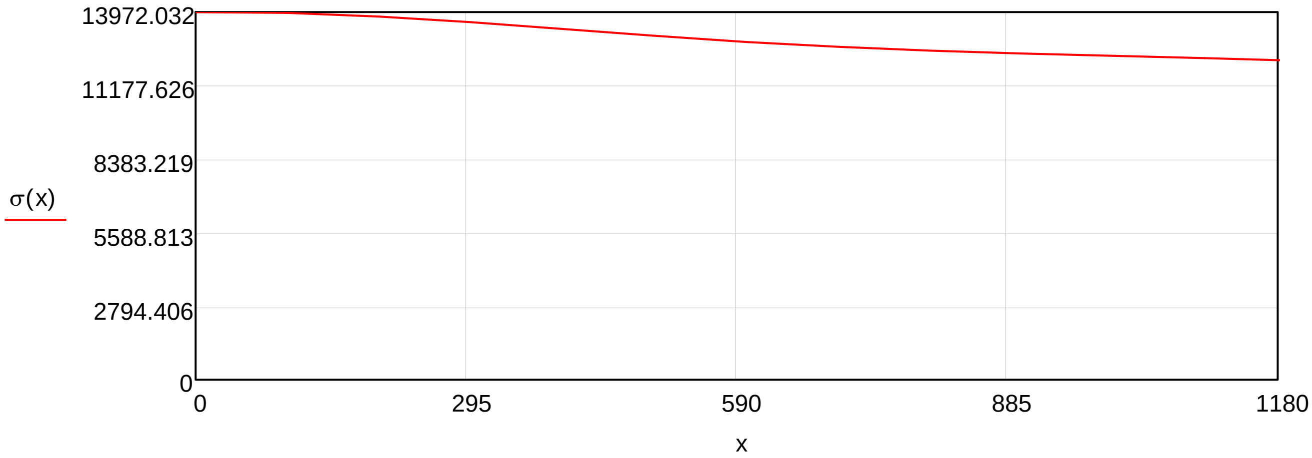
$$\alpha_i = \begin{vmatrix} 0rad \quad \text{if} \quad i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \Delta\alpha_{elevação_i} \quad \text{if} \quad i > 1 \\ i \cdot rad \quad \text{otherwise} \end{vmatrix}$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13972.03 \\ 13598.63 \\ 12856.81 \\ 12415.76 \\ 12147.39 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$$a = \text{cspline}(S, \sigma_{esq})$$

$$\sigma(x) = \text{interp}\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$$



$$\text{Área} = \int_0^L \sigma(x)\,dx \qquad \text{Área} = 153292.38 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$\sigma_m = \frac{\text{Área}}{L} \qquad \sigma_m = 12990.88 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$$L_{cabo} = 12.65m \qquad \text{Área}_{teórica\_aço} = 100.9 \cdot mm^2 \qquad E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$$

$$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot \text{Área}_{teórica\_aço} = 13.1 \cdot t$$

$$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 84 \cdot mm$$

CABOS C4=C5=C6 (4ø12.7mm)

$$Área_{teórica\_aço} = 100.9mm^2 \qquad fptk = \frac{187.3kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1856.29\,MPa \qquad fpyk = \frac{168.6kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1670.96\,MPa$$

$$\sigma_{pi} = \min(0.74 \cdot fptk, 0.82 \cdot fpyk) = 1370.19\,MPa$$

$$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13972.03 \cdot \frac{kgf}{cm^2} \qquad \mu = 0.20 \qquad \beta = 0.01 \frac{rad}{m} \qquad e = 2.72 \qquad L = 11.80m$$

$$\kappa = \beta \cdot \mu = 0.002 \cdot \frac{rad}{m} \qquad n = 5 \qquad i = 1, 2 .. n$$

$$S = 0cm, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 295 \\ 590 \\ 885 \\ 1180 \end{pmatrix} cm \qquad \Delta\alpha_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 8.31 \\ 8.31 \\ 4.57 \end{pmatrix} °$$

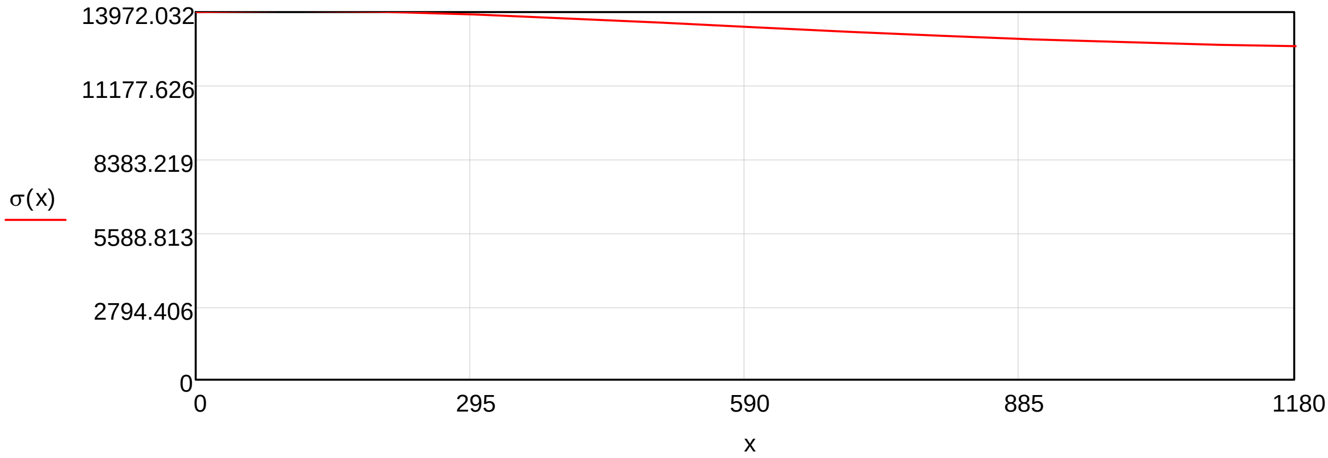
$$\alpha_i = \left| \begin{array}{ll} 0rad & \text{if } i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \Delta\alpha_{elevação_i} & \text{if } i > 1 \\ i \cdot rad & \text{otherwise} \end{array} \right.$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13972.03 \\ 13889.84 \\ 13413.35 \\ 12953.2 \\ 12673.21 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$$a = \text{cspline}(S, \sigma_{esq})$$

$$\sigma(x) = \text{interp}\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$$



$$\text{Área} = \int_0^L \sigma(x)\,dx \qquad \text{Área} = 158163.35 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$\sigma_m = \frac{\text{Área}}{L} \qquad \sigma_m = 13403.67 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$$L_{cabo} = 12.65m \qquad \text{Área}_{teórica\_aço} = 100.9 \cdot mm^2 \qquad E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$$

$$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot \text{Área}_{teórica\_aço} = 13.5 \cdot t$$

$$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 87 \cdot mm$$

VFAIXA3 - CÁLCULO DAS ARMADURAS DE FRETAGEM

a_0 = Área da placa de distribuição

b = Distância entre eixos das ancoragens

c = Distância entre as ancoragens

d = Distância entre a face do concreto ao eixo da ancoragem

n = Quantidade de ancoragens em elevação

q = Quantidade de cabos alinhados em cada grupo (seção transversal)

EXTREMIDADE ATIVA

$b = 20cm$ $\quad n = 2$ $\quad q = 3$ $\quad F_{inicial} = 4\cdot\sigma_1\cdot Área_{teórica\_aço} = 553.01\,kN$

$a_0 = 14cm$ $\quad c = 6cm$

$d = 20cm$ $\quad a_1 = a_0 + c = 20\,cm$

$F_1 = F_{inicial}\cdot\cos(0°) = 553.01\,kN$ $\quad F_2 = F_{inicial}\cdot\cos(0°) = 553.01\,kN$

$T_1 = 0.25\cdot F_1\cdot\left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 41.48\,kN$ $\quad T_2 = 0.25\cdot F_2\cdot\left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 41.48\,kN$

$a_2 = 2\cdot d + (n-1)\cdot b = 60\,cm$

$F = \begin{pmatrix} 553.01 \\ 553.01 \end{pmatrix} kN$ $\quad T = \begin{pmatrix} 41.48 \\ 41.48 \end{pmatrix} kN$ $\quad \sum F = 1106.02\,kN$

$T_n = \frac{2}{3}\cdot\left(1 - \frac{n\cdot a_1}{a_2}\right)\cdot\sum F = 245.78\,kN$ $\quad fyd = 43.48\,\frac{kN}{cm^2}$

$As_1 = \frac{\max(T)}{fyd} = 0.95\,cm^2$ $\quad As_2 = q\cdot\left(\frac{T_n}{fyd}\right) = 16.96\,cm^2$

EXTREMIDADE PASSIVA

$q = 6$ $\quad F_{inicial} = 553.01\,kN$

$a_0 = 14\,cm$

$d = 30cm$ $\quad a_1 = 2 \cdot d = 60 \cdot cm$

$F = q \cdot F_{inicial} \cdot \cos(5°) = 3305.42\,kN$ $\quad T = 0.25 \cdot F \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 633.54\,kN$ $\quad fyd = 43.48 \cdot \frac{kN}{cm^2}$

$As_4 = \frac{T}{fyd} = 14.57\,cm^2$

$As_{fretagem} = As_1 = 0.95\,cm^2$

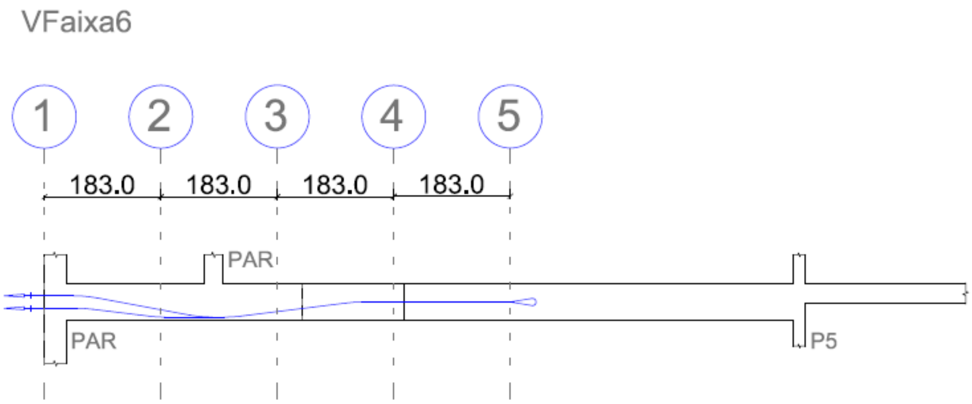
Adotado espiral ø8mm - 5 passos por cabo em cada trecho de ancoragem ativa e passiva.

$As_{estribos} = \frac{\max(As_2, As_4)}{4} = 4.24\,cm^2$

$L = \max(a_1, a_2) = 60\,cm$ $\quad bitola_{estribo} = 12.5mm$ $\quad adotados = ceil\left(\frac{As_{estribos}}{bitola_{estribo}^2}\right) = 3$

Estribos duplos $adotados = 3$ ø12.5mm em cada trecho de ancoragem ativa e passiva distribuídos em $L = 60\,cm$

VFAIXA6 (TÉRREO) - CABOS C1 a C6



CABOS C1=C2=C3 (4ø12.7mm)

$Área_{teórica\_aço} = 100.9mm^2$ $\quad fptk = \dfrac{187.3kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1856.29\,MPa$ $\quad fpyk = \dfrac{168.6kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1670.96\,MPa$

$\sigma_{pi} = \min(0.74 \cdot fptk, 0.82 \cdot fpyk) = 1370.19\,MPa$

$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13972.03 \cdot \dfrac{kgf}{cm^2}$ $\quad \mu = 0.20$ $\quad \beta = 0.01 \dfrac{rad}{m}$ $\quad e = 2.72$ $\quad L = 7.32m$

$\kappa = \beta \cdot \mu = 0.002 \cdot \dfrac{rad}{m}$ $\quad n = 5$ $\quad i = 1, 2 .. n$

$$S = 0cm, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 183 \\ 366 \\ 549 \\ 732 \end{pmatrix} cm \qquad \Delta\alpha_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 10.63 \\ 17.79 \\ 7.17 \\ 0 \end{pmatrix} °$$

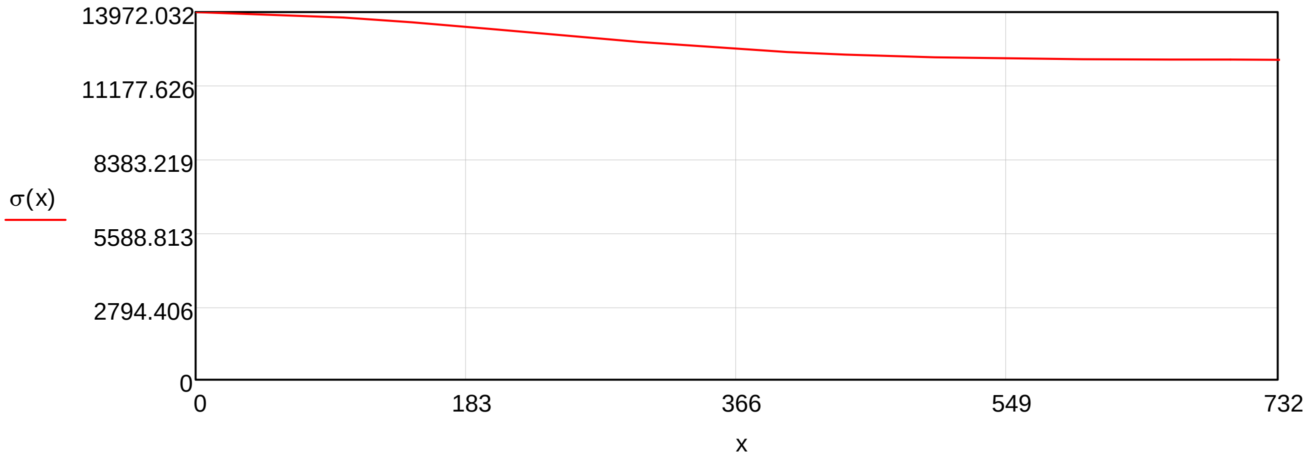
$$\alpha_i = \left| \begin{array}{l} 0rad \quad \text{if} \quad i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \Delta\alpha_{elevação_i} \quad \text{if} \quad i > 1 \\ i \cdot rad \quad \text{otherwise} \end{array} \right.$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13972.03 \\ 13413.91 \\ 12560.2 \\ 12204.99 \\ 12160.4 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$$a = \mathrm{cspline}(S, \sigma_{esq})$$

$$\sigma(x) = \mathrm{interp}\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$$



$$\text{Área} = \int_0^L \sigma(x)\,dx \qquad \text{Área} = 93774.31 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$\sigma_m = \frac{\text{Área}}{L} \qquad \sigma_m = 12810.7 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$$L_{cabo} = 8.15m \qquad \text{Área}_{teórica\_aço} = 100.9 \cdot mm^2 \qquad E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$$

$$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot \text{Área}_{teórica\_aço} = 12.9 \cdot t$$

$$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 54 \cdot mm$$

CABOS C4=C5=C6 (4ø12.7mm)

$\text{Área}_{\text{teórica\_aço}} = 100.9\,\text{mm}^2 \qquad \text{fptk} = \dfrac{187.3\,\text{kN}}{\text{Área}_{\text{teórica\_aço}}} = 1856.29\,\text{MPa} \qquad \text{fpyk} = \dfrac{168.6\,\text{kN}}{\text{Área}_{\text{teórica\_aço}}} = 1670.96\,\text{MPa}$

$\sigma_{pi} = \min(0.74\cdot\text{fptk}, 0.82\cdot\text{fpyk}) = 1370.19\,\text{MPa}$

$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13972.03\cdot\dfrac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \qquad \mu = 0.20 \qquad \beta = 0.01\dfrac{\text{rad}}{\text{m}} \qquad e = 2.72 \qquad L = 7.32\,\text{m}$

$\kappa = \beta\cdot\mu = 0.002\cdot\dfrac{\text{rad}}{\text{m}} \qquad n = 5 \qquad i = 1, 2 .. n$

$S = 0\,\text{cm}, \dfrac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 183 \\ 366 \\ 549 \\ 732 \end{pmatrix}\text{cm} \qquad \Delta\alpha_{\text{elevação}} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1.74 \\ 8.9 \\ 7.17 \\ 0 \end{pmatrix}°$

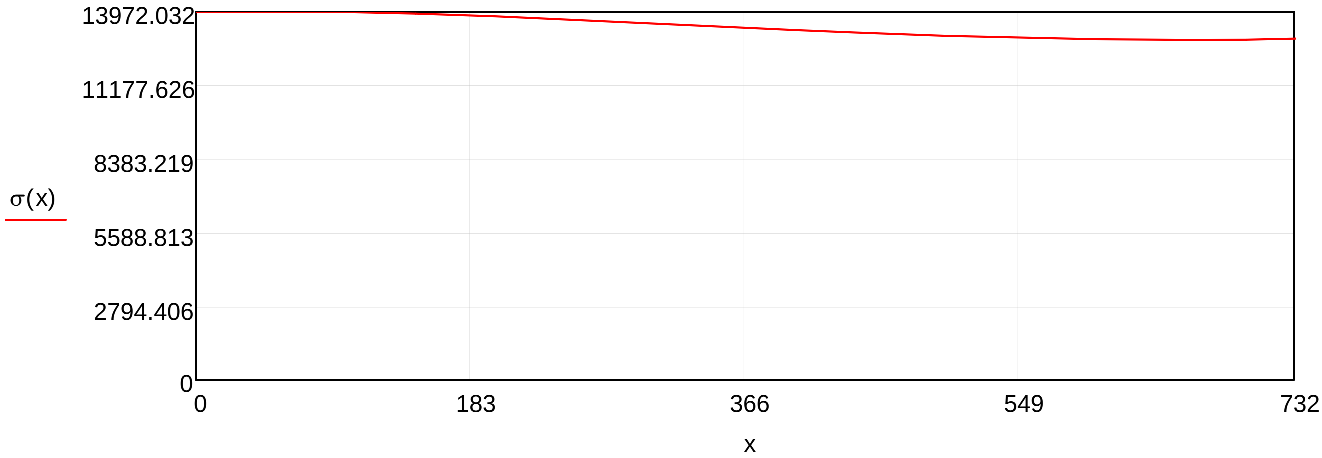
$\alpha_i = \begin{cases} 0\,\text{rad} & \text{if } i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \Delta\alpha_{\text{elevação}_i} & \text{if } i > 1 \\ i\cdot\text{rad} & \text{otherwise} \end{cases}$

$\sigma_{esq} = \sigma_1\cdot e^{-(\mu\cdot\alpha + \kappa\cdot S)}$

$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13972.03 \\ 13836.69 \\ 13364.43 \\ 12986.48 \\ 12939.04 \end{pmatrix}\cdot\dfrac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$

$$a = \text{cspline}(S, \sigma_{esq})$$

$$\sigma(x) = \text{interp}\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$$



$$\text{Área} = \int_0^L \sigma(x)\,dx \qquad \text{Área} = 98168.9 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$\sigma_m = \frac{\text{Área}}{L} \qquad \sigma_m = 13411.05 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$$L_{cabo} = 8.15m \qquad \text{Área}_{teórica\_aço} = 100.9 \cdot mm^2 \qquad E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$$

$$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot \text{Área}_{teórica\_aço} = 13.5 \cdot t$$

$$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 56 \cdot mm$$

VFAIXA6 - CÁLCULO DAS ARMADURAS DE FRETAGEM

a_0 = Área da placa de distribuição

b = Distância entre eixos das ancoragens

c = Distância entre as ancoragens

d = Distância entre a face do concreto ao eixo da ancoragem

n = Quantidade de ancoragens em elevação

q = Quantidade de cabos alinhados em cada grupo (seção transversal)

EXTREMIDADE ATIVA

$b = 20\,cm$ $\quad n = 2$ $\quad q = 3$ $\quad F_{inicial} = 4 \cdot \sigma_1 \cdot Área_{teórica\_aço} = 553.01\,kN$

$a_0 = 14\,cm$ $\quad c = 6\,cm$

$d = 20\,cm$ $\quad a_1 = a_0 + c = 20\,cm$

$F_1 = F_{inicial} \cdot \cos(0°) = 553.01\,kN$ $\quad F_2 = F_{inicial} \cdot \cos(0°) = 553.01\,kN$

$T_1 = 0.25 \cdot F_1 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 41.48\,kN$ $\quad T_2 = 0.25 \cdot F_2 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 41.48\,kN$

$a_2 = 2 \cdot d + (n - 1) \cdot b = 60\,cm$

$F = \begin{pmatrix} 553.01 \\ 553.01 \end{pmatrix} kN$ $\quad T = \begin{pmatrix} 41.48 \\ 41.48 \end{pmatrix} kN$ $\quad \sum F = 1106.02\,kN$

$T_n = \frac{2}{3} \cdot \left(1 - \frac{n \cdot a_1}{a_2}\right) \cdot \sum F = 245.78\,kN$ $\quad fyd = 43.48 \frac{kN}{cm^2}$

$As_1 = \frac{\max(T)}{fyd} = 0.95\,cm^2$ $\quad As_2 = q \cdot \left(\frac{T_n}{fyd}\right) = 16.96\,cm^2$

EXTREMIDADE PASSIVA

$q = 6$ $F_{inicial} = 553.01\,kN$

$a_0 = 14\,cm$

$d = 30cm$ $a_1 = 2 \cdot d = 60 \cdot cm$

$F = q \cdot F_{inicial} \cdot \cos(0°) = 3318.05\,kN$ $T = 0.25 \cdot F \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 635.96\,kN$ $fyd = 43.48 \cdot \frac{kN}{cm^2}$

$As_4 = \frac{T}{fyd} = 14.63\,cm^2$

$As_{fretagem} = As_1 = 0.95\,cm^2$

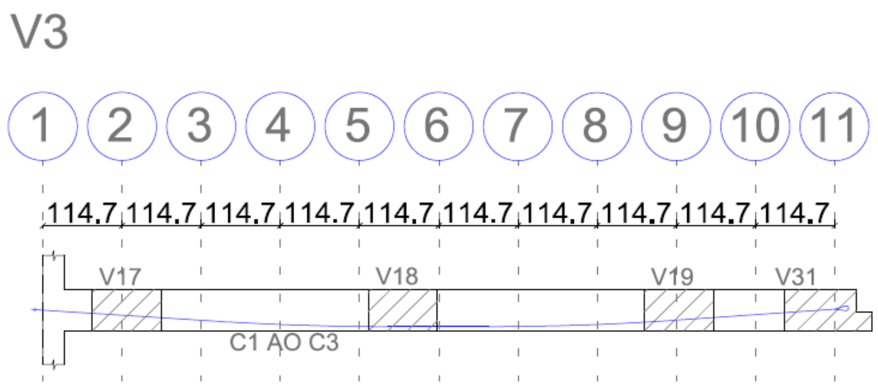
Adotado espiral ø8mm - 5 passos por cabo em cada trecho de ancoragem ativa e passiva.

$As_{estribos} = \frac{\max(As_2, As_4)}{4} = 4.24\,cm^2$

$L = \max(a_1, a_2) = 60\,cm$ $bitola_{estribo} = 12.5mm$ $adotados = ceil\left(\frac{As_{estribos}}{bitola_{estribo}^2}\right) = 3$

Estribos duplos $adotados = 3$ ø12.5mm em cada trecho de ancoragem ativa e passiva distribuídos em $L = 60\,cm$

BLOCO B
V3 (1° PAVIMENTO) - CABOS C1 a C3



CABOS C1=C2=C3 (4ø15.2mm)

$t = \text{tonne}$

$\text{Área}_{\text{teórica\_aço}} = 143.4\text{mm}^2$ $\quad$ $\text{fptk} = \dfrac{265.8\text{kN}}{\text{Área}_{\text{teórica\_aço}}} = 1853.56\,\text{MPa}$ $\quad$ $\text{fpyk} = \dfrac{239.2\text{kN}}{\text{Área}_{\text{teórica\_aço}}} = 1668.06\,\text{MPa}$

$\sigma_{pi} = \min(0.74\cdot\text{fptk}, 0.82\cdot\text{fpyk}) = 1367.81\,\text{MPa}$

$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78\cdot\dfrac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$ $\quad$ $\mu = 0.20$ $\quad$ $\beta = 0.01\dfrac{\text{rad}}{\text{m}}$ $\quad$ $e = 2.72$ $\quad$ $L = 11.47\text{m}$

$\kappa = \beta\cdot\mu = 0.002\cdot\dfrac{\text{rad}}{\text{m}}$ $\quad$ $n = 11$ $\quad$ $i = 1, 2 .. n$

$$S = 0\text{cm}, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 114.7 \\ 229.4 \\ 344.1 \\ 458.8 \\ 573.5 \\ 688.2 \\ 802.9 \\ 917.6 \\ 1032.3 \\ 1147 \end{pmatrix}\text{cm} \qquad \Delta\alpha_{\text{elevação}} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1.61 \\ 1.06 \\ 1.02 \\ 0 \\ 3.12 \\ 0.9 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}°$$

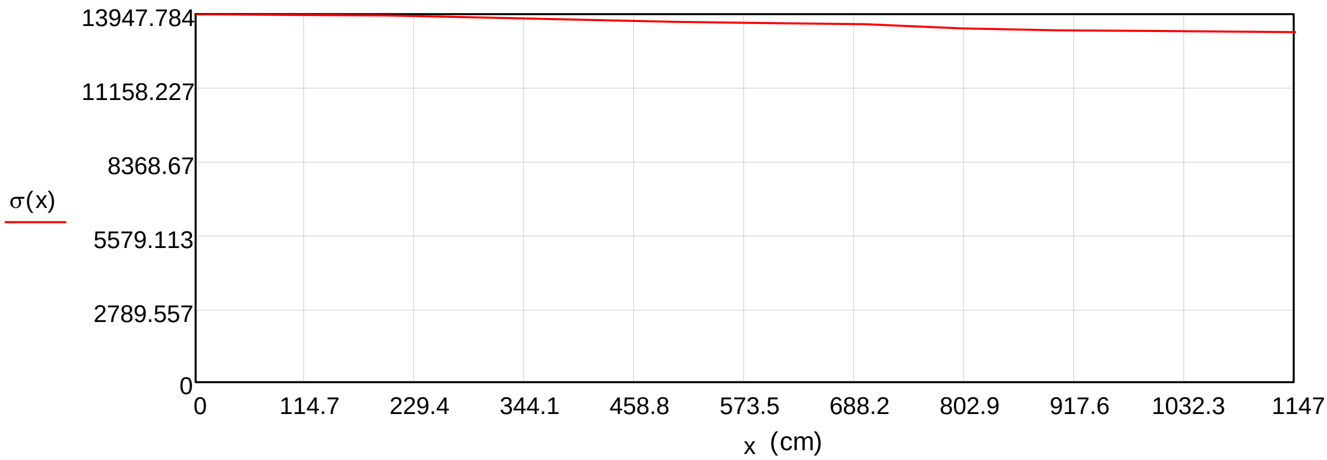
$$\alpha_i = \begin{cases} 0\text{rad} & \text{if } i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \Delta\alpha_{\text{elevação}_i} & \text{if } i > 1 \\ i\cdot\text{rad} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13915.82 \\ 13883.94 \\ 13774.49 \\ 13692.18 \\ 13612.25 \\ 13581.06 \\ 13403.17 \\ 13330.51 \\ 13299.97 \\ 13269.49 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$$a = cspline(S, \sigma_{esq})$$

$$\sigma(x) = interp\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$$



$$Área = \int_0^L \sigma(x)\, dx \qquad Área = 156104.57 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$\sigma_m = \frac{Área}{L} \qquad \sigma_m = 13609.81 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$$L_{cabo} = 12.30m \qquad Área_{teórica\_aço} = 143.4 \cdot mm^2 \qquad E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$$

$$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot Área_{teórica\_aço} = 19.5 \cdot t$$

$$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 86 \cdot mm$$

V3 - CÁLCULO DAS ARMADURAS DE FRETAGEM

a_0 = Área da placa de distribuição

d = Distância entre a face do concreto ao eixo da ancoragem

n = Número de ancoragens

$n = 3$

$F_{inicial} = 4 \cdot \sigma_1 \cdot Área_{teórica\_aço} = 784.58\,kN$

$a_0 = 18cm$

$d = 30cm$

$a_1 = 2 \cdot d = 60 \cdot cm$

$F = n \cdot F_{inicial} \cdot \cos(3°) = 2350.5\,kN$

$T = 0.25 \cdot F \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 411.34\,kN$

$fyd = 43.48 \frac{kN}{cm^2}$

$As_1 = \frac{T}{fyd} = 9.46\,cm^2$

$As_{estribos} = \frac{As_1}{4} = 2.37\,cm^2$

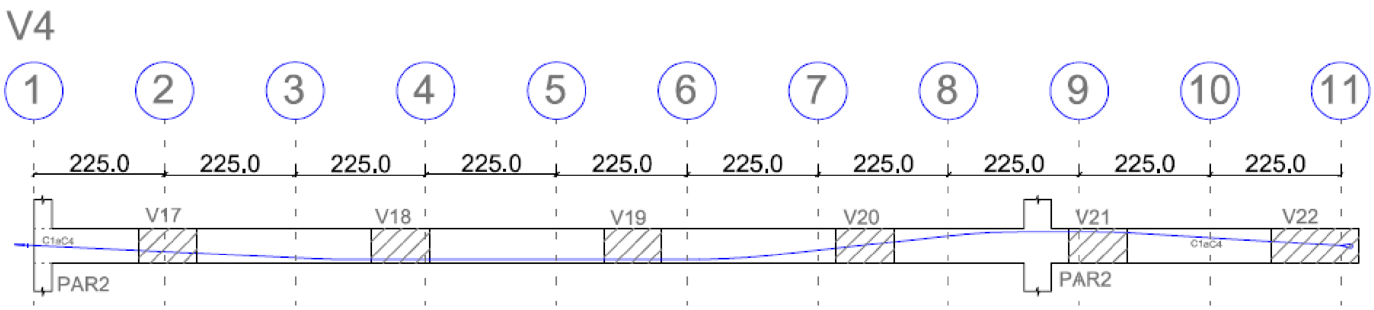
$L = a_1 = 60\,cm$

$bitola_{estribo} = 8mm$

$adotados = ceil\left(\frac{As_{estribos}}{bitola_{estribo}^2}\right) = 4$

Estribos duplos $adotados = 4$ ø8.0mm em cada trecho de ancoragem ativa distribuídos em $L = 60\,cm$

V4 (1° PAVIMENTO) - CABOS C1 a C4



CABOS C1=C2=C3=C4 (4ø15.2mm)

$\text{Área}_{\text{teórica\_aço}} = 143.4\text{mm}^2$ $\quad$ $\text{fptk} = \dfrac{265.8\text{kN}}{\text{Área}_{\text{teórica\_aço}}} = 1853.56\,\text{MPa}$ $\quad$ $\text{fpyk} = \dfrac{239.2\text{kN}}{\text{Área}_{\text{teórica\_aço}}} = 1668.06\,\text{MPa}$

$\sigma_{pi} = \min(0.74\cdot\text{fptk}\,,\,0.82\cdot\text{fpyk}) = 1367.81\,\text{MPa}$

$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78\cdot\dfrac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$ $\quad$ $\mu = 0.20$ $\quad$ $\beta = 0.01\dfrac{\text{rad}}{\text{m}}$ $\quad$ $e = 2.72$ $\quad$ $L = 22.50\text{m}$

$\kappa = \beta\cdot\mu = 0.002\cdot\dfrac{\text{rad}}{\text{m}}$ $\quad$ $n = 11$ $\quad$ $i = 1\,,2\,..\,n$

$$S = 0\text{cm}\,,\,\frac{L}{n-1}\,..\,L = \begin{pmatrix} 0 \\ 225 \\ 450 \\ 675 \\ 900 \\ 1125 \\ 1350 \\ 1575 \\ 1800 \\ 2025 \\ 2250 \end{pmatrix}\text{cm} \qquad \Delta\alpha_{\text{elevação}} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 2.69 \\ 0 \\ 0 \\ 6.24 \\ 0 \\ 6.24 \\ 3.46 \\ 0 \end{pmatrix}°$$

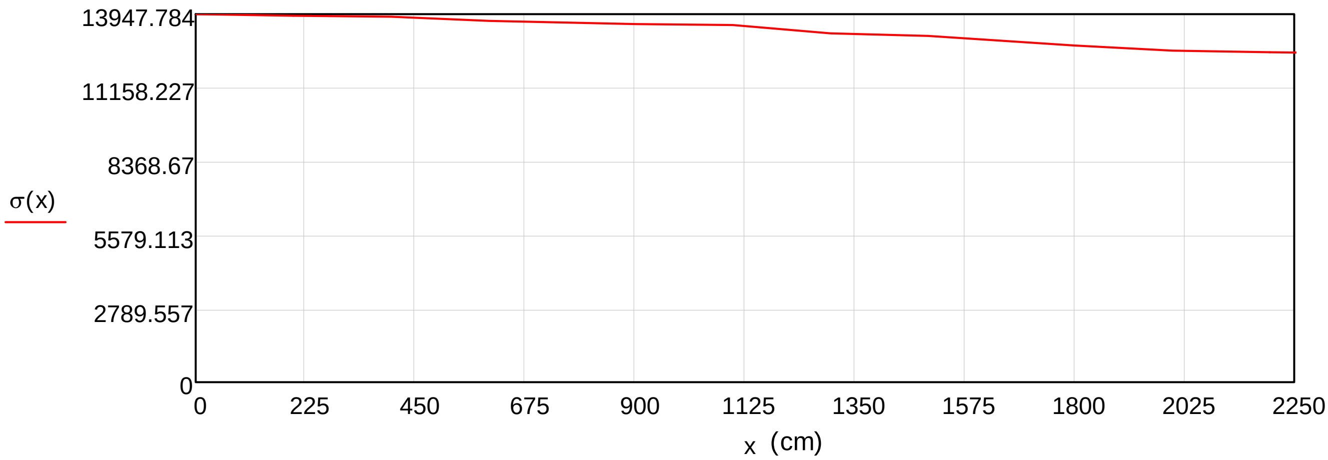
$$\alpha_i = \left| \begin{array}{ll} 0\text{rad} & \text{if } i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \Delta\alpha_{\text{elevação}_i} & \text{if } i > 1 \\ i\cdot\text{rad} & \text{otherwise} \end{array} \right.$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13885.16 \\ 13822.82 \\ 13632.15 \\ 13570.94 \\ 13510.01 \\ 13159.57 \\ 13100.48 \\ 12760.66 \\ 12550.87 \\ 12494.51 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$$a = \text{cspline}(S, \sigma_{esq})$$

$$\sigma(x) = \text{interp}\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$$



$$\text{Área} = \int_0^L \sigma(x)\,dx \qquad \text{Área} = 299710.89 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$\sigma_m = \frac{\text{Área}}{L} \qquad \sigma_m = 13320.48 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$$L_{cabo} = 23.35m \qquad \text{Área}_{teórica\_aço} = 143.4 \cdot mm^2 \qquad E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$$

$$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot \text{Área}_{teórica\_aço} = 19.1 \cdot t$$

$$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 160 \cdot mm$$

V4 - CÁLCULO DAS ARMADURAS DE FRETAGEM

a_0 = Área da placa de distribuição

d = Distância entre a face do concreto ao eixo da ancoragem

n = Número de ancoragens

$n = 4$

$F_{inicial} = 4 \cdot \sigma_1 \cdot Área_{teórica\_aço} = 784.58\,kN$

$a_0 = 18cm$

$d = 30cm$

$a_1 = 2 \cdot d = 60 \cdot cm$

$F = n \cdot F_{inicial} \cdot \cos(3°) = 3134\,kN$

$T = 0.25 \cdot F \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 548.45\,kN$

$fyd = 43.48\,\frac{kN}{cm^2}$

$As_1 = \frac{T}{fyd} = 12.61\,cm^2$

$As_{estribos} = \frac{As_1}{4} = 3.15\,cm^2$

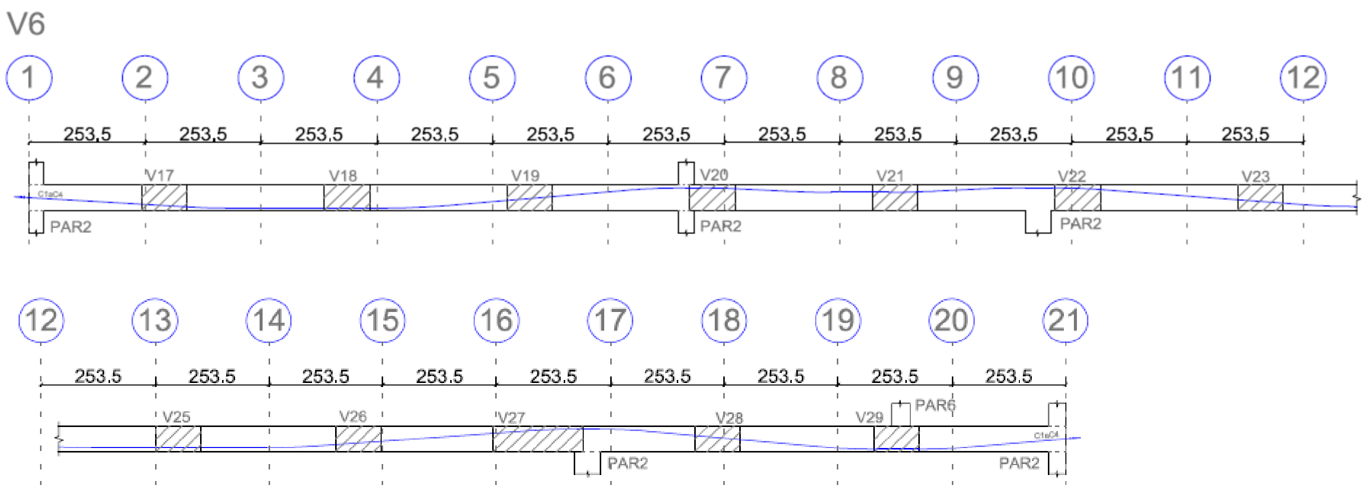
$L = a_1 = 60\,cm$

$bitola_{estribo} = 8mm$

$adotados = ceil\left(\frac{As_{estribos}}{bitola_{estribo}^{\,2}}\right) = 5$

Estribos duplos $adotados = 5$ ø8.0mm em cada trecho de ancoragem ativa distribuídos em $L = 60\,cm$

V6 (1° PAVIMENTO) - CABOS C1 a C4



CABOS C1=C2=C3=C4 (6ø15.2mm)

$t = \text{tonne}$

$\text{Área}_{\text{teórica\_aço}} = 143.4\text{mm}^2$ $\quad$ $\text{fptk} = \dfrac{265.8\text{kN}}{\text{Área}_{\text{teórica\_aço}}} = 1853.56\,\text{MPa}$ $\quad$ $\text{fpyk} = \dfrac{239.2\text{kN}}{\text{Área}_{\text{teórica\_aço}}} = 1668.06\,\text{MPa}$

$\sigma_{pi} = \min(0.74\cdot\text{fptk}, 0.82\cdot\text{fpyk}) = 1367.81\,\text{MPa}$

$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78\cdot\dfrac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$ $\quad$ $\mu = 0.20$ $\quad$ $\beta = 0.01\dfrac{\text{rad}}{\text{m}}$ $\quad$ $e = 2.72$ $\quad$ $L = 50.70\text{m}$

$\kappa = \beta\cdot\mu = 0.002\cdot\dfrac{\text{rad}}{\text{m}}$ $\quad$ $n = 21$ $\quad$ $i = 1, 2 .. n$

$$S = 0cm, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 253.5 \\ 507 \\ 760.5 \\ 1014 \\ 1267.5 \\ 1521 \\ 1774.5 \\ 2028 \\ 2281.5 \\ 2535 \\ 2788.5 \\ 3042 \\ 3295.5 \\ 3549 \\ 3802.5 \\ 4056 \\ 4309.5 \\ 4563 \\ 4816.5 \\ 5070 \end{pmatrix} cm \qquad \Delta\alpha_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 3.46 \\ 0 \\ 5.01 \\ 0 \\ 7.74 \\ 2.73 \\ 2.86 \\ 5.59 \\ 1.64 \\ 1.08 \\ 5.44 \\ 0 \\ 4.12 \\ 0 \\ 4.12 \\ 5.16 \\ 1.55 \\ 10.29 \\ 1.4 \end{pmatrix} ^\circ \qquad \Delta\alpha_{planta} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} ^\circ$$

$$\alpha_i = \left| \begin{array}{ll} 0rad & \text{if } i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \sqrt{\left(\Delta\alpha_{elevação_i}\right)^2 + \left(\Delta\alpha_{planta_i}\right)^2} & \text{if } i > 1 \\ i \cdot rad & \text{otherwise} \end{array} \right.$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13877.25 \\ 13641.31 \\ 13572.33 \\ 13269.59 \\ 13202.48 \\ 12785.57 \\ 12600.26 \\ 12412.01 \\ 12110.6 \\ 11980.58 \\ 11875.14 \\ 11592.84 \\ 11534.21 \\ 11312.02 \\ 11254.82 \\ 11038.01 \\ 10786.15 \\ 10673.7 \\ 10245.04 \\ 10143.54 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$n = 21 \qquad (i = 1, 2 .. n)$

$$\Delta\theta_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1.4 \\ 10.29 \\ 1.55 \\ 5.16 \\ 4.12 \\ 0 \\ 4.12 \\ 0 \\ 5.44 \\ 1.08 \\ 1.64 \\ 5.59 \\ 2.86 \\ 2.73 \\ 7.74 \\ 0 \\ 5.01 \\ 0 \\ 3.46 \\ 0 \end{pmatrix}° \qquad \Delta\theta_{planta} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}°$$

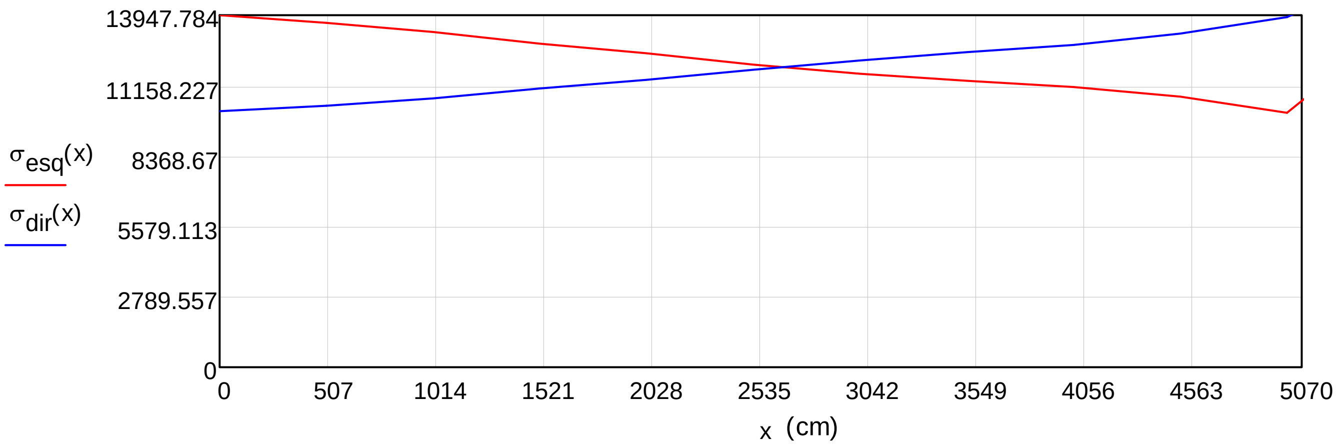
$$\theta_i = \left| \begin{array}{l} 0rad \quad \text{if} \quad i = 1 \\ \theta_{(i-1)} + \sqrt{\left(\Delta\theta_{elevação_i}\right)^2 + \left(\Delta\theta_{planta_i}\right)^2} \quad \text{if} \quad i > 1 \\ i \cdot rad \quad \text{otherwise} \end{array} \right.$$

$$\sigma_{dir} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \theta + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{dir} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13809.6 \\ 13255 \\ 13116.81 \\ 12817.51 \\ 12570.6 \\ 12507.03 \\ 12266.1 \\ 12204.07 \\ 11913.95 \\ 11809.1 \\ 11682.31 \\ 11398.63 \\ 11228.33 \\ 11065.59 \\ 10716.16 \\ 10661.96 \\ 10424.14 \\ 10371.42 \\ 10195.09 \\ 10143.54 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$$a = \text{cspline}(S, \sigma_{esq}) \qquad b = \text{cspline}(S, \sigma_{dir})$$

$$\sigma_{esq}(x) = \text{interp}\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right) \qquad \sigma_{dir}(x) = \text{interp}\left(\frac{b}{g}, S, \frac{\text{reverse}(\sigma_{dir})}{g}, x\right)$$



$c = \frac{L}{2}$

$d = 0m$

Given

$d = \sigma_{esq}(c)$

$d = \sigma_{dir}(c)$

$$\begin{pmatrix} \text{interseção} \\ \sigma_{\text{interseção}} \end{pmatrix} = \text{Find}(c, d)$$

$\text{interseção} = 2744.85 \cdot cm$

$\sigma_{\text{interseção}} = 11909.788215 \cdot \frac{kg}{cm^2}$

$$\text{Área}_1 = \int_0^{\text{interseção}} \sigma_{esq}(x)\, dx$$

$\text{Área}_1 = 355795.73 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$

$$\text{Área}_2 = \int_{\text{interseção}}^{L} \sigma_{dir}(x)\, dx$$

$\text{Área}_2 = 297851.21 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$

$$\text{Área} = (\text{Área}_1) + (\text{Área}_2)$$

$\text{Área} = 653646.94 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$

$$\sigma_m = \frac{\text{Área}}{L}$$

$\sigma_m = 12892.44 \cdot \frac{kg}{cm^2}$

$L_{cabo} = 52.40m$

$\text{Área}_{\text{teórica\_aço}} = 143.4 \cdot mm^2$

$E_{\text{teórico\_aço}} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$

$$F_{\text{média\_cabo}} = \sigma_m \cdot \text{Área}_{\text{teórica\_aço}} = 18.5 \cdot t$$

$$\Delta L_{\text{teórico}} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{\text{teórico\_aço}}} = 346 \cdot mm$$

V6 - CÁLCULO DAS ARMADURAS DE FRETAGEM

a_0 = Área da placa de distribuição

d = Distância entre a face do concreto ao eixo da ancoragem

n = Número de ancoragens

$n = 4$

$F_{inicial} = 6 \cdot \sigma_1 \cdot Área_{teórica\_aço} = 1176.86\,kN$

$a_0 = 22cm$

$d = 30cm$

$a_1 = 2 \cdot d = 60 \cdot cm$

$F = n \cdot F_{inicial} \cdot \cos(3°) = 4701\,kN$

$T = 0.25 \cdot F \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 744.33\,kN$

$fyd = 43.48\,\frac{kN}{cm^2}$

$As_1 = \frac{T}{fyd} = 17.12\,cm^2$

$As_{estribos} = \frac{As_1}{4} = 4.28\,cm^2$

$L = a_1 = 60\,cm$

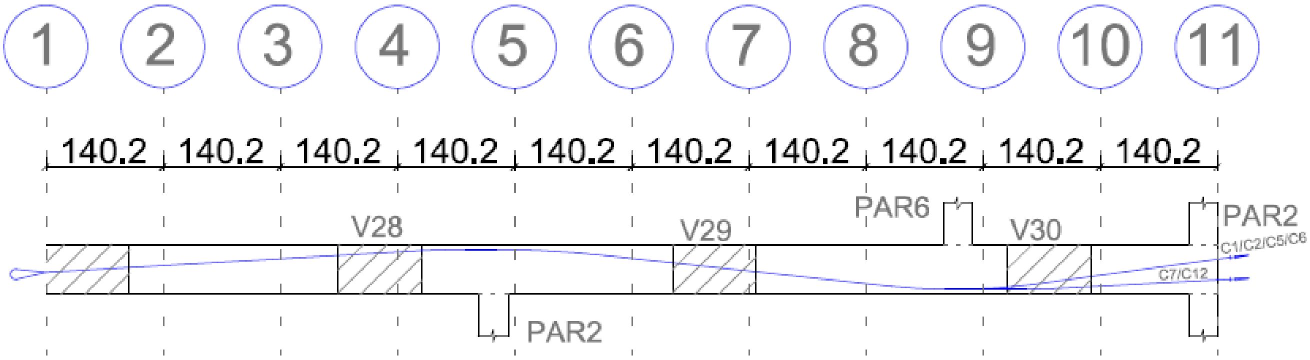
$bitola_{estribo} = 8mm$

$adotados = ceil\left(\frac{As_{estribos}}{bitola_{estribo}^{\;2}}\right) = 7$

Estribos duplos $adotados = 7$ ø8.0mm em cada trecho de ancoragem ativa distribuídos em $L = 60\,cm$

V7 (1° PAVIMENTO) - CABOS C1 a C12

CABOS C1=C2=C5=C6 (6ø15.2mm)



$t = \text{tonne}$

$\text{Área}_{\text{teórica\_aço}} = 143.4\text{mm}^2 \qquad \text{fptk} = \dfrac{265.8\text{kN}}{\text{Área}_{\text{teórica\_aço}}} = 1853.56\,\text{MPa} \qquad \text{fpyk} = \dfrac{239.2\text{kN}}{\text{Área}_{\text{teórica\_aço}}} = 1668.06\,\text{MPa}$

$\sigma_{pi} = \min(0.74 \cdot \text{fptk}, 0.82 \cdot \text{fpyk}) = 1367.81\,\text{MPa}$

$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78 \cdot \dfrac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \qquad \mu = 0.20 \qquad \beta = 0.01 \dfrac{\text{rad}}{\text{m}} \qquad e = 2.72 \qquad L = 14.02\text{m}$

$\kappa = \beta \cdot \mu = 0.002 \cdot \dfrac{\text{rad}}{\text{m}} \qquad n = 11 \qquad i = 1, 2 .. n$

$$S = 0\text{cm}, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 140.2 \\ 280.4 \\ 420.6 \\ 560.8 \\ 701 \\ 841.2 \\ 981.4 \\ 1121.6 \\ 1261.8 \\ 1402 \end{pmatrix} \text{cm} \qquad \Delta\alpha_{\text{elevação}} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 6.73 \\ 2.85 \\ 0 \\ 0 \\ 8.12 \\ 6 \\ 0 \end{pmatrix} ^\circ$$

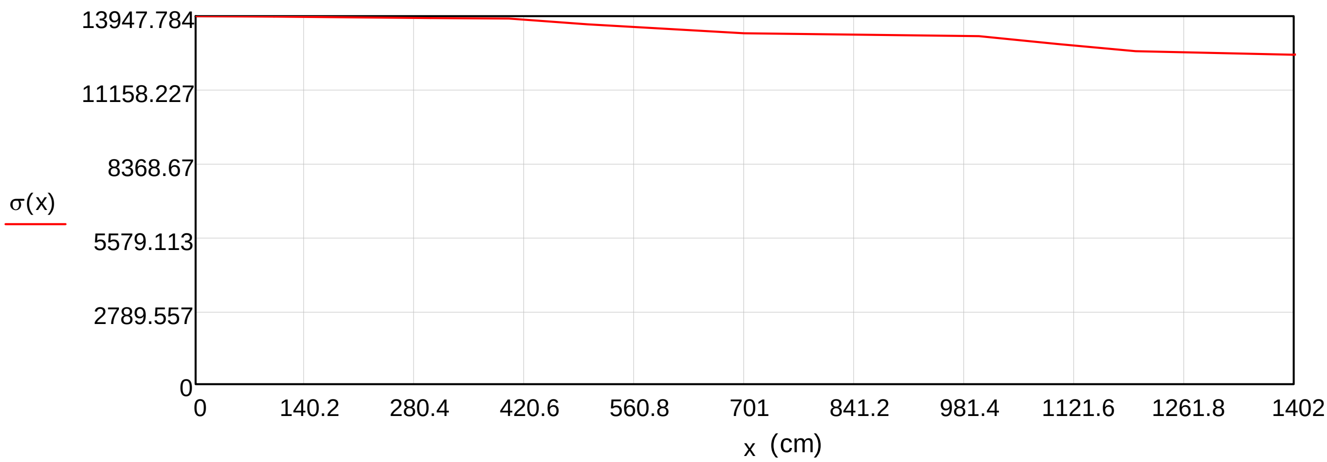
$$\alpha_i = \left| \begin{array}{ll} 0\text{rad} & \text{if } i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \Delta\alpha_{\text{elevação}_i} & \text{if } i > 1 \\ i \cdot \text{rad} & \text{otherwise} \end{array} \right.$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13908.73 \\ 13869.78 \\ 13830.95 \\ 13471.99 \\ 13301.28 \\ 13264.03 \\ 13226.89 \\ 12821.25 \\ 12520.36 \\ 12485.3 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$$a = cspline(S, \sigma_{esq})$$

$$\sigma(x) = interp\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$$



$$\text{Área} = \int_0^L \sigma(x)\,dx \qquad \text{Área} = 187060.99 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$\sigma_m = \frac{\text{Área}}{L} \qquad \sigma_m = 13342.44 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$$L_{cabo} = 14.85m \qquad \text{Área}_{teórica\_aço} = 143.4 \cdot mm^2 \qquad E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$$

$$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot \text{Área}_{teórica\_aço} = 19.1 \cdot t$$

$$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 102 \cdot mm$$

CABOS C7=C12 (6ø15.2mm)

$$Área_{teórica\_aço} = 143.4mm^2 \qquad fptk = \frac{265.8kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1853.56\,MPa \qquad fpyk = \frac{239.2kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1668.06\,MPa$$

$$\sigma_{pi} = \min(0.74 \cdot fptk, 0.82 \cdot fpyk) = 1367.81\,MPa$$

$$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78 \cdot \frac{kgf}{cm^2} \qquad \mu = 0.20 \qquad \beta = 0.01\frac{rad}{m} \qquad e = 2.72 \qquad L = 14.02m$$

$$\kappa = \beta \cdot \mu = 0.002 \cdot \frac{rad}{m} \qquad n = 11 \qquad i = 1, 2 .. n$$

$$S = 0cm, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 140.2 \\ 280.4 \\ 420.6 \\ 560.8 \\ 701 \\ 841.2 \\ 981.4 \\ 1121.6 \\ 1261.8 \\ 1402 \end{pmatrix} cm \qquad \Delta\alpha_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 3.37 \\ 6.21 \\ 0 \\ 0 \\ 6.21 \\ 3.08 \\ 0 \end{pmatrix} ^\circ$$

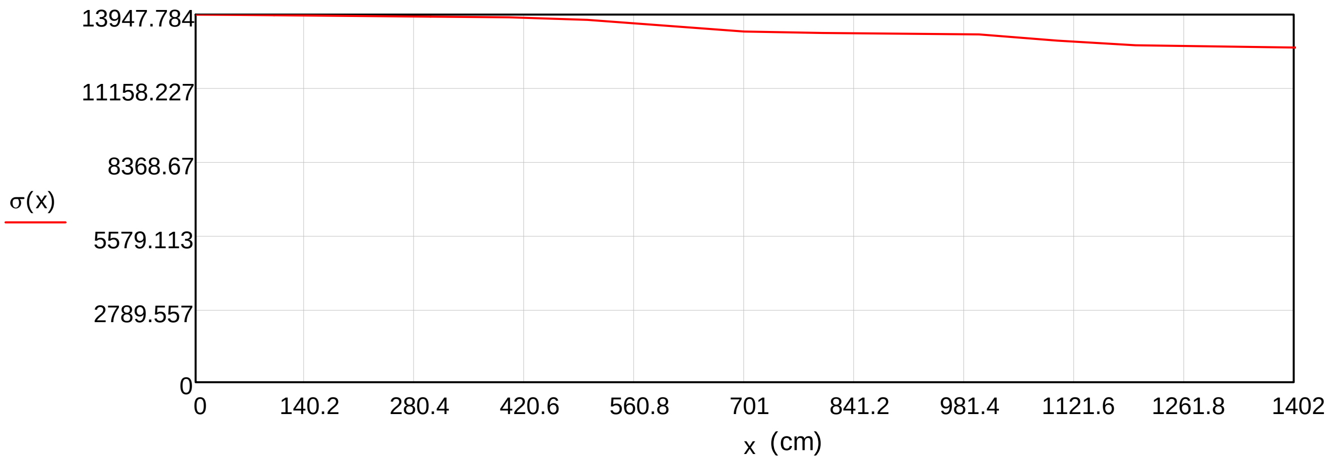
$$\alpha_i = \begin{vmatrix} 0rad \quad \text{if} \quad i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \Delta\alpha_{elevação_i} \quad \text{if} \quad i > 1 \\ i \cdot rad \quad \text{otherwise} \end{vmatrix}$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13908.73 \\ 13869.78 \\ 13830.95 \\ 13630.92 \\ 13301.28 \\ 13264.03 \\ 13226.89 \\ 12907.02 \\ 12733.24 \\ 12697.59 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$$a = \text{cspline}(S, \sigma_{esq})$$

$$\sigma(x) = \text{interp}\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$$



$$\text{Área} = \int_0^L \sigma(x)\,dx \qquad \text{Área} = 187861.74 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

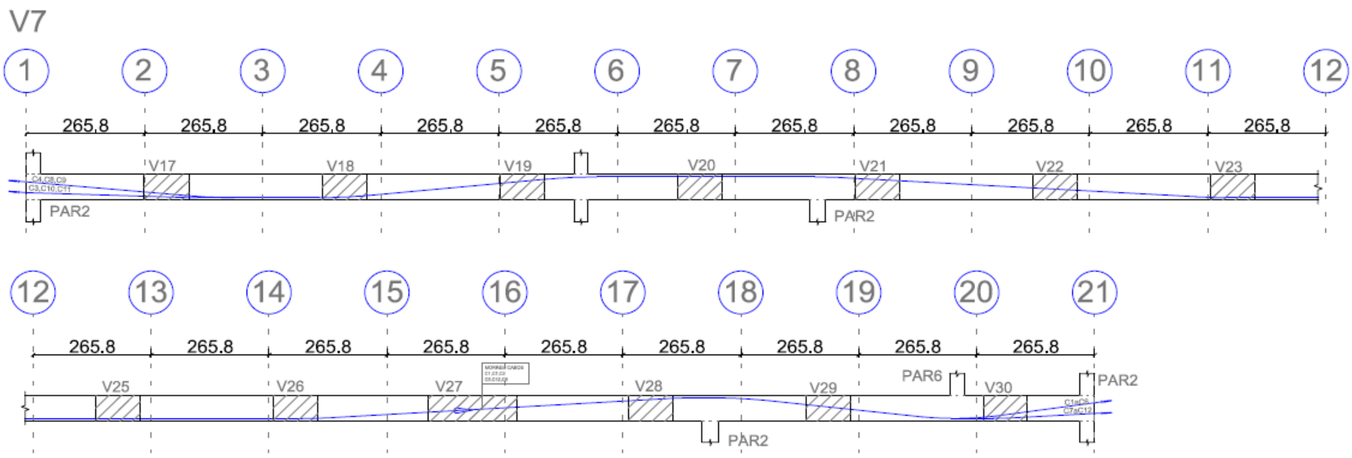
$$\sigma_m = \frac{\text{Área}}{L} \qquad \sigma_m = 13399.55 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$$L_{cabo} = 14.85m \qquad \text{Área}_{teórica\_aço} = 143.4 \cdot mm^2 \qquad E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$$

$$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot \text{Área}_{teórica\_aço} = 19.2 \cdot t$$

$$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 102 \cdot mm$$

CABO C3 (6ø15.2mm)



$t = \text{tonne}$

$\text{Área}_{\text{teórica\_aço}} = 143.4\text{mm}^2$ $\quad$ $\text{fptk} = \dfrac{265.8\text{kN}}{\text{Área}_{\text{teórica\_aço}}} = 1853.56\,\text{MPa}$ $\quad$ $\text{fpyk} = \dfrac{239.2\text{kN}}{\text{Área}_{\text{teórica\_aço}}} = 1668.06\,\text{MPa}$

$\sigma_{pi} = \min(0.74\cdot\text{fptk}, 0.82\cdot\text{fpyk}) = 1367.81\,\text{MPa}$

$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78\cdot\dfrac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$ $\quad$ $\mu = 0.20$ $\quad$ $\beta = 0.01\dfrac{\text{rad}}{\text{m}}$ $\quad$ $e = 2.72$ $\quad$ $L = 53.16\text{m}$

$\kappa = \beta\cdot\mu = 0.002\cdot\dfrac{\text{rad}}{\text{m}}$ $\quad$ $n = 21$ $\quad$ $i = 1, 2 .. n$

$$S = 0cm, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 265.8 \\ 531.6 \\ 797.4 \\ 1063.2 \\ 1329 \\ 1594.8 \\ 1860.6 \\ 2126.4 \\ 2392.2 \\ 2658 \\ 2923.8 \\ 3189.6 \\ 3455.4 \\ 3721.2 \\ 3987 \\ 4252.8 \\ 4518.6 \\ 4784.4 \\ 5050.2 \\ 5316 \end{pmatrix} cm \qquad \Delta\alpha_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1.82 \\ 5.36 \\ 0 \\ 5.36 \\ 0 \\ 3.2 \\ 0 \\ 0 \\ 0.37 \\ 3.58 \\ 0 \\ 0 \\ 3.37 \\ 0 \\ 0 \\ 6.94 \\ 2.64 \\ 8.12 \\ 6 \end{pmatrix}° \qquad \Delta\alpha_{planta} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}°$$

$$\alpha_i = \left| \begin{array}{l} 0rad \quad \text{if} \quad i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \sqrt{\left(\Delta\alpha_{elevação_i}\right)^2 + \left(\Delta\alpha_{planta_i}\right)^2} \quad \text{if} \quad i > 1 \\ i \cdot rad \quad \text{otherwise} \end{array} \right.$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13873.83 \\ 13712.88 \\ 13387.34 \\ 13316.36 \\ 13000.24 \\ 12931.31 \\ 12719.87 \\ 12652.43 \\ 12585.35 \\ 12502.47 \\ 12281.74 \\ 12216.62 \\ 12151.85 \\ 11946.07 \\ 11882.73 \\ 11819.73 \\ 11475.67 \\ 11310.12 \\ 10935.75 \\ 10652.32 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$n = 21 \qquad i = 1, 2 .. n$

$$\Delta\theta_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 6 \\ 8.12 \\ 2.64 \\ 6.94 \\ 0 \\ 0 \\ 3.37 \\ 0 \\ 0 \\ 3.58 \\ 0.37 \\ 0 \\ 0 \\ 3.2 \\ 0 \\ 5.36 \\ 0 \\ 5.36 \\ 1.82 \\ 0 \end{pmatrix}^{\circ} \qquad \Delta\theta_{planta} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}^{\circ}$$

$$\theta_i = \left| \begin{array}{l} 0\text{rad} \quad \text{if} \quad i = 1 \\ \theta_{(i-1)} + \sqrt{\left(\Delta\theta_{elevação_i}\right)^2 + \left(\Delta\theta_{planta_i}\right)^2} \quad \text{if} \quad i > 1 \\ i \cdot \text{rad} \quad \text{otherwise} \end{array} \right.$$

$$\sigma_{dir} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \theta + \kappa \cdot S)}$$

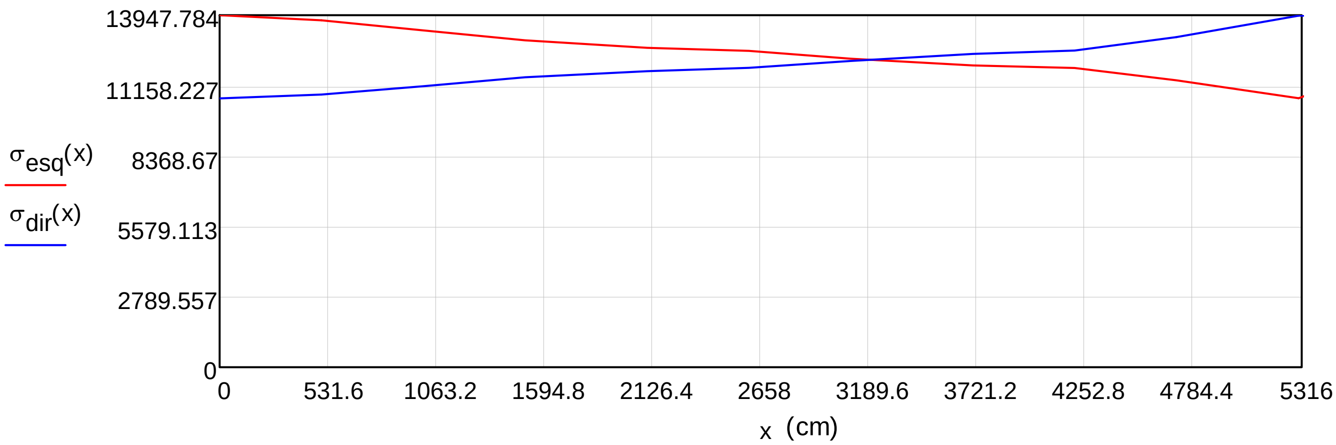
$$\sigma_{dir} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13586.28 \\ 13136.58 \\ 12947.07 \\ 12570.19 \\ 12503.54 \\ 12437.25 \\ 12226.63 \\ 12161.81 \\ 12097.33 \\ 11883.75 \\ 11805.49 \\ 11742.9 \\ 11680.64 \\ 11489.65 \\ 11428.73 \\ 11157.42 \\ 11098.26 \\ 10834.79 \\ 10709.1 \\ 10652.32 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$a = \text{cspline}(S, \sigma_{esq})$

$b = \text{cspline}(S, \sigma_{dir})$

$$\sigma_{esq}(x) = \text{interp}\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$$

$$\sigma_{dir}(x) = \text{interp}\left(\frac{b}{g}, S, \frac{\text{reverse}(\sigma_{dir})}{g}, x\right)$$



$c = \frac{L}{2}$ $\quad d = 0m$

Given

$d = \sigma_{esq}(c)$ $\quad d = \sigma_{dir}(c)$

$$\begin{pmatrix} interseção \\ \sigma_{interseção} \end{pmatrix} = Find(c, d)$$

$interseção = 3310.41 \cdot cm$

$$\sigma_{interseção} = 12204.269501 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$$Área_1 = \int_0^{interseção} \sigma_{esq}(x)\, dx \qquad Área_1 = 429498.08 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$Área_2 = \int_{interseção}^{L} \sigma_{dir}(x)\, dx \qquad Área_2 = 257640.7 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$Área = (Área_1) + (Área_2) \qquad Área = 687138.78 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$\sigma_m = \frac{Área}{L} \qquad \sigma_m = 12925.86 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$L_{cabo} = 54.90m$ $\quad Área_{teórica\_aço} = 143.4 \cdot mm^2$ $\quad E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$

$$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot Área_{teórica\_aço} = 18.5 \cdot t$$

$$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 364 \cdot mm$$

CABO C4 (6ø15.2mm)

$Área_{teórica\_aço} = 143.4mm^2$ $fptk = \frac{265.8kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1853.56\,MPa$ $fpyk = \frac{239.2kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1668.06\,MPa$

$\sigma_{pi} = \min(0.74 \cdot fptk, 0.82 \cdot fpyk) = 1367.81\,MPa$

$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78 \cdot \frac{kgf}{cm^2}$ $\mu = 0.20$ $\beta = 0.01\frac{rad}{m}$ $e = 2.72$ $L = 53.16m$

$\kappa = \beta \cdot \mu = 0.002 \cdot \frac{rad}{m}$ $n = 21$ $i = 1, 2 .. n$

$$S = 0cm, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 265.8 \\ 531.6 \\ 797.4 \\ 1063.2 \\ 1329 \\ 1594.8 \\ 1860.6 \\ 2126.4 \\ 2392.2 \\ 2658 \\ 2923.8 \\ 3189.6 \\ 3455.4 \\ 3721.2 \\ 3987 \\ 4252.8 \\ 4518.6 \\ 4784.4 \\ 5050.2 \\ 5316 \end{pmatrix} cm \qquad \Delta\alpha_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 5.04 \\ 5.36 \\ 0 \\ 5.36 \\ 0 \\ 3.2 \\ 0 \\ 0 \\ 0.37 \\ 3.58 \\ 0 \\ 0 \\ 3.37 \\ 0 \\ 0 \\ 6.94 \\ 2.64 \\ 8.12 \\ 6 \end{pmatrix} ° \qquad \Delta\alpha_{planta} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} °$$

$$\alpha_i = \begin{vmatrix} 0rad \quad \text{if} \quad i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \sqrt{\left(\Delta\alpha_{elevação_i}\right)^2 + \left(\Delta\alpha_{planta_i}\right)^2} \quad \text{if} \quad i > 1 \\ i \cdot rad \quad \text{otherwise} \end{vmatrix}$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13873.83 \\ 13559.61 \\ 13237.71 \\ 13167.53 \\ 12854.94 \\ 12786.78 \\ 12577.7 \\ 12511.02 \\ 12444.69 \\ 12362.73 \\ 12144.47 \\ 12080.08 \\ 12016.03 \\ 11812.55 \\ 11749.92 \\ 11687.62 \\ 11347.4 \\ 11183.7 \\ 10813.52 \\ 10533.26 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$n = 21 \qquad i = 1, 2 .. n$

$$\Delta\theta_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 6 \\ 8.12 \\ 2.64 \\ 6.94 \\ 0 \\ 0 \\ 3.37 \\ 0 \\ 0 \\ 3.58 \\ 0.37 \\ 0 \\ 0 \\ 3.2 \\ 0 \\ 5.36 \\ 0 \\ 5.36 \\ 5.04 \\ 0 \end{pmatrix} ° \qquad \Delta\theta_{planta} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} °$$

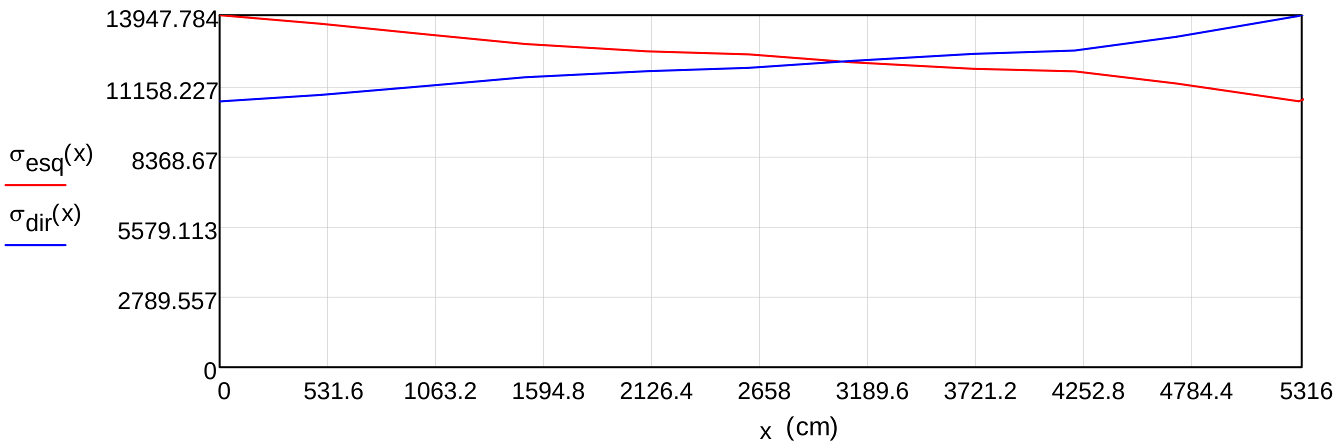
$$\theta_i = \left| \begin{array}{l} 0rad \quad \text{if} \quad i = 1 \\ \theta_{(i-1)} + \sqrt{\left(\Delta\theta_{elevação_i}\right)^2 + \left(\Delta\theta_{planta_i}\right)^2} \quad \text{if} \quad i > 1 \\ i \cdot rad \quad \text{otherwise} \end{array} \right.$$

$$\sigma_{dir} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \theta + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{dir} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13586.28 \\ 13136.58 \\ 12947.07 \\ 12570.19 \\ 12503.54 \\ 12437.25 \\ 12226.63 \\ 12161.81 \\ 12097.33 \\ 11883.75 \\ 11805.49 \\ 11742.9 \\ 11680.64 \\ 11489.65 \\ 11428.73 \\ 11157.42 \\ 11098.26 \\ 10834.79 \\ 10589.4 \\ 10533.26 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$$a = \mathrm{cspline}(S, \sigma_{esq}) \qquad b = \mathrm{cspline}(S, \sigma_{dir})$$

$$\sigma_{esq}(x) = \mathrm{interp}\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right) \qquad \sigma_{dir}(x) = \mathrm{interp}\left(\frac{b}{g}, S, \frac{\mathrm{reverse}(\sigma_{dir})}{g}, x\right)$$



$c = \frac{L}{2}$ $\qquad$ $d = 0m$

Given

$d = \sigma_{esq}(c)$ $\qquad$ $d = \sigma_{dir}(c)$

$$\begin{pmatrix} interseção \\ \sigma_{interseção} \end{pmatrix} = Find(c, d)$$

$interseção = 2987.2 \cdot cm$

$$\sigma_{interseção} = 12112.991418 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$$Área_1 = \int_0^{interseção} \sigma_{esq}(x)\,dx \qquad Área_1 = 386306.52 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$Área_2 = \int_{interseção}^{L} \sigma_{dir}(x)\,dx \qquad Área_2 = 296882.87 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$Área = (Área_1) + (Área_2) \qquad Área = 683189.4 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$\sigma_m = \frac{Área}{L} \qquad \sigma_m = 12851.57 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$L_{cabo} = 54.90m$ $\qquad$ $Área_{teórica\_aço} = 143.4 \cdot mm^2$ $\qquad$ $E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$

$$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot Área_{teórica\_aço} = 18.4 \cdot t$$

$$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 362 \cdot mm$$

CABOS C8=C9 (6ø15.2mm)

$\text{Área}_{\text{teórica\_aço}} = 143.4\text{mm}^2$ $\quad \text{fptk} = \frac{265.8\text{kN}}{\text{Área}_{\text{teórica\_aço}}} = 1853.56\,\text{MPa}$ $\quad \text{fpyk} = \frac{239.2\text{kN}}{\text{Área}_{\text{teórica\_aço}}} = 1668.06\,\text{MPa}$

$\sigma_{pi} = \min(0.74\cdot\text{fptk}, 0.82\cdot\text{fpyk}) = 1367.81\,\text{MPa}$

$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78\cdot\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$ $\quad \mu = 0.20$ $\quad \beta = 0.01\frac{\text{rad}}{\text{m}}$ $\quad e = 2.72$ $\quad L = 53.16\text{m}$

$\kappa = \beta\cdot\mu = 0.002\cdot\frac{\text{rad}}{\text{m}}$ $\quad n = 21$ $\quad i = 1, 2..n$

$$S = 0\text{cm}, \frac{L}{n-1}..L = \begin{pmatrix} 0 \\ 265.8 \\ 531.6 \\ 797.4 \\ 1063.2 \\ 1329 \\ 1594.8 \\ 1860.6 \\ 2126.4 \\ 2392.2 \\ 2658 \\ 2923.8 \\ 3189.6 \\ 3455.4 \\ 3721.2 \\ 3987 \\ 4252.8 \\ 4518.6 \\ 4784.4 \\ 5050.2 \\ 5316 \end{pmatrix}\text{cm} \quad \Delta\alpha_{\text{elevação}} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 5.04 \\ 5.36 \\ 0 \\ 5.36 \\ 0 \\ 3.2 \\ 0 \\ 0 \\ 0.16 \\ 3.37 \\ 0 \\ 0 \\ 3.37 \\ 0 \\ 0 \\ 6.73 \\ 2.85 \\ 6.21 \\ 3.08 \end{pmatrix}° \quad \Delta\alpha_{\text{planta}} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}°$$

$$\alpha_i = \begin{cases} 0\text{rad} & \text{if } i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \sqrt{\left(\Delta\alpha_{\text{elevação}_i}\right)^2 + \left(\Delta\alpha_{\text{planta}_i}\right)^2} & \text{if } i > 1 \\ i\cdot\text{rad} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13873.83 \\ 13559.61 \\ 13237.71 \\ 13167.53 \\ 12854.94 \\ 12786.78 \\ 12577.7 \\ 12511.02 \\ 12444.69 \\ 12371.79 \\ 12162.28 \\ 12097.8 \\ 12033.66 \\ 11829.88 \\ 11767.16 \\ 11704.77 \\ 11372.39 \\ 11200.11 \\ 10901.83 \\ 10728.07 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$n = 21 \qquad i = 1, 2 .. n$

$$\Delta\theta_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 3.08 \\ 6.21 \\ 2.85 \\ 6.73 \\ 0 \\ 0 \\ 3.37 \\ 0 \\ 0 \\ 3.37 \\ 0.16 \\ 0 \\ 0 \\ 3.2 \\ 0 \\ 5.36 \\ 0 \\ 5.36 \\ 5.04 \\ 0 \end{pmatrix}° \qquad \Delta\theta_{planta} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}°$$

$$\theta_i = \left| \begin{array}{l} 0rad \quad \text{if} \quad i = 1 \\ \theta_{(i-1)} + \sqrt{\left(\Delta\theta_{elevação_i}\right)^2 + \left(\Delta\theta_{planta_i}\right)^2} \quad \text{if} \quad i > 1 \\ i \cdot rad \quad \text{otherwise} \end{array} \right.$$

$$\sigma_{dir} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \theta + \kappa \cdot S)}$$

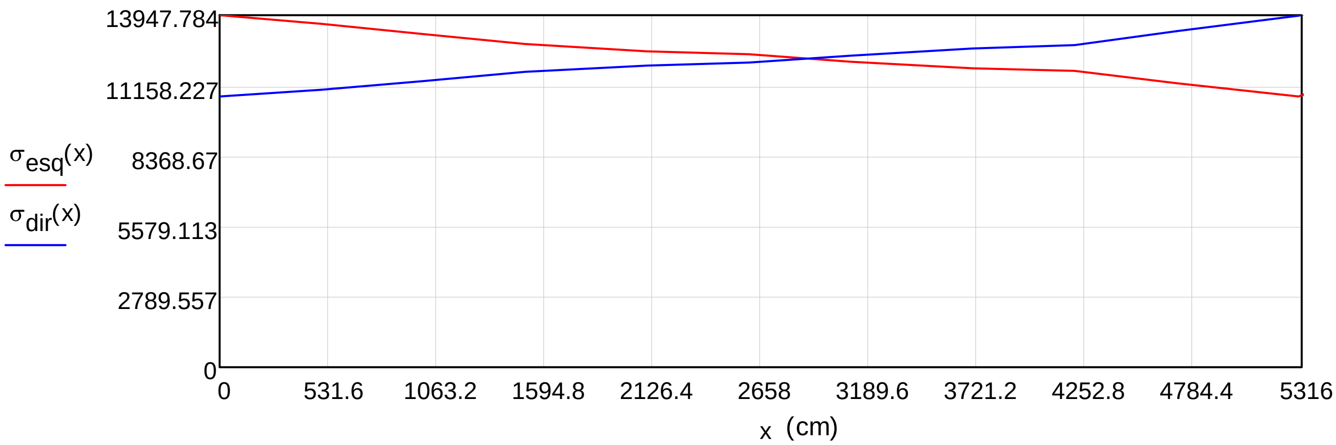
$$\sigma_{dir} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13725.47 \\ 13359.94 \\ 13157.55 \\ 12783.92 \\ 12716.14 \\ 12648.72 \\ 12434.52 \\ 12368.59 \\ 12303.02 \\ 12094.67 \\ 12023.83 \\ 11960.08 \\ 11896.67 \\ 11702.15 \\ 11640.1 \\ 11363.77 \\ 11303.52 \\ 11035.18 \\ 10785.25 \\ 10728.07 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$a = \text{cspline}(S, \sigma_{esq})$

$b = \text{cspline}(S, \sigma_{dir})$

$\sigma_{esq}(x) = \text{interp}\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$

$\sigma_{dir}(x) = \text{interp}\left(\frac{b}{g}, S, \frac{\text{reverse}(\sigma_{dir})}{g}, x\right)$



$c = \frac{L}{2}$ $\qquad$ $d = 0m$

Given

$d = \sigma_{esq}(c)$ $\qquad$ $d = \sigma_{dir}(c)$

$$\begin{pmatrix} interseção \\ \sigma_{interseção} \end{pmatrix} = Find(c, d)$$

$interseção = 2837.82 \cdot cm$

$$\sigma_{interseção} = 12226.641818 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$$Área_1 = \int_0^{interseção} \sigma_{esq}(x)\,dx \qquad Área_1 = 368180.77 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$Área_2 = \int_{interseção}^{L} \sigma_{dir}(x)\,dx \qquad Área_2 = 319697.32 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$Área = (Área_1) + (Área_2) \qquad Área = 687878.09 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$\sigma_m = \frac{Área}{L} \qquad \sigma_m = 12939.77 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$L_{cabo} = 54.90m$ $\qquad$ $Área_{teórica\_aço} = 143.4 \cdot mm^2$ $\qquad$ $E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$

$$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot Área_{teórica\_aço} = 18.6 \cdot t$$

$$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 364 \cdot mm$$

CABOS C10=C11 (6ø15.2mm)

$Área_{teórica\_aço} = 143.4mm^2$ $\quad fptk = \frac{265.8kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1853.56\,MPa$ $\quad fpyk = \frac{239.2kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1668.06\,MPa$

$\sigma_{pi} = \min(0.74\cdot fptk, 0.82\cdot fpyk) = 1367.81\,MPa$

$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78\cdot\frac{kgf}{cm^2}$ $\quad \mu = 0.20$ $\quad \beta = 0.01\frac{rad}{m}$ $\quad e = 2.72$ $\quad L = 53.16m$

$\kappa = \beta\cdot\mu = 0.002\cdot\frac{rad}{m}$ $\quad n = 21$ $\quad i = 1, 2..n$

$$S = 0cm, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 265.8 \\ 531.6 \\ 797.4 \\ 1063.2 \\ 1329 \\ 1594.8 \\ 1860.6 \\ 2126.4 \\ 2392.2 \\ 2658 \\ 2923.8 \\ 3189.6 \\ 3455.4 \\ 3721.2 \\ 3987 \\ 4252.8 \\ 4518.6 \\ 4784.4 \\ 5050.2 \\ 5316 \end{pmatrix} cm \qquad \Delta\alpha_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1.82 \\ 5.36 \\ 0 \\ 5.36 \\ 0 \\ 3.2 \\ 0 \\ 0 \\ 0.37 \\ 3.58 \\ 0 \\ 0 \\ 3.37 \\ 0 \\ 0 \\ 6.73 \\ 2.85 \\ 6.21 \\ 3.08 \end{pmatrix}° \qquad \Delta\alpha_{planta} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}°$$

$$\alpha_i = \begin{cases} 0rad & \text{if } i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \sqrt{\left(\Delta\alpha_{elevação_i}\right)^2 + \left(\Delta\alpha_{planta_i}\right)^2} & \text{if } i > 1 \\ i\cdot rad & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13873.83 \\ 13712.88 \\ 13387.34 \\ 13316.36 \\ 13000.24 \\ 12931.31 \\ 12719.87 \\ 12652.43 \\ 12585.35 \\ 12502.47 \\ 12281.74 \\ 12216.62 \\ 12151.85 \\ 11946.07 \\ 11882.73 \\ 11819.73 \\ 11484.08 \\ 11310.12 \\ 11008.91 \\ 10833.44 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$n = 21$ $\quad\quad\quad\quad$ $i = 1, 2 .. n$

$$\Delta\theta_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 3.08 \\ 6.21 \\ 2.85 \\ 6.73 \\ 0 \\ 0 \\ 3.37 \\ 0 \\ 0 \\ 3.58 \\ 0.37 \\ 0 \\ 0 \\ 3.2 \\ 0 \\ 5.36 \\ 0 \\ 5.36 \\ 1.82 \\ 0 \end{pmatrix}° \quad\quad \Delta\theta_{planta} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}°$$

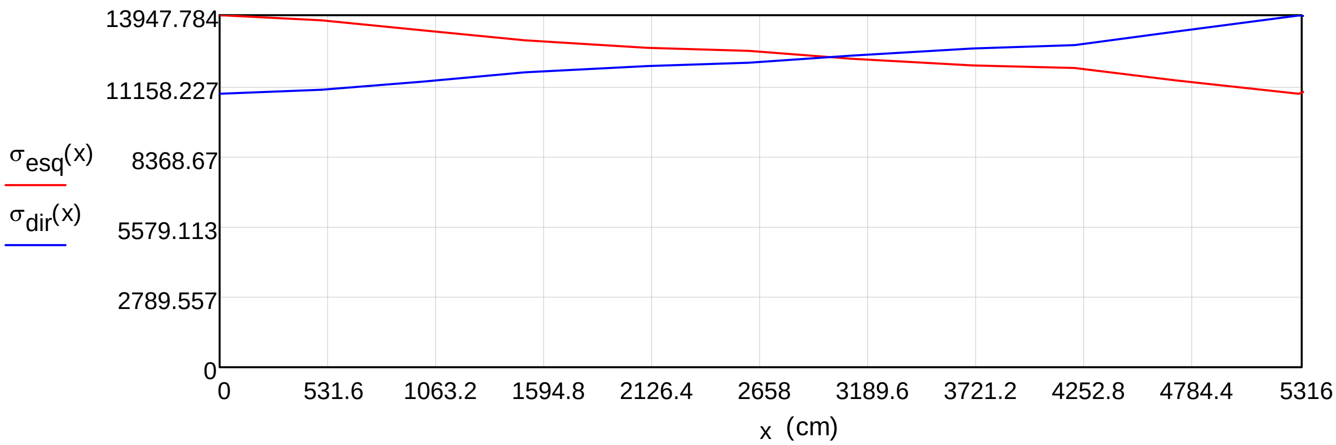
$$\theta_i = \left| \begin{array}{l} 0rad \quad \text{if} \quad i = 1 \\ \theta_{(i-1)} + \sqrt{\left(\Delta\theta_{elevação_i}\right)^2 + \left(\Delta\theta_{planta_i}\right)^2} \quad \text{if} \quad i > 1 \\ i \cdot rad \quad \text{otherwise} \end{array} \right.$$

$$\sigma_{dir} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \theta + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{dir} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13725.47 \\ 13359.94 \\ 13157.55 \\ 12783.92 \\ 12716.14 \\ 12648.72 \\ 12434.52 \\ 12368.59 \\ 12303.02 \\ 12085.81 \\ 12006.21 \\ 11942.56 \\ 11879.24 \\ 11685 \\ 11623.05 \\ 11347.12 \\ 11286.96 \\ 11019.01 \\ 10891.18 \\ 10833.44 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$$a = \text{cspline}(S, \sigma_{esq}) \qquad b = \text{cspline}(S, \sigma_{dir})$$

$$\sigma_{esq}(x) = \text{interp}\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right) \qquad \sigma_{dir}(x) = \text{interp}\left(\frac{b}{g}, S, \frac{\text{reverse}(\sigma_{dir})}{g}, x\right)$$



$c = \frac{L}{2}$

$d = 0m$

Given

$d = \sigma_{esq}(c)$

$d = \sigma_{dir}(c)$

$$\begin{pmatrix} interseção \\ \sigma_{interseção} \end{pmatrix} = Find(c, d)$$

$interseção = 2910.3 \cdot cm$

$$\sigma_{interseção} = 12290.640922 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$$Área_1 = \int_0^{interseção} \sigma_{esq}(x)\, dx$$

$$Área_1 = 380561.56 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$Área_2 = \int_{interseção}^{L} \sigma_{dir}(x)\, dx$$

$$Área_2 = 310851.33 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$Área = (Área_1) + (Área_2)$$

$$Área = 691412.89 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$\sigma_m = \frac{Área}{L}$$

$$\sigma_m = 13006.26 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$L_{cabo} = 54.90m$

$Área_{teórica\_aço} = 143.4 \cdot mm^2$

$$E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$$

$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot Área_{teórica\_aço} = 18.7 \cdot t$

$$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 366 \cdot mm$$

V7 - CÁLCULO DAS ARMADURAS DE FRETAGEM

a_0 = Área da placa de distribuição

b = Distância entre eixos das ancoragens

c = Distância entre as ancoragens

d = Distância entre a face do concreto ao eixo da ancoragem

n = Quantidade de ancoragens em elevação

q = Quantidade de cabos alinhados em cada grupo (seção transversal)

EXTREMIDADE ATIVA (Direita)

$b = 25cm$ $\quad n = 2$ $\quad q = 6$ $\quad F_{inicial} = 6 \cdot \sigma_1 \cdot Área_{teórica\_aço} = 1176.86\,kN$

$a_0 = 22cm$ $\quad c = 2.6cm$

$d = 17.5cm$ $\quad a_1 = a_0 + c = 24.6\,cm$

$F_1 = F_{inicial} \cdot \cos(8°) = 1165.41\,kN$ $\quad F_2 = F_{inicial} \cdot \cos(3°) = 1175.25\,kN$

$$T_1 = 0.25 \cdot F_1 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 30.79\,kN \qquad T_2 = 0.25 \cdot F_2 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 31.05\,kN$$

$a_2 = 2 \cdot d + (n - 1) \cdot b = 60\,cm$

$$F = \begin{pmatrix} 1165.41 \\ 1175.25 \end{pmatrix} kN \qquad T = \begin{pmatrix} 30.79 \\ 31.05 \end{pmatrix} kN \qquad \sum F = 2340.66\,kN$$

$$T_n = \frac{2}{3} \cdot \left(1 - \frac{n \cdot a_1}{a_2}\right) \cdot \sum F = 280.88\,kN \qquad fyd = 43.48\,\frac{kN}{cm^2}$$

$$As_1 = \frac{\max(T)}{fyd} = 0.71\,cm^2 \qquad As_2 = q \cdot \left(\frac{T_n}{fyd}\right) = 38.76\,cm^2$$

EXTREMIDADE PASSIVA

$q = 6$ $\qquad F_{inicial} = 1176.86\,kN$

$a_0 = 22\,cm$

$d = 26.5cm$ $\qquad a_1 = 2 \cdot d = 53 \cdot cm$

$F = q \cdot F_{inicial} \cdot \cos(3°) = 7051.51\,kN$ $\qquad T = 0.25 \cdot F \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 1031.12\,kN$ $\qquad fyd = 43.48 \cdot \frac{kN}{cm^2}$

$As_4 = \frac{T}{fyd} = 23.71\,cm^2$

$As_{fretagem} = As_1 = 0.71\,cm^2$

Adotado espiral ø10mm - 5 passos por cabo em cada trecho de ancoragem ativa e passiva.

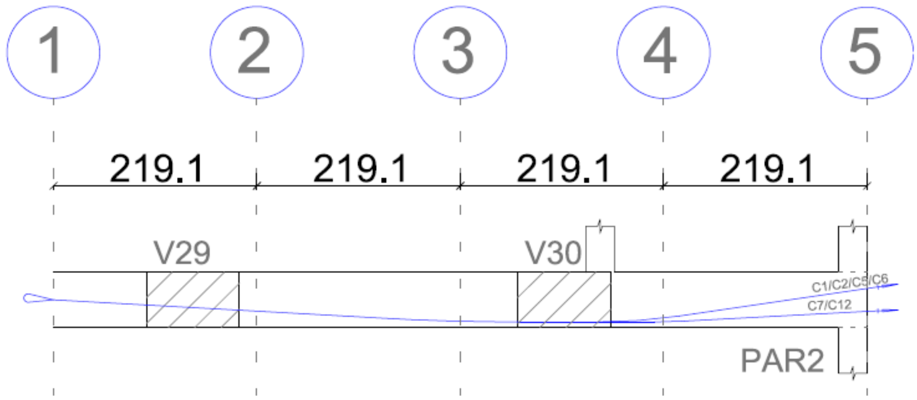
$As_{estribos} = \frac{\max(As_2, As_4)}{4} = 9.69\,cm^2$

$L = \max(a_1, a_2) = 60\,cm$ $\qquad bitola_{estribo} = 10mm$ $\qquad adotados = ceil\left(\frac{As_{estribos}}{bitola_{estribo}^2}\right) = 10$

Estribos duplos $adotados = 10$ ø10.0mm em cada trecho de ancoragem ativa e passiva distribuídos em $L = 60\,cm$

V8 (1° PAVIMENTO) - CABOS C1 a C12

CABOS C1=C2=C5=C6 (6ø15.2mm)



$t = \text{tonne}$

$\text{Área}_{\text{teórica\_aço}} = 143.4\text{mm}^2$ $\quad$ $\text{fptk} = \dfrac{265.8\text{kN}}{\text{Área}_{\text{teórica\_aço}}} = 1853.56\,\text{MPa}$ $\quad$ $\text{fpyk} = \dfrac{239.2\text{kN}}{\text{Área}_{\text{teórica\_aço}}} = 1668.06\,\text{MPa}$

$\sigma_{pi} = \min(0.74\cdot\text{fptk}, 0.82\cdot\text{fpyk}) = 1367.81\,\text{MPa}$

$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78\cdot\dfrac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$ $\quad$ $\mu = 0.20$ $\quad$ $\beta = 0.01\dfrac{\text{rad}}{\text{m}}$ $\quad$ $e = 2.72$ $\quad$ $L = 8.76\text{m}$

$\kappa = \beta\cdot\mu = 0.002\cdot\dfrac{\text{rad}}{\text{m}}$ $\quad$ $n = 5$ $\quad$ $i = 1, 2..\, n$

$$S = 0\text{cm}, \frac{L}{n-1}\,..\, L = \begin{pmatrix} 0 \\ 219 \\ 438 \\ 657 \\ 876 \end{pmatrix}\text{cm} \qquad \Delta\alpha_{\text{elevação}} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1.91 \\ 7.64 \\ 2.11 \end{pmatrix}°$$

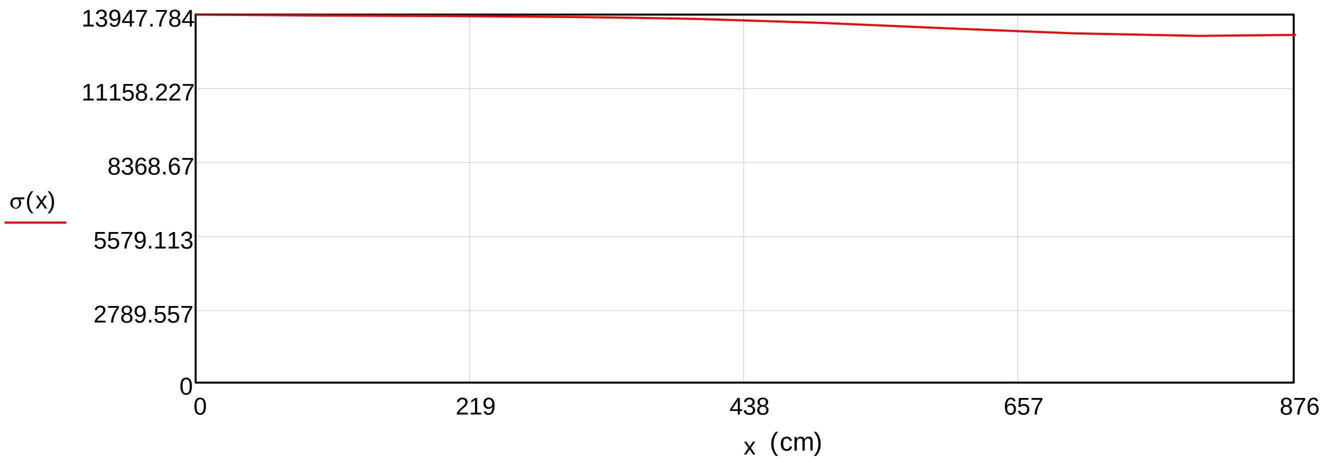
$$\alpha_i = \begin{cases} 0\text{rad} & \text{if } \; i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \Delta\alpha_{\text{elevação}_i} & \text{if } \; i > 1 \\ i\cdot\text{rad} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1\cdot e^{-(\mu\cdot\alpha+\kappa\cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13886.83 \\ 13734.26 \\ 13314.38 \\ 13158.92 \end{pmatrix}\cdot\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$a = \text{cspline}(S, \sigma_{esq})$

$\sigma(x) = \text{interp}\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$



$\text{Área} = \int_0^L \sigma(x)\, dx$ $\text{Área} = 119267.46 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$

$\sigma_m = \frac{\text{Área}}{L}$ $\sigma_m = 13615.01 \cdot \frac{kg}{cm^2}$

$L_{cabo} = 9.60m$ $\text{Área}_{teórica\_aço} = 143.4 \cdot mm^2$ $E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$

$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot \text{Área}_{teórica\_aço} = 19.5 \cdot t$

$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 67 \cdot mm$

CABOS C7=C12 (6ø15.2mm)

$Área_{teórica\_aço} := 143.4mm^2$ $fptk := \frac{265.8kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1853.56\,MPa$ $fpyk := \frac{239.2kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1668.06\,MPa$

$\sigma_{pi} := \min(0.74\cdot fptk, 0.82\cdot fpyk) = 1367.81\,MPa$

$\sigma_1 := \sigma_{pi} = 13947.78\cdot\frac{kgf}{cm^2}$ $\mu := 0.20$ $\beta := 0.01\frac{rad}{m}$ $e = 2.72$ $L := 8.76m$

$\kappa := \beta\cdot\mu = 0.002\cdot\frac{rad}{m}$ $n = 5$ $i := 1, 2 .. n$

$S := 0cm, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 219 \\ 438 \\ 657 \\ 876 \end{pmatrix} cm$ $\Delta\alpha_{elevação} := \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1.89 \\ 2.9 \\ 1.54 \end{pmatrix} °$

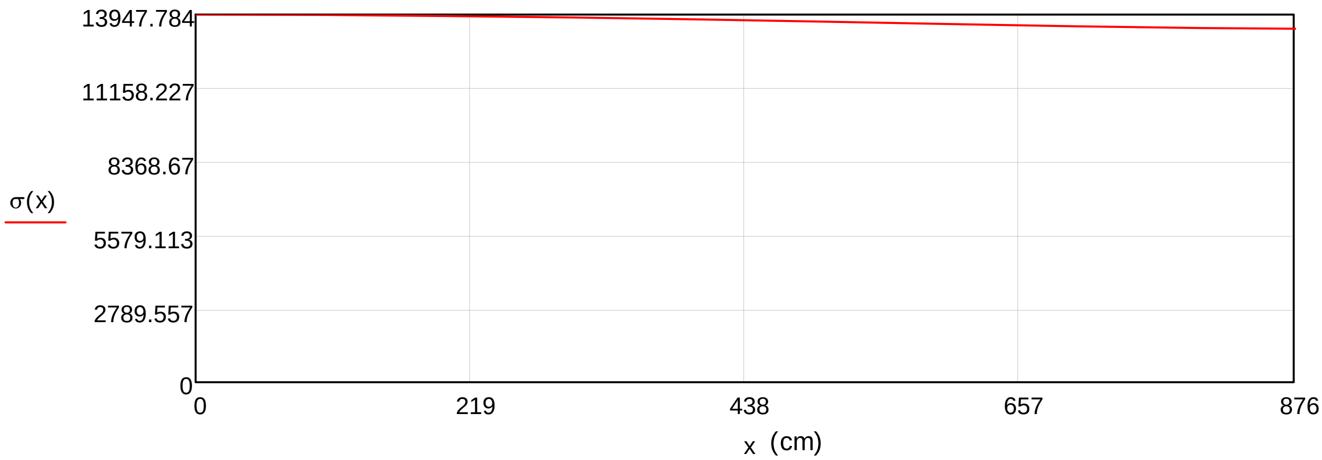
$$\alpha_i := \begin{cases} 0rad & \text{if } i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \Delta\alpha_{elevação_i} & \text{if } i > 1 \\ i\cdot rad & \text{otherwise} \end{cases}$$

$\sigma_{esq} := \sigma_1\cdot e^{-(\mu\cdot\alpha+\kappa\cdot S)}$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13886.83 \\ 13735.22 \\ 13537.46 \\ 13406.03 \end{pmatrix}\cdot\frac{kgf}{cm^2}$$

$$a = \text{cspline}(S, \sigma_{esq})$$

$$\sigma(x) = \text{interp}\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$$



$$\text{Área} = \int_0^L \sigma(x)\, dx \qquad \text{Área} = 120100.61 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

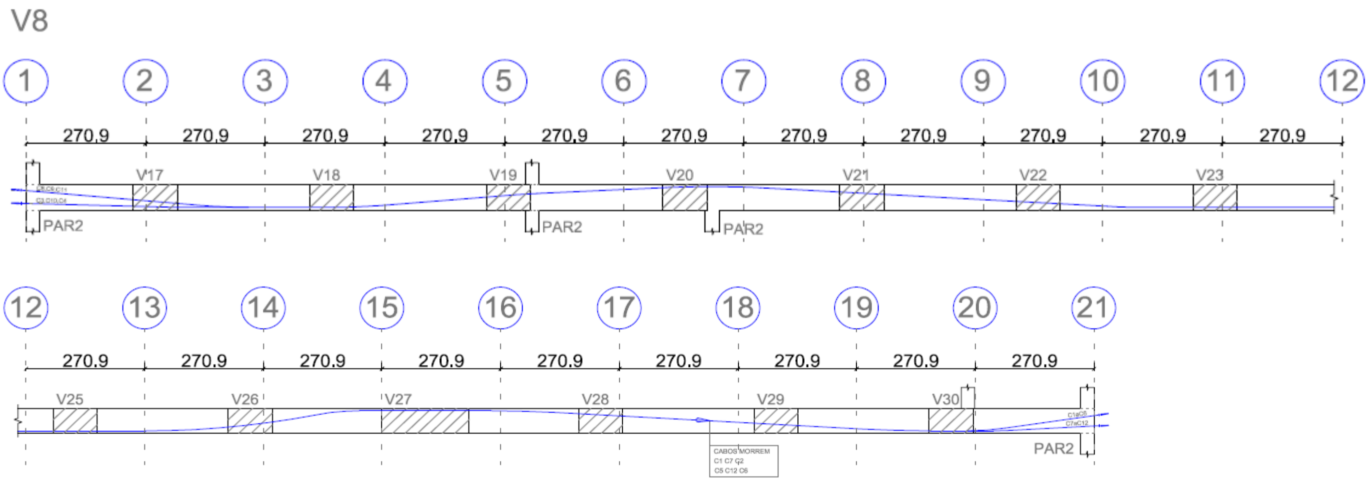
$$\sigma_m = \frac{\text{Área}}{L} \qquad \sigma_m = 13710.12 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$$L_{cabo} = 9.60m \qquad \text{Área}_{teórica\_aço} = 143.4 \cdot mm^2 \qquad E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$$

$$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot \text{Área}_{teórica\_aço} = 19.7 \cdot t$$

$$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 67 \cdot mm$$

CABOS C3=C4 (6ø15.2mm)



t = tonne

$$\text{Área}_{\text{teórica\_aço}} = 143.4\text{mm}^2 \qquad \text{fptk} = \frac{265.8\text{kN}}{\text{Área}_{\text{teórica\_aço}}} = 1853.56\,\text{MPa} \qquad \text{fpyk} = \frac{239.2\text{kN}}{\text{Área}_{\text{teórica\_aço}}} = 1668.06\,\text{MPa}$$

$$\sigma_{pi} = \min(0.74\cdot\text{fptk}, 0.82\cdot\text{fpyk}) = 1367.81\,\text{MPa}$$

$$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78\cdot\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \qquad \mu = 0.20 \qquad \beta = 0.01\frac{\text{rad}}{\text{m}} \qquad e = 2.72 \qquad L = 54.18\text{m}$$

$$\kappa = \beta\cdot\mu = 0.002\cdot\frac{\text{rad}}{\text{m}} \qquad n = 21 \qquad i = 1, 2..n$$

$$S = 0cm, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 270.9 \\ 541.8 \\ 812.7 \\ 1083.6 \\ 1354.5 \\ 1625.4 \\ 1896.3 \\ 2167.2 \\ 2438.1 \\ 2709 \\ 2979.9 \\ 3250.8 \\ 3521.7 \\ 3792.6 \\ 4063.5 \\ 4334.4 \\ 4605.3 \\ 4876.2 \\ 5147.1 \\ 5418 \end{pmatrix} cm \qquad \Delta\alpha_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1.52 \\ 4.66 \\ 0 \\ 1.92 \\ 5.34 \\ 0.55 \\ 0 \\ 0 \\ 3.15 \\ 0 \\ 0 \\ 7.82 \\ 7.82 \\ 0.5 \\ 2.72 \\ 0 \\ 0 \\ 5.34 \\ 6.33 \end{pmatrix} ° \qquad \Delta\alpha_{planta} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} °$$

$$\alpha_i = \left| \begin{array}{l} 0rad \quad \text{if} \quad i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \sqrt{\left(\Delta\alpha_{elevação_i}\right)^2 + \left(\Delta\alpha_{planta_i}\right)^2} \quad \text{if} \quad i > 1 \\ i \cdot rad \quad \text{otherwise} \end{array} \right.$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13872.42 \\ 13724.45 \\ 13430.04 \\ 13357.48 \\ 13196.56 \\ 12882.87 \\ 12788.68 \\ 12719.58 \\ 12650.85 \\ 12444.9 \\ 12377.65 \\ 12310.77 \\ 11914.54 \\ 11531.07 \\ 11448.76 \\ 11279.3 \\ 11218.35 \\ 11157.73 \\ 10892.5 \\ 10596.89 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$n = 21 \qquad i = 1, 2 .. n$

$$\Delta\theta_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 6.33 \\ 5.34 \\ 0 \\ 0 \\ 2.72 \\ 0.5 \\ 7.82 \\ 7.82 \\ 0 \\ 0 \\ 3.15 \\ 0 \\ 0 \\ 0.55 \\ 5.34 \\ 1.92 \\ 0 \\ 4.66 \\ 1.52 \\ 0 \end{pmatrix}° \qquad \Delta\theta_{planta} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}°$$

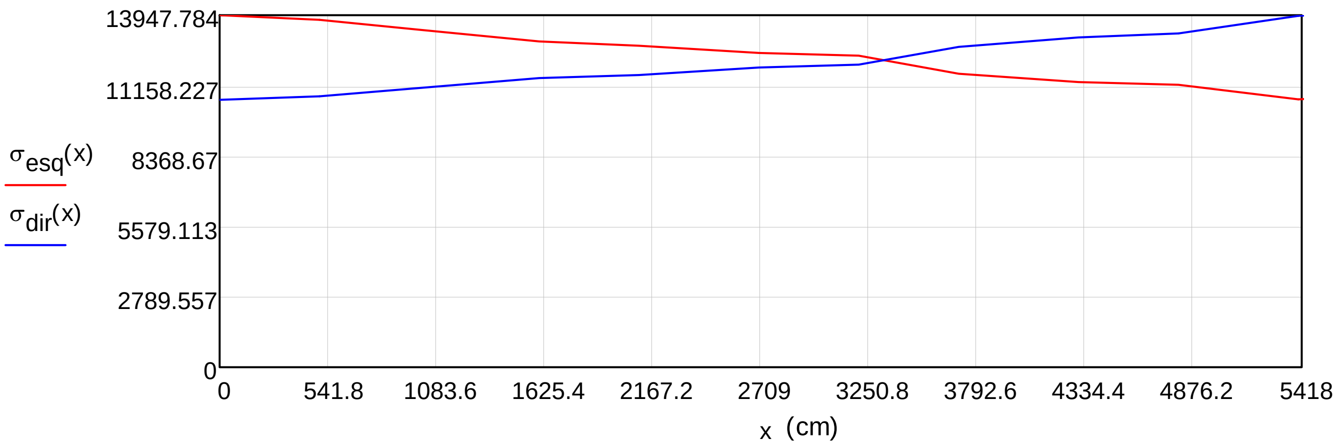
$$\theta_i = \left| \begin{array}{l} 0rad \quad \text{if} \quad i = 1 \\ \theta_{(i-1)} + \sqrt{\left(\Delta\theta_{elevação_i}\right)^2 + \left(\Delta\theta_{planta_i}\right)^2} \quad \text{if} \quad i > 1 \\ i \cdot rad \quad \text{otherwise} \end{array} \right.$$

$$\sigma_{dir} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \theta + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{dir} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13569.26 \\ 13246.7 \\ 13175.13 \\ 13103.94 \\ 12909.97 \\ 12817.82 \\ 12405.27 \\ 12006 \\ 11941.13 \\ 11876.61 \\ 11683.26 \\ 11620.13 \\ 11557.35 \\ 11472.85 \\ 11200.13 \\ 11065.2 \\ 11005.41 \\ 10769.33 \\ 10654.46 \\ 10596.89 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$$a = \text{cspline}(S, \sigma_{esq}) \qquad b = \text{cspline}(S, \sigma_{dir})$$

$$\sigma_{esq}(x) = \text{interp}\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right) \qquad \sigma_{dir}(x) = \text{interp}\left(\frac{b}{g}, S, \frac{\text{reverse}(\sigma_{dir})}{g}, x\right)$$



$c = \frac{L}{2}$ $\quad d = 0m$

Given

$d = \sigma_{esq}(c)$ $\quad d = \sigma_{dir}(c)$

$$\begin{pmatrix} \text{interseção} \\ \sigma_{\text{interseção}} \end{pmatrix} = \text{Find}(c, d) \qquad \text{interseção} = 3365.15 \cdot cm$$

$$\sigma_{\text{interseção}} = 12175.562942 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$$\text{Área}_1 = \int_0^{\text{interseção}} \sigma_{esq}(x)\, dx \qquad \text{Área}_1 = 438192.53 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$\text{Área}_2 = \int_{\text{interseção}}^{L} \sigma_{dir}(x)\, dx \qquad \text{Área}_2 = 268475.46 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$\text{Área} = (\text{Área}_1) + (\text{Área}_2) \qquad \text{Área} = 706668 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$\sigma_m = \frac{\text{Área}}{L} \qquad \sigma_m = 13042.97 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$L_{cabo} = 55.90m$ $\quad \text{Área}_{\text{teórica\_aço}} = 143.4 \cdot mm^2$ $\quad E_{\text{teórico\_aço}} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$

$$F_{\text{média\_cabo}} = \sigma_m \cdot \text{Área}_{\text{teórica\_aço}} = 18.7 \cdot t$$

$$\Delta L_{\text{teórico}} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{\text{teórico\_aço}}} = 374 \cdot mm$$

CABOS C8=C9=C11 (6ø15.2mm)

$Área_{teórica\_aço} = 143.4mm^2$ $fptk = \frac{265.8kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1853.56\,MPa$ $fpyk = \frac{239.2kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1668.06\,MPa$

$\sigma_{pi} = \min(0.74 \cdot fptk, 0.82 \cdot fpyk) = 1367.81\,MPa$

$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78 \cdot \frac{kgf}{cm^2}$ $\mu = 0.20$ $\beta = 0.01\frac{rad}{m}$ $e = 2.72$ $L = 54.18m$

$\kappa = \beta \cdot \mu = 0.002 \cdot \frac{rad}{m}$ $n = 21$ $i = 1, 2 .. n$

$$S = 0cm, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 270.9 \\ 541.8 \\ 812.7 \\ 1083.6 \\ 1354.5 \\ 1625.4 \\ 1896.3 \\ 2167.2 \\ 2438.1 \\ 2709 \\ 2979.9 \\ 3250.8 \\ 3521.7 \\ 3792.6 \\ 4063.5 \\ 4334.4 \\ 4605.3 \\ 4876.2 \\ 5147.1 \\ 5418 \end{pmatrix} cm \qquad \Delta\alpha_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 4.99 \\ 5.19 \\ 0.54 \\ 1.92 \\ 5.34 \\ 0.55 \\ 0 \\ 0 \\ 3.15 \\ 0 \\ 0 \\ 7.76 \\ 7.76 \\ 0.46 \\ 2.77 \\ 0 \\ 0 \\ 3.23 \\ 3.09 \end{pmatrix} ° \qquad \Delta\alpha_{planta} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} °$$

$$\alpha_i = \begin{array}{|l} 0rad \quad \text{if} \quad i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \sqrt{\left(\Delta\alpha_{elevação_i}\right)^2 + \left(\Delta\alpha_{planta_i}\right)^2} \quad \text{if} \quad i > 1 \\ i \cdot rad \quad \text{otherwise} \end{array}$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13872.42 \\ 13559.21 \\ 13243.83 \\ 13147.46 \\ 12989.08 \\ 12680.31 \\ 12587.61 \\ 12519.59 \\ 12451.94 \\ 12249.23 \\ 12183.04 \\ 12117.21 \\ 11729.67 \\ 11354.52 \\ 11275.05 \\ 11106.22 \\ 11046.21 \\ 10986.52 \\ 10804.65 \\ 10630.98 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$n = 21 \qquad i = 1, 2 .. n$

$$\Delta\theta_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 3.09 \\ 3.23 \\ 0 \\ 0 \\ 2.77 \\ 0.46 \\ 7.76 \\ 7.76 \\ 0 \\ 0 \\ 3.15 \\ 0 \\ 0 \\ 0.55 \\ 5.34 \\ 1.92 \\ 0.54 \\ 5.19 \\ 4.99 \\ 0 \end{pmatrix}° \qquad \Delta\theta_{planta} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}°$$

$$\theta_i = \begin{vmatrix} 0\text{rad} \quad \text{if} \quad i = 1 \\ \theta_{(i-1)} + \sqrt{\left(\Delta\theta_{elevação_i}\right)^2 + \left(\Delta\theta_{planta_i}\right)^2} \quad \text{if} \quad i > 1 \\ i \cdot \text{rad} \quad \text{otherwise} \end{vmatrix}$$

$\sigma_{dir} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \theta + \kappa \cdot S)}$

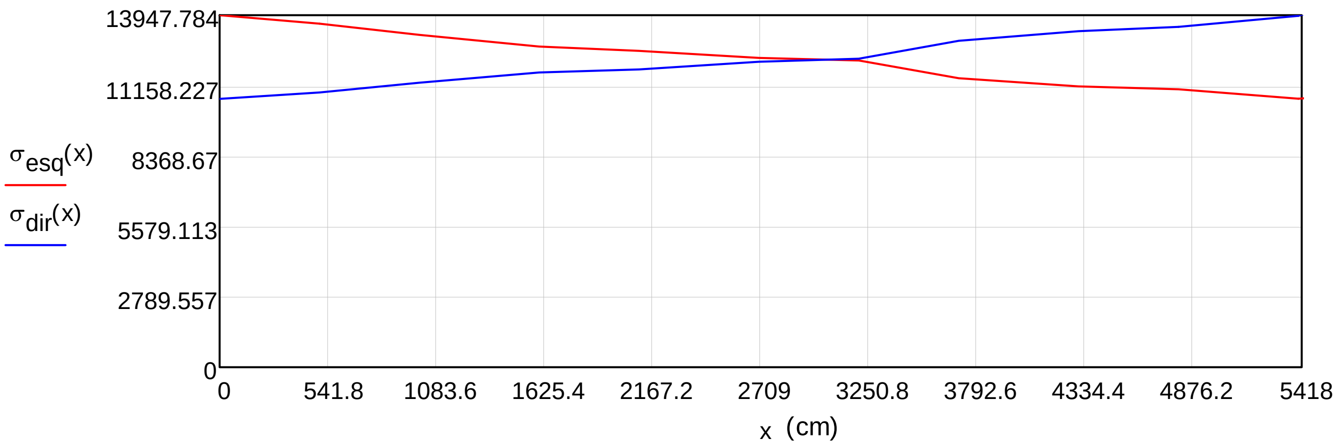
$$\sigma_{dir} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13723.59 \\ 13496.41 \\ 13423.48 \\ 13350.95 \\ 13151.04 \\ 13058.99 \\ 12641.33 \\ 12237.02 \\ 12170.9 \\ 12105.14 \\ 11908.07 \\ 11843.73 \\ 11779.73 \\ 11693.61 \\ 11415.64 \\ 11278.12 \\ 11196.05 \\ 10935.63 \\ 10688.73 \\ 10630.98 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$a = \text{cspline}(S, \sigma_{esq})$

$b = \text{cspline}(S, \sigma_{dir})$

$\sigma_{esq}(x) = \text{interp}\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$

$\sigma_{dir}(x) = \text{interp}\left(\frac{b}{g}, S, \frac{\text{reverse}(\sigma_{dir})}{g}, x\right)$



$c = \frac{L}{2}$

$d = 0m$

Given

$d = \sigma_{esq}(c)$

$d = \sigma_{dir}(c)$

$$\begin{pmatrix} interseção \\ \sigma_{interseção} \end{pmatrix} = Find(c, d)$$

$interseção = 3078 \cdot cm$

$$\sigma_{interseção} = 12181.688142 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$$Área_1 = \int_0^{interseção} \sigma_{esq}(x)\, dx$$

$$Área_1 = 397647.97 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$Área_2 = \int_{interseção}^{L} \sigma_{dir}(x)\, dx$$

$$Área_2 = 308053.49 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$Área = (Área_1) + (Área_2)$$

$$Área = 705701.46 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$\sigma_m = \frac{Área}{L}$$

$$\sigma_m = 13025.13 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$L_{cabo} = 55.90m$

$Área_{teórica\_aço} = 143.4 \cdot mm^2$

$$E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$$

$$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot Área_{teórica\_aço} = 18.7 \cdot t$$

$$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 373 \cdot mm$$

CABO C10 (6ø15.2mm)

$Área_{teórica\_aço} = 143.4mm^2$ $fptk = \frac{265.8kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1853.56\,MPa$ $fpyk = \frac{239.2kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1668.06\,MPa$

$\sigma_{pi} = \min(0.74\cdot fptk, 0.82\cdot fpyk) = 1367.81\,MPa$

$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78\cdot\frac{kgf}{cm^2}$ $\mu = 0.20$ $\beta = 0.01\frac{rad}{m}$ $e = 2.72$ $L = 54.18m$

$\kappa = \beta\cdot\mu = 0.002\cdot\frac{rad}{m}$ $n = 21$ $i = 1, 2..n$

$$S = 0cm, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 270.9 \\ 541.8 \\ 812.7 \\ 1083.6 \\ 1354.5 \\ 1625.4 \\ 1896.3 \\ 2167.2 \\ 2438.1 \\ 2709 \\ 2979.9 \\ 3250.8 \\ 3521.7 \\ 3792.6 \\ 4063.5 \\ 4334.4 \\ 4605.3 \\ 4876.2 \\ 5147.1 \\ 5418 \end{pmatrix} cm \qquad \Delta\alpha_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1.52 \\ 4.66 \\ 0 \\ 1.92 \\ 5.34 \\ 0.55 \\ 0 \\ 0 \\ 3.15 \\ 0 \\ 0 \\ 7.78 \\ 7.78 \\ 0.47 \\ 2.76 \\ 0 \\ 0 \\ 3.23 \\ 3.09 \end{pmatrix}° \qquad \Delta\alpha_{planta} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}°$$

$$\alpha_i = \left| \begin{array}{ll} 0rad & \text{if } i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \sqrt{\left(\Delta\alpha_{elevação_i}\right)^2 + \left(\Delta\alpha_{planta_i}\right)^2} & \text{if } i > 1 \\ i\cdot rad & \text{otherwise} \end{array} \right.$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13872.42 \\ 13724.45 \\ 13430.04 \\ 13357.48 \\ 13196.56 \\ 12882.87 \\ 12788.68 \\ 12719.58 \\ 12650.85 \\ 12444.9 \\ 12377.65 \\ 12310.77 \\ 11916.21 \\ 11534.29 \\ 11453.16 \\ 11282.05 \\ 11221.09 \\ 11160.46 \\ 10975.71 \\ 10799.29 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$n = 21 \qquad i = 1, 2 .. n$

$$\Delta\theta_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 3.09 \\ 3.23 \\ 0 \\ 0 \\ 2.76 \\ 0.47 \\ 7.78 \\ 7.78 \\ 0 \\ 0 \\ 3.15 \\ 0 \\ 0 \\ 0.55 \\ 5.34 \\ 1.92 \\ 0 \\ 4.66 \\ 1.52 \\ 0 \end{pmatrix} ° \qquad \Delta\theta_{planta} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} °$$

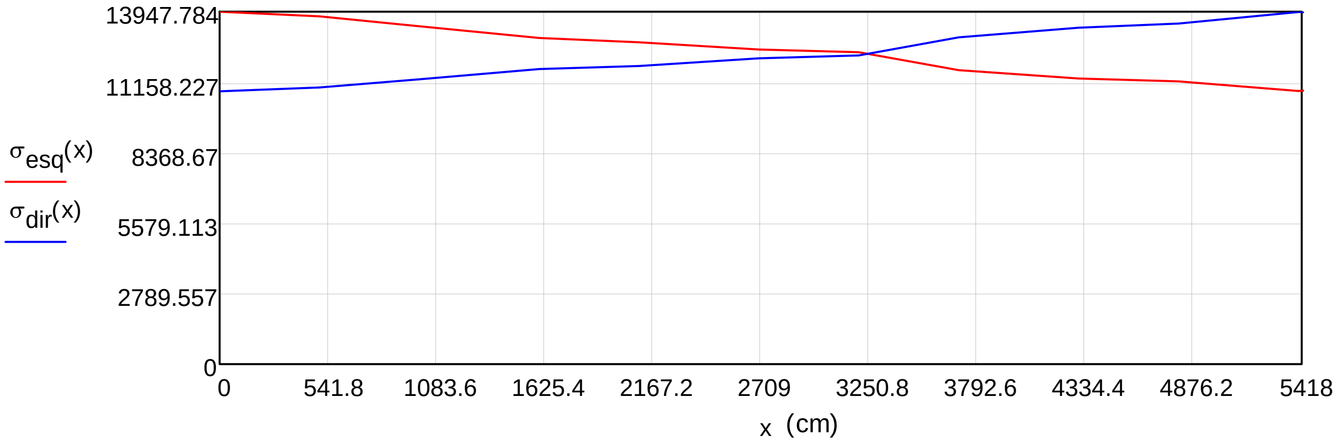
$$\theta_i = \left| \begin{array}{l} 0rad \quad \text{if} \quad i = 1 \\ \theta_{(i-1)} + \sqrt{\left(\Delta\theta_{elevação_i}\right)^2 + \left(\Delta\theta_{planta_i}\right)^2} \quad \text{if} \quad i > 1 \\ i \cdot rad \quad \text{otherwise} \end{array} \right.$$

$$\sigma_{dir} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \theta + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{dir} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13723.59 \\ 13496.41 \\ 13423.48 \\ 13350.95 \\ 13151.49 \\ 13058.99 \\ 12640.44 \\ 12235.31 \\ 12169.2 \\ 12103.45 \\ 11906.41 \\ 11842.07 \\ 11778.09 \\ 11691.98 \\ 11414.05 \\ 11276.54 \\ 11215.61 \\ 10975.02 \\ 10857.96 \\ 10799.29 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$$a = \text{cspline}(S, \sigma_{esq}) \qquad b = \text{cspline}(S, \sigma_{dir})$$

$$\sigma_{esq}(x) = \text{interp}\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right) \qquad \sigma_{dir}(x) = \text{interp}\left(\frac{b}{g}, S, \frac{\text{reverse}(\sigma_{dir})}{g}, x\right)$$



$c = \frac{L}{2}$ $\qquad$ $d = 0m$

Given

$d = \sigma_{esq}(c)$ $\qquad$ $d = \sigma_{dir}(c)$

$$\begin{pmatrix} \text{interseção} \\ \sigma_{\text{interseção}} \end{pmatrix} = \text{Find}(c, d) \qquad \text{interseção} = 3281.25 \cdot cm$$

$$\sigma_{\text{interseção}} = 12282.180706 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$$\text{Área}_1 = \int_0^{\text{interseção}} \sigma_{esq}(x)\, dx \qquad \text{Área}_1 = 427929.64 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$\text{Área}_2 = \int_{\text{interseção}}^{L} \sigma_{dir}(x)\, dx \qquad \text{Área}_2 = 283260.81 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$\text{Área} = (\text{Área}_1) + (\text{Área}_2) \qquad \text{Área} = 711190.45 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$\sigma_m = \frac{\text{Área}}{L} \qquad \sigma_m = 13126.44 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$$L_{cabo} = 55.90m \qquad \text{Área}_{\text{teórica\_aço}} = 143.4 \cdot mm^2 \qquad E_{\text{teórico\_aço}} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$$

$$F_{\text{média\_cabo}} = \sigma_m \cdot \text{Área}_{\text{teórica\_aço}} = 18.8 \cdot t$$

$$\Delta L_{\text{teórico}} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{\text{teórico\_aço}}} = 376 \cdot mm$$

V8 - CÁLCULO DAS ARMADURAS DE FRETAGEM

a_0 = Área da placa de distribuição

b = Distância entre eixos das ancoragens

c = Distância entre as ancoragens

d = Distância entre a face do concreto ao eixo da ancoragem

n = Quantidade de ancoragens em elevação

q = Quantidade de cabos alinhados em cada grupo (seção transversal)

EXTREMIDADE ATIVA (Direita)

$b = 25cm$ $\quad n = 2$ $\quad q = 6$ $\quad F_{inicial} = 6 \cdot \sigma_1 \cdot Área_{teórica\_aço} = 1176.86\,kN$

$a_0 = 22cm$ $\quad c = 2.6cm$

$d = 17.5cm$ $\quad a_1 = a_0 + c = 24.6\,cm$

$F_1 = F_{inicial} \cdot \cos(8°) = 1165.41\,kN$ $\quad F_2 = F_{inicial} \cdot \cos(3°) = 1175.25\,kN$

$$T_1 = 0.25 \cdot F_1 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 30.79\,kN \qquad T_2 = 0.25 \cdot F_2 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 31.05\,kN$$

$a_2 = 2 \cdot d + (n - 1) \cdot b = 60\,cm$

$$F = \begin{pmatrix} 1165.41 \\ 1175.25 \end{pmatrix} kN \qquad T = \begin{pmatrix} 30.79 \\ 31.05 \end{pmatrix} kN \qquad \sum F = 2340.66\,kN$$

$$T_n = \frac{2}{3} \cdot \left(1 - \frac{n \cdot a_1}{a_2}\right) \cdot \sum F = 280.88\,kN \qquad fyd = 43.48\,\frac{kN}{cm^2}$$

$$As_1 = \frac{\max(T)}{fyd} = 0.71\,cm^2 \qquad As_2 = q \cdot \left(\frac{T_n}{fyd}\right) = 38.76\,cm^2$$

EXTREMIDADE PASSIVA

$q = 6$ $F_{inicial} = 1176.86\,kN$

$a_0 = 22\,cm$

$d = 30cm$ $a_1 = 2 \cdot d = 60 \cdot cm$

$F = q \cdot F_{inicial} \cdot \cos(3°) = 7051.51\,kN$ $T = 0.25 \cdot F \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 1116.49\,kN$ $fyd = 43.48 \cdot \frac{kN}{cm^2}$

$As_4 = \frac{T}{fyd} = 25.68\,cm^2$

$As_{fretagem} = As_1 = 0.71\,cm^2$

Adotado espiral ø10mm - 5 passos por cabo em cada trecho de ancoragem ativa e passiva.

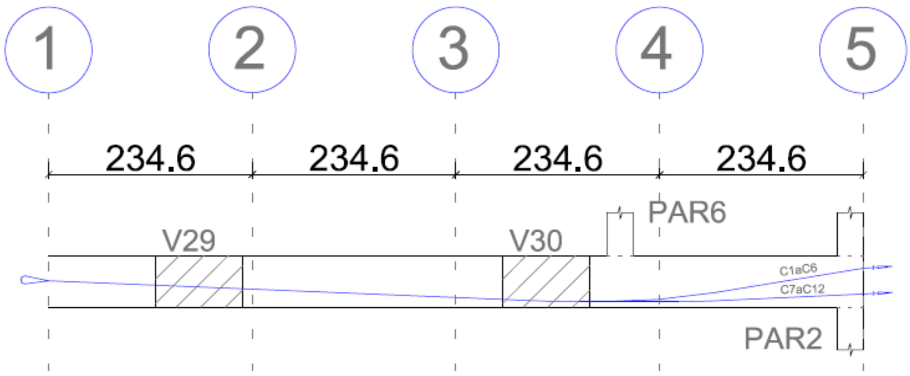
$$As_{estribos} = \frac{\max(As_2, As_4)}{4} = 9.69\,cm^2$$

$L = \max(a_1, a_2) = 60\,cm$ $bitola_{estribo} = 10mm$ $adotados = ceil\left(\frac{As_{estribos}}{bitola_{estribo}^2}\right) = 10$

Estribos duplos $adotados = 10$ ø10.0mm em cada trecho de ancoragem ativa e passiva distribuídos em $L = 60\,cm$

V9 (1° PAVIMENTO) - CABOS C1 a C12

CABOS C1=C2=C5=C6 (6ø15.2mm)



$t = tonne$

$Área_{teórica\_aço} = 143.4mm^2$ $\quad fptk = \dfrac{265.8kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1853.56\,MPa$ $\quad fpyk = \dfrac{239.2kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1668.06\,MPa$

$\sigma_{pi} = \min(0.74 \cdot fptk\,,\,0.82 \cdot fpyk) = 1367.81\,MPa$

$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78 \cdot \dfrac{kgf}{cm^2}$ $\quad \mu = 0.20$ $\quad \beta = 0.01 \dfrac{rad}{m}$ $\quad e = 2.72$ $\quad L = 9.38m$

$\kappa = \beta \cdot \mu = 0.002 \cdot \dfrac{rad}{m}$ $\quad n = 5$ $\quad i = 1, 2 .. n$

$$S = 0cm\,, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 234.5 \\ 469 \\ 703.5 \\ 938 \end{pmatrix} cm \qquad \Delta\alpha_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 9.35 \\ 2.45 \end{pmatrix} ^{\circ}$$

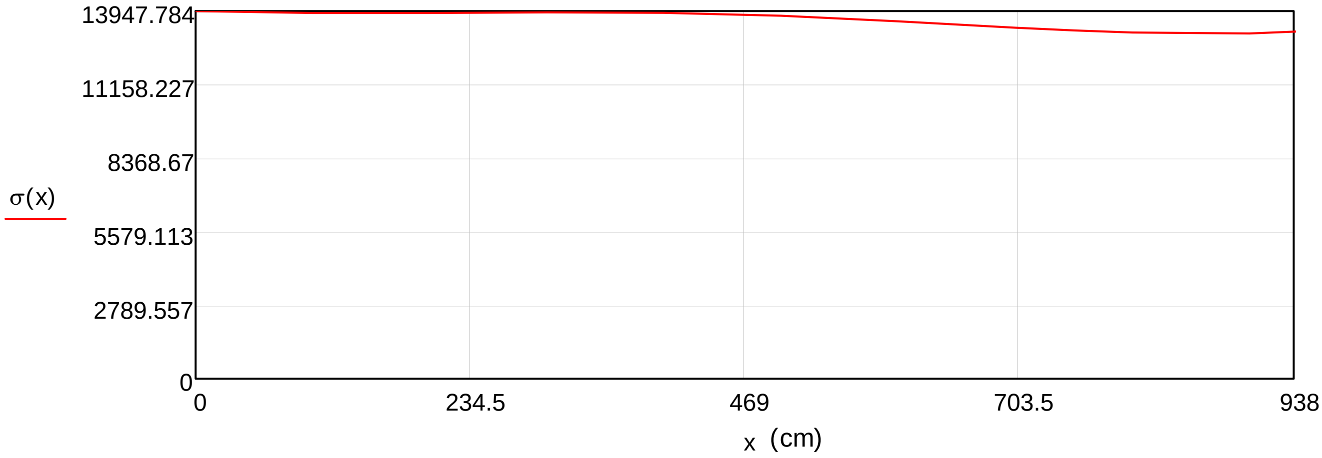
$$\alpha_i = \begin{array}{|l} 0rad \quad \text{if} \quad i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \Delta\alpha_{elevação_i} \quad \text{if} \quad i > 1 \\ i \cdot rad \quad \text{otherwise} \end{array}$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13882.52 \\ 13817.57 \\ 13311.3 \\ 13136.19 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$a = \mathrm{cspline}(S, \sigma_{esq})$

$\sigma(x) = \mathrm{interp}\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$



$\text{Área} = \int_0^L \sigma(x)\,dx$

$\text{Área} = 127798.15 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$

$\sigma_m = \frac{\text{Área}}{L}$

$\sigma_m = 13624.54 \cdot \frac{kg}{cm^2}$

$L_{cabo} = 10.20m$

$\text{Área}_{teórica\_aço} = 143.4 \cdot mm^2$

$E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$

$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot \text{Área}_{teórica\_aço} = 19.5 \cdot t$

$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 71 \cdot mm$

CABOS C7=C12 (6ø15.2mm)

$$\text{Área}_{\text{teórica\_aço}} = 143.4\,\text{mm}^2 \qquad \text{fptk} = \frac{265.8\text{kN}}{\text{Área}_{\text{teórica\_aço}}} = 1853.56\,\text{MPa} \qquad \text{fpyk} = \frac{239.2\text{kN}}{\text{Área}_{\text{teórica\_aço}}} = 1668.06\,\text{MPa}$$

$$\sigma_{pi} = \min(0.74\cdot\text{fptk}, 0.82\cdot\text{fpyk}) = 1367.81\,\text{MPa}$$

$$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78\cdot\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \qquad \mu = 0.20 \qquad \beta = 0.01\frac{\text{rad}}{\text{m}} \qquad e = 2.72 \qquad L = 9.38\text{m}$$

$$\kappa = \beta\cdot\mu = 0.002\cdot\frac{\text{rad}}{\text{m}} \qquad n = 5 \qquad i = 1, 2 .. n$$

$$S = 0\text{cm}, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 234.5 \\ 469 \\ 703.5 \\ 938 \end{pmatrix}\text{cm} \qquad \Delta\alpha_{\text{elevação}} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 2.36 \\ 2.63 \end{pmatrix}°$$

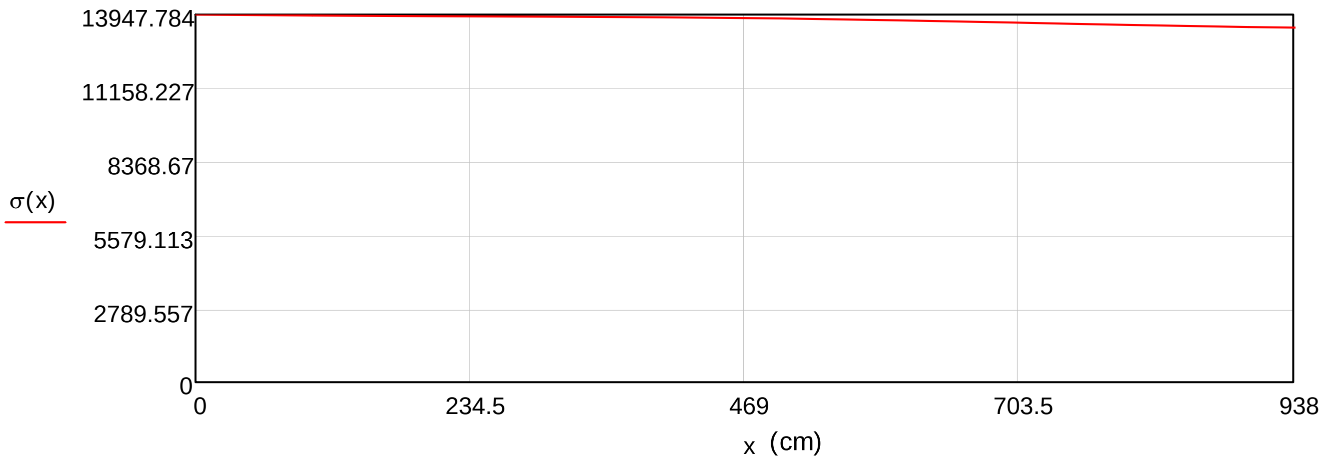
$$\alpha_i = \left| \begin{array}{ll} 0\text{rad} & \text{if } i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \Delta\alpha_{\text{elevação}_i} & \text{if } i > 1 \\ i\cdot\text{rad} & \text{otherwise} \end{array} \right.$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1\cdot e^{-(\mu\cdot\alpha+\kappa\cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13882.52 \\ 13817.57 \\ 13640.08 \\ 13452.19 \end{pmatrix}\cdot\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$a = \text{cspline}(S, \sigma_{esq})$$

$$\sigma(x) = \text{interp}\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$$



$$\text{Área} = \int_0^L \sigma(x)\,dx \qquad \text{Área} = 129073.13 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$\sigma_m = \frac{\text{Área}}{L} \qquad \sigma_m = 13760.46 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

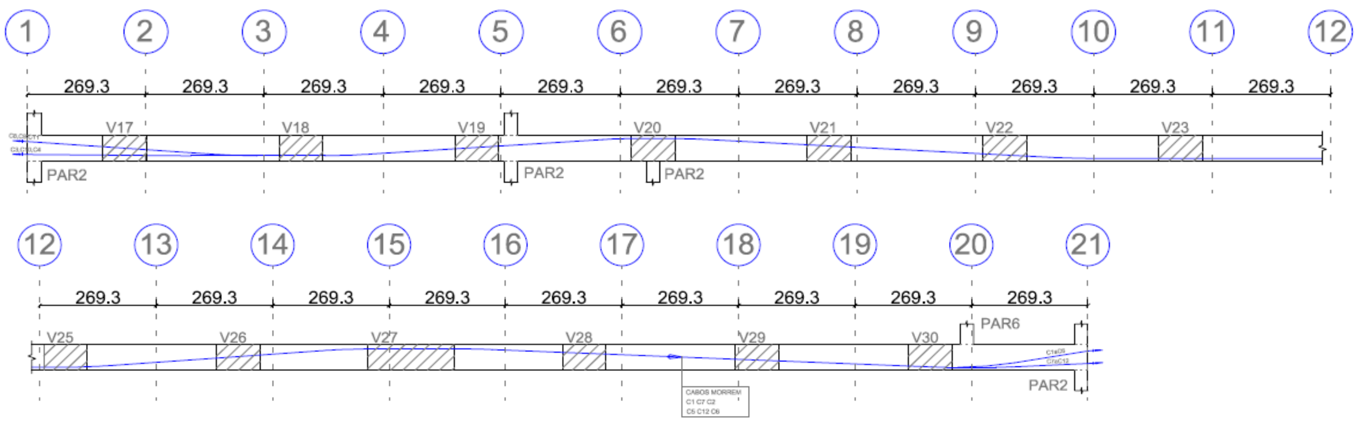
$$L_{cabo} = 10.20m \qquad \text{Área}_{teórica\_aço} = 143.4 \cdot mm^2 \qquad E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$$

$$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot \text{Área}_{teórica\_aço} = 19.7 \cdot t$$

$$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 72 \cdot mm$$

CABOS C3=C4 (6ø15.2mm)

V9



$t = \text{tonne}$

$\text{Área}_{\text{teórica\_aço}} = 143.4\text{mm}^2$ $\quad \text{fptk} = \dfrac{265.8\text{kN}}{\text{Área}_{\text{teórica\_aço}}} = 1853.56\,\text{MPa}$ $\quad \text{fpyk} = \dfrac{239.2\text{kN}}{\text{Área}_{\text{teórica\_aço}}} = 1668.06\,\text{MPa}$

$\sigma_{pi} = \min(0.74\cdot\text{fptk}, 0.82\cdot\text{fpyk}) = 1367.81\,\text{MPa}$

$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78\cdot\dfrac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$ $\quad \mu = 0.20$ $\quad \beta = 0.01\dfrac{\text{rad}}{\text{m}}$ $\quad e = 2.72$ $\quad L = 53.86\text{m}$

$\kappa = \beta\cdot\mu = 0.002\cdot\dfrac{\text{rad}}{\text{m}}$ $\quad n = 21$ $\quad i = 1, 2..n$

$$S = 0cm, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 269.3 \\ 538.6 \\ 807.9 \\ 1077.2 \\ 1346.5 \\ 1615.8 \\ 1885.1 \\ 2154.4 \\ 2423.7 \\ 2693 \\ 2962.3 \\ 3231.6 \\ 3500.9 \\ 3770.2 \\ 4039.5 \\ 4308.8 \\ 4578.1 \\ 4847.4 \\ 5116.7 \\ 5386 \end{pmatrix} cm \qquad \Delta\alpha_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0.46 \\ 3.66 \\ 0 \\ 3.66 \\ 3.01 \\ 0 \\ 0 \\ 3.01 \\ 0 \\ 0 \\ 4.18 \\ 0 \\ 4.18 \\ 2.36 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 4.75 \\ 7.04 \end{pmatrix} ° \qquad \Delta\alpha_{planta} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} °$$

$$\alpha_i = \left| \begin{array}{l} 0rad \quad \text{if} \quad i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \sqrt{\left(\Delta\alpha_{elevação_i}\right)^2 + \left(\Delta\alpha_{planta_i}\right)^2} \quad \text{if} \quad i > 1 \\ i \cdot rad \quad \text{otherwise} \end{array} \right.$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13872.86 \\ 13776.21 \\ 13528.26 \\ 13455.6 \\ 13213.42 \\ 13005.08 \\ 12935.23 \\ 12865.75 \\ 12662.89 \\ 12594.87 \\ 12527.22 \\ 12279.44 \\ 12213.48 \\ 11971.92 \\ 11809.92 \\ 11746.48 \\ 11683.38 \\ 11620.63 \\ 11368.14 \\ 11032.6 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$n = 21 \qquad\qquad i = 1, 2 .. n$

$$\Delta\theta_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 7.04 \\ 4.75 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 2.36 \\ 4.18 \\ 0 \\ 4.18 \\ 0 \\ 0 \\ 3.01 \\ 0 \\ 0 \\ 3.01 \\ 3.66 \\ 0 \\ 3.66 \\ 0.46 \\ 0 \end{pmatrix} ° \qquad \Delta\theta_{planta} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} °$$

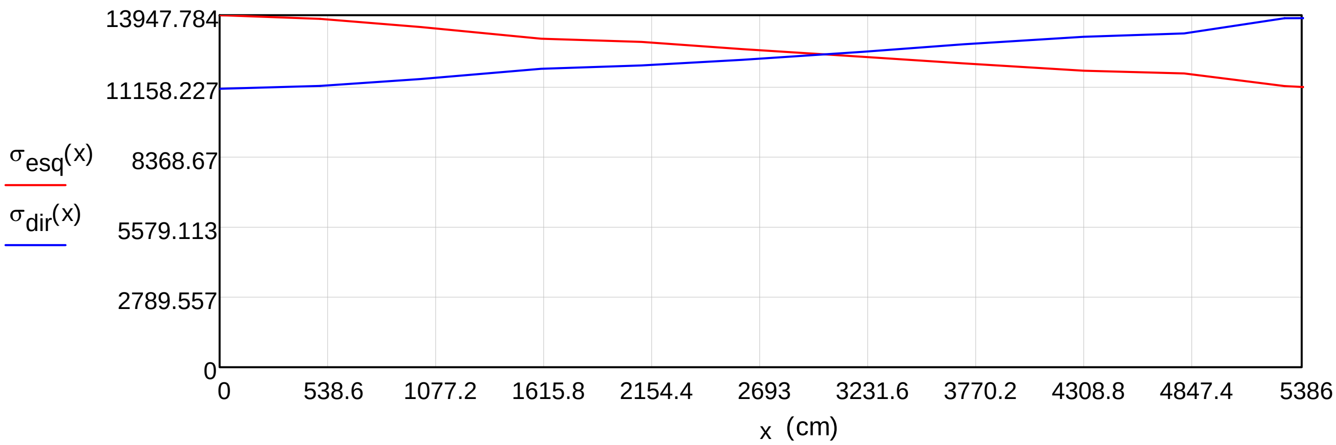
$$\theta_i = \left| \begin{array}{l} 0rad \quad \text{if} \quad i = 1 \\ \theta_{(i-1)} + \sqrt{\left(\Delta\theta_{elevação_i}\right)^2 + \left(\Delta\theta_{planta_i}\right)^2} \quad \text{if} \quad i > 1 \\ i \cdot rad \quad \text{otherwise} \end{array} \right.$$

$$\sigma_{dir} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \theta + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{dir} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13536.1 \\ 13242 \\ 13170.87 \\ 13100.12 \\ 13029.76 \\ 12853.44 \\ 12599.22 \\ 12531.54 \\ 12283.68 \\ 12217.7 \\ 12152.07 \\ 11960.47 \\ 11896.22 \\ 11832.32 \\ 11645.76 \\ 11436.16 \\ 11374.73 \\ 11170.01 \\ 11092.18 \\ 11032.6 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$$a = \text{cspline}(S, \sigma_{esq}) \qquad b = \text{cspline}(S, \sigma_{dir})$$

$$\sigma_{esq}(x) = \text{interp}\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right) \qquad \sigma_{dir}(x) = \text{interp}\left(\frac{b}{g}, S, \frac{\text{reverse}(\sigma_{dir})}{g}, x\right)$$



$c = \frac{L}{2}$ $\qquad$ $d = 0m$

Given

$d = \sigma_{esq}(c)$ $\qquad$ $d = \sigma_{dir}(c)$

$\begin{pmatrix} \text{interseção} \\ \sigma_{\text{interseção}} \end{pmatrix} = \text{Find}(c, d)$ $\qquad$ $\text{interseção} = 3092.48 \cdot cm$

$\sigma_{\text{interseção}} = 12402.944278 \cdot \frac{kg}{cm^2}$

$\text{Área}_1 = \int_0^{\text{interseção}} \sigma_{esq}(x)\, dx$ $\qquad$ $\text{Área}_1 = 407120.52 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$

$\text{Área}_2 = \int_{\text{interseção}}^{L} \sigma_{dir}(x)\, dx$ $\qquad$ $\text{Área}_2 = 299488.33 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$

$\text{Área} = (\text{Área}_1) + (\text{Área}_2)$ $\qquad$ $\text{Área} = 706608.85 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$

$\sigma_m = \frac{\text{Área}}{L}$ $\qquad$ $\sigma_m = 13119.36 \cdot \frac{kg}{cm^2}$

$L_{cabo} = 55.55m$ $\qquad$ $\text{Área}_{\text{teórica\_aço}} = 143.4 \cdot mm^2$ $\qquad$ $E_{\text{teórico\_aço}} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$

$F_{\text{média\_cabo}} = \sigma_m \cdot \text{Área}_{\text{teórica\_aço}} = 18.8 \cdot t$

$\Delta L_{\text{teórico}} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{\text{teórico\_aço}}} = 374 \cdot mm$

CABOS C8=C9=C11 (6ø15.2mm)

$Área_{teórica\_aço} = 143.4mm^2$ $\quad fptk = \frac{265.8kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1853.56\,MPa$ $\quad fpyk = \frac{239.2kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1668.06\,MPa$

$\sigma_{pi} = \min(0.74 \cdot fptk, 0.82 \cdot fpyk) = 1367.81\,MPa$

$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78 \cdot \frac{kgf}{cm^2}$ $\quad \mu = 0.20$ $\quad \beta = 0.01 \frac{rad}{m}$ $\quad e = 2.72$ $\quad L = 53.86m$

$\kappa = \beta \cdot \mu = 0.002 \cdot \frac{rad}{m}$ $\quad n = 21$ $\quad i = 1, 2 .. n$

$$S = 0cm, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 269.3 \\ 538.6 \\ 807.9 \\ 1077.2 \\ 1346.5 \\ 1615.8 \\ 1885.1 \\ 2154.4 \\ 2423.7 \\ 2693 \\ 2962.3 \\ 3231.6 \\ 3500.9 \\ 3770.2 \\ 4039.5 \\ 4308.8 \\ 4578.1 \\ 4847.4 \\ 5116.7 \\ 5386 \end{pmatrix} cm \qquad \Delta\alpha_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 4.01 \\ 3.66 \\ 0 \\ 3.66 \\ 3.01 \\ 0 \\ 0 \\ 3.01 \\ 0 \\ 0 \\ 4.18 \\ 0 \\ 4.18 \\ 2.36 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 2.36 \\ 2.63 \end{pmatrix}° \qquad \Delta\alpha_{planta} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}°$$

$$\alpha_i = \left| \begin{array}{ll} 0rad & \text{if } i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \sqrt{\left(\Delta\alpha_{elevação_i}\right)^2 + \left(\Delta\alpha_{planta_i}\right)^2} & \text{if } i > 1 \\ i \cdot rad & \text{otherwise} \end{array} \right.$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13872.86 \\ 13606.55 \\ 13361.66 \\ 13289.89 \\ 13050.7 \\ 12844.92 \\ 12775.93 \\ 12707.3 \\ 12506.94 \\ 12439.76 \\ 12372.94 \\ 12128.22 \\ 12063.07 \\ 11824.48 \\ 11664.47 \\ 11601.82 \\ 11539.5 \\ 11477.51 \\ 11322.21 \\ 11158.48 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$n = 21 \qquad i = 1, 2 .. n$

$$\Delta\theta_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 2.63 \\ 2.36 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 2.36 \\ 4.18 \\ 0 \\ 4.18 \\ 0 \\ 0 \\ 3.01 \\ 0 \\ 0 \\ 3.01 \\ 3.66 \\ 0 \\ 3.66 \\ 4.01 \\ 0 \end{pmatrix}° \qquad \Delta\theta_{planta} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}°$$

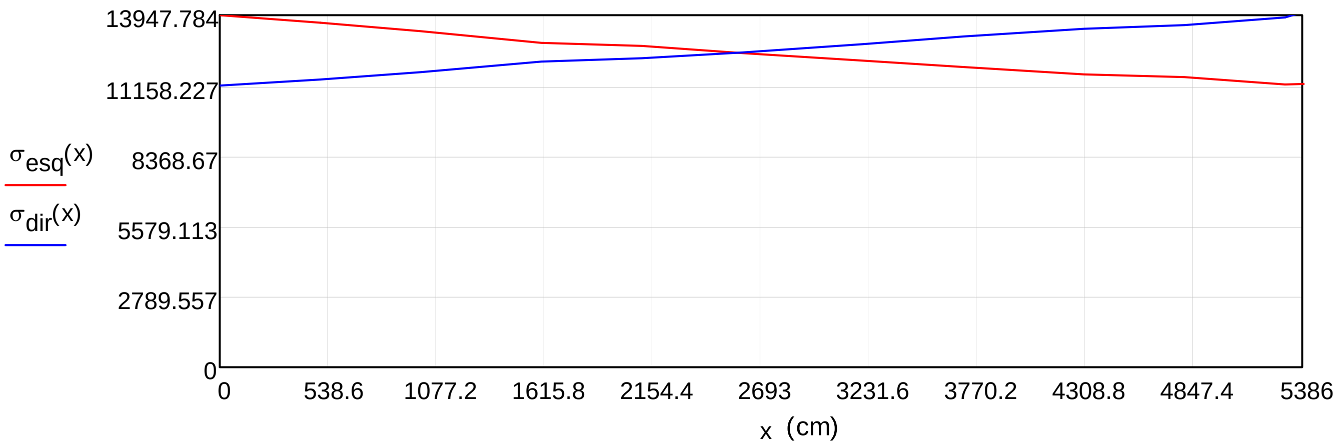
$$\theta_i = \left| \begin{array}{ll} 0rad & \text{if } i = 1 \\ \theta_{(i-1)} + \sqrt{\left(\Delta\theta_{elevação_i}\right)^2 + \left(\Delta\theta_{planta_i}\right)^2} & \text{if } i > 1 \\ i \cdot rad & \text{otherwise} \end{array} \right.$$

$$\sigma_{dir} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \theta + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{dir} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13746.09 \\ 13560.08 \\ 13487.24 \\ 13414.8 \\ 13342.74 \\ 13162.19 \\ 12901.86 \\ 12832.56 \\ 12578.74 \\ 12511.18 \\ 12443.97 \\ 12247.77 \\ 12181.98 \\ 12116.54 \\ 11925.5 \\ 11710.86 \\ 11647.96 \\ 11438.32 \\ 11218.74 \\ 11158.48 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$$a = \text{cspline}(S, \sigma_{esq}) \qquad b = \text{cspline}(S, \sigma_{dir})$$

$$\sigma_{esq}(x) = \text{interp}\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right) \qquad \sigma_{dir}(x) = \text{interp}\left(\frac{b}{g}, S, \frac{\text{reverse}(\sigma_{dir})}{g}, x\right)$$



$c := \frac{L}{2}$ $\quad d := 0m$

Given

$d = \sigma_{esq}(c)$ $\quad d = \sigma_{dir}(c)$

$$\begin{pmatrix} interseção \\ \sigma_{interseção} \end{pmatrix} := Find(c, d) \qquad interseção = 2559.82 \cdot cm$$

$$\sigma_{interseção} = 12454.740595 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$$Área_1 := \int_0^{interseção} \sigma_{esq}(x)\, dx \qquad Área_1 = 336796.34 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$Área_2 := \int_{interseção}^{L} \sigma_{dir}(x)\, dx \qquad Área_2 = 372769.91 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$Área := (Área_1) + (Área_2) \qquad Área = 709566.25 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$\sigma_m := \frac{Área}{L} \qquad \sigma_m = 13174.27 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$$L_{cabo} := 55.55m \qquad Área_{teórica\_aço} := 143.4 \cdot mm^2 \qquad E_{teórico\_aço} := 1950000 \frac{kg}{cm^2}$$

$$F_{média\_cabo} := \sigma_m \cdot Área_{teórica\_aço} = 18.9 \cdot t$$

$$\Delta L_{teórico} := \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 375 \cdot mm$$

CABO C10 (6ø15.2mm)

$Área_{teórica\_aço} = 143.4mm^2$ $\quad fptk = \frac{265.8kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1853.56\,MPa$ $\quad fpyk = \frac{239.2kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1668.06\,MPa$

$\sigma_{pi} = \min(0.74 \cdot fptk, 0.82 \cdot fpyk) = 1367.81\,MPa$

$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78 \cdot \frac{kgf}{cm^2}$ $\quad \mu = 0.20$ $\quad \beta = 0.01 \frac{rad}{m}$ $\quad e = 2.72$ $\quad L = 53.86m$

$\kappa = \beta \cdot \mu = 0.002 \cdot \frac{rad}{m}$ $\quad n = 21$ $\quad i = 1, 2 .. n$

$$S = 0cm, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 269.3 \\ 538.6 \\ 807.9 \\ 1077.2 \\ 1346.5 \\ 1615.8 \\ 1885.1 \\ 2154.4 \\ 2423.7 \\ 2693 \\ 2962.3 \\ 3231.6 \\ 3500.9 \\ 3770.2 \\ 4039.5 \\ 4308.8 \\ 4578.1 \\ 4847.4 \\ 5116.7 \\ 5386 \end{pmatrix} cm \qquad \Delta\alpha_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0.46 \\ 3.66 \\ 0 \\ 3.66 \\ 3.01 \\ 0 \\ 0 \\ 3.01 \\ 0 \\ 0 \\ 4.18 \\ 0 \\ 4.18 \\ 2.36 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 2.36 \\ 2.63 \end{pmatrix}^{\circ} \qquad \Delta\alpha_{planta} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}^{\circ}$$

$$\alpha_i = \left| \begin{array}{l} 0rad \quad \text{if} \quad i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \sqrt{\left(\Delta\alpha_{elevação_i}\right)^2 + \left(\Delta\alpha_{planta_i}\right)^2} \quad \text{if} \quad i > 1 \\ i \cdot rad \quad \text{otherwise} \end{array} \right.$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13872.86 \\ 13776.21 \\ 13528.26 \\ 13455.6 \\ 13213.42 \\ 13005.08 \\ 12935.23 \\ 12865.75 \\ 12662.89 \\ 12594.87 \\ 12527.22 \\ 12279.44 \\ 12213.48 \\ 11971.92 \\ 11809.92 \\ 11746.48 \\ 11683.38 \\ 11620.63 \\ 11463.38 \\ 11297.61 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$n = 21 \qquad i = 1, 2 .. n$

$$\Delta\theta_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 2.63 \\ 2.36 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 2.36 \\ 4.18 \\ 0 \\ 4.18 \\ 0 \\ 0 \\ 3.01 \\ 0 \\ 0 \\ 3.01 \\ 3.66 \\ 0 \\ 3.66 \\ 0.46 \\ 0 \end{pmatrix}^{\circ} \qquad \Delta\theta_{planta} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}^{\circ}$$

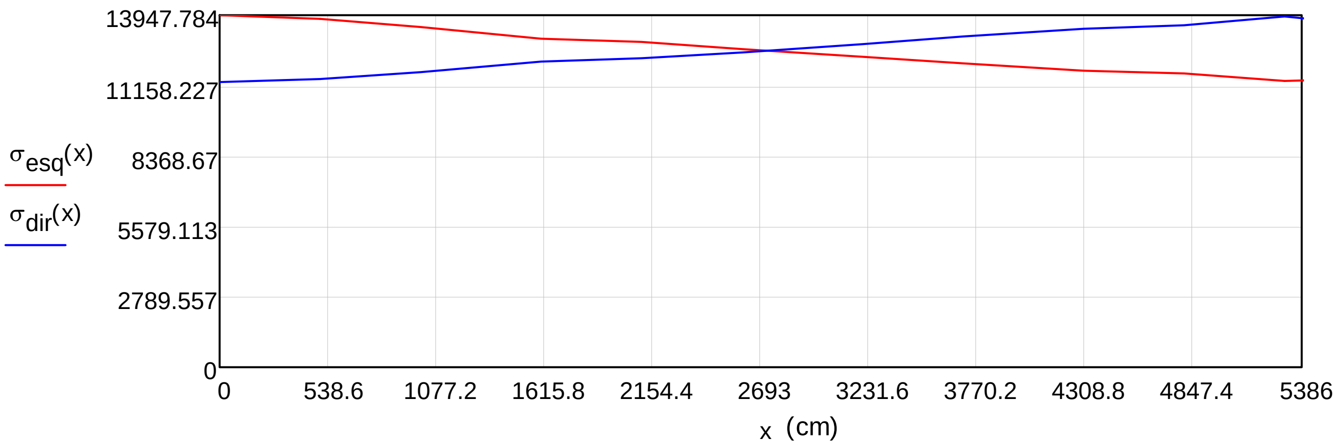
$$\theta_i = \left| \begin{array}{l} 0\text{rad} \quad \text{if} \quad i = 1 \\ \theta_{(i-1)} + \sqrt{\left(\Delta\theta_{elevação_i}\right)^2 + \left(\Delta\theta_{planta_i}\right)^2} \quad \text{if} \quad i > 1 \\ i \cdot \text{rad} \quad \text{otherwise} \end{array} \right.$$

$$\sigma_{dir} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \theta + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{dir} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13746.09 \\ 13560.08 \\ 13487.24 \\ 13414.8 \\ 13342.74 \\ 13162.19 \\ 12901.86 \\ 12832.56 \\ 12578.74 \\ 12511.18 \\ 12443.97 \\ 12247.77 \\ 12181.98 \\ 12116.54 \\ 11925.5 \\ 11710.86 \\ 11647.96 \\ 11438.32 \\ 11358.62 \\ 11297.61 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$$a = \mathrm{cspline}(S, \sigma_{esq}) \qquad b = \mathrm{cspline}(S, \sigma_{dir})$$

$$\sigma_{esq}(x) = \mathrm{interp}\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right) \qquad \sigma_{dir}(x) = \mathrm{interp}\left(\frac{b}{g}, S, \frac{\mathrm{reverse}(\sigma_{dir})}{g}, x\right)$$



$c = \frac{L}{2}$ $\quad$ $d = 0m$

Given

$d = \sigma_{esq}(c)$ $\quad$ $d = \sigma_{dir}(c)$

$\begin{pmatrix} interseção \\ \sigma_{interseção} \end{pmatrix} = Find(c, d)$ $\quad$ $interseção = 2870.66 \cdot cm$

$\sigma_{interseção} = 12573.270113 \cdot \frac{kg}{cm^2}$

$Área_1 = \int_0^{interseção} \sigma_{esq}(x)\, dx$ $\quad$ $Área_1 = 379385.17 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$

$Área_2 = \int_{interseção}^{L} \sigma_{dir}(x)\, dx$ $\quad$ $Área_2 = 333903.04 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$

$Área = (Área_1) + (Área_2)$ $\quad$ $Área = 713288.21 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$

$\sigma_m = \frac{Área}{L}$ $\quad$ $\sigma_m = 13243.38 \cdot \frac{kg}{cm^2}$

$L_{cabo} = 55.55m$ $\quad$ $Área_{teórica\_aço} = 143.4 \cdot mm^2$ $\quad$ $E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$

$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot Área_{teórica\_aço} = 19 \cdot t$

$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 377 \cdot mm$

V9 - CÁLCULO DAS ARMADURAS DE FRETAGEM

a_0 = Área da placa de distribuição

b = Distância entre eixos das ancoragens

c = Distância entre as ancoragens

d = Distância entre a face do concreto ao eixo da ancoragem

n = Quantidade de ancoragens em elevação

q = Quantidade de cabos alinhados em cada grupo (seção transversal)

EXTREMIDADE ATIVA (Direita)

$b = 25cm$ $\quad n = 2$ $\quad q = 6$ $\quad F_{inicial} = 6 \cdot \sigma_1 \cdot Área_{teórica\_aço} = 1176.86\,kN$

$a_0 = 22cm$ $\quad c = 2.6cm$

$d = 17.5cm$ $\quad a_1 = a_0 + c = 24.6\,cm$

$F_1 = F_{inicial} \cdot \cos(9°) = 1162.37\,kN$ $\quad F_2 = F_{inicial} \cdot \cos(3°) = 1175.25\,kN$

$T_1 = 0.25 \cdot F_1 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 30.71\,kN$ $\quad T_2 = 0.25 \cdot F_2 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 31.05\,kN$

$a_2 = 2 \cdot d + (n-1) \cdot b = 60\,cm$

$F = \begin{pmatrix} 1162.37 \\ 1175.25 \end{pmatrix} kN$ $\quad T = \begin{pmatrix} 30.71 \\ 31.05 \end{pmatrix} kN$ $\quad \sum F = 2337.63\,kN$

$T_n = \frac{2}{3} \cdot \left(1 - \frac{n \cdot a_1}{a_2}\right) \cdot \sum F = 280.52\,kN$ $\quad fyd = 43.48 \frac{kN}{cm^2}$

$As_1 = \frac{\max(T)}{fyd} = 0.71\,cm^2$ $\quad As_2 = q \cdot \left(\frac{T_n}{fyd}\right) = 38.71\,cm^2$

EXTREMIDADE PASSIVA

$q = 6$

$F_{inicial} = 1176.86\,kN$

$a_0 = 22\,cm$

$d = 30cm$

$a_1 = 2 \cdot d = 60 \cdot cm$

$F = q \cdot F_{inicial} \cdot \cos(2°) = 7056.88\,kN$

$T = 0.25 \cdot F \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 1117.34\,kN$

$fyd = 43.48 \cdot \frac{kN}{cm^2}$

$As_4 = \frac{T}{fyd} = 25.7\,cm^2$

$As_{fretagem} = As_1 = 0.71\,cm^2$

Adotado espiral ø10mm - 5 passos por cabo em cada trecho de ancoragem ativa e passiva.

$As_{estribos} = \frac{\max(As_2, As_4)}{4} = 9.68\,cm^2$

$L = \max(a_1, a_2) = 60\,cm$

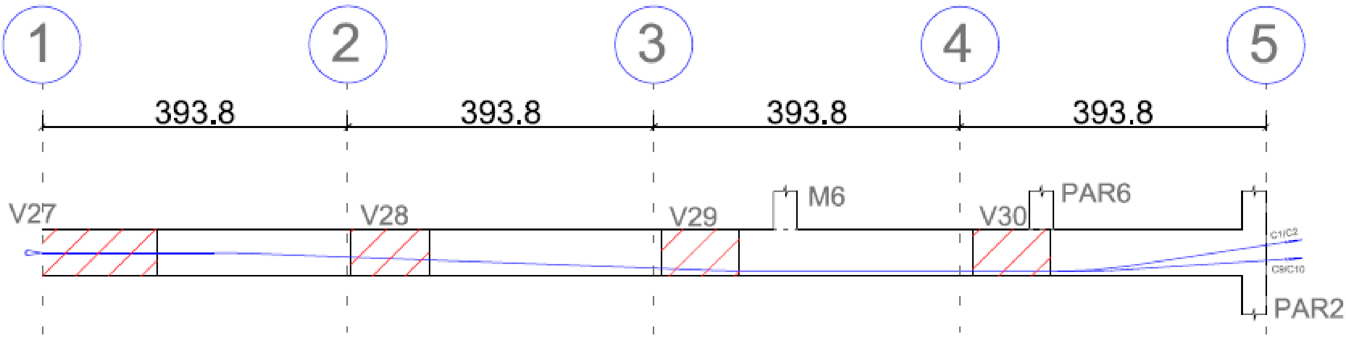
$bitola_{estribo} = 10mm$

$adotados = \mathrm{ceil}\left(\frac{As_{estribos}}{bitola_{estribo}^2}\right) = 10$

Estribos duplos $adotados = 10$ ø10.0mm em cada trecho de ancoragem ativa e passiva distribuídos em $L = 60\,cm$

V10 (1° PAVIMENTO) - CABOS C1 a C10

CABOS C1=C2 (6ø15.2mm)



$t = \text{tonne}$

$\text{Área}_{\text{teórica\_aço}} = 143.4\text{mm}^2$ $\quad \text{fptk} = \dfrac{265.8\text{kN}}{\text{Área}_{\text{teórica\_aço}}} = 1853.56\,\text{MPa}$ $\quad \text{fpyk} = \dfrac{239.2\text{kN}}{\text{Área}_{\text{teórica\_aço}}} = 1668.06\,\text{MPa}$

$\sigma_{pi} = \min(0.74\cdot\text{fptk}, 0.82\cdot\text{fpyk}) = 1367.81\,\text{MPa}$

$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78\cdot\dfrac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$ $\quad \mu = 0.20$ $\quad \beta = 0.01\dfrac{\text{rad}}{\text{m}}$ $\quad e = 2.72$ $\quad L = 15.75\text{m}$

$\kappa = \beta\cdot\mu = 0.002\cdot\dfrac{\text{rad}}{\text{m}}$ $\quad n = 5$ $\quad i = 1, 2 .. n$

$$S = 0\text{cm}, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 393.75 \\ 787.5 \\ 1181.25 \\ 1575 \end{pmatrix}\text{cm} \qquad \Delta\alpha_{\text{elevação}} = \begin{pmatrix} 0 \\ 2.11 \\ 0 \\ 2.11 \\ 8.7 \end{pmatrix}°$$

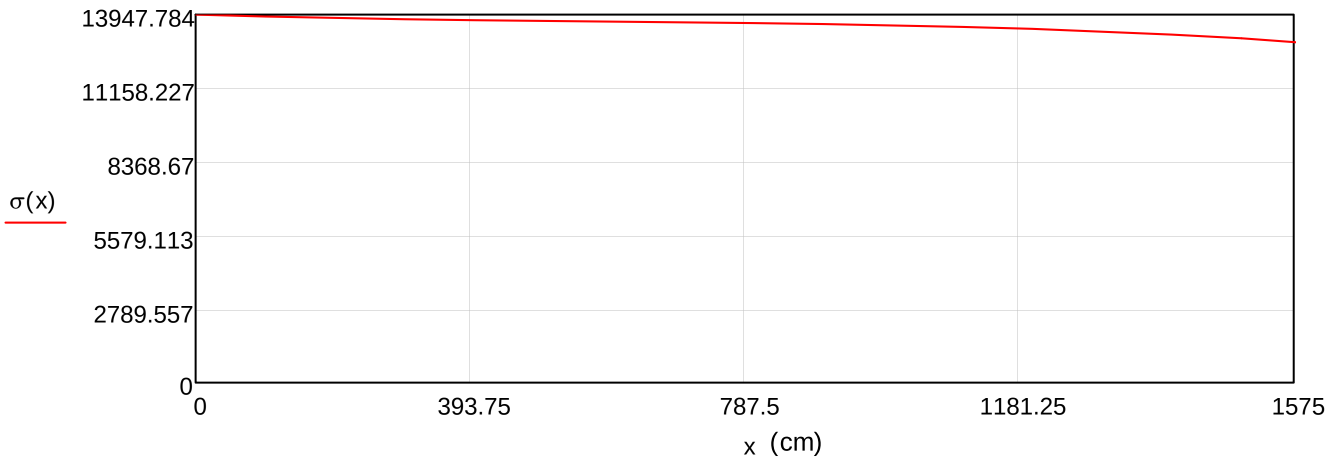
$$\alpha_i = \begin{array}{|l} 0\text{rad} \quad \text{if} \quad i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \Delta\alpha_{\text{elevação}_i} \quad \text{if} \quad i > 1 \\ i\cdot\text{rad} \quad \text{otherwise} \end{array}$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1\cdot e^{-(\mu\cdot\alpha+\kappa\cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13736.83 \\ 13629.07 \\ 13422.94 \\ 12919.29 \end{pmatrix}\cdot\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$a = \text{cspline}\left(S, \sigma_{esq}\right)$$

$$\sigma(x) = \text{interp}\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$$



$$\text{Área} = \int_0^L \sigma(x)\,dx \qquad \text{Área} = 213628.12 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$\sigma_m = \frac{\text{Área}}{L} \qquad \sigma_m = 13563.69 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$$L_{cabo} = 16.60m \qquad \text{Área}_{teórica\_aço} = 143.4 \cdot mm^2 \qquad E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$$

$$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot \text{Área}_{teórica\_aço} = 19.5 \cdot t$$

$$\Delta L_{teórico} = \frac{\left(\sigma_m\right) \cdot \left(L_{cabo}\right)}{E_{teórico\_aço}} = 115 \cdot mm$$

CABOS C9=C10 (6ø15.2mm)

$Área_{teórica\_aço} = 143.4mm^2$ $fptk = \frac{265.8kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1853.56\,MPa$ $fpyk = \frac{239.2kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1668.06\,MPa$

$\sigma_{pi} = \min(0.74 \cdot fptk, 0.82 \cdot fpyk) = 1367.81\,MPa$

$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78 \cdot \frac{kgf}{cm^2}$ $\mu = 0.20$ $\beta = 0.01 \frac{rad}{m}$ $e = 2.72$ $L = 15.75m$

$\kappa = \beta \cdot \mu = 0.002 \cdot \frac{rad}{m}$ $n = 5$ $i = 1, 2 .. n$

$$S = 0cm, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 393.75 \\ 787.5 \\ 1181.25 \\ 1575 \end{pmatrix} cm \qquad \Delta\alpha_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 2.11 \\ 0 \\ 2.11 \\ 3.66 \end{pmatrix} °$$

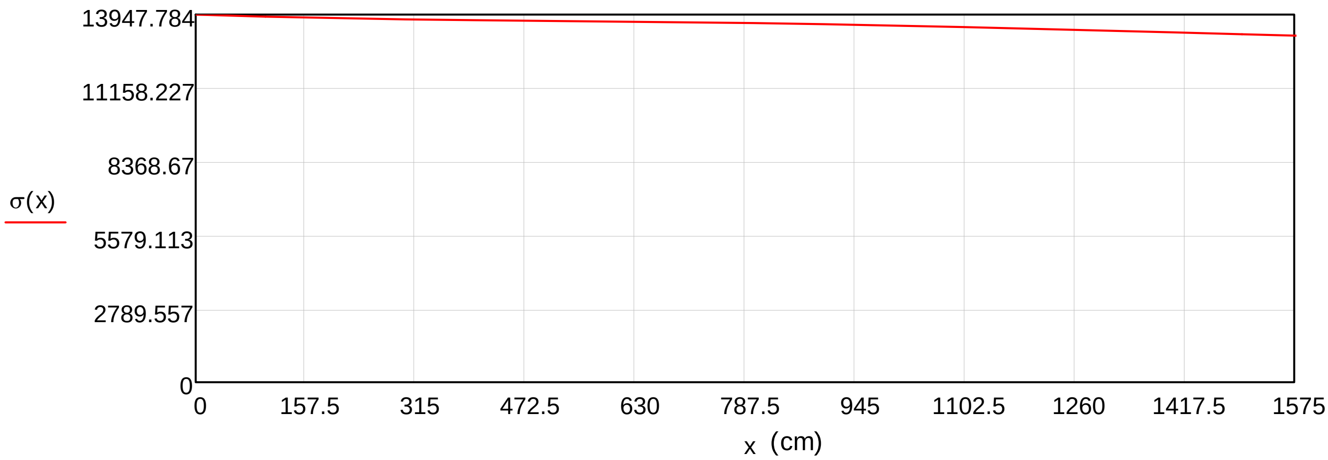
$$\alpha_i = \left| \begin{array}{l} 0rad \quad \text{if} \quad i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \Delta\alpha_{elevação_i} \quad \text{if} \quad i > 1 \\ i \cdot rad \quad \text{otherwise} \end{array} \right.$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13736.83 \\ 13629.07 \\ 13422.94 \\ 13148.59 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$a = \text{cspline}(S, \sigma_{esq})$

$$\sigma(x) = \text{interp}\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$$



$$\text{Área} = \int_0^L \sigma(x)\,dx \qquad \text{Área} = 213929.09 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

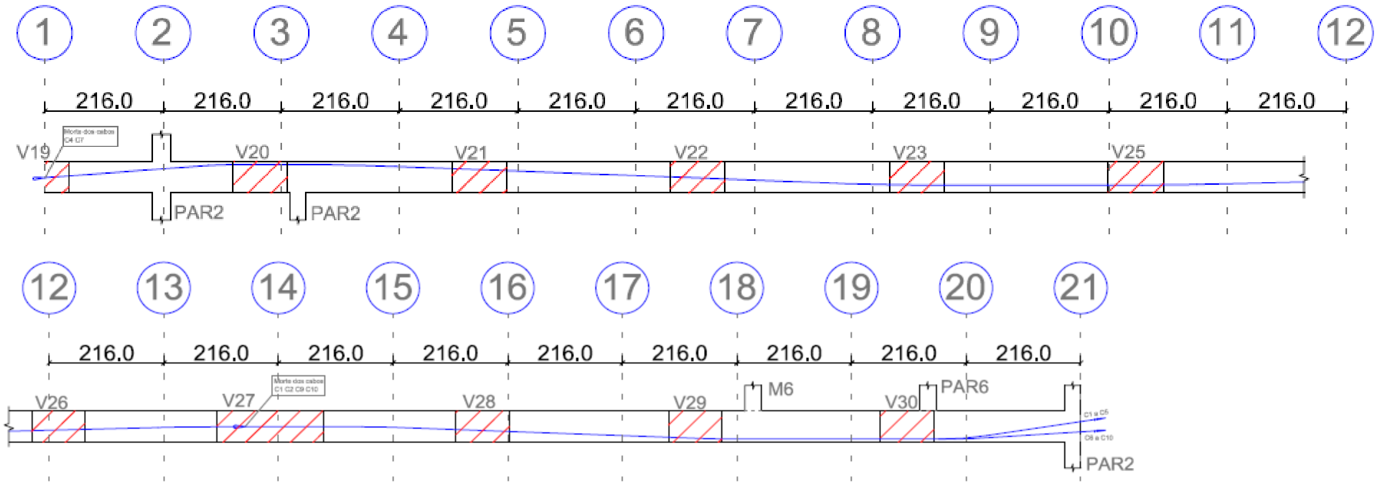
$$\sigma_m = \frac{\text{Área}}{L} \qquad \sigma_m = 13582.8 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$L_{cabo} = 16.55m$ $\quad$ $\text{Área}_{teórica\_aço} = 143.4 \cdot mm^2$ $\quad$ $E_{teórico\_aço} = 1950000 \dfrac{kg}{cm^2}$

$$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot \text{Área}_{teórica\_aço} = 19.5 \cdot t$$

$$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 115 \cdot mm$$

CABO C4 (6ø15.2mm)



$t = \text{tonne}$

$\text{Área}_{\text{teórica\_aço}} = 143.4\text{mm}^2$ $\quad fptk = \dfrac{265.8\text{kN}}{\text{Área}_{\text{teórica\_aço}}} = 1853.56\,\text{MPa}$ $\quad fpyk = \dfrac{239.2\text{kN}}{\text{Área}_{\text{teórica\_aço}}} = 1668.06\,\text{MPa}$

$\sigma_{pi} = \min(0.74 \cdot fptk, 0.82 \cdot fpyk) = 1367.81\,\text{MPa}$

$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78 \cdot \dfrac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$ $\quad \mu = 0.20$ $\quad \beta = 0.01 \dfrac{\text{rad}}{\text{m}}$ $\quad e = 2.72$ $\quad L = 43.20\text{m}$

$\kappa = \beta \cdot \mu = 0.002 \cdot \dfrac{\text{rad}}{\text{m}}$ $\quad n = 21$ $\quad i = 1, 2 .. n$

$$S = 0cm, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 216 \\ 432 \\ 648 \\ 864 \\ 1080 \\ 1296 \\ 1512 \\ 1728 \\ 1944 \\ 2160 \\ 2376 \\ 2592 \\ 2808 \\ 3024 \\ 3240 \\ 3456 \\ 3672 \\ 3888 \\ 4104 \\ 4320 \end{pmatrix} cm \qquad \Delta\alpha_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 4.45 \\ 2.23 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0.55 \\ 1.68 \\ 0 \\ 1.43 \\ 0 \\ 0.58 \\ 0.86 \\ 2.12 \\ 0.01 \\ 0 \\ 2.11 \\ 0 \\ 6.46 \\ 2.24 \end{pmatrix}° \qquad \Delta\alpha_{planta} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}°$$

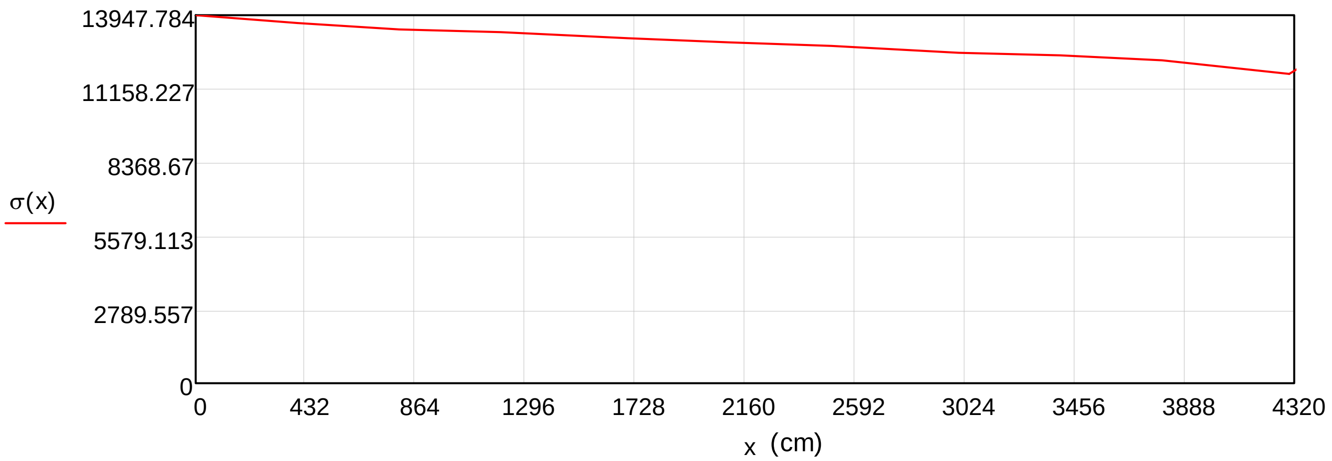
$$\alpha_i = \left| \begin{array}{l} 0rad \quad \text{if} \quad i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \sqrt{\left(\Delta\alpha_{elevação_i}\right)^2 + \left(\Delta\alpha_{planta_i}\right)^2} \quad \text{if} \quad i > 1 \\ i \cdot rad \quad \text{otherwise} \end{array} \right.$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13887.66 \\ 13614.66 \\ 13450.86 \\ 13392.88 \\ 13335.14 \\ 13277.66 \\ 13195.07 \\ 13061.37 \\ 13005.06 \\ 12884.53 \\ 12828.99 \\ 12747.85 \\ 12654.85 \\ 12507.4 \\ 12453.05 \\ 12399.37 \\ 12255.32 \\ 12202.49 \\ 11878.98 \\ 11735.65 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$$a = cspline(S, \sigma_{esq})$$

$$\sigma(x) = interp\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$$



$$\text{Área} = \int_0^L \sigma(x)\,dx \qquad \text{Área} = 557008.98 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$\sigma_m = \frac{\text{Área}}{L} \qquad \sigma_m = 12893.73 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$$L_{cabo} = 44.05m \qquad \text{Área}_{teórica\_aço} = 143.4 \cdot mm^2 \qquad E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$$

$$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot \text{Área}_{teórica\_aço} = 18.5 \cdot t$$

$$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 291 \cdot mm$$

CABO C7 (6ø15.2mm)

$$\text{Área}_{teórica\_aço} = 143.4mm^2 \qquad fptk = \frac{265.8kN}{\text{Área}_{teórica\_aço}} = 1853.56\,MPa \qquad fpyk = \frac{239.2kN}{\text{Área}_{teórica\_aço}} = 1668.06\,MPa$$

$$\sigma_{pi} = \min(0.74 \cdot fptk, 0.82 \cdot fpyk) = 1367.81\,MPa$$

$$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78 \cdot \frac{kgf}{cm^2} \qquad \mu = 0.20 \qquad \beta = 0.01 \frac{rad}{m} \qquad e = 2.72 \qquad L = 43.20m$$

$$\kappa = \beta \cdot \mu = 0.002 \cdot \frac{rad}{m} \qquad n = 21 \qquad i = 1, 2 .. n$$

$$S = 0cm, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 216 \\ 432 \\ 648 \\ 864 \\ 1080 \\ 1296 \\ 1512 \\ 1728 \\ 1944 \\ 2160 \\ 2376 \\ 2592 \\ 2808 \\ 3024 \\ 3240 \\ 3456 \\ 3672 \\ 3888 \\ 4104 \\ 4320 \end{pmatrix} cm \qquad \Delta\alpha_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 4.45 \\ 2.23 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0.55 \\ 1.68 \\ 0 \\ 1.43 \\ 0 \\ 0.58 \\ 0.86 \\ 2.12 \\ 0.01 \\ 0 \\ 2.11 \\ 0 \\ 1.86 \\ 1.8 \end{pmatrix} ° \qquad \Delta\alpha_{planta} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} °$$

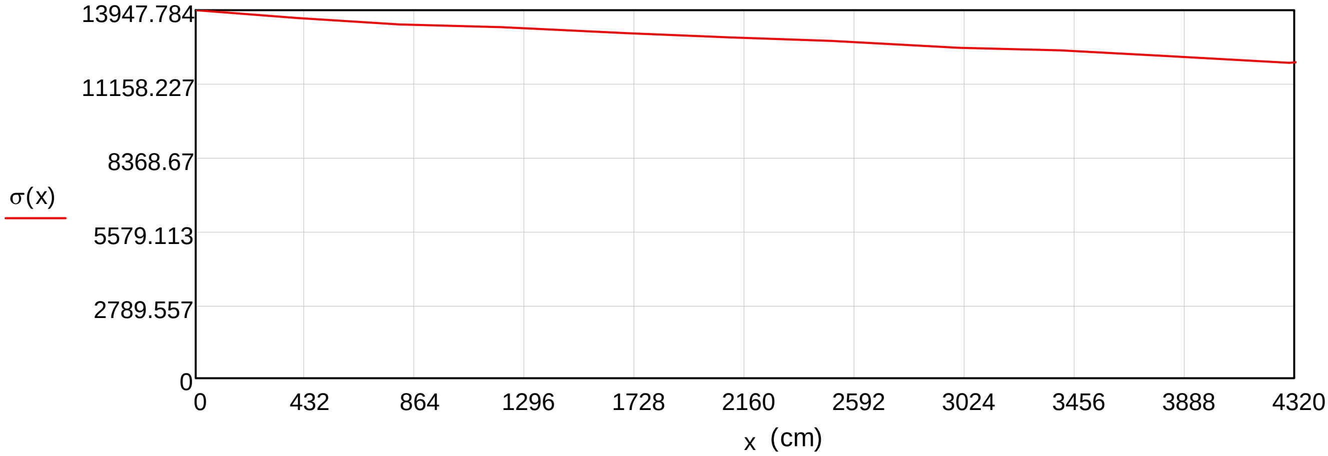
$$\alpha_i = \left| \begin{array}{l} 0rad \quad \text{if} \quad i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \sqrt{\left(\Delta\alpha_{elevação_i}\right)^2 + \left(\Delta\alpha_{planta_i}\right)^2} \quad \text{if} \quad i > 1 \\ i \cdot rad \quad \text{otherwise} \end{array} \right.$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13887.66 \\ 13614.66 \\ 13450.86 \\ 13392.88 \\ 13335.14 \\ 13277.66 \\ 13195.07 \\ 13061.37 \\ 13005.06 \\ 12884.53 \\ 12828.99 \\ 12747.85 \\ 12654.85 \\ 12507.4 \\ 12453.05 \\ 12399.37 \\ 12255.32 \\ 12202.49 \\ 12071.26 \\ 11943.94 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$$a = cspline\left(S, \sigma_{esq}\right)$$

$$\sigma(x) = interp\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$$



$\text{Área} = \int_0^L \sigma(x)\,dx$ $\qquad$ $\text{Área} = 557694.14 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$

$\sigma_m = \frac{\text{Área}}{L}$ $\qquad$ $\sigma_m = 12909.59 \cdot \frac{kg}{cm^2}$

$L_{cabo} = 44.05m$ $\qquad$ $\text{Área}_{teórica\_aço} = 143.4 \cdot mm^2$ $\qquad$ $E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$

$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot \text{Área}_{teórica\_aço} = 18.5 \cdot t$

$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 292 \cdot mm$

CABOS C3=C5 (6ø15.2mm)

$\text{Área}_{teórica\_aço} = 143.4mm^2$ $\qquad$ $fptk = \frac{265.8kN}{\text{Área}_{teórica\_aço}} = 1853.56\,MPa$ $\qquad$ $fpyk = \frac{239.2kN}{\text{Área}_{teórica\_aço}} = 1668.06\,MPa$

$\sigma_{pi} = \min(0.74 \cdot fptk, 0.82 \cdot fpyk) = 1367.81\,MPa$

$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78 \cdot \frac{kgf}{cm^2}$ $\qquad$ $\mu = 0.20$ $\qquad$ $\beta = 0.01 \frac{rad}{m}$ $\qquad$ $e = 2.72$ $\qquad$ $L = 52.20m$

$\kappa = \beta \cdot \mu = 0.002 \cdot \frac{rad}{m}$ $\qquad$ $n = 21$ $\qquad$ $i = 1, 2 .. n$

$$S = 0cm, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 261 \\ 522 \\ 783 \\ 1044 \\ 1305 \\ 1566 \\ 1827 \\ 2088 \\ 2349 \\ 2610 \\ 2871 \\ 3132 \\ 3393 \\ 3654 \\ 3915 \\ 4176 \\ 4437 \\ 4698 \\ 4959 \\ 5220 \end{pmatrix} cm \qquad \Delta\alpha_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 3.34 \\ 4.45 \\ 0 \\ 4.45 \\ 2.23 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 2.23 \\ 0 \\ 1.43 \\ 0 \\ 1.43 \\ 2.12 \\ 0.01 \\ 0 \\ 2.11 \\ 2.21 \\ 6.49 \end{pmatrix} ° \qquad \Delta\alpha_{planta} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} °$$

$$\alpha_i = \left| \begin{array}{ll} 0rad & \text{if } i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \sqrt{\left(\Delta\alpha_{elevação_i}\right)^2 + \left(\Delta\alpha_{planta_i}\right)^2} & \text{if } i > 1 \\ i \cdot rad & \text{otherwise} \end{array} \right.$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13875.17 \\ 13642.94 \\ 13362.72 \\ 13293.14 \\ 13020.11 \\ 12851.89 \\ 12784.98 \\ 12718.41 \\ 12652.2 \\ 12488.73 \\ 12423.71 \\ 12297.49 \\ 12233.46 \\ 12109.17 \\ 11957.31 \\ 11894.64 \\ 11832.72 \\ 11684.73 \\ 11534.57 \\ 11217.49 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$n = 21 \qquad i = 1, 2 .. n$

$$\Delta\theta_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 6.49 \\ 2.21 \\ 2.11 \\ 0 \\ 0.01 \\ 2.12 \\ 1.43 \\ 0 \\ 1.43 \\ 0 \\ 2.23 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 2.23 \\ 4.45 \\ 0 \\ 4.45 \\ 3.34 \\ 0 \end{pmatrix}° \qquad \Delta\theta_{planta} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}°$$

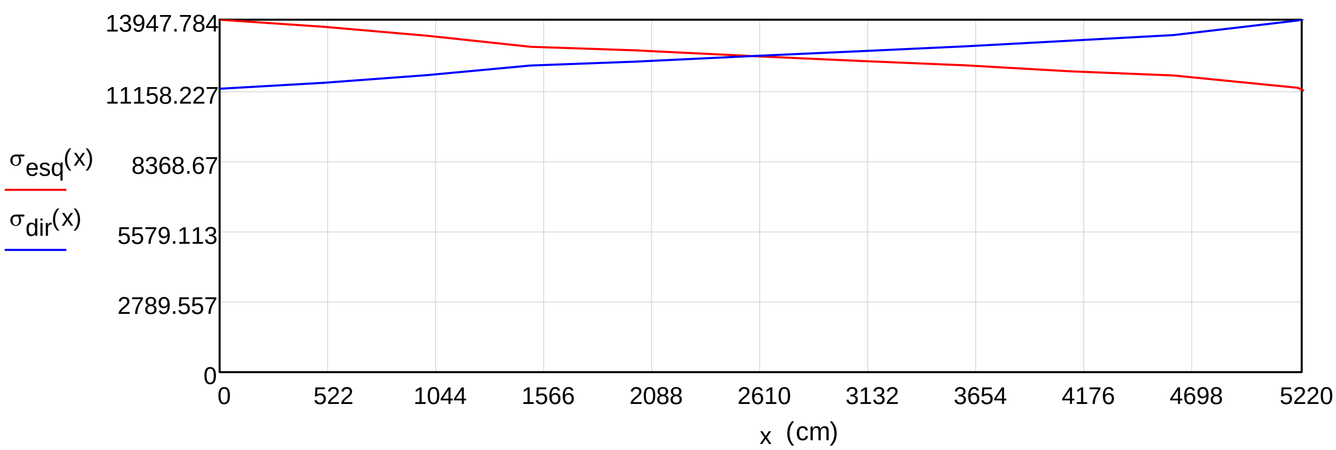
$$\theta_i = \left| \begin{array}{l} 0rad \quad \text{if} \quad i = 1 \\ \theta_{(i-1)} + \sqrt{\left(\Delta\theta_{elevação_i}\right)^2 + \left(\Delta\theta_{planta_i}\right)^2} \quad \text{if} \quad i > 1 \\ i \cdot rad \quad \text{otherwise} \end{array} \right.$$

$$\sigma_{dir} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \theta + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{dir} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13564.37 \\ 13390.05 \\ 13222.59 \\ 13153.75 \\ 13084.81 \\ 12920.71 \\ 12789.44 \\ 12722.85 \\ 12593.59 \\ 12528.03 \\ 12366.16 \\ 12301.78 \\ 12237.73 \\ 12174.02 \\ 12016.73 \\ 11769.91 \\ 11708.63 \\ 11468.14 \\ 11276.2 \\ 11217.49 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$$a = \mathrm{cspline}(S, \sigma_{esq}) \qquad b = \mathrm{cspline}(S, \sigma_{dir})$$

$$\sigma_{esq}(x) = \mathrm{interp}\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right) \qquad \sigma_{dir}(x) = \mathrm{interp}\left(\frac{b}{g}, S, \frac{\mathrm{reverse}(\sigma_{dir})}{g}, x\right)$$



$c = \frac{L}{2}$

$d = 0m$

Given

$d = \sigma_{esq}(c)$

$d = \sigma_{dir}(c)$

$$\begin{pmatrix} interseção \\ \sigma_{interseção} \end{pmatrix} = Find(c, d)$$

$interseção = 2570.95 \cdot cm$

$\sigma_{interseção} = 12508.739329 \cdot \frac{kg}{cm^2}$

$$Área_1 = \int_0^{interseção} \sigma_{esq}(x)\,dx$$

$Área_1 = 338152.68 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$

$$Área_2 = \int_{interseção}^{L} \sigma_{dir}(x)\,dx$$

$Área_2 = 345937.75 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$

$Área = (Área_1) + (Área_2)$

$Área = 684090.43 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$

$\sigma_m = \frac{Área}{L}$

$\sigma_m = 13105.18 \cdot \frac{kg}{cm^2}$

$L_{cabo} = 53.90m$

$Área_{teórica\_aço} = 143.4 \cdot mm^2$

$E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$

$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot Área_{teórica\_aço} = 18.8 \cdot t$

$$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 362 \cdot mm$$

CABOS C6=C8 (6ø15.2mm)

$\text{Área}_{teórica\_aço} = 143.4mm^2$ $\quad fptk = \dfrac{265.8kN}{\text{Área}_{teórica\_aço}} = 1853.56\,MPa$ $\quad fpyk = \dfrac{239.2kN}{\text{Área}_{teórica\_aço}} = 1668.06\,MPa$

$\sigma_{pi} = \min(0.74 \cdot fptk, 0.82 \cdot fpyk) = 1367.81\,MPa$

$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78 \cdot \dfrac{kgf}{cm^2}$ $\quad \mu = 0.20$ $\quad \beta = 0.01 \dfrac{rad}{m}$ $\quad e = 2.72$ $\quad L = 52.20m$

$\kappa = \beta \cdot \mu = 0.002 \cdot \dfrac{rad}{m}$ $\quad n = 21$ $\quad i = 1, 2 .. n$

$$S = 0cm, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 261 \\ 522 \\ 783 \\ 1044 \\ 1305 \\ 1566 \\ 1827 \\ 2088 \\ 2349 \\ 2610 \\ 2871 \\ 3132 \\ 3393 \\ 3654 \\ 3915 \\ 4176 \\ 4437 \\ 4698 \\ 4959 \\ 5220 \end{pmatrix} cm \qquad \Delta\alpha_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 3.34 \\ 4.45 \\ 0 \\ 4.45 \\ 2.23 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 2.23 \\ 0 \\ 1.43 \\ 0 \\ 1.43 \\ 2.12 \\ 0.01 \\ 0 \\ 2.11 \\ 0 \\ 3.66 \end{pmatrix} ° \qquad \Delta\alpha_{planta} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} °$$

$$\alpha_i = \begin{vmatrix} 0rad \quad \text{if} \quad i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \sqrt{\left(\Delta\alpha_{elevação_i}\right)^2 + \left(\Delta\alpha_{planta_i}\right)^2} \quad \text{if} \quad i > 1 \\ i \cdot rad \quad \text{otherwise} \end{vmatrix}$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13875.17 \\ 13642.94 \\ 13362.72 \\ 13293.14 \\ 13020.11 \\ 12851.89 \\ 12784.98 \\ 12718.41 \\ 12652.2 \\ 12488.73 \\ 12423.71 \\ 12297.49 \\ 12233.46 \\ 12109.17 \\ 11957.31 \\ 11894.64 \\ 11832.72 \\ 11684.73 \\ 11623.9 \\ 11416.59 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$n = 21 \qquad i = 1, 2..n$

$$\Delta\theta_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 3.66 \\ 0 \\ 2.11 \\ 0 \\ 0.01 \\ 2.12 \\ 1.43 \\ 0 \\ 1.43 \\ 0 \\ 2.23 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 2.23 \\ 4.45 \\ 0 \\ 4.45 \\ 3.34 \\ 0 \end{pmatrix}° \qquad \Delta\theta_{planta} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}°$$

$$\theta_i = \left| \begin{array}{l} 0rad \quad \text{if} \quad i = 1 \\ \theta_{(i-1)} + \sqrt{\left(\Delta\theta_{elevação_i}\right)^2 + \left(\Delta\theta_{planta_i}\right)^2} \quad \text{if} \quad i > 1 \\ i \cdot rad \quad \text{otherwise} \end{array} \right.$$

$$\sigma_{dir} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \theta + \kappa \cdot S)}$$

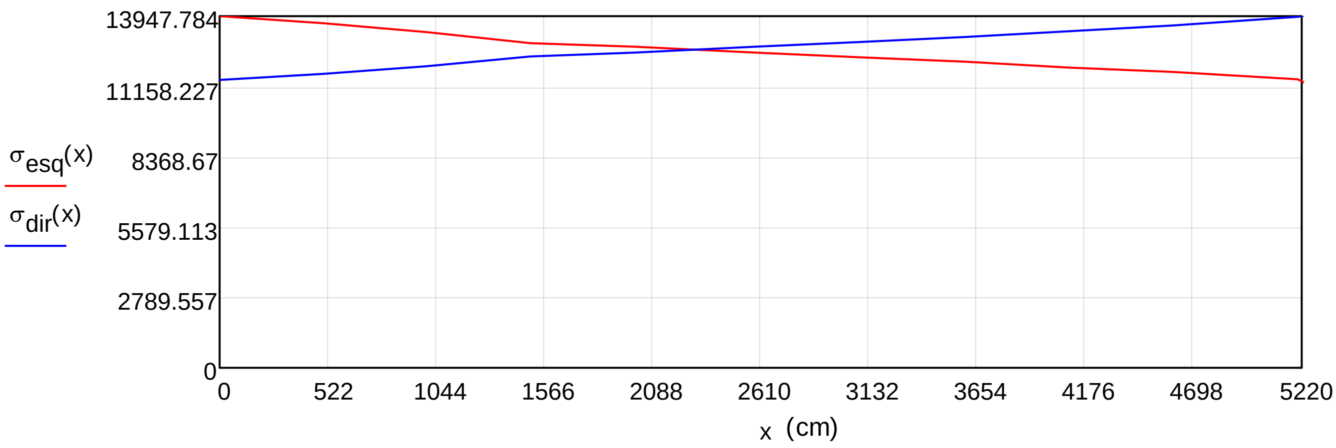
$$\sigma_{dir} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13699.03 \\ 13627.7 \\ 13457.27 \\ 13387.21 \\ 13317.04 \\ 13150.03 \\ 13016.43 \\ 12948.67 \\ 12817.11 \\ 12750.38 \\ 12585.65 \\ 12520.12 \\ 12454.94 \\ 12390.09 \\ 12230.01 \\ 11978.81 \\ 11916.44 \\ 11671.69 \\ 11476.34 \\ 11416.59 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$a = \mathrm{cspline}(S, \sigma_{esq})$

$b = \mathrm{cspline}(S, \sigma_{dir})$

$\sigma_{esq}(x) = \mathrm{interp}\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$

$\sigma_{dir}(x) = \mathrm{interp}\left(\frac{b}{g}, S, \frac{\mathrm{reverse}(\sigma_{dir})}{g}, x\right)$



$c = \frac{L}{2}$ $\qquad d = 0m$

Given

$d = \sigma_{esq}(c)$ $\qquad d = \sigma_{dir}(c)$

$\begin{pmatrix} interseção \\ \sigma_{interseção} \end{pmatrix} = Find(c, d)$ $\qquad interseção = 2405.32 \cdot cm$

$\sigma_{interseção} = 12619.597829 \cdot \frac{kg}{cm^2}$

$Área_1 = \int_0^{interseção} \sigma_{esq}(x)\, dx$ $\qquad Área_1 = 317344.24 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$

$Área_2 = \int_{interseção}^{L} \sigma_{dir}(x)\, dx$ $\qquad Área_2 = 372472.29 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$

$Área = (Área_1) + (Área_2)$ $\qquad Área = 689816.53 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$

$\sigma_m = \frac{Área}{L}$ $\qquad \sigma_m = 13214.88 \cdot \frac{kg}{cm^2}$

$L_{cabo} = 53.90m$ $\qquad Área_{teórica\_aço} = 143.4 \cdot mm^2$ $\qquad E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$

$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot Área_{teórica\_aço} = 19 \cdot t$

$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 365 \cdot mm$

V10 - CÁLCULO DAS ARMADURAS DE FRETAGEM

a_0 = Área da placa de distribuição

b = Distância entre eixos das ancoragens

c = Distância entre as ancoragens

d = Distância entre a face do concreto ao eixo da ancoragem

n = Quantidade de ancoragens em elevação

q = Quantidade de cabos alinhados em cada grupo (seção transversal)

EXTREMIDADE ATIVA (Direita)

$b = 25cm$ $\quad n = 2$ $\quad q = 5$ $\quad F_{inicial} = 6 \cdot \sigma_1 \cdot Área_{teórica\_aço} = 1176.86\,kN$

$a_0 = 22cm$ $\quad c = 1.8cm$

$d = 17.5cm$ $\quad a_1 = a_0 + c = 23.8\,cm$

$F_1 = F_{inicial} \cdot \cos(9°) = 1162.37\,kN$ $\quad F_2 = F_{inicial} \cdot \cos(3°) = 1175.25\,kN$

$$T_1 = 0.25 \cdot F_1 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 21.98\,kN \qquad T_2 = 0.25 \cdot F_2 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 22.22\,kN$$

$a_2 = 2 \cdot d + (n - 1) \cdot b = 60\,cm$

$$F = \begin{pmatrix} 1162.37 \\ 1175.25 \end{pmatrix} kN \qquad T = \begin{pmatrix} 21.98 \\ 22.22 \end{pmatrix} kN \qquad \sum F = 2337.63\,kN$$

$$T_n = \frac{2}{3} \cdot \left(1 - \frac{n \cdot a_1}{a_2}\right) \cdot \sum F = 322.07\,kN \qquad fyd = 43.48\,\frac{kN}{cm^2}$$

$$As_1 = \frac{\max(T)}{fyd} = 0.51\,cm^2 \qquad As_2 = q \cdot \left(\frac{T_n}{fyd}\right) = 37.04\,cm^2$$

EXTREMIDADE PASSIVA

$q = 4$ $F_{inicial} = 1176.86\,kN$

$a_0 = 22\,cm$

$d = 30cm$ $a_1 = 2 \cdot d = 60 \cdot cm$

$F = q \cdot F_{inicial} \cdot \cos(0°) = 4707.46\,kN$ $T = 0.25 \cdot F \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 745.35\,kN$ $fyd = 43.48 \cdot \frac{kN}{cm^2}$

$As_4 = \frac{T}{fyd} = 17.14\,cm^2$

$As_{fretagem} = As_1 = 0.51\,cm^2$

Adotado espiral ø10mm - 5 passos por cabo em cada trecho de ancoragem ativa e passiva.

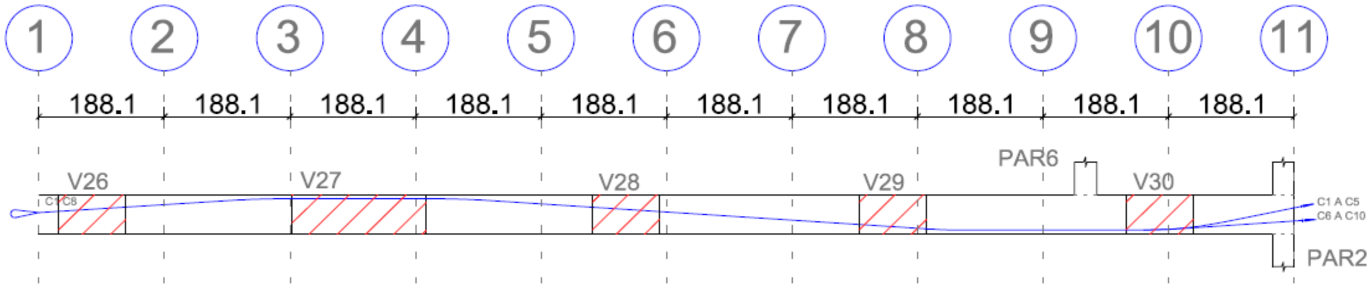
$As_{estribos} = \frac{\max(As_2, As_4)}{4} = 9.26\,cm^2$

$L = \max(a_1, a_2) = 60\,cm$ $bitola_{estribo} = 12.5mm$ $adotados = ceil\left(\frac{As_{estribos}}{bitola_{estribo}^2}\right) = 6$

Estribos duplos $adotados = 6$ ø12.5mm em cada trecho de ancoragem ativa e passiva distribuídos em $L = 60\,cm$

V11 (1° PAVIMENTO) - CABOS C1 a C10

CABO C1 (6ø15.2mm)



$t = \text{tonne}$

$\text{Área}_{\text{teórica\_aço}} = 143.4\,\text{mm}^2$ $\quad fptk = \dfrac{265.8\,\text{kN}}{\text{Área}_{\text{teórica\_aço}}} = 1853.56\,\text{MPa}$ $\quad fpyk = \dfrac{239.2\,\text{kN}}{\text{Área}_{\text{teórica\_aço}}} = 1668.06\,\text{MPa}$

$\sigma_{pi} = \min(0.74 \cdot fptk, 0.82 \cdot fpyk) = 1367.81\,\text{MPa}$

$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78 \cdot \dfrac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$ $\quad \mu = 0.20$ $\quad \beta = 0.01 \dfrac{\text{rad}}{\text{m}}$ $\quad e = 2.72$ $\quad L = 18.81\,\text{m}$

$\kappa = \beta \cdot \mu = 0.002 \cdot \dfrac{\text{rad}}{\text{m}}$ $\quad n = 11$ $\quad i = 1, 2 .. n$

$$S = 0\text{cm}, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 188.1 \\ 376.2 \\ 564.3 \\ 752.4 \\ 940.5 \\ 1128.6 \\ 1316.7 \\ 1504.8 \\ 1692.9 \\ 1881 \end{pmatrix} \text{cm} \qquad \Delta\alpha_{\text{elevação}} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 3.67 \\ 0 \\ 3.76 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 3.76 \\ 1.93 \\ 9.82 \end{pmatrix}°$$

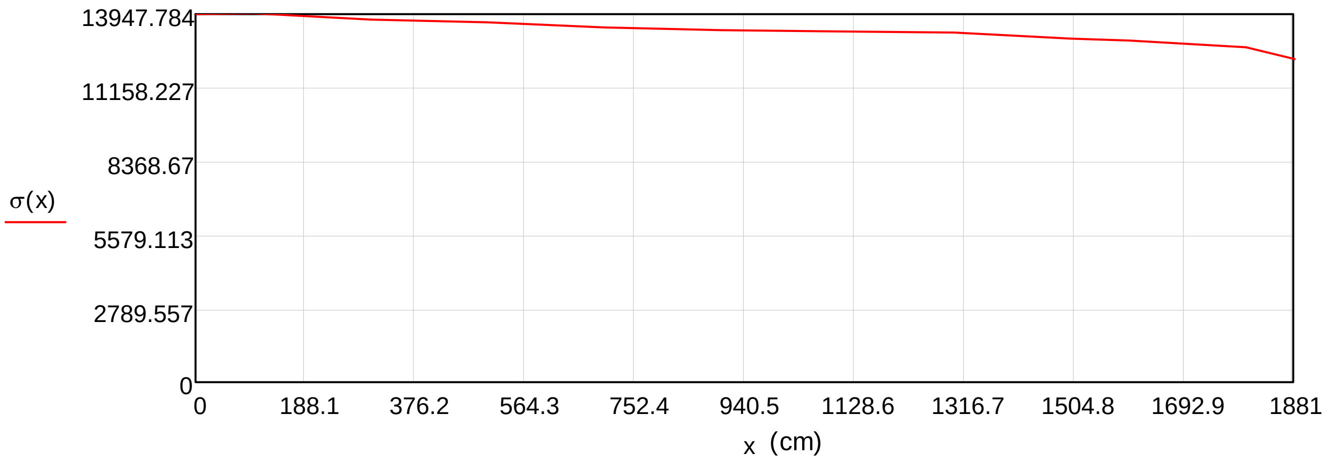
$$\alpha_i = \begin{cases} 0\text{rad} & \text{if } i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \Delta\alpha_{\text{elevação}_i} & \text{if } i > 1 \\ i \cdot \text{rad} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13895.41 \\ 13667.02 \\ 13615.7 \\ 13387.71 \\ 13337.44 \\ 13287.36 \\ 13237.46 \\ 13015.8 \\ 12879.86 \\ 12399.11 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$$a = \mathrm{cspline}(S, \sigma_{esq})$$

$$\sigma(x) = \mathrm{interp}\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$$



$$\text{Área} = \int_0^L \sigma(x)\,dx \qquad \text{Área} = 251283.36 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

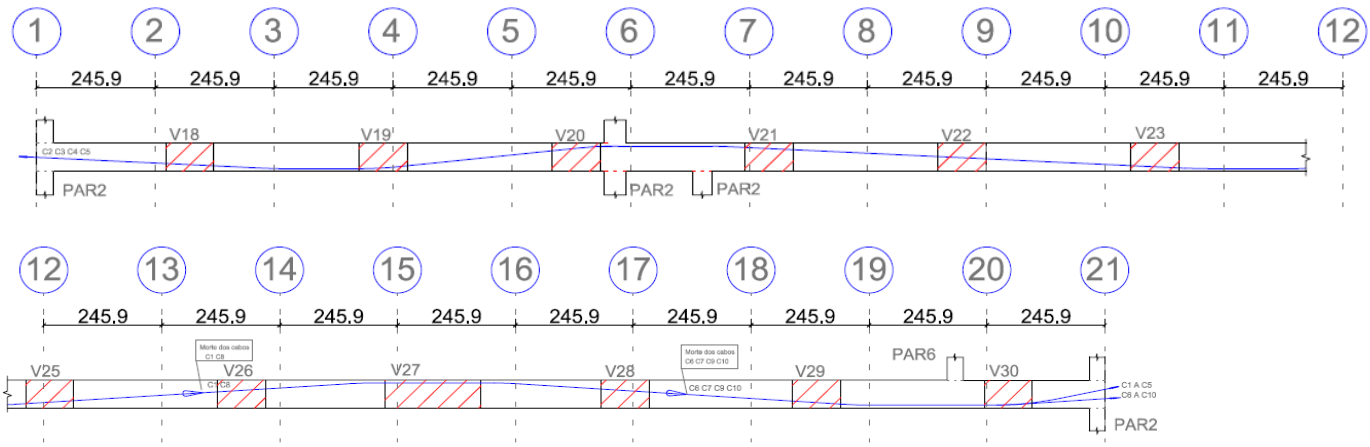
$$\sigma_m = \frac{\text{Área}}{L} \qquad \sigma_m = 13359.03 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$$L_{cabo} = 19.70m \qquad \text{Área}_{teórica\_aço} = 143.4 \cdot mm^2 \qquad E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$$

$$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot \text{Área}_{teórica\_aço} = 19.2 \cdot t$$

$$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 135 \cdot mm$$

CABOS C2=C3=C4=C5 (6ø15.2mm)



$t = \text{tonne}$

$\text{Área}_{\text{teórica\_aço}} = 143.4\text{mm}^2$ $\quad \text{fptk} = \dfrac{265.8\text{kN}}{\text{Área}_{\text{teórica\_aço}}} = 1853.56\,\text{MPa}$ $\quad \text{fpyk} = \dfrac{239.2\text{kN}}{\text{Área}_{\text{teórica\_aço}}} = 1668.06\,\text{MPa}$

$\sigma_{pi} = \min(0.74\cdot\text{fptk}, 0.82\cdot\text{fpyk}) = 1367.81\,\text{MPa}$

$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78\cdot\dfrac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$ $\quad \mu = 0.20$ $\quad \beta = 0.01\dfrac{\text{rad}}{\text{m}}$ $\quad e = 2.72$ $\quad L = 49.18\text{m}$

$\kappa = \beta\cdot\mu = 0.002\cdot\dfrac{\text{rad}}{\text{m}}$ $\quad n = 21$ $\quad i = 1, 2 .. n$

$$S = 0\text{cm}, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 245.9 \\ 491.8 \\ 737.7 \\ 983.6 \\ 1229.5 \\ 1475.4 \\ 1721.3 \\ 1967.2 \\ 2213.1 \\ 2459 \\ 2704.9 \\ 2950.8 \\ 3196.7 \\ 3442.6 \\ 3688.5 \\ 3934.4 \\ 4180.3 \\ 4426.2 \\ 4672.1 \\ 4918 \end{pmatrix} \text{cm} \qquad \Delta\alpha_{\text{elevação}} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1.36 \\ 5.94 \\ 1.62 \\ 6.1 \\ 2.78 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 2.78 \\ 3.67 \\ 0 \\ 0 \\ 3.67 \\ 4.09 \\ 0.32 \\ 0 \\ 3.76 \\ 0 \\ 11.74 \end{pmatrix}^{\circ} \qquad \Delta\alpha_{\text{planta}} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}^{\circ}$$

$$\alpha_i = \begin{cases} 0\,\mathrm{rad} & \text{if } i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \sqrt{\left(\Delta\alpha_{elevação_i}\right)^2 + \left(\Delta\alpha_{planta_i}\right)^2} & \text{if } i > 1 \\ i \cdot \mathrm{rad} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13879.36 \\ 13745.85 \\ 13397.72 \\ 13256.82 \\ 12913.86 \\ 12726.4 \\ 12663.97 \\ 12601.84 \\ 12540.02 \\ 12357.99 \\ 12140.83 \\ 12081.27 \\ 12022 \\ 11810.74 \\ 11586.2 \\ 11516.49 \\ 11459.99 \\ 11255.07 \\ 11199.85 \\ 10697.42 \end{pmatrix} \cdot \frac{\mathrm{kgf}}{\mathrm{cm}^2}$$

$n = 21 \qquad i = 1, 2..n$

$$\Delta\theta_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 11.74 \\ 0 \\ 3.76 \\ 0 \\ 0.32 \\ 4.09 \\ 3.67 \\ 0 \\ 0 \\ 3.67 \\ 2.78 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 2.78 \\ 6.1 \\ 1.62 \\ 5.94 \\ 1.36 \\ 0 \end{pmatrix}° \qquad \Delta\theta_{planta} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}°$$

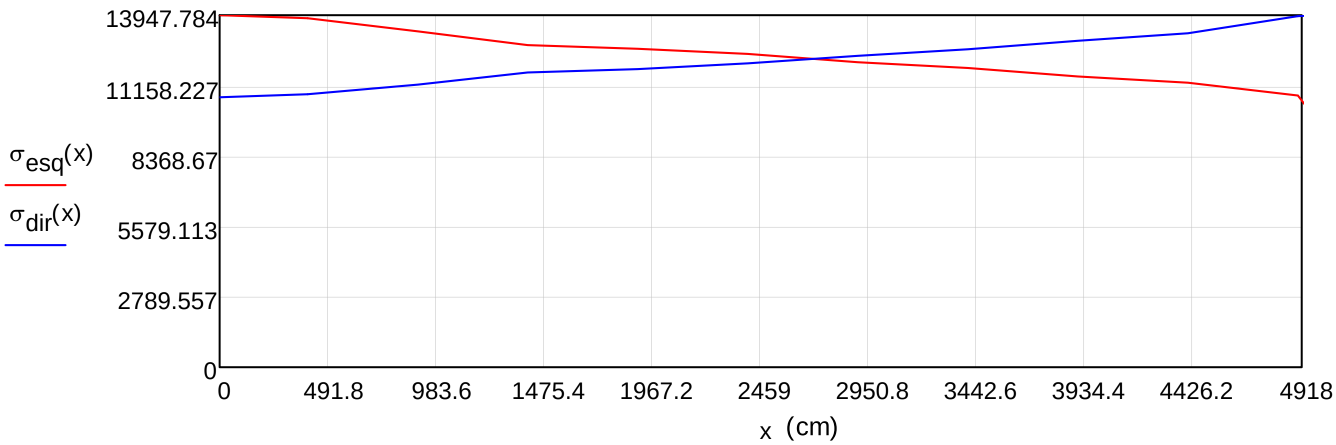
$$\theta_i = \begin{array}{|l} 0\text{rad} \quad \text{if} \quad i = 1 \\ \theta_{(i-1)} + \sqrt{\left(\Delta\theta_{elevação_i}\right)^2 + \left(\Delta\theta_{planta_i}\right)^2} \quad \text{if} \quad i > 1 \\ i \cdot \text{rad} \quad \text{otherwise} \end{array}$$

$$\sigma_{dir} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \theta + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{dir} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13322.07 \\ 13256.72 \\ 13019.67 \\ 12955.8 \\ 12877.85 \\ 12633.01 \\ 12411.02 \\ 12350.13 \\ 12289.54 \\ 12073.59 \\ 11898.33 \\ 11839.96 \\ 11781.87 \\ 11724.07 \\ 11553.89 \\ 11254.98 \\ 11136.61 \\ 10854.56 \\ 10750.16 \\ 10697.42 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$$a = \mathrm{cspline}\left(S, \sigma_{esq}\right) \qquad b = \mathrm{cspline}\left(S, \sigma_{dir}\right)$$

$$\sigma_{esq}(x) = \mathrm{interp}\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right) \qquad \sigma_{dir}(x) = \mathrm{interp}\left(\frac{b}{g}, S, \frac{\mathrm{reverse}\left(\sigma_{dir}\right)}{g}, x\right)$$



$c = \frac{L}{2}$ $\quad$ $d = 0m$

Given

$d = \sigma_{esq}(c)$ $\quad$ $d = \sigma_{dir}(c)$

$$\begin{pmatrix} interseção \\ \sigma_{interseção} \end{pmatrix} = Find(c, d)$$

$interseção = 2621.75 \cdot cm$

$$\sigma_{interseção} = 12201.989203 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$$Área_1 = \int_0^{interseção} \sigma_{esq}(x)\, dx \qquad Área_1 = 341828.54 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$Área_2 = \int_{interseção}^{L} \sigma_{dir}(x)\, dx \qquad Área_2 = 295296.63 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$Área = (Área_1) + (Área_2) \qquad Área = 637125.17 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

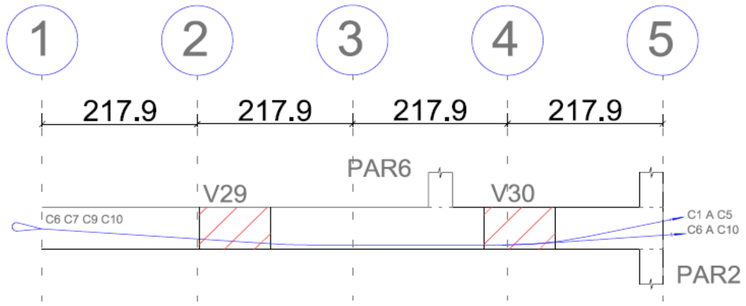
$$\sigma_m = \frac{Área}{L} \qquad \sigma_m = 12954.96 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$L_{cabo} = 50.90m$ $\quad$ $Área_{teórica\_aço} = 143.4 \cdot mm^2$ $\quad$ $E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$

$$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot Área_{teórica\_aço} = 18.6 \cdot t$$

$$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 338 \cdot mm$$

CABOS C6=C7=C9=C10 (6ø15.2mm)



$t = \text{tonne}$

$\text{Área}_{\text{teórica\_aço}} = 143.4\text{mm}^2$ $\quad$ $\text{fptk} = \dfrac{265.8\text{kN}}{\text{Área}_{\text{teórica\_aço}}} = 1853.56\,\text{MPa}$ $\quad$ $\text{fpyk} = \dfrac{239.2\text{kN}}{\text{Área}_{\text{teórica\_aço}}} = 1668.06\,\text{MPa}$

$\sigma_{pi} = \min(0.74\cdot\text{fptk}, 0.82\cdot\text{fpyk}) = 1367.81\,\text{MPa}$

$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78\cdot\dfrac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$ $\quad$ $\mu = 0.20$ $\quad$ $\beta = 0.01\dfrac{\text{rad}}{\text{m}}$ $\quad$ $e = 2.72$ $\quad$ $L = 8.72\text{m}$

$\kappa = \beta\cdot\mu = 0.002\cdot\dfrac{\text{rad}}{\text{m}}$ $\quad$ $n = 5$ $\quad$ $i = 1, 2..\,n$

$$S = 0\text{cm}, \frac{L}{n-1}..\,L = \begin{pmatrix} 0 \\ 218 \\ 436 \\ 654 \\ 872 \end{pmatrix}\text{cm} \qquad \Delta\alpha_{\text{elevação}} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 3.76 \\ 1.91 \\ 2.04 \end{pmatrix}^{\circ}$$

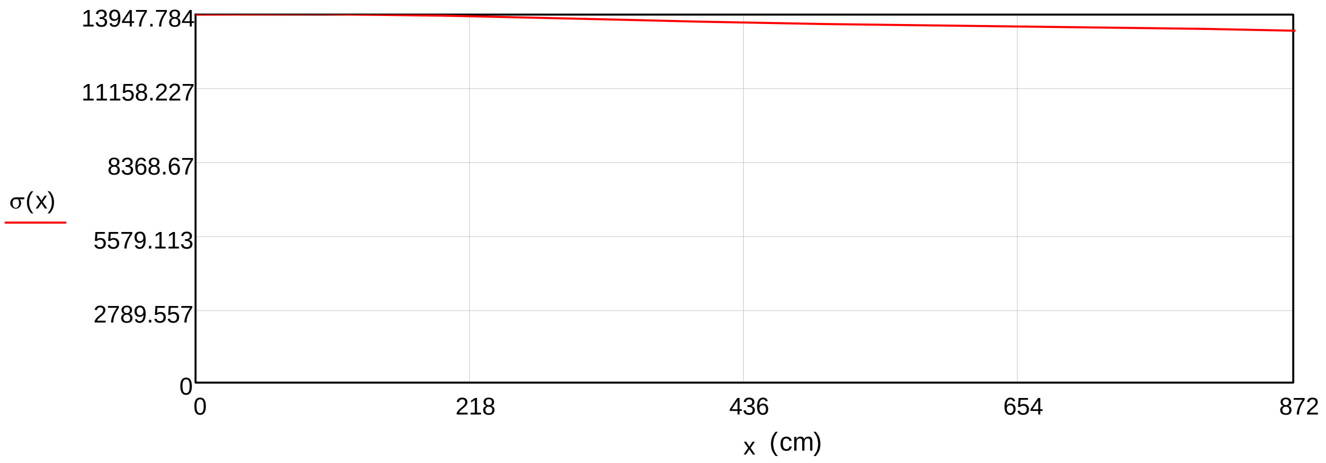
$$\alpha_i = \left| \begin{array}{ll} 0\text{rad} & \text{if } i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \Delta\alpha_{\text{elevação}_i} & \text{if } i > 1 \\ i\cdot\text{rad} & \text{otherwise} \end{array} \right.$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1\cdot e^{-(\mu\cdot\alpha+\kappa\cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13887.1 \\ 13646.4 \\ 13496.75 \\ 13342.68 \end{pmatrix}\cdot\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$a = \text{cspline}(S, \sigma_{esq})$

$\sigma(x) = \text{interp}\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$



$\text{Área} = \int_0^L \sigma(x)\,dx$ $\qquad$ $\text{Área} = 119259.54 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$

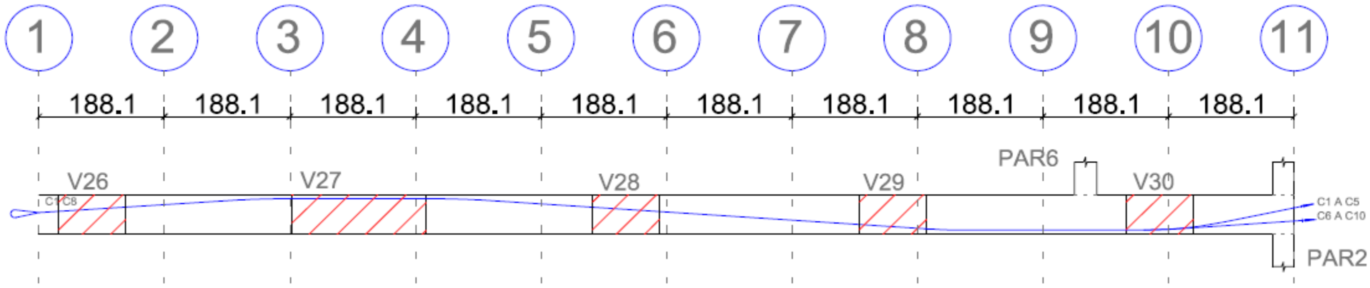
$\sigma_m = \frac{\text{Área}}{L}$ $\qquad$ $\sigma_m = 13676.55 \cdot \frac{kg}{cm^2}$

$L_{cabo} = 9.55m$ $\qquad$ $\text{Área}_{teórica\_aço} = 143.4 \cdot mm^2$ $\qquad$ $E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$

$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot \text{Área}_{teórica\_aço} = 19.6 \cdot t$

$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 67 \cdot mm$

CABO C8 (6ø15.2mm)



$t = \text{tonne}$

$\text{Área}_{\text{teórica\_aço}} = 143.4\,\text{mm}^2$ $\quad \text{fptk} = \dfrac{265.8\text{kN}}{\text{Área}_{\text{teórica\_aço}}} = 1853.56\,\text{MPa}$ $\quad \text{fpyk} = \dfrac{239.2\text{kN}}{\text{Área}_{\text{teórica\_aço}}} = 1668.06\,\text{MPa}$

$\sigma_{pi} = \min(0.74\cdot\text{fptk}, 0.82\cdot\text{fpyk}) = 1367.81\,\text{MPa}$

$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78\cdot\dfrac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$ $\quad \mu = 0.20$ $\quad \beta = 0.01\dfrac{\text{rad}}{\text{m}}$ $\quad e = 2.72$ $\quad L = 18.81\text{m}$

$\kappa = \beta\cdot\mu = 0.002\cdot\dfrac{\text{rad}}{\text{m}}$ $\quad n = 11$ $\quad i = 1, 2..n$

$$S = 0\text{cm}, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 188.1 \\ 376.2 \\ 564.3 \\ 752.4 \\ 940.5 \\ 1128.6 \\ 1316.7 \\ 1504.8 \\ 1692.9 \\ 1881 \end{pmatrix}\text{cm} \qquad \Delta\alpha_{\text{elevação}} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 3.67 \\ 0 \\ 3.76 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 3.76 \\ 1.91 \\ 2.04 \end{pmatrix}{}^{\circ}$$

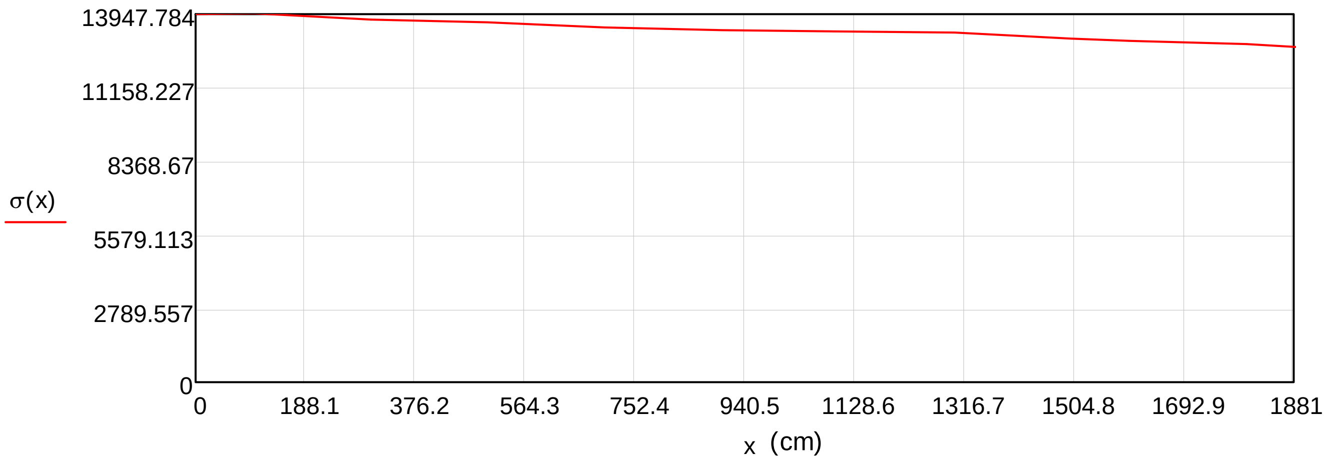
$$\alpha_i = \left| \begin{array}{l} 0\text{rad} \quad \text{if} \quad i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \Delta\alpha_{\text{elevação}_i} \quad \text{if} \quad i > 1 \\ i\cdot\text{rad} \quad \text{otherwise} \end{array} \right.$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13895.41 \\ 13667.02 \\ 13615.7 \\ 13387.71 \\ 13337.44 \\ 13287.36 \\ 13237.46 \\ 13015.8 \\ 12880.76 \\ 12741.34 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$$a = \mathrm{cspline}(S, \sigma_{esq})$$

$$\sigma(x) = \mathrm{interp}\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$$



$$\text{Área} = \int_0^L \sigma(x)\, dx \qquad \text{Área} = 251504.2 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$\sigma_m = \frac{\text{Área}}{L} \qquad \sigma_m = 13370.77 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$$L_{cabo} = 19.65m \qquad \text{Área}_{teórica\_aço} = 143.4 \cdot mm^2 \qquad E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$$

$$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot \text{Área}_{teórica\_aço} = 19.2 \cdot t$$

$$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 135 \cdot mm$$

V11 - CÁLCULO DAS ARMADURAS DE FRETAGEM

a_0 = Área da placa de distribuição

b = Distância entre eixos das ancoragens

c = Distância entre as ancoragens

d = Distância entre a face do concreto ao eixo da ancoragem

n = Quantidade de ancoragens em elevação

q = Quantidade de cabos alinhados em cada grupo (seção transversal)

EXTREMIDADE ATIVA (Direita)

$b = 25cm$ $\quad n = 2$ $\quad q = 5$ $\quad F_{inicial} = 6 \cdot \sigma_1 \cdot Área_{teórica\_aço} = 1176.86\,kN$

$a_0 = 22cm$ $\quad c = 1.8cm$

$d = 17.5cm$ $\quad a_1 = a_0 + c = 23.8\,cm$

$F_1 = F_{inicial} \cdot \cos(6°) = 1170.42\,kN$ $\quad F_2 = F_{inicial} \cdot \cos(3°) = 1175.25\,kN$

$$T_1 = 0.25 \cdot F_1 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 22.13\,kN \qquad T_2 = 0.25 \cdot F_2 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 22.22\,kN$$

$a_2 = 2 \cdot d + (n - 1) \cdot b = 60\,cm$

$$F = \begin{pmatrix} 1170.42 \\ 1175.25 \end{pmatrix} kN \qquad T = \begin{pmatrix} 22.13 \\ 22.22 \end{pmatrix} kN \qquad \sum F = 2345.67\,kN$$

$$T_n = \frac{2}{3} \cdot \left(1 - \frac{n \cdot a_1}{a_2}\right) \cdot \sum F = 323.18\,kN \qquad fyd = 43.48\,\frac{kN}{cm^2}$$

$$As_1 = \frac{\max(T)}{fyd} = 0.51\,cm^2 \qquad As_2 = q \cdot \left(\frac{T_n}{fyd}\right) = 37.16\,cm^2$$

EXTREMIDADE PASSIVA

$q = 4$ $\qquad F_{inicial} = 1176.86\,kN$

$a_0 = 22\,cm$

$d = 28cm$ $\qquad a_1 = 2 \cdot d = 56 \cdot cm$

$F = q \cdot F_{inicial} \cdot \cos(4°) = 4695.99\,kN$ $\qquad T = 0.25 \cdot F \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 712.78\,kN$ $\qquad fyd = 43.48 \cdot \frac{kN}{cm^2}$

$As_4 = \frac{T}{fyd} = 16.39\,cm^2$

$As_{fretagem} = As_1 = 0.51\,cm^2$

Adotado espiral ø10mm - 5 passos por cabo em cada trecho de ancoragem ativa e passiva.

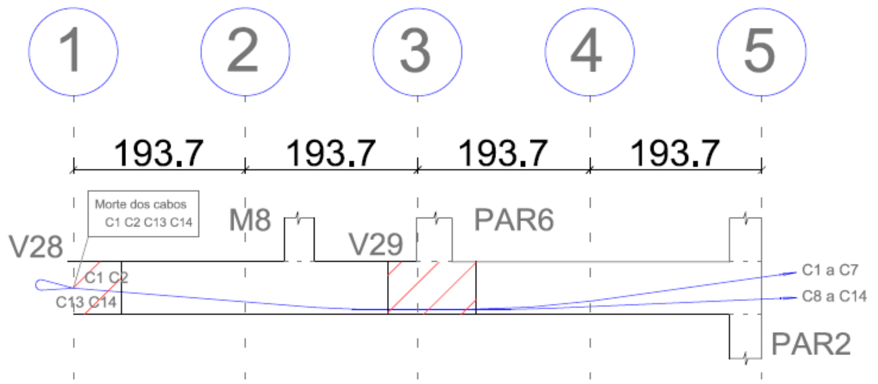
$As_{estribos} = \frac{\max(As_2, As_4)}{4} = 9.29\,cm^2$

$L = \max(a_1, a_2) = 60\,cm$ $\qquad bitola_{estribo} = 10mm$ $\qquad adotados = ceil\left(\frac{As_{estribos}}{bitola_{estribo}^2}\right) = 10$

Estribos duplos $adotados = 10$ ø10.0mm em cada trecho de ancoragem ativa e passiva distribuídos em $L = 60\,cm$

V12 (1° PAVIMENTO) - CABOS C1 a C14

CABOS C1=C2 (6ø15.2mm)



$t = \text{tonne}$

$\text{Área}_{\text{teórica\_aço}} = 143.4\text{mm}^2$ $\quad \text{fptk} = \dfrac{265.8\text{kN}}{\text{Área}_{\text{teórica\_aço}}} = 1853.56\,\text{MPa}$ $\quad \text{fpyk} = \dfrac{239.2\text{kN}}{\text{Área}_{\text{teórica\_aço}}} = 1668.06\,\text{MPa}$

$\sigma_{pi} = \min(0.74 \cdot \text{fptk}, 0.82 \cdot \text{fpyk}) = 1367.81\,\text{MPa}$

$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78 \cdot \dfrac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$ $\quad \mu = 0.20$ $\quad \beta = 0.01 \dfrac{\text{rad}}{\text{m}}$ $\quad e = 2.72$ $\quad L = 7.75\text{m}$

$\kappa = \beta \cdot \mu = 0.002 \cdot \dfrac{\text{rad}}{\text{m}}$ $\quad n = 5$ $\quad i = 1, 2 .. n$

$$S = 0\text{cm}, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 193.75 \\ 387.5 \\ 581.25 \\ 775 \end{pmatrix} \text{cm} \qquad \Delta\alpha_{\text{elevação}} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 4.63 \\ 5.94 \\ 2.09 \end{pmatrix} °$$

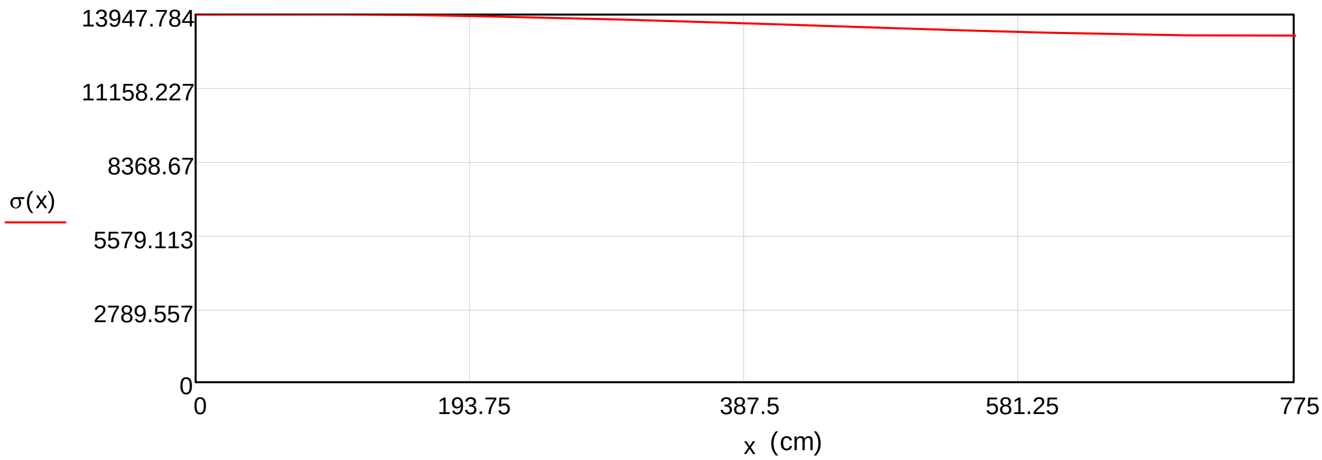
$$\alpha_i = \begin{vmatrix} 0\text{rad} & \text{if } i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \Delta\alpha_{\text{elevação}_i} & \text{if } i > 1 \\ i \cdot \text{rad} & \text{otherwise} \end{vmatrix}$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13893.84 \\ 13618.22 \\ 13287.18 \\ 13139.58 \end{pmatrix} \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$a = \text{cspline}(S, \sigma_{esq})$

$\sigma(x) = \text{interp}\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$



$\text{Área} = \int_0^L \sigma(x)\,dx$ $\text{Área} = 105301.75 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$

$\sigma_m = \frac{\text{Área}}{L}$ $\sigma_m = 13587.32 \cdot \frac{kg}{cm^2}$

$L_{cabo} = 8.60m$ $\text{Área}_{teórica\_aço} = 143.4 \cdot mm^2$ $E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$

$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot \text{Área}_{teórica\_aço} = 19.5 \cdot t$

$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 60 \cdot mm$

CABOS C13=C14 (6ø15.2mm)

$Área_{teórica\_aço} = 143.4mm^2$ $\quad fptk = \dfrac{265.8kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1853.56\,MPa$ $\quad fpyk = \dfrac{239.2kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1668.06\,MPa$

$\sigma_{pi} = \min(0.74 \cdot fptk, 0.82 \cdot fpyk) = 1367.81\,MPa$

$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78 \cdot \dfrac{kgf}{cm^2}$ $\quad \mu = 0.20$ $\quad \beta = 0.01 \dfrac{rad}{m}$ $\quad e = 2.72$ $\quad L = 7.75m$

$\kappa = \beta \cdot \mu = 0.002 \cdot \dfrac{rad}{m}$ $\quad n = 5$ $\quad i = 1, 2 .. n$

$$S = 0cm, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 193.75 \\ 387.5 \\ 581.25 \\ 775 \end{pmatrix} cm \qquad \Delta\alpha_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 4.63 \\ 2.52 \\ 0 \end{pmatrix} °$$

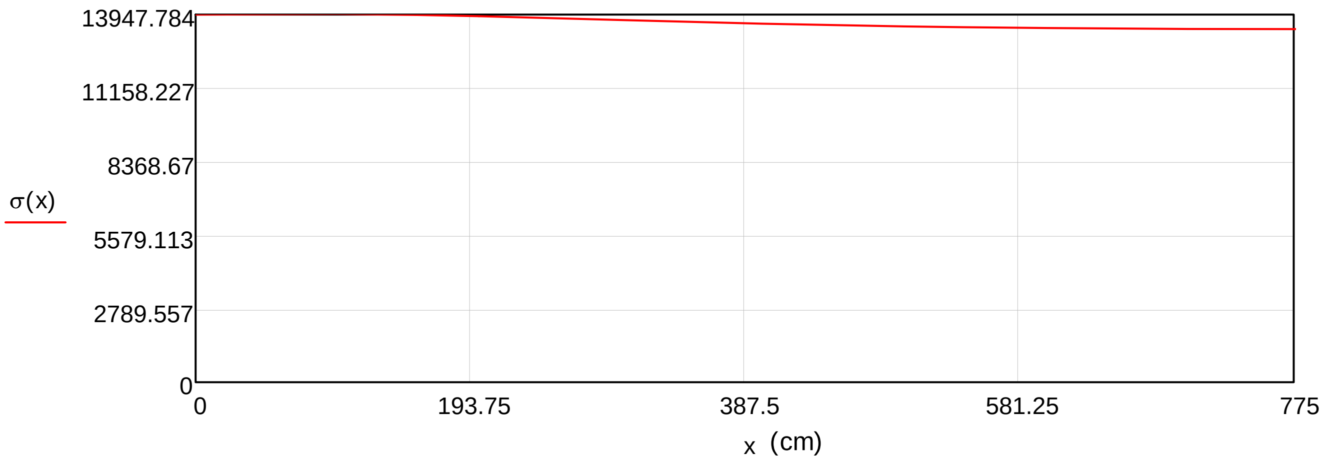
$$\alpha_i = \begin{cases} 0rad & \text{if } i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \Delta\alpha_{elevação_i} & \text{if } i > 1 \\ i \cdot rad & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13893.84 \\ 13618.22 \\ 13446.75 \\ 13394.74 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$$a = \mathrm{cspline}\left(S, \sigma_{esq}\right)$$

$$\sigma(x) = \mathrm{interp}\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$$



$$\text{Área} = \int_0^L \sigma(x)\,dx \qquad \text{Área} = 105878.77 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

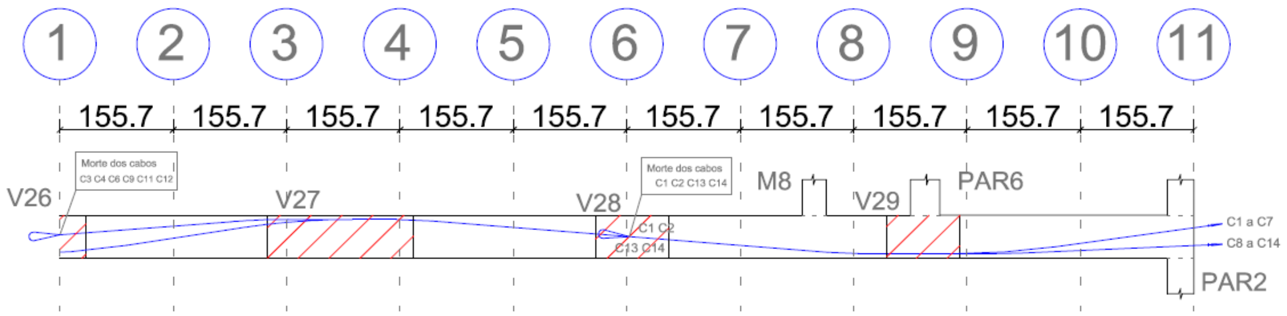
$$\sigma_m = \frac{\text{Área}}{L} \qquad \sigma_m = 13661.78 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$$L_{cabo} = 8.60m \qquad \text{Área}_{teórica\_aço} = 143.4 \cdot mm^2 \qquad E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$$

$$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot \text{Área}_{teórica\_aço} = 19.6 \cdot t$$

$$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 60 \cdot mm$$

CABOS C3=C4=C6 (6ø15.2mm)



$t = \text{tonne}$

$\text{Área}_{\text{teórica\_aço}} = 143.4\text{mm}^2$ $\quad$ $\text{fptk} = \dfrac{265.8\text{kN}}{\text{Área}_{\text{teórica\_aço}}} = 1853.56\,\text{MPa}$ $\quad$ $\text{fpyk} = \dfrac{239.2\text{kN}}{\text{Área}_{\text{teórica\_aço}}} = 1668.06\,\text{MPa}$

$\sigma_{pi} = \min(0.74\cdot\text{fptk}, 0.82\cdot\text{fpyk}) = 1367.81\,\text{MPa}$

$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78\cdot\dfrac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$ $\quad$ $\mu = 0.20$ $\quad$ $\beta = 0.01\dfrac{\text{rad}}{\text{m}}$ $\quad$ $e = 2.72$ $\quad$ $L = 15.57\text{m}$

$\kappa = \beta\cdot\mu = 0.002\cdot\dfrac{\text{rad}}{\text{m}}$ $\quad$ $n = 11$ $\quad$ $i = 1, 2 .. n$

$$S = 0\text{cm}, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 155.7 \\ 311.4 \\ 467.1 \\ 622.8 \\ 778.5 \\ 934.2 \\ 1089.9 \\ 1245.6 \\ 1401.3 \\ 1557 \end{pmatrix}\text{cm} \qquad \Delta\alpha_{\text{elevação}} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 4.47 \\ 2.36 \\ 2.27 \\ 0 \\ 0 \\ 2.27 \\ 4.41 \\ 5.99 \\ 0 \end{pmatrix}°$$

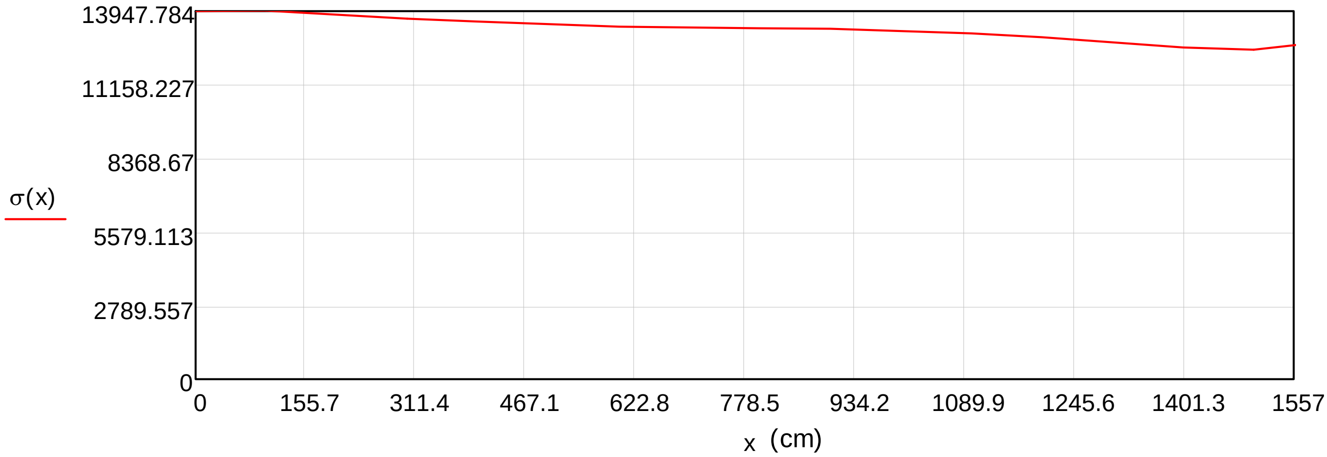
$$\alpha_i = \begin{cases} 0\text{rad} & \text{if } i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \Delta\alpha_{\text{elevação}_i} & \text{if } i > 1 \\ i\cdot\text{rad} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13904.42 \\ 13646.59 \\ 13492.55 \\ 13344.44 \\ 13302.95 \\ 13261.59 \\ 13116.01 \\ 12875.5 \\ 12569.87 \\ 12530.79 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$$a = \text{cspline}(S, \sigma_{esq})$$

$$\sigma(x) = \text{interp}\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$$



$$\text{Área} = \int_0^L \sigma(x)\,dx \qquad \text{Área} = 206694.44 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$\sigma_m = \frac{\text{Área}}{L} \qquad \sigma_m = 13275.17 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$$L_{cabo} = 16.40m \qquad \text{Área}_{teórica\_aço} = 143.4 \cdot mm^2 \qquad E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$$

$$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot \text{Área}_{teórica\_aço} = 19 \cdot t$$

$$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 112 \cdot mm$$

CABOS C9=C11=C12 (6ø15.2mm)

$Área_{teórica\_aço} = 143.4mm^2$ $\quad fptk = \dfrac{265.8kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1853.56\,MPa$ $\quad fpyk = \dfrac{239.2kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1668.06\,MPa$

$\sigma_{pi} = \min(0.74 \cdot fptk, 0.82 \cdot fpyk) = 1367.81\,MPa$

$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78 \cdot \dfrac{kgf}{cm^2}$ $\quad \mu = 0.20$ $\quad \beta = 0.01 \dfrac{rad}{m}$ $\quad e = 2.72$ $\quad L = 15.57m$

$\kappa = \beta \cdot \mu = 0.002 \cdot \dfrac{rad}{m}$ $\quad n = 11$ $\quad i = 1, 2 .. n$

$$S = 0cm, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 155.7 \\ 311.4 \\ 467.1 \\ 622.8 \\ 778.5 \\ 934.2 \\ 1089.9 \\ 1245.6 \\ 1401.3 \\ 1557 \end{pmatrix} cm \qquad \Delta\alpha_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 4.47 \\ 2.36 \\ 2.27 \\ 0 \\ 0 \\ 2.27 \\ 2.36 \\ 2.52 \\ 0 \end{pmatrix} °$$

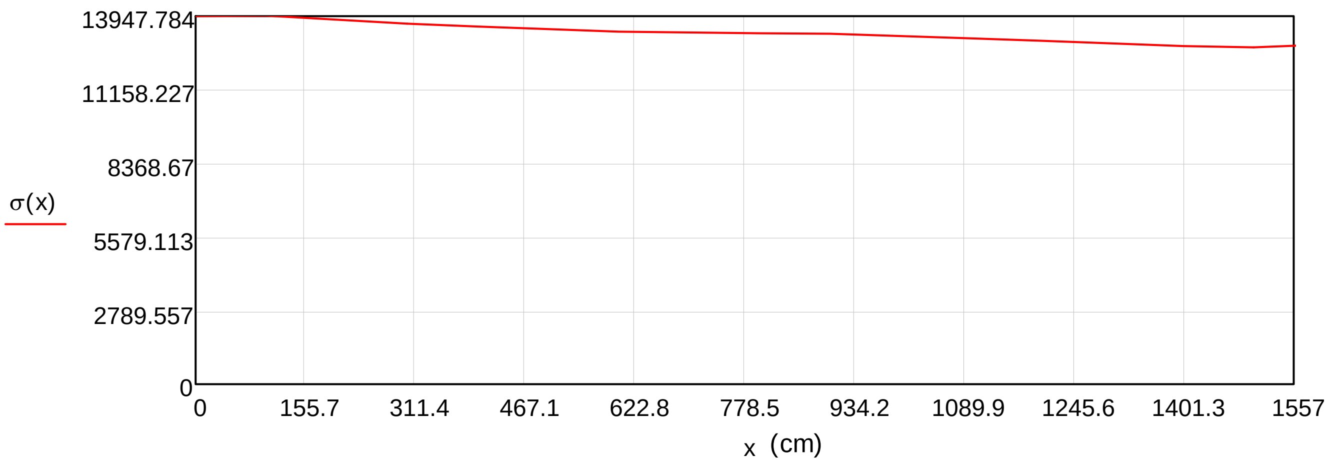
$$\alpha_i = \left| \begin{array}{ll} 0rad & \text{if } i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \Delta\alpha_{elevação_i} & \text{if } i > 1 \\ i \cdot rad & \text{otherwise} \end{array} \right.$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13904.42 \\ 13646.59 \\ 13492.55 \\ 13344.44 \\ 13302.95 \\ 13261.59 \\ 13116.01 \\ 12967.96 \\ 12814.42 \\ 12774.58 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$$a = \text{cspline}(S, \sigma_{esq})$$

$$\sigma(x) = \text{interp}\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$$



$$\text{Área} = \int_0^L \sigma(x)\,dx \qquad \text{Área} = 207429.69 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

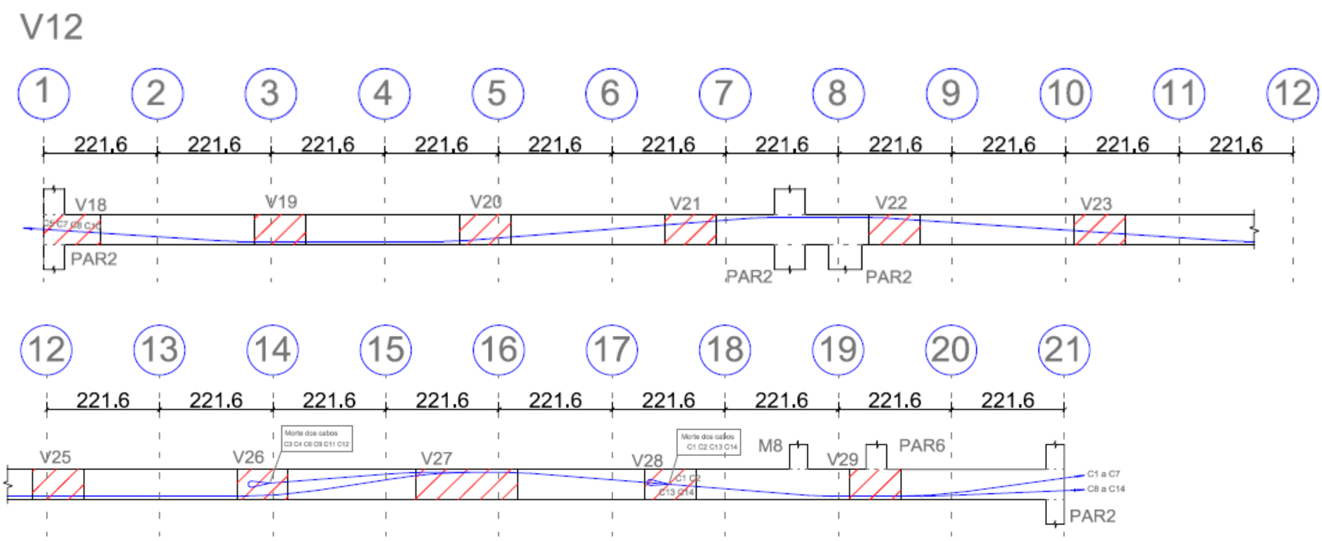
$$\sigma_m = \frac{\text{Área}}{L} \qquad \sigma_m = 13322.4 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$$L_{cabo} = 16.40m \qquad \text{Área}_{teórica\_aço} = 143.4 \cdot mm^2 \qquad E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$$

$$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot \text{Área}_{teórica\_aço} = 19.1 \cdot t$$

$$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 112 \cdot mm$$

CABO C5 (6ø15.2mm)



$t = \text{tonne}$

$\text{Área}_{\text{teórica\_aço}} = 143.4\text{mm}^2$ $\quad$ $\text{fptk} = \dfrac{265.8\text{kN}}{\text{Área}_{\text{teórica\_aço}}} = 1853.56\,\text{MPa}$ $\quad$ $\text{fpyk} = \dfrac{239.2\text{kN}}{\text{Área}_{\text{teórica\_aço}}} = 1668.06\,\text{MPa}$

$\sigma_{pi} = \min(0.74\cdot\text{fptk}, 0.82\cdot\text{fpyk}) = 1367.81\,\text{MPa}$

$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78\cdot\dfrac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$ $\quad$ $\mu = 0.20$ $\quad$ $\beta = 0.01\dfrac{\text{rad}}{\text{m}}$ $\quad$ $e = 2.72$ $\quad$ $L = 44.30\text{m}$

$\kappa = \beta\cdot\mu = 0.002\cdot\dfrac{\text{rad}}{\text{m}}$ $\quad$ $n = 21$ $\quad$ $i = 1, 2..\, n$

$$S = 0cm, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 221.5 \\ 443 \\ 664.5 \\ 886 \\ 1107.5 \\ 1329 \\ 1550.5 \\ 1772 \\ 1993.5 \\ 2215 \\ 2436.5 \\ 2658 \\ 2879.5 \\ 3101 \\ 3322.5 \\ 3544 \\ 3765.5 \\ 3987 \\ 4208.5 \\ 4430 \end{pmatrix} cm \qquad \Delta\alpha_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 3.82 \\ 0 \\ 4.57 \\ 0 \\ 0 \\ 4.57 \\ 3.89 \\ 0 \\ 0 \\ 3.89 \\ 0 \\ 2.23 \\ 6.63 \\ 8.86 \\ 4.63 \\ 0 \\ 4.63 \\ 5.94 \\ 2.09 \end{pmatrix} ° \qquad \Delta\alpha_{planta} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} °$$

$$\alpha_i = \begin{cases} 0rad & \text{if } i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \sqrt{\left(\Delta\alpha_{elevação_i}\right)^2 + \left(\Delta\alpha_{planta_i}\right)^2} & \text{if } i > 1 \\ i \cdot rad & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13886.13 \\ 13641.63 \\ 13581.33 \\ 13307.32 \\ 13248.5 \\ 13189.93 \\ 12923.81 \\ 12693.16 \\ 12637.05 \\ 12581.19 \\ 12356.65 \\ 12302.03 \\ 12152.69 \\ 11822.18 \\ 11411.48 \\ 11178.9 \\ 11129.49 \\ 10902.66 \\ 10631.72 \\ 10507.78 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$n = 21$ $\quad\quad\quad$ $i = 1, 2 .. n$

$$\Delta\theta_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 2.09 \\ 5.94 \\ 4.63 \\ 0 \\ 4.63 \\ 8.86 \\ 6.63 \\ 2.23 \\ 0 \\ 3.89 \\ 0 \\ 0 \\ 3.89 \\ 4.57 \\ 0 \\ 0 \\ 4.57 \\ 0 \\ 3.82 \\ 0 \end{pmatrix}^{\circ} \qquad \Delta\theta_{planta} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}^{\circ}$$

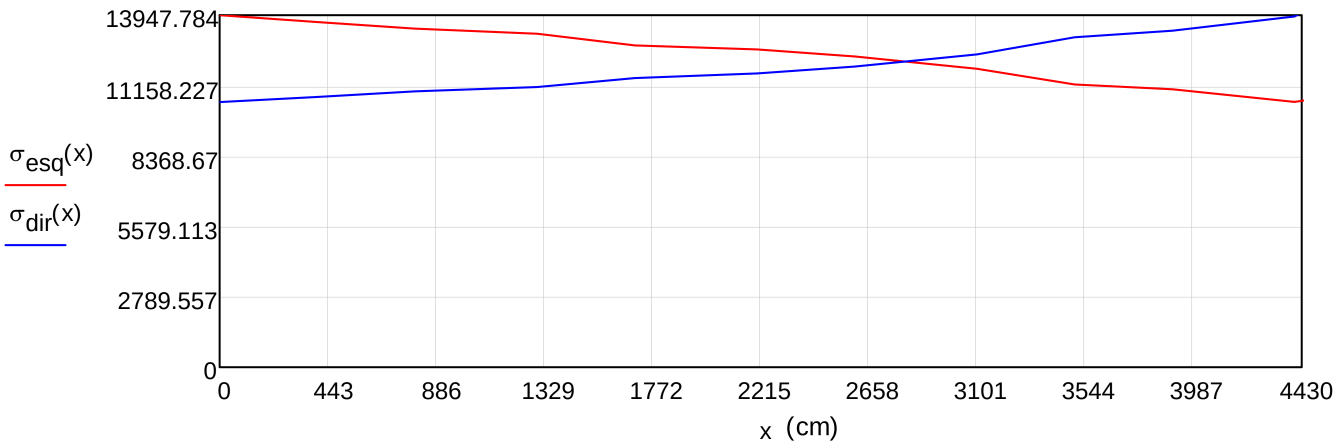
$$\theta_i = \begin{vmatrix} 0rad \quad \text{if} \quad i = 1 \\ \theta_{(i-1)} + \sqrt{\left(\Delta\theta_{elevação_i}\right)^2 + \left(\Delta\theta_{planta_i}\right)^2} \quad \text{if} \quad i > 1 \\ i \cdot rad \quad \text{otherwise} \end{vmatrix}$$

$$\sigma_{dir} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu\cdot\theta+\kappa\cdot S)}$$

$$\sigma_{dir} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13785.19 \\ 13442.62 \\ 13168.65 \\ 13110.44 \\ 12843.23 \\ 12397.07 \\ 12059.91 \\ 11913.51 \\ 11860.85 \\ 11649.16 \\ 11597.67 \\ 11546.4 \\ 11340.33 \\ 11111.53 \\ 11062.41 \\ 11013.51 \\ 10791.31 \\ 10743.61 \\ 10554.44 \\ 10507.78 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$$a = cspline(S, \sigma_{esq}) \qquad b = cspline(S, \sigma_{dir})$$

$$\sigma_{esq}(x) = interp\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right) \qquad \sigma_{dir}(x) = interp\left(\frac{b}{g}, S, \frac{reverse(\sigma_{dir})}{g}, x\right)$$



$c = \frac{L}{2}$ $\qquad$ $d = 0m$

Given

$d = \sigma_{esq}(c)$ $\qquad$ $d = \sigma_{dir}(c)$

$$\begin{pmatrix} interseção \\ \sigma_{interseção} \end{pmatrix} = Find(c, d)$$ $\qquad$ $interseção = 2915.81 \cdot cm$

$$\sigma_{interseção} = 12109.95204 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$$Área_1 = \int_0^{interseção} \sigma_{esq}(x)\, dx \qquad Área_1 = 379714.01 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$Área_2 = \int_{interseção}^{L} \sigma_{dir}(x)\, dx \qquad Área_2 = 198756.52 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$Área = (Área_1) + (Área_2) \qquad Área = 578470.54 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$\sigma_m = \frac{Área}{L} \qquad \sigma_m = 13058.03 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$L_{cabo} = 46.00m$ $\qquad$ $Área_{teórica\_aço} = 143.4 \cdot mm^2$ $\qquad$ $E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$

$$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot Área_{teórica\_aço} = 18.7 \cdot t$$

$$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 308 \cdot mm$$

CABOS C7=C8=C10 (6ø15.2mm)

$Área_{teórica\_aço} = 143.4mm^2$ $\quad fptk = \frac{265.8kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1853.56\,MPa$ $\quad fpyk = \frac{239.2kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1668.06\,MPa$

$\sigma_{pi} = \min(0.74\cdot fptk, 0.82\cdot fpyk) = 1367.81\,MPa$

$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78\cdot\frac{kgf}{cm^2}$ $\quad \mu = 0.20$ $\quad \beta = 0.01\frac{rad}{m}$ $\quad e = 2.72$ $\quad L = 44.30m$

$\kappa = \beta\cdot\mu = 0.002\cdot\frac{rad}{m}$ $\quad n = 21$ $\quad i = 1, 2..n$

$$S = 0cm, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 221.5 \\ 443 \\ 664.5 \\ 886 \\ 1107.5 \\ 1329 \\ 1550.5 \\ 1772 \\ 1993.5 \\ 2215 \\ 2436.5 \\ 2658 \\ 2879.5 \\ 3101 \\ 3322.5 \\ 3544 \\ 3765.5 \\ 3987 \\ 4208.5 \\ 4430 \end{pmatrix} cm \qquad \Delta\alpha_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 3.82 \\ 0 \\ 4.57 \\ 0 \\ 0 \\ 4.57 \\ 3.89 \\ 0 \\ 0 \\ 3.89 \\ 0 \\ 2.23 \\ 6.63 \\ 8.86 \\ 4.63 \\ 0 \\ 4.63 \\ 2.52 \\ 0 \end{pmatrix}° \qquad \Delta\alpha_{planta} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}°$$

$$\alpha_i = \left| \begin{array}{l} 0rad \quad \text{if} \quad i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \sqrt{\left(\Delta\alpha_{elevação_i}\right)^2 + \left(\Delta\alpha_{planta_i}\right)^2} \quad \text{if} \quad i > 1 \\ i\cdot rad \quad \text{otherwise} \end{array} \right.$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13886.13 \\ 13641.63 \\ 13581.33 \\ 13307.32 \\ 13248.5 \\ 13189.93 \\ 12923.81 \\ 12693.16 \\ 12637.05 \\ 12581.19 \\ 12356.65 \\ 12302.03 \\ 12152.69 \\ 11822.18 \\ 11411.48 \\ 11178.9 \\ 11129.49 \\ 10902.66 \\ 10759.4 \\ 10711.84 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$n = 21$ $\qquad$ $i = 1, 2 .. n$

$$\Delta\theta_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 2.52 \\ 4.63 \\ 0 \\ 4.63 \\ 8.86 \\ 6.63 \\ 2.23 \\ 0 \\ 3.89 \\ 0 \\ 0 \\ 3.89 \\ 4.57 \\ 0 \\ 0 \\ 4.57 \\ 0 \\ 3.82 \\ 0 \end{pmatrix}° \qquad \Delta\theta_{planta} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}°$$

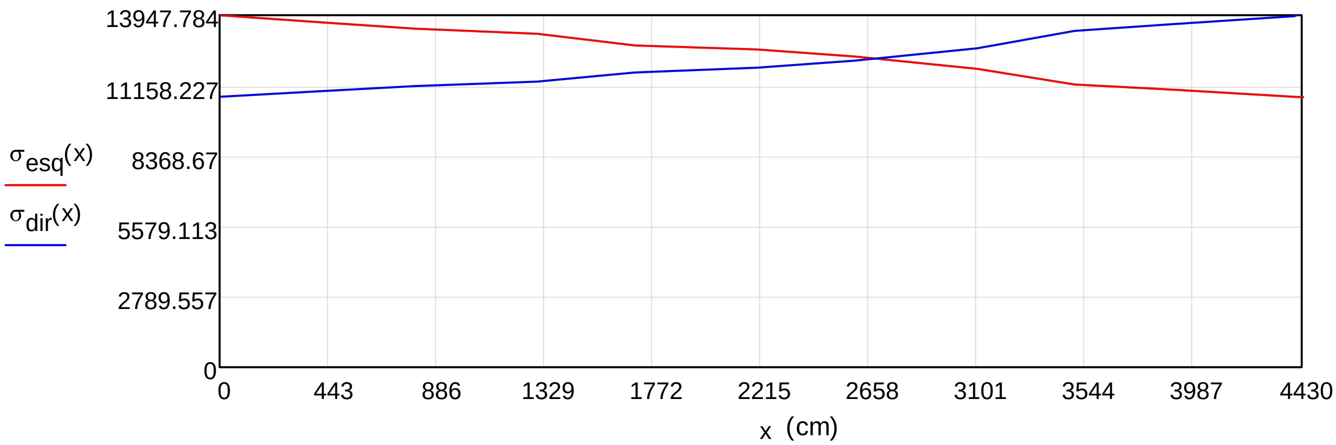
$$\theta_i = \left| \begin{array}{l} 0rad \quad \text{if} \quad i = 1 \\ \theta_{(i-1)} + \sqrt{\left(\Delta\theta_{elevação_i}\right)^2 + \left(\Delta\theta_{planta_i}\right)^2} \quad \text{if} \quad i > 1 \\ i \cdot rad \quad \text{otherwise} \end{array} \right.$$

$$\sigma_{dir} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \theta + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{dir} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13886.13 \\ 13703.68 \\ 13424.38 \\ 13365.04 \\ 13092.65 \\ 12637.81 \\ 12294.11 \\ 12144.86 \\ 12091.18 \\ 11875.38 \\ 11822.89 \\ 11770.63 \\ 11560.55 \\ 11327.31 \\ 11277.24 \\ 11227.39 \\ 11000.87 \\ 10952.24 \\ 10759.4 \\ 10711.84 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$$a = cspline(S, \sigma_{esq}) \qquad b = cspline(S, \sigma_{dir})$$

$$\sigma_{esq}(x) = interp\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right) \qquad \sigma_{dir}(x) = interp\left(\frac{b}{g}, S, \frac{reverse(\sigma_{dir})}{g}, x\right)$$



$c = \frac{L}{2}$ $\qquad d = 0m$

Given

$d = \sigma_{esq}(c)$ $\qquad d = \sigma_{dir}(c)$

$\begin{pmatrix} \text{interseção} \\ \sigma_{\text{interseção}} \end{pmatrix} = \text{Find}(c, d)$ $\qquad \text{interseção} = 2780.23 \cdot cm$

$\sigma_{\text{interseção}} = 12243.370091 \cdot \frac{kg}{cm^2}$

$\text{Área}_1 = \int_0^{\text{interseção}} \sigma_{esq}(x)\, dx$ $\qquad \text{Área}_1 = 363197.05 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$

$\text{Área}_2 = \int_{\text{interseção}}^{L} \sigma_{dir}(x)\, dx$ $\qquad \text{Área}_2 = 218601.35 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$

$\text{Área} = (\text{Área}_1) + (\text{Área}_2)$ $\qquad \text{Área} = 581798.4 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$

$\sigma_m = \frac{\text{Área}}{L}$ $\qquad \sigma_m = 13133.15 \cdot \frac{kg}{cm^2}$

$L_{cabo} = 46.00m$ $\qquad \text{Área}_{\text{teórica\_aço}} = 143.4 \cdot mm^2$ $\qquad E_{\text{teórico\_aço}} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$

$F_{\text{média\_cabo}} = \sigma_m \cdot \text{Área}_{\text{teórica\_aço}} = 18.8 \cdot t$

$\Delta L_{\text{teórico}} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{\text{teórico\_aço}}} = 310 \cdot mm$

V12 - CÁLCULO DAS ARMADURAS DE FRETAGEM

a_0 = Área da placa de distribuição

b = Distância entre eixos das ancoragens

c = Distância entre as ancoragens

d = Distância entre a face do concreto ao eixo da ancoragem

n = Quantidade de ancoragens em elevação

q = Quantidade de cabos alinhados em cada grupo (seção transversal)

EXTREMIDADE ATIVA (Direita)

$b = 25cm$ $\quad n = 2$ $\quad q = 7$ $\quad F_{inicial} = 6 \cdot \sigma_1 \cdot Área_{teórica\_aço} = 1176.86\,kN$

$a_0 = 22cm$ $\quad c = 1.8cm$

$d = 17.5cm$ $\quad a_1 = a_0 + c = 23.8\,cm$

$F_1 = F_{inicial} \cdot \cos(9°) = 1162.37\,kN$ $\quad F_2 = F_{inicial} \cdot \cos(3°) = 1175.25\,kN$

$$T_1 = 0.25 \cdot F_1 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 21.98\,kN \qquad T_2 = 0.25 \cdot F_2 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 22.22\,kN$$

$a_2 = 2 \cdot d + (n-1) \cdot b = 60\,cm$

$$F = \begin{pmatrix} 1162.37 \\ 1175.25 \end{pmatrix} kN \qquad T = \begin{pmatrix} 21.98 \\ 22.22 \end{pmatrix} kN \qquad \sum F = 2337.63\,kN$$

$$T_n = \frac{2}{3} \cdot \left(1 - \frac{n \cdot a_1}{a_2}\right) \cdot \sum F = 322.07\,kN \qquad fyd = 43.48 \frac{kN}{cm^2}$$

$$As_1 = \frac{\max(T)}{fyd} = 0.51\,cm^2 \qquad As_2 = q \cdot \left(\frac{T_n}{fyd}\right) = 51.85\,cm^2$$

EXTREMIDADE PASSIVA

$q = 6$ $\qquad F_{inicial} = 1176.86\,kN$

$a_0 = 22\,cm$

$d = 30cm$ $\qquad a_1 = 2 \cdot d = 60 \cdot cm$

$F = q \cdot F_{inicial} \cdot \cos(4°) = 7043.98\,kN$ $\qquad T = 0.25 \cdot F \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 1115.3\,kN$ $\qquad fyd = 43.48 \cdot \frac{kN}{cm^2}$

$As_4 = \frac{T}{fyd} = 25.65\,cm^2$

$As_{fretagem} = As_1 = 0.51\,cm^2$

Adotado espiral ø10mm - 5 passos por cabo em cada trecho de ancoragem ativa e passiva.

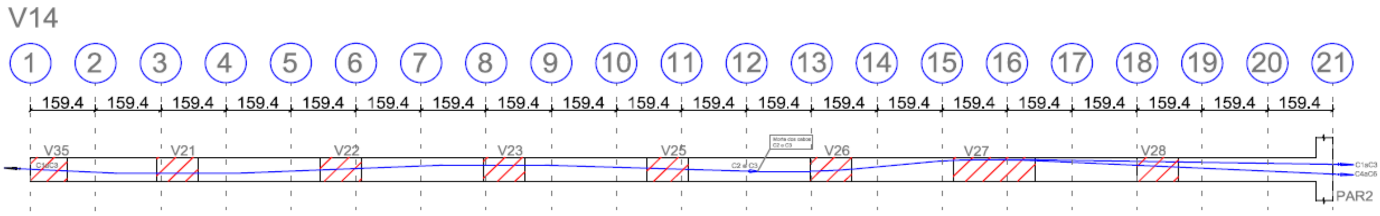
$As_{estribos} = \frac{\max(As_2, As_4)}{4} = 12.96\,cm^2$

$L = \max(a_1, a_2) = 60\,cm$ $\qquad bitola_{estribo} = 12.5mm$ $\qquad adotados = ceil\left(\frac{As_{estribos}}{bitola_{estribo}^2}\right) = 9$

Estribos duplos $adotados = 9$ ø12.5mm em cada trecho de ancoragem ativa e passiva distribuídos em $L = 60\,cm$

V14 (1° PAVIMENTO) - CABOS C1 a C6

CABOS C1=C2=C3 (6ø15.2mm)



$t = \text{tonne}$

$\text{Área}_{\text{teórica\_aço}} = 143.4\text{mm}^2$ $\quad$ $\text{fptk} = \dfrac{265.8\text{kN}}{\text{Área}_{\text{teórica\_aço}}} = 1853.56\,\text{MPa}$ $\quad$ $\text{fpyk} = \dfrac{239.2\text{kN}}{\text{Área}_{\text{teórica\_aço}}} = 1668.06\,\text{MPa}$

$\sigma_{pi} = \min(0.74\cdot\text{fptk}, 0.82\cdot\text{fpyk}) = 1367.81\,\text{MPa}$

$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78\cdot\dfrac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$ $\quad$ $\mu = 0.20$ $\quad$ $\beta = 0.01\dfrac{\text{rad}}{\text{m}}$ $\quad$ $e = 2.72$ $\quad$ $L = 31.87\text{m}$

$\kappa = \beta\cdot\mu = 0.002\cdot\dfrac{\text{rad}}{\text{m}}$ $\quad$ $n = 21$ $\quad$ $i = 1, 2 .. n$

$$S = 0\text{cm}, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 159.35 \\ 318.7 \\ 478.05 \\ 637.4 \\ 796.75 \\ 956.1 \\ 1115.45 \\ 1274.8 \\ 1434.15 \\ 1593.5 \\ 1752.85 \\ 1912.2 \\ 2071.55 \\ 2230.9 \\ 2390.25 \\ 2549.6 \\ 2708.95 \\ 2868.3 \\ 3027.65 \\ 3187 \end{pmatrix}\text{cm} \qquad \Delta\alpha_{\text{elevação}} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0.05 \\ 2.74 \\ 0 \\ 2.29 \\ 0 \\ 0 \\ 2.29 \\ 0 \\ 1.72 \\ 0 \\ 0 \\ 1.72 \\ 5.52 \\ 0.49 \\ 6.01 \\ 0.91 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}{}^\circ \qquad \Delta\alpha_{\text{planta}} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}{}^\circ$$

$$\alpha_i = \begin{cases} 0\text{rad} & \text{if } i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \sqrt{\left(\Delta\alpha_{\text{elevação}_i}\right)^2 + \left(\Delta\alpha_{\text{planta}_i}\right)^2} & \text{if } i > 1 \\ i \cdot \text{rad} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13900.98 \\ 13724.84 \\ 13681.17 \\ 13529.06 \\ 13486.01 \\ 13443.1 \\ 13293.64 \\ 13251.34 \\ 13130.1 \\ 13088.32 \\ 13046.68 \\ 12927.32 \\ 12640.26 \\ 12578.51 \\ 12278.18 \\ 12200.3 \\ 12161.48 \\ 12122.78 \\ 12084.21 \\ 12045.76 \end{pmatrix} \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$n = 21 \qquad i = 1, 2 .. n$

$$\Delta\theta_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0.91 \\ 6.01 \\ 0.49 \\ 5.52 \\ 1.72 \\ 0 \\ 0 \\ 1.72 \\ 0 \\ 2.29 \\ 0 \\ 0 \\ 2.29 \\ 0 \\ 2.74 \\ 0.05 \end{pmatrix}° \qquad \Delta\theta_{planta} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}°$$

$$\theta_i = \begin{array}{|l} 0rad \quad \text{if} \quad i = 1 \\ \theta_{(i-1)} + \sqrt{\left(\Delta\theta_{elevação_i}\right)^2 + \left(\Delta\theta_{planta_i}\right)^2} \quad \text{if} \quad i > 1 \\ i \cdot rad \quad \text{otherwise} \end{array}$$

$$\sigma_{dir} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \theta + \kappa \cdot S)}$$

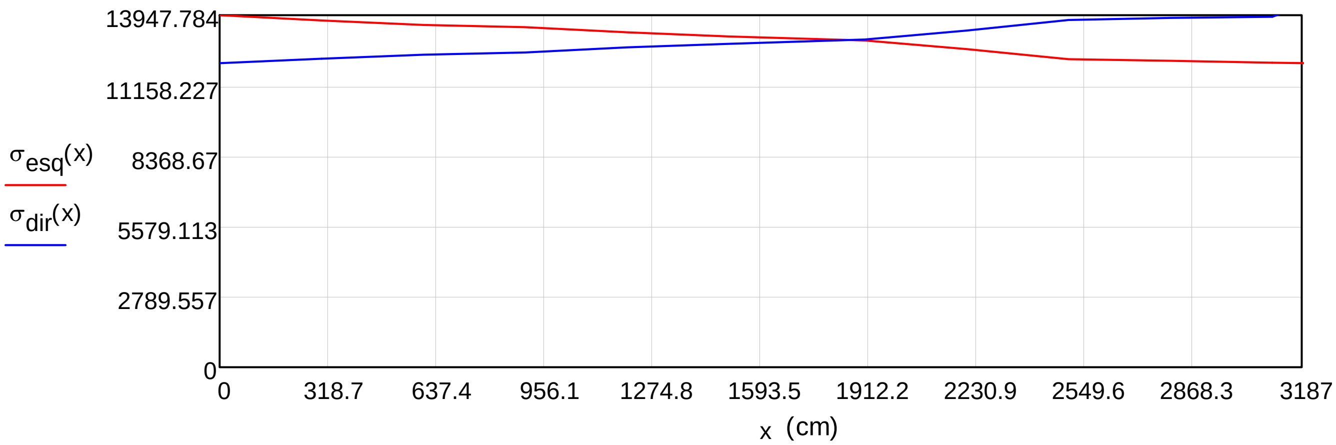
$$\sigma_{dir} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13903.4 \\ 13859.16 \\ 13815.06 \\ 13771.11 \\ 13683.75 \\ 13357.04 \\ 13291.78 \\ 12996.63 \\ 12877.73 \\ 12836.75 \\ 12795.91 \\ 12678.84 \\ 12638.5 \\ 12497.98 \\ 12458.21 \\ 12418.57 \\ 12280.5 \\ 12241.42 \\ 12086.32 \\ 12045.76 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$a = cspline(S, \sigma_{esq})$

$b = cspline(S, \sigma_{dir})$

$$\sigma_{esq}(x) = interp\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$$

$$\sigma_{dir}(x) = interp\left(\frac{b}{g}, S, \frac{reverse(\sigma_{dir})}{g}, x\right)$$



$c = \frac{L}{2}$ $\quad$ $d = 0m$

Given

$d = \sigma_{esq}(c)$ $\quad$ $d = \sigma_{dir}(c)$

$\begin{pmatrix} interseção \\ \sigma_{interseção} \end{pmatrix} = Find(c, d)$ $\quad$ $interseção = 1881.71 \cdot cm$

$\sigma_{interseção} = 12968.945037 \cdot \frac{kg}{cm^2}$

$Área_1 = \int_0^{interseção} \sigma_{esq}(x)\, dx$ $\quad$ $Área_1 = 252680.88 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$

$Área_2 = \int_{interseção}^{L} \sigma_{dir}(x)\, dx$ $\quad$ $Área_2 = 177865.89 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$

$Área = (Área_1) + (Área_2)$ $\quad$ $Área = 430546.77 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$

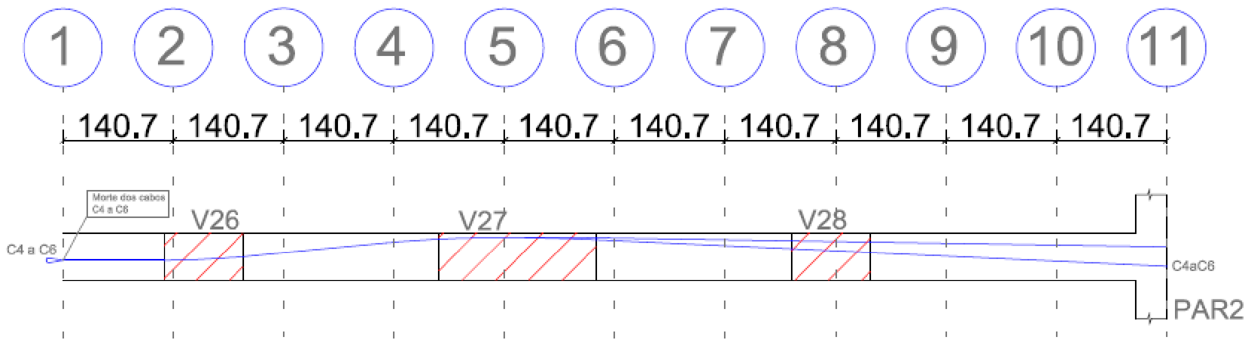
$\sigma_m = \frac{Área}{L}$ $\quad$ $\sigma_m = 13509.47 \cdot \frac{kg}{cm^2}$

$L_{cabo} = 33.50m$ $\quad$ $Área_{teórica\_aço} = 143.4 \cdot mm^2$ $\quad$ $E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$

$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot Área_{teórica\_aço} = 19.4 \cdot t$

$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 232 \cdot mm$

CABOS C4=C5=C6 (6ø15.2mm)



$t = \text{tonne}$

$\text{Área}_{\text{teórica\_aço}} = 143.4\,\text{mm}^2$ $\qquad \text{fptk} = \dfrac{265.8\,\text{kN}}{\text{Área}_{\text{teórica\_aço}}} = 1853.56\,\text{MPa}$ $\qquad \text{fpyk} = \dfrac{239.2\,\text{kN}}{\text{Área}_{\text{teórica\_aço}}} = 1668.06\,\text{MPa}$

$\sigma_{pi} = \min(0.74 \cdot \text{fptk}, 0.82 \cdot \text{fpyk}) = 1367.81\,\text{MPa}$

$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78 \cdot \dfrac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$ $\qquad \mu = 0.20$ $\qquad \beta = 0.01 \dfrac{\text{rad}}{\text{m}}$ $\qquad e = 2.72$ $\qquad L = 14.07\,\text{m}$

$\kappa = \beta \cdot \mu = 0.002 \cdot \dfrac{\text{rad}}{\text{m}}$ $\qquad n = 11$ $\qquad i = 1, 2 .. n$

$$S = 0\,\text{cm}, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 140.7 \\ 281.4 \\ 422.1 \\ 562.8 \\ 703.5 \\ 844.2 \\ 984.9 \\ 1125.6 \\ 1266.3 \\ 1407 \end{pmatrix} \text{cm} \qquad \Delta\alpha_{\text{elevação}} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 5.52 \\ 0.19 \\ 5.71 \\ 2.68 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} °$$

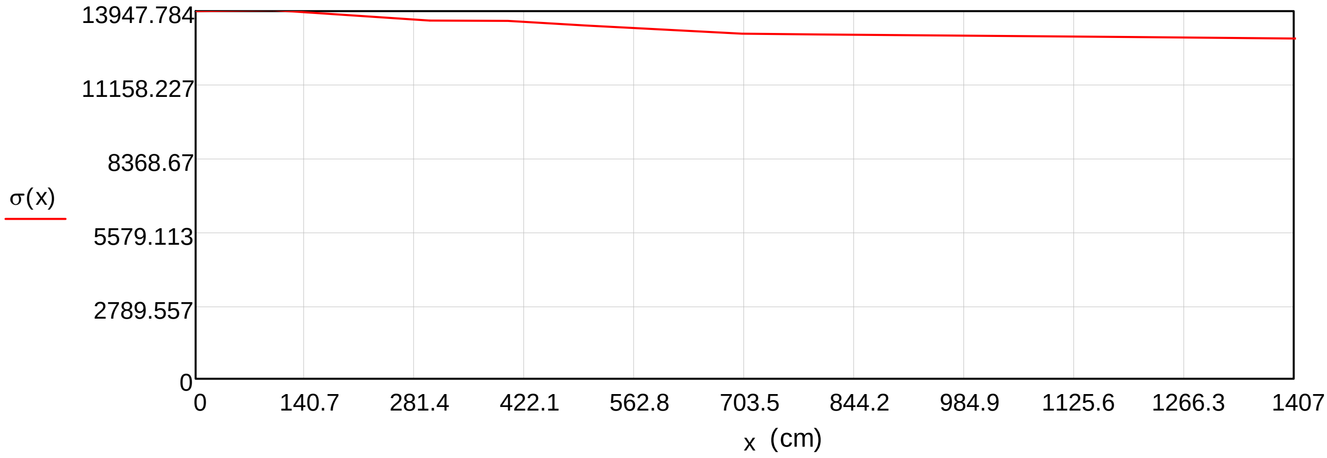
$$\alpha_i = \left| \begin{array}{l} 0\,\text{rad} \quad \text{if} \quad i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \Delta\alpha_{\text{elevação}_i} \quad \text{if} \quad i > 1 \\ i \cdot \text{rad} \quad \text{otherwise} \end{array} \right.$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13908.59 \\ 13604.82 \\ 13557.6 \\ 13252.7 \\ 13092.41 \\ 13055.62 \\ 13018.93 \\ 12982.34 \\ 12945.86 \\ 12909.49 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$$a = cspline\left(S, \sigma_{esq}\right)$$

$$\sigma(x) = interp\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$$



$$\text{Área} = \int_0^L \sigma(x)\,dx \qquad \text{Área} = 186965.6 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$\sigma_m = \frac{\text{Área}}{L} \qquad \sigma_m = 13288.24 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$$L_{cabo} = 14.90m \qquad \text{Área}_{teórica\_aço} = 143.4 \cdot mm^2 \qquad E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$$

$$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot \text{Área}_{teórica\_aço} = 19.1 \cdot t$$

$$\Delta L_{teórico} = \frac{\left(\sigma_m\right) \cdot \left(L_{cabo}\right)}{E_{teórico\_aço}} = 102 \cdot mm$$

V14 - CÁLCULO DAS ARMADURAS DE FRETAGEM

a_0 = Área da placa de distribuição

b = Distância entre eixos das ancoragens

c = Distância entre as ancoragens

d = Distância entre a face do concreto ao eixo da ancoragem

n = Quantidade de ancoragens em elevação

q = Quantidade de cabos alinhados em cada grupo (seção transversal)

EXTREMIDADE ATIVA (Direita)

$b = 25cm$ $\quad n = 2$ $\quad q = 3$ $\quad F_{inicial} = 6 \cdot \sigma_1 \cdot Área_{teórica\_aço} = 1176.86\,kN$

$a_0 = 22cm$ $\quad c = 2.6cm$

$d = 17.5cm$ $\quad a_1 = a_0 + c = 24.6\,cm$

$F_1 = F_{inicial} \cdot \cos(1°) = 1176.68\,kN$ $\quad F_2 = F_{inicial} \cdot \cos(3°) = 1175.25\,kN$

$$T_1 = 0.25 \cdot F_1 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 31.09\,kN \qquad T_2 = 0.25 \cdot F_2 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 31.05\,kN$$

$a_2 = 2 \cdot d + (n - 1) \cdot b = 60\,cm$

$$F = \begin{pmatrix} 1176.68 \\ 1175.25 \end{pmatrix} kN \qquad T = \begin{pmatrix} 31.09 \\ 31.05 \end{pmatrix} kN \qquad \sum F = 2351.94\,kN$$

$$T_n = \frac{2}{3} \cdot \left(1 - \frac{n \cdot a_1}{a_2}\right) \cdot \sum F = 282.23\,kN \qquad fyd = 43.48\,\frac{kN}{cm^2}$$

$$As_1 = \frac{\max(T)}{fyd} = 0.72\,cm^2 \qquad As_2 = q \cdot \left(\frac{T_n}{fyd}\right) = 19.47\,cm^2$$

EXTREMIDADE PASSIVA

$q = 3$ $\quad F_{inicial} = 1176.86\,kN$

$a_0 = 22\,cm$

$d = 25cm$ $\quad a_1 = 2 \cdot d = 50 \cdot cm$

$F = q \cdot F_{inicial} \cdot \cos(0°) = 3530.59\,kN$ $\quad T = 0.25 \cdot F \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 494.28\,kN$ $\quad fyd = 43.48 \cdot \frac{kN}{cm^2}$

$As_4 = \frac{T}{fyd} = 11.37\,cm^2$

$As_{fretagem} = As_1 = 0.72\,cm^2$

Adotado espiral ø10mm - 5 passos por cabo em cada trecho de ancoragem ativa e passiva.

$As_{estribos} = \frac{\max(As_2, As_4)}{4} = 4.87\,cm^2$

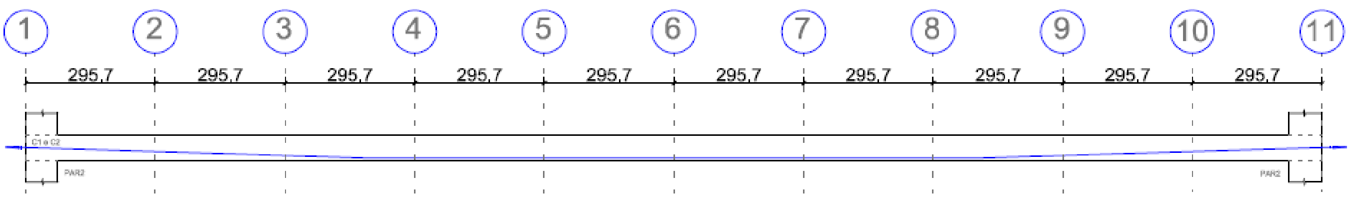
$L = \max(a_1, a_2) = 60\,cm$ $\quad bitola_{estribo} = 8mm$ $\quad adotados = \text{ceil}\left(\frac{As_{estribos}}{bitola_{estribo}^2}\right) = 8$

Estribos duplos $adotados = 8$ ø8.0mm em cada trecho de ancoragem ativa e passiva distribuídos em $L = 60\,cm$

V17 (1° PAVIMENTO) - CABOS C1 e C2

CABOS C1=C2 (6ø15.2mm)

V17



$t = tonne$

$\text{Área}_{teórica\_aço} = 143.4mm^2$ $\quad fptk = \dfrac{265.8kN}{\text{Área}_{teórica\_aço}} = 1853.56\,MPa$ $\quad fpyk = \dfrac{239.2kN}{\text{Área}_{teórica\_aço}} = 1668.06\,MPa$

$\sigma_{pi} = \min(0.74 \cdot fptk, 0.82 \cdot fpyk) = 1367.81\,MPa$

$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78 \cdot \dfrac{kgf}{cm^2}$ $\quad \mu = 0.20$ $\quad \beta = 0.01 \dfrac{rad}{m}$ $\quad e = 2.72$ $\quad L = 29.55m$

$\kappa = \beta \cdot \mu = 0.002 \cdot \dfrac{rad}{m}$ $\quad n = 11$ $\quad i = 1, 2 .. n$

$$S = 0cm, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 295.5 \\ 591 \\ 886.5 \\ 1182 \\ 1477.5 \\ 1773 \\ 2068.5 \\ 2364 \\ 2659.5 \\ 2955 \end{pmatrix} cm \qquad \Delta\alpha_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1.77 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1.77 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}°$$

$$\alpha_i = \begin{cases} 0rad & \text{if } i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \Delta\alpha_{elevação_i} & \text{if } i > 1 \\ i \cdot rad & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13865.6 \\ 13783.89 \\ 13618.27 \\ 13538.02 \\ 13458.25 \\ 13378.94 \\ 13300.11 \\ 13140.3 \\ 13062.87 \\ 12985.89 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$n = 11$ $\qquad\qquad$ $i := 1, 2 .. n$

$$\Delta\theta_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1.77 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1.77 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} °$$

$$\theta_i := \begin{vmatrix} 0rad \quad \text{if} \quad i = 1 \\ \theta_{(i-1)} + \Delta\theta_{elevação_i} \quad \text{if} \quad i > 1 \\ i \cdot rad \quad \text{otherwise} \end{vmatrix}$$

$$\sigma_{dir} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu\cdot\theta+\kappa\cdot S)}$$

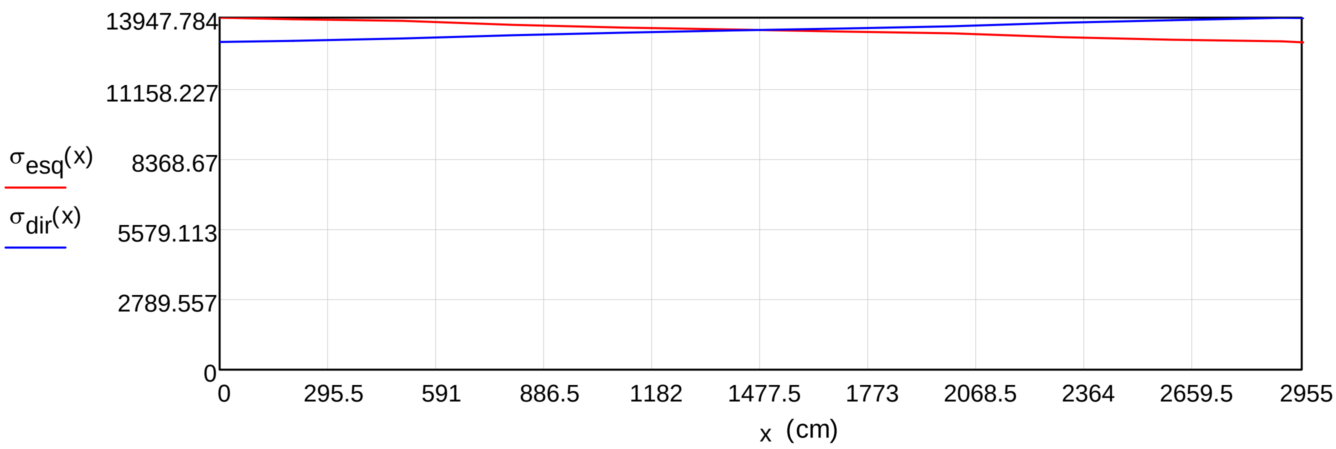
$$\sigma_{dir} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13865.6 \\ 13783.89 \\ 13618.27 \\ 13538.02 \\ 13458.25 \\ 13378.94 \\ 13300.11 \\ 13140.3 \\ 13062.87 \\ 12985.89 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$a = \text{cspline}(S, \sigma_{esq})$

$b = \text{cspline}(S, \sigma_{dir})$

$\sigma_{esq}(x) = \text{interp}\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$

$\sigma_{dir}(x) = \text{interp}\left(\frac{b}{g}, S, \frac{\text{reverse}(\sigma_{dir})}{g}, x\right)$



$c = \frac{L}{2}$

$d = 0m$

Given

$d = \sigma_{esq}(c)$

$d = \sigma_{dir}(c)$

$\begin{pmatrix} \text{interseção} \\ \sigma_{\text{interseção}} \end{pmatrix} = \text{Find}(c, d)$

$\text{interseção} = 1477.5 \cdot cm$

$\sigma_{\text{interseção}} = 13458.247951 \cdot \frac{kg}{cm^2}$

$$\text{Área}_1 = \int_0^{\text{interseção}} \sigma_{esq}(x)\,dx \qquad \text{Área}_1 = 202430.48 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$\text{Área}_2 = \int_{\text{interseção}}^{L} \sigma_{dir}(x)\,dx \qquad \text{Área}_2 = 202454.64 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$\text{Área} = (\text{Área}_1) + (\text{Área}_2) \qquad \text{Área} = 404885.11 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$\sigma_m = \frac{\text{Área}}{L} \qquad \sigma_m = 13701.7 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$$L_{cabo} = 31.20m \qquad \text{Área}_{teórica\_aço} = 143.4 \cdot mm^2 \qquad E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$$

$$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot \text{Área}_{teórica\_aço} = 19.6 \cdot t$$

$$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 219 \cdot mm$$

V17 - CÁLCULO DAS ARMADURAS DE FRETAGEM

a_0 = Área da placa de distribuição

d = Distância entre a face do concreto ao eixo da ancoragem

n = Número de ancoragens

$n = 2$

$F_{inicial} = 6 \cdot \sigma_1 \cdot Área_{teórica\_aço} = 1176.86\,kN$

$a_0 = 22cm$

$d = 30cm$

$a_1 = 2 \cdot d = 60 \cdot cm$

$F = n \cdot F_{inicial} \cdot \cos(2°) = 2352.29\,kN$

$T = 0.25 \cdot F \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 372.45\,kN$

$fyd = 43.48\,\frac{kN}{cm^2}$

$As_1 = \frac{T}{fyd} = 8.57\,cm^2$

$As_{estribos} = \frac{As_1}{4} = 2.14\,cm^2$

$L = a_1 = 60\,cm$

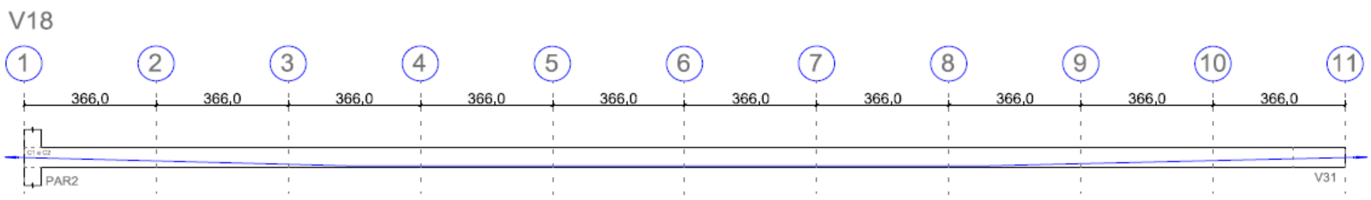
$bitola_{estribo} = 8mm$

$adotados = ceil\left(\frac{As_{estribos}}{bitola_{estribo}^{\ 2}}\right) = 4$

Estribos duplos $adotados = 4$ ø8.0mm em cada trecho de ancoragem ativa e passiva distribuídos em $L = 60\,cm$

V18 (1° PAVIMENTO) - CABOS C1 e C2

CABOS C1=C2 (6ø15.2mm)



$Área_{teórica\_aço} = 143.4mm^2$

$fptk = \frac{265.8kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1853.56\,MPa$

$fpyk = \frac{239.2kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1668.06\,MPa$

$\sigma_{pi} = \min(0.74 \cdot fptk, 0.82 \cdot fpyk) = 1367.81\,MPa$

$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78 \cdot \frac{kgf}{cm^2}$

$\mu = 0.20$

$\beta = 0.01\,\frac{rad}{m}$

$e = 2.72$

$L = 36.60m$

$\kappa = \beta \cdot \mu = 0.002 \cdot \frac{rad}{m}$

$n = 11$

$i = 1, 2 .. n$

$$S := 0cm, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 366 \\ 732 \\ 1098 \\ 1464 \\ 1830 \\ 2196 \\ 2562 \\ 2928 \\ 3294 \\ 3660 \end{pmatrix} cm \qquad \Delta\alpha_{elevação} := \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1.5 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1.36 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} {}^\circ$$

$$\alpha_i := \begin{cases} 0rad & \text{if } i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \Delta\alpha_{elevação_i} & \text{if } i > 1 \\ i \cdot rad & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\sigma_{esq} := \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13846.06 \\ 13745.08 \\ 13573.57 \\ 13474.58 \\ 13376.3 \\ 13278.74 \\ 13181.9 \\ 13023.79 \\ 12928.8 \\ 12834.51 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$n = 11 \qquad i = 1, 2 .. n$

$$\Delta\theta_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1.36 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1.5 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \circ$$

$$\theta_i = \begin{cases} 0rad & \text{if } i = 1 \\ \theta_{(i-1)} + \Delta\theta_{elevação_i} & \text{if } i > 1 \\ i \cdot rad & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\sigma_{dir} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \theta + \kappa \cdot S)}$$

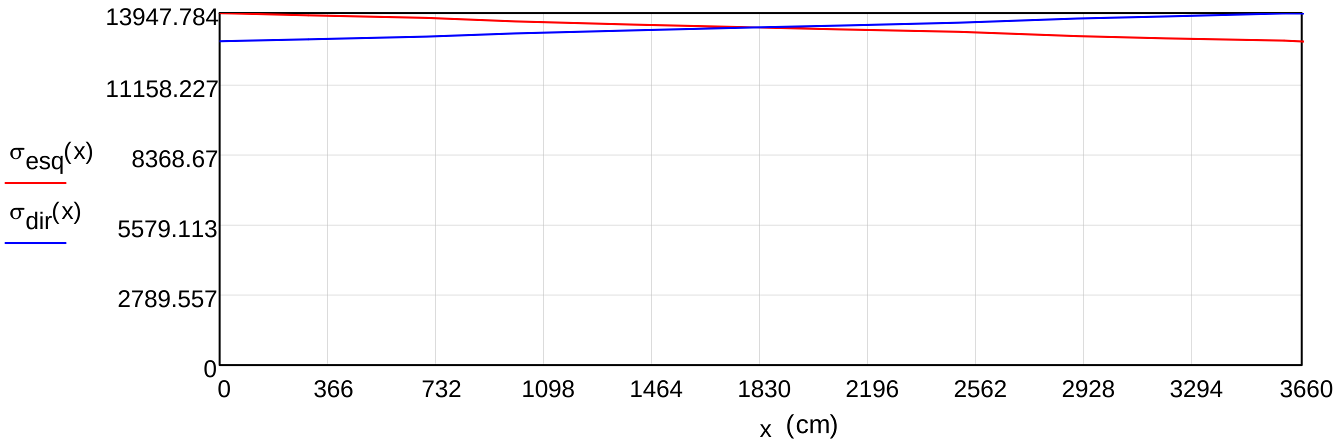
$$\sigma_{dir} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13846.06 \\ 13745.08 \\ 13580.21 \\ 13481.16 \\ 13382.84 \\ 13285.24 \\ 13188.34 \\ 13023.79 \\ 12928.8 \\ 12834.51 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$a = cspline(S, \sigma_{esq})$

$b = cspline(S, \sigma_{dir})$

$$\sigma_{esq}(x) = interp\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$$

$$\sigma_{dir}(x) = interp\left(\frac{b}{g}, S, \frac{reverse(\sigma_{dir})}{g}, x\right)$$



$c = \frac{L}{2}$

$d = 0m$

Given

$d = \sigma_{esq}(c)$

$d = \sigma_{dir}(c)$

$\begin{pmatrix} interseção \\ \sigma_{interseção} \end{pmatrix} = Find(c, d)$

$interseção = 1817.79 \cdot cm$

$\sigma_{interseção} = 13379.769807 \cdot \frac{kg}{cm^2}$

$Área_1 = \int_0^{interseção} \sigma_{esq}(x)\, dx$

$Área_1 = 248334.58 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$

$Área_2 = \int_{interseção}^{L} \sigma_{dir}(x)\, dx$

$Área_2 = 251687.88 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$

$Área = (Área_1) + (Área_2)$

$Área = 500022.46 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$

$\sigma_m = \frac{Área}{L}$

$\sigma_m = 13661.82 \cdot \frac{kg}{cm^2}$

$L_{cabo} = 38.20m$

$Área_{teórica\_aço} = 143.4 \cdot mm^2$

$E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$

$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot Área_{teórica\_aço} = 19.6 \cdot t$

$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 268 \cdot mm$

V18 - CÁLCULO DAS ARMADURAS DE FRETAGEM

a_0 = Área da placa de distribuição

d = Distância entre a face do concreto ao eixo da ancoragem

n = Número de ancoragens

$n = 2$

$F_{inicial} = 6 \cdot \sigma_1 \cdot Área_{teórica\_aço} = 1176.86\,kN$

$a_0 = 22cm$

$d = 30cm$

$a_1 = 2 \cdot d = 60 \cdot cm$

$F = n \cdot F_{inicial} \cdot \cos(2°) = 2352.29\,kN$

$T = 0.25 \cdot F \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 372.45\,kN$

$fyd = 43.48 \frac{kN}{cm^2}$

$As_1 = \frac{T}{fyd} = 8.57\,cm^2$

$As_{estribos} = \frac{As_1}{4} = 2.14\,cm^2$

$L = a_1 = 60\,cm$

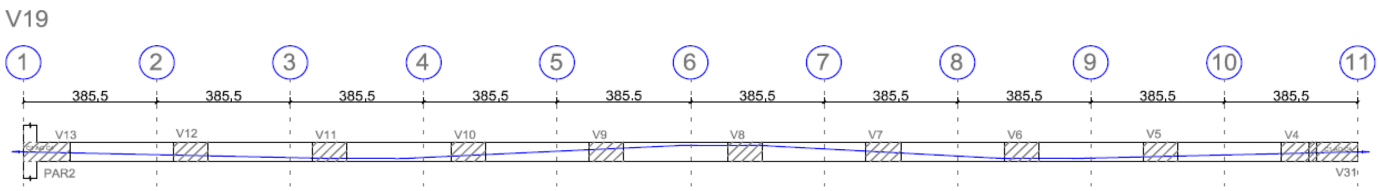
$bitola_{estribo} = 8mm$

$adotados = ceil\left(\frac{As_{estribos}}{bitola_{estribo}^2}\right) = 4$

Estribos duplos $adotados = 4$ ø8.0mm em cada trecho de ancoragem ativa e passiva distribuídos em $L = 60\,cm$

V19 (1° PAVIMENTO) - CABOS C1 a C4

CABOS C1=C2=C3=C4 (4ø12.7mm)



$\text{Área}_{teórica\_aço} = 100.9mm^2$ $\quad fptk = \dfrac{187.3kN}{\text{Área}_{teórica\_aço}} = 1856.29\,MPa$ $\quad fpyk = \dfrac{168.6kN}{\text{Área}_{teórica\_aço}} = 1670.96\,MPa$

$\sigma_{pi} = \min(0.74\cdot fptk\,,\,0.82\cdot fpyk) = 1370.19\,MPa$

$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13972.03\cdot\dfrac{kgf}{cm^2}$ $\quad \mu = 0.20$ $\quad \beta = 0.01\dfrac{rad}{m}$ $\quad e = 2.72$ $\quad L = 38.55m$

$\kappa = \beta\cdot\mu = 0.002\cdot\dfrac{rad}{m}$ $\quad n = 11$ $\quad i = 1, 2 .. n$

$$S = 0cm, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 385.5 \\ 771 \\ 1156.5 \\ 1542 \\ 1927.5 \\ 2313 \\ 2698.5 \\ 3084 \\ 3469.5 \\ 3855 \end{pmatrix} cm \qquad \Delta\alpha_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 4.09 \\ 0 \\ 2.82 \\ 3.21 \\ 0 \\ 4.6 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} °$$

$$\alpha_i = \left| \begin{array}{ll} 0rad \quad \text{if} \quad i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \Delta\alpha_{elevação_i} \quad \text{if} \quad i > 1 \\ i\cdot rad \quad \text{otherwise} \end{array} \right.$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13972.03 \\ 13864.72 \\ 13758.24 \\ 13459.04 \\ 13355.67 \\ 13123.27 \\ 12877.38 \\ 12778.48 \\ 12478.35 \\ 12382.51 \\ 12287.41 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$n = 11$ $\qquad$ $i = 1, 2 .. n$

$$\Delta\theta_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 4.6 \\ 0 \\ 3.21 \\ 2.82 \\ 0 \\ 4.09 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} °$$

$$\theta_i = \begin{vmatrix} 0rad \quad \text{if} \quad i = 1 \\ \theta_{(i-1)} + \Delta\theta_{elevação_i} \quad \text{if} \quad i > 1 \\ i \cdot rad \quad \text{otherwise} \end{vmatrix}$$

$\sigma_{dir} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \theta + \kappa \cdot S)}$

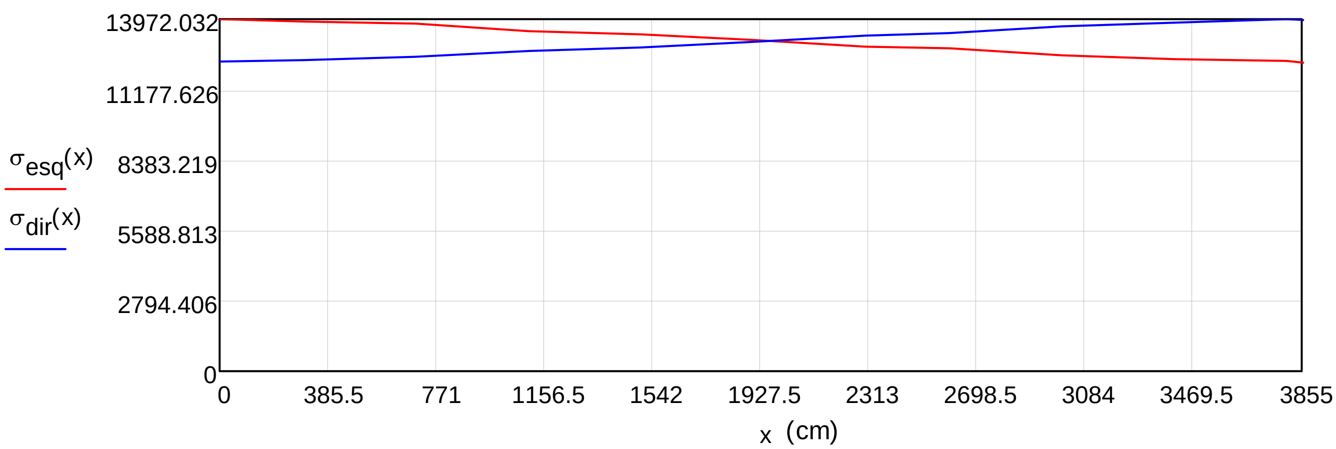
$$\sigma_{dir} = \begin{pmatrix} 13972.03 \\ 13864.72 \\ 13758.24 \\ 13435.1 \\ 13331.91 \\ 13082.11 \\ 12854.47 \\ 12755.75 \\ 12478.35 \\ 12382.51 \\ 12287.41 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$a = cspline(S, \sigma_{esq})$

$b = cspline(S, \sigma_{dir})$

$\sigma_{esq}(x) = interp\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$

$\sigma_{dir}(x) = interp\left(\frac{b}{g}, S, \frac{reverse(\sigma_{dir})}{g}, x\right)$



$c = \frac{L}{2}$

$d = 0m$

Given

$d = \sigma_{esq}(c)$

$d = \sigma_{dir}(c)$

$\begin{pmatrix} interseção \\ \sigma_{interseção} \end{pmatrix} = Find(c, d)$

$interseção = 1960.47 \cdot cm$

$\sigma_{interseção} = 13098.06471 \cdot \frac{kg}{cm^2}$

$$Área_1 = \int_0^{interseção} \sigma_{esq}(x)\,dx \qquad Área_1 = 266421.65 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$Área_2 = \int_{interseção}^{L} \sigma_{dir}(x)\,dx \qquad Área_2 = 257480.08 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$Área = (Área_1) + (Área_2) \qquad Área = 523901.73 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$\sigma_m = \frac{Área}{L} \qquad \sigma_m = 13590.19 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$$L_{cabo} = 40.20m \qquad Área_{teórica\_aço} = 100.9 \cdot mm^2 \qquad E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$$

$$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot Área_{teórica\_aço} = 13.7 \cdot t$$

$$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 280 \cdot mm$$

V19 - CÁLCULO DAS ARMADURAS DE FRETAGEM

a_0 = Área da placa de distribuição

d = Distância entre a face do concreto ao eixo da ancoragem

n = Número de ancoragens

$$n = 4 \qquad F_{inicial} = 4 \cdot \sigma_1 \cdot Área_{teórica\_aço} = 553.01\,kN$$

$$a_0 = 14cm$$

$$d = 30cm \qquad a_1 = 2 \cdot d = 60 \cdot cm$$

$$F = n \cdot F_{inicial} \cdot \cos(2°) = 2210.68\,kN \qquad T = 0.25 \cdot F \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 423.71\,kN \qquad fyd = 43.48 \frac{kN}{cm^2}$$

$$As_1 = \frac{T}{fyd} = 9.75\,cm^2$$

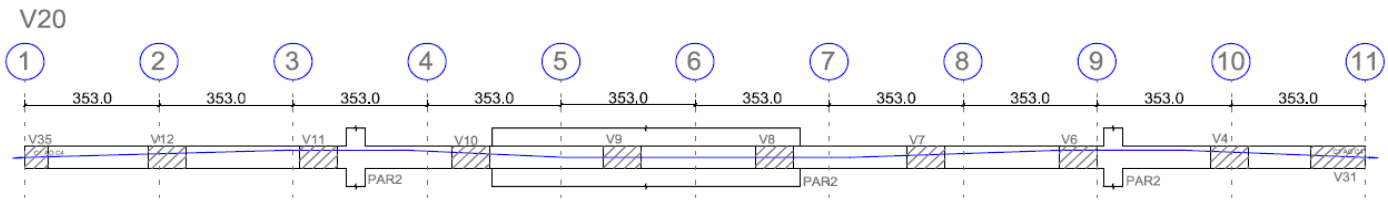
$$As_{estribos} = \frac{As_1}{4} = 2.44\,cm^2$$

$$L = a_1 = 60\,cm \qquad bitola_{estribo} = 8mm \qquad adotados = ceil\left(\frac{As_{estribos}}{bitola_{estribo}^2}\right) = 4$$

Estribos duplos $adotados = 4$ ø8.0mm em cada trecho de ancoragem ativa e passiva distribuídos em $L = 60\,cm$

V20 (1° PAVIMENTO) - CABOS C1 a C4

CABOS C1=C2=C3=C4 (4ø12.7mm)



$$\text{Área}_{\text{teórica\_aço}} = 100.9\text{mm}^2 \qquad \text{fptk} = \frac{187.3\text{kN}}{\text{Área}_{\text{teórica\_aço}}} = 1856.29\,\text{MPa} \qquad \text{fpyk} = \frac{168.6\text{kN}}{\text{Área}_{\text{teórica\_aço}}} = 1670.96\,\text{MPa}$$

$$\sigma_{pi} = \min(0.74\cdot\text{fptk}\,,\,0.82\cdot\text{fpyk}) = 1370.19\,\text{MPa}$$

$$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13972.03\cdot\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \qquad \mu = 0.20 \qquad \beta = 0.01\frac{\text{rad}}{\text{m}} \qquad e = 2.72 \qquad L = 35.30\text{m}$$

$$\kappa = \beta\cdot\mu = 0.002\cdot\frac{\text{rad}}{\text{m}} \qquad n = 11 \qquad i = 1\,,2\,..\,n$$

$$S := 0cm, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 353 \\ 706 \\ 1059 \\ 1412 \\ 1765 \\ 2118 \\ 2471 \\ 2824 \\ 3177 \\ 3530 \end{pmatrix} cm \qquad \Delta\alpha_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1.63 \\ 2.66 \\ 0 \\ 2.66 \\ 0 \\ 2.02 \\ 2.02 \\ 2.35 \\ 0 \end{pmatrix} °$$

$$\alpha_i := \begin{vmatrix} 0rad \quad \text{if} \quad i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \Delta\alpha_{elevação_i} \quad \text{if} \quad i > 1 \\ i \cdot rad \quad \text{otherwise} \end{vmatrix}$$

$$\sigma_{esq} := \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13972.03 \\ 13873.74 \\ 13697.97 \\ 13475.9 \\ 13381.09 \\ 13164.15 \\ 13071.54 \\ 12888.38 \\ 12707.79 \\ 12515.3 \\ 12427.26 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$n = 11$ $\quad$ $i = 1, 2..n$

$$\Delta\theta_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 2.35 \\ 2.02 \\ 2.02 \\ 0 \\ 2.66 \\ 0 \\ 2.66 \\ 1.63 \\ 0 \end{pmatrix}°$$

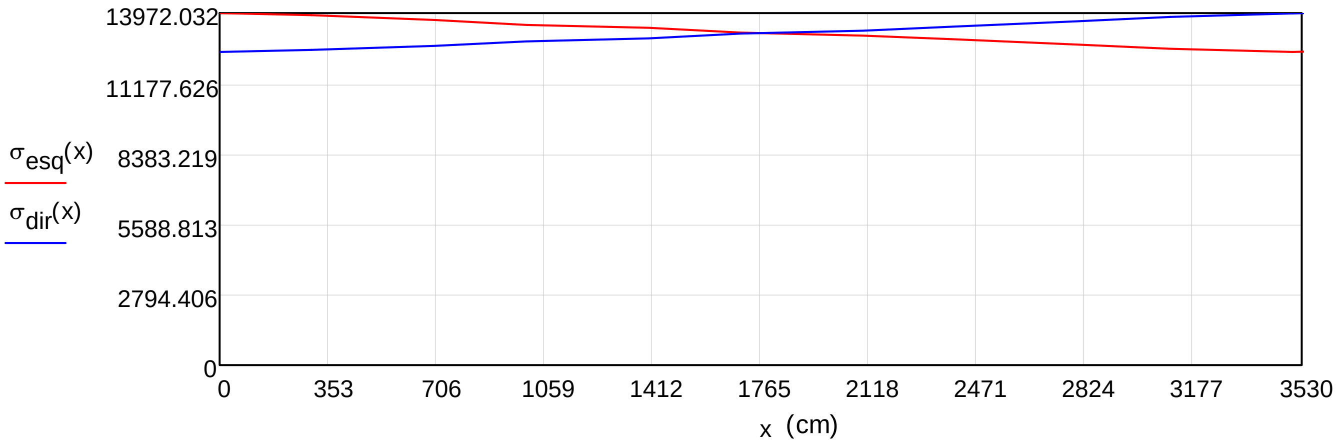
$$\theta_i = \begin{vmatrix} 0\text{rad} \ \ \text{if} \ \ i = 1 \\ \theta_{(i-1)} + \Delta\theta_{elevação_i} \ \ \text{if} \ \ i > 1 \\ i \cdot \text{rad} \ \ \text{otherwise} \end{vmatrix}$$

$$\sigma_{dir} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \theta + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{dir} = \begin{pmatrix} 13972.03 \\ 13873.74 \\ 13663.59 \\ 13472.13 \\ 13283.36 \\ 13189.91 \\ 12976.07 \\ 12884.79 \\ 12675.89 \\ 12515.3 \\ 12427.26 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$a = \text{cspline}(S, \sigma_{esq})$ $\quad$ $b = \text{cspline}(S, \sigma_{dir})$

$\sigma_{esq}(x) = \text{interp}\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$ $\quad$ $\sigma_{dir}(x) = \text{interp}\left(\frac{b}{g}, S, \frac{\text{reverse}(\sigma_{dir})}{g}, x\right)$



$c = \frac{L}{2}$ $\quad$ $d = 0m$

Given

$d = \sigma_{esq}(c)$ $\quad$ $d = \sigma_{dir}(c)$

$\begin{pmatrix} interseção \\ \sigma_{interseção} \end{pmatrix} = Find(c, d)$ $\quad$ $interseção = 1737.73 \cdot cm$

$\sigma_{interseção} = 13177.725205 \cdot \frac{kg}{cm^2}$

$Área_1 = \int_0^{interseção} \sigma_{esq}(x)\, dx$ $\quad$ $Área_1 = 236462.33 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$

$Área_2 = \int_{interseção}^{L} \sigma_{dir}(x)\, dx$ $\quad$ $Área_2 = 243163.07 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$

$Área = (Área_1) + (Área_2)$ $\quad$ $Área = 479625.4 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$

$\sigma_m = \frac{Área}{L}$ $\quad$ $\sigma_m = 13587.12 \cdot \frac{kg}{cm^2}$

$L_{cabo} = 36.90m$ $\quad$ $Área_{teórica\_aço} = 100.9 \cdot mm^2$ $\quad$ $E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$

$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot Área_{teórica\_aço} = 13.7 \cdot t$

$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 257 \cdot mm$

V20 - CÁLCULO DAS ARMADURAS DE FRETAGEM

a_0 = Área da placa de distribuição

d = Distância entre a face do concreto ao eixo da ancoragem

n = Número de ancoragens

$n = 4$

$F_{inicial} = 4 \cdot \sigma_1 \cdot Área_{teórica\_aço} = 553.01\,kN$

$a_0 = 14cm$

$d = 30cm$

$a_1 = 2 \cdot d = 60 \cdot cm$

$F = n \cdot F_{inicial} \cdot \cos(2°) = 2210.68\,kN$

$T = 0.25 \cdot F \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 423.71\,kN$

$fyd = 43.48\,\frac{kN}{cm^2}$

$As_1 = \frac{T}{fyd} = 9.75\,cm^2$

$As_{estribos} = \frac{As_1}{4} = 2.44\,cm^2$

$L = a_1 = 60\,cm$

$bitola_{estribo} = 8mm$

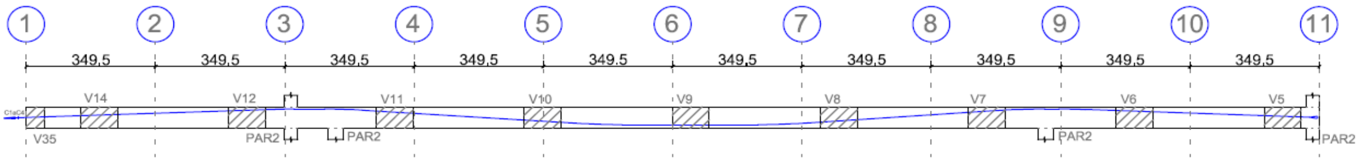
$adotados = ceil\left(\frac{As_{estribos}}{bitola_{estribo}^{\,2}}\right) = 4$

Estribos duplos $adotados = 4$ ø8.0mm em cada trecho de ancoragem ativa e passiva distribuídos em $L = 60\,cm$

V21 (1° PAVIMENTO) - CABOS C1 a C4

CABOS C1=C2=C3=C4 (6ø15.2mm)

V21



$$\text{Área}_{\text{teórica\_aço}} = 143.4\,\text{mm}^2 \qquad \text{fptk} = \frac{265.8\,\text{kN}}{\text{Área}_{\text{teórica\_aço}}} = 1853.56\,\text{MPa} \qquad \text{fpyk} = \frac{239.2\,\text{kN}}{\text{Área}_{\text{teórica\_aço}}} = 1668.06\,\text{MPa}$$

$$\sigma_{pi} = \min(0.74\cdot\text{fptk}, 0.82\cdot\text{fpyk}) = 1367.81\,\text{MPa}$$

$$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78\cdot\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \qquad \mu = 0.20 \qquad \beta = 0.01\frac{\text{rad}}{\text{m}} \qquad e = 2.72 \qquad L = 34.95\text{m}$$

$$\kappa = \beta\cdot\mu = 0.002\cdot\frac{\text{rad}}{\text{m}} \qquad n = 11 \qquad i = 1, 2 .. n$$

$$S = 0\text{cm}, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 349.5 \\ 699 \\ 1048.5 \\ 1398 \\ 1747.5 \\ 2097 \\ 2446.5 \\ 2796 \\ 3145.5 \\ 3495 \end{pmatrix}\text{cm} \qquad \Delta\alpha_{\text{elevação}} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0.62 \\ 6.25 \\ 0 \\ 3.65 \\ 4.24 \\ 0.29 \\ 3.94 \\ 2.05 \\ 0 \end{pmatrix}°$$

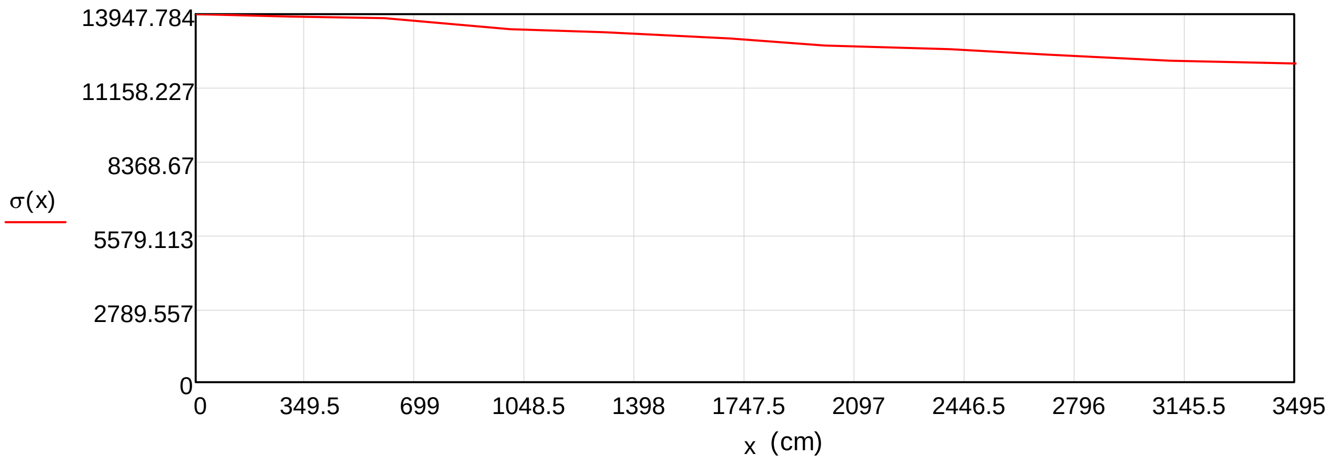
$$\alpha_i = \begin{vmatrix} 0\text{rad} \quad \text{if} \quad i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \Delta\alpha_{\text{elevação}_i} \quad \text{if} \quad i > 1 \\ i\cdot\text{rad} \quad \text{otherwise} \end{vmatrix}$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13850.63 \\ 13724.42 \\ 13334.7 \\ 13241.82 \\ 12983.1 \\ 12703.26 \\ 12602.01 \\ 12343.3 \\ 12169.92 \\ 12085.15 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$$a = \text{cspline}(S, \sigma_{esq})$$

$$\sigma(x) = \text{interp}\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$$



$$\text{Área} = \int_0^L \sigma(x)\,dx \qquad \text{Área} = 454190.79 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$\sigma_m = \frac{\text{Área}}{L} \qquad \sigma_m = 12995.44 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$$L_{cabo} = 35.55m \qquad \text{Área}_{teórica\_aço} = 143.4 \cdot mm^2 \qquad E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$$

$$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot \text{Área}_{teórica\_aço} = 18.6 \cdot t$$

$$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 237 \cdot mm$$

V21 - CÁLCULO DAS ARMADURAS DE FRETAGEM

a_0 = Área da placa de distribuição

d = Distância entre a face do concreto ao eixo da ancoragem

n = Número de ancoragens

$n = 4$

$F_{inicial} = 6 \cdot \sigma_1 \cdot Área_{teórica\_aço} = 1176.86\,kN$

$a_0 = 22cm$

$d = 30cm$

$a_1 = 2 \cdot d = 60 \cdot cm$

$F = n \cdot F_{inicial} \cdot \cos(2°) = 4704.59\,kN$

$T = 0.25 \cdot F \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 744.89\,kN$

$fyd = 43.48\,\frac{kN}{cm^2}$

$As_1 = \frac{T}{fyd} = 17.13\,cm^2$

$As_{estribos} = \frac{As_1}{4} = 4.28\,cm^2$

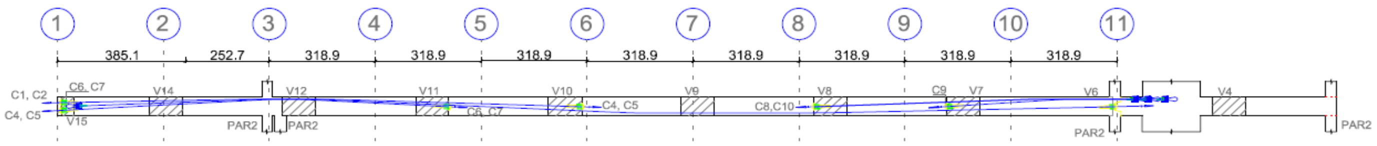
$L = a_1 = 60\,cm$

$bitola_{estribo} = 8mm$

$adotados = ceil\left(\frac{As_{estribos}}{bitola_{estribo}^{\;2}}\right) = 7$

Estribos duplos $adotados = 7$ ø8.0mm em cada trecho de ancoragem ativa e passiva distribuídos em $L = 60\,cm$

V22 (1° PAVIMENTO) - CABOS C1 a C11



CABOS C1=C2 (6ø15.2mm)

$t = \text{tonne}$

$\text{Área}_{\text{teórica\_aço}} = 143.4\text{mm}^2$ $\quad \text{fptk} = \dfrac{265.8\text{kN}}{\text{Área}_{\text{teórica\_aço}}} = 1853.56\,\text{MPa}$ $\quad \text{fpyk} = \dfrac{239.2\text{kN}}{\text{Área}_{\text{teórica\_aço}}} = 1668.06\,\text{MPa}$

$\sigma_{pi} = \min(0.74\cdot\text{fptk}, 0.82\cdot\text{fpyk}) = 1367.81\,\text{MPa}$

$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78\cdot\dfrac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$ $\quad \mu = 0.20$ $\quad \beta = 0.01\dfrac{\text{rad}}{\text{m}}$ $\quad e = 2.72$ $\quad L = 31.89\text{m}$

$\kappa = \beta\cdot\mu = 0.002\cdot\dfrac{\text{rad}}{\text{m}}$ $\quad n = 11$ $\quad i = 1, 2..n$

$$S = 0\text{cm}, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 318.9 \\ 637.8 \\ 956.7 \\ 1275.6 \\ 1594.5 \\ 1913.4 \\ 2232.3 \\ 2551.2 \\ 2870.1 \\ 3189 \end{pmatrix} \text{cm} \qquad \Delta\alpha_{\text{elevação}} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1.19 \\ 2.65 \\ 0 \\ 0 \\ 2.65 \\ 0 \\ 1.32 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}° \qquad \Delta\alpha_{\text{planta}} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}°$$

$$\alpha_i = \begin{vmatrix} 0\text{rad} \quad \text{if} \quad i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \sqrt{\left(\Delta\alpha_{\text{elevação}_i}\right)^2 + \left(\Delta\alpha_{\text{planta}_i}\right)^2} \quad \text{if} \quad i > 1 \\ i\cdot\text{rad} \quad \text{otherwise} \end{vmatrix}$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13859.11 \\ 13713.91 \\ 13501.25 \\ 13415.42 \\ 13330.12 \\ 13123.42 \\ 13039.98 \\ 12897.51 \\ 12815.52 \\ 12734.04 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$$\Delta\theta_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1.32 \\ 0 \\ 2.65 \\ 0 \\ 0 \\ 2.65 \\ 1.19 \\ 0 \end{pmatrix} ° \qquad \Delta\theta_{planta} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} °$$

$$n = 11$$

$$\theta_i = \left| \begin{array}{ll} 0rad & \text{if } i = 1 \\ \theta_{(i-1)} + \sqrt{\left(\Delta\theta_{elevação_i}\right)^2 + \left(\Delta\theta_{planta_i}\right)^2} & \text{if } i > 1 \\ i \cdot rad & \text{otherwise} \end{array} \right.$$

$$\sigma_{dir} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \theta + \kappa \cdot S)}$$

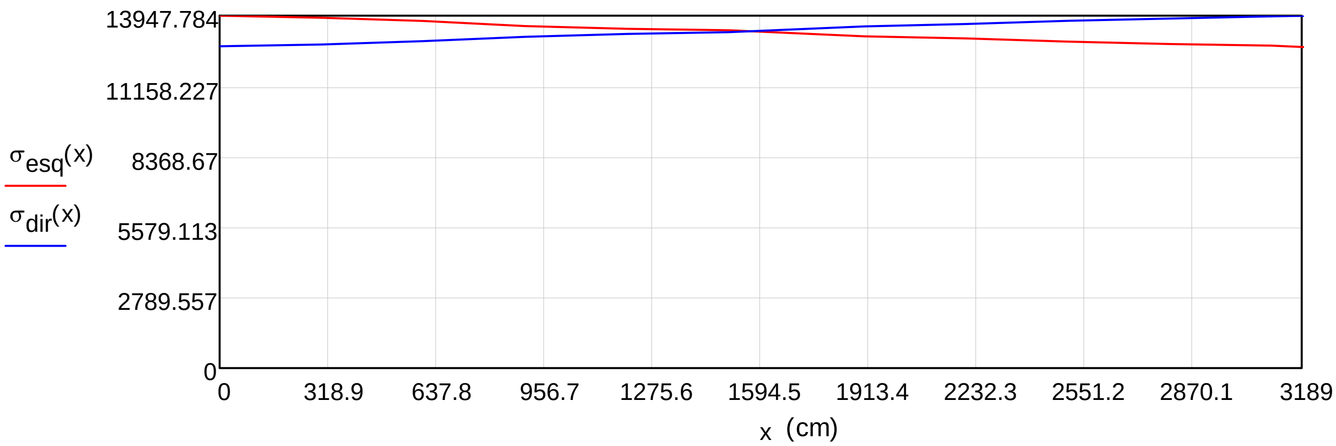
$$\sigma_{dir} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13859.11 \\ 13771 \\ 13620.54 \\ 13533.94 \\ 13324.08 \\ 13239.37 \\ 13155.19 \\ 12951.2 \\ 12815.52 \\ 12734.04 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$a = cspline(S, \sigma_{esq})$

$b = cspline(S, \sigma_{dir})$

$\sigma_{esq}(x) = interp\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$

$\sigma_{dir}(x) = interp\left(\frac{b}{g}, S, \frac{reverse(\sigma_{dir})}{g}, x\right)$



$c = \frac{L}{2}$

$d = 0m$

Given

$d = \sigma_{esq}(c)$

$d = \sigma_{dir}(c)$

$\begin{pmatrix} interseção \\ \sigma_{interseção} \end{pmatrix} = Find(c, d)$

$interseção = 1600.96 \cdot cm$

$\sigma_{interseção} = 13326.62 \cdot \frac{kg}{cm^2}$

$$\text{Área}_1 = \int_0^{\text{interseção}} \sigma_{esq}(x)\,dx \qquad \text{Área}_1 = 218144.97 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$\text{Área}_2 = \int_{\text{interseção}}^{L} \sigma_{dir}(x)\,dx \qquad \text{Área}_2 = 217308.31 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$\text{Área} = (\text{Área}_1) + (\text{Área}_2) \qquad \text{Área} = 435453.28 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

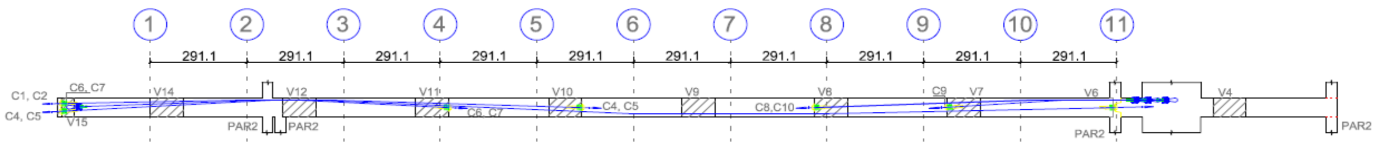
$$\sigma_m = \frac{\text{Área}}{L} \qquad \sigma_m = 13654.85 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$$L_{cabo} = 33.50m \qquad \text{Área}_{teórica\_aço} = 143.4 \cdot mm^2 \qquad E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$$

$$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot \text{Área}_{teórica\_aço} = 19.6 \cdot t$$

$$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 235 \cdot mm$$

CABO C3 (6ø15.2mm)



$$\text{Área}_{teórica\_aço} = 143.4mm^2 \qquad fptk = \frac{265.8kN}{\text{Área}_{teórica\_aço}} = 1853.56\,MPa \qquad fpyk = \frac{239.2kN}{\text{Área}_{teórica\_aço}} = 1668.06\,MPa$$

$$\sigma_{pi} = \min(0.74 \cdot fptk, 0.82 \cdot fpyk) = 1367.81\,MPa$$

$$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78 \cdot \frac{kgf}{cm^2} \qquad \mu = 0.20 \qquad \beta = 0.01 \frac{rad}{m} \qquad e = 2.72 \qquad L = 29.11m$$

$$\kappa = \beta \cdot \mu = 0.002 \cdot \frac{rad}{m} \qquad n = 11 \qquad i = 1, 2 .. n$$

$$S := 0cm, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 291.1 \\ 582.2 \\ 873.3 \\ 1164.4 \\ 1455.5 \\ 1746.6 \\ 2037.7 \\ 2328.8 \\ 2619.9 \\ 2911 \end{pmatrix} cm \qquad \Delta\alpha_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 3.84 \\ 0 \\ 0 \\ 2.65 \\ 0 \\ 0.53 \\ 0.79 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} ° \qquad \Delta\alpha_{planta} = \begin{pmatrix} 0 \\ 22.27 \\ 4.35 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 10.47 \end{pmatrix} °$$

$$\alpha_i := \begin{cases} 0rad & \text{if } i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \sqrt{\left(\Delta\alpha_{elevação_i}\right)^2 + \left(\Delta\alpha_{planta_i}\right)^2} & \text{if } i > 1 \\ i \cdot rad & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\sigma_{esq} := \sigma_1 \cdot e^{-(\mu\cdot\alpha+\kappa\cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 12829.69 \\ 12499.46 \\ 12426.9 \\ 12354.76 \\ 12169.94 \\ 12099.29 \\ 12006.82 \\ 11904.25 \\ 11835.14 \\ 11344.17 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$$\Delta\theta_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0.79 \\ 0.53 \\ 0 \\ 2.65 \\ 0 \\ 0 \\ 3.84 \\ 0 \end{pmatrix} ° \qquad \Delta\theta_{planta} = \begin{pmatrix} 0 \\ 10.47 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 4.35 \\ 22.27 \end{pmatrix} °$$

$$n = 11$$

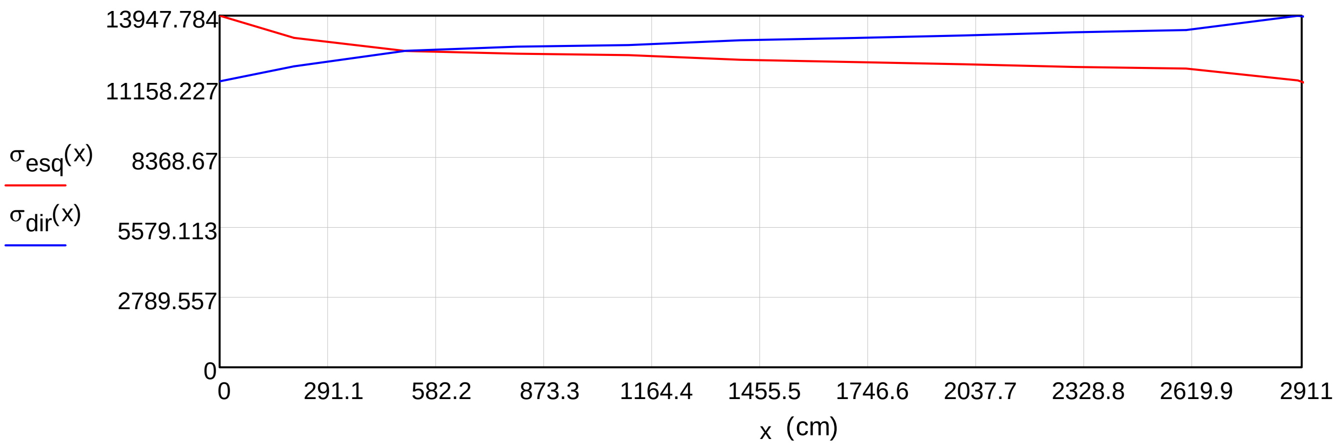
$$\theta_i = \begin{cases} 0\,\text{rad} & \text{if } i = 1 \\ \theta_{(i-1)} + \sqrt{\left(\Delta\theta_{elevação_i}\right)^2 + \left(\Delta\theta_{planta_i}\right)^2} & \text{if } i > 1 \\ i \cdot \text{rad} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\sigma_{dir} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu\cdot\theta + \kappa\cdot S)}$$

$$\sigma_{dir} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13369.17 \\ 13291.56 \\ 13178.01 \\ 13077.3 \\ 13001.38 \\ 12806.89 \\ 12732.55 \\ 12658.63 \\ 12332.81 \\ 11344.17 \end{pmatrix} \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$a = \text{cspline}(S, \sigma_{esq}) \qquad b = \text{cspline}(S, \sigma_{dir})$$

$$\sigma_{esq}(x) = \text{interp}\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right) \qquad \sigma_{dir}(x) = \text{interp}\left(\frac{b}{g}, S, \frac{\text{reverse}(\sigma_{dir})}{g}, x\right)$$



$c = \frac{L}{2}$ $\qquad$ $d = 0m$

Given

$d = \sigma_{esq}(c)$ $\qquad$ $d = \sigma_{dir}(c)$

$\begin{pmatrix} interseção \\ \sigma_{interseção} \end{pmatrix} = Find(c, d)$ $\qquad$ $interseção = 495.95 \cdot cm$

$\sigma_{interseção} = 12550.78 \cdot \frac{kg}{cm^2}$

$Área_1 = \int_0^{interseção} \sigma_{esq}(x)\, dx$ $\qquad$ $Área_1 = 64657.6 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$

$Área_2 = \int_{interseção}^{L} \sigma_{dir}(x)\, dx$ $\qquad$ $Área_2 = 316172.49 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$

$Área = (Área_1) + (Área_2)$ $\qquad$ $Área = 380830.09 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$

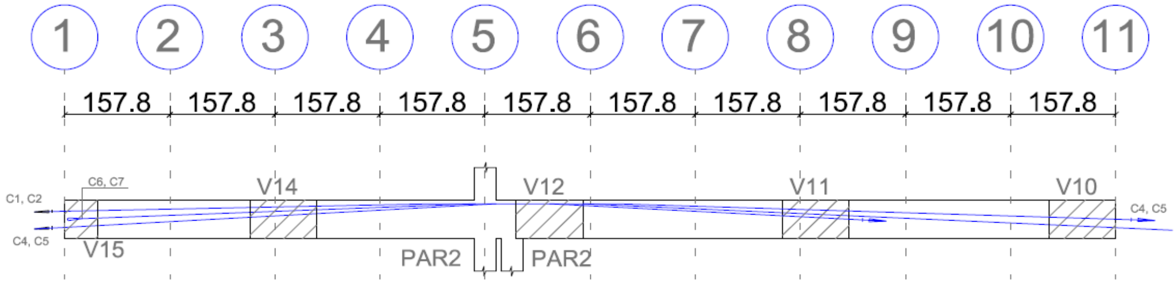
$\sigma_m = \frac{Área}{L}$ $\qquad$ $\sigma_m = 13082.45 \cdot \frac{kg}{cm^2}$

$L_{cabo} = 31.30m$ $\qquad$ $Área_{teórica\_aço} = 143.4 \cdot mm^2$ $\qquad$ $E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$

$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot Área_{teórica\_aço} = 18.8 \cdot t$

$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 210 \cdot mm$

CABOS C4=C5 (6ø15.2mm)



$$\text{Área}_{teórica\_aço} = 143.4\text{mm}^2 \qquad fptk = \frac{265.8\text{kN}}{\text{Área}_{teórica\_aço}} = 1853.56\,\text{MPa} \qquad fpyk = \frac{239.2\text{kN}}{\text{Área}_{teórica\_aço}} = 1668.06\,\text{MPa}$$

$$\sigma_{pi} = \min(0.74 \cdot fptk, 0.82 \cdot fpyk) = 1367.81\,\text{MPa}$$

$$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \qquad \mu = 0.20 \qquad \beta = 0.01\frac{\text{rad}}{\text{m}} \qquad e = 2.72 \qquad L = 15.78\text{m}$$

$$\kappa = \beta \cdot \mu = 0.002 \cdot \frac{\text{rad}}{\text{m}} \qquad n = 11 \qquad i = 1, 2 .. n$$

$$S = 0\text{cm}, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 157.8 \\ 315.6 \\ 473.4 \\ 631.2 \\ 789 \\ 946.8 \\ 1104.6 \\ 1262.4 \\ 1420.2 \\ 1578 \end{pmatrix} \text{cm} \qquad \Delta\alpha_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 3.23 \\ 1.83 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} ° \qquad \Delta\alpha_{planta} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 2.75 \\ 7.46 \\ 3.52 \\ 0 \end{pmatrix} °$$

$$\alpha_i = \left| \begin{array}{l} 0\text{rad} \quad \text{if} \quad i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \sqrt{\left(\Delta\alpha_{elevação_i}\right)^2 + \left(\Delta\alpha_{planta_i}\right)^2} \quad \text{if} \quad i > 1 \\ i \cdot \text{rad} \quad \text{otherwise} \end{array} \right.$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13903.83 \\ 13860.02 \\ 13816.35 \\ 13772.81 \\ 13575.49 \\ 13446.54 \\ 13276.12 \\ 12894.11 \\ 12696.51 \\ 12656.5 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$$\Delta\theta_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1.83 \\ 3.23 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} ° \qquad \Delta\theta_{planta} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 3.52 \\ 7.46 \\ 2.75 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} °$$

$$\theta_i = \begin{cases} 0rad & \text{if } i = 1 \\ \theta_{(i-1)} + \sqrt{\left(\Delta\theta_{elevação_i}\right)^2 + \left(\Delta\theta_{planta_i}\right)^2} & \text{if } i > 1 \\ i \cdot rad & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\sigma_{dir} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \theta + \kappa \cdot S)}$$

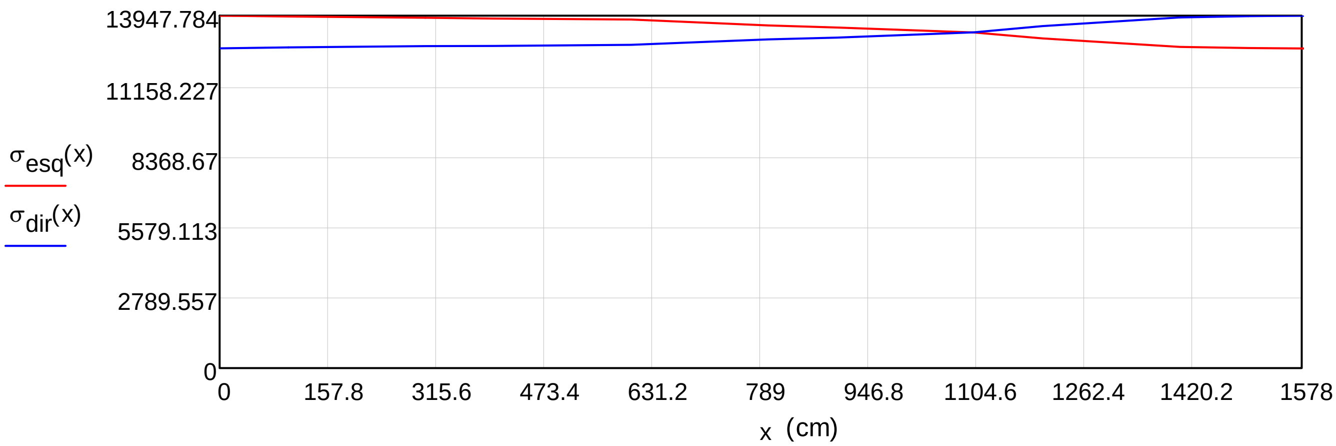
$$\sigma_{dir} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13903.83 \\ 13690.76 \\ 13296.82 \\ 13128.3 \\ 13003.6 \\ 12817.29 \\ 12776.9 \\ 12736.64 \\ 12696.51 \\ 12656.5 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$a = \mathrm{cspline}(S, \sigma_{esq})$

$b = \mathrm{cspline}(S, \sigma_{dir})$

$\sigma_{esq}(x) = \mathrm{interp}\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$

$\sigma_{dir}(x) = \mathrm{interp}\left(\frac{b}{g}, S, \frac{\mathrm{reverse}(\sigma_{dir})}{g}, x\right)$



$c = \frac{L}{2}$

$d = 0m$

Given

$d = \sigma_{esq}(c)$

$d = \sigma_{dir}(c)$

$\begin{pmatrix} \text{interseção} \\ \sigma_{\text{interseção}} \end{pmatrix} = \mathrm{Find}(c, d)$

$\text{interseção} = 1097.91 \cdot cm$

$\sigma_{\text{interseção}} = 13288.69 \cdot \frac{kg}{cm^2}$

$$Área_1 = \int_0^{interseção} \sigma_{esq}(x)\,dx \qquad Área_1 = 150611.82 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$Área_2 = \int_{interseção}^{L} \sigma_{dir}(x)\,dx \qquad Área_2 = 65933.53 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$Área = (Área_1) + (Área_2) \qquad Área = 216545.34 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

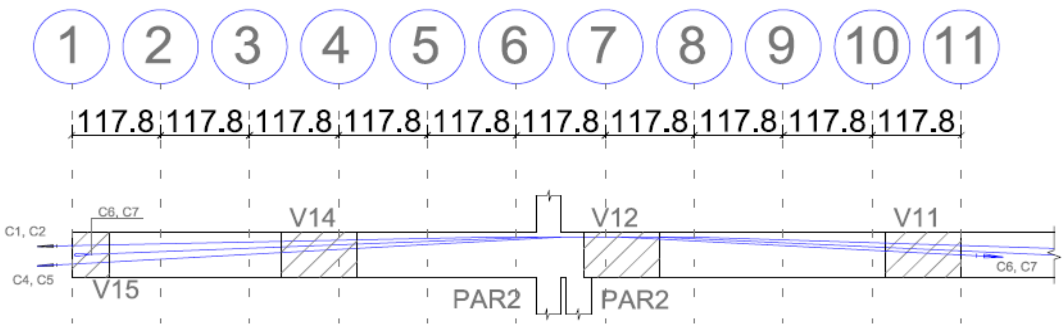
$$\sigma_m = \frac{Área}{L} \qquad \sigma_m = 13722.77 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$$L_{cabo} = 17.40m \qquad Área_{teórica\_aço} = 143.4 \cdot mm^2 \qquad E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$$

$$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot Área_{teórica\_aço} = 19.7 \cdot t$$

$$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 122 \cdot mm$$

CABOS C6=C7 (6ø15.2mm)



$$Área_{teórica\_aço} = 143.4mm^2 \qquad fptk = \frac{265.8kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1853.56\,MPa \qquad fpyk = \frac{239.2kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1668.06\,MPa$$

$$\sigma_{pi} = \min(0.74 \cdot fptk, 0.82 \cdot fpyk) = 1367.81\,MPa$$

$$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78 \cdot \frac{kgf}{cm^2} \qquad \mu = 0.20 \qquad \beta = 0.01 \frac{rad}{m} \qquad e = 2.72 \qquad L = 11.78m$$

$$\kappa = \beta \cdot \mu = 0.002 \cdot \frac{rad}{m} \qquad n = 11 \qquad i = 1, 2 .. n$$

$$S = 0cm, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 117.8 \\ 235.6 \\ 353.4 \\ 471.2 \\ 589 \\ 706.8 \\ 824.6 \\ 942.4 \\ 1060.2 \\ 1178 \end{pmatrix} cm \qquad \Delta\alpha_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 3.05 \\ 2.24 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}° \qquad \Delta\alpha_{planta} = \begin{pmatrix} 0 \\ 5.42 \\ 8.05 \\ 8.05 \\ 2.4 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}°$$

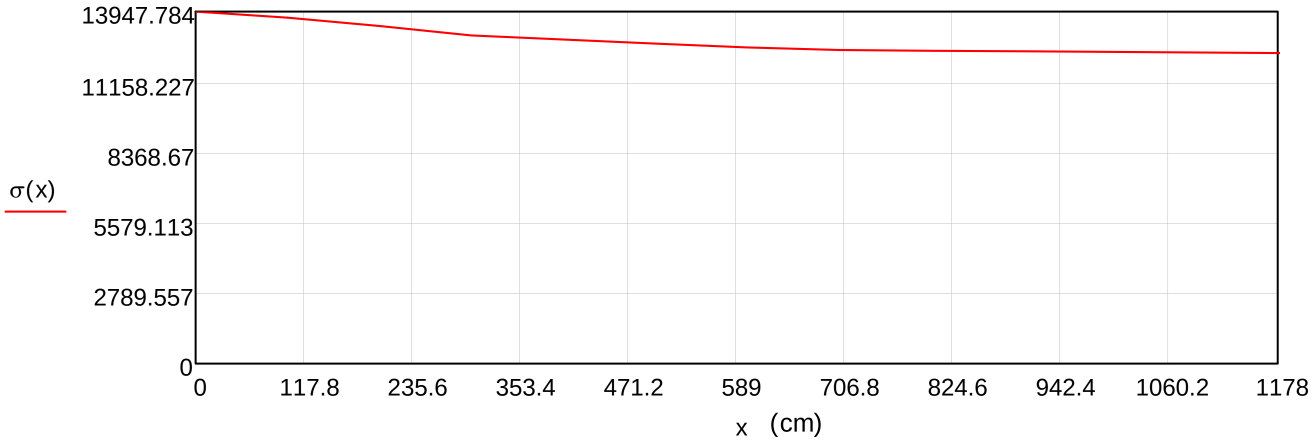
$$\alpha_i = \left| \begin{array}{l} 0rad \quad \text{if} \quad i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \sqrt{\left(\Delta\alpha_{elevação_i}\right)^2 + \left(\Delta\alpha_{planta_i}\right)^2} \quad \text{if} \quad i > 1 \\ i \cdot rad \quad \text{otherwise} \end{array} \right.$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13654.17 \\ 13244.59 \\ 12847.3 \\ 12710.14 \\ 12545.95 \\ 12418.94 \\ 12389.71 \\ 12360.56 \\ 12331.47 \\ 12302.45 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$$a = cspline\left(S, \sigma_{esq}\right)$$

$$\sigma(x) = interp\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$$



$$Área = \int_0^L \sigma(x)\,dx \qquad Área = 150327.22 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

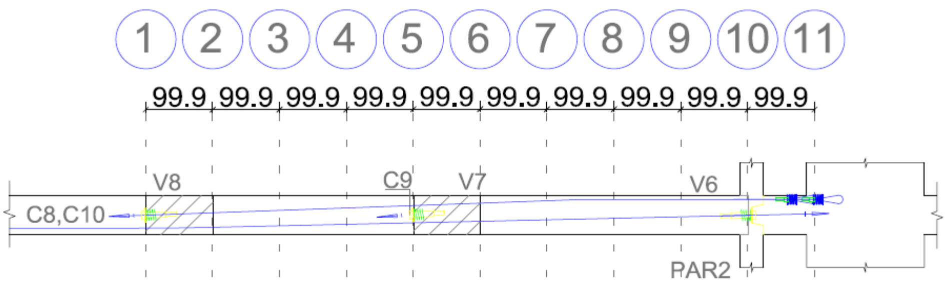
$$\sigma_m = \frac{Área}{L} \qquad \sigma_m = 12761.22 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$$L_{cabo} = 12.35m \qquad Área_{teórica\_aço} = 143.4 \cdot mm^2 \qquad E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$$

$$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot Área_{teórica\_aço} = 18.3 \cdot t$$

$$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 81 \cdot mm$$

CABO C8 (6ø15.2mm)



$$Área_{teórica\_aço} = 143.4mm^2 \qquad fptk = \frac{265.8kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1853.56\,MPa \qquad fpyk = \frac{239.2kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1668.06\,MPa$$

$$\sigma_{pi} = \min(0.74 \cdot fptk, 0.82 \cdot fpyk) = 1367.81\,MPa$$

$$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78 \cdot \frac{kgf}{cm^2} \qquad \mu = 0.20 \qquad \beta = 0.01 \frac{rad}{m} \qquad e = 2.72 \qquad L = 9.99m$$

$$\kappa = \beta \cdot \mu = 0.002 \cdot \frac{rad}{m} \qquad n = 11 \qquad i = 1, 2 .. n$$

$$S = 0cm, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 99.9 \\ 199.8 \\ 299.7 \\ 399.6 \\ 499.5 \\ 599.4 \\ 699.3 \\ 799.2 \\ 899.1 \\ 999 \end{pmatrix} cm \qquad \Delta\alpha_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 2.11 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} ° \qquad \Delta\alpha_{planta} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1.29 \\ 7.11 \\ 6.6 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} °$$

$$\alpha_i = \left| \begin{array}{ll} 0rad & \text{if } i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \sqrt{\left(\Delta\alpha_{elevação_i}\right)^2 + \left(\Delta\alpha_{planta_i}\right)^2} & \text{if } i > 1 \\ i \cdot rad & \text{otherwise} \end{array} \right.$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13919.94 \\ 13829.74 \\ 13463.81 \\ 13130.91 \\ 13104.7 \\ 13078.54 \\ 12956.65 \\ 12930.79 \\ 12904.98 \\ 12879.22 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$$\Delta\theta_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 2.11 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} {}^\circ \qquad \Delta\theta_{planta} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 6.6 \\ 7.11 \\ 1.29 \\ 0 \end{pmatrix} {}^\circ$$

$n = 11$

$$\theta_i = \begin{vmatrix} 0\text{rad} \quad \text{if} \quad i = 1 \\ \theta_{(i-1)} + \sqrt{\left(\Delta\theta_{elevação_i}\right)^2 + \left(\Delta\theta_{planta_i}\right)^2} \quad \text{if} \quad i > 1 \\ i \cdot \text{rad} \quad \text{otherwise} \end{vmatrix}$$

$$\sigma_{dir} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \theta + \kappa \cdot S)}$$

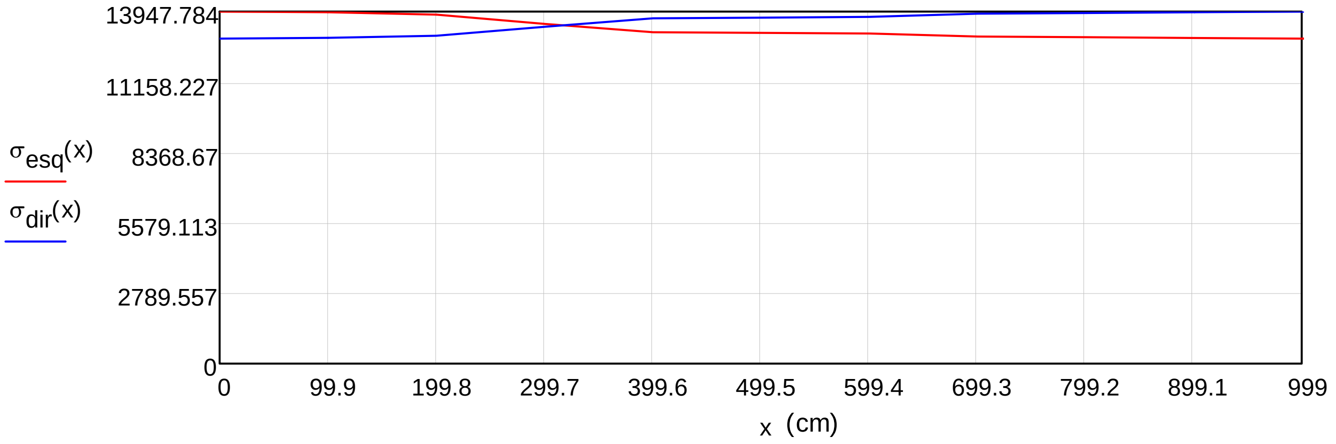
$$\sigma_{dir} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13919.94 \\ 13892.16 \\ 13864.43 \\ 13735.22 \\ 13707.8 \\ 13680.44 \\ 13342.19 \\ 12989.15 \\ 12904.98 \\ 12879.22 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$a = \text{cspline}\left(S, \sigma_{esq}\right)$

$b = \text{cspline}\left(S, \sigma_{dir}\right)$

$$\sigma_{esq}(x) = \text{interp}\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$$

$$\sigma_{dir}(x) = \text{interp}\left(\frac{b}{g}, S, \frac{\text{reverse}\left(\sigma_{dir}\right)}{g}, x\right)$$



$c = \frac{L}{2}$ $d = 0m$

Given

$d = \sigma_{esq}(c)$ $d = \sigma_{dir}(c)$

$\begin{pmatrix} interseção \\ \sigma_{interseção} \end{pmatrix} = Find(c, d)$ $interseção = 315.26 \cdot cm$

$\sigma_{interseção} = 13398.7 \cdot \frac{kg}{cm^2}$

$Área_1 = \int_0^{interseção} \sigma_{esq}(x)\,dx$ $Área_1 = 43529.38 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$

$Área_2 = \int_{interseção}^{L} \sigma_{dir}(x)\,dx$ $Área_2 = 94269.95 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$

$Área = (Área_1) + (Área_2)$ $Área = 137799.33 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$

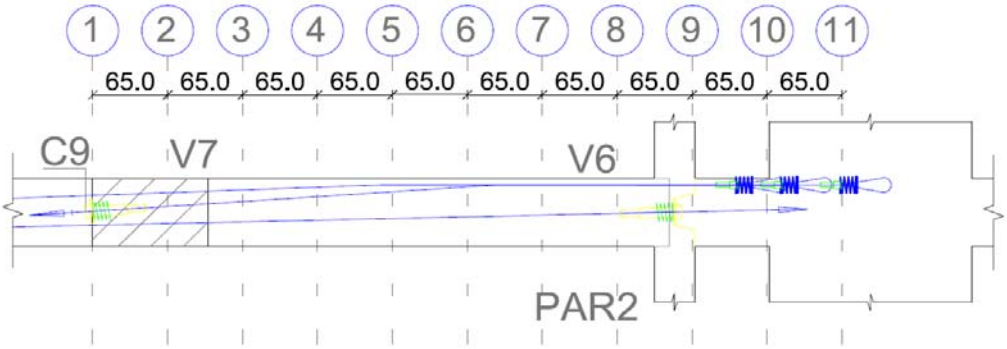
$\sigma_m = \frac{Área}{L}$ $\sigma_m = 13793.73 \cdot \frac{kg}{cm^2}$

$L_{cabo} = 10.80m$ $Área_{teórica\_aço} = 143.4 \cdot mm^2$ $E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$

$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot Área_{teórica\_aço} = 19.8 \cdot t$

$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 76 \cdot mm$

CABO C9 (6ø15.2mm)



$$\text{Área}_{\text{teórica\_aço}} = 143.4\text{mm}^2 \qquad fptk = \frac{265.8\text{kN}}{\text{Área}_{\text{teórica\_aço}}} = 1853.56\,\text{MPa} \qquad fpyk = \frac{239.2\text{kN}}{\text{Área}_{\text{teórica\_aço}}} = 1668.06\,\text{MPa}$$

$$\sigma_{pi} = \min(0.74 \cdot fptk, 0.82 \cdot fpyk) = 1367.81\,\text{MPa}$$

$$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \qquad \mu = 0.20 \qquad \beta = 0.01\frac{\text{rad}}{\text{m}} \qquad e = 2.72 \qquad L = 6.50\text{m}$$

$$\kappa = \beta \cdot \mu = 0.002 \cdot \frac{\text{rad}}{\text{m}} \qquad n = 11 \qquad i = 1, 2 .. n$$

$$S = 0\text{cm}, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 65 \\ 130 \\ 195 \\ 260 \\ 325 \\ 390 \\ 455 \\ 520 \\ 585 \\ 650 \end{pmatrix} \text{cm} \qquad \Delta\alpha_{\text{elevação}} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 3.82 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} ^\circ \qquad \Delta\alpha_{\text{planta}} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0.67 \\ 5.11 \\ 5.11 \\ 5.11 \\ 3.07 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} ^\circ$$

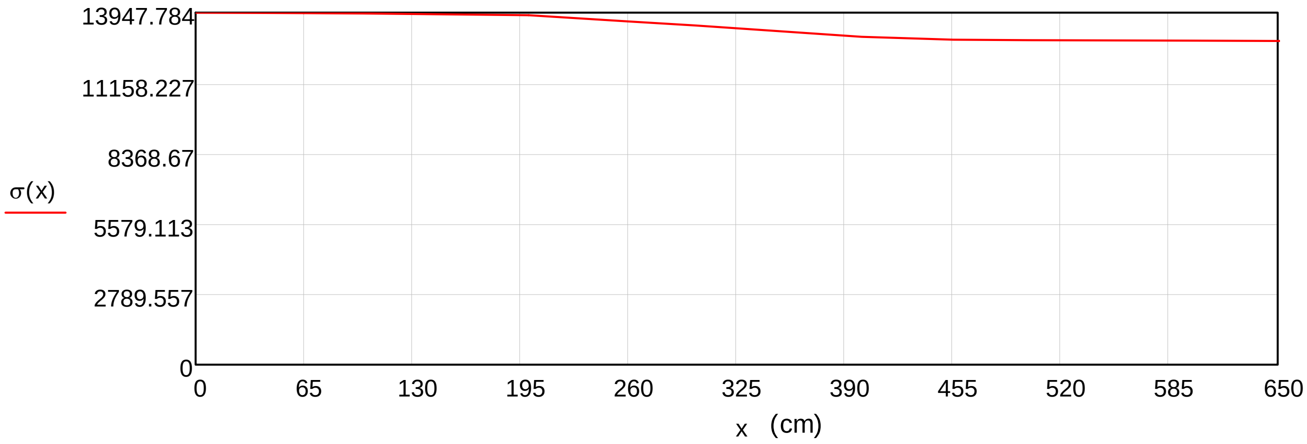
$$\alpha_i = \left| \begin{array}{l} 0\text{rad} \quad \text{if} \quad i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \sqrt{\left(\Delta\alpha_{\text{elevação}_i}\right)^2 + \left(\Delta\alpha_{\text{planta}_i}\right)^2} \quad \text{if} \quad i > 1 \\ i \cdot \text{rad} \quad \text{otherwise} \end{array} \right.$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13929.66 \\ 13911.57 \\ 13861.04 \\ 13598.3 \\ 13340.54 \\ 13029.77 \\ 12874.14 \\ 12857.41 \\ 12840.71 \\ 12824.03 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$$a = cspline\left(S, \sigma_{esq}\right)$$

$$\sigma(x) = interp\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$$



$$Área = \int_0^L \sigma(x)\, dx \qquad Área = 86858.84 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

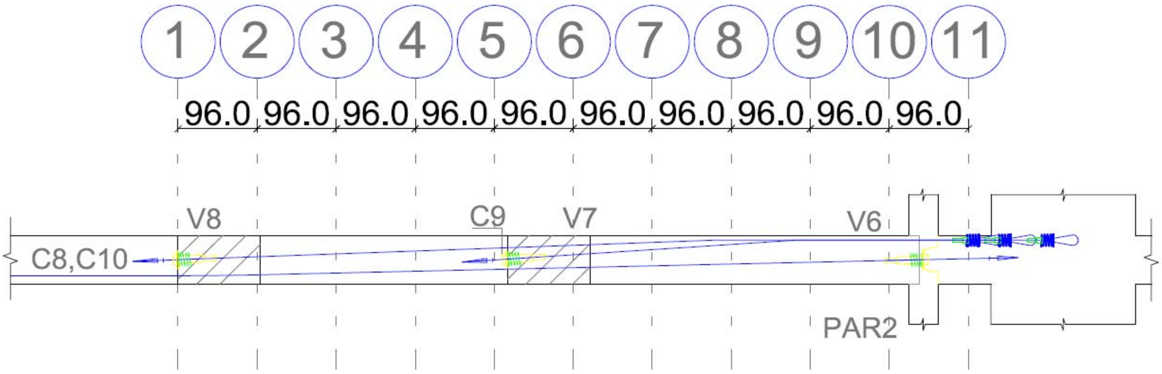
$$\sigma_m = \frac{Área}{L} \qquad \sigma_m = 13362.9 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$$L_{cabo} = 7.40m \qquad Área_{teórica\_aço} = 143.4 \cdot mm^2 \qquad E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$$

$$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot Área_{teórica\_aço} = 19.2 \cdot t$$

$$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 51 \cdot mm$$

CABO C10 (6ø15.2mm)



$$\text{Área}_{teórica\_aço} = 143.4mm^2 \qquad fptk = \frac{265.8kN}{\text{Área}_{teórica\_aço}} = 1853.56\,MPa \qquad fpyk = \frac{239.2kN}{\text{Área}_{teórica\_aço}} = 1668.06\,MPa$$

$$\sigma_{pi} = \min(0.74 \cdot fptk, 0.82 \cdot fpyk) = 1367.81\,MPa$$

$$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78 \cdot \frac{kgf}{cm^2} \qquad \mu = 0.20 \qquad \beta = 0.01 \frac{rad}{m} \qquad e = 2.72 \qquad L = 9.60m$$

$$\kappa = \beta \cdot \mu = 0.002 \cdot \frac{rad}{m} \qquad n = 11 \qquad i = 1, 2 .. n$$

$$S = 0cm, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 96 \\ 192 \\ 288 \\ 384 \\ 480 \\ 576 \\ 672 \\ 768 \\ 864 \\ 960 \end{pmatrix} cm \qquad \Delta\alpha_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 2.11 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}° \qquad \Delta\alpha_{planta} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0.57 \\ 7 \\ 6.7 \\ 0.75 \\ 0.01 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}°$$

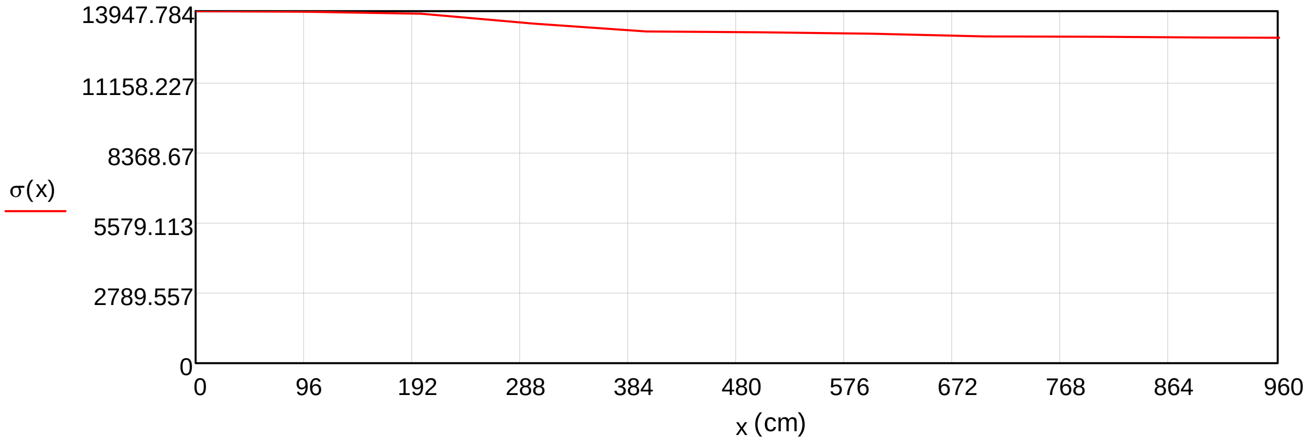
$$\alpha_i = \begin{cases} 0rad & \text{if } i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \sqrt{\left(\Delta\alpha_{elevação_i}\right)^2 + \left(\Delta\alpha_{planta_i}\right)^2} & \text{if } i > 1 \\ i \cdot rad & \text{otherwise} \end{cases}$$

$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + \kappa \cdot S)}$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13921.03 \\ 13866.71 \\ 13506.03 \\ 13168.52 \\ 13108.89 \\ 13083.29 \\ 12962.37 \\ 12937.51 \\ 12912.69 \\ 12887.92 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$a = \text{cspline}(S, \sigma_{esq})$

$\sigma(x) = \text{interp}\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$



$\text{Área} = \int_0^L \sigma(x)\, dx$ $\quad$ $\text{Área} = 127557.4 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$

$\sigma_m = \frac{\text{Área}}{L}$ $\quad$ $\sigma_m = 13287.23 \cdot \frac{kg}{cm^2}$

$L_{cabo} = 10.40m$ $\quad$ $\text{Área}_{teórica\_aço} = 143.4 \cdot mm^2$ $\quad$ $E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$

$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot \text{Área}_{teórica\_aço} = 19.1 \cdot t$

$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 71 \cdot mm$

V22 - CÁLCULO DAS ARMADURAS DE FRETAGEM

a_0 = Área da placa de distribuição

b = Distância entre eixos das ancoragens

c = Distância entre as ancoragens

d = Distância entre a face do concreto ao eixo da ancoragem

n = Quantidade de ancoragens em elevação

q = Quantidade de cabos alinhados em cada grupo (seção transversal)

EXTREMIDADE ATIVA (Esquerda)

$b = 25\text{cm}$ $\quad n = 2$ $\quad q = 3$ $\quad F_{inicial} = 6 \cdot \sigma_1 \cdot \text{Área}_{teórica\_aço} = 1176.86\,\text{kN}$

$a_0 = 22\text{cm}$ $\quad c = 3\text{cm}$

$d = 17.5\text{cm}$ $\quad a_1 = a_0 + c = 25\,\text{cm}$

$F_1 = F_{inicial} \cdot \cos(1°) = 1176.68\,\text{kN}$ $\quad F_2 = F_{inicial} \cdot \cos(3°) = 1175.25\,\text{kN}$

$T_1 = 0.25 \cdot F_1 \cdot \left(1 - \dfrac{a_0}{a_1}\right) = 35.3\,\text{kN}$ $\quad T_2 = 0.25 \cdot F_2 \cdot \left(1 - \dfrac{a_0}{a_1}\right) = 35.26\,\text{kN}$

$a_2 = 2 \cdot d + (n - 1) \cdot b = 60\,\text{cm}$

$F = \begin{pmatrix} 1176.68 \\ 1175.25 \end{pmatrix} \text{kN}$ $\quad T = \begin{pmatrix} 35.3 \\ 35.26 \end{pmatrix} \text{kN}$ $\quad \sum F = 2351.94\,\text{kN}$

$T_n = \dfrac{2}{3} \cdot \left(1 - \dfrac{n \cdot a_1}{a_2}\right) \cdot \sum F = 261.33\,\text{kN}$ $\quad fyd = 43.48\,\dfrac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$

$As_1 = \dfrac{\max(T)}{fyd} = 0.81\,\text{cm}^2$ $\quad As_2 = q \cdot \left(\dfrac{T_n}{fyd}\right) = 18.03\,\text{cm}^2$

EXTREMIDADE ATIVA (Direita)

$b = 25cm$ $n = 2$ $q = 3$ $F_{inicial} = 6 \cdot \sigma_1 \cdot Área_{teórica\_aço} = 1176.86\,kN$

$a_0 = 22cm$ $c = 3cm$

$d = 17.5cm$ $a_1 = a_0 + c = 25\,cm$

$F_1 = F_{inicial} \cdot \cos(1°) = 1176.68\,kN$ $F_2 = F_{inicial} \cdot \cos(3°) = 1175.25\,kN$

$T_1 = 0.25 \cdot F_1 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 35.3\,kN$ $T_2 = 0.25 \cdot F_2 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 35.26\,kN$

$a_2 = 2 \cdot d + (n - 1) \cdot b = 60\,cm$

$F = \begin{pmatrix} 1176.68 \\ 1175.25 \end{pmatrix} kN$ $T = \begin{pmatrix} 35.3 \\ 35.26 \end{pmatrix} kN$ $\sum F = 2351.94\,kN$

$T_n = \frac{2}{3} \cdot \left(1 - \frac{n \cdot a_1}{a_2}\right) \cdot \sum F = 261.33\,kN$ $fyd = 43.48\,\frac{kN}{cm^2}$

$As_3 = \frac{\max(T)}{fyd} = 0.81\,cm^2$ $As_4 = q \cdot \left(\frac{T_n}{fyd}\right) = 18.03\,cm^2$

$As_{fretagem} = \max(As_1, As_3) = 0.81\,cm^2$

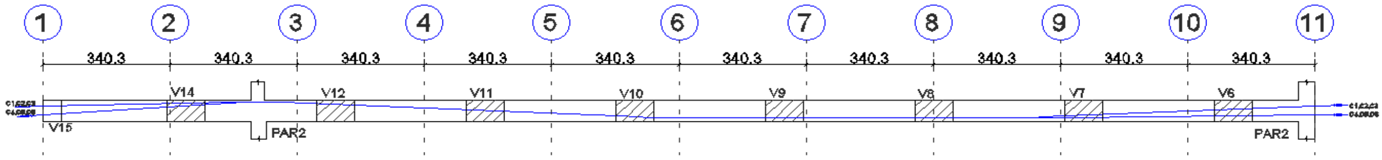
Adotado espiral ø10mm - 5 passos por cabo em cada trecho de ancoragem ativa e passiva.

$As_{estribos} = \frac{\max(As_2, As_4)}{4} = 4.51\,cm^2$

$L = \max(a_1, a_2) = 60\,cm$ $bitola_{estribo} = 8mm$ $adotados = ceil\left[\frac{As_{estribos}}{\left(\frac{\pi \cdot bitola_{estribo}^2}{4}\right)}\right] = 9$

Estribos duplos $adotados = 9$ ø8.0mm em cada trecho de ancoragem ativa e passiva distribuídos em $L = 60\,cm$

V23 (1° PAVIMENTO) - CABOS C1 a C6



CABO C1 (6ø15.2mm)

$$\text{Área}_{\text{teórica\_aço}} = 143.4\text{mm}^2 \qquad \text{fptk} = \frac{265.8\text{kN}}{\text{Área}_{\text{teórica\_aço}}} = 1853.56\,\text{MPa} \qquad \text{fpyk} = \frac{239.2\text{kN}}{\text{Área}_{\text{teórica\_aço}}} = 1668.06\,\text{MPa}$$

$$\sigma_{pi} = \min(0.74\cdot\text{fptk}, 0.82\cdot\text{fpyk}) = 1367.81\,\text{MPa}$$

$$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78\cdot\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \qquad \mu = 0.20 \qquad \beta = 0.01\frac{\text{rad}}{\text{m}} \qquad e = 2.72 \qquad L = 34.03\text{m}$$

$$\kappa = \beta\cdot\mu = 0.002\cdot\frac{\text{rad}}{\text{m}} \qquad n = 11 \qquad i = 1, 2 .. n$$

$$S = 0\text{cm}, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 340.3 \\ 680.6 \\ 1020.9 \\ 1361.2 \\ 1701.5 \\ 2041.8 \\ 2382.1 \\ 2722.4 \\ 3062.7 \\ 3403 \end{pmatrix}\text{cm} \qquad \Delta\alpha_{\text{elevação}} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 3.85 \\ 0 \\ 0 \\ 2.55 \\ 0 \\ 0 \\ 2.42 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}° \qquad \Delta\alpha_{\text{planta}} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1.53 \\ 1.53 \end{pmatrix}°$$

$$\alpha_i = \left| \begin{array}{l} 0\text{rad} \quad \text{if} \quad i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \sqrt{\left(\Delta\alpha_{\text{elevação}_i}\right)^2 + \left(\Delta\alpha_{\text{planta}_i}\right)^2} \quad \text{if} \quad i > 1 \\ i\cdot\text{rad} \quad \text{otherwise} \end{array} \right.$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu\cdot\alpha+\kappa\cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13853.18 \\ 13575.54 \\ 13483.46 \\ 13392 \\ 13183.29 \\ 13093.87 \\ 13005.06 \\ 12808.19 \\ 12653.56 \\ 12500.79 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$$\Delta\theta_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 2.42 \\ 0 \\ 0 \\ 2.55 \\ 0 \\ 0 \\ 3.85 \\ 0 \end{pmatrix} ° \qquad \Delta\theta_{planta} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1.53 \\ 1.53 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} °$$

$$n = 11$$

$$\theta_i = \left| \begin{array}{ll} 0rad & \text{if } i = 1 \\ \theta_{(i-1)} + \sqrt{\left(\Delta\theta_{elevação_i}\right)^2 + \left(\Delta\theta_{planta_i}\right)^2} & \text{if } i > 1 \\ i \cdot rad & \text{otherwise} \end{array} \right.$$

$$\sigma_{dir} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu\cdot\theta+\kappa\cdot S)}$$

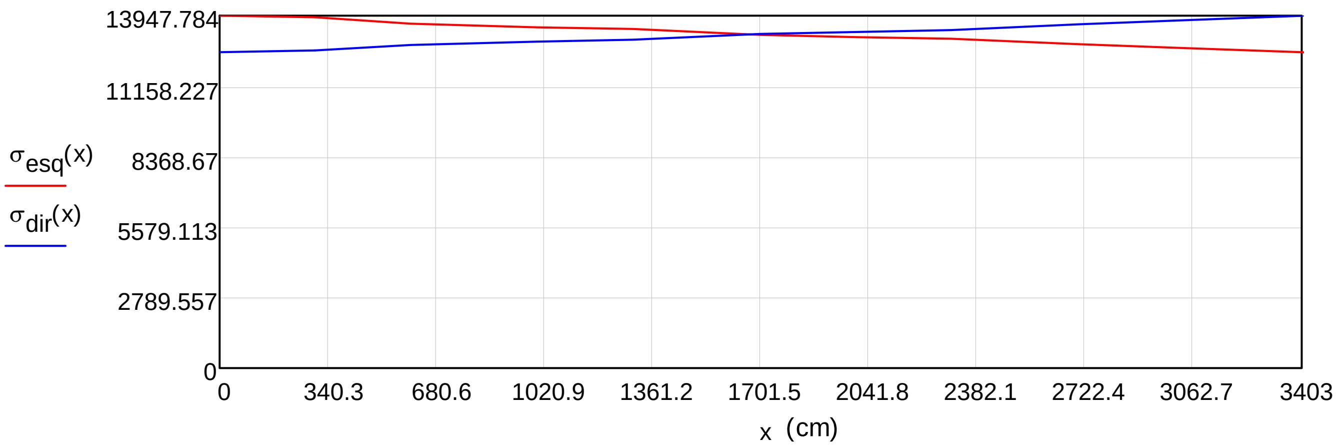
$$\sigma_{dir} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13779.39 \\ 13613.03 \\ 13406.96 \\ 13316.02 \\ 13225.7 \\ 13019.58 \\ 12931.27 \\ 12843.56 \\ 12586.16 \\ 12500.79 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$a = cspline\left(S, \sigma_{esq}\right)$

$b = cspline\left(S, \sigma_{dir}\right)$

$\sigma_{esq}(x) = interp\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$

$\sigma_{dir}(x) = interp\left(\frac{b}{g}, S, \frac{reverse\left(\sigma_{dir}\right)}{g}, x\right)$



$c = \frac{L}{2}$

$d = 0m$

Given

$d = \sigma_{esq}(c)$

$d = \sigma_{dir}(c)$

$\begin{pmatrix} interseção \\ \sigma_{interseção} \end{pmatrix} = Find(c, d)$

$interseção = 1657.21 \cdot cm$

$\sigma_{interseção} = 13206.907905 \cdot \frac{kg}{cm^2}$

$$Área_1 = \int_0^{interseção} \sigma_{esq}(x)\,dx \qquad Área_1 = 225211.47 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$Área_2 = \int_{interseção}^{L} \sigma_{dir}(x)\,dx \qquad Área_2 = 236151.87 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$Área = (Área_1) + (Área_2) \qquad Área = 461363.34 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$\sigma_m = \frac{Área}{L} \qquad \sigma_m = 13557.55 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$$L_{cabo} = 35.85m \qquad Área_{teórica\_aço} = 143.4 \cdot mm^2 \qquad E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$$

$$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot Área_{teórica\_aço} = 19.4 \cdot t$$

$$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 249 \cdot mm$$

CABO C2 (6ø15.2mm)

$$Área_{teórica\_aço} = 143.4mm^2 \qquad fptk = \frac{265.8kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1853.56\,MPa \qquad fpyk = \frac{239.2kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1668.06\,MPa$$

$$\sigma_{pi} = \min(0.74 \cdot fptk, 0.82 \cdot fpyk) = 1367.81\,MPa$$

$$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78 \cdot \frac{kgf}{cm^2} \qquad \mu = 0.20 \qquad \beta = 0.01 \frac{rad}{m} \qquad e = 2.72 \qquad L = 34.03m$$

$$\kappa = \beta \cdot \mu = 0.002 \cdot \frac{rad}{m} \qquad n = 11 \qquad i = 1, 2 .. n$$

$$S = 0cm, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 340.3 \\ 680.6 \\ 1020.9 \\ 1361.2 \\ 1701.5 \\ 2041.8 \\ 2382.1 \\ 2722.4 \\ 3062.7 \\ 3403 \end{pmatrix} cm \qquad \Delta\alpha_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 3.85 \\ 0 \\ 0 \\ 2.55 \\ 0 \\ 0 \\ 2.42 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}° \qquad \Delta\alpha_{planta} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1.03 \\ 1.03 \end{pmatrix}°$$

$$\alpha_i = \begin{cases} 0\mathrm{rad} & \text{if } i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \sqrt{\left(\Delta\alpha_{elevação_i}\right)^2 + \left(\Delta\alpha_{planta_i}\right)^2} & \text{if } i > 1 \\ i \cdot \mathrm{rad} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13853.18 \\ 13575.54 \\ 13483.46 \\ 13392 \\ 13183.29 \\ 13093.87 \\ 13005.06 \\ 12808.19 \\ 12675.66 \\ 12544.5 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$$\Delta\theta_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 2.42 \\ 0 \\ 0 \\ 2.55 \\ 0 \\ 0 \\ 3.85 \\ 0 \end{pmatrix} ° \qquad \Delta\theta_{planta} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1.03 \\ 1.03 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} °$$

$n = 11$

$$\theta_i = \begin{cases} 0\mathrm{rad} & \text{if } i = 1 \\ \theta_{(i-1)} + \sqrt{\left(\Delta\theta_{elevação_i}\right)^2 + \left(\Delta\theta_{planta_i}\right)^2} & \text{if } i > 1 \\ i \cdot \mathrm{rad} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\sigma_{dir} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu\cdot\theta+\kappa\cdot S)}$$

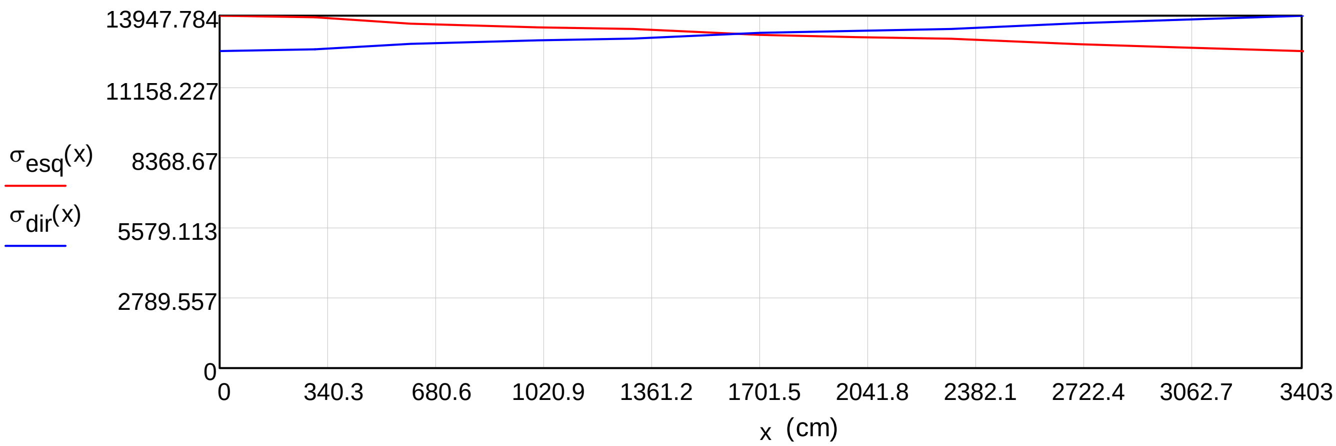
$$\sigma_{dir} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13803.46 \\ 13660.63 \\ 13453.84 \\ 13362.58 \\ 13271.95 \\ 13065.11 \\ 12976.49 \\ 12888.47 \\ 12630.17 \\ 12544.5 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$a = \text{cspline}(S, \sigma_{esq})$

$b = \text{cspline}(S, \sigma_{dir})$

$\sigma_{esq}(x) = \text{interp}\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$

$\sigma_{dir}(x) = \text{interp}\left(\frac{b}{g}, S, \frac{\text{reverse}(\sigma_{dir})}{g}, x\right)$



$c = \frac{L}{2}$

$d = 0m$

Given

$d = \sigma_{esq}(c)$

$d = \sigma_{dir}(c)$

$\begin{pmatrix} \text{interseção} \\ \sigma_{\text{interseção}} \end{pmatrix} = \text{Find}(c, d)$

$\text{interseção} = 1615.25 \cdot cm$

$\sigma_{\text{interseção}} = 13232.115381 \cdot \frac{kg}{cm^2}$

$$Área_1 = \int_0^{interseção} \sigma_{esq}(x)\,dx \qquad Área_1 = 219664.34 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$Área_2 = \int_{interseção}^{L} \sigma_{dir}(x)\,dx \qquad Área_2 = 242368.9 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$Área = (Área_1) + (Área_2) \qquad Área = 462033.24 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$\sigma_m = \frac{Área}{L} \qquad \sigma_m = 13577.23 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$$L_{cabo} = 35.85m \qquad Área_{teórica\_aço} = 143.4 \cdot mm^2 \qquad E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$$

$$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot Área_{teórica\_aço} = 19.5 \cdot t$$

$$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 250 \cdot mm$$

CABO C3 (6ø15.2mm)

$$Área_{teórica\_aço} = 143.4mm^2 \qquad fptk = \frac{265.8kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1853.56\,MPa \qquad fpyk = \frac{239.2kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1668.06\,MPa$$

$$\sigma_{pi} = \min(0.74 \cdot fptk, 0.82 \cdot fpyk) = 1367.81\,MPa$$

$$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78 \cdot \frac{kgf}{cm^2} \qquad \mu = 0.20 \qquad \beta = 0.01 \frac{rad}{m} \qquad e = 2.72 \qquad L = 34.03m$$

$$\kappa = \beta \cdot \mu = 0.002 \cdot \frac{rad}{m} \qquad n = 11 \qquad i = 1, 2 .. n$$

$$S = 0cm, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 340.3 \\ 680.6 \\ 1020.9 \\ 1361.2 \\ 1701.5 \\ 2041.8 \\ 2382.1 \\ 2722.4 \\ 3062.7 \\ 3403 \end{pmatrix} cm \qquad \Delta\alpha_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 3.85 \\ 0 \\ 0 \\ 2.55 \\ 0 \\ 0 \\ 2.42 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} ° \qquad \Delta\alpha_{planta} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0.92 \\ 0.92 \end{pmatrix} °$$

$$\alpha_i = \left| \begin{array}{l} 0rad \quad \text{if} \quad i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \sqrt{\left(\Delta\alpha_{elevação_i}\right)^2 + \left(\Delta\alpha_{planta_i}\right)^2} \quad \text{if} \quad i > 1 \\ i \cdot rad \quad \text{otherwise} \end{array} \right.$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu\cdot\alpha + \kappa\cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13853.18 \\ 13575.54 \\ 13483.46 \\ 13392 \\ 13183.29 \\ 13093.87 \\ 13005.06 \\ 12808.19 \\ 12680.53 \\ 12554.14 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$$\Delta\theta_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 2.42 \\ 0 \\ 0 \\ 2.55 \\ 0 \\ 0 \\ 3.85 \\ 0 \end{pmatrix} ° \qquad \Delta\theta_{planta} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0.92 \\ 0.92 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} °$$

$n = 11$

$$\theta_i = \begin{cases} 0\text{rad} & \text{if } i = 1 \\ \theta_{(i-1)} + \sqrt{\left(\Delta\theta_{\text{elevação}_i}\right)^2 + \left(\Delta\theta_{\text{planta}_i}\right)^2} & \text{if } i > 1 \\ i \cdot \text{rad} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\sigma_{dir} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \theta + \kappa \cdot S)}$$

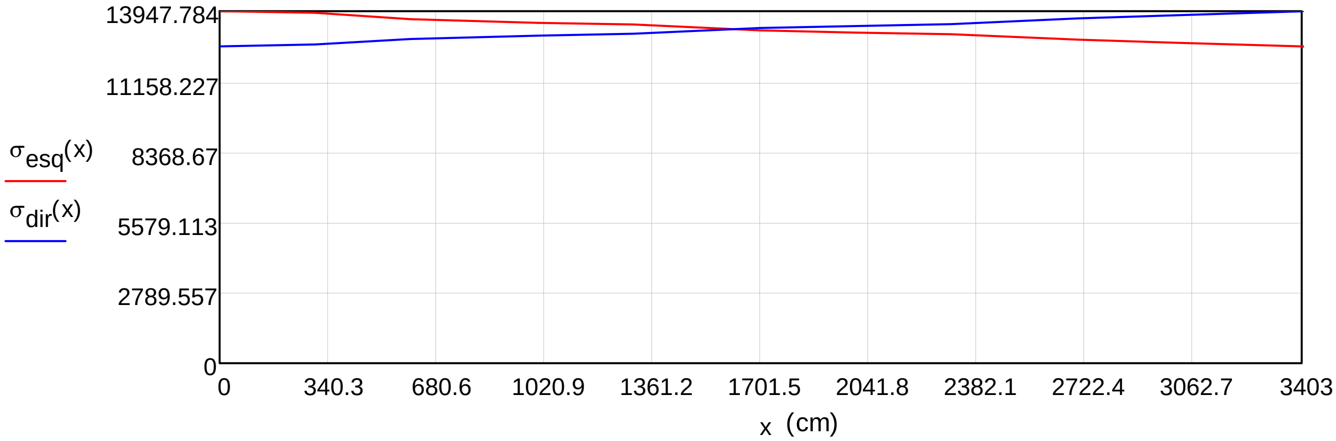
$$\sigma_{dir} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13808.76 \\ 13671.12 \\ 13464.17 \\ 13372.85 \\ 13282.14 \\ 13075.15 \\ 12986.46 \\ 12898.37 \\ 12639.87 \\ 12554.14 \end{pmatrix} \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$a = \text{cspline}\left(S, \sigma_{esq}\right)$

$b = \text{cspline}\left(S, \sigma_{dir}\right)$

$$\sigma_{esq}(x) = \text{interp}\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$$

$$\sigma_{dir}(x) = \text{interp}\left(\frac{b}{g}, S, \frac{\text{reverse}\left(\sigma_{dir}\right)}{g}, x\right)$$



$c = \frac{L}{2}$ $\qquad$ $d = 0m$

Given

$d = \sigma_{esq}(c)$ $\qquad$ $d = \sigma_{dir}(c)$

$$\begin{pmatrix} interseção \\ \sigma_{interseção} \end{pmatrix} = Find(c, d)$$ $\qquad$ $interseção = 1606.55 \cdot cm$

$$\sigma_{interseção} = 13237.598154 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$$Área_1 = \int_0^{interseção} \sigma_{esq}(x)\, dx \qquad Área_1 = 218513.7 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$Área_2 = \int_{interseção}^{L} \sigma_{dir}(x)\, dx \qquad Área_2 = 243670.25 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$Área = (Área_1) + (Área_2) \qquad Área = 462183.94 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$\sigma_m = \frac{Área}{L} \qquad \sigma_m = 13581.66 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$L_{cabo} = 35.85m$ $\qquad$ $Área_{teórica\_aço} = 143.4 \cdot mm^2$ $\qquad$ $E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$

$$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot Área_{teórica\_aço} = 19.5 \cdot t$$

$$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 250 \cdot mm$$

CABO C4 (6ø15.2mm)

$Área_{teórica\_aço} = 143.4mm^2$ $\quad fptk = \dfrac{265.8kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1853.56\,MPa$ $\quad fpyk = \dfrac{239.2kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1668.06\,MPa$

$\sigma_{pi} = \min(0.74 \cdot fptk, 0.82 \cdot fpyk) = 1367.81\,MPa$

$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78 \cdot \dfrac{kgf}{cm^2}$ $\quad \mu = 0.20$ $\quad \beta = 0.01 \dfrac{rad}{m}$ $\quad e = 2.72$ $\quad L = 34.03m$

$\kappa = \beta \cdot \mu = 0.002 \cdot \dfrac{rad}{m}$ $\quad n = 11$ $\quad i = 1, 2 .. n$

$$S = 0cm, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 340.3 \\ 680.6 \\ 1020.9 \\ 1361.2 \\ 1701.5 \\ 2041.8 \\ 2382.1 \\ 2722.4 \\ 3062.7 \\ 3403 \end{pmatrix} cm \qquad \Delta\alpha_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 6.44 \\ 0 \\ 0 \\ 2.55 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0.65 \\ 0 \end{pmatrix} ° \qquad \Delta\alpha_{planta} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0.93 \\ 0.93 \end{pmatrix} °$$

$$\alpha_i = \begin{cases} 0rad & \text{if } i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \sqrt{\left(\Delta\alpha_{elevação_i}\right)^2 + \left(\Delta\alpha_{planta_i}\right)^2} & \text{if } i > 1 \\ i \cdot rad & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13853.18 \\ 13453.36 \\ 13362.11 \\ 13271.47 \\ 13064.64 \\ 12976.03 \\ 12888.01 \\ 12800.59 \\ 12663.51 \\ 12536.85 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$$\Delta\theta_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0.65 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 2.55 \\ 0 \\ 0 \\ 6.44 \\ 0 \end{pmatrix} °
\qquad
\Delta\theta_{planta} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0.93 \\ 0.93 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} °$$

$n = 11$

$$\theta_i = \begin{array}{|l} 0rad \quad \text{if} \quad i = 1 \\ \theta_{(i-1)} + \sqrt{\left(\Delta\theta_{elevação_i}\right)^2 + \left(\Delta\theta_{planta_i}\right)^2} \quad \text{if} \quad i > 1 \\ i \cdot rad \quad \text{otherwise} \end{array}$$

$$\sigma_{dir} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \theta + \kappa \cdot S)}$$

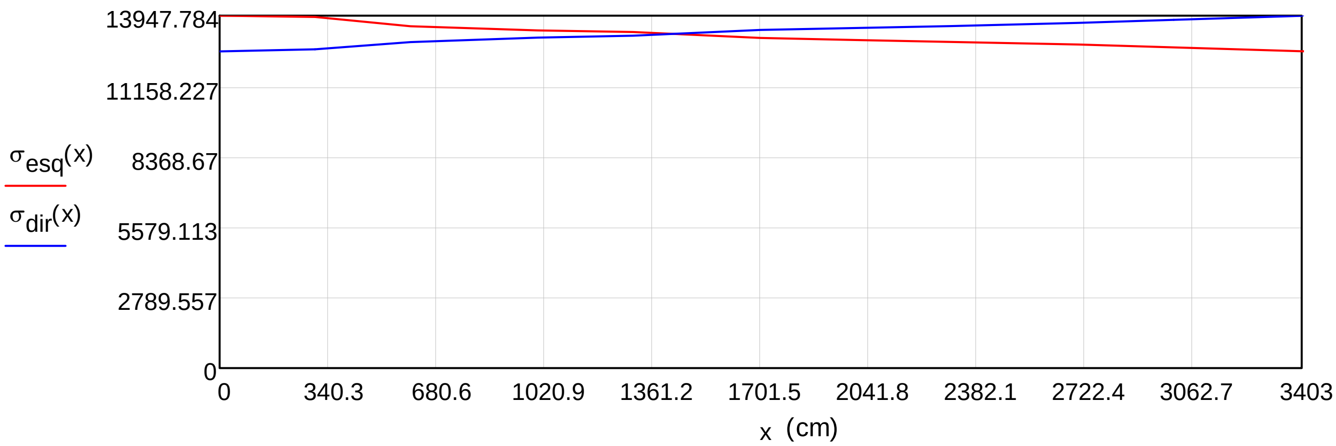
$$\sigma_{dir} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13808.28 \\ 13660.41 \\ 13567.75 \\ 13475.72 \\ 13384.32 \\ 13175.73 \\ 13086.36 \\ 12997.6 \\ 12622.47 \\ 12536.85 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$a = cspline(S, \sigma_{esq})$

$b = cspline(S, \sigma_{dir})$

$\sigma_{esq}(x) = interp\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$

$\sigma_{dir}(x) = interp\left(\frac{b}{g}, S, \frac{reverse(\sigma_{dir})}{g}, x\right)$



$c = \frac{L}{2}$

$d = 0m$

Given

$d = \sigma_{esq}(c)$

$d = \sigma_{dir}(c)$

$\begin{pmatrix} interseção \\ \sigma_{interseção} \end{pmatrix} = Find(c, d)$

$interseção = 1437.33 \cdot cm$

$\sigma_{interseção} = 13227.448936 \cdot \frac{kg}{cm^2}$

$$Área_1 = \int_0^{interseção} \sigma_{esq}(x)\,dx \qquad Área_1 = 194944.08 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$Área_2 = \int_{interseção}^{L} \sigma_{dir}(x)\,dx \qquad Área_2 = 267037.75 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$Área = (Área_1) + (Área_2) \qquad Área = 461981.84 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$\sigma_m = \frac{Área}{L} \qquad \sigma_m = 13575.72 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$$L_{cabo} = 35.85m \qquad Área_{teórica\_aço} = 143.4 \cdot mm^2 \qquad E_{teórico\_aço} = 1950000\frac{kg}{cm^2}$$

$$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot Área_{teórica\_aço} = 19.5 \cdot t$$

$$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 250 \cdot mm$$

CABO C5 (6ø15.2mm)

$$Área_{teórica\_aço} = 143.4mm^2 \qquad fptk = \frac{265.8kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1853.56\,MPa \qquad fpyk = \frac{239.2kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1668.06\,MPa$$

$$\sigma_{pi} = \min(0.74 \cdot fptk, 0.82 \cdot fpyk) = 1367.81\,MPa$$

$$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78 \cdot \frac{kgf}{cm^2} \qquad \mu = 0.20 \qquad \beta = 0.01\frac{rad}{m} \qquad e = 2.72 \qquad L = 34.03m$$

$$\kappa = \beta \cdot \mu = 0.002 \cdot \frac{rad}{m} \qquad n = 11 \qquad i = 1, 2..n$$

$$S = 0cm, \frac{L}{n-1}..L = \begin{pmatrix} 0 \\ 340.3 \\ 680.6 \\ 1020.9 \\ 1361.2 \\ 1701.5 \\ 2041.8 \\ 2382.1 \\ 2722.4 \\ 3062.7 \\ 3403 \end{pmatrix} cm \qquad \Delta\alpha_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 6.44 \\ 0 \\ 0 \\ 2.55 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0.65 \\ 0 \end{pmatrix}° \qquad \Delta\alpha_{planta} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1.03 \\ 1.03 \end{pmatrix}°$$

$$\alpha_i = \begin{array}{|l} 0\text{rad} \quad \text{if} \quad i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \sqrt{\left(\Delta\alpha_{\text{elevação}_i}\right)^2 + \left(\Delta\alpha_{\text{planta}_i}\right)^2} \quad \text{if} \quad i > 1 \\ i \cdot \text{rad} \quad \text{otherwise} \end{array}$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13853.18 \\ 13453.36 \\ 13362.11 \\ 13271.47 \\ 13064.64 \\ 12976.03 \\ 12888.01 \\ 12800.59 \\ 12659.83 \\ 12528.83 \end{pmatrix} \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$\Delta\theta_{\text{elevação}} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0.65 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 2.55 \\ 0 \\ 0 \\ 6.44 \\ 0 \end{pmatrix} \circ \qquad \Delta\theta_{\text{planta}} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1.03 \\ 1.03 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \circ$$

$n = 11$

$$\theta_i = \begin{array}{|l} 0\text{rad} \quad \text{if} \quad i = 1 \\ \theta_{(i-1)} + \sqrt{\left(\Delta\theta_{\text{elevação}_i}\right)^2 + \left(\Delta\theta_{\text{planta}_i}\right)^2} \quad \text{if} \quad i > 1 \\ i \cdot \text{rad} \quad \text{otherwise} \end{array}$$

$$\sigma_{dir} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \theta + \kappa \cdot S)}$$

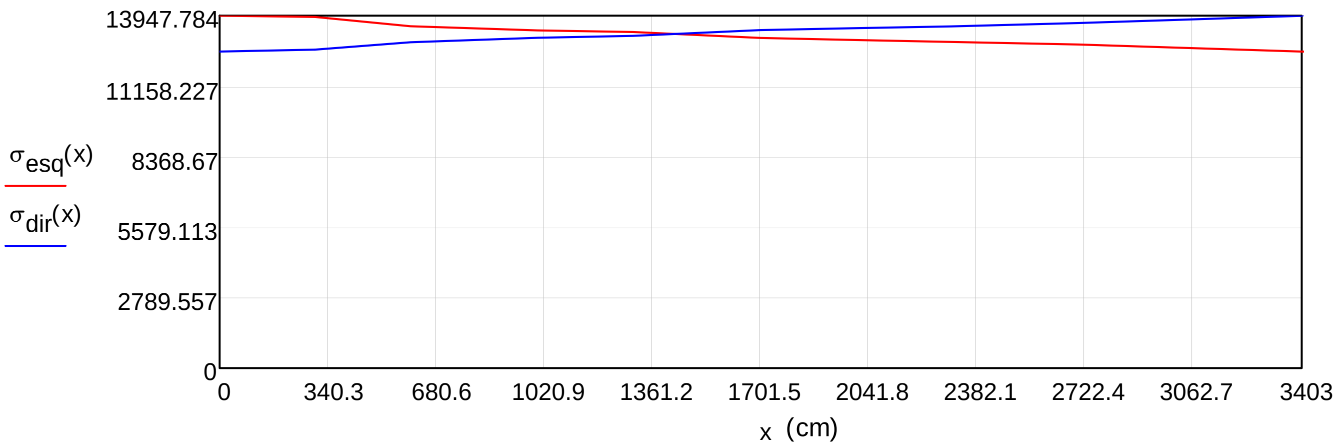
$$\sigma_{dir} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13803.46 \\ 13651.67 \\ 13559.07 \\ 13467.1 \\ 13375.76 \\ 13167.3 \\ 13077.99 \\ 12989.28 \\ 12614.4 \\ 12528.83 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$a = \text{cspline}(S, \sigma_{esq})$

$b = \text{cspline}(S, \sigma_{dir})$

$\sigma_{esq}(x) = \text{interp}\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$

$\sigma_{dir}(x) = \text{interp}\left(\frac{b}{g}, S, \frac{\text{reverse}(\sigma_{dir})}{g}, x\right)$



$c = \frac{L}{2}$

$d = 0m$

Given

$d = \sigma_{esq}(c)$

$d = \sigma_{dir}(c)$

$\begin{pmatrix} \text{interseção} \\ \sigma_{\text{interseção}} \end{pmatrix} = \text{Find}(c, d)$

$\text{interseção} = 1443.76 \cdot cm$

$\sigma_{\text{interseção}} = 13223.394044 \cdot \frac{kg}{cm^2}$

$Área_1 = \int_0^{interseção} \sigma_{esq}(x)\,dx$ $\quad$ $Área_1 = 195795.74\cdot\frac{kg\cdot m}{cm^2}$

$Área_2 = \int_{interseção}^{L} \sigma_{dir}(x)\,dx$ $\quad$ $Área_2 = 266044.43\cdot\frac{kg\cdot m}{cm^2}$

$Área = (Área_1) + (Área_2)$ $\quad$ $Área = 461840.16\cdot\frac{kg\cdot m}{cm^2}$

$\sigma_m = \frac{Área}{L}$ $\quad$ $\sigma_m = 13571.56\cdot\frac{kg}{cm^2}$

$L_{cabo} = 35.85m$ $\quad$ $Área_{teórica\_aço} = 143.4\cdot mm^2$ $\quad$ $E_{teórico\_aço} = 1950000\frac{kg}{cm^2}$

$F_{média\_cabo} = \sigma_m\cdot Área_{teórica\_aço} = 19.5\cdot t$

$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m)\cdot(L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 250\cdot mm$

CABO C6 (6ø15.2mm)

$Área_{teórica\_aço} = 143.4mm^2$ $\quad$ $fptk = \frac{265.8kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1853.56\,MPa$ $\quad$ $fpyk = \frac{239.2kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1668.06\,MPa$

$\sigma_{pi} = \min(0.74\cdot fptk, 0.82\cdot fpyk) = 1367.81\,MPa$

$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78\cdot\frac{kgf}{cm^2}$ $\quad$ $\mu = 0.20$ $\quad$ $\beta = 0.01\frac{rad}{m}$ $\quad$ $e = 2.72$ $\quad$ $L = 34.03m$

$\kappa = \beta\cdot\mu = 0.002\cdot\frac{rad}{m}$ $\quad$ $n = 11$ $\quad$ $i = 1, 2 .. n$

$$S = 0cm, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 340.3 \\ 680.6 \\ 1020.9 \\ 1361.2 \\ 1701.5 \\ 2041.8 \\ 2382.1 \\ 2722.4 \\ 3062.7 \\ 3403 \end{pmatrix} cm \qquad \Delta\alpha_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 6.44 \\ 0 \\ 0 \\ 2.55 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0.65 \\ 0 \end{pmatrix} ° \qquad \Delta\alpha_{planta} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1.5 \\ 1.5 \end{pmatrix} °$$

$$\alpha_i = \begin{cases} 0rad & \text{if } i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \sqrt{\left(\Delta\alpha_{elevação_i}\right)^2 + \left(\Delta\alpha_{planta_i}\right)^2} & \text{if } i > 1 \\ i \cdot rad & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13853.18 \\ 13453.36 \\ 13362.11 \\ 13271.47 \\ 13064.64 \\ 12976.03 \\ 12888.01 \\ 12800.59 \\ 12641.43 \\ 12490.11 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$$\Delta\theta_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0.65 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 2.55 \\ 0 \\ 0 \\ 6.44 \\ 0 \end{pmatrix}°$$

$$\Delta\theta_{planta} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1.5 \\ 1.5 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}°$$

$n = 11$

$$\theta_i = \begin{cases} 0rad & \text{if } i = 1 \\ \theta_{(i-1)} + \sqrt{\left(\Delta\theta_{elevação_i}\right)^2 + \left(\Delta\theta_{planta_i}\right)^2} & \text{if } i > 1 \\ i \cdot rad & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\sigma_{dir} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu\cdot\theta + \kappa\cdot S)}$$

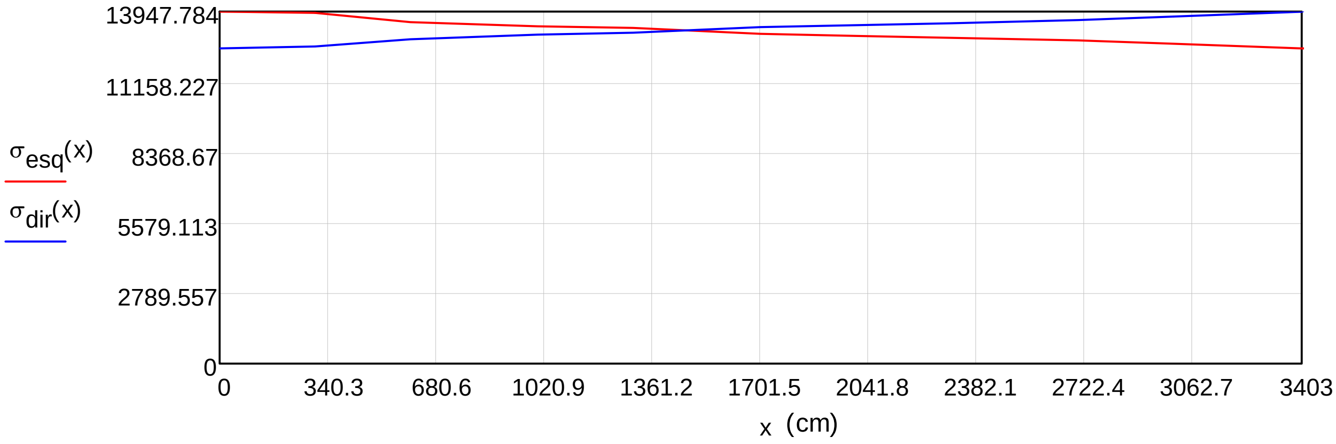
$$\sigma_{dir} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13780.83 \\ 13609.47 \\ 13517.16 \\ 13425.48 \\ 13334.41 \\ 13126.6 \\ 13037.57 \\ 12949.14 \\ 12575.41 \\ 12490.11 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$a = cspline\left(S, \sigma_{esq}\right)$

$b = cspline\left(S, \sigma_{dir}\right)$

$$\sigma_{esq}(x) = interp\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$$

$$\sigma_{dir}(x) = interp\left(\frac{b}{g}, S, \frac{reverse\left(\sigma_{dir}\right)}{g}, x\right)$$



$c = \frac{L}{2}$ $\qquad$ $d = 0m$

Given

$d = \sigma_{esq}(c)$ $\qquad$ $d = \sigma_{dir}(c)$

$\begin{pmatrix} interseção \\ \sigma_{interseção} \end{pmatrix} = Find(c, d)$ $\qquad$ $interseção = 1474.63 \cdot cm$

$\sigma_{interseção} = 13203.497126 \cdot \frac{kg}{cm^2}$

$Área_1 = \int_0^{interseção} \sigma_{esq}(x)\, dx$ $\qquad$ $Área_1 = 199874.06 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$

$Área_2 = \int_{interseção}^{L} \sigma_{dir}(x)\, dx$ $\qquad$ $Área_2 = 261292.14 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$

$Área = (Área_1) + (Área_2)$ $\qquad$ $Área = 461166.19 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$

$\sigma_m = \frac{Área}{L}$ $\qquad$ $\sigma_m = 13551.75 \cdot \frac{kg}{cm^2}$

$L_{cabo} = 35.85m$ $\qquad$ $Área_{teórica\_aço} = 143.4 \cdot mm^2$ $\qquad$ $E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$

$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot Área_{teórica\_aço} = 19.4 \cdot t$

$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 249 \cdot mm$

V23 - CÁLCULO DAS ARMADURAS DE FRETAGEM

a_0 = Área da placa de distribuição

b = Distância entre eixos das ancoragens

c = Distância entre as ancoragens

d = Distância entre a face do concreto ao eixo da ancoragem

n = Quantidade de ancoragens em elevação

q = Quantidade de cabos alinhados em cada grupo (seção transversal)

EXTREMIDADE ATIVA

$b = 25cm$ $\quad n = 2$ $\quad q = 3$ $\quad F_{inicial} = 6 \cdot \sigma_1 \cdot Área_{teórica\_aço} = 1176.86\,kN$

$a_0 = 22cm$ $\quad c = 2.6cm$

$d = 17.5cm$ $\quad a_1 = a_0 + c = 24.6\,cm$

$F_1 = F_{inicial} \cdot \cos(1°) = 1176.68\,kN$ $\quad F_2 = F_{inicial} \cdot \cos(2°) = 1176.15\,kN$

$$T_1 = 0.25 \cdot F_1 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 31.09\,kN \qquad T_2 = 0.25 \cdot F_2 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 31.08\,kN$$

$a_2 = 2 \cdot d + (n-1) \cdot b = 60\,cm$

$$F = \begin{pmatrix} 1176.68 \\ 1176.15 \end{pmatrix} kN \qquad T = \begin{pmatrix} 31.09 \\ 31.08 \end{pmatrix} kN \qquad \sum F = 2352.83\,kN$$

$$T_n = \frac{2}{3} \cdot \left(1 - \frac{n \cdot a_1}{a_2}\right) \cdot \sum F = 282.34\,kN \qquad fyd = 43.48\,\frac{kN}{cm^2}$$

$$As_1 = \frac{\max(T)}{fyd} = 0.72\,cm^2 \qquad As_2 = q \cdot \left(\frac{T_n}{fyd}\right) = 19.48\,cm^2$$

$As_{fretagem} = As_1 = 0.72\,cm^2$

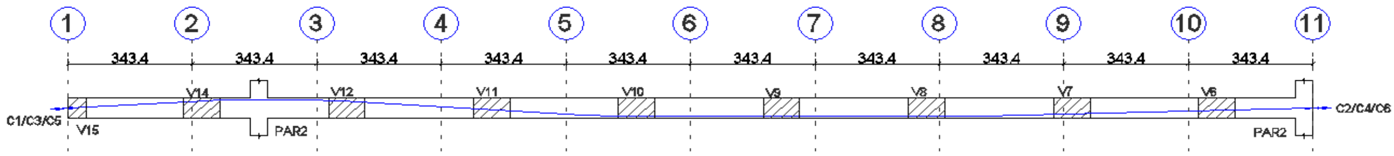
Adotado espiral ø10mm - 5 passos por cabo em cada trecho de ancoragem ativa e passiva.

$$As_{estribos} = \frac{As_2}{4} = 4.87\,cm^2$$

$L = \max(a_1, a_2) = 60\,cm$ $\quad bitola_{estribo} = 8mm$ $\quad adotados = ceil\left(\frac{As_{estribos}}{bitola_{estribo}^{\,2}}\right) = 8$

Estribos duplos $adotados = 8$ ø8.0mm em cada trecho de ancoragem ativa e passiva distribuídos em $L = 60\,cm$

V25 (1° PAVIMENTO) - CABOS C1 a C6



CABOS C1=C3=C5 (6ø15.2mm)

$\text{Área}_{\text{teórica\_aço}} = 143.4\text{mm}^2$ $\quad$ $\text{fptk} = \dfrac{265.8\text{kN}}{\text{Área}_{\text{teórica\_aço}}} = 1853.56\,\text{MPa}$ $\quad$ $\text{fpyk} = \dfrac{239.2\text{kN}}{\text{Área}_{\text{teórica\_aço}}} = 1668.06\,\text{MPa}$

$\sigma_{pi} = \min(0.74\cdot\text{fptk}, 0.82\cdot\text{fpyk}) = 1367.81\,\text{MPa}$

$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78\cdot\dfrac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$ $\quad$ $\mu = 0.20$ $\quad$ $\beta = 0.01\dfrac{\text{rad}}{\text{m}}$ $\quad$ $e = 2.72$ $\quad$ $L = 34.34\text{m}$

$\kappa = \beta\cdot\mu = 0.002\cdot\dfrac{\text{rad}}{\text{m}}$ $\quad$ $n = 11$ $\quad$ $i = 1, 2..\,n$

$$S = 0\text{cm}, \frac{L}{n-1}\,..\,L = \begin{pmatrix} 0 \\ 343.4 \\ 686.8 \\ 1030.2 \\ 1373.6 \\ 1717 \\ 2060.4 \\ 2403.8 \\ 2747.2 \\ 3090.6 \\ 3434 \end{pmatrix}\text{cm} \qquad \Delta\alpha_{\text{elevação}} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 4.03 \\ 2.9 \\ 0 \\ 3.69 \\ 0 \\ 0 \\ 1.42 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}° \qquad \Delta\alpha_{\text{planta}} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}°$$

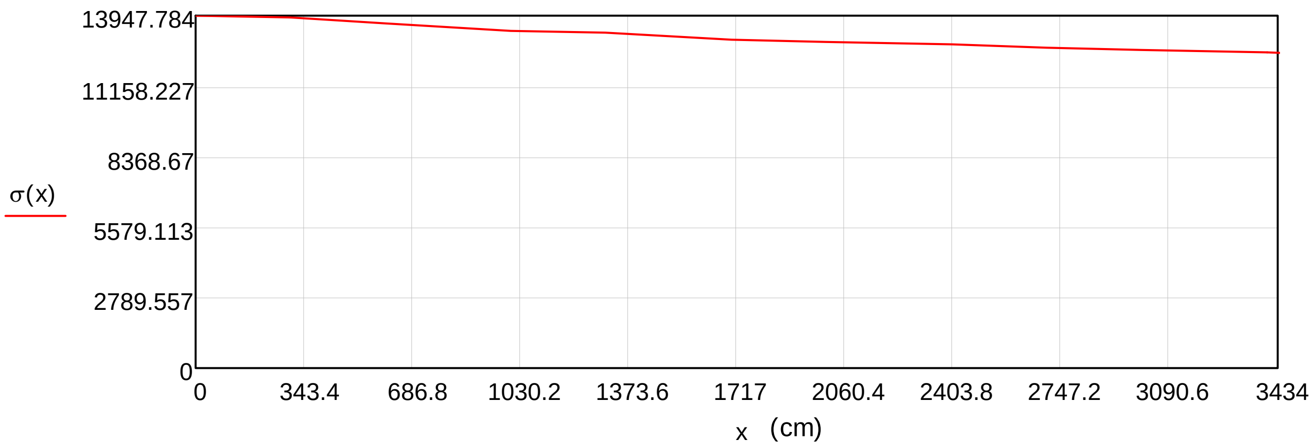
$$\alpha_i = \left| \begin{array}{l} 0\text{rad} \quad \text{if} \quad i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \sqrt{\left(\Delta\alpha_{\text{elevação}_i}\right)^2 + \left(\Delta\alpha_{\text{planta}_i}\right)^2} \quad \text{if} \quad i > 1 \\ i\cdot\text{rad} \quad \text{otherwise} \end{array} \right.$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13852.32 \\ 13565.33 \\ 13336.79 \\ 13245.51 \\ 12986.49 \\ 12897.61 \\ 12809.33 \\ 12658.76 \\ 12572.11 \\ 12486.06 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$$a = \mathrm{cspline}(S, \sigma_{esq})$$

$$\sigma(x) = \mathrm{interp}\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$$



$$\text{Área} = \int_0^L \sigma(x)\, dx \qquad \text{Área} = 450399.22 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$\sigma_m = \frac{\text{Área}}{L} \qquad \sigma_m = 13115.88 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$$L_{cabo} = 34.90m \qquad \text{Área}_{teórica\_aço} = 143.4 \cdot mm^2 \qquad E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$$

$$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot \text{Área}_{teórica\_aço} = 18.8 \cdot t$$

$$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 235 \cdot mm$$

CABOS C2=C4=C6 (6ø15.2mm)

$Área_{teórica\_aço} = 143.4mm^2$ $\quad fptk = \dfrac{265.8kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1853.56\,MPa$ $\quad fpyk = \dfrac{239.2kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1668.06\,MPa$

$\sigma_{pi} = \min(0.74 \cdot fptk, 0.82 \cdot fpyk) = 1367.81\,MPa$

$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78 \cdot \dfrac{kgf}{cm^2}$ $\quad \mu = 0.20$ $\quad \beta = 0.01 \dfrac{rad}{m}$ $\quad e = 2.72$ $\quad L = 34.34m$

$\kappa = \beta \cdot \mu = 0.002 \cdot \dfrac{rad}{m}$ $\quad n = 11$ $\quad i = 1, 2..n$

$$S = 0cm, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 343.4 \\ 686.8 \\ 1030.2 \\ 1373.6 \\ 1717 \\ 2060.4 \\ 2403.8 \\ 2747.2 \\ 3090.6 \\ 3434 \end{pmatrix} cm \qquad \Delta\alpha_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 4.75 \\ 2.18 \\ 0 \\ 3.69 \\ 0 \\ 0 \\ 1.42 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} ^\circ \qquad \Delta\alpha_{planta} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} ^\circ$$

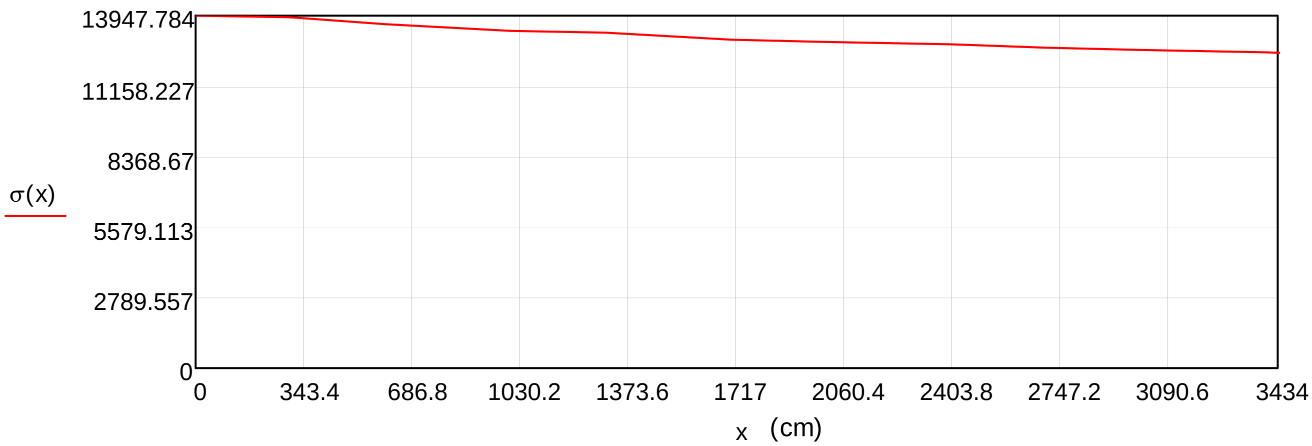
$$\alpha_i = \left| \begin{array}{l} 0rad \quad \text{if} \quad i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \sqrt{\left(\Delta\alpha_{elevação_i}\right)^2 + \left(\Delta\alpha_{planta_i}\right)^2} \quad \text{if} \quad i > 1 \\ i \cdot rad \quad \text{otherwise} \end{array} \right.$$

$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + \kappa \cdot S)}$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13852.32 \\ 13531.28 \\ 13336.79 \\ 13245.51 \\ 12986.49 \\ 12897.61 \\ 12809.33 \\ 12658.76 \\ 12572.11 \\ 12486.06 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$a = cspline(S, \sigma_{esq})$

$\sigma(x) = interp\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$



$\text{Área} = \int_0^L \sigma(x)\,dx$ $\qquad$ $\text{Área} = 450303.14 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$

$\sigma_m = \frac{\text{Área}}{L}$ $\qquad$ $\sigma_m = 13113.08 \cdot \frac{kg}{cm^2}$

$L_{cabo} = 34.90m$ $\qquad$ $\text{Área}_{teórica\_aço} = 143.4 \cdot mm^2$ $\qquad$ $E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$

$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot \text{Área}_{teórica\_aço} = 18.8 \cdot t$

$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 235 \cdot mm$

V25 - CÁLCULO DAS ARMADURAS DE FRETAGEM

a_0 = Área da placa de distribuição

d = Distância entre a face do concreto ao eixo da ancoragem

n = Número de ancoragens

$n = 6$

$F_{inicial} = 6 \cdot \sigma_1 \cdot Área_{teórica\_aço} = 1176.86\,kN$

$a_0 = 22cm$

$d = 30cm$

$a_1 = 2 \cdot d = 60 \cdot cm$

$F = n \cdot F_{inicial} \cdot \cos(1°) = 7060.11\,kN$

$T = 0.25 \cdot F \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 1117.85\,kN$

$fyd = 43.48 \frac{kN}{cm^2}$

$As_1 = \frac{T}{fyd} = 25.71\,cm^2$

$As_{estribos} = \frac{As_1}{4} = 6.43\,cm^2$

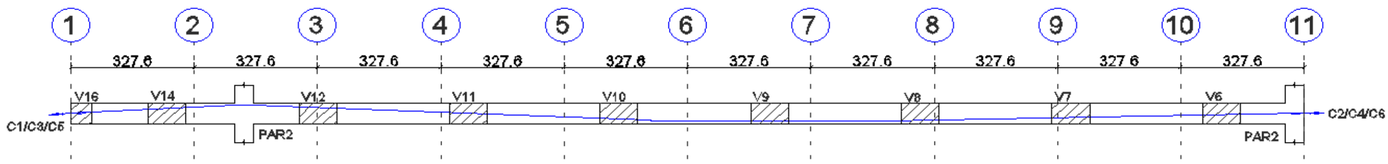
$L = a_1 = 60\,cm$

$bitola_{estribo} = 10mm$

$adotados = ceil\left(\frac{As_{estribos}}{bitola_{estribo}^2}\right) = 7$

Estribos duplos $adotados = 7$ ø10.0mm em cada trecho de ancoragem ativa e passiva distribuídos em $L = 60\,cm$

V26 (1° PAVIMENTO) - CABOS C1 a C6



CABOS C1=C3=C5 (6ø15.2mm)

$Área_{teórica\_aço} = 143.4mm^2$ $\quad fptk = \dfrac{265.8kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1853.56\,MPa$ $\quad fpyk = \dfrac{239.2kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1668.06\,MPa$

$\sigma_{pi} = \min(0.74 \cdot fptk, 0.82 \cdot fpyk) = 1367.81\,MPa$

$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78 \cdot \dfrac{kgf}{cm^2}$ $\quad \mu = 0.20$ $\quad \beta = 0.01 \dfrac{rad}{m}$ $\quad e = 2.72$ $\quad L = 32.76m$

$\kappa = \beta \cdot \mu = 0.002 \cdot \dfrac{rad}{m}$ $\quad n = 11$ $\quad i = 1, 2 .. n$

$$S = 0cm, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 327.6 \\ 655.2 \\ 982.8 \\ 1310.4 \\ 1638 \\ 1965.6 \\ 2293.2 \\ 2620.8 \\ 2948.4 \\ 3276 \end{pmatrix} cm \qquad \Delta\alpha_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 5.51 \\ 0 \\ 0 \\ 2.35 \\ 0 \\ 1.02 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} ° \qquad \Delta\alpha_{planta} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} °$$

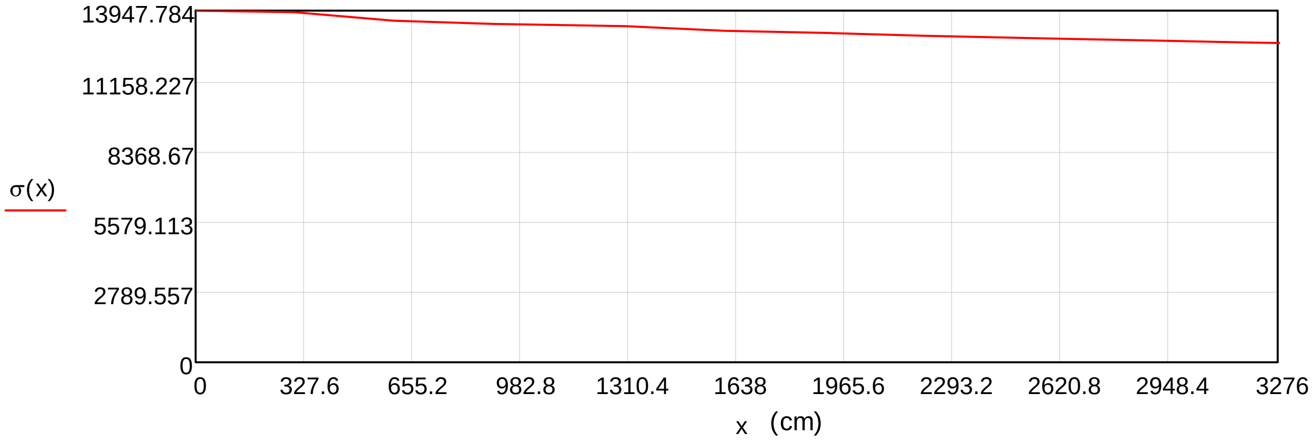
$$\alpha_i = \begin{vmatrix} 0rad \quad \text{if} \quad i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \sqrt{\left(\Delta\alpha_{elevação_i}\right)^2 + \left(\Delta\alpha_{planta_i}\right)^2} \quad \text{if} \quad i > 1 \\ i \cdot rad \quad \text{otherwise} \end{vmatrix}$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13856.7 \\ 13503.96 \\ 13415.77 \\ 13328.16 \\ 13132.95 \\ 13047.18 \\ 12915.91 \\ 12831.56 \\ 12747.76 \\ 12664.51 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$$a = cspline(S, \sigma_{esq})$$

$$\sigma(x) = interp\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$$



$$Área = \int_0^L \sigma(x)\,dx \qquad Área = 432812.27 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$\sigma_m = \frac{Área}{L} \qquad \sigma_m = 13211.61 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$$L_{cabo} = 33.20m \qquad Área_{teórica\_aço} = 143.4 \cdot mm^2 \qquad E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$$

$$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot Área_{teórica\_aço} = 18.9 \cdot t$$

$$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 225 \cdot mm$$

CABOS C2=C4=C6 (6ø15.2mm)

$Área_{teórica\_aço} = 143.4mm^2$ $\quad fptk = \frac{265.8kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1853.56\,MPa$ $\quad fpyk = \frac{239.2kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1668.06\,MPa$

$\sigma_{pi} = \min(0.74 \cdot fptk, 0.82 \cdot fpyk) = 1367.81\,MPa$

$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78 \cdot \frac{kgf}{cm^2}$ $\quad \mu = 0.20$ $\quad \beta = 0.01\frac{rad}{m}$ $\quad e = 2.72$ $\quad L = 32.76m$

$\kappa = \beta \cdot \mu = 0.002 \cdot \frac{rad}{m}$ $\quad n = 11$ $\quad i = 1, 2 .. n$

$$S = 0cm, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 327.6 \\ 655.2 \\ 982.8 \\ 1310.4 \\ 1638 \\ 1965.6 \\ 2293.2 \\ 2620.8 \\ 2948.4 \\ 3276 \end{pmatrix} cm \qquad \Delta\alpha_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 5.51 \\ 0 \\ 0 \\ 2.35 \\ 0 \\ 1.02 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}° \qquad \Delta\alpha_{planta} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}°$$

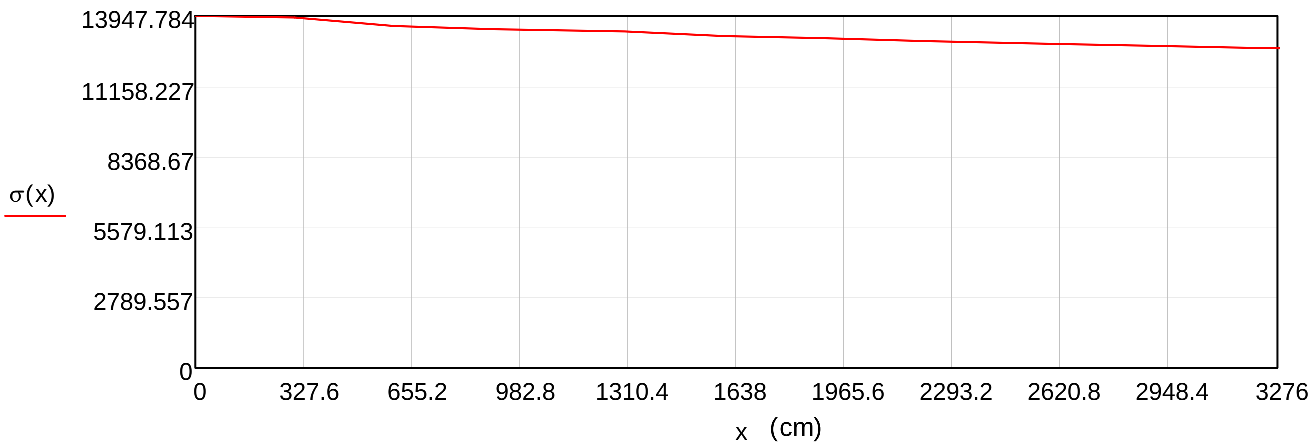
$$\alpha_i = \left| \begin{array}{ll} 0rad & \text{if } i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \sqrt{\left(\Delta\alpha_{elevação_i}\right)^2 + \left(\Delta\alpha_{planta_i}\right)^2} & \text{if } i > 1 \\ i \cdot rad & \text{otherwise} \end{array} \right.$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13856.7 \\ 13503.96 \\ 13415.77 \\ 13328.16 \\ 13132.95 \\ 13047.18 \\ 12915.91 \\ 12831.56 \\ 12747.76 \\ 12664.51 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$$a = \mathrm{cspline}(S, \sigma_{esq})$$

$$\sigma(x) = \mathrm{interp}\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$$



$$Área = \int_0^L \sigma(x)\, dx \qquad Área = 432812.27 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$\sigma_m = \frac{Área}{L} \qquad \sigma_m = 13211.61 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$L_{cabo} = 33.20m$ $\qquad Área_{teórica\_aço} = 143.4 \cdot mm^2$ $\qquad E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$

$$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot Área_{teórica\_aço} = 18.9 \cdot t$$

$$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 225 \cdot mm$$

V26 - CÁLCULO DAS ARMADURAS DE FRETAGEM

a_0 = Área da placa de distribuição

d = Distância entre a face do concreto ao eixo da ancoragem

n = Número de ancoragens

$n = 6$

$F_{inicial} = 6 \cdot \sigma_1 \cdot Área_{teórica\_aço} = 1176.86\,kN$

$a_0 = 22cm$

$d = 30cm$

$a_1 = 2 \cdot d = 60 \cdot cm$

$F = n \cdot F_{inicial} \cdot \cos(1°) = 7060.11\,kN$

$T = 0.25 \cdot F \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 1117.85\,kN$

$fyd = 43.48 \frac{kN}{cm^2}$

$As_1 = \frac{T}{fyd} = 25.71\,cm^2$

$As_{estribos} = \frac{As_1}{4} = 6.43\,cm^2$

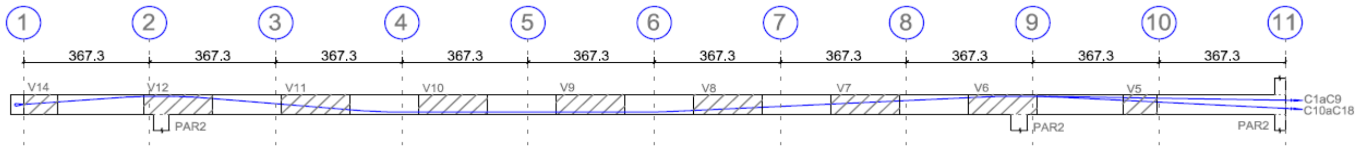
$L = a_1 = 60\,cm$

$bitola_{estribo} = 10mm$

$adotados = ceil\left(\frac{As_{estribos}}{bitola_{estribo}^2}\right) = 7$

Estribos duplos $adotados = 7$ ø10.0mm em cada trecho de ancoragem ativa e passiva distribuídos em $L = 60\,cm$

V27 (1° PAVIMENTO) - CABOS C1 a C18



CABOS C1=C2=C3=C4=C5=C6=C7=C8=C9 (6ø15.2mm)

$$\text{Área}_{\text{teórica\_aço}} = 143.4\,\text{mm}^2 \qquad \text{fptk} = \frac{265.8\text{kN}}{\text{Área}_{\text{teórica\_aço}}} = 1853.56\,\text{MPa} \qquad \text{fpyk} = \frac{239.2\text{kN}}{\text{Área}_{\text{teórica\_aço}}} = 1668.06\,\text{MPa}$$

$$\sigma_{pi} = \min(0.74\cdot\text{fptk}, 0.82\cdot\text{fpyk}) = 1367.81\,\text{MPa}$$

$$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78\cdot\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \qquad \mu = 0.20 \qquad \beta = 0.01\frac{\text{rad}}{\text{m}} \qquad e = 2.72 \qquad L = 36.73\text{m}$$

$$\kappa = \beta\cdot\mu = 0.002\cdot\frac{\text{rad}}{\text{m}} \qquad n = 11 \qquad i = 1, 2..n$$

$$S = 0\text{cm}, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 367.3 \\ 734.6 \\ 1101.9 \\ 1469.2 \\ 1836.5 \\ 2203.8 \\ 2571.1 \\ 2938.4 \\ 3305.7 \\ 3673 \end{pmatrix}\text{cm} \qquad \Delta\alpha_{\text{elevação}} = \begin{pmatrix} 0 \\ 4.21 \\ 4.93 \\ 4.93 \\ 0 \\ 0 \\ 2.82 \\ 0 \\ 2.82 \\ 0.95 \\ 0 \end{pmatrix}^{\circ} \qquad \Delta\alpha_{\text{planta}} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}^{\circ}$$

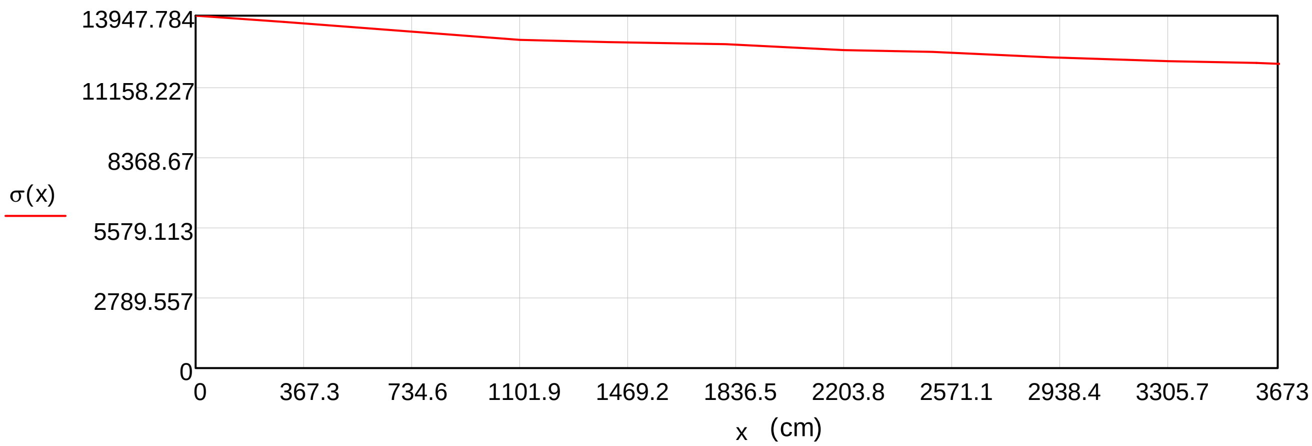
$$\alpha_i = \left| \begin{array}{l} 0\text{rad} \quad \text{if} \quad i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \sqrt{\left(\Delta\alpha_{\text{elevação}_i}\right)^2 + \left(\Delta\alpha_{\text{planta}_i}\right)^2} \quad \text{if} \quad i > 1 \\ i\cdot\text{rad} \quad \text{otherwise} \end{array} \right.$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13643.71 \\ 13312.77 \\ 12989.86 \\ 12894.79 \\ 12800.41 \\ 12582.25 \\ 12490.16 \\ 12277.3 \\ 12147.09 \\ 12058.18 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$$a = \text{cspline}(S, \sigma_{esq})$$

$$\sigma(x) = \text{interp}\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$$



$$\text{Área} = \int_0^L \sigma(x)\, dx \qquad \text{Área} = 470605.7 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$\sigma_m = \frac{\text{Área}}{L} \qquad \sigma_m = 12812.57 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$$L_{cabo} = 37.60m \qquad \text{Área}_{teórica\_aço} = 143.4 \cdot mm^2 \qquad E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$$

$$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot \text{Área}_{teórica\_aço} = 18.4 \cdot t$$

$$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 247 \cdot mm$$

CABOS C10=C11=C12=C13=C14=C15=C16=C17=C18 (6ø15.2mm)

$Área_{teórica\_aço} = 143.4mm^2$ $fptk = \frac{265.8kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1853.56\,MPa$ $fpyk = \frac{239.2kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1668.06\,MPa$

$\sigma_{pi} = \min(0.74 \cdot fptk, 0.82 \cdot fpyk) = 1367.81\,MPa$

$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78 \cdot \frac{kgf}{cm^2}$ $\mu = 0.20$ $\beta = 0.01\frac{rad}{m}$ $e = 2.72$ $L = 36.73m$

$\kappa = \beta \cdot \mu = 0.002 \cdot \frac{rad}{m}$ $n = 11$ $i = 1, 2 .. n$

$$S = 0cm, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 367.3 \\ 734.6 \\ 1101.9 \\ 1469.2 \\ 1836.5 \\ 2203.8 \\ 2571.1 \\ 2938.4 \\ 3305.7 \\ 3673 \end{pmatrix} cm \qquad \Delta\alpha_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 4.21 \\ 4.93 \\ 4.93 \\ 0 \\ 0 \\ 2.82 \\ 0 \\ 2.82 \\ 2.99 \\ 0 \end{pmatrix} ° \qquad \Delta\alpha_{planta} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} °$$

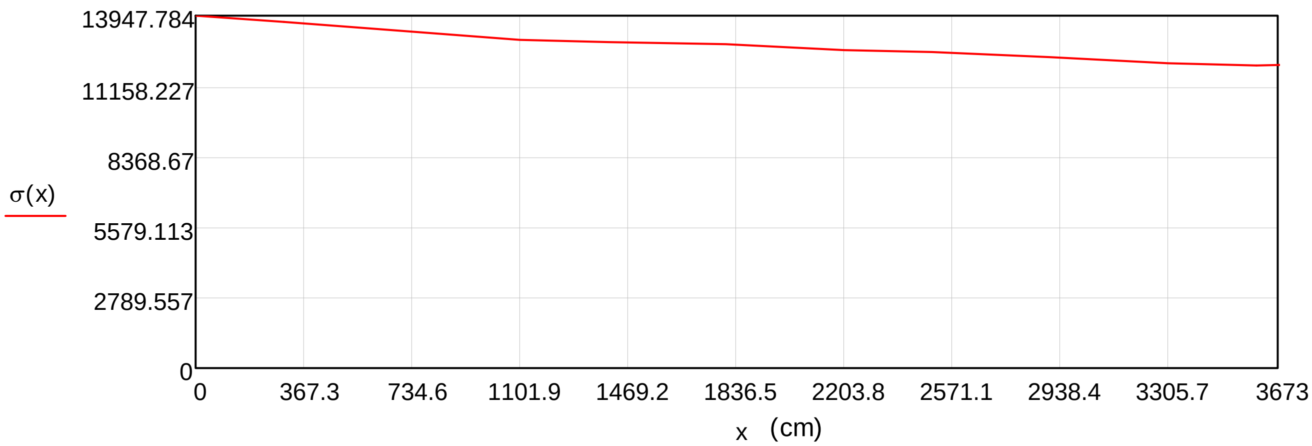
$$\alpha_i = \begin{cases} 0rad & \text{if } i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \sqrt{\left(\Delta\alpha_{elevação_i}\right)^2 + \left(\Delta\alpha_{planta_i}\right)^2} & \text{if } i > 1 \\ i \cdot rad & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13643.71 \\ 13312.77 \\ 12989.86 \\ 12894.79 \\ 12800.41 \\ 12582.25 \\ 12490.16 \\ 12277.3 \\ 12060.9 \\ 11972.62 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$$a = \text{cspline}(S, \sigma_{esq})$$

$$\sigma(x) = \text{interp}\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$$



$$\text{Área} = \int_0^L \sigma(x)\,dx \qquad \text{Área} = 470093.12 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$\sigma_m = \frac{\text{Área}}{L} \qquad \sigma_m = 12798.61 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$$L_{cabo} = 37.60m \qquad \text{Área}_{teórica\_aço} = 143.4 \cdot mm^2 \qquad E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$$

$$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot \text{Área}_{teórica\_aço} = 18.4 \cdot t$$

$$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 247 \cdot mm$$

V27 - CÁLCULO DAS ARMADURAS DE FRETAGEM

a_0 = Área da placa de distribuição

b = Distância entre eixos das ancoragens

c = Distância entre as ancoragens

d = Distância entre a face do concreto ao eixo da ancoragem

n = Quantidade de ancoragens em elevação

q = Quantidade de cabos alinhados em cada grupo (seção transversal)

EXTREMIDADE ATIVA (Direita)

$b = 25cm$ $\quad n = 2$ $\quad q = 9$ $\quad F_{inicial} = 6 \cdot \sigma_1 \cdot Área_{teórica\_aço} = 1176.86\,kN$

$a_0 = 22cm$ $\quad c = 2.6cm$

$d = 17.5cm$ $\quad a_1 = a_0 + c = 24.6\,cm$

$F_1 = F_{inicial} \cdot \cos(1°) = 1176.68\,kN$ $\quad F_2 = F_{inicial} \cdot \cos(3°) = 1175.25\,kN$

$$T_1 = 0.25 \cdot F_1 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 31.09\,kN \qquad T_2 = 0.25 \cdot F_2 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 31.05\,kN$$

$a_2 = 2 \cdot d + (n - 1) \cdot b = 60\,cm$

$$F = \begin{pmatrix} 1176.68 \\ 1175.25 \end{pmatrix} kN \qquad T = \begin{pmatrix} 31.09 \\ 31.05 \end{pmatrix} kN \qquad \sum F = 2351.94\,kN$$

$$T_n = \frac{2}{3} \cdot \left(1 - \frac{n \cdot a_1}{a_2}\right) \cdot \sum F = 282.23\,kN \qquad fyd = 43.48 \frac{kN}{cm^2}$$

$$As_1 = \frac{\max(T)}{fyd} = 0.72\,cm^2 \qquad As_2 = q \cdot \left(\frac{T_n}{fyd}\right) = 58.42\,cm^2$$

EXTREMIDADE PASSIVA

$q = 18$

$F_{inicial} = 1176.86\,kN$

$a_0 = 22\,cm$

$d = 30cm$

$a_1 = 2 \cdot d = 60 \cdot cm$

$F = q \cdot F_{inicial} \cdot \cos(4°) = 21131.95\,kN$

$T = 0.25 \cdot F \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 3345.89\,kN$

$fyd = 43.48 \cdot \frac{kN}{cm^2}$

$As_4 = \frac{T}{fyd} = 76.95\,cm^2$

$As_{fretagem} = As_1 = 0.72\,cm^2$

Adotado espiral ø10mm - 5 passos por cabo em cada trecho de ancoragem ativa e passiva.

$As_{estribos} = \frac{\max\left(As_2, As_4\right)}{8} = 9.62\,cm^2$

$L = \max\left(a_1, a_2\right) = 60\,cm$

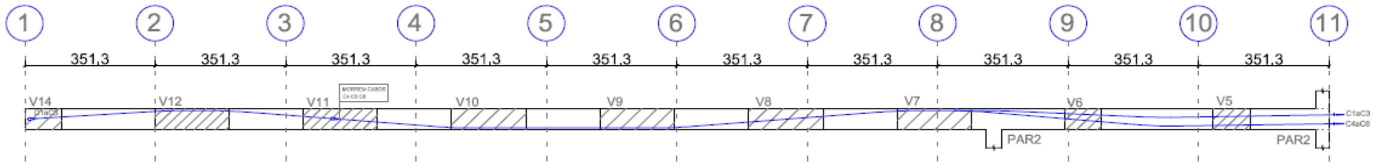
$bitola_{estribo} = 10mm$

$adotados = ceil\left(\frac{As_{estribos}}{bitola_{estribo}^2}\right) = 10$

Estribos quádruplos $adotados = 10$ ø10.0mm em cada trecho de ancoragem ativa e passiva distribuídos em $L = 60\,cm$

V28 (1° PAVIMENTO) - CABOS C1 a C6

CABOS C1=C2=C3 (6ø15.2mm)



$t = tonne$

$Área_{teórica\_aço} = 143.4mm^2$ $\quad fptk = \frac{265.8kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1853.56\,MPa$ $\quad fpyk = \frac{239.2kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1668.06\,MPa$

$\sigma_{pi} = \min(0.74 \cdot fptk, 0.82 \cdot fpyk) = 1367.81\,MPa$

$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78 \cdot \frac{kgf}{cm^2}$ $\quad \mu = 0.20$ $\quad \beta = 0.01 \frac{rad}{m}$ $\quad e = 2.72$ $\quad L = 35.13m$

$\kappa = \beta \cdot \mu = 0.002 \cdot \frac{rad}{m}$ $\quad n = 11$ $\quad i = 1, 2 .. n$

$$S = 0cm, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 351.3 \\ 702.6 \\ 1053.9 \\ 1405.2 \\ 1756.5 \\ 2107.8 \\ 2459.1 \\ 2810.4 \\ 3161.7 \\ 3513 \end{pmatrix} cm \qquad \Delta\alpha_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0.25 \\ 7.94 \\ 0 \\ 4.58 \\ 3.58 \\ 1 \\ 4.58 \\ 2.61 \\ 3.55 \\ 0 \end{pmatrix} °$$

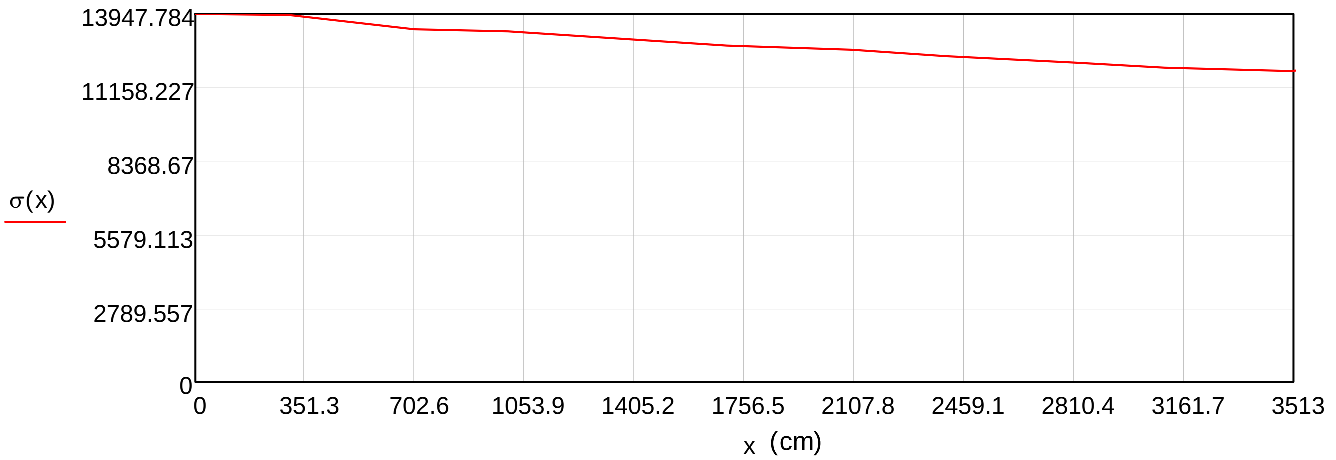
$$\alpha_i = \begin{cases} 0rad & \text{if } i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \Delta\alpha_{elevação_i} & \text{if } i > 1 \\ i \cdot rad & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13838.05 \\ 13365.54 \\ 13271.97 \\ 12970.02 \\ 12719.27 \\ 12586.21 \\ 12299.87 \\ 12102.98 \\ 11870.24 \\ 11787.13 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$$a = cspline(S, \sigma_{esq})$$

$$\sigma(x) = interp\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$$



$$\text{Área} = \int_0^L \sigma(x)\, dx \qquad \text{Área} = 449389.94 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

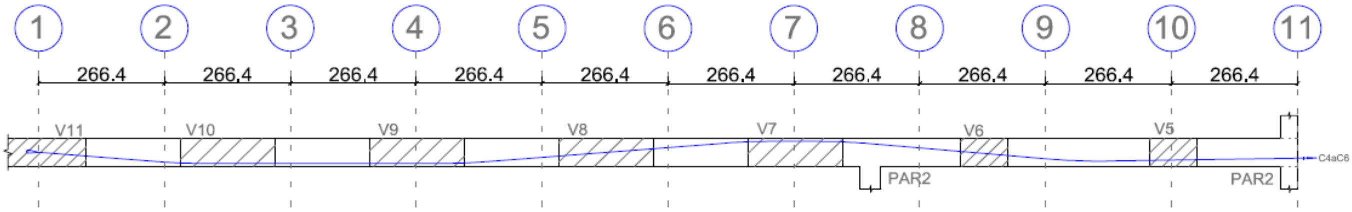
$$\sigma_m = \frac{\text{Área}}{L} \qquad \sigma_m = 12792.2 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$$L_{cabo} = 35.65m \qquad \text{Área}_{teórica\_aço} = 143.4 \cdot mm^2 \qquad E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$$

$$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot \text{Área}_{teórica\_aço} = 18.3 \cdot t$$

$$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 234 \cdot mm$$

CABOS C4=C5=C6 (6ø15.2mm)



$\text{Área}_{\text{teórica\_aço}} = 143.4\text{mm}^2$ $\quad$ $\text{fptk} = \dfrac{265.8\text{kN}}{\text{Área}_{\text{teórica\_aço}}} = 1853.56\,\text{MPa}$ $\quad$ $\text{fpyk} = \dfrac{239.2\text{kN}}{\text{Área}_{\text{teórica\_aço}}} = 1668.06\,\text{MPa}$

$\sigma_{pi} = \min(0.74\cdot\text{fptk}, 0.82\cdot\text{fpyk}) = 1367.81\,\text{MPa}$

$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78\cdot\dfrac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$ $\quad$ $\mu = 0.20$ $\quad$ $\beta = 0.01\dfrac{\text{rad}}{\text{m}}$ $\quad$ $e = 2.72$ $\quad$ $L = 26.64\text{m}$

$\kappa = \beta\cdot\mu = 0.002\cdot\dfrac{\text{rad}}{\text{m}}$ $\quad$ $n = 11$ $\quad$ $i = 1, 2 .. n$

$$S = 0\text{cm}, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 266.4 \\ 532.8 \\ 799.2 \\ 1065.6 \\ 1332 \\ 1598.4 \\ 1864.8 \\ 2131.2 \\ 2397.6 \\ 2664 \end{pmatrix}\text{cm} \qquad \Delta\alpha_{\text{elevação}} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 3.58 \\ 0 \\ 4.58 \\ 0 \\ 4.58 \\ 5.04 \\ 0 \\ 5.97 \\ 0 \end{pmatrix}°$$

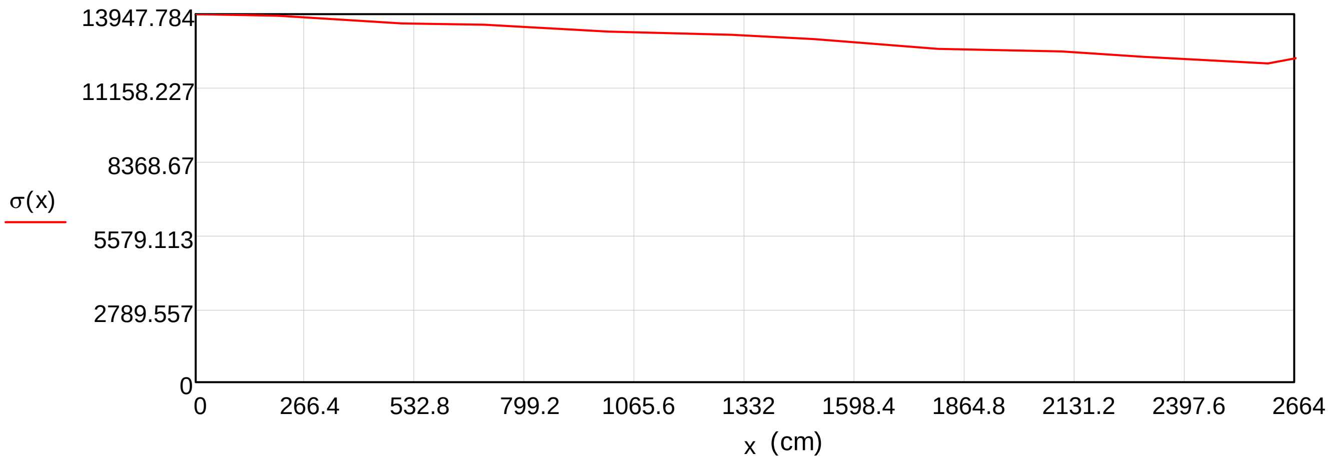
$$\alpha_i = \left| \begin{array}{ll} 0\text{rad} & \text{if } \ i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \Delta\alpha_{\text{elevação}_i} & \text{if } \ i > 1 \\ i\cdot\text{rad} & \text{otherwise} \end{array} \right.$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13825.32 \\ 13581.08 \\ 13508.91 \\ 13224.01 \\ 13153.74 \\ 12876.33 \\ 12584.55 \\ 12517.68 \\ 12194.38 \\ 12129.58 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$$a = \text{cspline}(S, \sigma_{esq})$$

$$\sigma(x) = \text{interp}\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$$



$$\text{Área} = \int_0^L \sigma(x)\, dx \qquad \text{Área} = 347616 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$\sigma_m = \frac{\text{Área}}{L} \qquad \sigma_m = 13048.65 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$$L_{cabo} = 27.50m \qquad \text{Área}_{teórica\_aço} = 143.4 \cdot mm^2 \qquad E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$$

$$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot \text{Área}_{teórica\_aço} = 18.7 \cdot t$$

$$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 184 \cdot mm$$

V28 - CÁLCULO DAS ARMADURAS DE FRETAGEM

a_0 = Área da placa de distribuição

b = Distância entre eixos das ancoragens

c = Distância entre as ancoragens

d = Distância entre a face do concreto ao eixo da ancoragem

n = Quantidade de ancoragens em elevação

q = Quantidade de cabos alinhados em cada grupo (seção transversal)

EXTREMIDADE ATIVA (Direita)

$b = 25cm$ $n = 2$ $q = 3$ $F_{inicial} = 6 \cdot \sigma_1 \cdot \text{Área}_{teórica\_aço} = 1176.86\,kN$

$a_0 = 22cm$ $c = 3cm$

$d = 17.5cm$ $a_1 = a_0 + c = 25\,cm$

$F_1 = F_{inicial} \cdot \cos(1°) = 1176.68\,kN$ $F_2 = F_{inicial} \cdot \cos(1°) = 1176.68\,kN$

$$T_1 = 0.25 \cdot F_1 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 35.3\,kN \qquad T_2 = 0.25 \cdot F_2 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 35.3\,kN$$

$a_2 = 2 \cdot d + (n - 1) \cdot b = 60\,cm$

$$F = \begin{pmatrix} 1176.68 \\ 1176.68 \end{pmatrix} kN \qquad T = \begin{pmatrix} 35.3 \\ 35.3 \end{pmatrix} kN \qquad \sum F = 2353.37\,kN$$

$$T_n = \frac{2}{3} \cdot \left(1 - \frac{n \cdot a_1}{a_2}\right) \cdot \sum F = 261.49\,kN \qquad fyd = 43.48\,\frac{kN}{cm^2}$$

$$As_1 = \frac{\max(T)}{fyd} = 0.81\,cm^2 \qquad As_2 = q \cdot \left(\frac{T_n}{fyd}\right) = 18.04\,cm^2$$

EXTREMIDADE PASSIVA

$q = 3$ $F_{inicial} = 1176.86\,kN$

$a_0 = 22\,cm$

$d = 30cm$ $a_1 = 2 \cdot d = 60 \cdot cm$

$F = q \cdot F_{inicial} \cdot \cos(4°) = 3521.99\,kN$ $T = 0.25 \cdot F \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 557.65\,kN$ $fyd = 43.48 \cdot \frac{kN}{cm^2}$

$As_4 = \frac{T}{fyd} = 12.83\,cm^2$

$As_{fretagem} = As_1 = 0.81\,cm^2$

Adotado espiral ø10mm - 5 passos por cabo em cada trecho de ancoragem ativa e passiva.

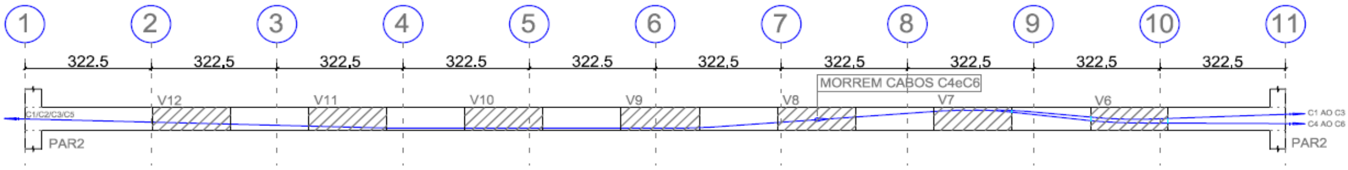
$As_{estribos} = \frac{\max(As_2, As_4)}{4} = 4.51\,cm^2$

$L = \max(a_1, a_2) = 60\,cm$ $bitola_{estribo} = 8mm$ $adotados = ceil\left(\frac{As_{estribos}}{bitola_{estribo}^2}\right) = 8$

Estribos duplos $adotados = 8$ ø8.0mm em cada trecho de ancoragem ativa e passiva distribuídos em $L = 60\,cm$

V29 (1° PAVIMENTO) - CABOS C1 a C6

CABOS C1=C2=C3 (6ø15.2mm)



$$\text{Área}_{teórica\_aço} = 143.4\,mm^2 \qquad fptk = \frac{265.8kN}{\text{Área}_{teórica\_aço}} = 1853.56\,MPa \qquad fpyk = \frac{239.2kN}{\text{Área}_{teórica\_aço}} = 1668.06\,MPa$$

$$\sigma_{pi} = \min(0.74 \cdot fptk, 0.82 \cdot fpyk) = 1367.81\,MPa$$

$$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78 \cdot \frac{kgf}{cm^2} \qquad \mu = 0.20 \qquad \beta = 0.01\frac{rad}{m} \qquad e = 2.72 \qquad L = 32.25m$$

$$\kappa = \beta \cdot \mu = 0.002 \cdot \frac{rad}{m} \qquad n = 11 \qquad i = 1, 2..n$$

$$S = 0cm, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 322.5 \\ 645 \\ 967.5 \\ 1290 \\ 1612.5 \\ 1935 \\ 2257.5 \\ 2580 \\ 2902.5 \\ 3225 \end{pmatrix} cm \qquad \Delta\alpha_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1.49 \\ 0 \\ 0 \\ 4.22 \\ 0 \\ 9.59 \\ 7.45 \\ 0 \end{pmatrix} ° \qquad \Delta\alpha_{planta} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} °$$

$$\alpha_i = \begin{cases} 0rad & \text{if } i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \sqrt{\left(\Delta\alpha_{elevação_i}\right)^2 + \left(\Delta\alpha_{planta_i}\right)^2} & \text{if } i > 1 \\ i \cdot rad & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu\cdot\alpha+\kappa\cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13858.11 \\ 13769.01 \\ 13609.52 \\ 13522.02 \\ 13435.08 \\ 13153.51 \\ 13068.95 \\ 12557.44 \\ 12156.43 \\ 12078.27 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$n = 11$ $\qquad\qquad$ $i = 1, 2..n$

$$\Delta\theta_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 7.45 \\ 9.59 \\ 0 \\ 4.22 \\ 0 \\ 0 \\ 1.49 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} ° \qquad \Delta\theta_{planta} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} °$$

$$\theta_i = \begin{cases} 0rad & \text{if } i = 1 \\ \theta_{(i-1)} + \sqrt{\left(\Delta\theta_{elevação_i}\right)^2 + \left(\Delta\theta_{planta_i}\right)^2} & \text{if } i > 1 \\ i \cdot rad & \text{otherwise} \end{cases}$$

$\sigma_{dir} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \theta + \kappa \cdot S)}$

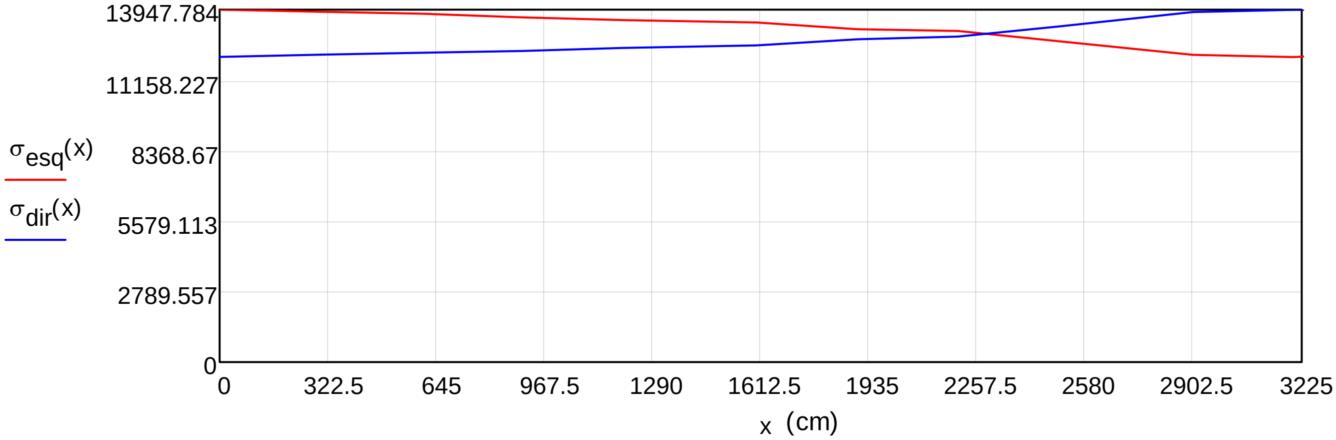
$$\sigma_{dir} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13858.11 \\ 13415.56 \\ 12890.49 \\ 12807.61 \\ 12539.19 \\ 12458.58 \\ 12378.48 \\ 12235.09 \\ 12156.43 \\ 12078.27 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$a = \mathrm{cspline}(S, \sigma_{esq})$

$b = \mathrm{cspline}(S, \sigma_{dir})$

$\sigma_{esq}(x) = \mathrm{interp}\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$

$\sigma_{dir}(x) = \mathrm{interp}\left(\frac{b}{g}, S, \frac{\mathrm{reverse}(\sigma_{dir})}{g}, x\right)$



$c = \frac{L}{2}$

$d = 0m$

Given

$d = \sigma_{esq}(c)$

$d = \sigma_{dir}(c)$

$\begin{pmatrix} \text{interseção} \\ \sigma_{\text{interseção}} \end{pmatrix} = \mathrm{Find}(c, d)$

$\text{interseção} = 2322.8 \cdot cm$

$\sigma_{\text{interseção}} = 12997.85017 \cdot \frac{kg}{cm^2}$

$$\text{Área}_1 = \int_0^{\text{interseção}} \sigma_{esq}(x)\,dx \qquad \text{Área}_1 = 314457.93 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$\text{Área}_2 = \int_{\text{interseção}}^{L} \sigma_{dir}(x)\,dx \qquad \text{Área}_2 = 122778.67 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$\text{Área} = (\text{Área}_1) + (\text{Área}_2) \qquad \text{Área} = 437236.6 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

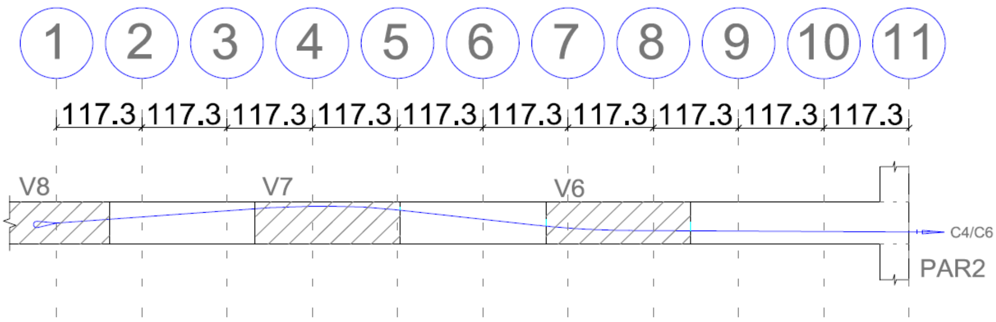
$$\sigma_m = \frac{\text{Área}}{L} \qquad \sigma_m = 13557.72 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$$L_{cabo} = 33.90m \qquad \text{Área}_{teórica\_aço} = 143.4 \cdot mm^2 \qquad E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$$

$$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot \text{Área}_{teórica\_aço} = 19.4 \cdot t$$

$$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 236 \cdot mm$$

CABOS C4=C6 (6ø15.2mm)



$$\text{Área}_{teórica\_aço} = 143.4mm^2 \qquad fptk = \frac{265.8kN}{\text{Área}_{teórica\_aço}} = 1853.56\,MPa \qquad fpyk = \frac{239.2kN}{\text{Área}_{teórica\_aço}} = 1668.06\,MPa$$

$$\sigma_{pi} = \min(0.74 \cdot fptk, 0.82 \cdot fpyk) = 1367.81\,MPa$$

$$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78 \cdot \frac{kgf}{cm^2} \qquad \mu = 0.20 \qquad \beta = 0.01 \frac{rad}{m} \qquad e = 2.72 \qquad L = 11.73m$$

$$\kappa = \beta \cdot \mu = 0.002 \cdot \frac{rad}{m} \qquad n = 11 \qquad i = 1, 2 .. n$$

$$S := 0cm, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 117.3 \\ 234.6 \\ 351.9 \\ 469.2 \\ 586.5 \\ 703.8 \\ 821.1 \\ 938.4 \\ 1055.7 \\ 1173 \end{pmatrix} cm \qquad \Delta\alpha_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 2.16 \\ 8.54 \\ 0 \\ 3.11 \\ 3.05 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} {}^{\circ}$$

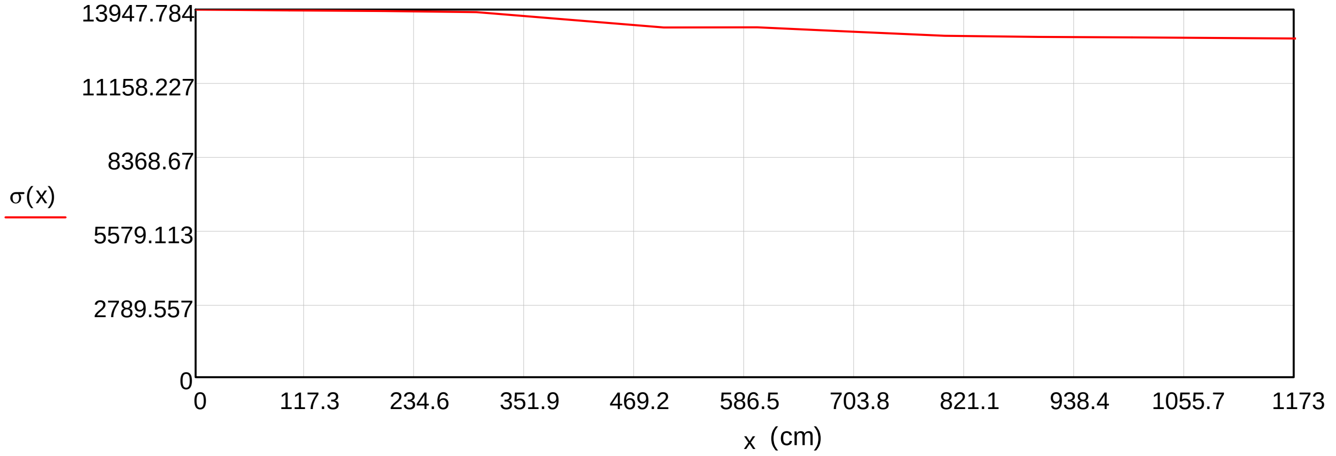
$$\alpha_i := \left| \begin{array}{l} 0rad \quad \text{if} \quad i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \Delta\alpha_{elevação_i} \quad \text{if} \quad i > 1 \\ i \cdot rad \quad \text{otherwise} \end{array} \right.$$

$$\sigma_{esq} := \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13915.1 \\ 13882.49 \\ 13745.93 \\ 13310.94 \\ 13279.75 \\ 13105.59 \\ 12936.41 \\ 12906.1 \\ 12875.86 \\ 12845.69 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$$a := cspline(S, \sigma_{esq})$$

$$\sigma(x) := interp\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$$



$$Área = \int_0^L \sigma(x)\,dx \qquad Área = 156423.79 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

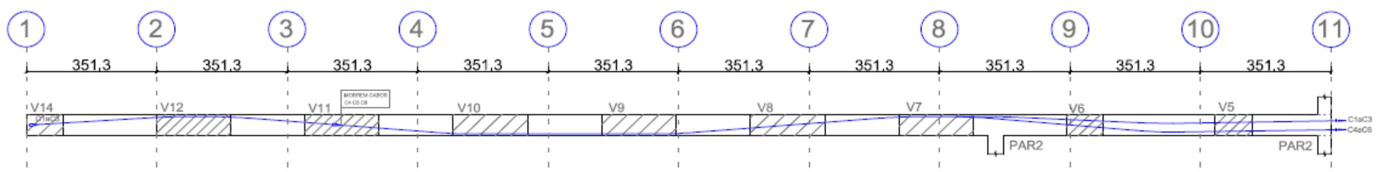
$$\sigma_m = \frac{Área}{L} \qquad \sigma_m = 13335.36 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$$L_{cabo} = 12.55m \qquad Área_{teórica\_aço} = 143.4 \cdot mm^2 \qquad E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$$

$$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot Área_{teórica\_aço} = 19.1 \cdot t$$

$$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 86 \cdot mm$$

CABO C5 (6ø15.2mm)



$$Área_{teórica\_aço} = 143.4mm^2 \qquad fptk = \frac{265.8kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1853.56\,MPa \qquad fpyk = \frac{239.2kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1668.06\,MPa$$

$$\sigma_{pi} = \min(0.74 \cdot fptk, 0.82 \cdot fpyk) = 1367.81\,MPa$$

$$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78 \cdot \frac{kgf}{cm^2} \qquad \mu = 0.20 \qquad \beta = 0.01 \frac{rad}{m} \qquad e = 2.72 \qquad L = 32.25m$$

$$\kappa = \beta \cdot \mu = 0.002 \cdot \frac{rad}{m} \qquad n = 11 \qquad i = 1, 2 .. n$$

$$S = 0cm, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 322.5 \\ 645 \\ 967.5 \\ 1290 \\ 1612.5 \\ 1935 \\ 2257.5 \\ 2580 \\ 2902.5 \\ 3225 \end{pmatrix} cm \qquad \Delta\alpha_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1.49 \\ 0 \\ 0 \\ 4.22 \\ 0 \\ 10.7 \\ 6.16 \\ 0 \end{pmatrix} ° \qquad \Delta\alpha_{planta} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} °$$

$$\alpha_i = \begin{cases} 0rad & \text{if } i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \sqrt{\left(\Delta\alpha_{elevação_i}\right)^2 + \left(\Delta\alpha_{planta_i}\right)^2} & \text{if } i > 1 \\ i \cdot rad & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13858.11 \\ 13769.01 \\ 13609.52 \\ 13522.02 \\ 13435.08 \\ 13153.51 \\ 13068.95 \\ 12508.88 \\ 12164.07 \\ 12085.86 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$n = 11$ $\qquad\qquad$ $i = 1, 2..n$

$$\Delta\theta_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 6.16 \\ 10.7 \\ 0 \\ 4.22 \\ 0 \\ 0 \\ 1.49 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}° \qquad \Delta\theta_{planta} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}°$$

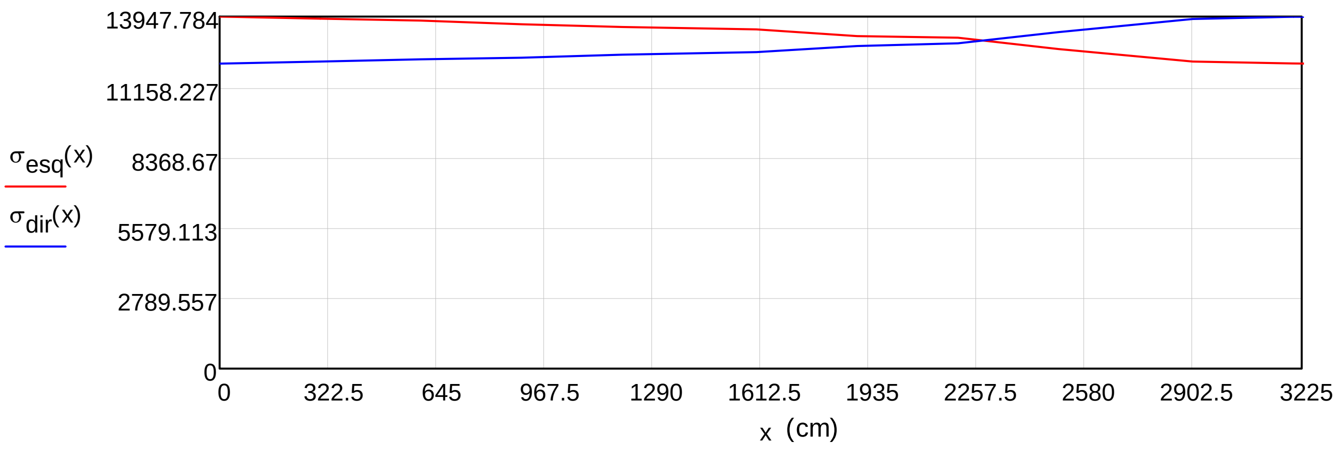
$$\theta_i = \left| \begin{array}{l} 0rad \quad \text{if} \quad i = 1 \\ \theta_{(i-1)} + \sqrt{\left(\Delta\theta_{elevação_i}\right)^2 + \left(\Delta\theta_{planta_i}\right)^2} \quad \text{if} \quad i > 1 \\ i \cdot rad \quad \text{otherwise} \end{array} \right.$$

$$\sigma_{dir} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \theta + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{dir} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13858.11 \\ 13476.11 \\ 12898.59 \\ 12815.66 \\ 12547.07 \\ 12466.41 \\ 12386.26 \\ 12242.78 \\ 12164.07 \\ 12085.86 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$a = \text{cspline}\left(S, \sigma_{esq}\right)$ $\qquad\qquad$ $b = \text{cspline}\left(S, \sigma_{dir}\right)$

$\sigma_{esq}(x) = \text{interp}\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$ $\qquad\qquad$ $\sigma_{dir}(x) = \text{interp}\left(\frac{b}{g}, S, \frac{\text{reverse}\left(\sigma_{dir}\right)}{g}, x\right)$



$c = \frac{L}{2}$ $\quad\quad$ $d = 0m$

Given

$d = \sigma_{esq}(c)$ $\quad\quad$ $d = \sigma_{dir}(c)$

$\begin{pmatrix} \text{interseção} \\ \sigma_{\text{interseção}} \end{pmatrix} = \text{Find}(c, d)$ $\quad\quad$ $\text{interseção} = 2313.97 \cdot cm$

$\sigma_{\text{interseção}} = 13000.762263 \cdot \frac{kg}{cm^2}$

$\text{Área}_1 = \int_0^{\text{interseção}} \sigma_{esq}(x)\, dx$ $\quad\quad$ $\text{Área}_1 = 313317.05 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$

$\text{Área}_2 = \int_{\text{interseção}}^{L} \sigma_{dir}(x)\, dx$ $\quad\quad$ $\text{Área}_2 = 124127.65 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$

$\text{Área} = (\text{Área}_1) + (\text{Área}_2)$ $\quad\quad$ $\text{Área} = 437444.7 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$

$\sigma_m = \frac{\text{Área}}{L}$ $\quad\quad$ $\sigma_m = 13564.18 \cdot \frac{kg}{cm^2}$

$L_{cabo} = 33.90m$ $\quad\quad$ $\text{Área}_{\text{teórica\_aço}} = 143.4 \cdot mm^2$ $\quad\quad$ $E_{\text{teórico\_aço}} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$

$F_{\text{média\_cabo}} = \sigma_m \cdot \text{Área}_{\text{teórica\_aço}} = 19.5 \cdot t$

$\Delta L_{\text{teórico}} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{\text{teórico\_aço}}} = 236 \cdot mm$

V29 - CÁLCULO DAS ARMADURAS DE FRETAGEM

a_0 = Área da placa de distribuição

b = Distância entre eixos das ancoragens

c = Distância entre as ancoragens

d = Distância entre a face do concreto ao eixo da ancoragem

n = Quantidade de ancoragens em elevação

q = Quantidade de cabos alinhados em cada grupo (seção transversal)

EXTREMIDADE ATIVA (Esquerda)

$b = 25\text{cm}$ $\quad n = 2$ $\quad q = 3$ $\quad F_{inicial} = 6 \cdot \sigma_1 \cdot \text{Área}_{teórica\_aço} = 1176.86\,\text{kN}$

$a_0 = 22\text{cm}$ $\quad c = 2.5\text{cm}$

$d = 17.5\text{cm}$ $\quad a_1 = a_0 + c = 24.5\,\text{cm}$

$F_1 = F_{inicial} \cdot \cos(2°) = 1176.15\,\text{kN}$ $\quad F_2 = F_{inicial} \cdot \cos(0°) = 1176.86\,\text{kN}$

$$T_1 = 0.25 \cdot F_1 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 30\,\text{kN} \qquad T_2 = 0.25 \cdot F_2 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 30.02\,\text{kN}$$

$a_2 = 2 \cdot d + (n - 1) \cdot b = 60\,\text{cm}$

$$F = \begin{pmatrix} 1176.15 \\ 1176.86 \end{pmatrix} \text{kN} \qquad T = \begin{pmatrix} 30 \\ 30.02 \end{pmatrix} \text{kN} \qquad \sum F = 2353.01\,\text{kN}$$

$$T_n = \frac{2}{3} \cdot \left(1 - \frac{n \cdot a_1}{a_2}\right) \cdot \sum F = 287.59\,\text{kN} \qquad fyd = 43.48\,\frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$As_1 = \frac{\max(T)}{fyd} = 0.69\,\text{cm}^2 \qquad As_2 = q \cdot \left(\frac{T_n}{fyd}\right) = 19.84\,\text{cm}^2$$

EXTREMIDADE ATIVA (Direita)

$q = 4$

$F_{inicial} = 1176.86\,kN$

$a_0 = 22\,cm$

$d = 30cm$

$a_1 = 2 \cdot d = 60 \cdot cm$

$F = q \cdot F_{inicial} \cdot \cos(1°) = 4706.74\,kN$

$T = 0.25 \cdot F \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 745.23\,kN$

$fyd = 43.48 \cdot \frac{kN}{cm^2}$

$As_4 = \frac{T}{fyd} = 17.14\,cm^2$

$As_{fretagem} = As_1 = 0.69\,cm^2$

Adotado espiral ø10mm - 5 passos por cabo em cada trecho de ancoragem ativa e passiva.

$As_{estribos} = \frac{\max(As_2, As_4)}{4} = 4.96\,cm^2$

$L = \max(a_1, a_2) = 60\,cm$

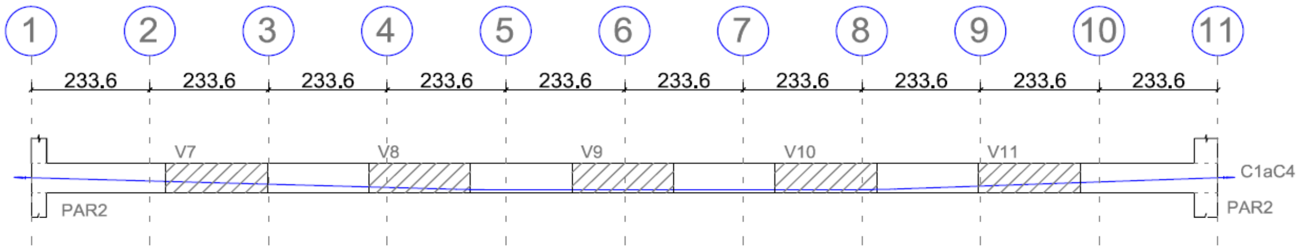
$bitola_{estribo} = 8mm$

$adotados = ceil\left(\frac{As_{estribos}}{bitola_{estribo}^{\,2}}\right) = 8$

Estribos duplos $adotados = 8$ ø8.0mm em cada trecho de ancoragem ativa e passiva distribuídos em $L = 60\,cm$

V30 (1° PAVIMENTO) - CABOS C1 a C4

CABOS C1=C2=C3=C4 (4ø15.2mm)



$Área_{teórica\_aço} = 143.4mm^2$ $\quad fptk = \dfrac{265.8kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1853.56\,MPa$ $\quad fpyk = \dfrac{239.2kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1668.06\,MPa$

$\sigma_{pi} = \min(0.74\cdot fptk, 0.82\cdot fpyk) = 1367.81\,MPa$

$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78\cdot\dfrac{kgf}{cm^2}$ $\quad \mu = 0.20$ $\quad \beta = 0.01\dfrac{rad}{m}$ $\quad e = 2.72$ $\quad L = 23.36m$

$\kappa = \beta\cdot\mu = 0.002\cdot\dfrac{rad}{m}$ $\quad n = 11$ $\quad i = 1, 2 .. n$

$$S = 0cm, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 233.6 \\ 467.2 \\ 700.8 \\ 934.4 \\ 1168 \\ 1401.6 \\ 1635.2 \\ 1868.8 \\ 2102.4 \\ 2336 \end{pmatrix} cm \qquad \Delta\alpha_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1.59 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 2.05 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}° \qquad \Delta\alpha_{planta} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}°$$

$$\alpha_i = \begin{vmatrix} 0rad \quad \text{if} \quad i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \sqrt{\left(\Delta\alpha_{elevação_i}\right)^2 + \left(\Delta\alpha_{planta_i}\right)^2} \quad \text{if} \quad i > 1 \\ i\cdot rad \quad \text{otherwise} \end{vmatrix}$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13882.77 \\ 13818.06 \\ 13753.66 \\ 13613.78 \\ 13550.32 \\ 13487.16 \\ 13424.3 \\ 13266.45 \\ 13204.62 \\ 13143.07 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$n = 11$ $\qquad$ $(i = 1, 2 .. n)$

$$\Delta\theta_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 2.05 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1.59 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} {}^{\circ} \qquad \Delta\theta_{planta} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} {}^{\circ}$$

$$\theta_i = \left| \begin{array}{ll} 0rad & \text{if } i = 1 \\ \theta_{(i-1)} + \sqrt{\left(\Delta\theta_{elevação_i}\right)^2 + \left(\Delta\theta_{planta_i}\right)^2} & \text{if } i > 1 \\ i \cdot rad & \text{otherwise} \end{array} \right.$$

$$\sigma_{dir} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \theta + \kappa \cdot S)}$$

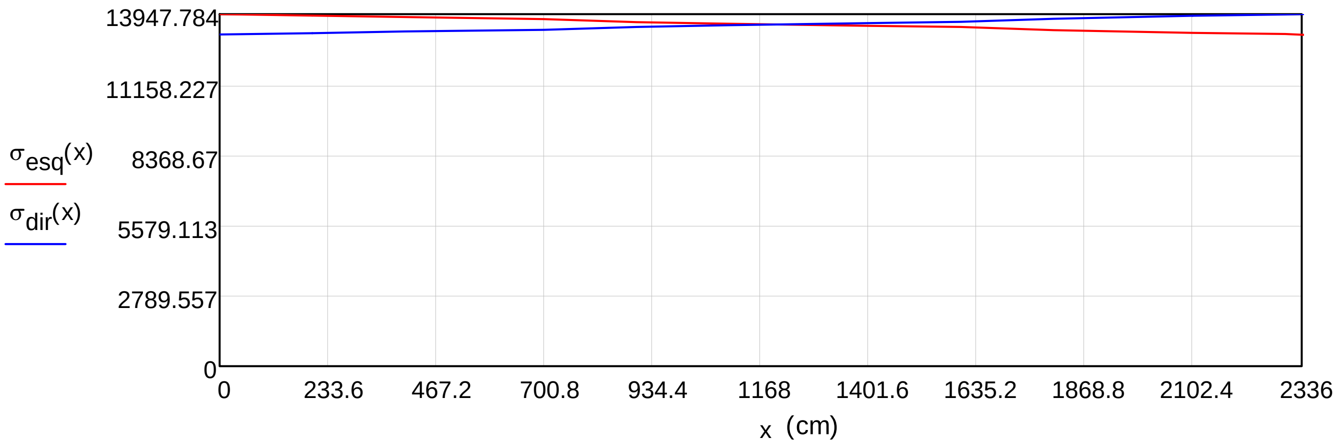
$$\sigma_{dir} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13882.77 \\ 13818.06 \\ 13655.59 \\ 13591.94 \\ 13528.58 \\ 13465.53 \\ 13328.58 \\ 13266.45 \\ 13204.62 \\ 13143.07 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$a = \text{cspline}(S, \sigma_{esq})$

$b = \text{cspline}(S, \sigma_{dir})$

$\sigma_{esq}(x) = \text{interp}\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$

$\sigma_{dir}(x) = \text{interp}\left(\frac{b}{g}, S, \frac{\text{reverse}(\sigma_{dir})}{g}, x\right)$



$c = \frac{L}{2}$

$d = 0m$

Given

$d = \sigma_{esq}(c)$

$d = \sigma_{dir}(c)$

$\begin{pmatrix} \text{interseção} \\ \sigma_{\text{interseção}} \end{pmatrix} = \text{Find}(c, d)$

$\text{interseção} = 1205.87 \cdot cm$

$\sigma_{\text{interseção}} = 13540.775951 \cdot \frac{kg}{cm^2}$

$$Área_1 = \int_0^{interseção} \sigma_{esq}(x)\,dx \qquad Área_1 = 165887.25 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$Área_2 = \int_{interseção}^{L} \sigma_{dir}(x)\,dx \qquad Área_2 = 155325.26 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$Área = (Área_1) + (Área_2) \qquad Área = 321212.51 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$\sigma_m = \frac{Área}{L} \qquad \sigma_m = 13750.54 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$$L_{cabo} = 25.00m \qquad Área_{teórica\_aço} = 143.4 \cdot mm^2 \qquad E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$$

$$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot Área_{teórica\_aço} = 19.7 \cdot t$$

$$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 176 \cdot mm$$

V30 - CÁLCULO DAS ARMADURAS DE FRETAGEM

a_0 = Área da placa de distribuição

d = Distância entre a face do concreto ao eixo da ancoragem

n = Número de ancoragens

$$n = 4 \qquad F_{inicial} = 4 \cdot \sigma_1 \cdot Área_{teórica\_aço} = 784.58\,kN$$

$$a_0 = 18cm$$

$$d = 30cm \qquad a_1 = 2 \cdot d = 60 \cdot cm$$

$$F = n \cdot F_{inicial} \cdot \cos(3°) = 3134\,kN \qquad T = 0.25 \cdot F \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 548.45\,kN \qquad fyd = 43.48 \frac{kN}{cm^2}$$

$$As_1 = \frac{T}{fyd} = 12.61\,cm^2$$

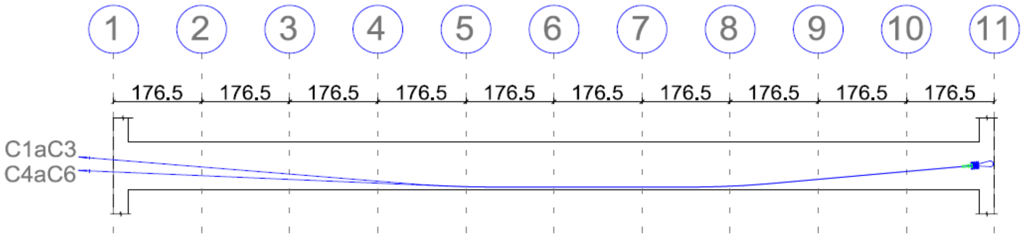
$$As_{estribos} = \frac{As_1}{4} = 3.15\,cm^2$$

$$L = a_1 = 60\,cm \qquad bitola_{estribo} = 8mm \qquad adotados = ceil\left(\frac{As_{estribos}}{bitola_{estribo}^2}\right) = 5$$

Estribos duplos adotados = 5 ø8.0mm em cada trecho de ancoragem ativa distribuídos em L = 60 cm

V31 (1° PAVIMENTO) - CABOS C1 a C6

CABOS C1=C2=C3 (6ø15.2mm)



$\text{Área}_{\text{teórica\_aço}} = 143.4\text{mm}^2$ $\quad$ $\text{fptk} = \dfrac{265.8\text{kN}}{\text{Área}_{\text{teórica\_aço}}} = 1853.56\,\text{MPa}$ $\quad$ $\text{fpyk} = \dfrac{239.2\text{kN}}{\text{Área}_{\text{teórica\_aço}}} = 1668.06\,\text{MPa}$

$\sigma_{pi} = \min(0.74\cdot\text{fptk}, 0.82\cdot\text{fpyk}) = 1367.81\,\text{MPa}$

$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78\cdot\dfrac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$ $\quad$ $\mu = 0.20$ $\quad$ $\beta = 0.01\dfrac{\text{rad}}{\text{m}}$ $\quad$ $e = 2.72$ $\quad$ $L = 17.65\text{m}$

$\kappa = \beta\cdot\mu = 0.002\cdot\dfrac{\text{rad}}{\text{m}}$ $\quad$ $n = 11$ $\quad$ $i = 1, 2..n$

$$S = 0\text{cm}, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 176.5 \\ 353 \\ 529.5 \\ 706 \\ 882.5 \\ 1059 \\ 1235.5 \\ 1412 \\ 1588.5 \\ 1765 \end{pmatrix}\text{cm} \qquad \Delta\alpha_{\text{elevação}} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 3.71 \\ 1.55 \\ 0 \\ 2.08 \\ 2.72 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}{}^{\circ}$$

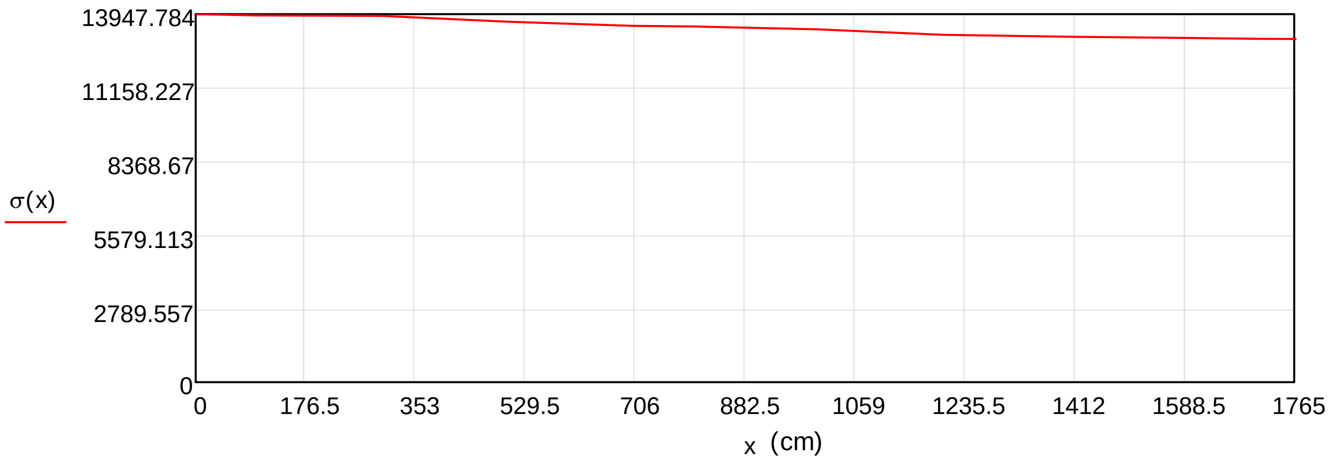
$$\alpha_i = \begin{cases} 0\text{rad} & \text{if } i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \Delta\alpha_{\text{elevação}_i} & \text{if } i > 1 \\ i\cdot\text{rad} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13898.63 \\ 13849.66 \\ 13623.28 \\ 13502.03 \\ 13454.45 \\ 13310.05 \\ 13137.81 \\ 13091.52 \\ 13045.39 \\ 12999.42 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$$a = \text{cspline}(S, \sigma_{esq})$$

$$\sigma(x) = \text{interp}\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$$



$$\text{Área} = \int_0^L \sigma(x)\,dx \qquad \text{Área} = 237173.21 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$\sigma_m = \frac{\text{Área}}{L} \qquad \sigma_m = 13437.58 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$$L_{cabo} = 18.05m \qquad \text{Área}_{teórica\_aço} = 143.4 \cdot mm^2 \qquad E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$$

$$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot \text{Área}_{teórica\_aço} = 19.3 \cdot t$$

$$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 124 \cdot mm$$

CABOS C4=C5=C6 (6ø15.2mm)

$Área_{teórica\_aço} = 143.4mm^2$ $fptk = \dfrac{265.8kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1853.56\,MPa$ $fpyk = \dfrac{239.2kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1668.06\,MPa$

$\sigma_{pi} = \min(0.74 \cdot fptk, 0.82 \cdot fpyk) = 1367.81\,MPa$

$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78 \cdot \dfrac{kgf}{cm^2}$ $\mu = 0.20$ $\beta = 0.01 \dfrac{rad}{m}$ $e = 2.72$ $L = 17.65m$

$\kappa = \beta \cdot \mu = 0.002 \cdot \dfrac{rad}{m}$ $n = 11$ $i = 1, 2 .. n$

$$S = 0cm, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 176.5 \\ 353 \\ 529.5 \\ 706 \\ 882.5 \\ 1059 \\ 1235.5 \\ 1412 \\ 1588.5 \\ 1765 \end{pmatrix} cm \qquad \Delta\alpha_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 3.7 \\ 1.57 \\ 0 \\ 1.94 \\ 0.61 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} ^\circ$$

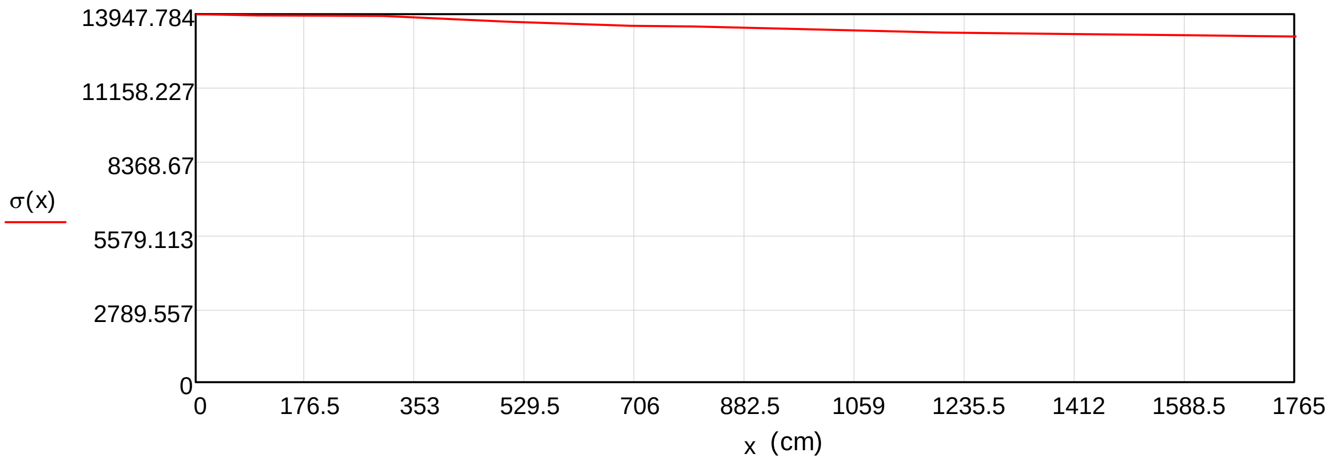
$$\alpha_i = \left| \begin{array}{l} 0rad \quad \text{if} \quad i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \Delta\alpha_{elevação_i} \quad \text{if} \quad i > 1 \\ i \cdot rad \quad \text{otherwise} \end{array} \right.$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13898.63 \\ 13849.66 \\ 13623.76 \\ 13501.55 \\ 13453.98 \\ 13316.09 \\ 13240.94 \\ 13194.28 \\ 13147.79 \\ 13101.46 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$$a = \mathrm{cspline}(S, \sigma_{esq})$$

$$\sigma(x) = \mathrm{interp}\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$$



$$\text{Área} = \int_0^L \sigma(x)\, dx \qquad \text{Área} = 237819.96 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$\sigma_m = \frac{\text{Área}}{L} \qquad \sigma_m = 13474.22 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$$L_{cabo} = 18.05m \qquad \text{Área}_{teórica\_aço} = 143.4 \cdot mm^2 \qquad E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$$

$$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot \text{Área}_{teórica\_aço} = 19.3 \cdot t$$

$$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 125 \cdot mm$$

V31 - CÁLCULO DAS ARMADURAS DE FRETAGEM

a_0 = Área da placa de distribuição

b = Distância entre eixos das ancoragens

c = Distância entre as ancoragens

d = Distância entre a face do concreto ao eixo da ancoragem

n = Quantidade de ancoragens em elevação

q = Quantidade de cabos alinhados em cada grupo (seção transversal)

EXTREMIDADE ATIVA (Esquerda)

$b = 25cm$ $\quad n = 2$ $\quad q = 3$ $\quad F_{inicial} = 6 \cdot \sigma_1 \cdot Área_{teórica\_aço} = 1176.86\,kN$

$a_0 = 22cm$ $\quad c = 2.6cm$

$d = 37.5cm$ $\quad a_1 = a_0 + c = 24.6\,cm$

$F_1 = F_{inicial} \cdot \cos(2°) = 1176.15\,kN$ $\quad F_2 = F_{inicial} \cdot \cos(5°) = 1172.39\,kN$

$T_1 = 0.25 \cdot F_1 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 31.08\,kN$ $\quad T_2 = 0.25 \cdot F_2 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 30.98\,kN$

$a_2 = 2 \cdot d + (n - 1) \cdot b = 100\,cm$

$F = \begin{pmatrix} 1176.15 \\ 1172.39 \end{pmatrix} kN$ $\quad T = \begin{pmatrix} 31.08 \\ 30.98 \end{pmatrix} kN$ $\quad \sum F = 2348.53\,kN$

$T_n = \frac{2}{3} \cdot \left(1 - \frac{n \cdot a_1}{a_2}\right) \cdot \sum F = 795.37\,kN$ $\quad fyd = 43.48\,\frac{kN}{cm^2}$

$As_1 = \frac{\max(T)}{fyd} = 0.71\,cm^2$ $\quad As_2 = q \cdot \left(\frac{T_n}{fyd}\right) = 54.88\,cm^2$

EXTREMIDADE PASSIVA

$q = 6$

$F_{inicial} = 1176.86\,kN$

$a_0 = 22\,cm$

$d = 50cm$

$a_1 = 2 \cdot d = 100 \cdot cm$

$F = q \cdot F_{inicial} \cdot \cos(3°) = 7051.51\,kN$

$T = 0.25 \cdot F \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 1375.04\,kN$

$fyd = 43.48 \cdot \frac{kN}{cm^2}$

$As_4 = \frac{T}{fyd} = 31.62\,cm^2$

$As_{fretagem} = As_1 = 0.71\,cm^2$

Adotado espiral ø10mm - 5 passos por cabo em cada trecho de ancoragem ativa e passiva.

$As_{estribos} = \frac{\max(As_2, As_4)}{4} = 13.72\,cm^2$

$L = \max(a_1, a_2) = 100\,cm$

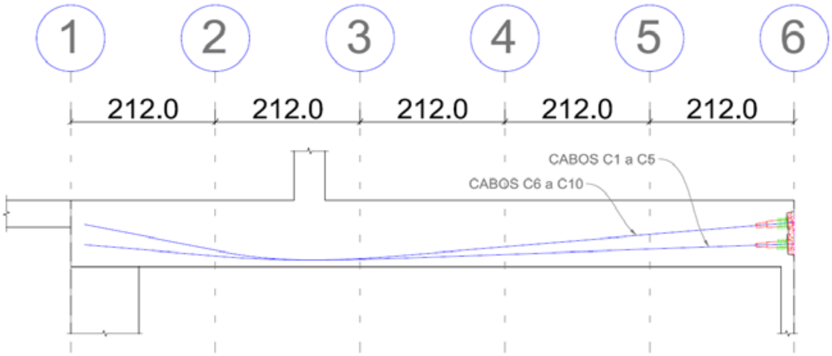
$bitola_{estribo} = 12.5mm$

$adotados = ceil\left[\frac{As_{estribos}}{\left(\frac{\pi \cdot bitola_{estribo}^2}{4}\right)}\right] = 12$

Estribos duplos $adotados = 12$ ø12.5mm em cada trecho de ancoragem ativa e passiva distribuídos em $L = 100\,cm$

VREF - CABOS C1 a C10

CABOS C1=C2=C3=C4=C5 (6ø15.2mm)



$t = \text{tonne}$

$\text{Área}_{\text{teórica\_aço}} = 143.4\text{mm}^2 \qquad \text{fptk} = \dfrac{265.8\text{kN}}{\text{Área}_{\text{teórica\_aço}}} = 1853.56\,\text{MPa} \qquad \text{fpyk} = \dfrac{239.2\text{kN}}{\text{Área}_{\text{teórica\_aço}}} = 1668.06\,\text{MPa}$

$\sigma_{pi} = \min(0.74\cdot\text{fptk}, 0.82\cdot\text{fpyk}) = 1367.81\,\text{MPa}$

$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78\cdot\dfrac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \qquad \mu = 0.20 \qquad \beta = 0.01\dfrac{\text{rad}}{\text{m}} \qquad e = 2.72 \qquad L = 10.60\text{m}$

$\kappa = \beta\cdot\mu = 0.002\cdot\dfrac{\text{rad}}{\text{m}} \qquad n = 6 \qquad i = 1, 2 .. n$

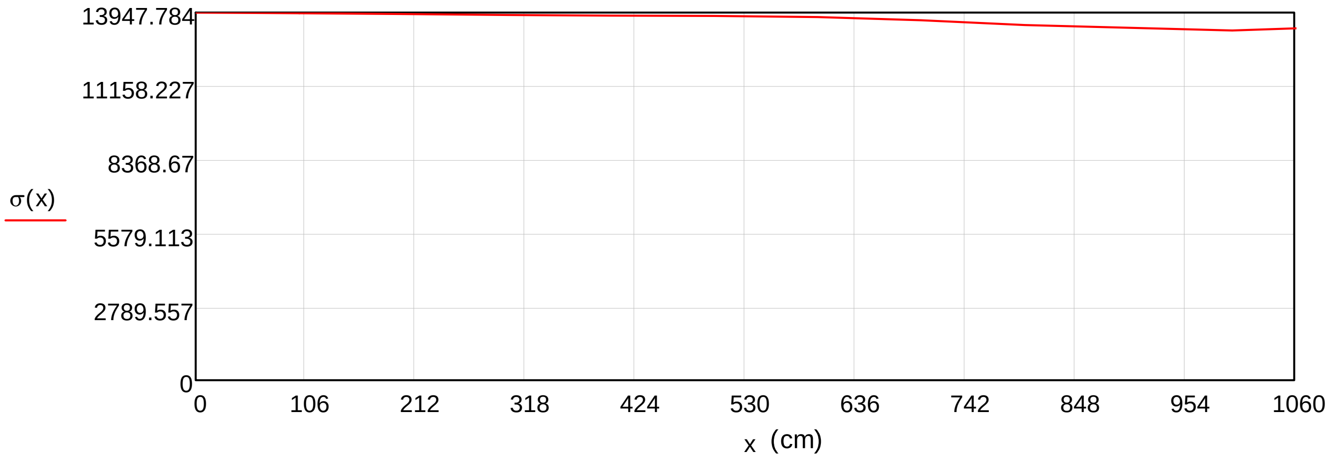
$$S = 0\text{cm}, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 212 \\ 424 \\ 636 \\ 848 \\ 1060 \end{pmatrix}\text{cm} \qquad \Delta\alpha_{\text{elevação}} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0.5 \\ 6.26 \\ 0.38 \end{pmatrix}^\circ$$

$$\alpha_i = \begin{cases} 0\text{rad} & \text{if } i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \Delta\alpha_{\text{elevação}_i} & \text{if } i > 1 \\ i\cdot\text{rad} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1\cdot e^{-(\mu\cdot\alpha+\kappa\cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13888.77 \\ 13830.01 \\ 13747.48 \\ 13393.42 \\ 13319.08 \end{pmatrix}\cdot\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma(x) = \text{interp}\left(\frac{\text{cspline}(S, \sigma_{esq})}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$$



$$\text{Área} = \int_0^L \sigma(x)\, dx \qquad \text{Área} = 145142.69 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$\sigma_m = \frac{\text{Área}}{L} \qquad \sigma_m = 13692.71 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$$L_{cabo} = 11.20m \qquad \text{Área}_{teórica\_aço} = 143.4 \cdot mm^2 \qquad E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$$

$$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot \text{Área}_{teórica\_aço} = 19.6 \cdot t$$

$$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 79 \cdot mm$$

CABOS C6=C7=C8=C9=C10 (6ø15.2mm)

$$Área_{teórica\_aço} = 143.4mm^2 \qquad fptk = \frac{265.8kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1853.56\,MPa \qquad fpyk = \frac{239.2kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1668.06\,MPa$$

$$\sigma_{pi} = \min(0.74 \cdot fptk, 0.82 \cdot fpyk) = 1367.81\,MPa$$

$$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78 \cdot \frac{kgf}{cm^2} \qquad \mu = 0.20 \qquad \beta = 0.01\frac{rad}{m} \qquad e = 2.72 \qquad L = 10.60m$$

$$\kappa = \beta \cdot \mu = 0.002 \cdot \frac{rad}{m} \qquad n = 6 \qquad i = 1, 2 .. n$$

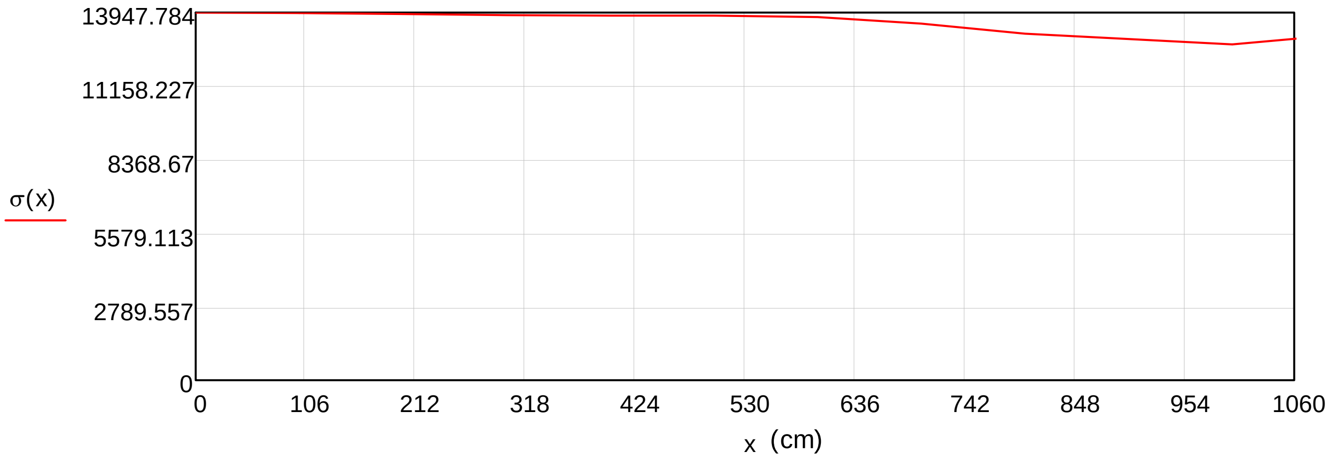
$$S = 0cm, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 212 \\ 424 \\ 636 \\ 848 \\ 1060 \end{pmatrix} cm \qquad \Delta\alpha_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1.25 \\ 14.68 \\ 0.61 \end{pmatrix} °$$

$$\alpha_i = \left| \begin{array}{l} 0rad \quad \text{if} \quad i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \Delta\alpha_{elevação_i} \quad \text{if} \quad i > 1 \\ i \cdot rad \quad \text{otherwise} \end{array} \right.$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13888.77 \\ 13830.01 \\ 13711.53 \\ 12971.5 \\ 12889.14 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$$\sigma(x) = \text{interp}\left(\frac{\text{cspline}(S, \sigma_{esq})}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$$



$$\text{Área} = \int_0^L \sigma(x)\, dx \qquad \text{Área} = 143630.3 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$\sigma_m = \frac{\text{Área}}{L} \qquad \sigma_m = 13550.03 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$$L_{cabo} = 11.25m \qquad \text{Área}_{teórica\_aço} = 143.4 \cdot mm^2 \qquad E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$$

$$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot \text{Área}_{teórica\_aço} = 19.4 \cdot t$$

$$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 78 \cdot mm$$

VREF - CÁLCULO DAS ARMADURAS DE FRETAGEM

a_0 = Área da placa de distribuição

b = Distância entre eixos das ancoragens

c = Distância entre as ancoragens

d = Distância entre a face do concreto ao eixo da ancoragem

n = Quantidade de ancoragens em elevação

q = Quantidade de cabos alinhados em cada grupo (seção transversal)

EXTREMIDADE ATIVA

$b = 32cm$ $\quad n = 2$ $\quad q = 5$ $\quad F_{inicial} = 6\cdot\sigma_1\cdot Área_{teórica\_aço} = 1176.86\,kN$

$a_0 = 22cm$ $\quad c = 10cm$

$d = 34cm$ $\quad a_1 = a_0 + c = 32\,cm$

$F_1 = F_{inicial}\cdot\cos(5°) = 1172.39\,kN$ $\quad F_2 = F_{inicial}\cdot\cos(2°) = 1176.15\,kN$

$$T_1 = 0.25\cdot F_1\cdot\left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 91.59\,kN \qquad T_2 = 0.25\cdot F_2\cdot\left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 91.89\,kN$$

$a_2 = 2\cdot d + (n-1)\cdot b = 100\,cm$ $\quad k = 1..n$

$$F_k = \begin{pmatrix} 1172.39 \\ 1176.15 \end{pmatrix} kN \qquad T_k = \begin{pmatrix} 91.59 \\ 91.89 \end{pmatrix} kN \qquad \sum F = 2348.53\,kN$$

$$T_n = \frac{2}{3}\cdot\left(1 - \frac{n\cdot a_1}{a_2}\right)\cdot\sum F = 563.65\,kN \qquad fyd = 43.48\,\frac{kN}{cm^2}$$

$$As_1 = q\cdot\left(\frac{\max(T)}{fyd}\right) = 10.57\,cm^2 \qquad As_2 = q\cdot\left(\frac{T_n}{fyd}\right) = 64.82\,cm^2$$

$As_{fretagem} = As_1 = 10.57\,cm^2$

Adotado espiral ø10mm - 5 passos por cabo em cada trecho de ancoragem ativa e passiva.

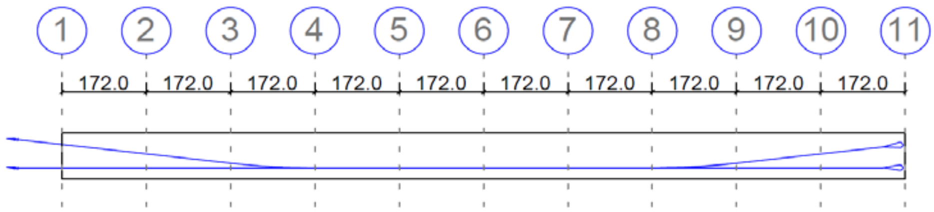
$As_{estribos} = \frac{As_2}{4} = 16.2\,cm^2$

$L = max(a_1, a_2) = 100\,cm$ $bitola_{estribo} = 12.5mm$ $adotados = ceil\left[\frac{As_{estribos}}{\left(\frac{\pi \cdot bitola_{estribo}^2}{4}\right)}\right] = 14$

Estribos duplos $adotados = 14$ ø12.5mm em cada trecho de ancoragem ativa e passiva distribuídos em $L = 100\,cm$

V1 (COBERTURA) - CABOS C1 e C2

CABO C1 (6ø15.2mm)



$t = \text{tonne}$

$\text{Área}_{\text{teórica\_aço}} = 143.4\text{mm}^2$ $\quad$ $\text{fptk} = \dfrac{265.8\text{kN}}{\text{Área}_{\text{teórica\_aço}}} = 1853.56\,\text{MPa}$ $\quad$ $\text{fpyk} = \dfrac{239.2\text{kN}}{\text{Área}_{\text{teórica\_aço}}} = 1668.06\,\text{MPa}$

$\sigma_{pi} = \min(0.74\cdot\text{fptk}, 0.82\cdot\text{fpyk}) = 1367.81\,\text{MPa}$

$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78\cdot\dfrac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$ $\quad$ $\mu = 0.20$ $\quad$ $\beta = 0.01\dfrac{\text{rad}}{\text{m}}$ $\quad$ $e = 2.72$ $\quad$ $L = 17.20\text{m}$

$\kappa = \beta\cdot\mu = 0.002\cdot\dfrac{\text{rad}}{\text{m}}$ $\quad$ $n = 11$ $\quad$ $i = 1, 2..n$

$$S = 0\text{cm}, \frac{L}{n-1}..L = \begin{pmatrix} 0 \\ 172 \\ 344 \\ 516 \\ 688 \\ 860 \\ 1032 \\ 1204 \\ 1376 \\ 1548 \\ 1720 \end{pmatrix}\text{cm} \qquad \Delta\alpha_{\text{elevação}} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 6.63 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 5.77 \\ 0.86 \\ 0 \end{pmatrix}°$$

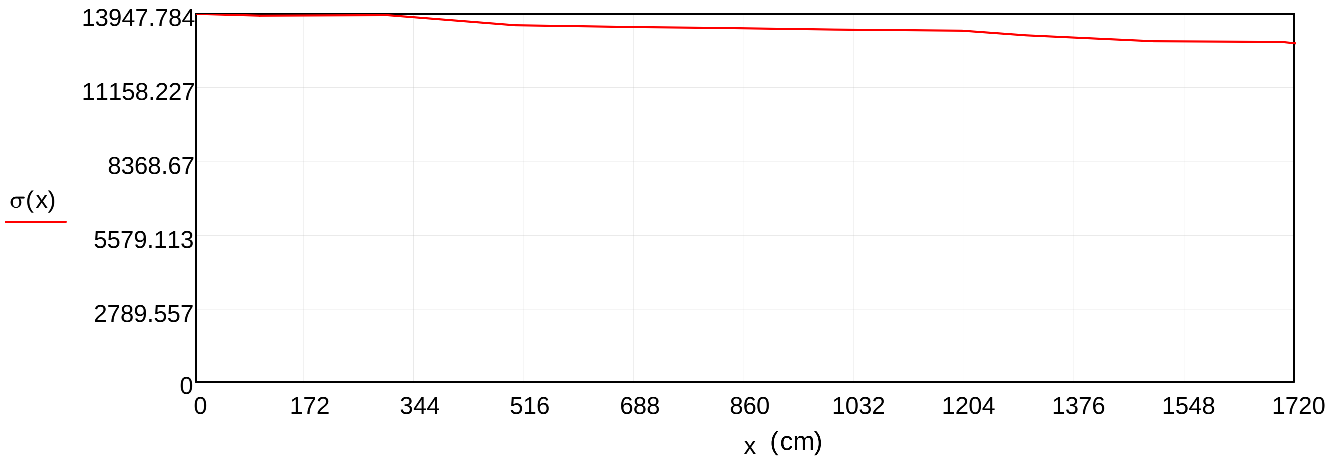
$$\alpha_i = \left| \begin{array}{ll} 0\text{rad} & \text{if } i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \Delta\alpha_{\text{elevação}_i} & \text{if } i > 1 \\ i\cdot\text{rad} & \text{otherwise} \end{array} \right.$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13899.89 \\ 13852.15 \\ 13488.77 \\ 13442.45 \\ 13396.29 \\ 13350.28 \\ 13304.44 \\ 12994.37 \\ 12910.93 \\ 12866.6 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$$a = cspline(S, \sigma_{esq})$$

$$\sigma(x) = interp\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$$



$$Área = \int_0^L \sigma(x)\, dx \qquad Área = 230546.67 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$\sigma_m = \frac{Área}{L} \qquad \sigma_m = 13403.88 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$L_{cabo} = 17.60m$ $\qquad Área_{teórica\_aço} = 143.4 \cdot mm^2$ $\qquad E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$

$$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot Área_{teórica\_aço} = 19.2 \cdot t$$

$$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 121 \cdot mm$$

CABO C2 (6ø15.2mm)

$Área_{teórica\_aço} = 143.4mm^2$ $fptk = \frac{265.8kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1853.56\,MPa$ $fpyk = \frac{239.2kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1668.06\,MPa$

$\sigma_{pi} = \min(0.74 \cdot fptk, 0.82 \cdot fpyk) = 1367.81\,MPa$

$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78 \cdot \frac{kgf}{cm^2}$ $\mu = 0.20$ $\beta = 0.01 \frac{rad}{m}$ $e = 2.72$ $L = 17.20m$

$\kappa = \beta \cdot \mu = 0.002 \cdot \frac{rad}{m}$ $n = 11$ $i = 1, 2 .. n$

$$S = 0cm, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 172 \\ 344 \\ 516 \\ 688 \\ 860 \\ 1032 \\ 1204 \\ 1376 \\ 1548 \\ 1720 \end{pmatrix} cm \qquad \Delta\alpha_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} °$$

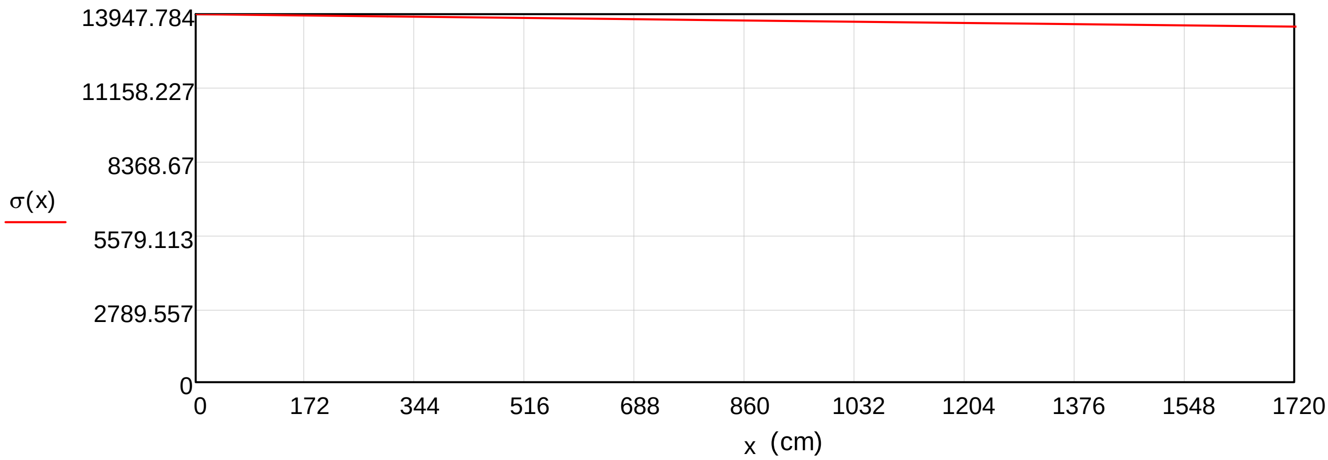
$$\alpha_i = \begin{vmatrix} 0rad & \text{if } i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \Delta\alpha_{elevação_i} & \text{if } i > 1 \\ i \cdot rad & \text{otherwise} \end{vmatrix}$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13899.89 \\ 13852.15 \\ 13804.58 \\ 13757.18 \\ 13709.93 \\ 13662.85 \\ 13615.93 \\ 13569.17 \\ 13522.58 \\ 13476.14 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$$a = \mathrm{cspline}(S, \sigma_{esq})$$

$$\sigma(x) = \mathrm{interp}\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$$



$$\text{Área} = \int_0^L \sigma(x)\, dx \qquad \text{Área} = 235822.48 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$\sigma_m = \frac{\text{Área}}{L} \qquad \sigma_m = 13710.61 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$$L_{cabo} = 17.55m \qquad \text{Área}_{teórica\_aço} = 143.4 \cdot mm^2 \qquad E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$$

$$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot \text{Área}_{teórica\_aço} = 19.7 \cdot t$$

$$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 123 \cdot mm$$

V1 - CÁLCULO DAS ARMADURAS DE FRETAGEM

a_0 = Área da placa de distribuição

b = Distância entre eixos das ancoragens

c = Distância entre as ancoragens

d = Distância entre a face do concreto ao eixo da ancoragem

n = Quantidade de ancoragens em elevação

q = Quantidade de cabos alinhados em cada grupo (seção transversal)

EXTREMIDADE ATIVA

$b = 50cm$ $n = 2$ $q = 1$ $F_{inicial} = 6 \cdot \sigma_1 \cdot Área_{teórica\_aço} = 1176.86\,kN$

$a_0 = 22cm$ $c = 28cm$

$d = 25cm$ $a_1 = 2d = 50\,cm$

$F_1 = F_{inicial} \cdot \cos(7°) = 1168.09\,kN$ $F_2 = F_{inicial} \cdot \cos(0°) = 1176.86\,kN$

$T_1 = 0.25 \cdot F_1 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 163.53\,kN$ $T_2 = 0.25 \cdot F_2 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 164.76\,kN$

$a_2 = 2 \cdot d + (n - 1) \cdot b = 100\,cm$ $k = 1..n$

$F_k = \begin{pmatrix} 1168.09 \\ 1176.86 \end{pmatrix} kN$ $T_k = \begin{pmatrix} 163.53 \\ 164.76 \end{pmatrix} kN$ $\sum F = 2344.96\,kN$

$fyd = 43.48 \frac{kN}{cm^2}$

$As_1 = q \cdot \left(\frac{\max(T)}{fyd}\right) = 3.79\,cm^2$

EXTREMIDADE PASSIVA

$b = 50cm$ $q = 1$ $F_{inicial} = 1176.86\,kN$

$a_0 = 22cm$ $c = 28cm$

$d = 25cm$ $a_1 = a_0 + c = 50\,cm$

$F_1 = F_{inicial} \cdot \cos(7°) = 1168.09\,kN$ $F_2 = F_{inicial} \cdot \cos(0°) = 1176.86\,kN$

$T_1 = 0.25 \cdot F_1 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 163.53\,kN$ $T_2 = 0.25 \cdot F_2 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 164.76\,kN$

$a_3 = 2 \cdot d + (n - 1) \cdot b = 100\,cm$

$F_k = \begin{pmatrix} 1168.09 \\ 1176.86 \end{pmatrix} kN$ $T_k = \begin{pmatrix} 163.53 \\ 164.76 \end{pmatrix} kN$ $\sum F = 2344.96\,kN$

$fyd = 43.48 \cdot \frac{kN}{cm^2}$

$As_3 = q \cdot \left(\frac{\max(T)}{fyd}\right) = 3.79\,cm^2$

$As_{fretagem} = \max(As_1, As_3) = 3.79\,cm^2$

Adotado espiral ø10mm - 5 passos por cabo em cada trecho de ancoragem ativa e passiva.

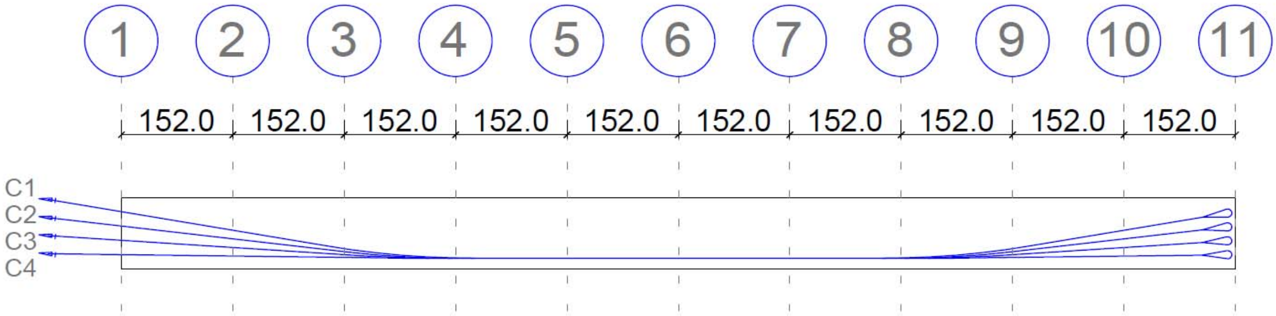
$As_{estribos} = As_{fretagem} = 3.79\,cm^2$

$L = a_2 = 100\,cm$ $bitola_{estribo} = 8mm$ $adotados = ceil\left(\frac{As_{estribos}}{bitola_{estribo}^2}\right) = 6$

Estribos $adotados = 6$ ø8.0mm em cada trecho de ancoragem ativa e passiva distribuídos em $L = 100\,cm$

V2 = V45 (COBERTURA) - CABOS C1 a C4

CABO C1 (4ø15.2mm)



$Área_{teórica\_aço} = 143.4mm^2$ $fptk = \frac{265.8kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1853.56\,MPa$ $fpyk = \frac{239.2kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1668.06\,MPa$

$\sigma_{pi} = \min(0.74 \cdot fptk, 0.82 \cdot fpyk) = 1367.81\,MPa$

$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78 \cdot \frac{kgf}{cm^2}$ $\mu = 0.20$ $\beta = 0.01 \frac{rad}{m}$ $e = 2.72$ $L = 15.20m$

$\kappa = \beta \cdot \mu = 0.002 \cdot \frac{rad}{m}$ $n = 11$ $i = 1, 2..n$

$$S = 0cm, \frac{L}{n-1}..L = \begin{pmatrix} 0 \\ 152 \\ 304 \\ 456 \\ 608 \\ 760 \\ 912 \\ 1064 \\ 1216 \\ 1368 \\ 1520 \end{pmatrix} cm \qquad \Delta\alpha_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0.63 \\ 7.09 \\ 1.98 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 6.9 \\ 2.81 \\ 0 \end{pmatrix} °$$

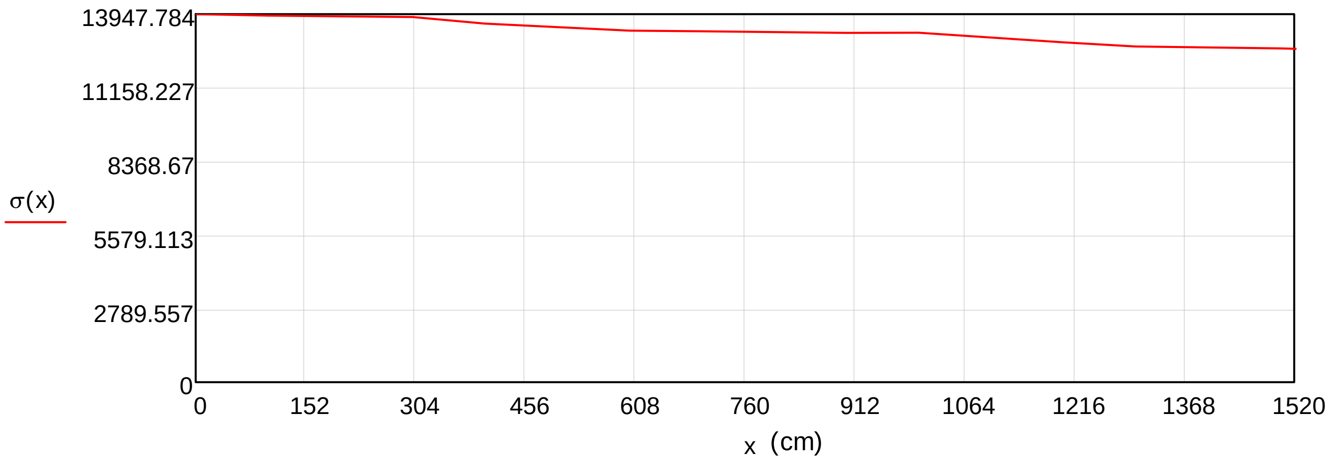
$$\alpha_i = \left| \begin{array}{ll} 0rad & \text{if } i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \Delta\alpha_{elevação_i} & \text{if } i > 1 \\ i \cdot rad & \text{otherwise} \end{array} \right.$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13905.45 \\ 13832.79 \\ 13453.68 \\ 13320.46 \\ 13280.03 \\ 13239.72 \\ 13199.53 \\ 12846.3 \\ 12682.3 \\ 12643.8 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$$a = \text{cspline}(S, \sigma_{esq})$$

$$\sigma(x) = \text{interp}\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$$



$$\text{Área} = \int_0^L \sigma(x)\,dx \qquad \text{Área} = 202227.3 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$\sigma_m = \frac{\text{Área}}{L} \qquad \sigma_m = 13304.43 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$$L_{cabo} = 15.60m \qquad \text{Área}_{teórica\_aço} = 143.4 \cdot mm^2 \qquad E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$$

$$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot \text{Área}_{teórica\_aço} = 19.1 \cdot t$$

$$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 106 \cdot mm$$

CABO C2 (4ø15.2mm)

$\text{Área}_{\text{teórica\_aço}} = 143.4\text{mm}^2$ $\quad \text{fptk} = \dfrac{265.8\text{kN}}{\text{Área}_{\text{teórica\_aço}}} = 1853.56\,\text{MPa}$ $\quad \text{fpyk} = \dfrac{239.2\text{kN}}{\text{Área}_{\text{teórica\_aço}}} = 1668.06\,\text{MPa}$

$\sigma_{pi} = \min(0.74\cdot\text{fptk}, 0.82\cdot\text{fpyk}) = 1367.81\,\text{MPa}$

$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78\cdot\dfrac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$ $\quad \mu = 0.20$ $\quad \beta = 0.01\dfrac{\text{rad}}{\text{m}}$ $\quad e = 2.72$ $\quad L = 15.20\text{m}$

$\kappa = \beta\cdot\mu = 0.002\cdot\dfrac{\text{rad}}{\text{m}}$ $\quad n = 11$ $\quad i = 1, 2 .. n$

$$S = 0\text{cm}, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 152 \\ 304 \\ 456 \\ 608 \\ 760 \\ 912 \\ 1064 \\ 1216 \\ 1368 \\ 1520 \end{pmatrix}\text{cm} \qquad \Delta\alpha_{\text{elevação}} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 6.3 \\ 0.45 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 5.34 \\ 1.41 \\ 0 \end{pmatrix}^{\circ}$$

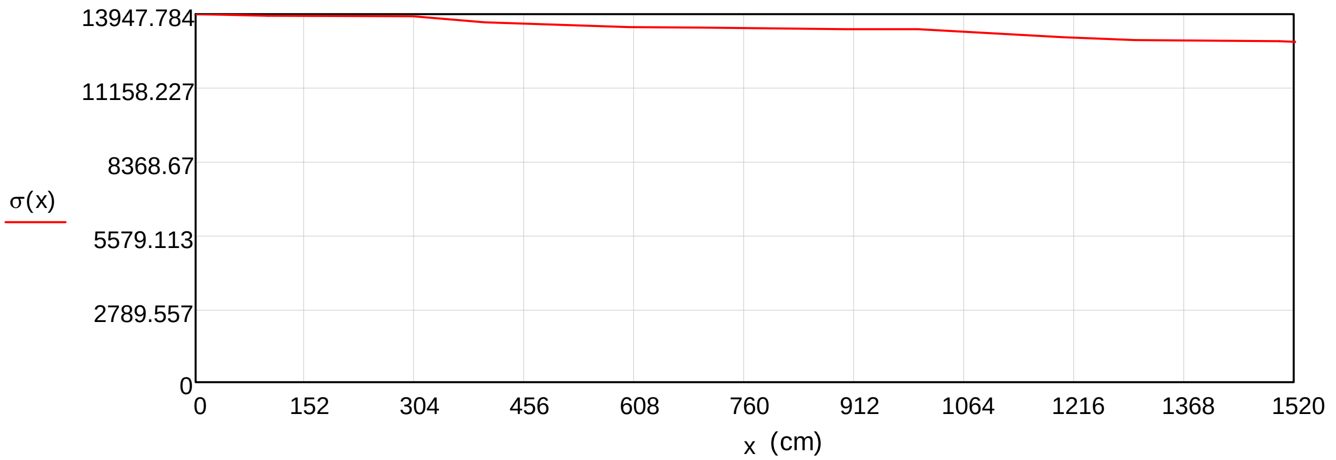
$$\alpha_i = \begin{vmatrix} 0\text{rad} & \text{if } i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \Delta\alpha_{\text{elevação}_i} & \text{if } i > 1 \\ i\cdot\text{rad} & \text{otherwise} \end{vmatrix}$$

$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + \kappa \cdot S)}$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13905.45 \\ 13863.24 \\ 13520.53 \\ 13458.34 \\ 13417.48 \\ 13376.76 \\ 13336.15 \\ 13050.14 \\ 12946.65 \\ 12907.35 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$a = \mathrm{cspline}(S, \sigma_{esq})$

$\sigma(x) = \mathrm{interp}\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$



$\text{Área} = \int_0^L \sigma(x)\,dx$ $\qquad$ $\text{Área} = 204123.04 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$

$\sigma_m = \frac{\text{Área}}{L}$ $\qquad$ $\sigma_m = 13429.15 \cdot \frac{kg}{cm^2}$

$L_{cabo} = 15.60m$ $\qquad$ $\text{Área}_{teórica\_aço} = 143.4 \cdot mm^2$ $\qquad$ $E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$

$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot \text{Área}_{teórica\_aço} = 19.3 \cdot t$

$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 107 \cdot mm$

CABO C3 (4ø15.2mm)

$Área_{teórica\_aço} = 143.4mm^2$ $\quad fptk = \dfrac{265.8kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1853.56\,MPa$ $\quad fpyk = \dfrac{239.2kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1668.06\,MPa$

$\sigma_{pi} = \min(0.74 \cdot fptk, 0.82 \cdot fpyk) = 1367.81\,MPa$

$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78 \cdot \dfrac{kgf}{cm^2}$ $\quad \mu = 0.20$ $\quad \beta = 0.01\dfrac{rad}{m}$ $\quad e = 2.72$ $\quad L = 15.20m$

$\kappa = \beta \cdot \mu = 0.002 \cdot \dfrac{rad}{m}$ $\quad n = 11$ $\quad i = 1, 2..n$

$$S = 0cm, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 152 \\ 304 \\ 456 \\ 608 \\ 760 \\ 912 \\ 1064 \\ 1216 \\ 1368 \\ 1520 \end{pmatrix} cm \qquad \Delta\alpha_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 3.76 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 3.76 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} °$$

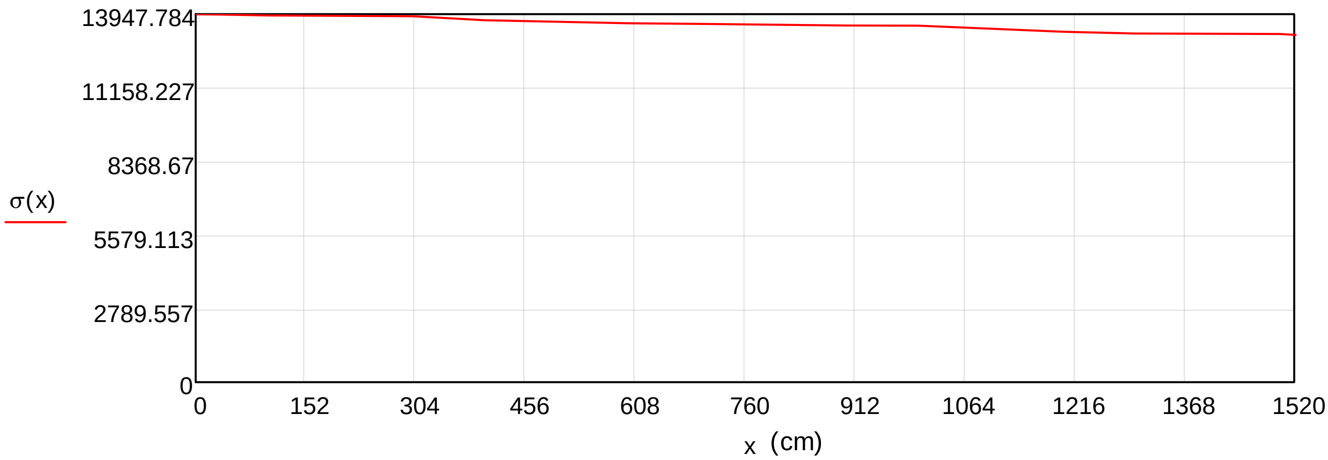
$$\alpha_i = \begin{vmatrix} 0rad \quad \text{if} \quad i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \Delta\alpha_{elevação_i} \quad \text{if} \quad i > 1 \\ i \cdot rad \quad \text{otherwise} \end{vmatrix}$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13905.45 \\ 13863.24 \\ 13640.94 \\ 13599.54 \\ 13558.26 \\ 13517.1 \\ 13476.07 \\ 13259.99 \\ 13219.74 \\ 13179.61 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$$a = \text{cspline}\left(S, \sigma_{esq}\right)$$

$$\sigma(x) = \text{interp}\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$$



$$\text{Área} = \int_0^L \sigma(x)\, dx \qquad \text{Área} = 206117.39 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$\sigma_m = \frac{\text{Área}}{L} \qquad \sigma_m = 13560.35 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$$L_{cabo} = 15.60m \qquad \text{Área}_{teórica\_aço} = 143.4 \cdot mm^2 \qquad E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$$

$$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot \text{Área}_{teórica\_aço} = 19.4 \cdot t$$

$$\Delta L_{teórico} = \frac{\left(\sigma_m\right) \cdot \left(L_{cabo}\right)}{E_{teórico\_aço}} = 108 \cdot mm$$

CABO C4 (4ø15.2mm)

$Área_{teórica\_aço} = 143.4mm^2$ $\quad fptk = \frac{265.8kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1853.56\,MPa$ $\quad fpyk = \frac{239.2kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1668.06\,MPa$

$\sigma_{pi} = \min(0.74\cdot fptk, 0.82\cdot fpyk) = 1367.81\,MPa$

$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78\cdot\frac{kgf}{cm^2}$ $\quad \mu = 0.20$ $\quad \beta = 0.01\frac{rad}{m}$ $\quad e = 2.72$ $\quad L = 15.20m$

$\kappa = \beta\cdot\mu = 0.002\cdot\frac{rad}{m}$ $\quad n = 11$ $\quad i = 1, 2 .. n$

$$S = 0cm, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 152 \\ 304 \\ 456 \\ 608 \\ 760 \\ 912 \\ 1064 \\ 1216 \\ 1368 \\ 1520 \end{pmatrix} cm \qquad \Delta\alpha_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0.72 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0.72 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} °$$

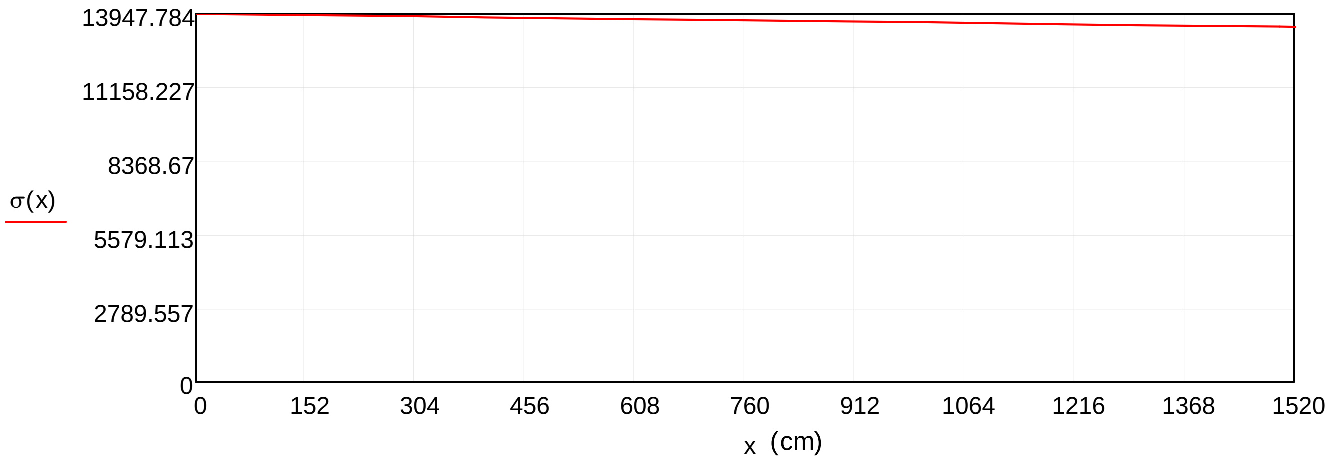
$$\alpha_i = \begin{cases} 0rad & \text{if } i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \Delta\alpha_{elevação_i} & \text{if } i > 1 \\ i\cdot rad & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13905.45 \\ 13863.24 \\ 13786.47 \\ 13744.62 \\ 13702.9 \\ 13661.3 \\ 13619.84 \\ 13544.41 \\ 13503.3 \\ 13462.31 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$$a = \text{cspline}(S, \sigma_{esq})$$

$$\sigma(x) = \text{interp}\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$$



$$\text{Área} = \int_0^L \sigma(x)\,dx \qquad \text{Área} = 208295.35 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$\sigma_m = \frac{\text{Área}}{L} \qquad \sigma_m = 13703.64 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$$L_{cabo} = 15.60m \qquad \text{Área}_{teórica\_aço} = 143.4 \cdot mm^2 \qquad E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$$

$$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot \text{Área}_{teórica\_aço} = 19.7 \cdot t$$

$$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 110 \cdot mm$$

V2 = V45 - CÁLCULO DAS ARMADURAS DE FRETAGEM

a_0 = Área da placa de distribuição

b = Distância entre eixos das ancoragens

c = Distância entre as ancoragens

d = Distância entre a face do concreto ao eixo da ancoragem

n = Quantidade de ancoragens em elevação

q = Quantidade de cabos alinhados em cada grupo (seção transversal)

EXTREMIDADE ATIVA

$b = 20cm$ $\quad n = 4$ $\quad q = 1$ $\quad F_{inicial} = 4 \cdot \sigma_1 \cdot Área_{teórica\_aço} = 784.58\,kN$

$a_0 = 18cm$ $\quad c = 2cm$

$d = 20cm$ $\quad a_1 = a_0 + c = 20\,cm$

$F_1 = F_{inicial} \cdot \cos(1°) = 784.46\,kN$ $\quad F_3 = F_{inicial} \cdot \cos(7°) = 778.73\,kN$

$$T_1 = 0.25 \cdot F_1 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 19.61\,kN \qquad T_3 = 0.25 \cdot F_3 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 19.47\,kN$$

$F_2 = F_{inicial} \cdot \cos(4°) = 782.66\,kN$ $\quad F_4 = F_{inicial} \cdot \cos(10°) = 772.66\,kN$

$$T_2 = 0.25 \cdot F_2 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 19.57\,kN \qquad T_4 = 0.25 \cdot F_4 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 19.32\,kN$$

$a_2 = 2 \cdot d + (n - 1) \cdot b = 100\,cm$ $\quad k = 1..n$

$$F_k = \begin{pmatrix} 784.46 \\ 782.66 \\ 778.73 \\ 772.66 \end{pmatrix} kN \qquad T_k = \begin{pmatrix} 19.61 \\ 19.57 \\ 19.47 \\ 19.32 \end{pmatrix} kN \qquad \sum F = 3118.51\,kN$$

$$T_n = \frac{2}{3} \cdot \left(1 - \frac{n \cdot a_1}{a_2}\right) \cdot \sum F = 415.8\,kN \qquad fyd = 43.48 \frac{kN}{cm^2}$$

$$As_1 = \frac{\max(T)}{fyd} = 0.45\,cm^2 \qquad As_2 = q \cdot \left(\frac{T_n}{fyd}\right) = 9.56\,cm^2$$

EXTREMIDADE PASSIVA

$b = 20cm$ $\quad q = 1$ $\quad F_{inicial} = 784.58\,kN$

$a_0 = 18cm$ $\quad c = 2cm$

$d = 20cm$ $\quad a_1 = a_0 + c = 20\,cm$

$F_1 = F_{inicial} \cdot \cos(1°) = 784.46\,kN$ $\quad F_3 = F_{inicial} \cdot \cos(7°) = 778.73\,kN$

$$T_1 = 0.25 \cdot F_1 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 19.61\,kN \qquad T_3 = 0.25 \cdot F_3 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 19.47\,kN$$

$F_2 = F_{inicial} \cdot \cos(4°) = 782.66\,kN$ $\quad F_4 = F_{inicial} \cdot \cos(10°) = 772.66\,kN$

$$T_2 = 0.25 \cdot F_2 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 19.57\,kN \qquad T_4 = 0.25 \cdot F_4 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 19.32\,kN$$

$a_3 = 2 \cdot d + (n - 1) \cdot b = 100\,cm$

$$F_k = \begin{pmatrix} 784.46 \\ 782.66 \\ 778.73 \\ 772.66 \end{pmatrix} kN \qquad T_k = \begin{pmatrix} 19.61 \\ 19.57 \\ 19.47 \\ 19.32 \end{pmatrix} kN \qquad \sum F = 3118.51\,kN$$

$$T_n = \frac{2}{3} \cdot \left(1 - \frac{n \cdot a_1}{a_3}\right) \cdot \sum F = 415.8\,kN \qquad fyd = 43.48 \cdot \frac{kN}{cm^2}$$

$$As_3 = \frac{\max(T)}{fyd} = 0.45\,cm^2 \qquad As_4 = q \cdot \left(\frac{T_n}{fyd}\right) = 9.56\,cm^2$$

$$As_{fretagem} = \max(As_1, As_3) = 0.45\,cm^2$$

Adotado espiral ø10mm - 5 passos por cabo em cada trecho de ancoragem ativa e passiva.

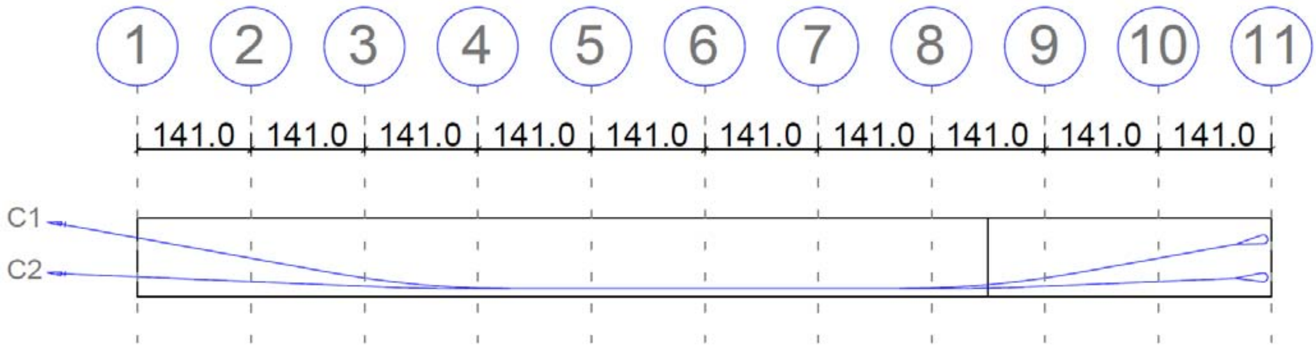
$$As_{estribos} = \frac{\max(As_2, As_4)}{2} = 4.78\,cm^2$$

$L = a_2 = 100\,cm$ $\quad bitola_{estribo} = 8mm$ $\quad adotados = ceil\left(\dfrac{As_{estribos}}{bitola_{estribo}^{\,2}}\right) = 8$

Estribos adotados = 8 ø8.0mm em cada trecho de ancoragem ativa e passiva distribuídos em $L = 100\,cm$

V3 (COBERTURA) - CABOS C1 e C2

CABO C1 (6ø15.2mm)



$$Área_{teórica\_aço} = 143.4mm^2 \qquad fptk = \frac{265.8kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1853.56\,MPa \qquad fpyk = \frac{239.2kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1668.06\,MPa$$

$$\sigma_{pi} = \min(0.74 \cdot fptk, 0.82 \cdot fpyk) = 1367.81\,MPa$$

$$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78 \cdot \frac{kgf}{cm^2} \qquad \mu = 0.20 \qquad \beta = 0.01 \frac{rad}{m} \qquad e = 2.72 \qquad L = 14.10m$$

$$\kappa = \beta \cdot \mu = 0.002 \cdot \frac{rad}{m} \qquad n = 11 \qquad i = 1, 2 .. n$$

$$S = 0cm, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 141 \\ 282 \\ 423 \\ 564 \\ 705 \\ 846 \\ 987 \\ 1128 \\ 1269 \\ 1410 \end{pmatrix} cm \qquad \Delta\alpha_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1.26 \\ 6.57 \\ 2.63 \\ 0 \\ 0 \\ 0.45 \\ 6.57 \\ 3.43 \\ 0 \end{pmatrix} °$$

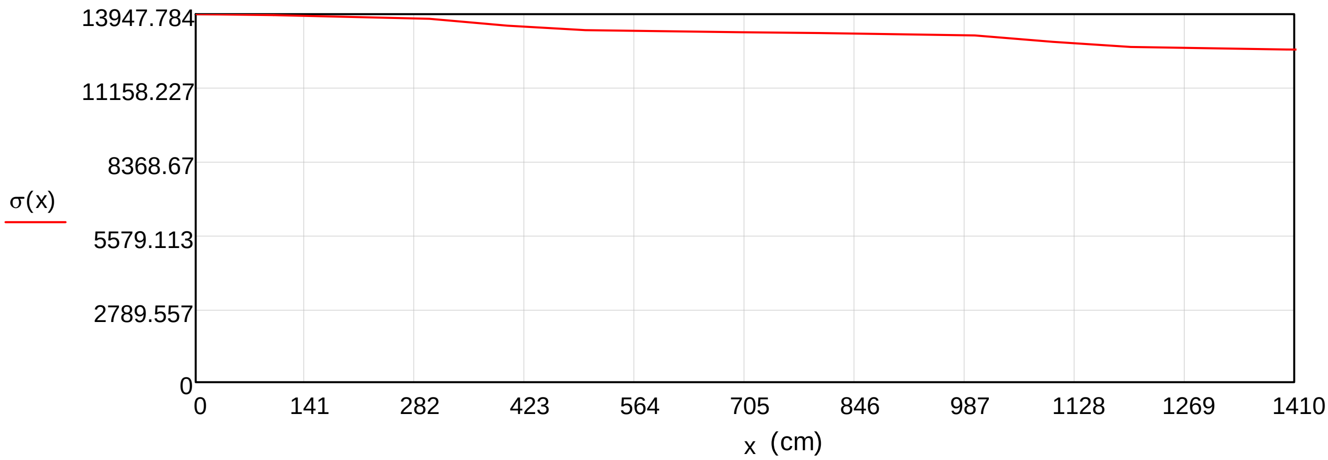
$$\alpha_i = \left| \begin{array}{ll} 0rad & \text{if } \; i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \Delta\alpha_{elevação_i} & \text{if } \; i > 1 \\ i \cdot rad & \text{otherwise} \end{array} \right.$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13908.51 \\ 13808.47 \\ 13457.39 \\ 13296.87 \\ 13259.42 \\ 13222.08 \\ 13164.15 \\ 12829.46 \\ 12641.07 \\ 12605.47 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$$a = \text{cspline}(S, \sigma_{esq})$$

$$\sigma(x) = \text{interp}\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$$



$$\text{Área} = \int_0^L \sigma(x)\,dx \qquad \text{Área} = 187323.25 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$\sigma_m = \frac{\text{Área}}{L} \qquad \sigma_m = 13285.34 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$$L_{cabo} = 14.55m \qquad \text{Área}_{teórica\_aço} = 143.4 \cdot mm^2 \qquad E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$$

$$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot \text{Área}_{teórica\_aço} = 19.1 \cdot t$$

$$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 99 \cdot mm$$

CABO C2 (6ø15.2mm)

$Área_{teórica\_aço} = 143.4mm^2$ $fptk = \frac{265.8kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1853.56\,MPa$ $fpyk = \frac{239.2kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1668.06\,MPa$

$\sigma_{pi} = \min(0.74 \cdot fptk, 0.82 \cdot fpyk) = 1367.81\,MPa$

$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78 \cdot \frac{kgf}{cm^2}$ $\mu = 0.20$ $\beta = 0.01 \frac{rad}{m}$ $e = 2.72$ $L = 14.10m$

$\kappa = \beta \cdot \mu = 0.002 \cdot \frac{rad}{m}$ $n = 11$ $i = 1, 2 .. n$

$$S = 0cm, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 141 \\ 282 \\ 423 \\ 564 \\ 705 \\ 846 \\ 987 \\ 1128 \\ 1269 \\ 1410 \end{pmatrix} cm \qquad \Delta\alpha_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 2.44 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 2.44 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} °$$

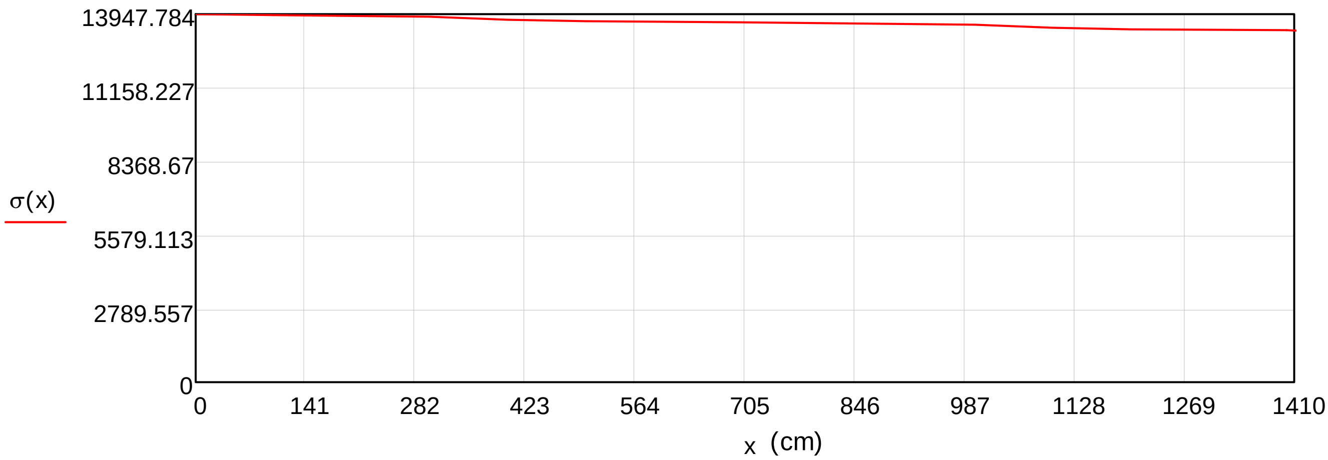
$$\alpha_i = \begin{vmatrix} 0rad \;\; \text{if} \;\; i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \Delta\alpha_{elevação_i} \;\; \text{if} \;\; i > 1 \\ i \cdot rad \;\; \text{otherwise} \end{vmatrix}$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13908.51 \\ 13869.34 \\ 13712.99 \\ 13674.37 \\ 13635.86 \\ 13597.47 \\ 13559.17 \\ 13406.32 \\ 13368.57 \\ 13330.92 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$$a = \text{cspline}(S, \sigma_{esq})$$

$$\sigma(x) = \text{interp}\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$$



$$\text{Área} = \int_0^L \sigma(x)\, dx \qquad \text{Área} = 192284.04 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$\sigma_m = \frac{\text{Área}}{L} \qquad \sigma_m = 13637.17 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$$L_{cabo} = 14.45m \qquad \text{Área}_{teórica\_aço} = 143.4 \cdot mm^2 \qquad E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$$

$$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot \text{Área}_{teórica\_aço} = 19.6 \cdot t$$

$$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 10\, cm$$

V3 - CÁLCULO DAS ARMADURAS DE FRETAGEM

a_0 = Área da placa de distribuição

b = Distância entre eixos das ancoragens

c = Distância entre as ancoragens

d = Distância entre a face do concreto ao eixo da ancoragem

n = Quantidade de ancoragens em elevação

q = Quantidade de cabos alinhados em cada grupo (seção transversal)

EXTREMIDADE ATIVA

$b := 50cm$ $\quad n := 2$ $\quad q := 1$ $\quad F_{inicial} := 6 \cdot \sigma_1 \cdot Área_{teórica\_aço} = 1176.86\,kN$

$a_0 := 22cm$ $\quad c := 28cm$

$d := 25cm$ $\quad a_1 := 2d = 50\,cm$

$F_1 := F_{inicial} \cdot \cos(10°) = 1158.98\,kN$ $\quad F_2 := F_{inicial} \cdot \cos(2°) = 1176.15\,kN$

$T_1 := 0.25 \cdot F_1 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 162.26\,kN$ $\quad T_2 := 0.25 \cdot F_2 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 164.66\,kN$

$a_2 := 2 \cdot d + (n-1) \cdot b = 100\,cm$ $\quad k := 1 .. n$

$F_k = \begin{pmatrix} 1158.98 \\ 1176.15 \end{pmatrix} kN$ $\quad T_k = \begin{pmatrix} 162.26 \\ 164.66 \end{pmatrix} kN$ $\quad \sum F = 3886.52\,kN$

$fyd := 43.48 \frac{kN}{cm^2}$

$As_1 := q \cdot \left(\frac{\max(T)}{fyd}\right) = 3.79\,cm^2$

EXTREMIDADE PASSIVA

$b = 50cm$ $q = 1$ $F_{inicial} = 1176.86\,kN$

$a_0 = 22cm$ $c = 28cm$

$d = 25cm$ $a_1 = a_0 + c = 50\,cm$

$F_1 = F_{inicial} \cdot \cos(10°) = 1158.98\,kN$ $F_2 = F_{inicial} \cdot \cos(2°) = 1176.15\,kN$

$T_1 = 0.25 \cdot F_1 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 162.26\,kN$ $T_2 = 0.25 \cdot F_2 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 164.66\,kN$

$a_3 = 2 \cdot d + (n - 1) \cdot b = 100\,cm$

$F_k = \begin{pmatrix} 1158.98 \\ 1176.15 \end{pmatrix} kN$ $T_k = \begin{pmatrix} 162.26 \\ 164.66 \end{pmatrix} kN$ $\sum F = 3886.52\,kN$

$fyd = 43.48 \cdot \frac{kN}{cm^2}$

$As_3 = q \cdot \left(\frac{\max(T)}{fyd}\right) = 3.79\,cm^2$

$As_{fretagem} = \max(As_1, As_3) = 3.79\,cm^2$

Adotado espiral ø10mm - 5 passos por cabo em cada trecho de ancoragem ativa e passiva.

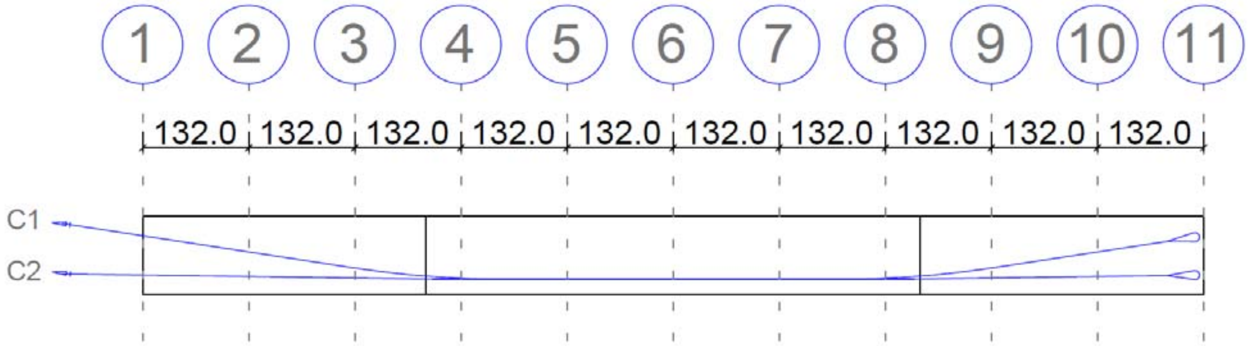
$As_{estribos} = As_{fretagem} = 3.79\,cm^2$

$L = a_2 = 100\,cm$ $bitola_{estribo} = 8mm$ $adotados = ceil\left(\frac{As_{estribos}}{bitola_{estribo}^2}\right) = 6$

Estribos $adotados = 6$ ø8.0mm em cada trecho de ancoragem ativa e passiva distribuídos em $L = 100\,cm$

V4 = V61 (COBERTURA) - CABOS C1 e C2

CABO C1 (6ø15.2mm)



$Área_{teórica\_aço} = 143.4mm^2$ $fptk = \frac{265.8kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1853.56\,MPa$ $fpyk = \frac{239.2kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1668.06\,MPa$

$\sigma_{pi} = \min(0.74 \cdot fptk, 0.82 \cdot fpyk) = 1367.81\,MPa$

$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78 \cdot \frac{kgf}{cm^2}$ $\mu = 0.20$ $\beta = 0.01 \frac{rad}{m}$ $e = 2.72$ $L = 13.20m$

$\kappa = \beta \cdot \mu = 0.002 \cdot \frac{rad}{m}$ $n = 11$ $i = 1, 2 .. n$

$$S = 0cm, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 132 \\ 264 \\ 396 \\ 528 \\ 660 \\ 792 \\ 924 \\ 1056 \\ 1188 \\ 1320 \end{pmatrix} cm \qquad \Delta\alpha_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 5.78 \\ 3.09 \\ 0 \\ 0 \\ 0.92 \\ 6.12 \\ 1.83 \\ 0 \end{pmatrix} °$$

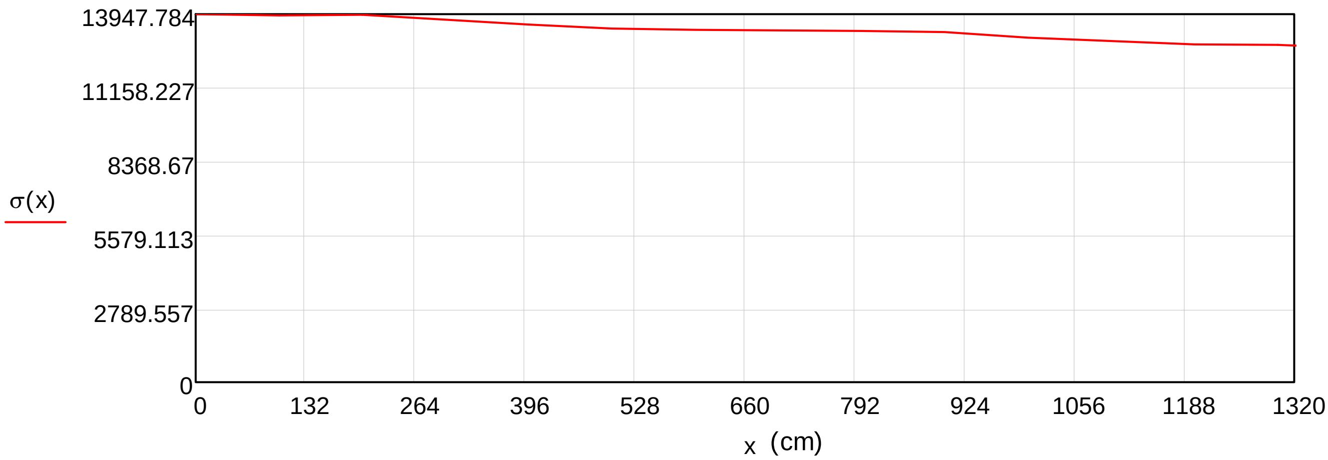
$$\alpha_i = \left| \begin{array}{ll} 0rad & \text{if } i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \Delta\alpha_{elevação_i} & \text{if } i > 1 \\ i \cdot rad & \text{otherwise} \end{array} \right.$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13911.01 \\ 13874.33 \\ 13561.36 \\ 13380.5 \\ 13345.22 \\ 13310.04 \\ 13232.38 \\ 12918.55 \\ 12802.45 \\ 12768.69 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$$a = \mathrm{cspline}(S, \sigma_{esq})$$

$$\sigma(x) = \mathrm{interp}\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$$



$$\text{Área} = \int_0^L \sigma(x)\,dx \qquad \text{Área} = 176464.97 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$\sigma_m = \frac{\text{Área}}{L} \qquad \sigma_m = 13368.56 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$$L_{cabo} = 13.60m \qquad \text{Área}_{teórica\_aço} = 143.4 \cdot mm^2 \qquad E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$$

$$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot \text{Área}_{teórica\_aço} = 19.2 \cdot t$$

$$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 93 \cdot mm$$

CABO C2 (6ø15.2mm)

$Área_{teórica\_aço} = 143.4mm^2$ $fptk = \frac{265.8kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1853.56\,MPa$ $fpyk = \frac{239.2kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1668.06\,MPa$

$\sigma_{pi} = \min(0.74 \cdot fptk, 0.82 \cdot fpyk) = 1367.81\,MPa$

$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78 \cdot \frac{kgf}{cm^2}$ $\mu = 0.20$ $\beta = 0.01 \frac{rad}{m}$ $e = 2.72$ $L = 14.10m$

$\kappa = \beta \cdot \mu = 0.002 \cdot \frac{rad}{m}$ $n = 11$ $i = 1, 2 .. n$

$$S = 0cm, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 141 \\ 282 \\ 423 \\ 564 \\ 705 \\ 846 \\ 987 \\ 1128 \\ 1269 \\ 1410 \end{pmatrix} cm \qquad \Delta\alpha_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0.8 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0.8 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} °$$

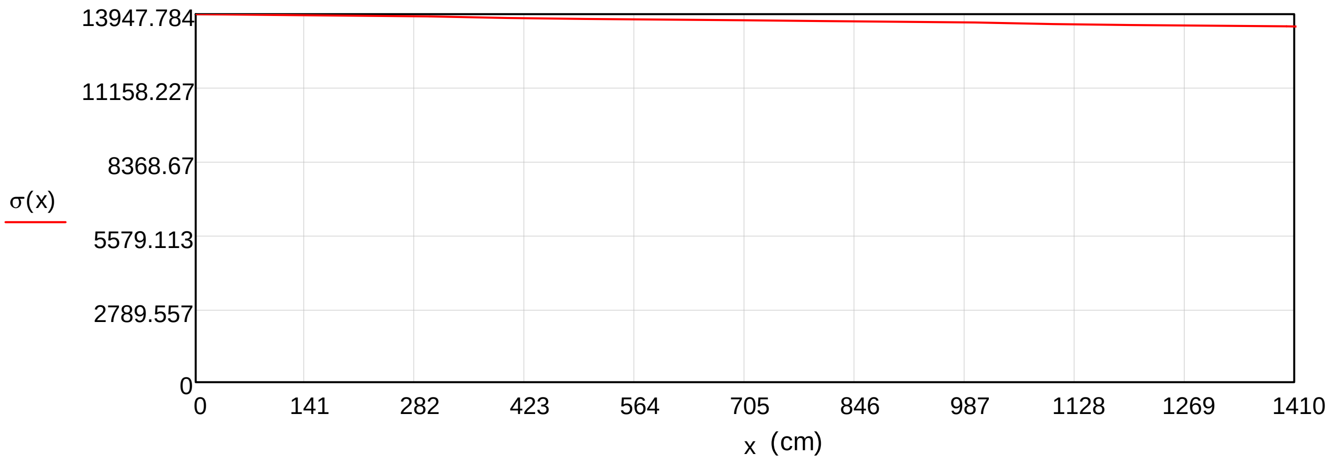
$$\alpha_i = \begin{vmatrix} 0rad \quad \text{if} \quad i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \Delta\alpha_{elevação_i} \quad \text{if} \quad i > 1 \\ i \cdot rad \quad \text{otherwise} \end{vmatrix}$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13908.51 \\ 13869.34 \\ 13791.72 \\ 13752.88 \\ 13714.15 \\ 13675.53 \\ 13637.02 \\ 13560.7 \\ 13522.51 \\ 13484.43 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$$a = cspline(S, \sigma_{esq})$$

$$\sigma(x) = interp\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$$



$$\text{Área} = \int_0^L \sigma(x)\, dx \qquad \text{Área} = 193379.11 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$\sigma_m = \frac{\text{Área}}{L} \qquad \sigma_m = 13714.83 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$L_{cabo} = 13.60m$ $\qquad$ $\text{Área}_{teórica\_aço} = 143.4 \cdot mm^2$ $\qquad$ $E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$

$$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot \text{Área}_{teórica\_aço} = 19.7 \cdot t$$

$$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 96 \cdot mm$$

V4 = V61 - CÁLCULO DAS ARMADURAS DE FRETAGEM

a_0 = Área da placa de distribuição

b = Distância entre eixos das ancoragens

c = Distância entre as ancoragens

d = Distância entre a face do concreto ao eixo da ancoragem

n = Quantidade de ancoragens em elevação

q = Quantidade de cabos alinhados em cada grupo (seção transversal)

EXTREMIDADE ATIVA

$b = 50cm$ $n = 2$ $q = 1$ $F_{inicial} = 6 \cdot \sigma_1 \cdot Área_{teórica\_aço} = 1176.86\,kN$

$a_0 = 22cm$ $c = 28cm$

$d = 25cm$ $a_1 = 2d = 50\,cm$

$F_1 = F_{inicial} \cdot \cos(9°) = 1162.37\,kN$ $F_2 = F_{inicial} \cdot \cos(1°) = 1176.68\,kN$

$T_1 = 0.25 \cdot F_1 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 162.73\,kN$ $T_2 = 0.25 \cdot F_2 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 164.74\,kN$

$a_2 = 2 \cdot d + (n - 1) \cdot b = 100\,cm$ $k = 1..n$

$F_k = \begin{pmatrix} 1162.37 \\ 1176.68 \end{pmatrix} kN$ $T_k = \begin{pmatrix} 162.73 \\ 164.74 \end{pmatrix} kN$ $\sum F = 3890.44\,kN$

$fyd = 43.48 \frac{kN}{cm^2}$

$As_1 = q \cdot \left(\frac{\max(T)}{fyd}\right) = 3.79\,cm^2$

EXTREMIDADE PASSIVA

$b = 50cm$ $q = 1$ $F_{inicial} = 1176.86\,kN$

$a_0 = 22cm$ $c = 28cm$

$d = 25cm$ $a_1 = a_0 + c = 50\,cm$

$F_1 = F_{inicial} \cdot \cos(9°) = 1162.37\,kN$ $F_2 = F_{inicial} \cdot \cos(1°) = 1176.68\,kN$

$T_1 = 0.25 \cdot F_1 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 162.73\,kN$ $T_2 = 0.25 \cdot F_2 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 164.74\,kN$

$a_3 = 2 \cdot d + (n - 1) \cdot b = 100\,cm$

$F_k = \begin{pmatrix} 1162.37 \\ 1176.68 \end{pmatrix} kN$ $T_k = \begin{pmatrix} 162.73 \\ 164.74 \end{pmatrix} kN$ $\sum F = 3890.44\,kN$

$fyd = 43.48 \cdot \frac{kN}{cm^2}$

$As_3 = q \cdot \left(\frac{\max(T)}{fyd}\right) = 3.79\,cm^2$

$As_{fretagem} = \max(As_1, As_3) = 3.79\,cm^2$

Adotado espiral ø10mm - 5 passos por cabo em cada trecho de ancoragem ativa e passiva.

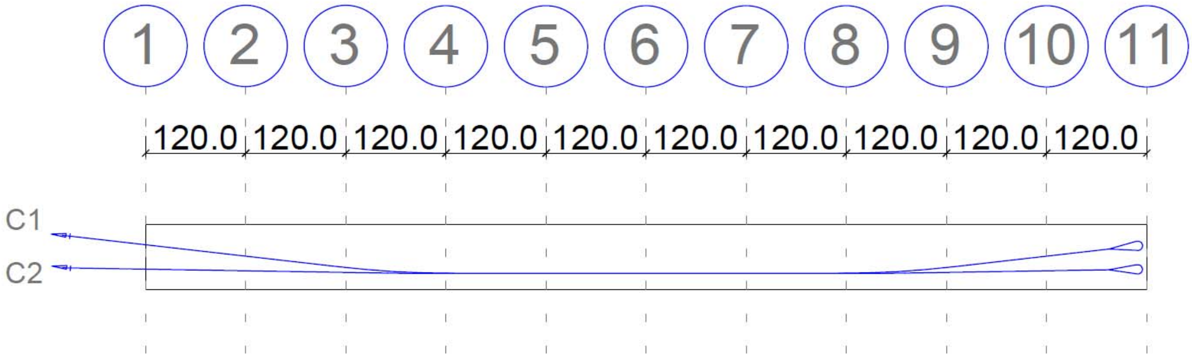
$As_{estribos} = As_{fretagem} = 3.79\,cm^2$

$L = a_2 = 100\,cm$ $bitola_{estribo} = 8mm$ $adotados = ceil\left(\frac{As_{estribos}}{bitola_{estribo}^{\;2}}\right) = 6$

Estribos adotados = 6 ø8.0mm em cada trecho de ancoragem ativa e passiva distribuídos em $L = 100\,cm$

V5 = V6 = V7 = V43 (COBERTURA) - CABOS C1 e C2

CABO C1 (6ø15.2mm)



$Área_{teórica\_aço} = 143.4mm^2$ $\quad fptk = \dfrac{265.8kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1853.56\,MPa$ $\quad fpyk = \dfrac{239.2kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1668.06\,MPa$

$\sigma_{pi} = \min(0.74 \cdot fptk, 0.82 \cdot fpyk) = 1367.81\,MPa$

$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78 \cdot \dfrac{kgf}{cm^2}$ $\quad \mu = 0.20$ $\quad \beta = 0.01 \dfrac{rad}{m}$ $\quad e = 2.72$ $\quad L = 12.00m$

$\kappa = \beta \cdot \mu = 0.002 \cdot \dfrac{rad}{m}$ $\quad n = 11$ $\quad i = 1, 2 .. n$

$$S = 0cm, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 120 \\ 240 \\ 360 \\ 480 \\ 600 \\ 720 \\ 840 \\ 960 \\ 1080 \\ 1200 \end{pmatrix} cm \qquad \Delta\alpha_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 5.5 \\ 1.15 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 4.51 \\ 2.14 \\ 0 \end{pmatrix} °$$

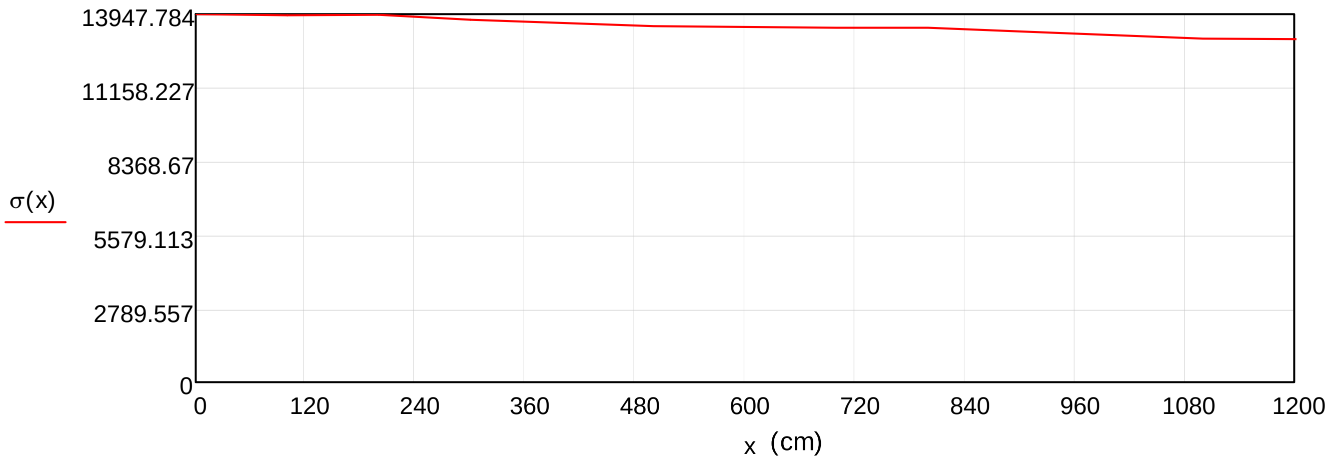
$$\alpha_i = \left| \begin{array}{l} 0rad \quad \text{if} \quad i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \Delta\alpha_{elevação_i} \quad \text{if} \quad i > 1 \\ i \cdot rad \quad \text{otherwise} \end{array} \right.$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13914.35 \\ 13880.99 \\ 13584.4 \\ 13497.54 \\ 13465.19 \\ 13432.91 \\ 13400.71 \\ 13159.78 \\ 13030.53 \\ 12999.29 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$$a = \mathrm{cspline}(S, \sigma_{esq})$$

$$\sigma(x) = \mathrm{interp}\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$$



$$\text{Área} = \int_0^L \sigma(x)\,dx \qquad \text{Área} = 161790.73 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$\sigma_m = \frac{\text{Área}}{L} \qquad \sigma_m = 13482.56 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$$L_{cabo} = 12.40m \qquad \text{Área}_{teórica\_aço} = 143.4 \cdot mm^2 \qquad E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$$

$$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot \text{Área}_{teórica\_aço} = 19.3 \cdot t$$

$$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 86 \cdot mm$$

CABO C2 (6ø15.2mm)

$Área_{teórica\_aço} = 143.4mm^2$ $fptk = \frac{265.8kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1853.56\,MPa$ $fpyk = \frac{239.2kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1668.06\,MPa$

$\sigma_{pi} = \min(0.74\cdot fptk, 0.82\cdot fpyk) = 1367.81\,MPa$

$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78\cdot\frac{kgf}{cm^2}$ $\mu = 0.20$ $\beta = 0.01\frac{rad}{m}$ $e = 2.72$ $L = 12.00m$

$\kappa = \beta\cdot\mu = 0.002\cdot\frac{rad}{m}$ $n = 11$ $i = 1, 2..n$

$$S = 0cm, \frac{L}{n-1}..L = \begin{pmatrix} 0 \\ 120 \\ 240 \\ 360 \\ 480 \\ 600 \\ 720 \\ 840 \\ 960 \\ 1080 \\ 1200 \end{pmatrix} cm \qquad \Delta\alpha_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0.95 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0.95 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} ^\circ$$

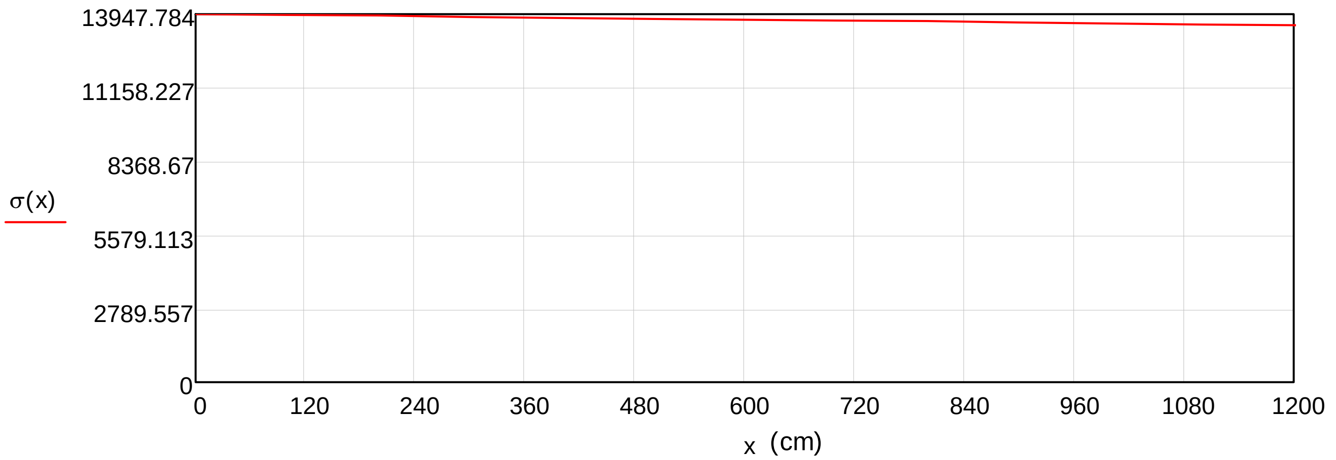
$$\alpha_i = \begin{vmatrix} 0rad \text{ if } i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \Delta\alpha_{elevação_i} \text{ if } i > 1 \\ i\cdot rad \text{ otherwise} \end{vmatrix}$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13914.35 \\ 13880.99 \\ 13801.88 \\ 13768.79 \\ 13735.79 \\ 13702.86 \\ 13670.01 \\ 13592.09 \\ 13559.51 \\ 13527.01 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$$a = \text{cspline}(S, \sigma_{esq})$$

$$\sigma(x) = \text{interp}\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$$



$$\text{Área} = \int_0^L \sigma(x)\,dx \qquad \text{Área} = 164836.26 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$\sigma_m = \frac{\text{Área}}{L} \qquad \sigma_m = 13736.35 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$$L_{cabo} = 12.40m \qquad \text{Área}_{teórica\_aço} = 143.4 \cdot mm^2 \qquad E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$$

$$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot \text{Área}_{teórica\_aço} = 19.7 \cdot t$$

$$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 87 \cdot mm$$

V5 = V6 = V7 = V43 - CÁLCULO DAS ARMADURAS DE FRETAGEM

a_0 = Área da placa de distribuição

b = Distância entre eixos das ancoragens

c = Distância entre as ancoragens

d = Distância entre a face do concreto ao eixo da ancoragem

n = Quantidade de ancoragens em elevação

q = Quantidade de cabos alinhados em cada grupo (seção transversal)

EXTREMIDADE ATIVA

$b = 30cm$ $\quad n = 2$ $\quad q = 1$ $\quad F_{inicial} = 6 \cdot \sigma_1 \cdot Área_{teórica\_aço} = 1176.86\,kN$

$a_0 = 22cm$ $\quad c = 15cm$

$d = 25cm$ $\quad a_1 = 2d = 50\,cm$

$F_1 = F_{inicial} \cdot \cos(7°) = 1168.09\,kN$ $\quad F_2 = F_{inicial} \cdot \cos(1°) = 1176.68\,kN$

$$T_1 = 0.25 \cdot F_1 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 163.53\,kN \qquad T_2 = 0.25 \cdot F_2 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 164.74\,kN$$

$a_2 = 2 \cdot d + (n - 1) \cdot b = 80\,cm$ $\quad k = 1..n$

$$F_k = \begin{pmatrix} 1168.09 \\ 1176.68 \end{pmatrix} kN \qquad T_k = \begin{pmatrix} 163.53 \\ 164.74 \end{pmatrix} kN \qquad \sum F = 3896.16\,kN$$

$$fyd = 43.48 \frac{kN}{cm^2}$$

$$As_1 = q \cdot \left(\frac{\max(T)}{fyd}\right) = 3.79\,cm^2$$

EXTREMIDADE PASSIVA

$b = 30\,cm$ $q = 1$ $F_{inicial} = 1176.86\,kN$

$a_0 = 22\,cm$ $c = 15\,cm$

$d = 25\,cm$ $a_1 = a_0 + c = 37\,cm$

$F_1 = F_{inicial} \cdot \cos(7°) = 1168.09\,kN$ $F_2 = F_{inicial} \cdot \cos(1°) = 1176.68\,kN$

$T_1 = 0.25 \cdot F_1 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 118.39\,kN$ $T_2 = 0.25 \cdot F_2 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 119.26\,kN$

$a_3 = 2 \cdot d + (n - 1) \cdot b = 80\,cm$

$F_k = \begin{pmatrix} 1168.09 \\ 1176.68 \end{pmatrix} kN$ $T_k = \begin{pmatrix} 118.39 \\ 119.26 \end{pmatrix} kN$ $\sum F = 3896.16\,kN$

$fyd = 43.48 \cdot \frac{kN}{cm^2}$

$As_3 = q \cdot \left(\frac{\max(T)}{fyd}\right) = 2.74\,cm^2$

$As_{fretagem} = \max(As_1, As_3) = 3.79\,cm^2$

Adotado espiral ø10mm - 5 passos por cabo em cada trecho de ancoragem ativa e passiva.

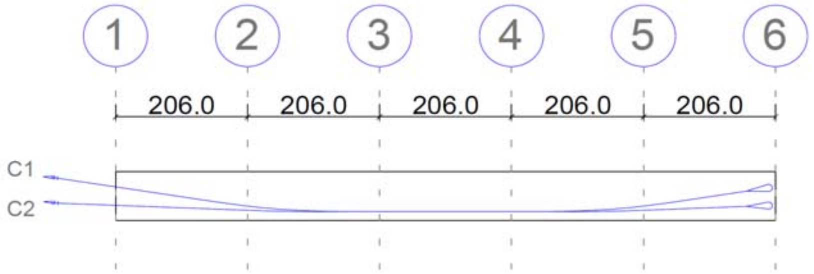
$As_{estribos} = As_{fretagem} = 3.79\,cm^2$

$L = a_2 = 80\,cm$ $bitola_{estribo} = 8mm$ $adotados = ceil\left(\frac{As_{estribos}}{bitola_{estribo}^2}\right) = 6$

Estribos $adotados = 6$ ø8.0mm em cada trecho de ancoragem ativa e passiva distribuídos em $L = 80\,cm$

V8 = V9 = V62 (COBERTURA) - CABOS C1 e C2

CABO C1 (4ø15.2mm)



$t = \text{tonne}$

$\text{Área}_{teórica\_aço} = 143.4\text{mm}^2 \qquad fptk = \dfrac{265.8\text{kN}}{\text{Área}_{teórica\_aço}} = 1853.56\,\text{MPa} \qquad fpyk = \dfrac{239.2\text{kN}}{\text{Área}_{teórica\_aço}} = 1668.06\,\text{MPa}$

$\sigma_{pi} = \min(0.74 \cdot fptk, 0.82 \cdot fpyk) = 1367.81\,\text{MPa}$

$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78 \cdot \dfrac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \qquad \mu = 0.20 \qquad \beta = 0.01 \dfrac{\text{rad}}{\text{m}} \qquad e = 2.72 \qquad L = 10.30\text{m}$

$\kappa = \beta \cdot \mu = 0.002 \cdot \dfrac{\text{rad}}{\text{m}} \qquad n = 6 \qquad i = 1, 2..n$

$$S = 0\text{cm}, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 206 \\ 412 \\ 618 \\ 824 \\ 1030 \end{pmatrix} \text{cm} \qquad \Delta\alpha_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1.43 \\ 7.39 \\ 0 \\ 5.22 \\ 3.61 \end{pmatrix} °$$

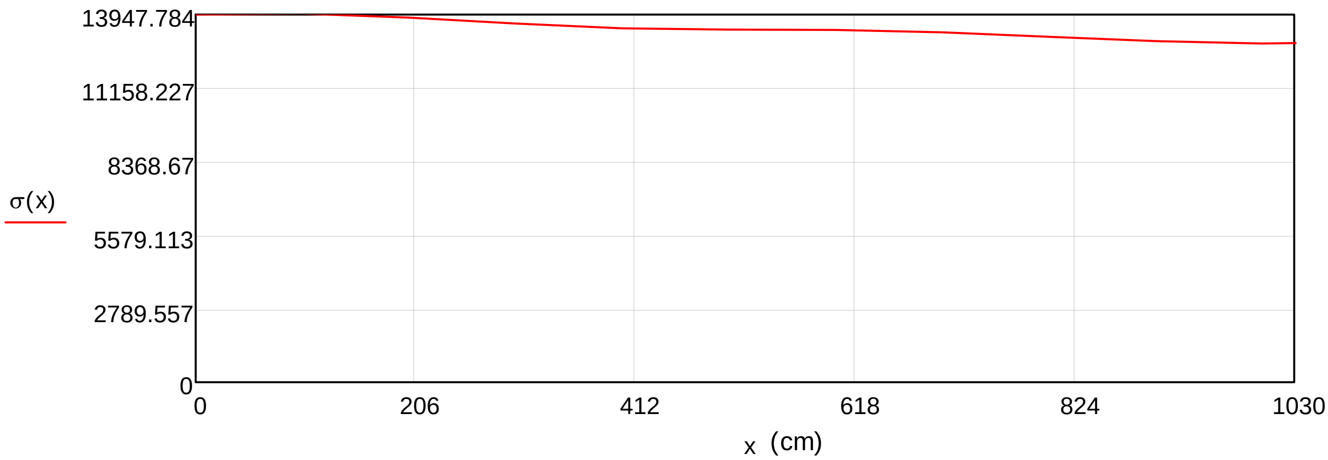
$$\alpha_i = \begin{vmatrix} 0\text{rad} \quad \text{if} \quad i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \Delta\alpha_{elevação_i} \quad \text{if} \quad i > 1 \\ i \cdot \text{rad} \quad \text{otherwise} \end{vmatrix}$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13821.27 \\ 13413.92 \\ 13358.77 \\ 13063.63 \\ 12847 \end{pmatrix} \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$a = \mathrm{cspline}(S, \sigma_{esq})$

$$\sigma(x) = \mathrm{interp}\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$$



$$\text{Área} = \int_0^L \sigma(x)\,dx \qquad \text{Área} = 138187.71 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$\sigma_m = \frac{\text{Área}}{L} \qquad \sigma_m = 13416.28 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$L_{cabo} = 10.70m$ $\qquad$ $\text{Área}_{teórica\_aço} = 143.4 \cdot mm^2$ $\qquad$ $E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$

$$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot \text{Área}_{teórica\_aço} = 19.2 \cdot t$$

$$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 74 \cdot mm$$

CABO C2 (4ø15.2mm)

$Área_{teórica\_aço} = 143.4mm^2$ $fptk = \frac{265.8kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1853.56\,MPa$ $fpyk = \frac{239.2kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1668.06\,MPa$

$\sigma_{pi} = \min(0.74 \cdot fptk, 0.82 \cdot fpyk) = 1367.81\,MPa$

$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78 \cdot \frac{kgf}{cm^2}$ $\mu = 0.20$ $\beta = 0.01 \frac{rad}{m}$ $e = 2.72$ $L = 10.30m$

$\kappa = \beta \cdot \mu = 0.002 \cdot \frac{rad}{m}$ $n = 6$ $i = 1, 2..n$

$S = 0cm, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 206 \\ 412 \\ 618 \\ 824 \\ 1030 \end{pmatrix} cm$ $\Delta\alpha_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 2.22 \\ 0 \\ 1.84 \\ 0.38 \end{pmatrix} °$

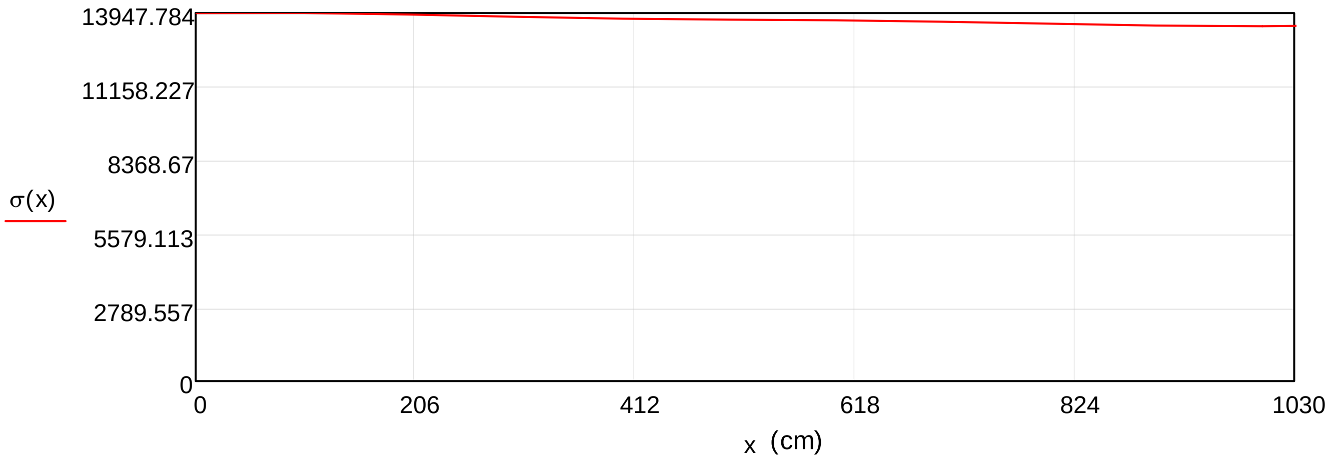
$$\alpha_i = \begin{cases} 0rad & \text{if } i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \Delta\alpha_{elevação_i} & \text{if } i > 1 \\ i \cdot rad & \text{otherwise} \end{cases}$$

$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + \kappa \cdot S)}$

$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13890.44 \\ 13726.54 \\ 13670.11 \\ 13526.74 \\ 13453.27 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$

$a = cspline(S, \sigma_{esq})$

$\sigma(x) = interp\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$



$$\text{Área} = \int_0^L \sigma(x)\,dx \qquad \text{Área} = 141149.41 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$\sigma_m = \frac{\text{Área}}{L} \qquad \sigma_m = 13703.83 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$$L_{cabo} = 10.70m \qquad \text{Área}_{teórica\_aço} = 143.4 \cdot mm^2 \qquad E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$$

$$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot \text{Área}_{teórica\_aço} = 19.7 \cdot t$$

$$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 75 \cdot mm$$

V8 = V9 = V62 - CÁLCULO DAS ARMADURAS DE FRETAGEM

a_0 = Área da placa de distribuição

b = Distância entre eixos das ancoragens

c = Distância entre as ancoragens

d = Distância entre a face do concreto ao eixo da ancoragem

n = Quantidade de ancoragens em elevação

q = Quantidade de cabos alinhados em cada grupo (seção transversal)

EXTREMIDADE ATIVA

$b = 30cm$ $\quad n = 2$ $\quad q = 1$ $\quad F_{inicial} = 4\cdot\sigma_1\cdot Área_{teórica\_aço} = 784.58\,kN$

$a_0 = 18cm$

$d = 25cm$ $\quad a_1 = 2d = 50\,cm$

$F_1 = F_{inicial}\cdot\cos(9°) = 774.92\,kN$ $\quad F_2 = F_{inicial}\cdot\cos(2°) = 784.1\,kN$

$T_1 = 0.25\cdot F_1\cdot\left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 123.99\,kN$ $\quad T_2 = 0.25\cdot F_2\cdot\left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 125.46\,kN$

$a_2 = 2\cdot d + (n-1)\cdot b = 80\,cm$ $\quad k = 1\,..\,n$

$F_k = \begin{pmatrix} 774.92 \\ 784.1 \end{pmatrix} kN$ $\quad T_k = \begin{pmatrix} 123.99 \\ 125.46 \end{pmatrix} kN$ $\quad \sum F = 1559.01\,kN$

$fyd = 43.48\,\frac{kN}{cm^2}$

$As_1 = q\cdot\left(\frac{\max(T)}{fyd}\right) = 2.89\,cm^2$

EXTREMIDADE PASSIVA

$b = 30cm$ $\quad q = 1$ $\quad F_{inicial} = 784.58\,kN$

$a_0 = 18cm$

$d = 25cm$ $\quad a_1 = 2d = 50\,cm$

$F_1 = F_{inicial} \cdot \cos(9°) = 774.92\,kN$ $\quad F_2 = F_{inicial} \cdot \cos(2°) = 784.1\,kN$

$T_1 = 0.25 \cdot F_1 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 123.99\,kN$ $\quad T_2 = 0.25 \cdot F_2 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 125.46\,kN$

$a_3 = 2 \cdot d + (n - 1) \cdot b = 80\,cm$

$F_k = \begin{pmatrix} 774.92 \\ 784.1 \end{pmatrix} kN$ $\quad T_k = \begin{pmatrix} 123.99 \\ 125.46 \end{pmatrix} kN$ $\quad \sum F = 1559.01\,kN$

$fyd = 43.48 \cdot \frac{kN}{cm^2}$

$As_3 = q \cdot \left(\frac{\max(T)}{fyd}\right) = 2.89\,cm^2$

$As_{fretagem} = \max(As_1, As_3) = 2.89\,cm^2$

Adotado espiral ø10mm - 5 passos por cabo em cada trecho de ancoragem ativa e passiva.

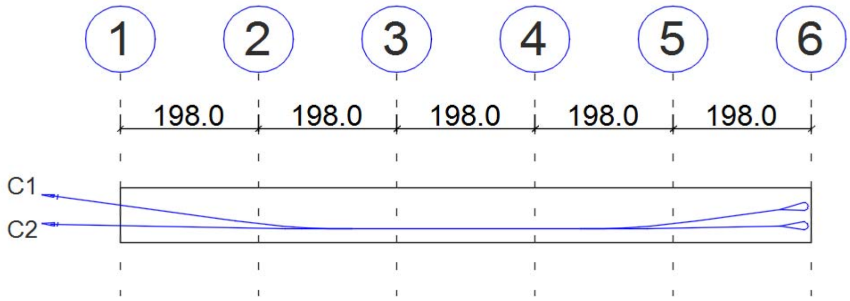
$As_{estribos} = As_{fretagem} = 2.89\,cm^2$

$L = a_2 = 80\,cm$ $\quad bitola_{estribo} = 8mm$ $\quad adotados = ceil\left(\frac{As_{estribos}}{bitola_{estribo}^2}\right) = 5$

Estribos $adotados = 5$ ø8.0mm em cada trecho de ancoragem ativa e passiva distribuídos em $L = 80\,cm$

V10 = V11 = V12 (COBERTURA) - CABOS C1 e C2

CABO C1 (4ø15.2mm)



$Área_{teórica\_aço} = 143.4mm^2$ $\quad fptk = \dfrac{265.8kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1853.56\,MPa$ $\quad fpyk = \dfrac{239.2kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1668.06\,MPa$

$\sigma_{pi} = \min(0.74 \cdot fptk, 0.82 \cdot fpyk) = 1367.81\,MPa$

$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78 \cdot \dfrac{kgf}{cm^2}$ $\quad \mu = 0.20$ $\quad \beta = 0.01 \dfrac{rad}{m}$ $\quad e = 2.72$ $\quad L = 9.90m$

$\kappa = \beta \cdot \mu = 0.002 \cdot \dfrac{rad}{m}$ $\quad n = 6$ $\quad i = 1, 2 .. n$

$$S = 0cm, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 198 \\ 396 \\ 594 \\ 792 \\ 990 \end{pmatrix} cm \qquad \Delta\alpha_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1.16 \\ 6.89 \\ 0 \\ 4.72 \\ 3.33 \end{pmatrix} °$$

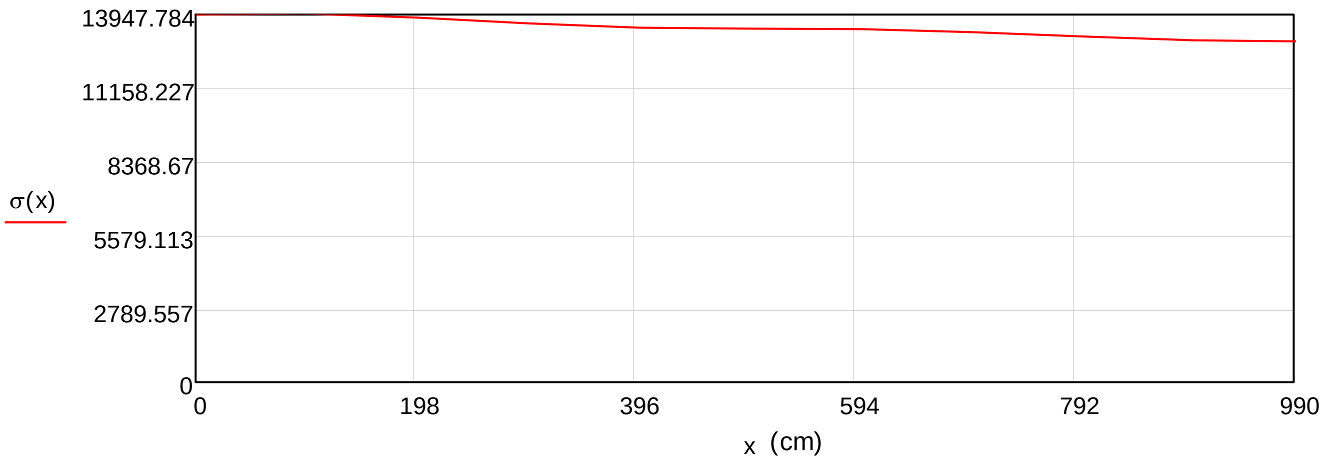
$$\alpha_i = \begin{vmatrix} 0rad \quad \text{if} \quad i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \Delta\alpha_{elevação_i} \quad \text{if} \quad i > 1 \\ i \cdot rad \quad \text{otherwise} \end{vmatrix}$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13836.52 \\ 13454.33 \\ 13401.15 \\ 13130.07 \\ 12927.04 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$a = \text{cspline}\left(S, \sigma_{esq}\right)$

$\sigma(x) = \text{interp}\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$



$\text{Área} = \int_0^L \sigma(x)\,dx$ $\text{Área} = 133226.38 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$

$\sigma_m = \frac{\text{Área}}{L}$ $\sigma_m = 13457.21 \cdot \frac{kg}{cm^2}$

$L_{cabo} = 10.30m$ $\text{Área}_{teórica\_aço} = 143.4 \cdot mm^2$ $E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$

$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot \text{Área}_{teórica\_aço} = 19.3 \cdot t$

$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 71 \cdot mm$

CABO C2 (4ø15.2mm)

$Área_{teórica\_aço} = 143.4mm^2$ $\quad fptk = \frac{265.8kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1853.56\,MPa$ $\quad fpyk = \frac{239.2kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1668.06\,MPa$

$\sigma_{pi} = \min(0.74 \cdot fptk, 0.82 \cdot fpyk) = 1367.81\,MPa$

$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78 \cdot \frac{kgf}{cm^2}$ $\quad \mu = 0.20$ $\quad \beta = 0.01 \frac{rad}{m}$ $\quad e = 2.72$ $\quad L = 9.90m$

$\kappa = \beta \cdot \mu = 0.002 \cdot \frac{rad}{m}$ $\quad n = 6$ $\quad i = 1, 2..n$

$$S = 0cm, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 198 \\ 396 \\ 594 \\ 792 \\ 990 \end{pmatrix} cm \qquad \Delta\alpha_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1.16 \\ 0 \\ 1.16 \\ 0 \end{pmatrix} °$$

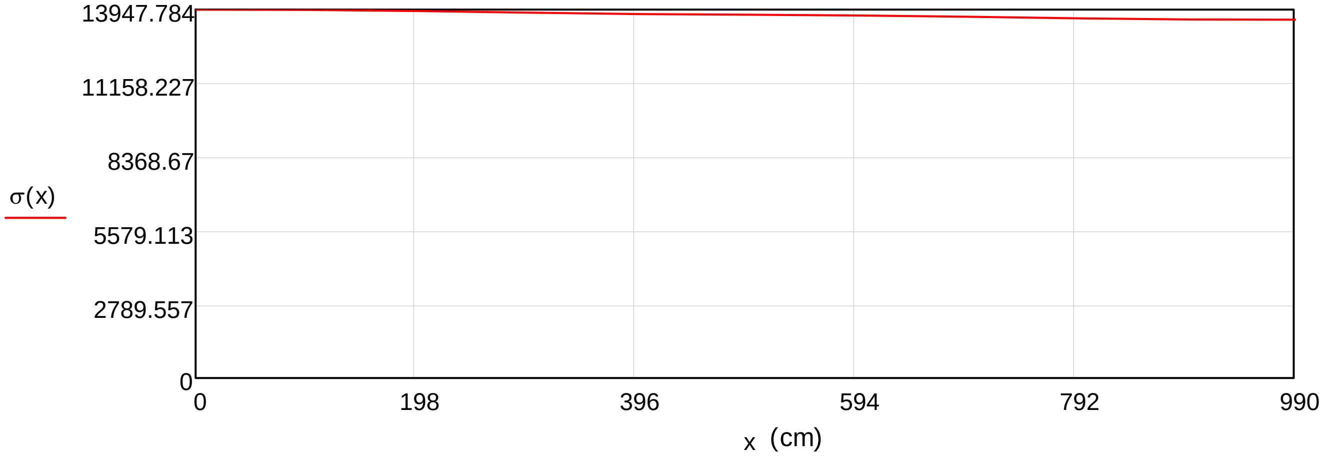
$$\alpha_i = \begin{vmatrix} 0rad \text{ if } i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \Delta\alpha_{elevação_i} \text{ if } i > 1 \\ i \cdot rad \text{ otherwise} \end{vmatrix}$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13892.66 \\ 13781.84 \\ 13727.37 \\ 13617.86 \\ 13564.04 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$$a = cspline(S, \sigma_{esq})$$

$$\sigma(x) = interp\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$$



$$\text{Área} = \int_0^L \sigma(x)\,dx \qquad \text{Área} = 136175.63 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$\sigma_m = \frac{\text{Área}}{L} \qquad \sigma_m = 13755.11 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$$L_{cabo} = 10.30m \qquad \text{Área}_{teórica\_aço} = 143.4 \cdot mm^2 \qquad E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$$

$$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot \text{Área}_{teórica\_aço} = 19.7 \cdot t$$

$$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 73 \cdot mm$$

V10 = V11 = V12 - CÁLCULO DAS ARMADURAS DE FRETAGEM

a_0 = Área da placa de distribuição

b = Distância entre eixos das ancoragens

c = Distância entre as ancoragens

d = Distância entre a face do concreto ao eixo da ancoragem

n = Quantidade de ancoragens em elevação

q = Quantidade de cabos alinhados em cada grupo (seção transversal)

EXTREMIDADE ATIVA

$b = 30cm$ $n = 2$ $q = 1$ $F_{inicial} = 4 \cdot \sigma_1 \cdot Área_{teórica\_aço} = 784.58\,kN$

$a_0 = 18cm$

$d = 25cm$ $a_1 = 2d = 50\,cm$

$F_1 = F_{inicial} \cdot \cos(8°) = 776.94\,kN$ $F_2 = F_{inicial} \cdot \cos(1°) = 784.46\,kN$

$T_1 = 0.25 \cdot F_1 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 124.31\,kN$ $T_2 = 0.25 \cdot F_2 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 125.51\,kN$

$a_2 = 2 \cdot d + (n - 1) \cdot b = 80\,cm$ $k = 1..n$

$F_k = \begin{pmatrix} 776.94 \\ 784.46 \end{pmatrix} kN$ $T_k = \begin{pmatrix} 124.31 \\ 125.51 \end{pmatrix} kN$ $\sum F = 1561.4\,kN$

$fyd = 43.48 \frac{kN}{cm^2}$

$As_1 = q \cdot \left(\frac{\max(T)}{fyd}\right) = 2.89\,cm^2$

EXTREMIDADE PASSIVA

$b = 30cm$ $q = 1$ $F_{inicial} = 784.58\,kN$

$a_0 = 18cm$

$d = 25cm$ $a_1 = 2d = 50\,cm$

$F_1 = F_{inicial} \cdot \cos(8°) = 776.94\,kN$ $F_2 = F_{inicial} \cdot \cos(1°) = 784.46\,kN$

$T_1 = 0.25 \cdot F_1 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 124.31\,kN$ $T_2 = 0.25 \cdot F_2 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 125.51\,kN$

$a_3 = 2 \cdot d + (n - 1) \cdot b = 80\,cm$

$F_k = \begin{pmatrix} 776.94 \\ 784.46 \end{pmatrix} kN$ $T_k = \begin{pmatrix} 124.31 \\ 125.51 \end{pmatrix} kN$ $\sum F = 1561.4\,kN$

$fyd = 43.48 \cdot \frac{kN}{cm^2}$

$As_3 = q \cdot \left(\frac{\max(T)}{fyd}\right) = 2.89\,cm^2$

$As_{fretagem} = \max\left(As_1, As_3\right) = 2.89\,cm^2$

Adotado espiral ø10mm - 5 passos por cabo em cada trecho de ancoragem ativa e passiva.

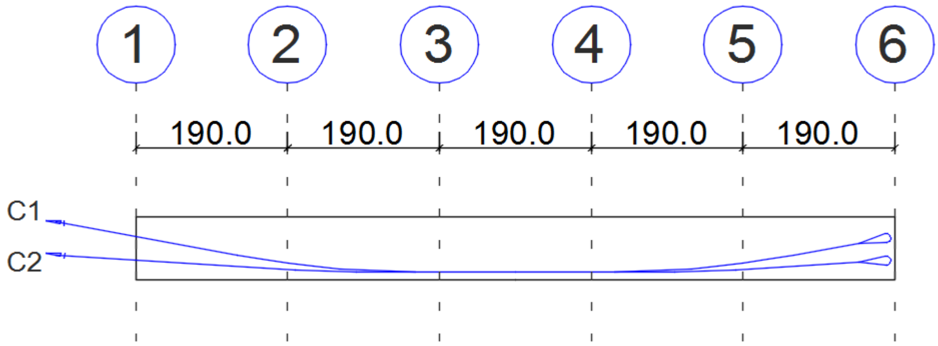
$As_{estribos} = As_{fretagem} = 2.89\,cm^2$

$L = a_2 = 80\,cm$ $bitola_{estribo} = 8mm$ $adotados = ceil\left(\frac{As_{estribos}}{bitola_{estribo}^{\ 2}}\right) = 5$

Estribos adotados = 5 ø8.0mm em cada trecho de ancoragem ativa e passiva distribuídos em $L = 80\,cm$

V13 = V14 = V15 = V16 = V42 (COBERTURA) - CABOS C1 e C2

CABO C1 (4ø15.2mm)



$$Área_{teórica\_aço} = 143.4mm^2 \qquad fptk = \frac{265.8kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1853.56\,MPa \qquad fpyk = \frac{239.2kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1668.06\,MPa$$

$$\sigma_{pi} = \min(0.74\cdot fptk, 0.82\cdot fpyk) = 1367.81\,MPa$$

$$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78\cdot\frac{kgf}{cm^2} \qquad \mu = 0.20 \qquad \beta = 0.01\frac{rad}{m} \qquad e = 2.72 \qquad L = 9.50m$$

$$\kappa = \beta\cdot\mu = 0.002\cdot\frac{rad}{m} \qquad n = 6 \qquad i = 1, 2..n$$

$$S = 0cm, \frac{L}{n-1}..L = \begin{pmatrix} 0 \\ 190 \\ 380 \\ 570 \\ 760 \\ 950 \end{pmatrix} cm \qquad \Delta\alpha_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0.98 \\ 5.79 \\ 0 \\ 4.29 \\ 2.49 \end{pmatrix}°$$

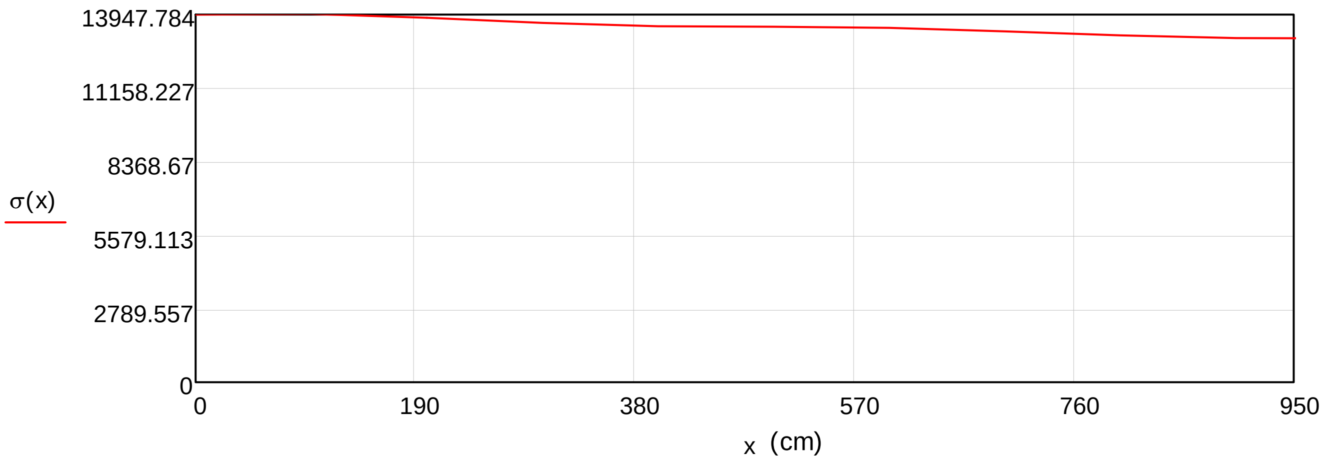
$$\alpha_i = \left| \begin{array}{ll} 0rad \ \text{ if } \ i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \Delta\alpha_{elevação_i} \ \text{ if } \ i > 1 \\ i\cdot rad \ \text{ otherwise} \end{array} \right.$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1\cdot e^{-(\mu\cdot\alpha+\kappa\cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13847.43 \\ 13518.9 \\ 13467.63 \\ 13217.13 \\ 13053.05 \end{pmatrix}\cdot\frac{kgf}{cm^2}$$

$$a = cspline(S, \sigma_{esq})$$

$$\sigma(x) = interp\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$$



$$Área = \int_0^L \sigma(x)\,dx \qquad Área = 128383.11 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$\sigma_m = \frac{Área}{L} \qquad \sigma_m = 13514.01 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$$L_{cabo} = 9.90m \qquad Área_{teórica\_aço} = 143.4 \cdot mm^2 \qquad E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$$

$$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot Área_{teórica\_aço} = 19.4 \cdot t$$

$$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 69 \cdot mm$$

CABO C2 (4ø15.2mm)

$$Área_{teórica\_aço} = 143.4mm^2 \qquad fptk = \frac{265.8kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1853.56\,MPa \qquad fpyk = \frac{239.2kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1668.06\,MPa$$

$$\sigma_{pi} = \min(0.74 \cdot fptk, 0.82 \cdot fpyk) = 1367.81\,MPa$$

$$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78 \cdot \frac{kgf}{cm^2} \qquad \mu = 0.20 \qquad \beta = 0.01 \frac{rad}{m} \qquad e = 2.72 \qquad L = 9.50m$$

$$\kappa = \beta \cdot \mu = 0.002 \cdot \frac{rad}{m} \qquad n = 6 \qquad i = 1, 2 .. n$$

$$S = 0cm, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 190 \\ 380 \\ 570 \\ 760 \\ 950 \end{pmatrix} cm \qquad \Delta\alpha_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0.56 \\ 2.02 \\ 0 \\ 1.32 \\ 1.26 \end{pmatrix} °$$

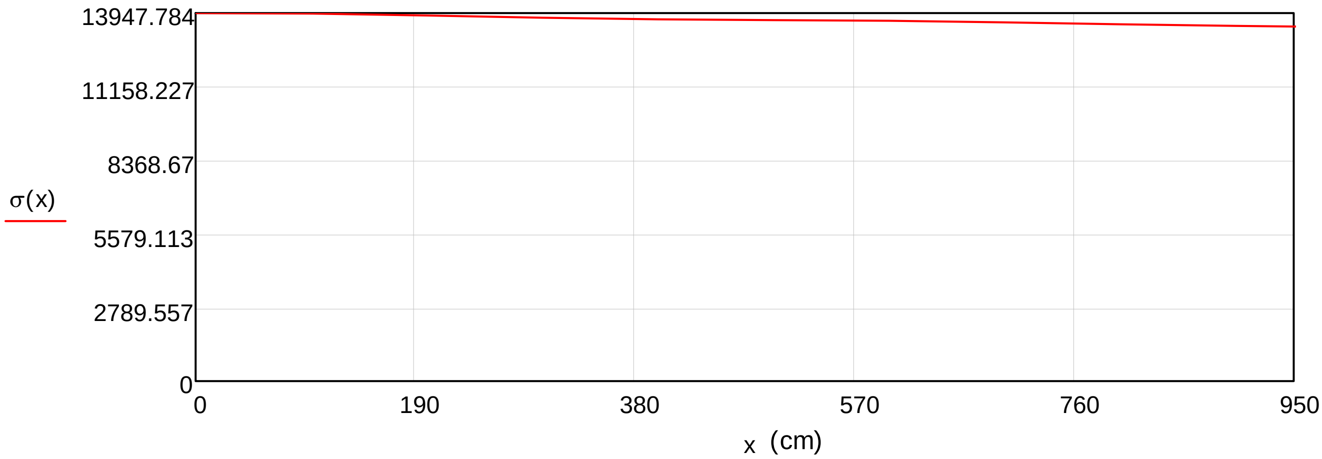
$$\alpha_i = \begin{vmatrix} 0rad \ \text{ if } \ i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \Delta\alpha_{elevação_i} \ \text{ if } \ i > 1 \\ i \cdot rad \ \text{ otherwise} \end{vmatrix}$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13867.75 \\ 13718.08 \\ 13666.05 \\ 13551.63 \\ 13440.99 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$$a = cspline(S, \sigma_{esq})$$

$$\sigma(x) = interp\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$$



$$Área = \int_0^L \sigma(x)\, dx \qquad Área = 130162.47 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$\sigma_m = \frac{Área}{L} \qquad \sigma_m = 13701.31 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$$L_{cabo} = 9.90m \qquad Área_{teórica\_aço} = 143.4 \cdot mm^2 \qquad E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$$

$$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot Área_{teórica\_aço} = 19.6 \cdot t$$

$$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 70 \cdot mm$$

V13 = V14 = V15 = V16 = V42 - CÁLCULO DAS ARMADURAS DE FRETAGEM

a_0 = Área da placa de distribuição

b = Distância entre eixos das ancoragens

c = Distância entre as ancoragens

d = Distância entre a face do concreto ao eixo da ancoragem

n = Quantidade de ancoragens em elevação

q = Quantidade de cabos alinhados em cada grupo (seção transversal)

EXTREMIDADE ATIVA

$b = 20cm$ $n = 2$ $q = 1$ $F_{inicial} = 4 \cdot \sigma_1 \cdot Área_{teórica\_aço} = 784.58\,kN$

$a_0 = 18cm$

$d = 20cm$ $a_1 = 2d = 40\,cm$

$F_1 = F_{inicial} \cdot \cos(7°) = 778.73\,kN$ $F_2 = F_{inicial} \cdot \cos(3°) = 783.5\,kN$

$$T_1 = 0.25 \cdot F_1 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 107.08\,kN \qquad T_2 = 0.25 \cdot F_2 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 107.73\,kN$$

$a_2 = 2 \cdot d + (n-1) \cdot b = 60\,cm$ $k = 1 .. n$

$$F_k = \begin{pmatrix} 778.73 \\ 783.5 \end{pmatrix} kN \qquad T_k = \begin{pmatrix} 107.08 \\ 107.73 \end{pmatrix} kN \qquad \sum F = 1562.23\,kN$$

$$fyd = 43.48 \frac{kN}{cm^2}$$

$$As_1 = q \cdot \left(\frac{\max(T)}{fyd}\right) = 2.48\,cm^2$$

EXTREMIDADE PASSIVA

$b = 20cm$ $q = 1$ $F_{inicial} = 784.58\,kN$

$a_0 = 18cm$

$d = 20cm$ $a_1 = 2d = 40\,cm$

$F_1 = F_{inicial}\cdot\cos(7°) = 778.73\,kN$ $F_2 = F_{inicial}\cdot\cos(3°) = 783.5\,kN$

$T_1 = 0.25\cdot F_1\cdot\left(1-\frac{a_0}{a_1}\right) = 107.08\,kN$ $T_2 = 0.25\cdot F_2\cdot\left(1-\frac{a_0}{a_1}\right) = 107.73\,kN$

$a_3 = 2\cdot d + (n-1)\cdot b = 60\,cm$

$F_k = \begin{pmatrix} 778.73 \\ 783.5 \end{pmatrix} kN$ $T_k = \begin{pmatrix} 107.08 \\ 107.73 \end{pmatrix} kN$ $\sum F = 1562.23\,kN$

$fyd = 43.48\cdot\frac{kN}{cm^2}$

$As_3 = q\cdot\left(\frac{\max(T)}{fyd}\right) = 2.48\,cm^2$

$As_{fretagem} = \max\left(As_1, As_3\right) = 2.48\,cm^2$

Adotado espiral ø10mm - 5 passos por cabo em cada trecho de ancoragem ativa e passiva.

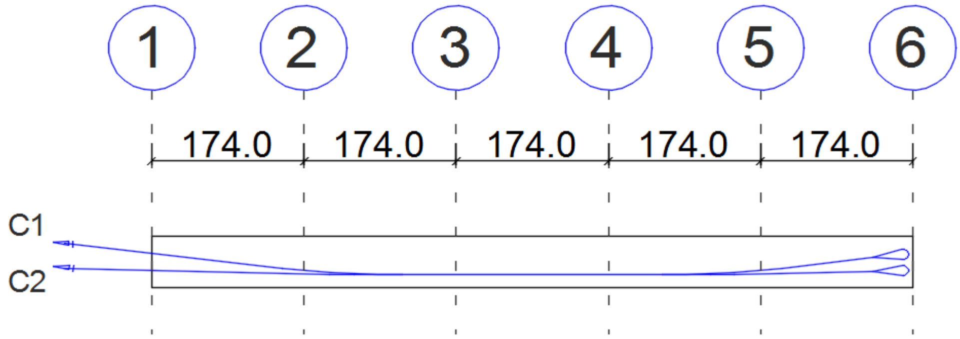
$As_{estribos} = As_{fretagem} = 2.48\,cm^2$

$L = a_2 = 60\,cm$ $bitola_{estribo} = 8mm$ $adotados = ceil\left(\frac{As_{estribos}}{bitola_{estribo}^{\ 2}}\right) = 4$

Estribos $adotados = 4$ ø8.0mm em cada trecho de ancoragem ativa e passiva distribuídos em $L = 60\,cm$

V17 (COBERTURA) - CABOS C1 e C2

CABO C1 (4ø15.2mm)



$Área_{teórica\_aço} = 143.4mm^2$ $\quad fptk = \frac{265.8kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1853.56\,MPa$ $\quad fpyk = \frac{239.2kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1668.06\,MPa$

$\sigma_{pi} = \min(0.74 \cdot fptk, 0.82 \cdot fpyk) = 1367.81\,MPa$

$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78 \cdot \frac{kgf}{cm^2}$ $\quad \mu = 0.20$ $\quad \beta = 0.01 \frac{rad}{m}$ $\quad e = 2.72$ $\quad L = 8.70m$

$\kappa = \beta \cdot \mu = 0.002 \cdot \frac{rad}{m}$ $\quad n = 6$ $\quad i = 1, 2 .. n$

$$S = 0cm, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 174 \\ 348 \\ 522 \\ 696 \\ 870 \end{pmatrix} cm \qquad \Delta\alpha_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0.73 \\ 5.83 \\ 0 \\ 3.66 \\ 2.9 \end{pmatrix} °$$

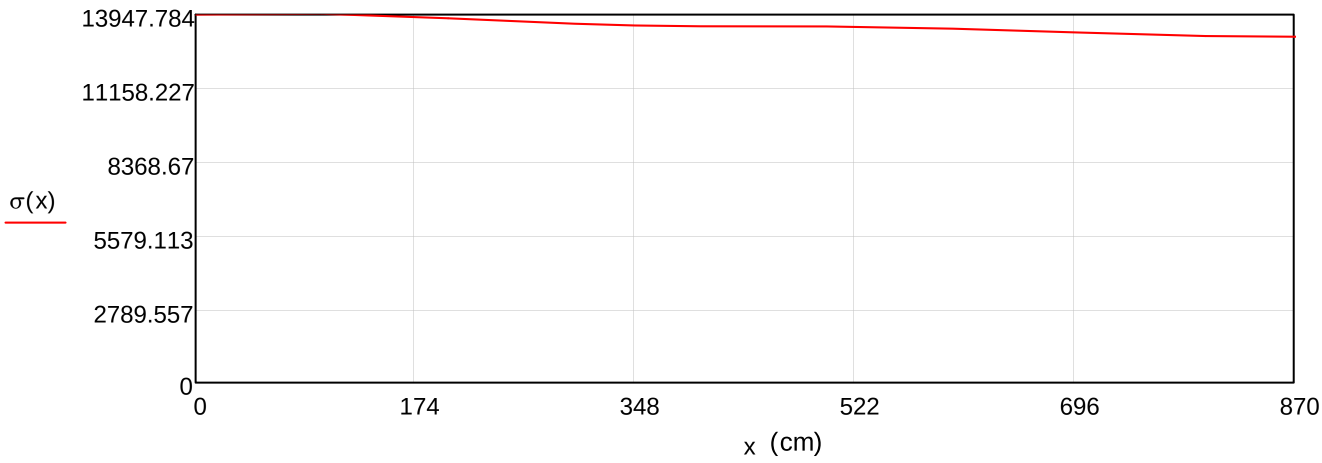
$$\alpha_i = \begin{vmatrix} 0rad \quad \text{if} \quad i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \Delta\alpha_{elevação_i} \quad \text{if} \quad i > 1 \\ i \cdot rad \quad \text{otherwise} \end{vmatrix}$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13863.96 \\ 13537.48 \\ 13490.45 \\ 13272.92 \\ 13093.59 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$a = \text{cspline}(S, \sigma_{esq})$

$\sigma(x) = \text{interp}\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$



$\text{Área} = \int_0^L \sigma(x)\,dx$

$\text{Área} = 117819.62 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$

$\sigma_m = \frac{\text{Área}}{L}$

$\sigma_m = 13542.48 \cdot \frac{kg}{cm^2}$

$L_{cabo} = 9.05m$

$\text{Área}_{teórica\_aço} = 143.4 \cdot mm^2$

$E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$

$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot \text{Área}_{teórica\_aço} = 19.4 \cdot t$

$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 63 \cdot mm$

CABO C2 (4ø15.2mm)

$\text{Área}_{teórica\_aço} = 143.4mm^2$ $\quad fptk = \frac{265.8kN}{\text{Área}_{teórica\_aço}} = 1853.56\,MPa$ $\quad fpyk = \frac{239.2kN}{\text{Área}_{teórica\_aço}} = 1668.06\,MPa$

$\sigma_{pi} = \min(0.74 \cdot fptk, 0.82 \cdot fpyk) = 1367.81\,MPa$

$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78 \cdot \frac{kgf}{cm^2}$ $\quad \mu = 0.20$ $\quad \beta = 0.01 \frac{rad}{m}$ $\quad e = 2.72$ $\quad L = 8.70m$

$\kappa = \beta \cdot \mu = 0.002 \cdot \frac{rad}{m}$ $\quad n = 6$ $\quad i = 1, 2 .. n$

$$S = 0cm, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 174 \\ 348 \\ 522 \\ 696 \\ 870 \end{pmatrix} cm \qquad \Delta\alpha_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1.32 \\ 0 \\ 1 \\ 0.32 \end{pmatrix} ^\circ$$

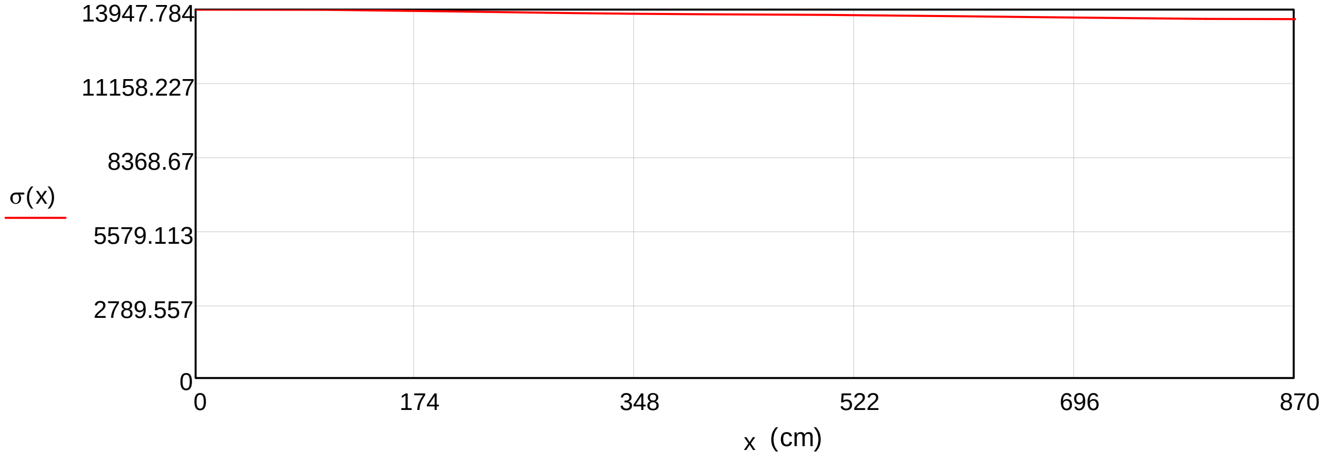
$$\alpha_i = \left| \begin{array}{ll} 0rad & \text{if } i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \Delta\alpha_{elevação_i} & \text{if } i > 1 \\ i \cdot rad & \text{otherwise} \end{array} \right.$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13899.33 \\ 13787.37 \\ 13739.47 \\ 13644.03 \\ 13581.46 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$$a = \text{cspline}(S, \sigma_{esq})$$

$$\sigma(x) = \text{interp}\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$$



$$\text{Área} = \int_0^L \sigma(x)\,dx \qquad \text{Área} = 119779.6 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$\sigma_m = \frac{\text{Área}}{L} \qquad \sigma_m = 13767.77 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$$L_{cabo} = 9.05m \qquad \text{Área}_{teórica\_aço} = 143.4 \cdot mm^2 \qquad E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$$

$$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot \text{Área}_{teórica\_aço} = 19.7 \cdot t$$

$$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 64 \cdot mm$$

V17 - CÁLCULO DAS ARMADURAS DE FRETAGEM

a_0 = Área da placa de distribuição

b = Distância entre eixos das ancoragens

c = Distância entre as ancoragens

d = Distância entre a face do concreto ao eixo da ancoragem

n = Quantidade de ancoragens em elevação

q = Quantidade de cabos alinhados em cada grupo (seção transversal)

EXTREMIDADE ATIVA

$b = 20cm$ $n = 2$ $q = 1$ $F_{inicial} = 4 \cdot \sigma_1 \cdot Área_{teórica\_aço} = 784.58\,kN$

$a_0 = 18cm$ $c = 4cm$

$d = 20cm$ $a_1 = a_0 + c = 22\,cm$

$F_1 = F_{inicial} \cdot \cos(1°) = 784.46\,kN$ $F_2 = F_{inicial} \cdot \cos(7°) = 778.73\,kN$

$T_1 = 0.25 \cdot F_1 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 35.66\,kN$ $T_2 = 0.25 \cdot F_2 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 35.4\,kN$

$a_2 = 2 \cdot d + (n - 1) \cdot b = 60\,cm$ $k = 1 .. n$

$F_k = \begin{pmatrix} 784.46 \\ 778.73 \end{pmatrix} kN$ $T_k = \begin{pmatrix} 35.66 \\ 35.4 \end{pmatrix} kN$ $\sum F = 1563.18\,kN$

$T_n = \frac{2}{3} \cdot \left(1 - \frac{n \cdot a_1}{a_2}\right) \cdot \sum F = 277.9\,kN$ $fyd = 43.48 \frac{kN}{cm^2}$

$As_1 = \frac{\max(T)}{fyd} = 0.82\,cm^2$ $As_2 = q \cdot \left(\frac{T_n}{fyd}\right) = 6.39\,cm^2$

EXTREMIDADE PASSIVA

$b = 20cm$ $\quad q = 1$ $\quad F_{inicial} = 784.58\,kN$

$a_0 = 18\,cm$ $\quad c = 4cm$

$d = 20cm$ $\quad a_1 = a_0 + c = 22\,cm$

$F_1 = F_{inicial} \cdot \cos(1°) = 784.46\,kN$ $\quad F_2 = F_{inicial} \cdot \cos(7°) = 778.73\,kN$

$$T_1 = 0.25 \cdot F_1 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 35.66\,kN \qquad T_2 = 0.25 \cdot F_2 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 35.4\,kN$$

$a_3 = 2 \cdot d + (n-1) \cdot b = 60\,cm$

$$F_k = \begin{pmatrix} 784.46 \\ 778.73 \end{pmatrix} kN \qquad T_k = \begin{pmatrix} 35.66 \\ 35.4 \end{pmatrix} kN \qquad \sum F = 1563.18\,kN$$

$$T_n = \frac{2}{3} \cdot \left(1 - \frac{n \cdot a_1}{a_3}\right) \cdot \sum F = 277.9\,kN \qquad fyd = 43.48 \cdot \frac{kN}{cm^2}$$

$$As_3 = \frac{\max(T)}{fyd} = 0.82\,cm^2 \qquad As_4 = q \cdot \left(\frac{T_n}{fyd}\right) = 6.39\,cm^2$$

$$As_{fretagem} = \max(As_1, As_3) = 0.82\,cm^2$$

Adotado espiral ø10mm - 5 passos por cabo em cada trecho de ancoragem ativa e passiva.

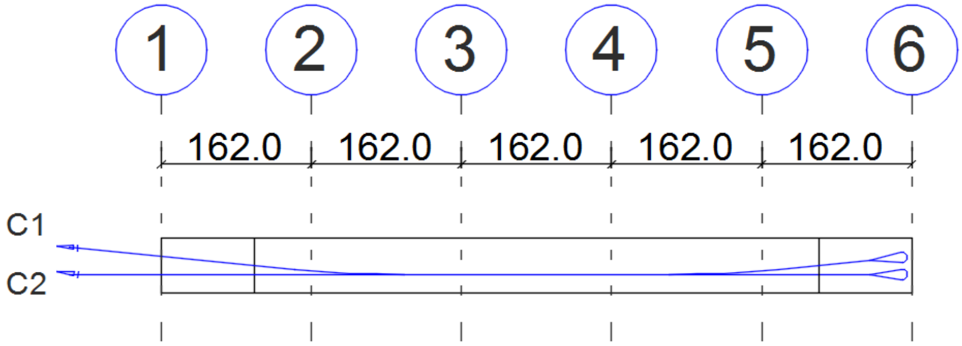
$$As_{estribos} = \frac{\max(As_2, As_4)}{2} = 3.2\,cm^2$$

$L = a_2 = 60\,cm$ $\quad bitola_{estribo} = 8mm$ $\quad adotados = ceil\left(\frac{As_{estribos}}{bitola_{estribo}^{\,2}}\right) = 5$

Estribos $adotados = 5$ ø8.0mm em cada trecho de ancoragem ativa e passiva distribuídos em $L = 60\,cm$

V18 = V19 = V63 (COBERTURA) - CABOS C1 e C2

CABO C1 (4ø15.2mm)



$\text{Área}_{\text{teórica\_aço}} = 143.4\text{mm}^2 \qquad \text{fptk} = \dfrac{265.8\text{kN}}{\text{Área}_{\text{teórica\_aço}}} = 1853.56\,\text{MPa} \qquad \text{fpyk} = \dfrac{239.2\text{kN}}{\text{Área}_{\text{teórica\_aço}}} = 1668.06\,\text{MPa}$

$\sigma_{pi} = \min(0.74\cdot\text{fptk}, 0.82\cdot\text{fpyk}) = 1367.81\,\text{MPa}$

$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78\cdot\dfrac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \qquad \mu = 0.20 \qquad \beta = 0.01\dfrac{\text{rad}}{\text{m}} \qquad e = 2.72 \qquad L = 8.10\text{m}$

$\kappa = \beta\cdot\mu = 0.002\cdot\dfrac{\text{rad}}{\text{m}} \qquad n = 6 \qquad i = 1, 2 .. n$

$S = 0\text{cm}, \dfrac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 162 \\ 324 \\ 486 \\ 648 \\ 810 \end{pmatrix}\text{cm} \qquad \Delta\alpha_{\text{elevação}} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0.42 \\ 5.22 \\ 0 \\ 3.05 \\ 2.6 \end{pmatrix}°$

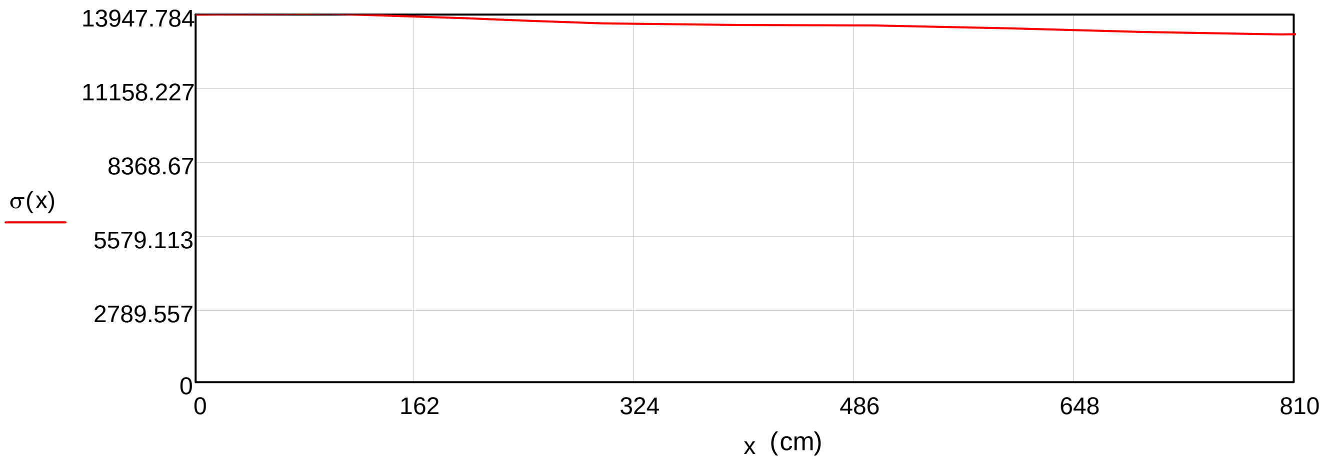
$$\alpha_i = \begin{cases} 0\text{rad} & \text{if } i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \Delta\alpha_{\text{elevação}_i} & \text{if } i > 1 \\ i\cdot\text{rad} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$\sigma_{esq} = \sigma_1\cdot e^{-(\mu\cdot\alpha+\kappa\cdot S)}$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13882.3 \\ 13587.54 \\ 13543.59 \\ 13356.82 \\ 13193.33 \end{pmatrix}\cdot\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$a = \mathrm{cspline}(S, \sigma_{esq})$

$\sigma(x) = \mathrm{interp}\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$



$\text{Área} = \int_0^L \sigma(x)\,dx$ $\qquad$ $\text{Área} = 110108.19 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$

$\sigma_m = \frac{\text{Área}}{L}$ $\qquad$ $\sigma_m = 13593.6 \cdot \frac{kg}{cm^2}$

$L_{cabo} = 8.45m$ $\qquad$ $\text{Área}_{teórica\_aço} = 143.4 \cdot mm^2$ $\qquad$ $E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$

$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot \text{Área}_{teórica\_aço} = 19.5 \cdot t$

$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 59 \cdot mm$

CABO C2 (4ø15.2mm)

$Área_{teórica\_aço} = 143.4mm^2$ $fptk = \frac{265.8kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1853.56\,MPa$ $fpyk = \frac{239.2kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1668.06\,MPa$

$\sigma_{pi} = \min(0.74 \cdot fptk, 0.82 \cdot fpyk) = 1367.81\,MPa$

$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78 \cdot \frac{kgf}{cm^2}$ $\mu = 0.20$ $\beta = 0.01 \frac{rad}{m}$ $e = 2.72$ $L = 8.10m$

$\kappa = \beta \cdot \mu = 0.002 \cdot \frac{rad}{m}$ $n = 6$ $i = 1, 2 .. n$

$S = 0cm, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 162 \\ 324 \\ 486 \\ 648 \\ 810 \end{pmatrix} cm$ $\Delta\alpha_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} °$

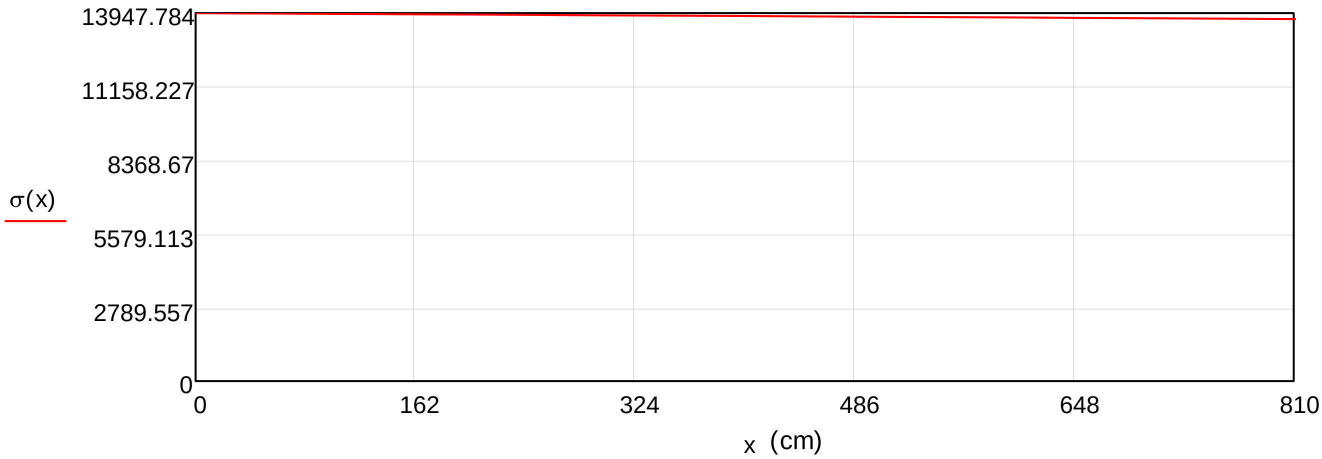
$$\alpha_i = \begin{vmatrix} 0rad \quad \text{if} \quad i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \Delta\alpha_{elevação_i} \quad \text{if} \quad i > 1 \\ i \cdot rad \quad \text{otherwise} \end{vmatrix}$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13902.67 \\ 13857.69 \\ 13812.87 \\ 13768.19 \\ 13723.65 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$$a = cspline(S, \sigma_{esq})$$

$$\sigma(x) = interp\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$$



$$Área = \int_0^L \sigma(x)\,dx \qquad Área = 112066.85 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$\sigma_m = \frac{Área}{L} \qquad \sigma_m = 13835.41 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$$L_{cabo} = 8.45m \qquad Área_{teórica\_aço} = 143.4 \cdot mm^2 \qquad E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$$

$$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot Área_{teórica\_aço} = 19.8 \cdot t$$

$$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 60 \cdot mm$$

V18 = V19 = V63 - CÁLCULO DAS ARMADURAS DE FRETAGEM

a_0 = Área da placa de distribuição

b = Distância entre eixos das ancoragens

c = Distância entre as ancoragens

d = Distância entre a face do concreto ao eixo da ancoragem

n = Quantidade de ancoragens em elevação

q = Quantidade de cabos alinhados em cada grupo (seção transversal)

EXTREMIDADE ATIVA

$b = 20cm$ $\quad n = 2$ $\quad q = 1$ $\quad F_{inicial} = 4 \cdot \sigma_1 \cdot Área_{teórica\_aço} = 784.58\,kN$

$a_0 = 18cm$ $\quad c = 4cm$

$d = 20cm$ $\quad a_1 = a_0 + c = 22\,cm$

$F_1 = F_{inicial} \cdot \cos(0°) = 784.58\,kN$ $\quad F_2 = F_{inicial} \cdot \cos(6°) = 780.28\,kN$

$$T_1 = 0.25 \cdot F_1 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 35.66\,kN \qquad T_2 = 0.25 \cdot F_2 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 35.47\,kN$$

$a_2 = 2 \cdot d + (n - 1) \cdot b = 60\,cm$ $\quad k = 1 .. n$

$$F_k = \begin{pmatrix} 784.58 \\ 780.28 \end{pmatrix} kN \qquad T_k = \begin{pmatrix} 35.66 \\ 35.47 \end{pmatrix} kN \qquad \sum F = 1564.85\,kN$$

$$T_n = \frac{2}{3} \cdot \left(1 - \frac{n \cdot a_1}{a_2}\right) \cdot \sum F = 278.2\,kN \qquad fyd = 43.48 \frac{kN}{cm^2}$$

$$As_1 = \frac{\max(T)}{fyd} = 0.82\,cm^2 \qquad As_2 = q \cdot \left(\frac{T_n}{fyd}\right) = 6.4\,cm^2$$

EXTREMIDADE PASSIVA

$b = 20cm$ $\quad q = 1$ $\quad F_{inicial} = 784.58\,kN$

$a_0 = 18\,cm$ $\quad c = 4\,cm$

$d = 20cm$ $\quad a_1 = a_0 + c = 22\,cm$

$F_1 = F_{inicial} \cdot \cos(0°) = 784.58\,kN$ $\quad F_2 = F_{inicial} \cdot \cos(6°) = 780.28\,kN$

$$T_1 = 0.25 \cdot F_1 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 35.66\,kN \qquad T_2 = 0.25 \cdot F_2 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 35.47\,kN$$

$a_3 = 2 \cdot d + (n - 1) \cdot b = 60\,cm$

$$F_k = \begin{pmatrix} 784.58 \\ 780.28 \end{pmatrix} kN \qquad T_k = \begin{pmatrix} 35.66 \\ 35.47 \end{pmatrix} kN \qquad \sum F = 1564.85\,kN$$

$$T_n = \frac{2}{3} \cdot \left(1 - \frac{n \cdot a_1}{a_3}\right) \cdot \sum F = 278.2\,kN \qquad fyd = 43.48 \cdot \frac{kN}{cm^2}$$

$$As_3 = \frac{\max(T)}{fyd} = 0.82\,cm^2 \qquad As_4 = q \cdot \left(\frac{T_n}{fyd}\right) = 6.4\,cm^2$$

$$As_{fretagem} = \max\left(As_1, As_3\right) = 0.82\,cm^2$$

Adotado espiral ø10mm - 5 passos por cabo em cada trecho de ancoragem ativa e passiva.

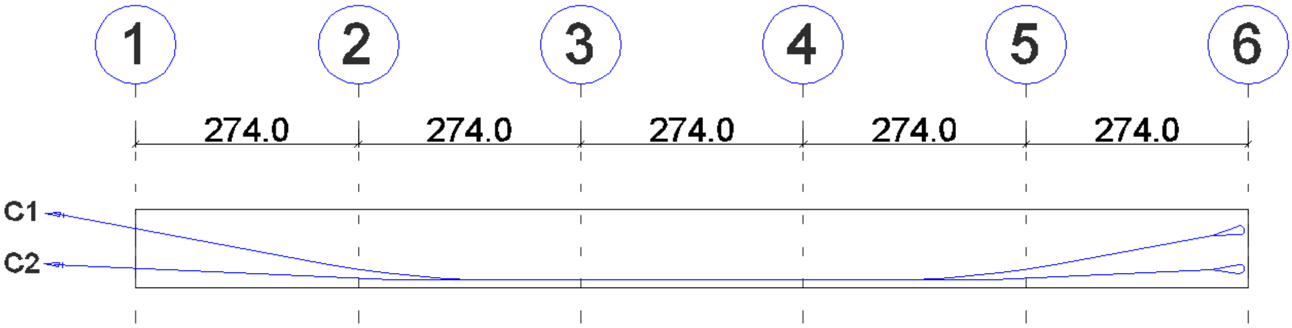
$$As_{estribos} = \frac{\max\left(As_2, As_4\right)}{2} = 3.2\,cm^2$$

$L = a_2 = 60\,cm$ $\quad bitola_{estribo} = 8mm$ $\quad adotados = ceil\left(\frac{As_{estribos}}{bitola_{estribo}^2}\right) = 5$

Estribos adotados = 5 ø8.0mm em cada trecho de ancoragem ativa e passiva distribuídos em $L = 60\,cm$

V44 (COBERTURA) - CABOS C1 e C2

CABO C1 (6ø15.2mm)



$$Área_{teórica\_aço} = 143.4mm^2 \qquad fptk = \frac{265.8kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1853.56\,MPa \qquad fpyk = \frac{239.2kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1668.06\,MPa$$

$$\sigma_{pi} = \min(0.74 \cdot fptk, 0.82 \cdot fpyk) = 1367.81\,MPa$$

$$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78 \cdot \frac{kgf}{cm^2} \qquad \mu = 0.20 \qquad \beta = 0.01\frac{rad}{m} \qquad e = 2.72 \qquad L = 13.70m$$

$$\kappa = \beta \cdot \mu = 0.002 \cdot \frac{rad}{m} \qquad n = 6 \qquad i = 1, 2..n$$

$$S = 0cm, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 274 \\ 548 \\ 822 \\ 1096 \\ 1370 \end{pmatrix} cm \qquad \Delta\alpha_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1.5 \\ 9.25 \\ 0 \\ 7.08 \\ 3.67 \end{pmatrix}°$$

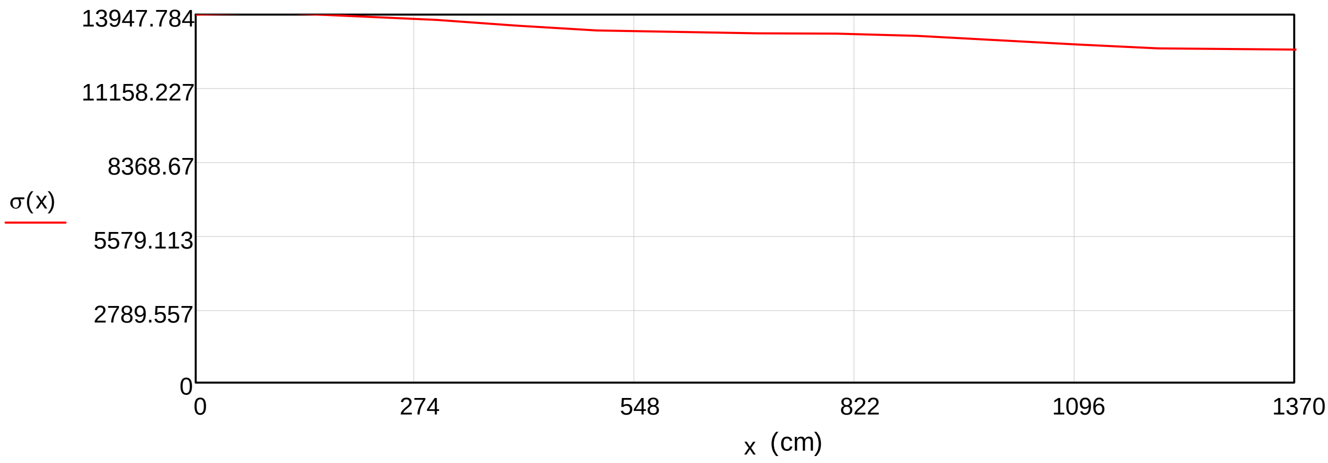
$$\alpha_i = \begin{vmatrix} 0rad \quad \text{if} \quad i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \Delta\alpha_{elevação_i} \quad \text{if} \quad i > 1 \\ i \cdot rad \quad \text{otherwise} \end{vmatrix}$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13799.12 \\ 13287.66 \\ 13215.05 \\ 12822 \\ 12589.6 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$a = \text{cspline}(S, \sigma_{esq})$

$\sigma(x) = \text{interp}\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$



$\text{Área} = \int_0^L \sigma(x)\, dx$ $\text{Área} = 181986.98 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$

$\sigma_m = \frac{\text{Área}}{L}$ $\sigma_m = 13283.72 \cdot \frac{kg}{cm^2}$

$L_{cabo} = 14.10m$ $\text{Área}_{teórica\_aço} = 143.4 \cdot mm^2$ $E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$

$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot \text{Área}_{teórica\_aço} = 19 \cdot t$

$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 96 \cdot mm$

CABO C2 (6ø15.2mm)

$\text{Área}_{\text{teórica\_aço}} = 143.4\,mm^2$ $\quad fptk = \dfrac{265.8kN}{\text{Área}_{\text{teórica\_aço}}} = 1853.56\,MPa$ $\quad fpyk = \dfrac{239.2kN}{\text{Área}_{\text{teórica\_aço}}} = 1668.06\,MPa$

$\sigma_{pi} = \min(0.74 \cdot fptk, 0.82 \cdot fpyk) = 1367.81\,MPa$

$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78 \cdot \dfrac{kgf}{cm^2}$ $\quad \mu = 0.20$ $\quad \beta = 0.01 \dfrac{rad}{m}$ $\quad e = 2.72$ $\quad L = 13.70m$

$\kappa = \beta \cdot \mu = 0.002 \cdot \dfrac{rad}{m}$ $\quad n = 6$ $\quad i = 1, 2 .. n$

$S = 0cm, \dfrac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 274 \\ 548 \\ 822 \\ 1096 \\ 1370 \end{pmatrix} cm$ $\quad \Delta\alpha_{\text{elevação}} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 2.51 \\ 0 \\ 2.51 \\ 0 \end{pmatrix} °$

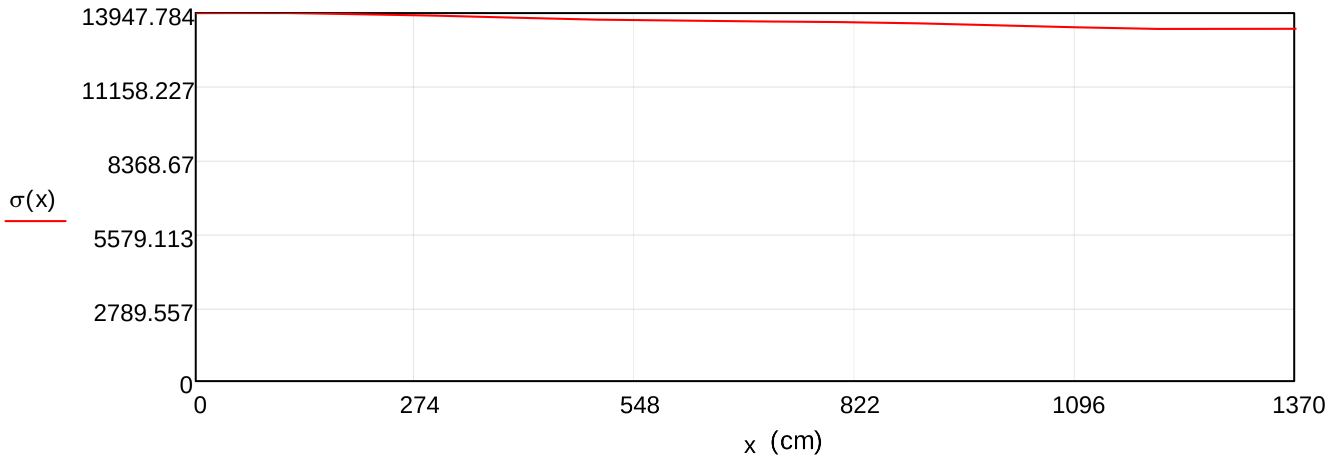
$$\alpha_i = \begin{vmatrix} 0rad \quad \text{if} \quad i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \Delta\alpha_{\text{elevação}_i} \quad \text{if} \quad i > 1 \\ i \cdot rad \quad \text{otherwise} \end{vmatrix}$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13871.56 \\ 13675.41 \\ 13600.67 \\ 13408.35 \\ 13335.07 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$$a = \text{cspline}(S, \sigma_{esq})$$

$$\sigma(x) = \text{interp}\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$$



$$\text{Área} = \int_0^L \sigma(x)\,dx \qquad \text{Área} = 186860.76 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$\sigma_m = \frac{\text{Área}}{L} \qquad \sigma_m = 13639.47 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$$L_{cabo} = 14.10m \qquad \text{Área}_{teórica\_aço} = 143.4 \cdot mm^2 \qquad E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$$

$$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot \text{Área}_{teórica\_aço} = 19.6 \cdot t$$

$$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 99 \cdot mm$$

V44 - CÁLCULO DAS ARMADURAS DE FRETAGEM

a_0 = Área da placa de distribuição

b = Distância entre eixos das ancoragens

c = Distância entre as ancoragens

d = Distância entre a face do concreto ao eixo da ancoragem

n = Quantidade de ancoragens em elevação

q = Quantidade de cabos alinhados em cada grupo (seção transversal)

EXTREMIDADE ATIVA

$b = 50cm$ $n = 2$ $q = 1$ $F_{inicial} = 6 \cdot \sigma_1 \cdot Área_{teórica\_aço} = 1176.86\,kN$

$a_0 = 22cm$ $c = 28cm$

$d = 25cm$ $a_1 = 2d = 50\,cm$

$F_1 = F_{inicial} \cdot \cos(11°) = 1155.24\,kN$ $F_2 = F_{inicial} \cdot \cos(3°) = 1175.25\,kN$

$$T_1 = 0.25 \cdot F_1 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 161.73\,kN \qquad T_2 = 0.25 \cdot F_2 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 164.54\,kN$$

$a_2 = 2 \cdot d + (n-1) \cdot b = 100\,cm$ $k = 1..n$

$$F_k = \begin{pmatrix} 1155.24 \\ 1175.25 \end{pmatrix} kN \qquad T_k = \begin{pmatrix} 161.73 \\ 164.54 \end{pmatrix} kN \qquad \sum F = 2330.49\,kN$$

$$fyd = 43.48 \frac{kN}{cm^2}$$

$$As_1 = q \cdot \left(\frac{\max(T)}{fyd}\right) = 3.78\,cm^2$$

EXTREMIDADE PASSIVA

$b = 50cm$ $\quad q = 1$ $\quad F_{inicial} = 1176.86\,kN$

$a_0 = 22cm$ $\quad c = 28cm$

$d = 25cm$ $\quad a_1 = a_0 + c = 50\,cm$

$F_1 = F_{inicial} \cdot \cos(11°) = 1155.24\,kN$ $\quad F_2 = F_{inicial} \cdot \cos(3°) = 1175.25\,kN$

$T_1 = 0.25 \cdot F_1 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 161.73\,kN$ $\quad T_2 = 0.25 \cdot F_2 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 164.54\,kN$

$a_3 = 2 \cdot d + (n - 1) \cdot b = 100\,cm$

$F_k = \begin{pmatrix} 1155.24 \\ 1175.25 \end{pmatrix} kN$ $\quad T_k = \begin{pmatrix} 161.73 \\ 164.54 \end{pmatrix} kN$ $\quad \sum F = 2330.49\,kN$

$fyd = 43.48 \cdot \frac{kN}{cm^2}$

$As_3 = q \cdot \left(\frac{\max(T)}{fyd}\right) = 3.78\,cm^2$

$As_{fretagem} = \max(As_1, As_3) = 3.78\,cm^2$

Adotado espiral ø10mm - 5 passos por cabo em cada trecho de ancoragem ativa e passiva.

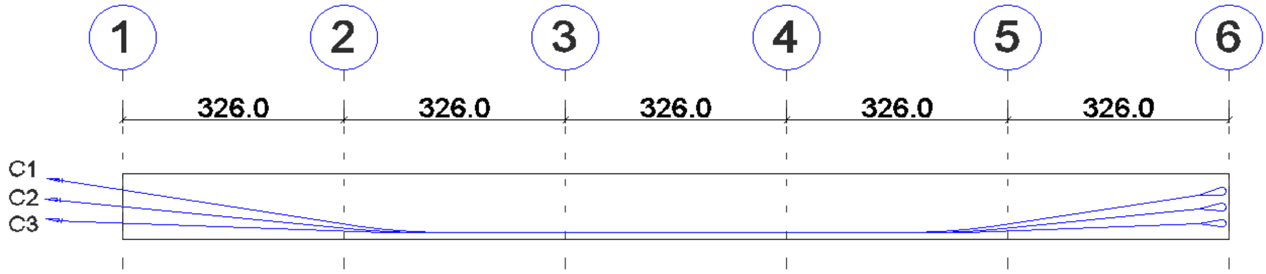
$As_{estribos} = As_{fretagem} = 3.78\,cm^2$

$L = a_2 = 100\,cm$ $\quad bitola_{estribo} = 8mm$ $\quad adotados = ceil\left(\frac{As_{estribos}}{bitola_{estribo}^{\ 2}}\right) = 6$

Estribos $adotados = 6$ ø8.0mm em cada trecho de ancoragem ativa e passiva distribuídos em $L = 100\,cm$

V46 = V52 = V54 (COBERTURA) - CABOS C1 a C3

CABO C1 (6ø15.2mm)



$Área_{teórica\_aço} = 143.4mm^2$ $\quad$ $fptk = \dfrac{265.8kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1853.56\,MPa$ $\quad$ $fpyk = \dfrac{239.2kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1668.06\,MPa$

$\sigma_{pi} = \min(0.74\cdot fptk\,,\,0.82\cdot fpyk) = 1367.81\,MPa$

$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78\cdot\dfrac{kgf}{cm^2}$ $\quad$ $\mu = 0.20$ $\quad$ $\beta = 0.01\dfrac{rad}{m}$ $\quad$ $e = 2.72$ $\quad$ $L = 16.30m$

$\kappa = \beta\cdot\mu = 0.002\cdot\dfrac{rad}{m}$ $\quad$ $n = 6$ $\quad$ $i = 1\,,2\,..\,n$

$$S = 0cm\,,\frac{L}{n-1}\,..\,L = \begin{pmatrix} 0 \\ 326 \\ 652 \\ 978 \\ 1304 \\ 1630 \end{pmatrix} cm \qquad \Delta\alpha_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0.06 \\ 9 \\ 0 \\ 6.83 \\ 2.23 \end{pmatrix}^{\circ}$$

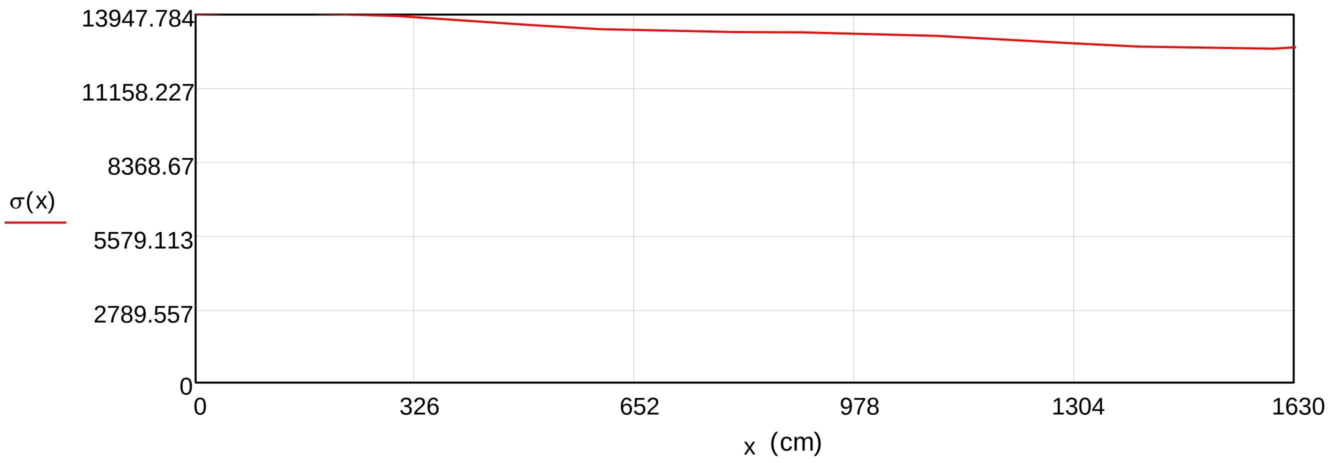
$$\alpha_i = \left| \begin{array}{l} 0rad \quad \text{if} \quad i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \Delta\alpha_{elevação_i} \quad \text{if} \quad i > 1 \\ i\cdot rad \quad \text{otherwise} \end{array} \right.$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1\cdot e^{-(\mu\cdot\alpha+\kappa\cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13854.24 \\ 13338.51 \\ 13251.82 \\ 12855.53 \\ 12672.95 \end{pmatrix}\cdot\frac{kgf}{cm^2}$$

$$a = \text{cspline}(S, \sigma_{esq})$$

$$\sigma(x) = \text{interp}\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$$



$$\text{Área} = \int_0^L \sigma(x)\,dx \qquad \text{Área} = 217238.28 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$\sigma_m = \frac{\text{Área}}{L} \qquad \sigma_m = 13327.5 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$$L_{cabo} = 16.70m \qquad \text{Área}_{teórica\_aço} = 143.4 \cdot mm^2 \qquad E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$$

$$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot \text{Área}_{teórica\_aço} = 19.1 \cdot t$$

$$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 114 \cdot mm$$

CABO C2 (6ø15.2mm)

$Área_{teórica\_aço} = 143.4mm^2$ $fptk = \frac{265.8kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1853.56\,MPa$ $fpyk = \frac{239.2kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1668.06\,MPa$

$\sigma_{pi} = \min(0.74 \cdot fptk, 0.82 \cdot fpyk) = 1367.81\,MPa$

$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78 \cdot \frac{kgf}{cm^2}$ $\mu = 0.20$ $\beta = 0.01 \frac{rad}{m}$ $e = 2.72$ $L = 16.30m$

$\kappa = \beta \cdot \mu = 0.002 \cdot \frac{rad}{m}$ $n = 6$ $i = 1, 2 .. n$

$$S = 0cm, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 326 \\ 652 \\ 978 \\ 1304 \\ 1630 \end{pmatrix} cm \qquad \Delta\alpha_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 5.61 \\ 0 \\ 5.01 \\ 0.59 \end{pmatrix} ^\circ$$

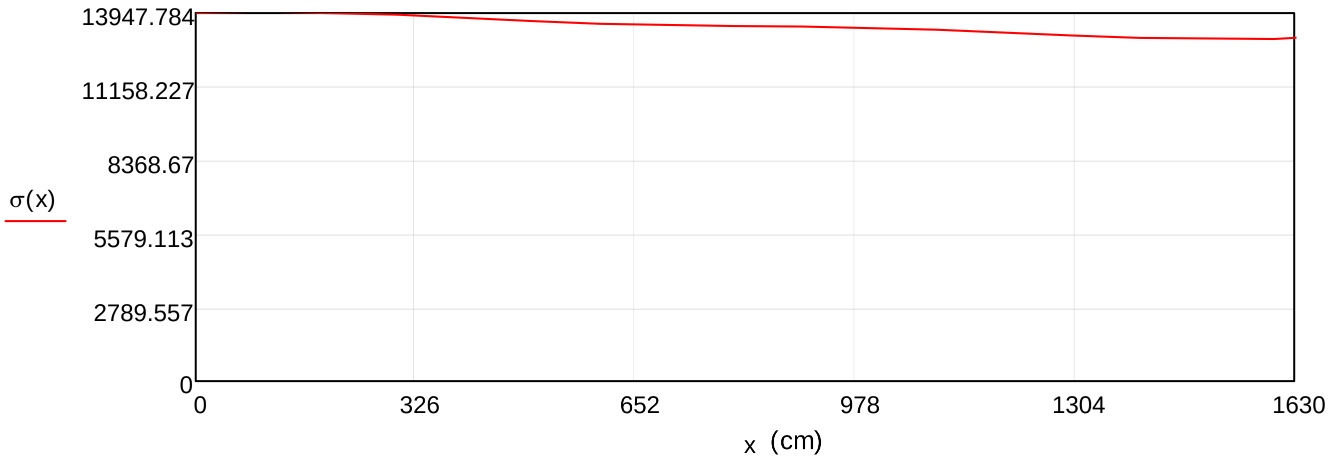
$$\alpha_i = \left| \begin{array}{l} 0rad \quad \text{if} \quad i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \Delta\alpha_{elevação_i} \quad \text{if} \quad i > 1 \\ i \cdot rad \quad \text{otherwise} \end{array} \right.$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13857.14 \\ 13500.11 \\ 13412.38 \\ 13094.21 \\ 12982.34 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$$a = cspline(S, \sigma_{esq})$$

$$\sigma(x) = interp\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$$



$$\text{Área} = \int_0^L \sigma(x)\,dx \qquad \text{Área} = 219516.89 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$\sigma_m = \frac{\text{Área}}{L} \qquad \sigma_m = 13467.29 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$$L_{cabo} = 16.70m \qquad \text{Área}_{teórica\_aço} = 143.4 \cdot mm^2 \qquad E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$$

$$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot \text{Área}_{teórica\_aço} = 19.3 \cdot t$$

$$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m)\cdot(L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 115 \cdot mm$$

CABO C3 (6ø15.2mm)

$$\text{Área}_{teórica\_aço} = 143.4mm^2 \qquad fptk = \frac{265.8kN}{\text{Área}_{teórica\_aço}} = 1853.56\,MPa \qquad fpyk = \frac{239.2kN}{\text{Área}_{teórica\_aço}} = 1668.06\,MPa$$

$$\sigma_{pi} = \min(0.74 \cdot fptk, 0.82 \cdot fpyk) = 1367.81\,MPa$$

$$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78 \cdot \frac{kgf}{cm^2} \qquad \mu = 0.20 \qquad \beta = 0.01 \frac{rad}{m} \qquad e = 2.72 \qquad L = 16.30m$$

$$\kappa = \beta \cdot \mu = 0.002 \cdot \frac{rad}{m} \qquad n = 6 \qquad i = 1, 2 .. n$$

$$S = 0cm, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 326 \\ 652 \\ 978 \\ 1304 \\ 1630 \end{pmatrix} cm \qquad \Delta\alpha_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 2.11 \\ 0 \\ 2.11 \\ 0 \end{pmatrix} ^\circ$$

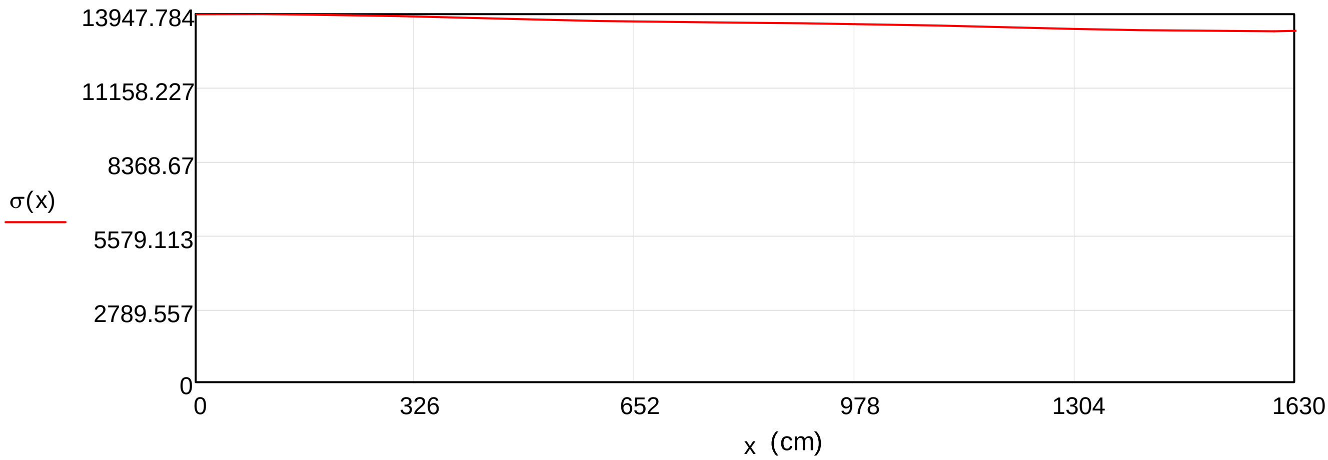
$$\alpha_i = \begin{cases} 0\text{rad} & \text{if } i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \Delta\alpha_{elevação_i} & \text{if } i > 1 \\ i\cdot\text{rad} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu\cdot\alpha + \kappa\cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13857.14 \\ 13666.06 \\ 13577.25 \\ 13390.03 \\ 13303.01 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$$a = \text{cspline}(S, \sigma_{esq})$$

$$\sigma(x) = \text{interp}\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$$



$$\text{Área} = \int_0^L \sigma(x)\,dx \qquad \text{Área} = 222057.21 \cdot \frac{kg\cdot m}{cm^2}$$

$$\sigma_m = \frac{\text{Área}}{L} \qquad \sigma_m = 13623.14 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$$L_{cabo} = 16.70m \qquad \text{Área}_{teórica\_aço} = 143.4 \cdot mm^2 \qquad E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$$

$$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot \text{Área}_{teórica\_aço} = 19.5 \cdot t$$

$$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m)\cdot(L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 117 \cdot mm$$

V46 = V52 = V54 - CÁLCULO DAS ARMADURAS DE FRETAGEM

a_0 = Área da placa de distribuição

b = Distância entre eixos das ancoragens

c = Distância entre as ancoragens

d = Distância entre a face do concreto ao eixo da ancoragem

n = Quantidade de ancoragens em elevação

q = Quantidade de cabos alinhados em cada grupo (seção transversal)

EXTREMIDADE ATIVA

$b = 25cm$ $\quad n = 3$ $\quad q = 1$ $\quad F_{inicial} = 6 \cdot \sigma_1 \cdot Área_{teórica\_aço} = 1176.86\,kN$

$a_0 = 22cm$ $\quad c = 5cm$

$d = 25cm$ $\quad a_1 = a_0 + c = 27\,cm$

$F_1 = F_{inicial} \cdot \cos(9°) = 1162.37\,kN$ $\quad F_3 = F_{inicial} \cdot \cos(2°) = 1176.15\,kN$

$$T_1 = 0.25 \cdot F_1 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 53.81\,kN \qquad T_3 = 0.25 \cdot F_3 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 54.45\,kN$$

$F_2 = F_{inicial} \cdot \cos(6°) = 1170.42\,kN$

$$T_2 = 0.25 \cdot F_2 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 54.19\,kN$$

$a_2 = 2 \cdot d + (n-1) \cdot b = 100\,cm$ $\quad k = 1 .. n$

$$F_k = \begin{pmatrix} 1162.37 \\ 1170.42 \\ 1176.15 \end{pmatrix} kN \qquad T_k = \begin{pmatrix} 53.81 \\ 54.19 \\ 54.45 \end{pmatrix} kN \qquad \sum F = 3508.94\,kN$$

$$T_n = \frac{2}{3} \cdot \left(1 - \frac{n \cdot a_1}{a_2}\right) \cdot \sum F = 444.47\,kN \qquad fyd = 43.48 \frac{kN}{cm^2}$$

$$As_1 = \frac{\max(T)}{fyd} = 1.25\,cm^2 \qquad As_2 = q \cdot \left(\frac{T_n}{fyd}\right) = 10.22\,cm^2$$

EXTREMIDADE PASSIVA

$b = 25cm$ $q = 1$ $F_{inicial} = 1176.86\,kN$

$a_0 = 22\,cm$ $c = 5\,cm$

$d = 25cm$ $a_1 = a_0 + c = 27\,cm$

$F_1 = F_{inicial} \cdot \cos(9°) = 1162.37\,kN$ $F_3 = F_{inicial} \cdot \cos(2°) = 1176.15\,kN$

$$T_1 = 0.25 \cdot F_1 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 53.81\,kN \qquad T_3 = 0.25 \cdot F_3 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 54.45\,kN$$

$F_2 = F_{inicial} \cdot \cos(6°) = 1170.42\,kN$

$$T_2 = 0.25 \cdot F_2 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 54.19\,kN$$

$a_3 = 2 \cdot d + (n - 1) \cdot b = 100\,cm$

$$F_k = \begin{pmatrix} 1162.37 \\ 1170.42 \\ 1176.15 \end{pmatrix} kN \qquad T_k = \begin{pmatrix} 53.81 \\ 54.19 \\ 54.45 \end{pmatrix} kN \qquad \sum F = 3508.94\,kN$$

$$T_n = \frac{2}{3} \cdot \left(1 - \frac{n \cdot a_1}{a_3}\right) \cdot \sum F = 444.47\,kN \qquad fyd = 43.48 \cdot \frac{kN}{cm^2}$$

$$As_3 = \frac{\max(T)}{fyd} = 1.25\,cm^2 \qquad As_4 = q \cdot \left(\frac{T_n}{fyd}\right) = 10.22\,cm^2$$

$$As_{fretagem} = \max\left(As_1, As_3\right) = 1.25\,cm^2$$

Adotado espiral ø10mm - 5 passos por cabo em cada trecho de ancoragem ativa e passiva.

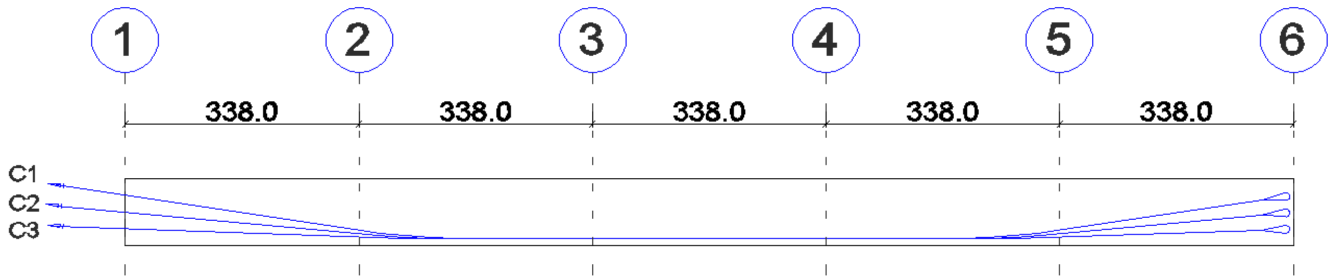
$$As_{estribos} = \frac{\max\left(As_2, As_4\right)}{2} = 5.11\,cm^2$$

$L = a_2 = 100\,cm$ $bitola_{estribo} = 8mm$ $adotados = \mathrm{ceil}\left(\frac{As_{estribos}}{bitola_{estribo}^2}\right) = 8$

Estribos $adotados = 8$ ø8.0mm em cada trecho de ancoragem ativa e passiva distribuídos em $L = 100\,cm$

V47 = V51 (COBERTURA) - CABOS C1 a C3

CABO C1 (6ø15.2mm)



$Área_{teórica\_aço} = 143.4mm^2$ $\quad fptk = \dfrac{265.8kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1853.56\,MPa$ $\quad fpyk = \dfrac{239.2kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1668.06\,MPa$

$\sigma_{pi} = \min(0.74 \cdot fptk, 0.82 \cdot fpyk) = 1367.81\,MPa$

$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78 \cdot \dfrac{kgf}{cm^2}$ $\quad \mu = 0.20$ $\quad \beta = 0.01\dfrac{rad}{m}$ $\quad e = 2.72$ $\quad L = 16.90m$

$\kappa = \beta \cdot \mu = 0.002 \cdot \dfrac{rad}{m}$ $\quad n = 6$ $\quad i = 1, 2..\, n$

$$S = 0cm, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 338 \\ 676 \\ 1014 \\ 1352 \\ 1690 \end{pmatrix} cm \qquad \Delta\alpha_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 8.75 \\ 0 \\ 6.81 \\ 1.94 \end{pmatrix} {}^\circ$$

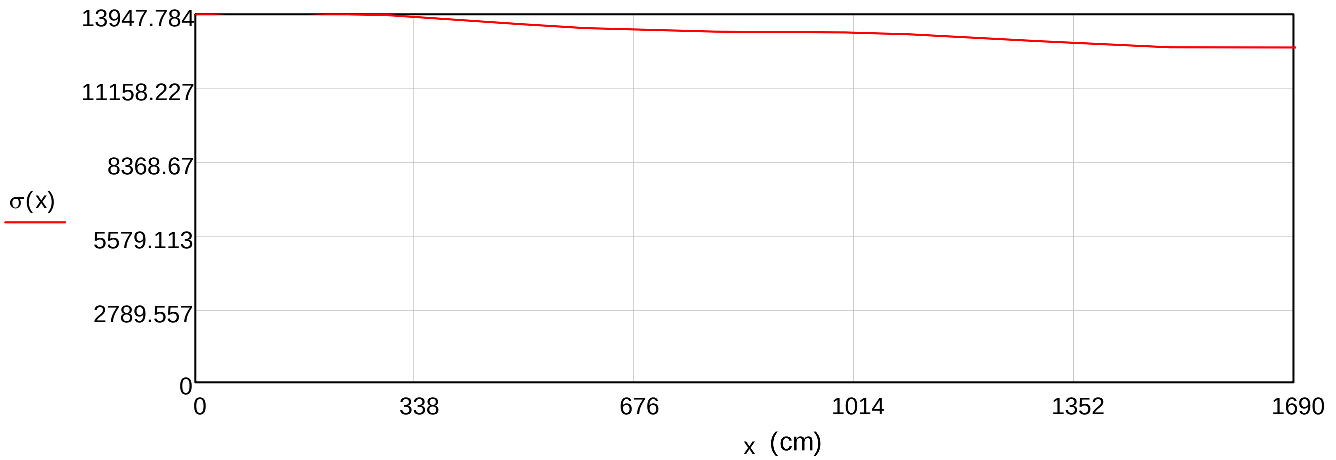
$$\alpha_i = \begin{cases} 0rad & \text{if } i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \Delta\alpha_{elevação_i} & \text{if } i > 1 \\ i \cdot rad & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13853.81 \\ 13346.54 \\ 13256.62 \\ 12858 \\ 12685.18 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$a = \mathrm{cspline}\left(S, \sigma_{esq}\right)$

$\sigma(x) = \mathrm{interp}\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$



$\text{Área} = \int_0^L \sigma(x)\, dx$ $\qquad$ $\text{Área} = 225296.32 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$

$\sigma_m = \frac{\text{Área}}{L}$ $\qquad$ $\sigma_m = 13331.14 \cdot \frac{kg}{cm^2}$

$L_{cabo} = 17.30m$ $\qquad$ $\text{Área}_{teórica\_aço} = 143.4 \cdot mm^2$ $\qquad$ $E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$

$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot \text{Área}_{teórica\_aço} = 19.1 \cdot t$

$\Delta L_{teórico} = \frac{\left(\sigma_m\right) \cdot \left(L_{cabo}\right)}{E_{teórico\_aço}} = 118 \cdot mm$

CABO C2 (6ø15.2mm)

$$Área_{teórica\_aço} = 143.4mm^2 \qquad fptk = \frac{265.8kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1853.56\,MPa \qquad fpyk = \frac{239.2kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1668.06\,MPa$$

$$\sigma_{pi} = \min(0.74 \cdot fptk, 0.82 \cdot fpyk) = 1367.81\,MPa$$

$$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78 \cdot \frac{kgf}{cm^2} \qquad \mu = 0.20 \qquad \beta = 0.01 \frac{rad}{m} \qquad e = 2.72 \qquad L = 16.90m$$

$$\kappa = \beta \cdot \mu = 0.002 \cdot \frac{rad}{m} \qquad n = 6 \qquad i = 1, 2 .. n$$

$$S = 0cm, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 338 \\ 676 \\ 1014 \\ 1352 \\ 1690 \end{pmatrix} cm \qquad \Delta\alpha_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 5.41 \\ 0 \\ 5.06 \\ 0.35 \end{pmatrix} °$$

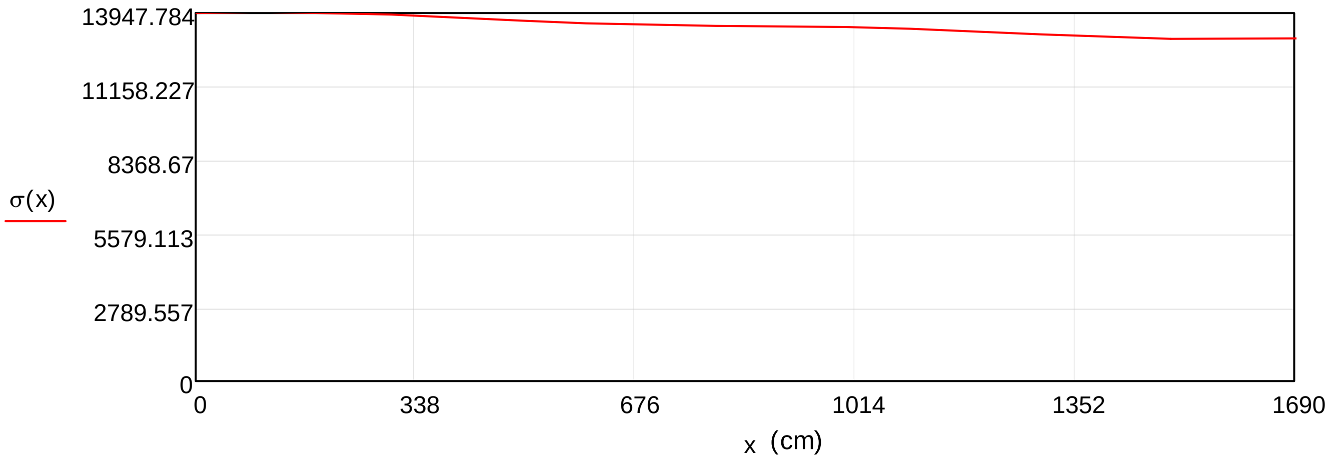
$$\alpha_i = \begin{vmatrix} 0rad \quad \text{if} \quad i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \Delta\alpha_{elevação_i} \quad \text{if} \quad i > 1 \\ i \cdot rad \quad \text{otherwise} \end{vmatrix}$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13853.81 \\ 13503.06 \\ 13412.08 \\ 13088.49 \\ 12984.44 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$$a = cspline(S, \sigma_{esq})$$

$$\sigma(x) = interp\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$$



$$\text{Área} = \int_0^L \sigma(x)\,dx \qquad \text{Área} = 227568.98\cdot\frac{kg\cdot m}{cm^2}$$

$$\sigma_m = \frac{\text{Área}}{L} \qquad \sigma_m = 13465.62\cdot\frac{kg}{cm^2}$$

$$L_{cabo} = 17.30m \qquad \text{Área}_{teórica\_aço} = 143.4\cdot mm^2 \qquad E_{teórico\_aço} = 1950000\frac{kg}{cm^2}$$

$$F_{média\_cabo} = \sigma_m\cdot \text{Área}_{teórica\_aço} = 19.3\cdot t$$

$$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m)\cdot(L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 119\cdot mm$$

CABO C3 (6ø15.2mm)

$$\text{Área}_{teórica\_aço} = 143.4mm^2 \qquad fptk = \frac{265.8kN}{\text{Área}_{teórica\_aço}} = 1853.56\,MPa \qquad fpyk = \frac{239.2kN}{\text{Área}_{teórica\_aço}} = 1668.06\,MPa$$

$$\sigma_{pi} = \min(0.74\cdot fptk, 0.82\cdot fpyk) = 1367.81\,MPa$$

$$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78\cdot\frac{kgf}{cm^2} \qquad \mu = 0.20 \qquad \beta = 0.01\frac{rad}{m} \qquad e = 2.72 \qquad L = 16.90m$$

$$\kappa = \beta\cdot\mu = 0.002\cdot\frac{rad}{m} \qquad n = 6 \qquad i = 1, 2 .. n$$

$$S = 0cm, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 338 \\ 676 \\ 1014 \\ 1352 \\ 1690 \end{pmatrix} cm \qquad \Delta\alpha_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 2.03 \\ 0 \\ 2.03 \\ 0 \end{pmatrix}°$$

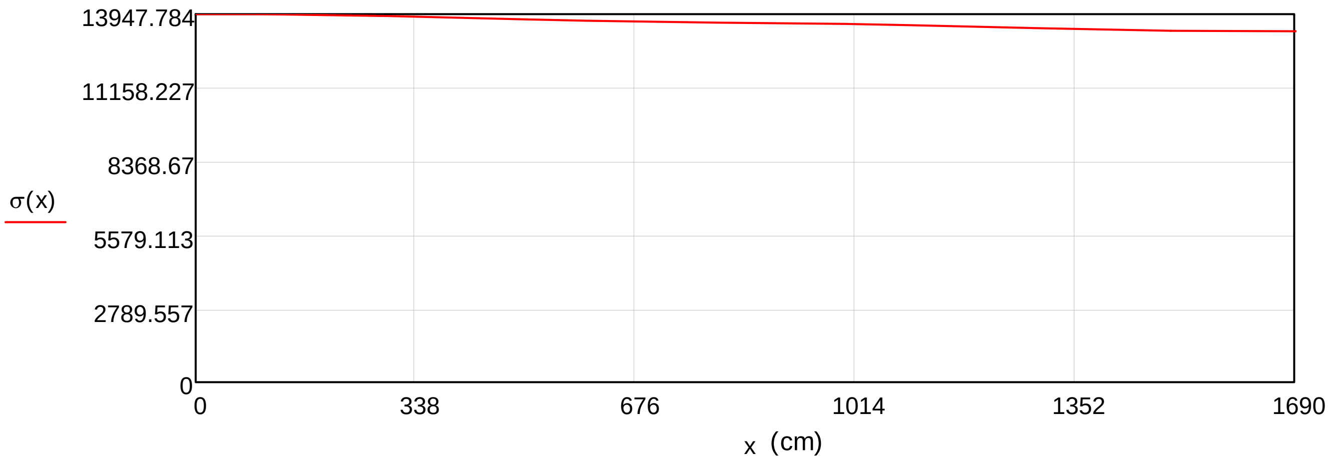
$$\alpha_i = \begin{cases} 0\text{rad} & \text{if } i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \Delta\alpha_{elevação_i} & \text{if } i > 1 \\ i \cdot \text{rad} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13853.81 \\ 13663.32 \\ 13571.26 \\ 13384.65 \\ 13294.48 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$$a = \text{cspline}(S, \sigma_{esq})$$

$$\sigma(x) = \text{interp}\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$$



$$\text{Área} = \int_0^L \sigma(x)\,dx \qquad \text{Área} = 230157.7 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$\sigma_m = \frac{\text{Área}}{L} \qquad \sigma_m = 13618.8 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$$L_{cabo} = 17.30m \qquad \text{Área}_{teórica\_aço} = 143.4 \cdot mm^2 \qquad E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$$

$$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot \text{Área}_{teórica\_aço} = 19.5 \cdot t$$

$$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 121 \cdot mm$$

V47 = V51 - CÁLCULO DAS ARMADURAS DE FRETAGEM

a_0 = Área da placa de distribuição

b = Distância entre eixos das ancoragens

c = Distância entre as ancoragens

d = Distância entre a face do concreto ao eixo da ancoragem

n = Quantidade de ancoragens em elevação

q = Quantidade de cabos alinhados em cada grupo (seção transversal)

EXTREMIDADE ATIVA

$b = 25cm$ $\quad n = 3$ $\quad q = 1$ $\quad F_{inicial} = 6 \cdot \sigma_1 \cdot Área_{teórica\_aço} = 1176.86\,kN$

$a_0 = 22cm$ $\quad c = 5cm$

$d = 25cm$ $\quad a_1 = a_0 + c = 27\,cm$

$F_1 = F_{inicial} \cdot \cos(9°) = 1162.37\,kN$ $\quad F_3 = F_{inicial} \cdot \cos(2°) = 1176.15\,kN$

$$T_1 = 0.25 \cdot F_1 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 53.81\,kN \qquad T_3 = 0.25 \cdot F_3 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 54.45\,kN$$

$F_2 = F_{inicial} \cdot \cos(5°) = 1172.39\,kN$

$$T_2 = 0.25 \cdot F_2 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 54.28\,kN$$

$a_2 = 2 \cdot d + (n - 1) \cdot b = 100\,cm$ $\quad k = 1 .. n$

$$F_k = \begin{pmatrix} 1162.37 \\ 1172.39 \\ 1176.15 \end{pmatrix} kN \qquad T_k = \begin{pmatrix} 53.81 \\ 54.28 \\ 54.45 \end{pmatrix} kN \qquad \sum F = 3510.91\,kN$$

$$T_n = \frac{2}{3} \cdot \left(1 - \frac{n \cdot a_1}{a_2}\right) \cdot \sum F = 444.71\,kN \qquad fyd = 43.48 \frac{kN}{cm^2}$$

$$As_1 = \frac{\max(T)}{fyd} = 1.25\,cm^2 \qquad As_2 = q \cdot \left(\frac{T_n}{fyd}\right) = 10.23\,cm^2$$

EXTREMIDADE PASSIVA

$b = 25cm$ $q = 1$ $F_{inicial} = 1176.86\,kN$

$a_0 = 22\,cm$ $c = 5\,cm$

$d = 25cm$ $a_1 = a_0 + c = 27\,cm$

$F_1 = F_{inicial} \cdot \cos(9°) = 1162.37\,kN$ $F_3 = F_{inicial} \cdot \cos(2°) = 1176.15\,kN$

$T_1 = 0.25 \cdot F_1 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 53.81\,kN$ $T_3 = 0.25 \cdot F_3 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 54.45\,kN$

$F_2 = F_{inicial} \cdot \cos(5°) = 1172.39\,kN$

$T_2 = 0.25 \cdot F_2 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 54.28\,kN$

$a_3 = 2 \cdot d + (n - 1) \cdot b = 100\,cm$

$F_k = \begin{pmatrix} 1162.37 \\ 1172.39 \\ 1176.15 \end{pmatrix} kN$ $T_k = \begin{pmatrix} 53.81 \\ 54.28 \\ 54.45 \end{pmatrix} kN$ $\sum F = 3510.91\,kN$

$T_n = \frac{2}{3} \cdot \left(1 - \frac{n \cdot a_1}{a_3}\right) \cdot \sum F = 444.71\,kN$ $fyd = 43.48 \cdot \frac{kN}{cm^2}$

$As_3 = \frac{\max(T)}{fyd} = 1.25\,cm^2$ $As_4 = q \cdot \left(\frac{T_n}{fyd}\right) = 10.23\,cm^2$

$As_{fretagem} = \max\left(As_1, As_3\right) = 1.25\,cm^2$

Adotado espiral ø10mm - 5 passos por cabo em cada trecho de ancoragem ativa e passiva.

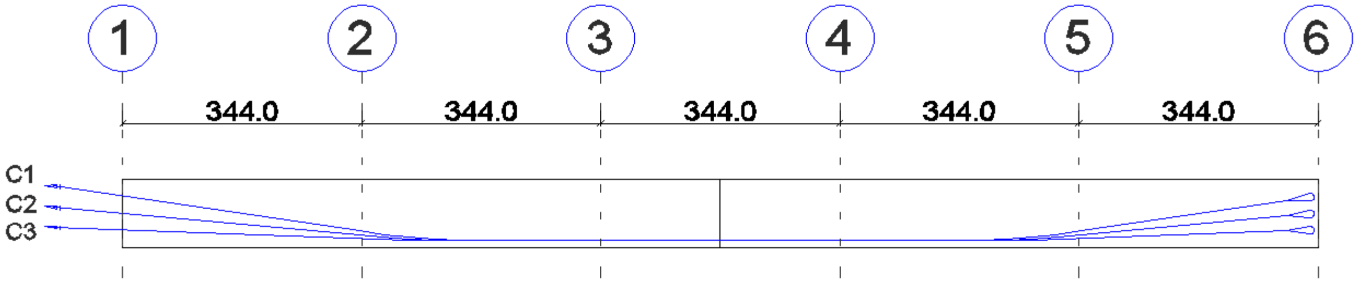
$As_{estribos} = \frac{\max\left(As_2, As_4\right)}{2} = 5.11\,cm^2$

$L = a_2 = 100\,cm$ $bitola_{estribo} = 8mm$ $adotados = \text{ceil}\left(\frac{As_{estribos}}{bitola_{estribo}^{\;2}}\right) = 8$

Estribos adotados = 8 ø8.0mm em cada trecho de ancoragem ativa e passiva distribuídos em $L = 100\,cm$

V48 = V49 = V50 (COBERTURA) - CABOS C1 a C3

CABO C1 (6ø15.2mm)



$$Área_{teórica\_aço} = 143.4mm^2 \qquad fptk = \frac{265.8kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1853.56\,MPa \qquad fpyk = \frac{239.2kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1668.06\,MPa$$

$$\sigma_{pi} = \min(0.74 \cdot fptk, 0.82 \cdot fpyk) = 1367.81\,MPa$$

$$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78 \cdot \frac{kgf}{cm^2} \qquad \mu = 0.20 \qquad \beta = 0.01\frac{rad}{m} \qquad e = 2.72 \qquad L = 17.20m$$

$$\kappa = \beta \cdot \mu = 0.002 \cdot \frac{rad}{m} \qquad n = 6 \qquad i = 1, 2 .. n$$

$$S = 0cm, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 344 \\ 688 \\ 1032 \\ 1376 \\ 1720 \end{pmatrix} cm \qquad \Delta\alpha_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 8.6 \\ 0 \\ 6.8 \\ 1.79 \end{pmatrix} °$$

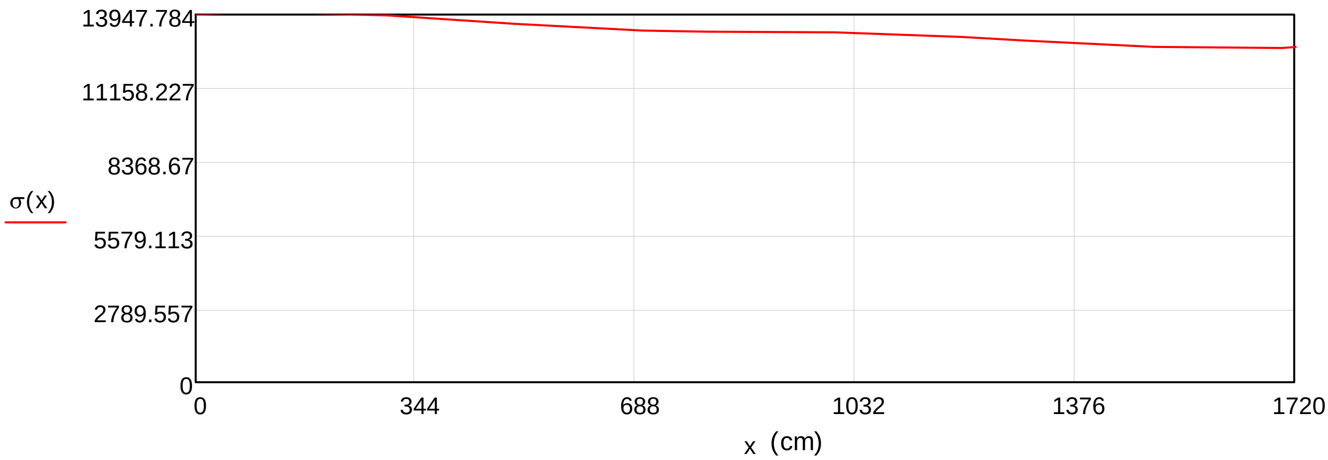
$$\alpha_i = \begin{vmatrix} 0rad \quad \text{if} \quad i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \Delta\alpha_{elevação_i} \quad \text{if} \quad i > 1 \\ i \cdot rad \quad \text{otherwise} \end{vmatrix}$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13852.15 \\ 13350.33 \\ 13258.79 \\ 12859.01 \\ 12691.29 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$$a = \text{cspline}(S, \sigma_{esq})$$

$$\sigma(x) = \text{interp}\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$$



$$\text{Área} = \int_0^L \sigma(x)\,dx \qquad \text{Área} = 229318.28 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$\sigma_m = \frac{\text{Área}}{L} \qquad \sigma_m = 13332.46 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$$L_{cabo} = 17.60m \qquad \text{Área}_{teórica\_aço} = 143.4 \cdot mm^2 \qquad E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$$

$$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot \text{Área}_{teórica\_aço} = 19.1 \cdot t$$

$$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 120 \cdot mm$$

CABO C2 (6ø15.2mm)

$$\text{Área}_{\text{teórica\_aço}} = 143.4\text{mm}^2 \qquad \text{fptk} = \frac{265.8\text{kN}}{\text{Área}_{\text{teórica\_aço}}} = 1853.56\,\text{MPa} \qquad \text{fpyk} = \frac{239.2\text{kN}}{\text{Área}_{\text{teórica\_aço}}} = 1668.06\,\text{MPa}$$

$$\sigma_{pi} = \min(0.74\cdot\text{fptk}, 0.82\cdot\text{fpyk}) = 1367.81\,\text{MPa}$$

$$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78\cdot\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \qquad \mu = 0.20 \qquad \beta = 0.01\frac{\text{rad}}{\text{m}} \qquad e = 2.72 \qquad L = 17.20\text{m}$$

$$\kappa = \beta\cdot\mu = 0.002\cdot\frac{\text{rad}}{\text{m}} \qquad n = 6 \qquad i = 1, 2 .. n$$

$$S = 0\text{cm}, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 344 \\ 688 \\ 1032 \\ 1376 \\ 1720 \end{pmatrix}\text{cm} \qquad \Delta\alpha_{\text{elevação}} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 5.31 \\ 0 \\ 5.08 \\ 0.23 \end{pmatrix}^{\circ}$$

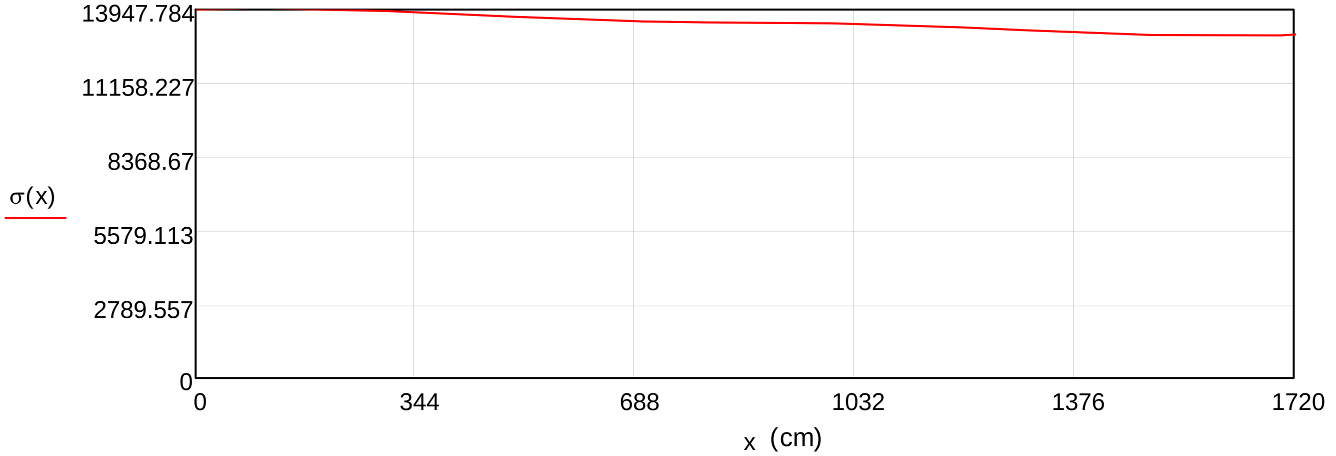
$$\alpha_i = \begin{cases} 0\text{rad} & \text{if } i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \Delta\alpha_{\text{elevação}_i} & \text{if } i > 1 \\ i\cdot\text{rad} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1\cdot e^{-(\mu\cdot\alpha+\kappa\cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13852.15 \\ 13504.53 \\ 13411.94 \\ 13085.87 \\ 12985.71 \end{pmatrix}\cdot\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$a = \text{cspline}(S, \sigma_{esq})$$

$$\sigma(x) = \text{interp}\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$$



$$\text{Área} = \int_0^L \sigma(x)\,dx \qquad \text{Área} = 231595.54 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$\sigma_m = \frac{\text{Área}}{L} \qquad \sigma_m = 13464.86 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$$L_{cabo} = 17.60m \qquad \text{Área}_{teórica\_aço} = 143.4 \cdot mm^2 \qquad E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$$

$$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot \text{Área}_{teórica\_aço} = 19.3 \cdot t$$

$$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 122 \cdot mm$$

CABO C3 (6ø15.2mm)

$$\text{Área}_{teórica\_aço} = 143.4mm^2 \qquad fptk = \frac{265.8kN}{\text{Área}_{teórica\_aço}} = 1853.56\,MPa \qquad fpyk = \frac{239.2kN}{\text{Área}_{teórica\_aço}} = 1668.06\,MPa$$

$$\sigma_{pi} = \min(0.74 \cdot fptk, 0.82 \cdot fpyk) = 1367.81\,MPa$$

$$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78 \cdot \frac{kgf}{cm^2} \qquad \mu = 0.20 \qquad \beta = 0.01 \frac{rad}{m} \qquad e = 2.72 \qquad L = 17.20m$$

$$\kappa = \beta \cdot \mu = 0.002 \cdot \frac{rad}{m} \qquad n = 6 \qquad i = 1, 2 .. n$$

$$S = 0cm, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 344 \\ 688 \\ 1032 \\ 1376 \\ 1720 \end{pmatrix} cm \qquad \Delta\alpha_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 2 \\ 0 \\ 2 \\ 0 \end{pmatrix} ^\circ$$

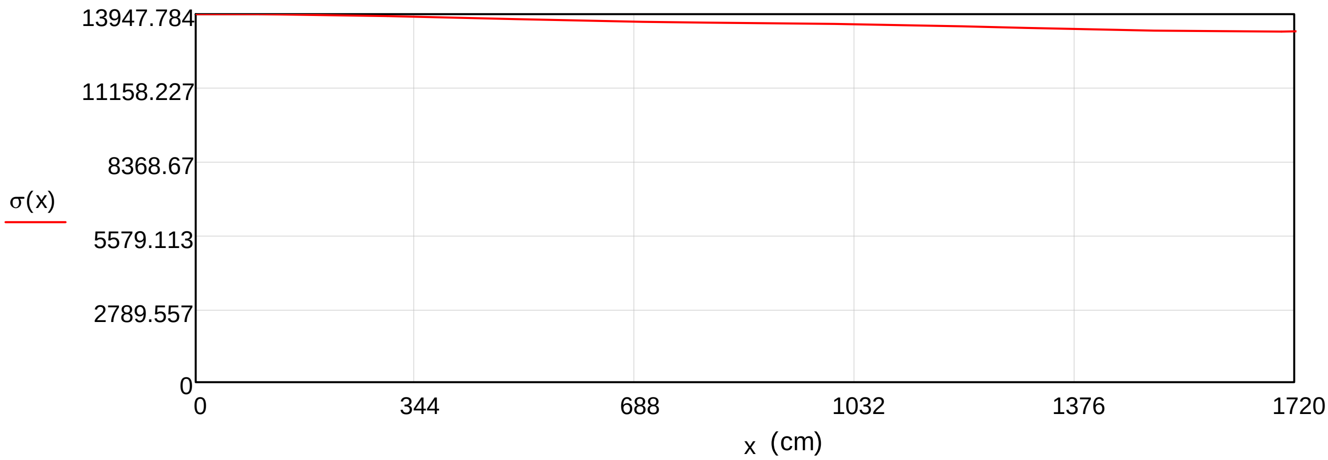
$$\alpha_i = \begin{cases} 0\text{rad} & \text{if } i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \Delta\alpha_{elevação_i} & \text{if } i > 1 \\ i\cdot\text{rad} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu\cdot\alpha+\kappa\cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13852.15 \\ 13661.47 \\ 13567.8 \\ 13381.03 \\ 13289.28 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$$a = \text{cspline}(S, \sigma_{esq})$$

$$\sigma(x) = \text{interp}\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$$



$$\text{Área} = \int_0^L \sigma(x)\,dx \qquad \text{Área} = 234197.92 \cdot \frac{kg\cdot m}{cm^2}$$

$$\sigma_m = \frac{\text{Área}}{L} \qquad \sigma_m = 13616.16 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$L_{cabo} = 17.60m$ $\quad$ $\text{Área}_{teórica\_aço} = 143.4\cdot mm^2$ $\quad$ $E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$

$$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot \text{Área}_{teórica\_aço} = 19.5\cdot t$$

$$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m)\cdot(L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 123\cdot mm$$

V48 = V49 = V50 - CÁLCULO DAS ARMADURAS DE FRETAGEM

a_0 = Área da placa de distribuição

b = Distância entre eixos das ancoragens

c = Distância entre as ancoragens

d = Distância entre a face do concreto ao eixo da ancoragem

n = Quantidade de ancoragens em elevação

q = Quantidade de cabos alinhados em cada grupo (seção transversal)

EXTREMIDADE ATIVA

$b = 25cm$ $\quad n = 3$ $\quad q = 1$ $\quad F_{inicial} = 6 \cdot \sigma_1 \cdot Área_{teórica\_aço} = 1176.86\,kN$

$a_0 = 22cm$ $\quad c = 5cm$

$d = 25cm$ $\quad a_1 = a_0 + c = 27\,cm$

$F_1 = F_{inicial} \cdot \cos(9°) = 1162.37\,kN$ $\quad F_3 = F_{inicial} \cdot \cos(2°) = 1176.15\,kN$

$$T_1 = 0.25 \cdot F_1 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 53.81\,kN \qquad T_3 = 0.25 \cdot F_3 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 54.45\,kN$$

$F_2 = F_{inicial} \cdot \cos(5°) = 1172.39\,kN$

$$T_2 = 0.25 \cdot F_2 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 54.28\,kN$$

$a_2 = 2 \cdot d + (n - 1) \cdot b = 100\,cm$ $\quad k = 1..n$

$$F_k = \begin{pmatrix} 1162.37 \\ 1172.39 \\ 1176.15 \end{pmatrix} kN \qquad T_k = \begin{pmatrix} 53.81 \\ 54.28 \\ 54.45 \end{pmatrix} kN \qquad \sum F = 3510.91\,kN$$

$$T_n = \frac{2}{3} \cdot \left(1 - \frac{n \cdot a_1}{a_2}\right) \cdot \sum F = 444.71\,kN \qquad fyd = 43.48 \frac{kN}{cm^2}$$

$$As_1 = \frac{\max(T)}{fyd} = 1.25\,cm^2 \qquad As_2 = q \cdot \left(\frac{T_n}{fyd}\right) = 10.23\,cm^2$$

EXTREMIDADE PASSIVA

$b = 25cm$ $\quad q = 1$ $\quad F_{inicial} = 1176.86\,kN$

$a_0 = 22\,cm$ $\quad c = 5\,cm$

$d = 25cm$ $\quad a_1 = a_0 + c = 27\,cm$

$F_1 = F_{inicial} \cdot \cos(9°) = 1162.37\,kN$ $\quad F_3 = F_{inicial} \cdot \cos(2°) = 1176.15\,kN$

$$T_1 = 0.25 \cdot F_1 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 53.81\,kN \qquad T_3 = 0.25 \cdot F_3 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 54.45\,kN$$

$F_2 = F_{inicial} \cdot \cos(5°) = 1172.39\,kN$

$$T_2 = 0.25 \cdot F_2 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 54.28\,kN$$

$a_3 = 2 \cdot d + (n - 1) \cdot b = 100\,cm$

$$F_k = \begin{pmatrix} 1162.37 \\ 1172.39 \\ 1176.15 \end{pmatrix} kN \qquad T_k = \begin{pmatrix} 53.81 \\ 54.28 \\ 54.45 \end{pmatrix} kN \qquad \sum F = 3510.91\,kN$$

$$T_n = \frac{2}{3} \cdot \left(1 - \frac{n \cdot a_1}{a_3}\right) \cdot \sum F = 444.71\,kN \qquad fyd = 43.48 \cdot \frac{kN}{cm^2}$$

$$As_3 = \frac{\max(T)}{fyd} = 1.25\,cm^2 \qquad As_4 = q \cdot \left(\frac{T_n}{fyd}\right) = 10.23\,cm^2$$

$$As_{fretagem} = \max\left(As_1, As_3\right) = 1.25\,cm^2$$

Adotado espiral ø10mm - 5 passos por cabo em cada trecho de ancoragem ativa e passiva.

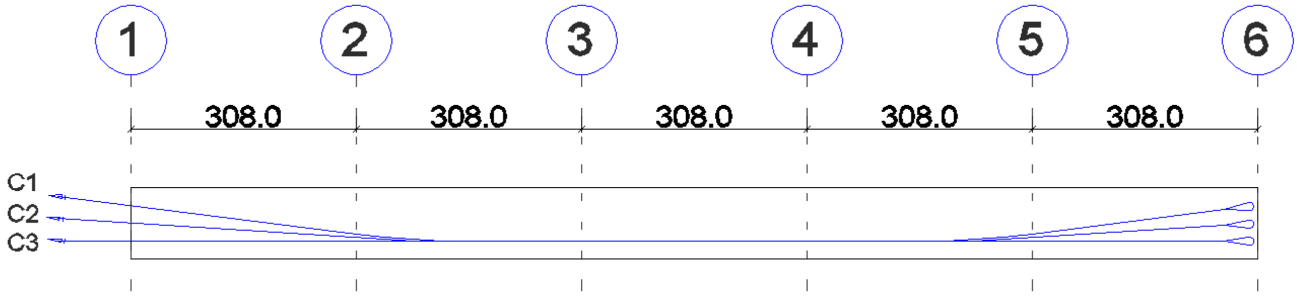
$$As_{estribos} = \frac{\max\left(As_2, As_4\right)}{2} = 5.11\,cm^2$$

$L = a_2 = 100\,cm$ $\quad bitola_{estribo} = 8mm$ $\quad adotados = ceil\left(\frac{As_{estribos}}{bitola_{estribo}^2}\right) = 8$

Estribos adotados = 8 ø8.0mm em cada trecho de ancoragem ativa e passiva distribuídos em $L = 100\,cm$

V53 (COBERTURA) - CABOS C1 a C3

CABO C1 (6ø15.2mm)



$Área_{teórica\_aço} = 143.4mm^2$ $\quad fptk = \dfrac{265.8kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1853.56\,MPa$ $\quad fpyk = \dfrac{239.2kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1668.06\,MPa$

$\sigma_{pi} = \min(0.74 \cdot fptk, 0.82 \cdot fpyk) = 1367.81\,MPa$

$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78 \cdot \dfrac{kgf}{cm^2}$ $\quad \mu = 0.20$ $\quad \beta = 0.01\dfrac{rad}{m}$ $\quad e = 2.72$ $\quad L = 15.40m$

$\kappa = \beta \cdot \mu = 0.002 \cdot \dfrac{rad}{m}$ $\quad n = 6$ $\quad i = 1, 2..n$

$S = 0cm, \dfrac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 308 \\ 616 \\ 924 \\ 1232 \\ 1540 \end{pmatrix} cm$ $\quad \Delta\alpha_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 7.4 \\ 0 \\ 5.73 \\ 1.67 \end{pmatrix} °$

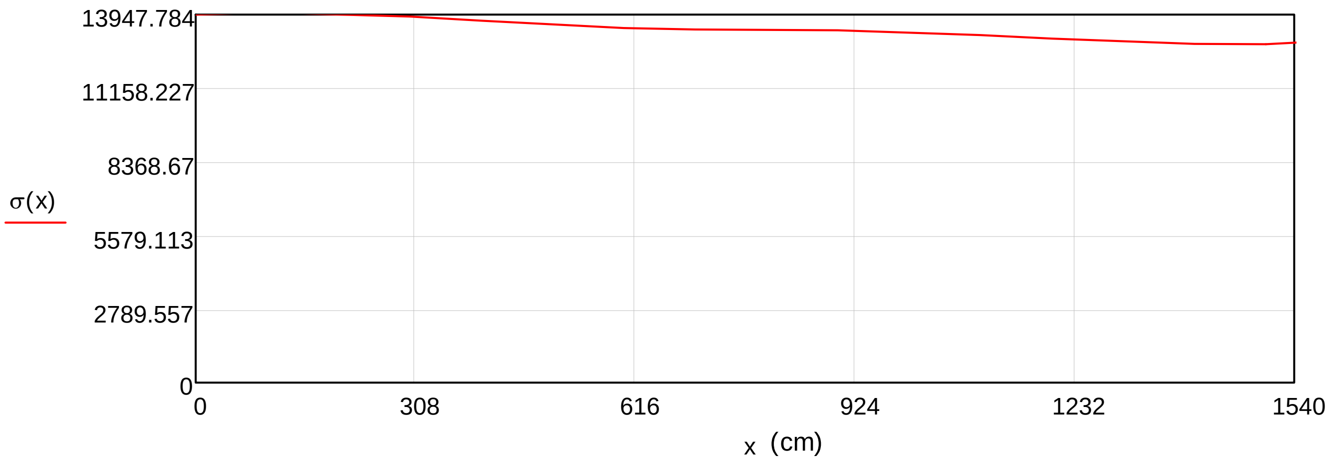
$$\alpha_i = \begin{cases} 0rad & \text{if } i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \Delta\alpha_{elevação_i} & \text{if } i > 1 \\ i \cdot rad & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13862.13 \\ 13425.69 \\ 13343.24 \\ 12998.69 \\ 12843.77 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$a = \text{cspline}(S, \sigma_{esq})$

$$\sigma(x) = \text{interp}\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$$



$$\text{Área} = \int_0^L \sigma(x)\,dx \qquad \text{Área} = 206503.04 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$\sigma_m = \frac{\text{Área}}{L} \qquad \sigma_m = 13409.29 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$L_{cabo} = 15.80m$ $\qquad$ $\text{Área}_{teórica\_aço} = 143.4 \cdot mm^2$ $\qquad$ $E_{teórico\_aço} = 1950000 \dfrac{kg}{cm^2}$

$$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot \text{Área}_{teórica\_aço} = 19.2 \cdot t$$

$$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 109 \cdot mm$$

CABO C2 (6ø15.2mm)

$$\text{Área}_{\text{teórica\_aço}} = 143.4\text{mm}^2 \qquad \text{fptk} = \frac{265.8\text{kN}}{\text{Área}_{\text{teórica\_aço}}} = 1853.56\,\text{MPa} \qquad \text{fpyk} = \frac{239.2\text{kN}}{\text{Área}_{\text{teórica\_aço}}} = 1668.06\,\text{MPa}$$

$$\sigma_{pi} = \min(0.74\cdot\text{fptk}, 0.82\cdot\text{fpyk}) = 1367.81\,\text{MPa}$$

$$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78\cdot\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \qquad \mu = 0.20 \qquad \beta = 0.01\frac{\text{rad}}{\text{m}} \qquad e = 2.72 \qquad L = 15.40\text{m}$$

$$\kappa = \beta\cdot\mu = 0.002\cdot\frac{\text{rad}}{\text{m}} \qquad n = 6 \qquad i = 1, 2 .. n$$

$$S = 0\text{cm}, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 308 \\ 616 \\ 924 \\ 1232 \\ 1540 \end{pmatrix}\text{cm} \qquad \Delta\alpha_{\text{elevação}} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 3.72 \\ 0 \\ 3.72 \\ 0 \end{pmatrix}°$$

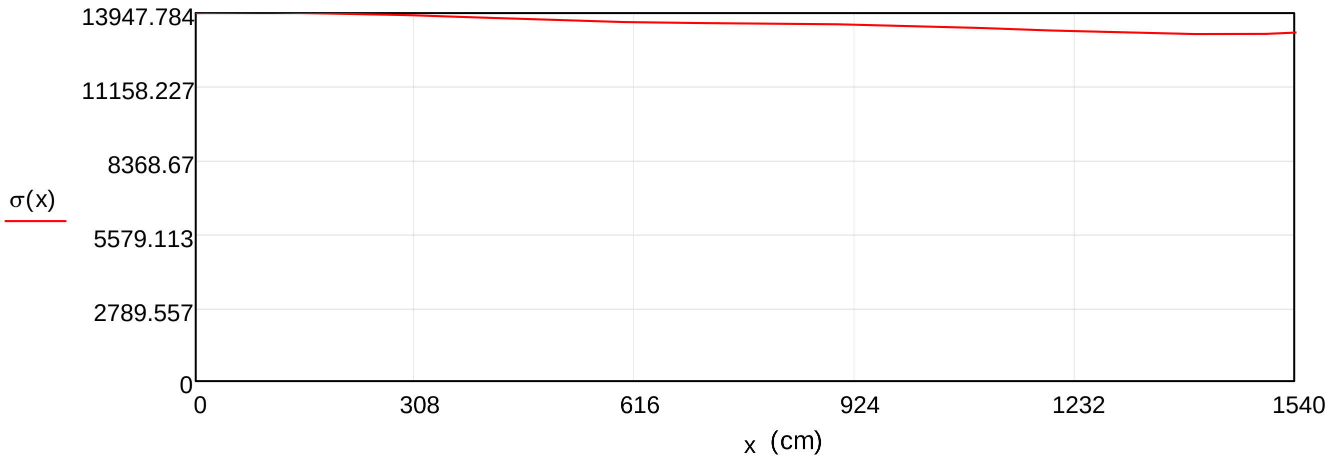
$$\alpha_i = \left| \begin{array}{l} 0\text{rad} \quad \text{if} \quad i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \Delta\alpha_{\text{elevação}_i} \quad \text{if} \quad i > 1 \\ i\cdot\text{rad} \quad \text{otherwise} \end{array} \right.$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1\cdot e^{-(\mu\cdot\alpha+\kappa\cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13862.13 \\ 13599.26 \\ 13515.75 \\ 13259.44 \\ 13178.02 \end{pmatrix}\cdot\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$a = \text{cspline}\left(S, \sigma_{esq}\right)$$

$$\sigma(x) = \text{interp}\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$$



$$\text{Área} = \int_0^L \sigma(x)\,dx \qquad \text{Área} = 208822.53 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$\sigma_m = \frac{\text{Área}}{L} \qquad \sigma_m = 13559.9 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$$L_{cabo} = 15.80m \qquad \text{Área}_{teórica\_aço} = 143.4 \cdot mm^2 \qquad E_{teórico\_aço} = 1950000 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot \text{Área}_{teórica\_aço} = 19.4 \cdot t$$

$$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 110 \cdot mm$$

CABO C3 (6ø15.2mm)

$$\text{Área}_{teórica\_aço} = 143.4mm^2 \qquad fptk = \frac{265.8kN}{\text{Área}_{teórica\_aço}} = 1853.56\,MPa \qquad fpyk = \frac{239.2kN}{\text{Área}_{teórica\_aço}} = 1668.06\,MPa$$

$$\sigma_{pi} = \min(0.74 \cdot fptk, 0.82 \cdot fpyk) = 1367.81\,MPa$$

$$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78 \cdot \frac{kgf}{cm^2} \qquad \mu = 0.20 \qquad \beta = 0.01 \frac{rad}{m} \qquad e = 2.72 \qquad L = 15.40m$$

$$\kappa = \beta \cdot \mu = 0.002 \cdot \frac{rad}{m} \qquad n = 6 \qquad i = 1, 2 .. n$$

$$S = 0cm, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 308 \\ 616 \\ 924 \\ 1232 \\ 1540 \end{pmatrix} cm \qquad \Delta\alpha_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}^{\circ}$$

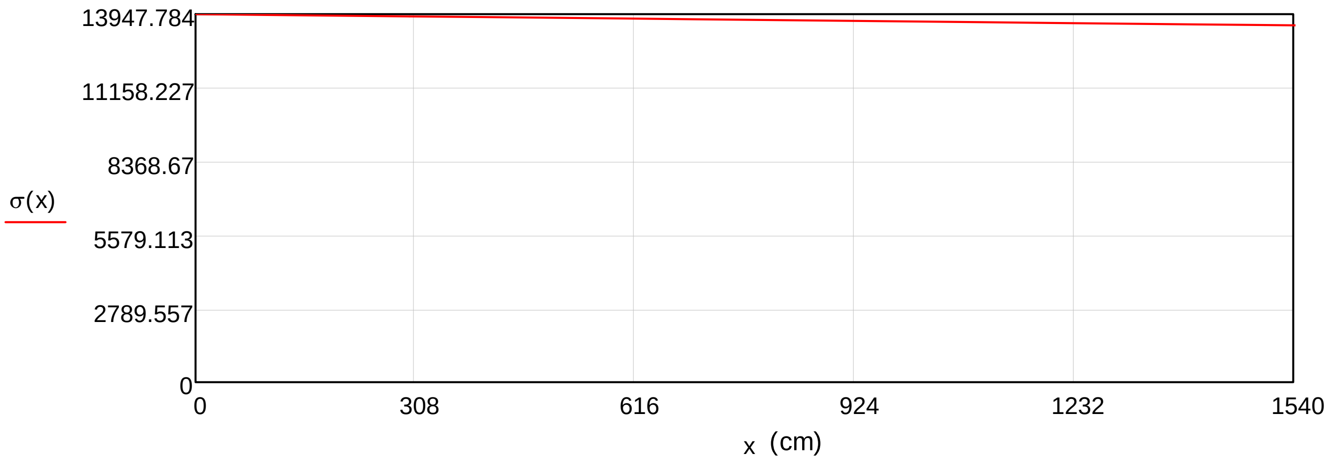
$$\alpha_i = \begin{cases} 0\,rad & \text{if } i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \Delta\alpha_{elevação_i} & \text{if } i > 1 \\ i \cdot rad & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13862.13 \\ 13777 \\ 13692.4 \\ 13608.31 \\ 13524.74 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$$a = cspline\left(S, \sigma_{esq}\right)$$

$$\sigma(x) = interp\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$$



$$Área = \int_0^L \sigma(x)\, dx \qquad Área = 211521.71 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$\sigma_m = \frac{Área}{L} \qquad \sigma_m = 13735.18 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$L_{cabo} = 15.80m$ $\qquad$ $Área_{teórica\_aço} = 143.4 \cdot mm^2$ $\qquad$ $E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$

$$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot Área_{teórica\_aço} = 19.7 \cdot t$$

$$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 111 \cdot mm$$

V53 - CÁLCULO DAS ARMADURAS DE FRETAGEM

a_0 = Área da placa de distribuição

b = Distância entre eixos das ancoragens

c = Distância entre as ancoragens

d = Distância entre a face do concreto ao eixo da ancoragem

n = Quantidade de ancoragens em elevação

q = Quantidade de cabos alinhados em cada grupo (seção transversal)

EXTREMIDADE ATIVA

$b = 25cm$ $n = 3$ $q = 1$ $F_{inicial} = 6 \cdot \sigma_1 \cdot Área_{teórica\_aço} = 1176.86\,kN$

$a_0 = 22cm$ $c = 5cm$

$d = 25cm$ $a_1 = a_0 + c = 27\,cm$

$F_1 = F_{inicial} \cdot \cos(7°) = 1168.09\,kN$ $F_3 = F_{inicial} \cdot \cos(0°) = 1176.86\,kN$

$T_1 = 0.25 \cdot F_1 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 54.08\,kN$ $T_3 = 0.25 \cdot F_3 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 54.48\,kN$

$F_2 = F_{inicial} \cdot \cos(4°) = 1174\,kN$

$T_2 = 0.25 \cdot F_2 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 54.35\,kN$

$a_2 = 2 \cdot d + (n-1) \cdot b = 100\,cm$ $k = 1..n$

$F_k = \begin{pmatrix} 1168.09 \\ 1174 \\ 1176.86 \end{pmatrix} kN$ $T_k = \begin{pmatrix} 54.08 \\ 54.35 \\ 54.48 \end{pmatrix} kN$ $\sum F = 3518.95\,kN$

$T_n = \frac{2}{3} \cdot \left(1 - \frac{n \cdot a_1}{a_2}\right) \cdot \sum F = 445.73\,kN$ $fyd = 43.48\,\frac{kN}{cm^2}$

$As_1 = \frac{\max(T)}{fyd} = 1.25\,cm^2$ $As_2 = q \cdot \left(\frac{T_n}{fyd}\right) = 10.25\,cm^2$

EXTREMIDADE PASSIVA

$b = 25cm$ $q = 1$ $F_{inicial} = 1176.86\,kN$

$a_0 = 22\,cm$ $c = 5\,cm$

$d = 25cm$ $a_1 = a_0 + c = 27\,cm$

$F_1 = F_{inicial}\cdot\cos(7°) = 1168.09\,kN$ $F_3 = F_{inicial}\cdot\cos(0°) = 1176.86\,kN$

$T_1 = 0.25\cdot F_1\cdot\left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 54.08\,kN$ $T_3 = 0.25\cdot F_3\cdot\left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 54.48\,kN$

$F_2 = F_{inicial}\cdot\cos(4°) = 1174\,kN$

$T_2 = 0.25\cdot F_2\cdot\left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 54.35\,kN$

$a_3 = 2\cdot d + (n - 1)\cdot b = 100\,cm$

$F_k = \begin{pmatrix} 1168.09 \\ 1174 \\ 1176.86 \end{pmatrix} kN$ $T_k = \begin{pmatrix} 54.08 \\ 54.35 \\ 54.48 \end{pmatrix} kN$ $\sum F = 3518.95\,kN$

$T_n = \frac{2}{3}\cdot\left(1 - \frac{n\cdot a_1}{a_3}\right)\cdot\sum F = 445.73\,kN$ $fyd = 43.48\cdot\frac{kN}{cm^2}$

$As_3 = \frac{\max(T)}{fyd} = 1.25\,cm^2$ $As_4 = q\cdot\left(\frac{T_n}{fyd}\right) = 10.25\,cm^2$

$As_{fretagem} = \max\left(As_1, As_3\right) = 1.25\,cm^2$

Adotado espiral ø10mm - 5 passos por cabo em cada trecho de ancoragem ativa e passiva.

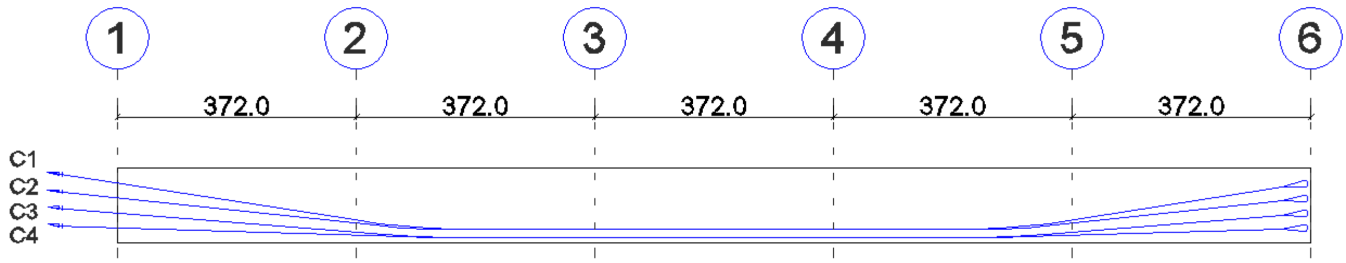
$As_{estribos} = \frac{\max\left(As_2, As_4\right)}{2} = 5.13\,cm^2$

$L = a_2 = 100\,cm$ $bitola_{estribo} = 8mm$ $adotados = ceil\left(\frac{As_{estribos}}{bitola_{estribo}^2}\right) = 9$

Estribos $adotados = 9$ ø8.0mm em cada trecho de ancoragem ativa e passiva distribuídos em $L = 100\,cm$

V55 = V58 (COBERTURA) - CABOS C1 a C4

CABO C1 (6ø15.2mm)



$Área_{teórica\_aço} = 143.4mm^2$ $\quad fptk = \dfrac{265.8kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1853.56\,MPa$ $\quad fpyk = \dfrac{239.2kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1668.06\,MPa$

$\sigma_{pi} = \min(0.74 \cdot fptk, 0.82 \cdot fpyk) = 1367.81\,MPa$

$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78 \cdot \dfrac{kgf}{cm^2}$ $\quad \mu = 0.20$ $\quad \beta = 0.01 \dfrac{rad}{m}$ $\quad e = 2.72$ $\quad L = 18.60m$

$\kappa = \beta \cdot \mu = 0.002 \cdot \dfrac{rad}{m}$ $\quad n = 6$ $\quad i = 1, 2 .. n$

$$S = 0cm, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 372 \\ 744 \\ 1116 \\ 1488 \\ 1860 \end{pmatrix} cm \qquad \Delta\alpha_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 9.16 \\ 0 \\ 7.45 \\ 1.71 \end{pmatrix} °$$

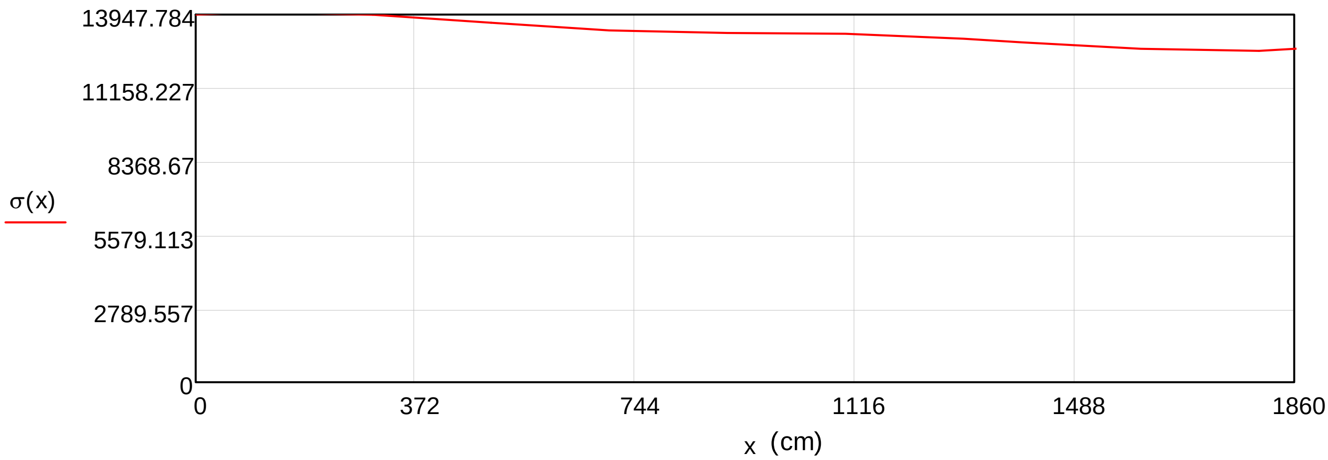
$$\alpha_i = \begin{vmatrix} 0rad & \text{if } i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \Delta\alpha_{elevação_i} & \text{if } i > 1 \\ i \cdot rad & \text{otherwise} \end{vmatrix}$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13844.4 \\ 13309.34 \\ 13210.69 \\ 12776.16 \\ 12605.99 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$$a = \text{cspline}(S, \sigma_{esq})$$

$$\sigma(x) = \text{interp}\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$$



$$\text{Área} = \int_0^L \sigma(x)\,dx \qquad \text{Área} = 247152.85 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$\sigma_m = \frac{\text{Área}}{L} \qquad \sigma_m = 13287.79 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$$L_{cabo} = 19.00m \qquad \text{Área}_{teórica\_aço} = 143.4 \cdot mm^2 \qquad E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$$

$$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot \text{Área}_{teórica\_aço} = 19.1 \cdot t$$

$$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 129 \cdot mm$$

CABO C2 (6ø15.2mm)

$$Área_{teórica\_aço} = 143.4mm^2 \qquad fptk = \frac{265.8kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1853.56\,MPa \qquad fpyk = \frac{239.2kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1668.06\,MPa$$

$$\sigma_{pi} = \min(0.74 \cdot fptk, 0.82 \cdot fpyk) = 1367.81\,MPa$$

$$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78 \cdot \frac{kgf}{cm^2} \qquad \mu = 0.20 \qquad \beta = 0.01 \frac{rad}{m} \qquad e = 2.72 \qquad L = 18.60m$$

$$\kappa = \beta \cdot \mu = 0.002 \cdot \frac{rad}{m} \qquad n = 6 \qquad i = 1, 2 .. n$$

$$S = 0cm, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 372 \\ 744 \\ 1116 \\ 1488 \\ 1860 \end{pmatrix} cm \qquad \Delta\alpha_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 6.26 \\ 0 \\ 5.91 \\ 0.35 \end{pmatrix} °$$

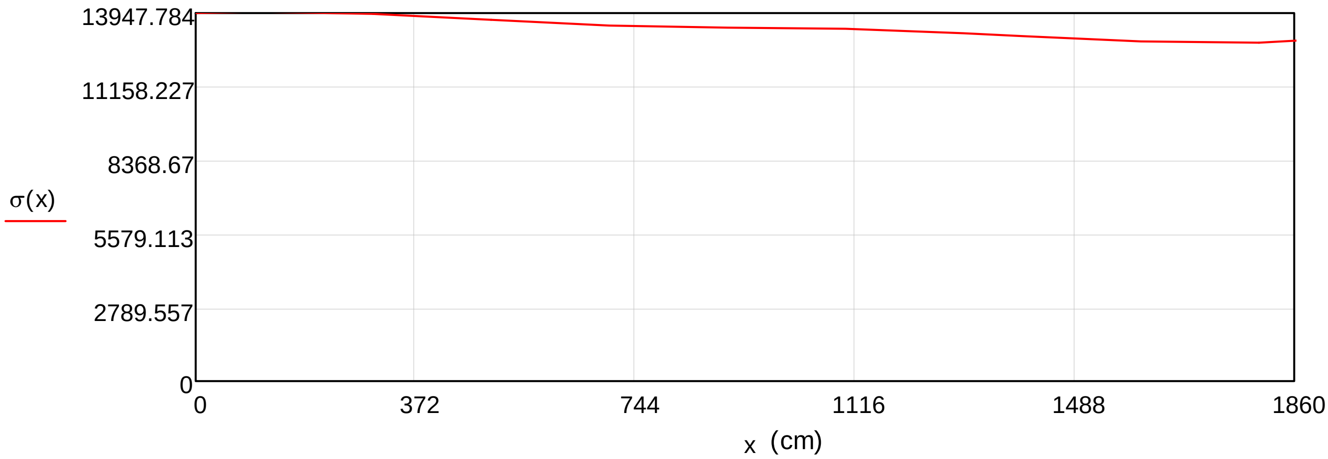
$$\alpha_i = \left| \begin{array}{ll} 0rad & \text{if } i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \Delta\alpha_{elevação_i} & \text{if } i > 1 \\ i \cdot rad & \text{otherwise} \end{array} \right.$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13844.4 \\ 13444.76 \\ 13345.1 \\ 12975.71 \\ 12863.81 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$$a = cspline(S, \sigma_{esq})$$

$$\sigma(x) = interp\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$$



$$\text{Área} = \int_0^L \sigma(x)\,dx \qquad \text{Área} = 249315.83 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$\sigma_m = \frac{\text{Área}}{L} \qquad \sigma_m = 13404.08 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$$L_{cabo} = 19.00m \qquad \text{Área}_{teórica\_aço} = 143.4 \cdot mm^2 \qquad E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$$

$$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot \text{Área}_{teórica\_aço} = 19.2 \cdot t$$

$$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m)\cdot(L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 131 \cdot mm$$

CABO C3 (6ø15.2mm)

$$\text{Área}_{teórica\_aço} = 143.4mm^2 \qquad fptk = \frac{265.8kN}{\text{Área}_{teórica\_aço}} = 1853.56\,MPa \qquad fpyk = \frac{239.2kN}{\text{Área}_{teórica\_aço}} = 1668.06\,MPa$$

$$\sigma_{pi} = \min(0.74 \cdot fptk, 0.82 \cdot fpyk) = 1367.81\,MPa$$

$$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78 \cdot \frac{kgf}{cm^2} \qquad \mu = 0.20 \qquad \beta = 0.01 \frac{rad}{m} \qquad e = 2.72 \qquad L = 18.60m$$

$$\kappa = \beta \cdot \mu = 0.002 \cdot \frac{rad}{m} \qquad n = 6 \qquad i = 1, 2 .. n$$

$$S = 0cm, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 372 \\ 744 \\ 1116 \\ 1488 \\ 1860 \end{pmatrix} cm \qquad \Delta\alpha_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 4.79 \\ 0 \\ 4.79 \\ 0 \end{pmatrix} °$$

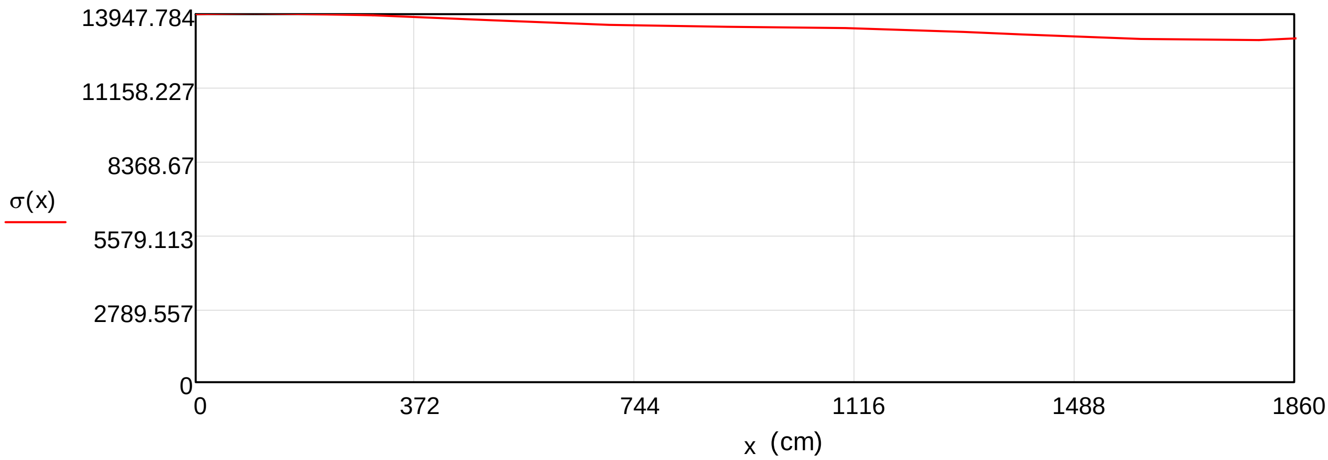
$$\alpha_i = \begin{cases} 0\text{rad} & \text{if } i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \Delta\alpha_{\text{elevação}_i} & \text{if } i > 1 \\ i \cdot \text{rad} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13844.4 \\ 13513.92 \\ 13413.75 \\ 13093.55 \\ 12996.5 \end{pmatrix} \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$a = \text{cspline}(S, \sigma_{esq})$$

$$\sigma(x) = \text{interp}\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$$



$$\text{Área} = \int_0^L \sigma(x)\, dx \qquad \text{Área} = 250496.9 \cdot \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_m = \frac{\text{Área}}{L} \qquad \sigma_m = 13467.58 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$L_{cabo} = 19.00\text{m} \qquad \text{Área}_{\text{teórica\_aço}} = 143.4 \cdot \text{mm}^2 \qquad E_{\text{teórico\_aço}} = 1950000 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$F_{\text{média\_cabo}} = \sigma_m \cdot \text{Área}_{\text{teórica\_aço}} = 19.3 \cdot t$$

$$\Delta L_{\text{teórico}} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{\text{teórico\_aço}}} = 131 \cdot \text{mm}$$

CABO C4 (6ø15.2mm)

$Área_{teórica\_aço} = 143.4mm^2$ $\quad fptk = \dfrac{265.8kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1853.56\,MPa$ $\quad fpyk = \dfrac{239.2kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1668.06\,MPa$

$\sigma_{pi} = \min(0.74 \cdot fptk, 0.82 \cdot fpyk) = 1367.81\,MPa$

$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78 \cdot \dfrac{kgf}{cm^2}$ $\quad \mu = 0.20$ $\quad \beta = 0.01\dfrac{rad}{m}$ $\quad e = 2.72$ $\quad L = 18.60m$

$\kappa = \beta \cdot \mu = 0.002 \cdot \dfrac{rad}{m}$ $\quad n = 6$ $\quad i = 1, 2 .. n$

$$S = 0cm, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 372 \\ 744 \\ 1116 \\ 1488 \\ 1860 \end{pmatrix} cm \qquad \Delta\alpha_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1.85 \\ 0 \\ 1.85 \\ 0 \end{pmatrix} ^\circ$$

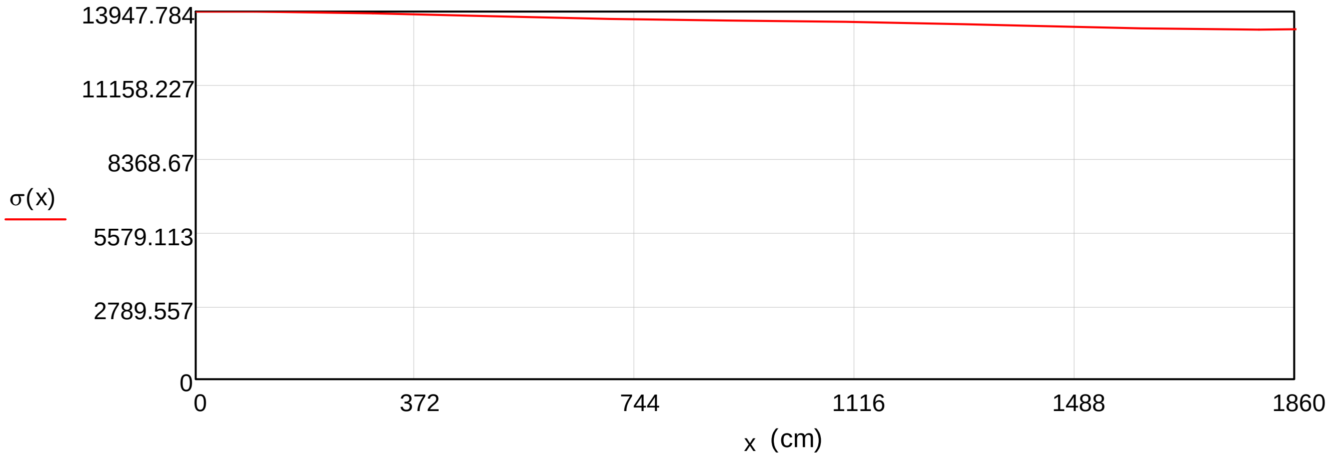
$$\alpha_i = \begin{cases} 0rad & \text{if } i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \Delta\alpha_{elevação_i} & \text{if } i > 1 \\ i \cdot rad & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13844.4 \\ 13653.32 \\ 13552.12 \\ 13365.08 \\ 13266.01 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$$a = cspline(S, \sigma_{esq})$$

$$\sigma(x) = interp\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$$



$$Área = \int_0^L \sigma(x)\,dx \qquad Área = 253040.23 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$\sigma_m = \frac{Área}{L} \qquad \sigma_m = 13604.31 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$$L_{cabo} = 19.00m \qquad Área_{teórica\_aço} = 143.4 \cdot mm^2 \qquad E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$$

$$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot Área_{teórica\_aço} = 19.5 \cdot t$$

$$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 133 \cdot mm$$

V55 = V58 - CÁLCULO DAS ARMADURAS DE FRETAGEM

a_0 = Área da placa de distribuição

b = Distância entre eixos das ancoragens

c = Distância entre as ancoragens

d = Distância entre a face do concreto ao eixo da ancoragem

n = Quantidade de ancoragens em elevação

q = Quantidade de cabos alinhados em cada grupo (seção transversal)

EXTREMIDADE ATIVA

$b = 24cm$ $\quad n = 4$ $\quad q = 1$ $\quad F_{inicial} = 6 \cdot \sigma_1 \cdot Área_{teórica\_aço} = 1176.86\,kN$

$a_0 = 22cm$ $\quad c = 4cm$

$d = 24cm$ $\quad a_1 = a_0 + c = 26\,cm$

$F_1 = F_{inicial} \cdot \cos(9°) = 1162.37\,kN$ $\quad F_3 = F_{inicial} \cdot \cos(5°) = 1172.39\,kN$

$T_1 = 0.25 \cdot F_1 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 44.71\,kN$ $\quad T_3 = 0.25 \cdot F_3 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 45.09\,kN$

$F_2 = F_{inicial} \cdot \cos(6°) = 1170.42\,kN$ $\quad F_4 = F_{inicial} \cdot \cos(2°) = 1176.15\,kN$

$T_2 = 0.25 \cdot F_2 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 45.02\,kN$ $\quad T_4 = 0.25 \cdot F_4 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 45.24\,kN$

$a_2 = 2 \cdot d + (n - 1) \cdot b = 120\,cm$ $\quad k = 1 .. n$

$$F_k = \begin{pmatrix} 1162.37 \\ 1170.42 \\ 1172.39 \\ 1176.15 \end{pmatrix} kN \qquad T_k = \begin{pmatrix} 44.71 \\ 45.02 \\ 45.09 \\ 45.24 \end{pmatrix} kN \qquad \sum F = 4681.32\,kN$$

$$T_n = \frac{2}{3} \cdot \left(1 - \frac{n \cdot a_1}{a_2}\right) \cdot \sum F = 416.12\,kN \qquad fyd = 43.48\,\frac{kN}{cm^2}$$

$$As_1 = \frac{\max(T)}{fyd} = 1.04\,cm^2 \qquad As_2 = q \cdot \left(\frac{T_n}{fyd}\right) = 9.57\,cm^2$$

EXTREMIDADE PASSIVA

$b = 24cm$ $q = 1$ $F_{inicial} = 1176.86\,kN$

$a_0 = 22\,cm$ $c = 4\,cm$

$d = 24cm$ $a_1 = a_0 + c = 26\,cm$

$F_1 = F_{inicial} \cdot \cos(9°) = 1162.37\,kN$ $F_3 = F_{inicial} \cdot \cos(5°) = 1172.39\,kN$

$T_1 = 0.25 \cdot F_1 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 44.71\,kN$ $T_3 = 0.25 \cdot F_3 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 45.09\,kN$

$F_2 = F_{inicial} \cdot \cos(6°) = 1170.42\,kN$ $F_4 = F_{inicial} \cdot \cos(2°) = 1176.15\,kN$

$T_2 = 0.25 \cdot F_2 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 45.02\,kN$ $T_4 = 0.25 \cdot F_4 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 45.24\,kN$

$a_3 = 2 \cdot d + (n - 1) \cdot b = 120\,cm$

$F_k = \begin{pmatrix} 1162.37 \\ 1170.42 \\ 1172.39 \\ 1176.15 \end{pmatrix} kN$ $T_k = \begin{pmatrix} 44.71 \\ 45.02 \\ 45.09 \\ 45.24 \end{pmatrix} kN$ $\sum F = 4681.32\,kN$

$T_n = \frac{2}{3} \cdot \left(1 - \frac{n \cdot a_1}{a_3}\right) \cdot \sum F = 416.12\,kN$ $fyd = 43.48 \cdot \frac{kN}{cm^2}$

$As_3 = \frac{\max(T)}{fyd} = 1.04\,cm^2$ $As_4 = q \cdot \left(\frac{T_n}{fyd}\right) = 9.57\,cm^2$

$As_{fretagem} = \max(As_1, As_3) = 1.04\,cm^2$

Adotado espiral ø10mm - 5 passos por cabo em cada trecho de ancoragem ativa e passiva.

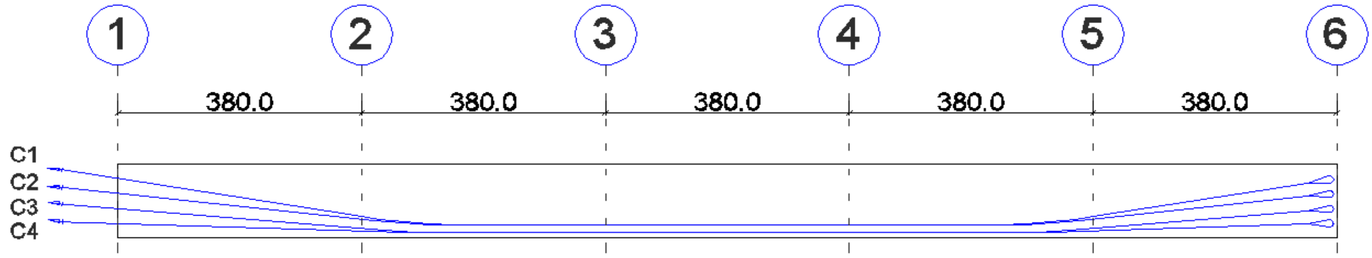
$As_{estribos} = \frac{\max(As_2, As_4)}{2} = 4.79\,cm^2$

$L = a_2 = 120\,cm$ $bitola_{estribo} = 8mm$ $adotados = ceil\left(\frac{As_{estribos}}{bitola_{estribo}^2}\right) = 8$

Estribos adotados = 8 ø8.0mm em cada trecho de ancoragem ativa e passiva distribuídos em $L = 120\,cm$

V56 = V57 (COBERTURA) - CABOS C1 a C4

CABO C1 (6ø15.2mm)



$Área_{teórica\_aço} = 143.4mm^2$ $\quad fptk = \frac{265.8kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1853.56\,MPa$ $\quad fpyk = \frac{239.2kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1668.06\,MPa$

$\sigma_{pi} = \min(0.74 \cdot fptk, 0.82 \cdot fpyk) = 1367.81\,MPa$

$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78 \cdot \frac{kgf}{cm^2}$ $\quad \mu = 0.20$ $\quad \beta = 0.01 \frac{rad}{m}$ $\quad e = 2.72$ $\quad L = 19.00m$

$\kappa = \beta \cdot \mu = 0.002 \cdot \frac{rad}{m}$ $\quad n = 6$ $\quad i = 1, 2 .. n$

$$S = 0cm, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 380 \\ 760 \\ 1140 \\ 1520 \\ 1900 \end{pmatrix} cm \qquad \Delta\alpha_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 9.16 \\ 0 \\ 7.07 \\ 2.09 \end{pmatrix} ^\circ$$

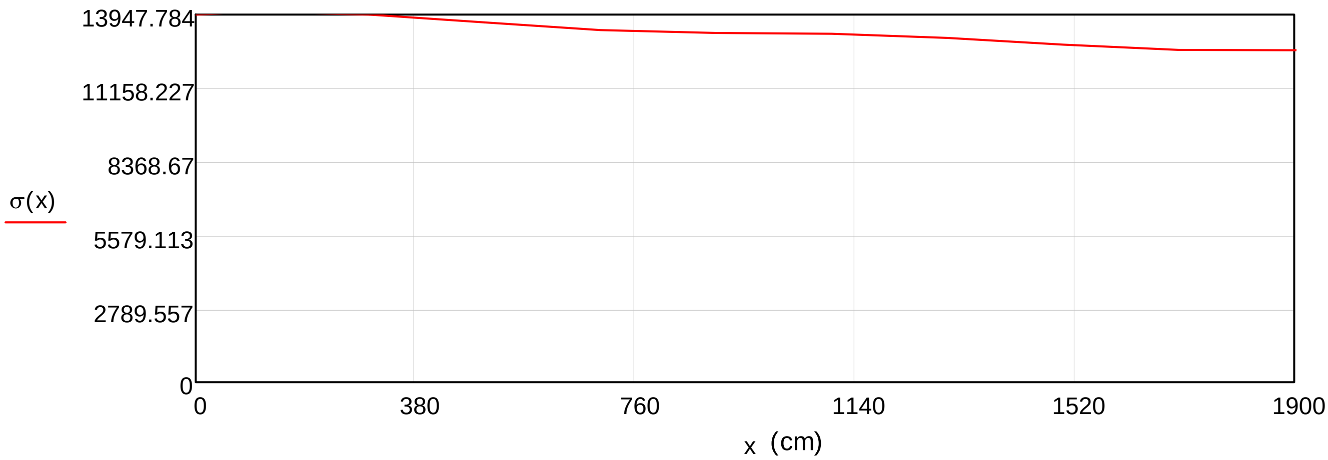
$$\alpha_i = \begin{cases} 0rad & \text{if } i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \Delta\alpha_{elevação_i} & \text{if } i > 1 \\ i \cdot rad & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13842.18 \\ 13305.08 \\ 13204.35 \\ 12784.93 \\ 12595.9 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$$a = \mathrm{cspline}(S, \sigma_{esq})$$

$$\sigma(x) = \mathrm{interp}\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$$



$$\text{Área} = \int_0^L \sigma(x)\,dx \qquad \text{Área} = 252450.54 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$\sigma_m = \frac{\text{Área}}{L} \qquad \sigma_m = 13286.87 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$$L_{cabo} = 19.40m \qquad \text{Área}_{teórica\_aço} = 143.4 \cdot mm^2 \qquad E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$$

$$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot \text{Área}_{teórica\_aço} = 19.1 \cdot t$$

$$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 132 \cdot mm$$

CABO C2 (6ø15.2mm)

$Área_{teórica\_aço} = 143.4mm^2$ $fptk = \frac{265.8kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1853.56\,MPa$ $fpyk = \frac{239.2kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1668.06\,MPa$

$\sigma_{pi} = \min(0.74 \cdot fptk, 0.82 \cdot fpyk) = 1367.81\,MPa$

$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78 \cdot \frac{kgf}{cm^2}$ $\mu = 0.20$ $\beta = 0.01 \frac{rad}{m}$ $e = 2.72$ $L = 19.00m$

$\kappa = \beta \cdot \mu = 0.002 \cdot \frac{rad}{m}$ $n = 6$ $i = 1, 2 .. n$

$$S = 0cm, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 380 \\ 760 \\ 1140 \\ 1520 \\ 1900 \end{pmatrix} cm \qquad \Delta\alpha_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 6.26 \\ 0 \\ 5.53 \\ 0.73 \end{pmatrix} °$$

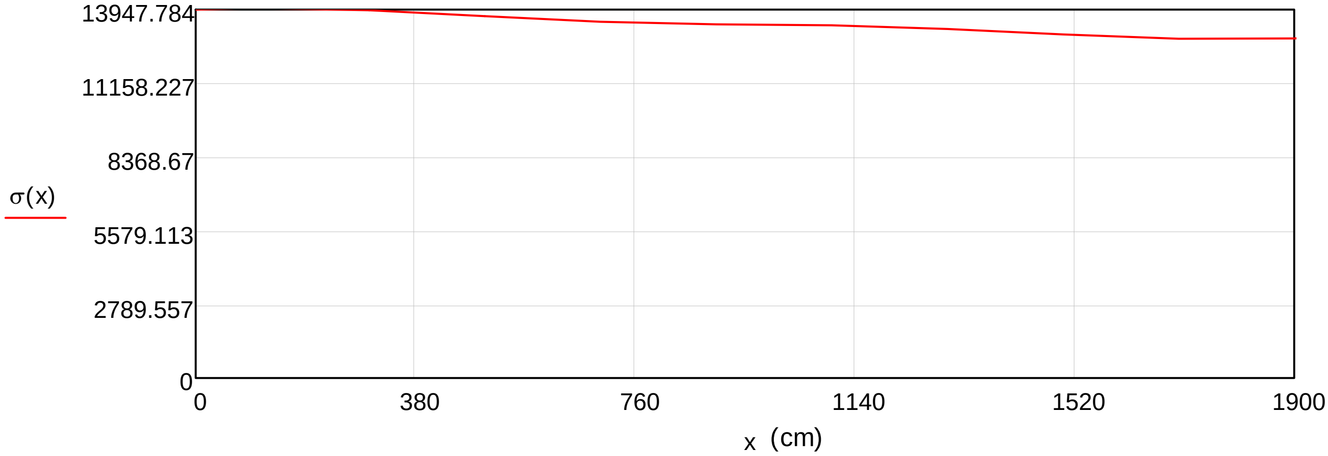
$$\alpha_i = \begin{cases} 0rad & \text{if } i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \Delta\alpha_{elevação_i} & \text{if } i > 1 \\ i \cdot rad & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13842.18 \\ 13440.45 \\ 13338.69 \\ 12984.62 \\ 12853.52 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$$a = cspline(S, \sigma_{esq})$$

$$\sigma(x) = interp\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$$



$$\text{Área} = \int_0^L \sigma(x)\,dx \qquad \text{Área} = 254660.06 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$\sigma_m = \frac{\text{Área}}{L} \qquad \sigma_m = 13403.16 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$$L_{cabo} = 19.40m \qquad \text{Área}_{teórica\_aço} = 143.4 \cdot mm^2 \qquad E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$$

$$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot \text{Área}_{teórica\_aço} = 19.2 \cdot t$$

$$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 133 \cdot mm$$

CABO C3 (6ø15.2mm)

$$\text{Área}_{teórica\_aço} = 143.4mm^2 \qquad fptk = \frac{265.8kN}{\text{Área}_{teórica\_aço}} = 1853.56\,MPa \qquad fpyk = \frac{239.2kN}{\text{Área}_{teórica\_aço}} = 1668.06\,MPa$$

$$\sigma_{pi} = \min(0.74 \cdot fptk, 0.82 \cdot fpyk) = 1367.81\,MPa$$

$$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78 \cdot \frac{kgf}{cm^2} \qquad \mu = 0.20 \qquad \beta = 0.01 \frac{rad}{m} \qquad e = 2.72 \qquad L = 19.00m$$

$$\kappa = \beta \cdot \mu = 0.002 \cdot \frac{rad}{m} \qquad n = 6 \qquad i = 1, 2 .. n$$

$$S = 0cm, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 380 \\ 760 \\ 1140 \\ 1520 \\ 1900 \end{pmatrix} cm \qquad \Delta\alpha_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 4.79 \\ 0 \\ 4.77 \\ 0.03 \end{pmatrix} {}^\circ$$

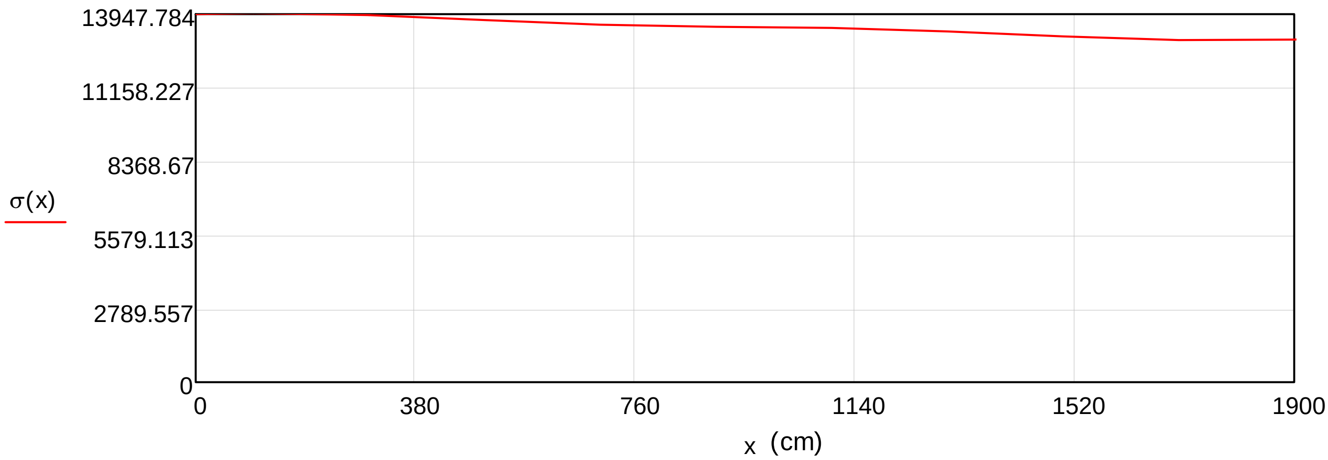
$$\alpha_i = \begin{cases} 0\text{rad} & \text{if } i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \Delta\alpha_{\text{elevação}_i} & \text{if } i > 1 \\ i\cdot\text{rad} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu\cdot\alpha+\kappa\cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13842.18 \\ 13509.6 \\ 13407.31 \\ 13086.09 \\ 12985.65 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$$a = \text{cspline}(S, \sigma_{esq})$$

$$\sigma(x) = \text{interp}\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$$



$$\text{Área} = \int_0^L \sigma(x)\,dx \qquad \text{Área} = 255786.8\cdot\frac{kg\cdot m}{cm^2}$$

$$\sigma_m = \frac{\text{Área}}{L} \qquad \sigma_m = 13462.46\cdot\frac{kg}{cm^2}$$

$$L_{cabo} = 19.40m \qquad \text{Área}_{teórica\_aço} = 143.4\cdot mm^2 \qquad E_{teórico\_aço} = 1950000\frac{kg}{cm^2}$$

$$F_{média\_cabo} = \sigma_m\cdot\text{Área}_{teórica\_aço} = 19.3\cdot t$$

$$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m)\cdot(L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 134\cdot mm$$

CABO C4 (6ø15.2mm)

$Área_{teórica\_aço} = 143.4mm^2$ $\quad fptk = \dfrac{265.8kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1853.56\,MPa$ $\quad fpyk = \dfrac{239.2kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1668.06\,MPa$

$\sigma_{pi} = \min(0.74 \cdot fptk, 0.82 \cdot fpyk) = 1367.81\,MPa$

$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78 \cdot \dfrac{kgf}{cm^2}$ $\quad \mu = 0.20$ $\quad \beta = 0.01\dfrac{rad}{m}$ $\quad e = 2.72$ $\quad L = 19.00m$

$\kappa = \beta \cdot \mu = 0.002 \cdot \dfrac{rad}{m}$ $\quad n = 6$ $\quad i = 1, 2..\,n$

$$S = 0cm, \frac{L}{n-1} ..\, L = \begin{pmatrix} 0 \\ 380 \\ 760 \\ 1140 \\ 1520 \\ 1900 \end{pmatrix} cm \qquad \Delta\alpha_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1.85 \\ 0 \\ 1.85 \\ 0 \end{pmatrix} \circ$$

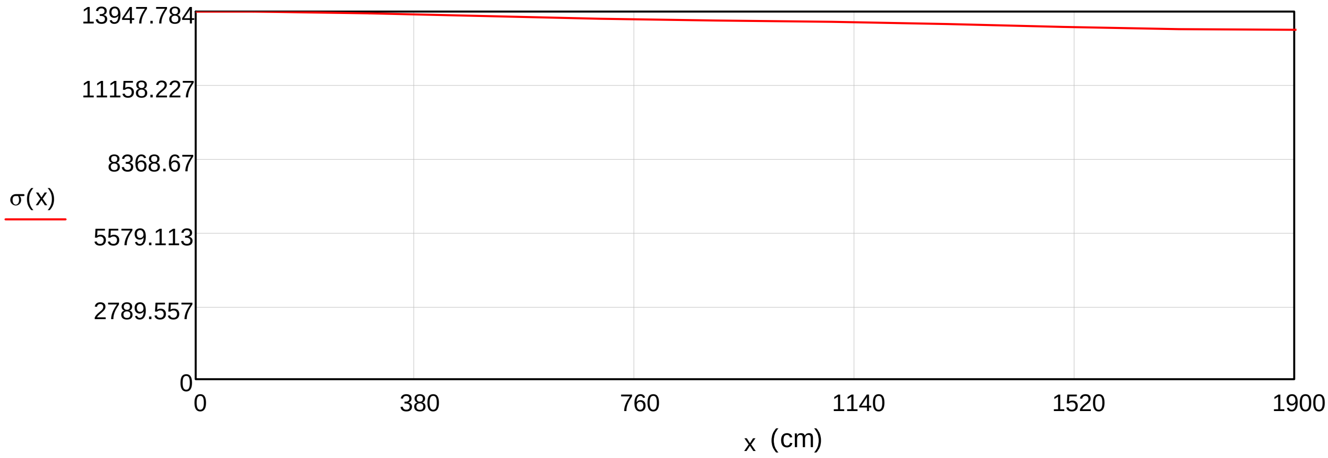
$$\alpha_i = \begin{cases} 0rad & \text{if } i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \Delta\alpha_{elevação_i} & \text{if } i > 1 \\ i \cdot rad & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13842.18 \\ 13648.95 \\ 13545.62 \\ 13356.53 \\ 13255.4 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$$a = cspline(S, \sigma_{esq})$$

$$\sigma(x) = interp\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$$



$$\text{Área} = \int_0^L \sigma(x)\,dx \qquad \text{Área} = 258379.52 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$\sigma_m = \frac{\text{Área}}{L} \qquad \sigma_m = 13598.92 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$$L_{cabo} = 19.40m \qquad \text{Área}_{teórica\_aço} = 143.4 \cdot mm^2 \qquad E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$$

$$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot \text{Área}_{teórica\_aço} = 19.5 \cdot t$$

$$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 135 \cdot mm$$

V56 = V57 - CÁLCULO DAS ARMADURAS DE FRETAGEM

a_0 = Área da placa de distribuição

b = Distância entre eixos das ancoragens

c = Distância entre as ancoragens

d = Distância entre a face do concreto ao eixo da ancoragem

n = Quantidade de ancoragens em elevação

q = Quantidade de cabos alinhados em cada grupo (seção transversal)

EXTREMIDADE ATIVA

$b = 24cm$ $\quad n = 4$ $\quad q = 1$ $\quad F_{inicial} = 6 \cdot \sigma_1 \cdot Área_{teórica\_aço} = 1176.86\,kN$

$a_0 = 22cm$ $\quad c = 4cm$

$d = 24cm$ $\quad a_1 = a_0 + c = 26\,cm$

$F_1 = F_{inicial} \cdot \cos(9°) = 1162.37\,kN$ $\quad F_3 = F_{inicial} \cdot \cos(5°) = 1172.39\,kN$

$$T_1 = 0.25 \cdot F_1 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 44.71\,kN \qquad T_3 = 0.25 \cdot F_3 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 45.09\,kN$$

$F_2 = F_{inicial} \cdot \cos(6°) = 1170.42\,kN$ $\quad F_4 = F_{inicial} \cdot \cos(2°) = 1176.15\,kN$

$$T_2 = 0.25 \cdot F_2 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 45.02\,kN \qquad T_4 = 0.25 \cdot F_4 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 45.24\,kN$$

$a_2 = 2 \cdot d + (n-1) \cdot b = 120\,cm$ $\quad k = 1..n$

$$F_k = \begin{pmatrix} 1162.37 \\ 1170.42 \\ 1172.39 \\ 1176.15 \end{pmatrix} kN \qquad T_k = \begin{pmatrix} 44.71 \\ 45.02 \\ 45.09 \\ 45.24 \end{pmatrix} kN \qquad \sum F = 4681.32\,kN$$

$$T_n = \frac{2}{3} \cdot \left(1 - \frac{n \cdot a_1}{a_2}\right) \cdot \sum F = 416.12\,kN \qquad fyd = 43.48 \frac{kN}{cm^2}$$

$$As_1 = \frac{\max(T)}{fyd} = 1.04\,cm^2 \qquad As_2 = q \cdot \left(\frac{T_n}{fyd}\right) = 9.57\,cm^2$$

EXTREMIDADE PASSIVA

$b = 24cm$ $\quad q = 1$ $\quad F_{inicial} = 1176.86\,kN$

$a_0 = 22\,cm$ $\quad c = 4\,cm$

$d = 24cm$ $\quad a_1 = a_0 + c = 26\,cm$

$F_1 = F_{inicial} \cdot \cos(9°) = 1162.37\,kN$ $\quad F_3 = F_{inicial} \cdot \cos(5°) = 1172.39\,kN$

$$T_1 = 0.25 \cdot F_1 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 44.71\,kN \qquad T_3 = 0.25 \cdot F_3 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 45.09\,kN$$

$F_2 = F_{inicial} \cdot \cos(6°) = 1170.42\,kN$ $\quad F_4 = F_{inicial} \cdot \cos(2°) = 1176.15\,kN$

$$T_2 = 0.25 \cdot F_2 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 45.02\,kN \qquad T_4 = 0.25 \cdot F_4 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 45.24\,kN$$

$a_3 = 2 \cdot d + (n - 1) \cdot b = 120\,cm$

$$F_k = \begin{pmatrix} 1162.37 \\ 1170.42 \\ 1172.39 \\ 1176.15 \end{pmatrix} kN \qquad T_k = \begin{pmatrix} 44.71 \\ 45.02 \\ 45.09 \\ 45.24 \end{pmatrix} kN \qquad \sum F = 4681.32\,kN$$

$$T_n = \frac{2}{3} \cdot \left(1 - \frac{n \cdot a_1}{a_3}\right) \cdot \sum F = 416.12\,kN \qquad fyd = 43.48 \cdot \frac{kN}{cm^2}$$

$$As_3 = \frac{\max(T)}{fyd} = 1.04\,cm^2 \qquad As_4 = q \cdot \left(\frac{T_n}{fyd}\right) = 9.57\,cm^2$$

$$As_{fretagem} = \max\left(As_1, As_3\right) = 1.04\,cm^2$$

Adotado espiral ø10mm - 5 passos por cabo em cada trecho de ancoragem ativa e passiva.

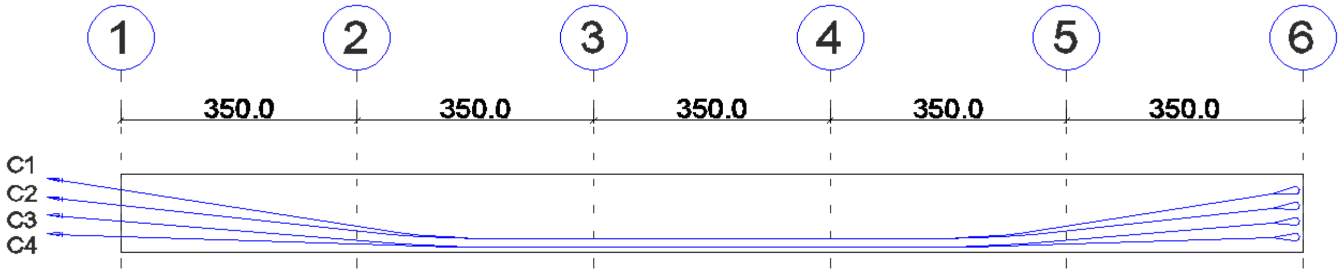
$$As_{estribos} = \frac{\max\left(As_2, As_4\right)}{2} = 4.79\,cm^2$$

$L = a_2 = 120\,cm$ $\quad bitola_{estribo} = 8mm$ $\quad adotados = ceil\left(\frac{As_{estribos}}{bitola_{estribo}^2}\right) = 8$

Estribos adotados = 8 ø8.0mm em cada trecho de ancoragem ativa e passiva distribuídos em $L = 120\,cm$

V59 = V60 (COBERTURA) - CABOS C1 a C4

CABO C1 (6ø15.2mm)



$$\text{Área}_{\text{teórica\_aço}} = 143.4\text{mm}^2 \qquad \text{fptk} = \frac{265.8\text{kN}}{\text{Área}_{\text{teórica\_aço}}} = 1853.56\,\text{MPa} \qquad \text{fpyk} = \frac{239.2\text{kN}}{\text{Área}_{\text{teórica\_aço}}} = 1668.06\,\text{MPa}$$

$$\sigma_{pi} = \min(0.74\cdot\text{fptk}, 0.82\cdot\text{fpyk}) = 1367.81\,\text{MPa}$$

$$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78\cdot\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \qquad \mu = 0.20 \qquad \beta = 0.01\frac{\text{rad}}{\text{m}} \qquad e = 2.72 \qquad L = 17.50\text{m}$$

$$\kappa = \beta\cdot\mu = 0.002\cdot\frac{\text{rad}}{\text{m}} \qquad n = 6 \qquad i = 1, 2..\, n$$

$$S = 0\text{cm}, \frac{L}{n-1}..\, L = \begin{pmatrix} 0 \\ 350 \\ 700 \\ 1050 \\ 1400 \\ 1750 \end{pmatrix}\text{cm} \qquad \Delta\alpha_{\text{elevação}} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 9.16 \\ 0 \\ 8.5 \\ 0.66 \end{pmatrix}°$$

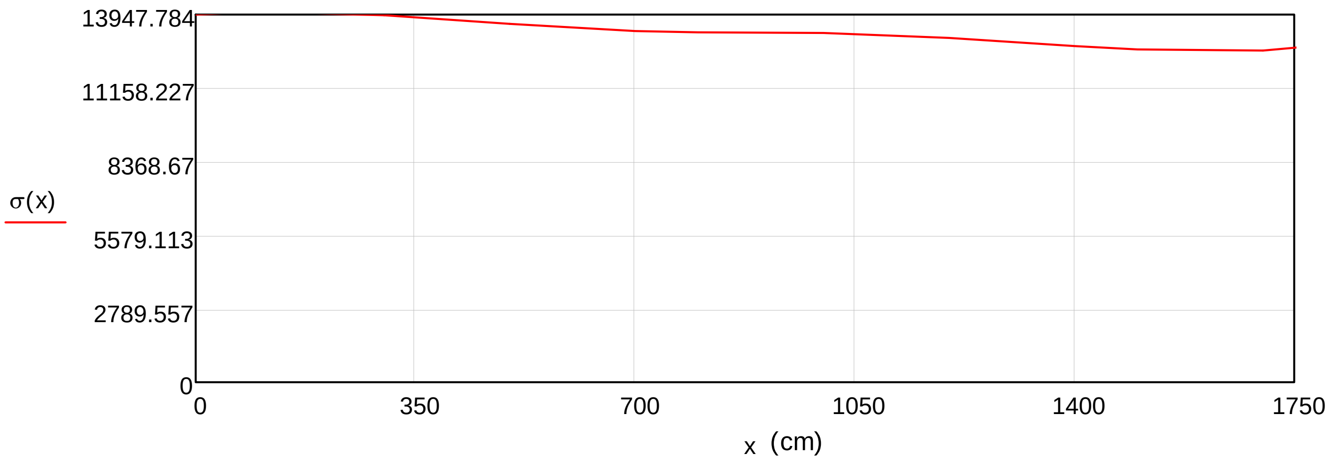
$$\alpha_i = \left| \begin{array}{ll} 0\text{rad} & \text{if } \; i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \Delta\alpha_{\text{elevação}_i} & \text{if } \; i > 1 \\ i\cdot\text{rad} & \text{otherwise} \end{array} \right.$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1\cdot e^{-(\mu\cdot\alpha+\kappa\cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13850.49 \\ 13321.06 \\ 13228.14 \\ 12751.84 \\ 12633.75 \end{pmatrix}\cdot\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$a = \mathrm{cspline}(S, \sigma_{esq})$$

$$\sigma(x) = \mathrm{interp}\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$$



$$\text{Área} = \int_0^L \sigma(x)\,dx \qquad \text{Área} = 232579.7 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$\sigma_m = \frac{\text{Área}}{L} \qquad \sigma_m = 13290.27 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$$L_{cabo} = 17.90m \qquad \text{Área}_{teórica\_aço} = 143.4 \cdot mm^2 \qquad E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$$

$$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot \text{Área}_{teórica\_aço} = 19.1 \cdot t$$

$$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 122 \cdot mm$$

CABO C2 (6ø15.2mm)

$Área_{teórica\_aço} = 143.4mm^2$ $fptk = \frac{265.8kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1853.56\,MPa$ $fpyk = \frac{239.2kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1668.06\,MPa$

$\sigma_{pi} = \min(0.74 \cdot fptk, 0.82 \cdot fpyk) = 1367.81\,MPa$

$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78 \cdot \frac{kgf}{cm^2}$ $\mu = 0.20$ $\beta = 0.01 \frac{rad}{m}$ $e = 2.72$ $L = 17.50m$

$\kappa = \beta \cdot \mu = 0.002 \cdot \frac{rad}{m}$ $n = 6$ $i = 1, 2 .. n$

$$S = 0cm, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 350 \\ 700 \\ 1050 \\ 1400 \\ 1750 \end{pmatrix} cm \qquad \Delta\alpha_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 6.26 \\ 0 \\ 6.26 \\ 0 \end{pmatrix} ^\circ$$

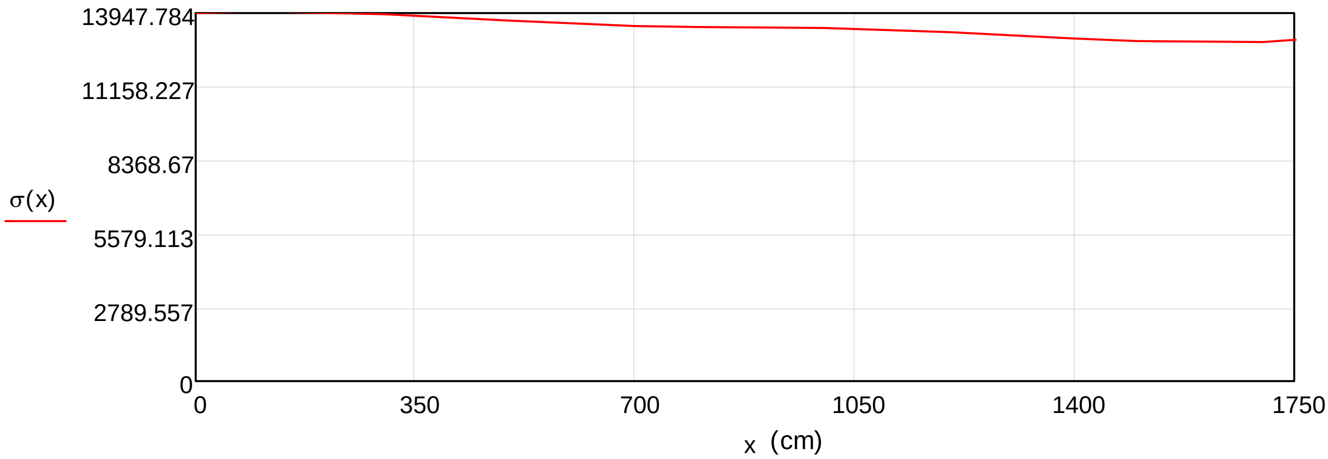
$$\alpha_i = \left| \begin{array}{ll} 0rad & \text{if } i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \Delta\alpha_{elevação_i} & \text{if } i > 1 \\ i \cdot rad & \text{otherwise} \end{array} \right.$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13850.49 \\ 13456.59 \\ 13362.72 \\ 12982.7 \\ 12892.14 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$$a = cspline(S, \sigma_{esq})$$

$$\sigma(x) = interp\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$$



$$Área = \int_0^L \sigma(x)\,dx \qquad Área = 234755.16 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$\sigma_m = \frac{Área}{L} \qquad \sigma_m = 13414.58 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$$L_{cabo} = 17.90m \qquad Área_{teórica\_aço} = 143.4 \cdot mm^2 \qquad E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$$

$$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot Área_{teórica\_aço} = 19.2 \cdot t$$

$$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 123 \cdot mm$$

CABO C3 (6ø15.2mm)

$$Área_{teórica\_aço} = 143.4mm^2 \qquad fptk = \frac{265.8kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1853.56\,MPa \qquad fpyk = \frac{239.2kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1668.06\,MPa$$

$$\sigma_{pi} = \min(0.74 \cdot fptk, 0.82 \cdot fpyk) = 1367.81\,MPa$$

$$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78 \cdot \frac{kgf}{cm^2} \qquad \mu = 0.20 \qquad \beta = 0.01 \frac{rad}{m} \qquad e = 2.72 \qquad L = 17.50m$$

$$\kappa = \beta \cdot \mu = 0.002 \cdot \frac{rad}{m} \qquad n = 6 \qquad i = 1, 2 .. n$$

$$S = 0cm, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 350 \\ 700 \\ 1050 \\ 1400 \\ 1750 \end{pmatrix} cm \qquad \Delta\alpha_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 4.79 \\ 0 \\ 4.79 \\ 0 \end{pmatrix} ^\circ$$

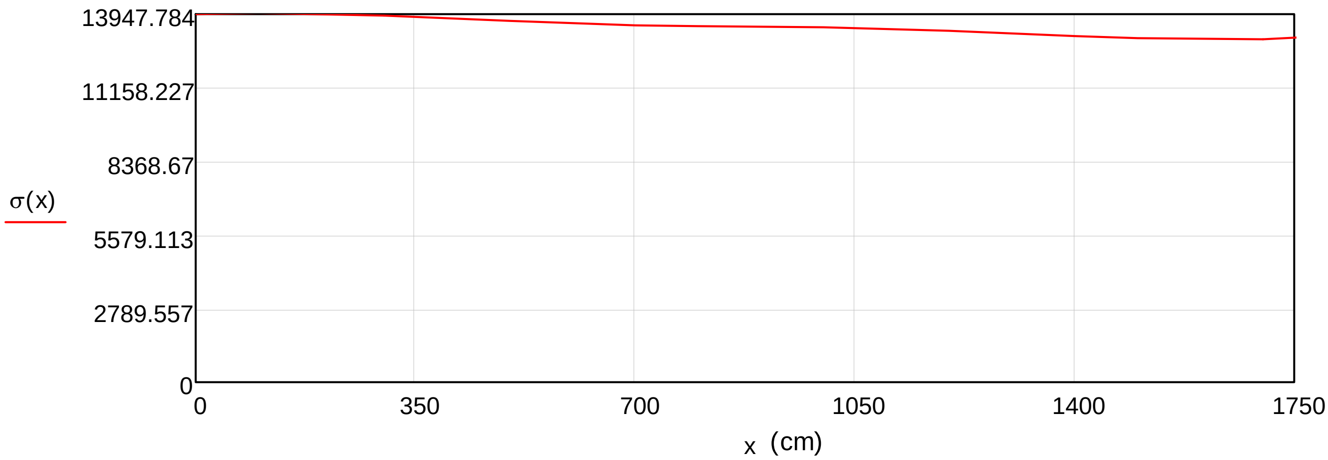
$$\alpha_i = \begin{cases} 0\text{rad} & \text{if } i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \Delta\alpha_{elevação_i} & \text{if } i > 1 \\ i \cdot \text{rad} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13850.49 \\ 13525.82 \\ 13431.47 \\ 13116.62 \\ 13025.12 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$$a = \text{cspline}(S, \sigma_{esq})$$

$$\sigma(x) = \text{interp}\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$$



$$\text{Área} = \int_0^L \sigma(x)\, dx \qquad \text{Área} = 235938.49 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$\sigma_m = \frac{\text{Área}}{L} \qquad \sigma_m = 13482.2 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$$L_{cabo} = 17.90m \qquad \text{Área}_{teórica\_aço} = 143.4 \cdot mm^2 \qquad E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$$

$$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot \text{Área}_{teórica\_aço} = 19.3 \cdot t$$

$$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 124 \cdot mm$$

CABO C4 (6ø15.2mm)

$$\text{Área}_{teórica\_aço} = 143.4\,\text{mm}^2 \qquad fptk = \frac{265.8\,\text{kN}}{\text{Área}_{teórica\_aço}} = 1853.56\,\text{MPa} \qquad fpyk = \frac{239.2\,\text{kN}}{\text{Área}_{teórica\_aço}} = 1668.06\,\text{MPa}$$

$$\sigma_{pi} = \min(0.74 \cdot fptk, 0.82 \cdot fpyk) = 1367.81\,\text{MPa}$$

$$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \qquad \mu = 0.20 \qquad \beta = 0.01 \frac{\text{rad}}{\text{m}} \qquad e = 2.72 \qquad L = 17.50\,\text{m}$$

$$\kappa = \beta \cdot \mu = 0.002 \cdot \frac{\text{rad}}{\text{m}} \qquad n = 6 \qquad i = 1, 2 .. n$$

$$S = 0\text{cm}, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 350 \\ 700 \\ 1050 \\ 1400 \\ 1750 \end{pmatrix} \text{cm} \qquad \Delta\alpha_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1.85 \\ 0 \\ 1.85 \\ 0 \end{pmatrix}^{\circ}$$

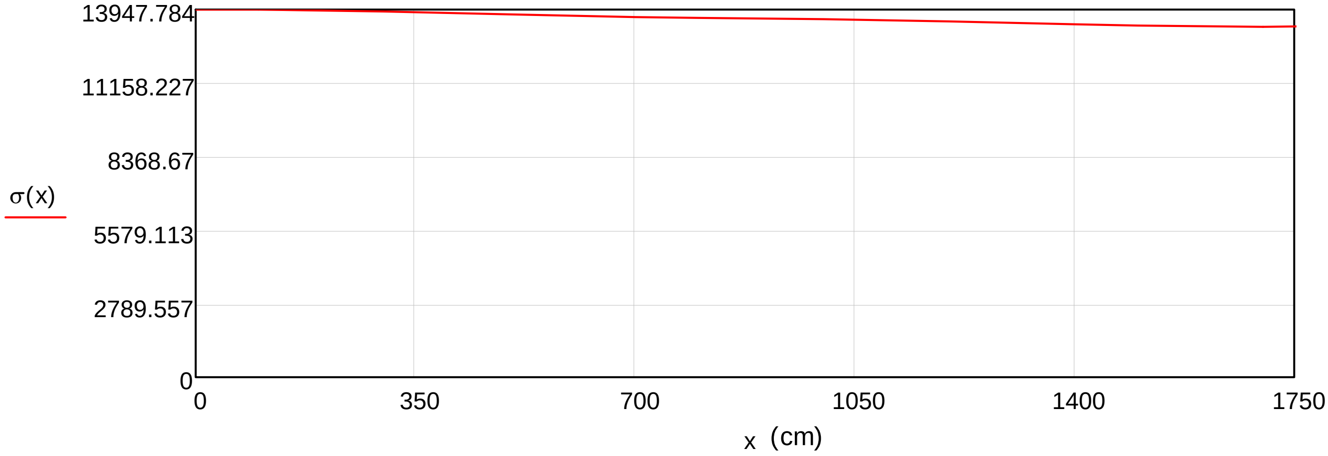
$$\alpha_i = \begin{cases} 0\text{rad} & \text{if } i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \Delta\alpha_{elevação_i} & \text{if } i > 1 \\ i \cdot \text{rad} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13850.49 \\ 13665.34 \\ 13570.02 \\ 13388.62 \\ 13295.23 \end{pmatrix} \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$a = \text{cspline}(S, \sigma_{esq})$$

$$\sigma(x) = \text{interp}\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$$



$$Área = \int_0^L \sigma(x)\,dx \qquad Área = 238335.19 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$\sigma_m = \frac{Área}{L} \qquad \sigma_m = 13619.15 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$$L_{cabo} = 17.90m \qquad Área_{teórica\_aço} = 143.4 \cdot mm^2 \qquad E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$$

$$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot Área_{teórica\_aço} = 19.5 \cdot t$$

$$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 125 \cdot mm$$

V59 = V60 - CÁLCULO DAS ARMADURAS DE FRETAGEM

a_0 = Área da placa de distribuição

b = Distância entre eixos das ancoragens

c = Distância entre as ancoragens

d = Distância entre a face do concreto ao eixo da ancoragem

n = Quantidade de ancoragens em elevação

q = Quantidade de cabos alinhados em cada grupo (seção transversal)

EXTREMIDADE ATIVA

$b = 24cm$ $\quad n = 4$ $\quad q = 1$ $\quad F_{inicial} = 6 \cdot \sigma_1 \cdot Área_{teórica\_aço} = 1176.86\,kN$

$a_0 = 22cm$ $\quad c = 4cm$

$d = 24cm$ $\quad a_1 = a_0 + c = 26\,cm$

$F_1 = F_{inicial} \cdot \cos(9°) = 1162.37\,kN$ $\quad F_3 = F_{inicial} \cdot \cos(5°) = 1172.39\,kN$

$$T_1 = 0.25 \cdot F_1 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 44.71\,kN \qquad T_3 = 0.25 \cdot F_3 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 45.09\,kN$$

$F_2 = F_{inicial} \cdot \cos(6°) = 1170.42\,kN$ $\quad F_4 = F_{inicial} \cdot \cos(2°) = 1176.15\,kN$

$$T_2 = 0.25 \cdot F_2 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 45.02\,kN \qquad T_4 = 0.25 \cdot F_4 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 45.24\,kN$$

$a_2 = 2 \cdot d + (n - 1) \cdot b = 120\,cm$ $\quad k = 1..n$

$$F_k = \begin{pmatrix} 1162.37 \\ 1170.42 \\ 1172.39 \\ 1176.15 \end{pmatrix} kN \qquad T_k = \begin{pmatrix} 44.71 \\ 45.02 \\ 45.09 \\ 45.24 \end{pmatrix} kN \qquad \sum F = 4681.32\,kN$$

$$T_n = \frac{2}{3} \cdot \left(1 - \frac{n \cdot a_1}{a_2}\right) \cdot \sum F = 416.12\,kN \qquad fyd = 43.48 \frac{kN}{cm^2}$$

$$As_1 = \frac{\max(T)}{fyd} = 1.04\,cm^2 \qquad As_2 = q \cdot \left(\frac{T_n}{fyd}\right) = 9.57\,cm^2$$

EXTREMIDADE PASSIVA

$b = 24\,cm$ $\quad q = 1$ $\quad F_{inicial} = 1176.86\,kN$

$a_0 = 22\,cm$ $\quad c = 4\,cm$

$d = 24\,cm$ $\quad a_1 = a_0 + c = 26\,cm$

$F_1 = F_{inicial} \cdot \cos(9°) = 1162.37\,kN$ $\quad F_3 = F_{inicial} \cdot \cos(5°) = 1172.39\,kN$

$$T_1 = 0.25 \cdot F_1 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 44.71\,kN \qquad T_3 = 0.25 \cdot F_3 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 45.09\,kN$$

$F_2 = F_{inicial} \cdot \cos(6°) = 1170.42\,kN$ $\quad F_4 = F_{inicial} \cdot \cos(2°) = 1176.15\,kN$

$$T_2 = 0.25 \cdot F_2 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 45.02\,kN \qquad T_4 = 0.25 \cdot F_4 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 45.24\,kN$$

$a_3 = 2 \cdot d + (n - 1) \cdot b = 120\,cm$

$$F_k = \begin{pmatrix} 1162.37 \\ 1170.42 \\ 1172.39 \\ 1176.15 \end{pmatrix} kN \qquad T_k = \begin{pmatrix} 44.71 \\ 45.02 \\ 45.09 \\ 45.24 \end{pmatrix} kN \qquad \sum F = 4681.32\,kN$$

$$T_n = \frac{2}{3} \cdot \left(1 - \frac{n \cdot a_1}{a_3}\right) \cdot \sum F = 416.12\,kN \qquad fyd = 43.48 \cdot \frac{kN}{cm^2}$$

$$As_3 = \frac{\max(T)}{fyd} = 1.04\,cm^2 \qquad As_4 = q \cdot \left(\frac{T_n}{fyd}\right) = 9.57\,cm^2$$

$$As_{fretagem} = \max(As_1, As_3) = 1.04\,cm^2$$

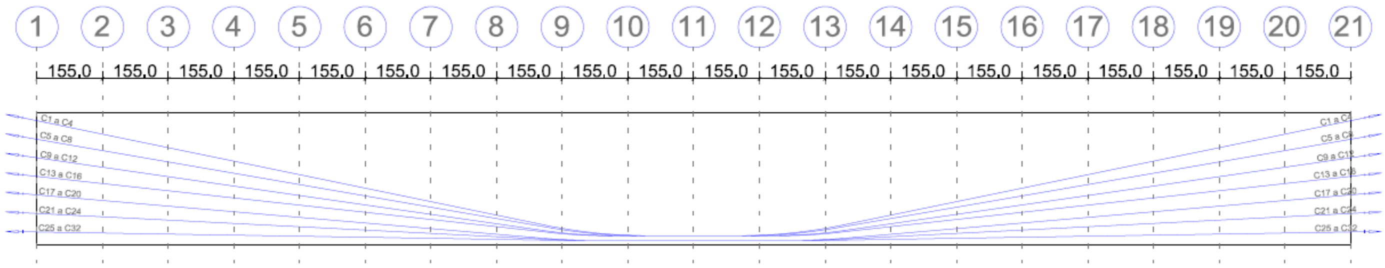
Adotado espiral ø10mm - 5 passos por cabo em cada trecho de ancoragem ativa e passiva.

$$As_{estribos} = \frac{\max(As_2, As_4)}{2} = 4.79\,cm^2$$

$L = a_2 = 120\,cm$ $\quad bitola_{estribo} = 8mm$ $\quad adotados = \mathrm{ceil}\left(\frac{As_{estribos}}{bitola_{estribo}^2}\right) = 8$

Estribos adotados = 8 ø8.0mm em cada trecho de ancoragem ativa e passiva distribuídos em $L = 120\,cm$

VIGA 1 (COBERTURA - SUSTENTAÇÃO) - CABOS C1 a C32



CABOS C1=C2=C3=C4 (12ø15.2mm)

$t = \text{tonne}$

$\text{Área}_{\text{teórica\_aço}} = 143.4\,\text{mm}^2$ $\quad \text{fptk} = \dfrac{265.8\text{kN}}{\text{Área}_{\text{teórica\_aço}}} = 1853.56\,\text{MPa}$ $\quad \text{fpyk} = \dfrac{239.2\text{kN}}{\text{Área}_{\text{teórica\_aço}}} = 1668.06\,\text{MPa}$

$\sigma_{pi} = \min(0.74\cdot\text{fptk}, 0.82\cdot\text{fpyk}) = 1367.81\,\text{MPa}$

$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78\cdot\dfrac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$ $\quad \mu = 0.20$ $\quad \beta = 0.01\dfrac{\text{rad}}{\text{m}}$ $\quad e = 2.72$ $\quad L = 31.00\text{m}$

$\kappa = \beta\cdot\mu = 0.002\cdot\dfrac{\text{rad}}{\text{m}}$ $\quad n = 21$ $\quad i = 1, 2..n$

$$S = 0\text{cm}, \frac{L}{n-1}..L = \begin{pmatrix} 0 \\ 155 \\ 310 \\ 465 \\ 620 \\ 775 \\ 930 \\ 1085 \\ 1240 \\ 1395 \\ 1550 \\ 1705 \\ 1860 \\ 2015 \\ 2170 \\ 2325 \\ 2480 \\ 2635 \\ 2790 \\ 2945 \\ 3100 \end{pmatrix}\text{cm} \qquad \Delta\alpha_{\text{elevação}} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1.15 \\ 8.06 \\ 2.73 \\ 2.86 \\ 8.45 \\ 0.62 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}^{\circ} \qquad \Delta\alpha_{\text{planta}} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}^{\circ}$$

$$\alpha_i = \begin{cases} 0\text{rad} & \text{if } i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \sqrt{\left(\Delta\alpha_{\text{elevação}_i}\right)^2 + \left(\Delta\alpha_{\text{planta}_i}\right)^2} & \text{if } i > 1 \\ i\cdot\text{rad} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu\cdot\alpha+\kappa\cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13904.61 \\ 13861.57 \\ 13818.67 \\ 13775.9 \\ 13733.26 \\ 13690.75 \\ 13648.38 \\ 13551.62 \\ 13134.88 \\ 12970.04 \\ 12801.46 \\ 12390.91 \\ 12325.85 \\ 12287.7 \\ 12249.67 \\ 12211.75 \\ 12173.95 \\ 12136.27 \\ 12098.71 \\ 12061.26 \end{pmatrix} \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$n = 21 \qquad (i = 1, 2 .. n)$

$$\Delta\theta_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0.62 \\ 8.45 \\ 2.86 \\ 2.73 \\ 8.06 \\ 1.15 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}° \qquad \Delta\theta_{planta} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}°$$

$$\theta_i = \left| \begin{array}{ll} 0rad & \text{if } \; i = 1 \\ \theta_{(i-1)} + \sqrt{\left(\Delta\theta_{elevação_i}\right)^2 + \left(\Delta\theta_{planta_i}\right)^2} & \text{if } \; i > 1 \\ i \cdot rad & \text{otherwise} \end{array} \right.$$

$\sigma_{dir} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \theta + \kappa \cdot S)}$

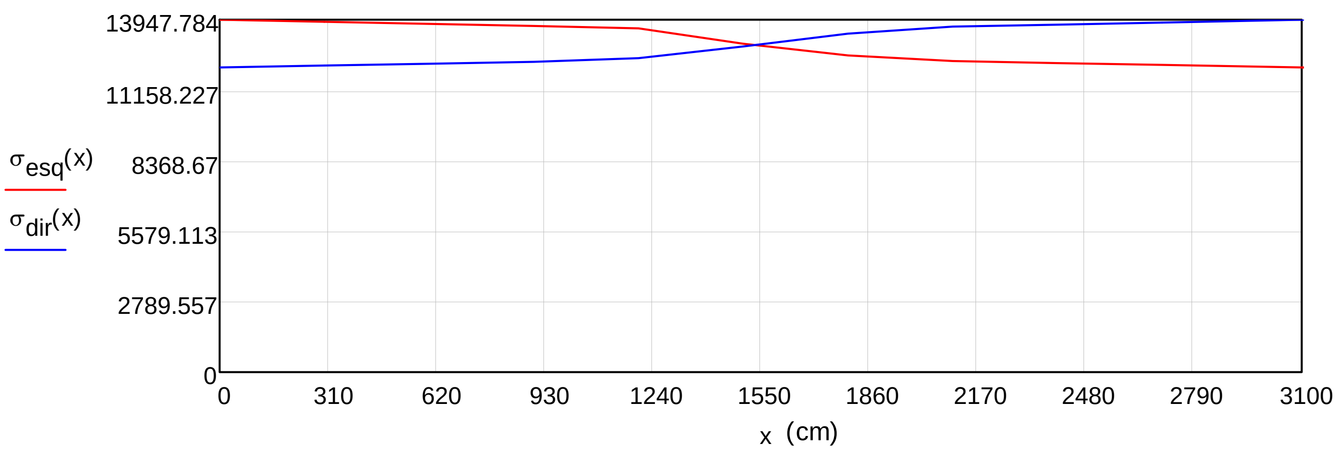
$$\sigma_{dir} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13904.61 \\ 13861.57 \\ 13818.67 \\ 13775.9 \\ 13733.26 \\ 13690.75 \\ 13648.38 \\ 13576.72 \\ 13141.31 \\ 12970.49 \\ 12807.71 \\ 12413.85 \\ 12325.85 \\ 12287.7 \\ 12249.67 \\ 12211.75 \\ 12173.95 \\ 12136.27 \\ 12098.71 \\ 12061.26 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$a = \text{cspline}(S, \sigma_{esq})$

$b = \text{cspline}(S, \sigma_{dir})$

$\sigma_{esq}(x) = \text{interp}\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$

$\sigma_{dir}(x) = \text{interp}\left(\frac{b}{g}, S, \frac{\text{reverse}(\sigma_{dir})}{g}, x\right)$



$c = L$ $\qquad d = 0m$

Given

$d = \sigma_{esq}(c)$ $\qquad d = \sigma_{dir}(c)$

$$\begin{pmatrix} interseção \\ \sigma_{interseção} \end{pmatrix} = Find(c, d)$$

$interseção = 1549.79 \cdot cm$

$$\sigma_{interseção} = 12970.145892 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$$Área_1 = \int_0^{interseção} \sigma_{esq}(x)\, dx \qquad Área_1 = 211673.92 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$Área_2 = \int_{interseção}^{L} \sigma_{dir}(x)\, dx \qquad Área_2 = 211768.14 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$Área = (Área_1) + (Área_2) \qquad Área = 423442.06 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$\sigma_m = \frac{Área}{L} \qquad \sigma_m = 13659.42 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$L_{cabo} = 33.15m$ $\qquad Área_{teórica\_aço} = 143.4 \cdot mm^2$ $\qquad E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$

$$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot Área_{teórica\_aço} = 19.6 \cdot t$$

$$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 232 \cdot mm$$

CABOS C5=C6=C7=C8 (12ø15.2mm)

$$\text{Área}_{\text{teórica\_aço}} = 143.4\text{mm}^2 \qquad fptk = \frac{265.8\text{kN}}{\text{Área}_{\text{teórica\_aço}}} = 1853.56\,\text{MPa} \qquad fpyk = \frac{239.2\text{kN}}{\text{Área}_{\text{teórica\_aço}}} = 1668.06\,\text{MPa}$$

$$\sigma_{pi} = \min(0.74\cdot fptk, 0.82\cdot fpyk) = 1367.81\,\text{MPa}$$

$$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78\cdot\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \qquad \mu = 0.20 \qquad \beta = 0.01\frac{\text{rad}}{\text{m}} \qquad e = 2.72 \qquad L = 31.00\text{m}$$

$$\kappa = \beta\cdot\mu = 0.002\cdot\frac{\text{rad}}{\text{m}} \qquad n = 21 \qquad i = 1, 2..n$$

$$S = 0\text{cm}, \frac{L}{n-1}..L = \begin{pmatrix} 0 \\ 155 \\ 310 \\ 465 \\ 620 \\ 775 \\ 930 \\ 1085 \\ 1240 \\ 1395 \\ 1550 \\ 1705 \\ 1860 \\ 2015 \\ 2170 \\ 2325 \\ 2480 \\ 2635 \\ 2790 \\ 2945 \\ 3100 \end{pmatrix}\text{cm} \qquad \Delta\alpha_{\text{elevação}} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0.59 \\ 6.28 \\ 3.18 \\ 3.18 \\ 6.28 \\ 0.59 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}^{\circ} \qquad \Delta\alpha_{\text{planta}} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}^{\circ}$$

$$\alpha_i = \begin{cases} 0\text{rad} & \text{if } i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \sqrt{\left(\Delta\alpha_{elevação_i}\right)^2 + \left(\Delta\alpha_{planta_i}\right)^2} & \text{if } i > 1 \\ i \cdot \text{rad} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13904.61 \\ 13861.57 \\ 13818.67 \\ 13775.9 \\ 13733.26 \\ 13690.75 \\ 13648.38 \\ 13578.14 \\ 13242.61 \\ 13055.89 \\ 12871.8 \\ 12553.73 \\ 12489.13 \\ 12450.47 \\ 12411.93 \\ 12373.52 \\ 12335.22 \\ 12297.04 \\ 12258.98 \\ 12221.03 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$n = 21$ $(i = 1, 2 .. n)$

$$\Delta\theta_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0.59 \\ 6.28 \\ 3.18 \\ 3.18 \\ 6.28 \\ 0.59 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}° \qquad \Delta\theta_{planta} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}°$$

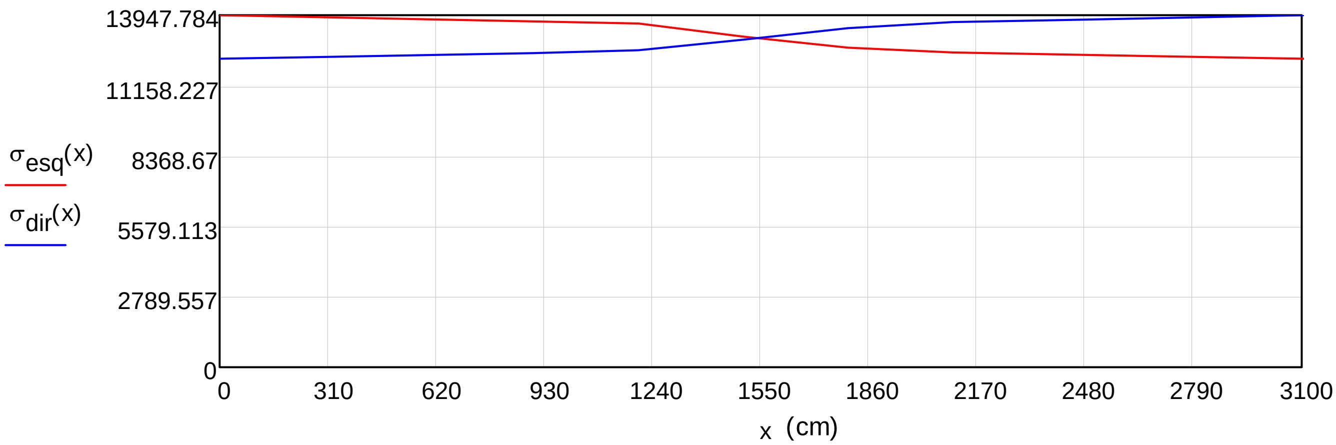
$$\theta_i = \begin{vmatrix} 0rad \quad \text{if} \quad i = 1 \\ \theta_{(i-1)} + \sqrt{\left(\Delta\theta_{elevação_i}\right)^2 + \left(\Delta\theta_{planta_i}\right)^2} \quad \text{if} \quad i > 1 \\ i \cdot rad \quad \text{otherwise} \end{vmatrix}$$

$$\sigma_{dir} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \theta + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{dir} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13904.61 \\ 13861.57 \\ 13818.67 \\ 13775.9 \\ 13733.26 \\ 13690.75 \\ 13648.38 \\ 13578.14 \\ 13242.61 \\ 13055.89 \\ 12871.8 \\ 12553.73 \\ 12489.13 \\ 12450.47 \\ 12411.93 \\ 12373.52 \\ 12335.22 \\ 12297.04 \\ 12258.98 \\ 12221.03 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$$a = \text{cspline}(S, \sigma_{esq}) \qquad b = \text{cspline}(S, \sigma_{dir})$$

$$\sigma_{esq}(x) = \text{interp}\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right) \qquad \sigma_{dir}(x) = \text{interp}\left(\frac{b}{g}, S, \frac{\text{reverse}(\sigma_{dir})}{g}, x\right)$$



$c := L$ $\qquad d := 0m$

Given

$d = \sigma_{esq}(c)$ $\qquad d = \sigma_{dir}(c)$

$$\begin{pmatrix} interseção \\ \sigma_{interseção} \end{pmatrix} := Find(c, d) \qquad interseção = 1550 \cdot cm$$

$$\sigma_{interseção} = 13055.89161 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$$Área_1 := \int_0^{interseção} \sigma_{esq}(x)\, dx \qquad Área_1 = 211982.5 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$Área_2 := \int_{interseção}^{L} \sigma_{dir}(x)\, dx \qquad Área_2 = 211959.39 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$Área := (Área_1) + (Área_2) \qquad Área = 423941.89 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$\sigma_m := \frac{Área}{L} \qquad \sigma_m = 13675.54 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$L_{cabo} := 33.00m$ $\qquad Área_{teórica\_aço} = 143.4 \cdot mm^2$ $\qquad E_{teórico\_aço} := 1950000 \frac{kg}{cm^2}$

$$F_{média\_cabo} := \sigma_m \cdot Área_{teórica\_aço} = 19.6 \cdot t$$

$$\Delta L_{teórico} := \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 231 \cdot mm$$

CABOS C9=C10=C11=C12 (12ø15.2mm)

$\text{Área}_{\text{teórica\_aço}} = 143.4\text{mm}^2$ $\quad \text{fptk} = \frac{265.8\text{kN}}{\text{Área}_{\text{teórica\_aço}}} = 1853.56\,\text{MPa}$ $\quad \text{fpyk} = \frac{239.2\text{kN}}{\text{Área}_{\text{teórica\_aço}}} = 1668.06\,\text{MPa}$

$\sigma_{pi} = \min(0.74\cdot\text{fptk}, 0.82\cdot\text{fpyk}) = 1367.81\,\text{MPa}$

$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78\cdot\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$ $\quad \mu = 0.20$ $\quad \beta = 0.01\frac{\text{rad}}{\text{m}}$ $\quad e = 2.72$ $\quad L = 31.00\text{m}$

$\kappa = \beta\cdot\mu = 0.002\cdot\frac{\text{rad}}{\text{m}}$ $\quad n = 21$ $\quad i = 1, 2..n$

$$S = 0\text{cm}, \frac{L}{n-1}..L = \begin{pmatrix} 0 \\ 155 \\ 310 \\ 465 \\ 620 \\ 775 \\ 930 \\ 1085 \\ 1240 \\ 1395 \\ 1550 \\ 1705 \\ 1860 \\ 2015 \\ 2170 \\ 2325 \\ 2480 \\ 2635 \\ 2790 \\ 2945 \\ 3100 \end{pmatrix}\text{cm} \qquad \Delta\alpha_{\text{elevação}} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1.69 \\ 6.71 \\ 0 \\ 0 \\ 6.71 \\ 1.69 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}^{\circ} \qquad \Delta\alpha_{\text{planta}} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}^{\circ}$$

$$\alpha_i = \begin{cases} 0\,\text{rad} & \text{if } i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \sqrt{\left(\Delta\alpha_{\text{elevação}_i}\right)^2 + \left(\Delta\alpha_{\text{planta}_i}\right)^2} & \text{if } i > 1 \\ i \cdot \text{rad} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu\cdot\alpha + \kappa\cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13904.61 \\ 13861.57 \\ 13818.67 \\ 13775.9 \\ 13733.26 \\ 13690.75 \\ 13648.38 \\ 13526.1 \\ 13172.08 \\ 13131.31 \\ 13090.66 \\ 12748.03 \\ 12633.82 \\ 12594.72 \\ 12555.74 \\ 12516.87 \\ 12478.13 \\ 12439.51 \\ 12401.01 \\ 12362.62 \end{pmatrix} \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$n = 21$ $(i = 1, 2 .. n)$

$$\Delta\theta_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1.69 \\ 6.71 \\ 0 \\ 0 \\ 6.71 \\ 1.69 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}^{\circ} \qquad \Delta\theta_{planta} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}^{\circ}$$

$$\theta_i = \left| \begin{array}{l} 0rad \quad \text{if} \quad i = 1 \\ \theta_{(i-1)} + \sqrt{\left(\Delta\theta_{elevação_i}\right)^2 + \left(\Delta\theta_{planta_i}\right)^2} \quad \text{if} \quad i > 1 \\ i \cdot rad \quad \text{otherwise} \end{array} \right.$$

$$\sigma_{dir} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \theta + \kappa \cdot S)}$$

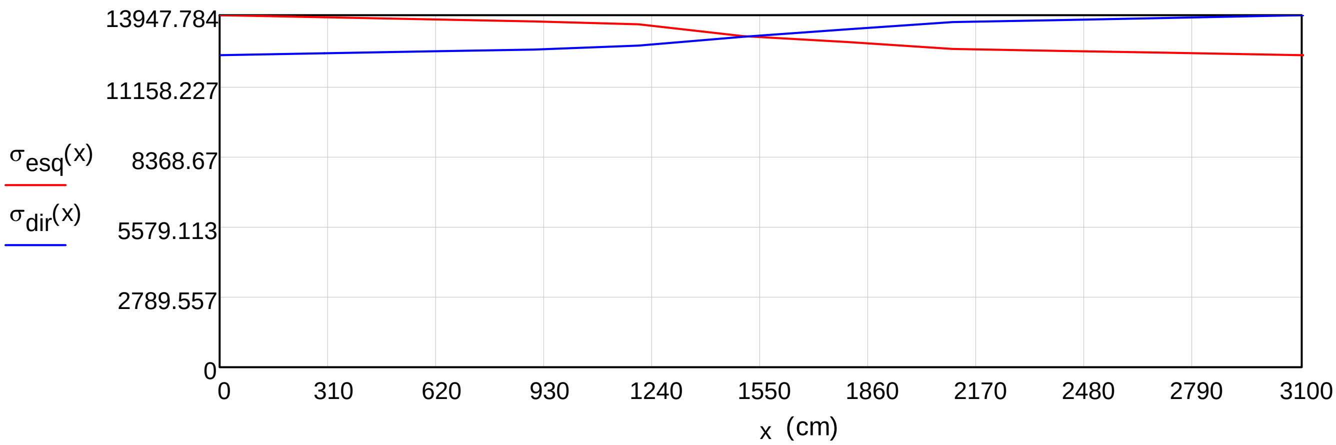
$$\sigma_{dir} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13904.61 \\ 13861.57 \\ 13818.67 \\ 13775.9 \\ 13733.26 \\ 13690.75 \\ 13648.38 \\ 13526.1 \\ 13172.08 \\ 13131.31 \\ 13090.66 \\ 12748.03 \\ 12633.82 \\ 12594.72 \\ 12555.74 \\ 12516.87 \\ 12478.13 \\ 12439.51 \\ 12401.01 \\ 12362.62 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$a = \text{cspline}(S, \sigma_{esq})$

$b = \text{cspline}(S, \sigma_{dir})$

$\sigma_{esq}(x) = \text{interp}\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$

$\sigma_{dir}(x) = \text{interp}\left(\frac{b}{g}, S, \frac{\text{reverse}(\sigma_{dir})}{g}, x\right)$



$c = L$ $\quad$ $d = 0m$

Given

$d = \sigma_{esq}(c)$ $\quad$ $d = \sigma_{dir}(c)$

$$\begin{pmatrix} interseção \\ \sigma_{interseção} \end{pmatrix} = Find(c, d)$$

$interseção = 1550 \cdot cm$

$$\sigma_{interseção} = 13131.305114 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$$Área_1 = \int_0^{interseção} \sigma_{esq}(x)\, dx \qquad Área_1 = 211826.92 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$Área_2 = \int_{interseção}^{L} \sigma_{dir}(x)\, dx \qquad Área_2 = 211852 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$Área = (Área_1) + (Área_2) \qquad Área = 423678.92 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$\sigma_m = \frac{Área}{L} \qquad \sigma_m = 13667.06 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$L_{cabo} = 32.90m$ $\quad$ $Área_{teórica\_aço} = 143.4 \cdot mm^2$ $\quad$ $E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$

$$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot Área_{teórica\_aço} = 19.6 \cdot t$$

$$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 231 \cdot mm$$

CABOS C13=C14=C15=C16 (12ø15.2mm)

$Área_{teórica\_aço} = 143.4mm^2$ $fptk = \frac{265.8kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1853.56\,MPa$ $fpyk = \frac{239.2kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1668.06\,MPa$

$\sigma_{pi} = \min(0.74 \cdot fptk, 0.82 \cdot fpyk) = 1367.81\,MPa$

$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78 \cdot \frac{kgf}{cm^2}$ $\mu = 0.20$ $\beta = 0.01 \frac{rad}{m}$ $e = 2.72$ $L = 31.00m$

$\kappa = \beta \cdot \mu = 0.002 \cdot \frac{rad}{m}$ $n = 21$ $i = 1, 2 .. n$

$$S = 0cm, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 155 \\ 310 \\ 465 \\ 620 \\ 775 \\ 930 \\ 1085 \\ 1240 \\ 1395 \\ 1550 \\ 1705 \\ 1860 \\ 2015 \\ 2170 \\ 2325 \\ 2480 \\ 2635 \\ 2790 \\ 2945 \\ 3100 \end{pmatrix} cm \qquad \Delta\alpha_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 3.05 \\ 3.37 \\ 0 \\ 0 \\ 3.37 \\ 3.05 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} ° \qquad \Delta\alpha_{planta} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} °$$

$$\alpha_i = \begin{cases} 0\text{rad} & \text{if } i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \sqrt{\left(\Delta\alpha_{elevação_i}\right)^2 + \left(\Delta\alpha_{planta_i}\right)^2} & \text{if } i > 1 \\ i \cdot \text{rad} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13904.61 \\ 13861.57 \\ 13818.67 \\ 13775.9 \\ 13733.26 \\ 13690.75 \\ 13648.38 \\ 13462.04 \\ 13263.43 \\ 13222.38 \\ 13181.45 \\ 12986.98 \\ 12809.67 \\ 12770.02 \\ 12730.5 \\ 12691.09 \\ 12651.81 \\ 12612.65 \\ 12573.61 \\ 12534.7 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$n = 21$ $(i = 1, 2 .. n)$

$$\Delta\theta_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 3.05 \\ 3.37 \\ 0 \\ 0 \\ 3.37 \\ 3.05 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}^{\circ} \qquad \Delta\theta_{planta} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}^{\circ}$$

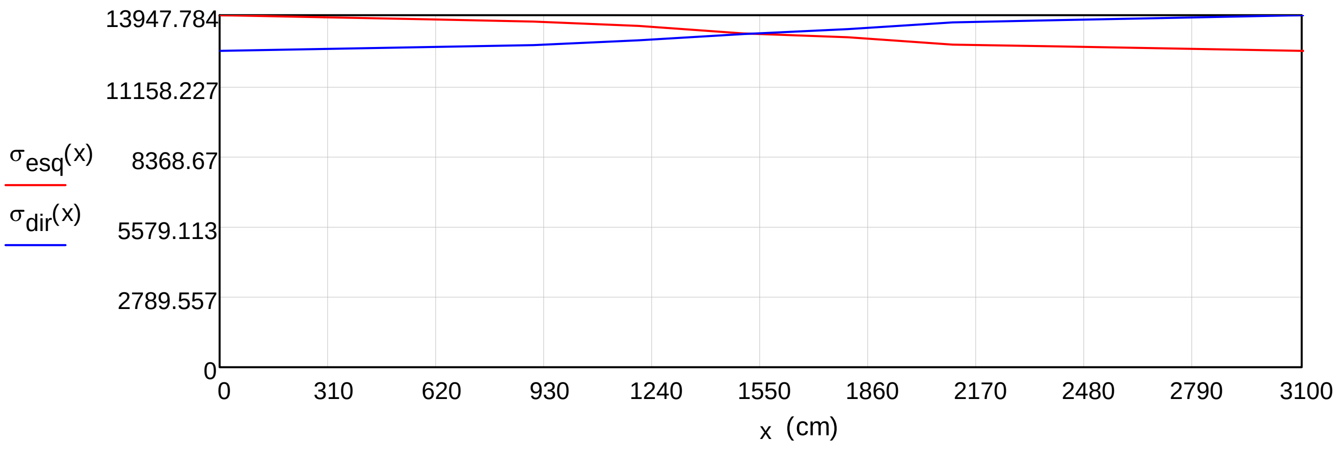
$$\theta_i = \left| \begin{array}{l} 0rad \quad \text{if} \quad i = 1 \\ \theta_{(i-1)} + \sqrt{\left(\Delta\theta_{elevação_i}\right)^2 + \left(\Delta\theta_{planta_i}\right)^2} \quad \text{if} \quad i > 1 \\ i \cdot rad \quad \text{otherwise} \end{array} \right.$$

$$\sigma_{dir} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \theta + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{dir} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13904.61 \\ 13861.57 \\ 13818.67 \\ 13775.9 \\ 13733.26 \\ 13690.75 \\ 13648.38 \\ 13462.04 \\ 13263.43 \\ 13222.38 \\ 13181.45 \\ 12986.98 \\ 12809.67 \\ 12770.02 \\ 12730.5 \\ 12691.09 \\ 12651.81 \\ 12612.65 \\ 12573.61 \\ 12534.7 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$$a = \text{cspline}(S, \sigma_{esq}) \qquad b = \text{cspline}(S, \sigma_{dir})$$

$$\sigma_{esq}(x) = \text{interp}\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right) \qquad \sigma_{dir}(x) = \text{interp}\left(\frac{b}{g}, S, \frac{\text{reverse}(\sigma_{dir})}{g}, x\right)$$



$c = L$ $\quad d = 0m$

Given

$d = \sigma_{esq}(c)$ $\quad d = \sigma_{dir}(c)$

$$\begin{pmatrix} interseção \\ \sigma_{interseção} \end{pmatrix} = Find(c, d)$$

$interseção = 1550 \cdot cm$

$$\sigma_{interseção} = 13222.376537 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$$Área_1 = \int_0^{interseção} \sigma_{esq}(x)\, dx \qquad Área_1 = 211947.42 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$Área_2 = \int_{interseção}^{L} \sigma_{dir}(x)\, dx \qquad Área_2 = 211957.46 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$Área = (Área_1) + (Área_2) \qquad Área = 423904.88 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$\sigma_m = \frac{Área}{L} \qquad \sigma_m = 13674.35 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$L_{cabo} = 32.75m$ $\quad Área_{teórica\_aço} = 143.4 \cdot mm^2$ $\quad E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$

$$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot Área_{teórica\_aço} = 19.6 \cdot t$$

$$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 230 \cdot mm$$

CABOS C17=C18=C19=C20 (12ø15.2mm)

$Área_{teórica\_aço} = 143.4mm^2$ $\quad fptk = \frac{265.8kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1853.56\,MPa$ $\quad fpyk = \frac{239.2kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1668.06\,MPa$

$\sigma_{pi} = \min(0.74 \cdot fptk, 0.82 \cdot fpyk) = 1367.81\,MPa$

$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78 \cdot \frac{kgf}{cm^2}$ $\quad \mu = 0.20$ $\quad \beta = 0.01 \frac{rad}{m}$ $\quad e = 2.72$ $\quad L = 31.00m$

$\kappa = \beta \cdot \mu = 0.002 \cdot \frac{rad}{m}$ $\quad n = 21$ $\quad i = 1, 2 .. n$

$$S = 0cm, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 155 \\ 310 \\ 465 \\ 620 \\ 775 \\ 930 \\ 1085 \\ 1240 \\ 1395 \\ 1550 \\ 1705 \\ 1860 \\ 2015 \\ 2170 \\ 2325 \\ 2480 \\ 2635 \\ 2790 \\ 2945 \\ 3100 \end{pmatrix} cm \qquad \Delta\alpha_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1.66 \\ 3.37 \\ 0 \\ 0 \\ 3.58 \\ 1.45 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}^{\circ} \qquad \Delta\alpha_{planta} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}^{\circ}$$

$$\alpha_i = \begin{cases} 0\text{rad} & \text{if } i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \sqrt{\left(\Delta\alpha_{\text{elevação}_i}\right)^2 + \left(\Delta\alpha_{\text{planta}_i}\right)^2} & \text{if } i > 1 \\ i \cdot \text{rad} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13904.61 \\ 13861.57 \\ 13818.67 \\ 13775.9 \\ 13733.26 \\ 13690.75 \\ 13648.38 \\ 13527.52 \\ 13327.94 \\ 13286.69 \\ 13245.56 \\ 13040.58 \\ 12934.58 \\ 12894.55 \\ 12854.64 \\ 12814.85 \\ 12775.18 \\ 12735.64 \\ 12696.22 \\ 12656.93 \end{pmatrix} \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$n = 21 \qquad (i = 1, 2 .. n)$

$$\Delta\theta_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1.45 \\ 3.58 \\ 0 \\ 0 \\ 3.37 \\ 1.66 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} ° \qquad \Delta\theta_{planta} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} °$$

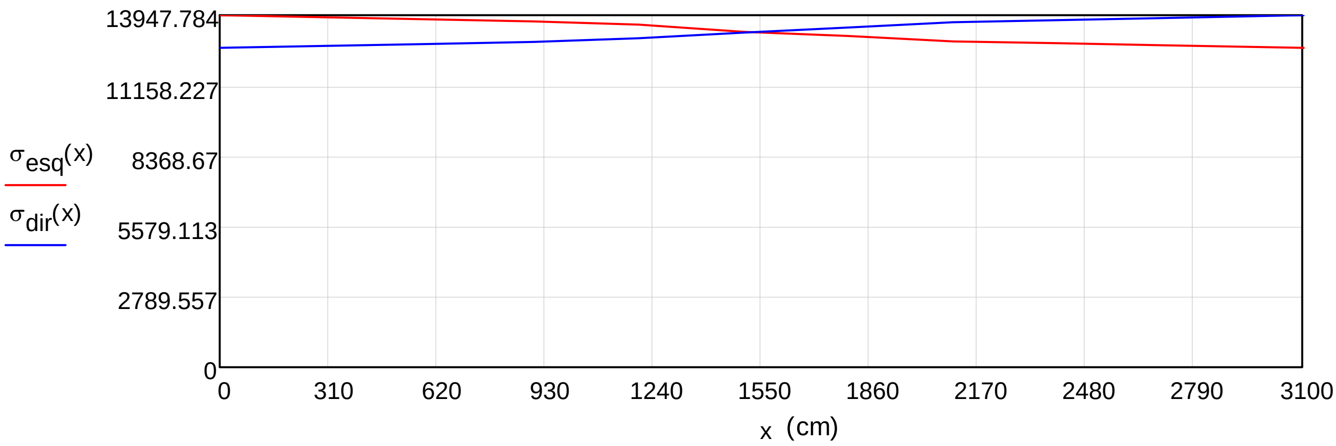
$$\theta_i = \left| \begin{array}{l} 0rad \quad \text{if} \quad i = 1 \\ \theta_{(i-1)} + \sqrt{\left(\Delta\theta_{elevação_i}\right)^2 + \left(\Delta\theta_{planta_i}\right)^2} \quad \text{if} \quad i > 1 \\ i \cdot rad \quad \text{otherwise} \end{array} \right.$$

$$\sigma_{dir} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \theta + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{dir} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13904.61 \\ 13861.57 \\ 13818.67 \\ 13775.9 \\ 13733.26 \\ 13690.75 \\ 13648.38 \\ 13537.44 \\ 13327.94 \\ 13286.69 \\ 13245.56 \\ 13050.14 \\ 12934.58 \\ 12894.55 \\ 12854.64 \\ 12814.85 \\ 12775.18 \\ 12735.64 \\ 12696.22 \\ 12656.93 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$$a = \mathrm{cspline}(S, \sigma_{esq}) \qquad b = \mathrm{cspline}(S, \sigma_{dir})$$

$$\sigma_{esq}(x) = \mathrm{interp}\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right) \qquad \sigma_{dir}(x) = \mathrm{interp}\left(\frac{b}{g}, S, \frac{\mathrm{reverse}(\sigma_{dir})}{g}, x\right)$$



$c = L$ $\quad$ $d = 0m$

Given

$d = \sigma_{esq}(c)$ $\quad$ $d = \sigma_{dir}(c)$

$$\begin{pmatrix} interseção \\ \sigma_{interseção} \end{pmatrix} = Find(c, d)$$

$interseção = 1550 \cdot cm$

$$\sigma_{interseção} = 13286.687604 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$$Área_1 = \int_0^{interseção} \sigma_{esq}(x)\, dx$$

$$Área_1 = 212197.59 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$Área_2 = \int_{interseção}^{L} \sigma_{dir}(x)\, dx$$

$$Área_2 = 212225.29 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$Área = \left(Área_1\right) + \left(Área_2\right)$$

$$Área = 424422.88 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$\sigma_m = \frac{Área}{L}$$

$$\sigma_m = 13691.06 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$L_{cabo} = 32.70m$ $\quad$ $Área_{teórica\_aço} = 143.4 \cdot mm^2$ $\quad$ $E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$

$$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot Área_{teórica\_aço} = 19.6 \cdot t$$

$$\Delta L_{teórico} = \frac{\left(\sigma_m\right) \cdot \left(L_{cabo}\right)}{E_{teórico\_aço}} = 230 \cdot mm$$

CABOS C21=C22=C23=C24 (12ø15.2mm)

$$\text{Área}_{\text{teórica\_aço}} = 143.4\text{mm}^2 \qquad \text{fptk} = \frac{265.8\text{kN}}{\text{Área}_{\text{teórica\_aço}}} = 1853.56\,\text{MPa} \qquad \text{fpyk} = \frac{239.2\text{kN}}{\text{Área}_{\text{teórica\_aço}}} = 1668.06\,\text{MPa}$$

$$\sigma_{pi} = \min(0.74\cdot\text{fptk}, 0.82\cdot\text{fpyk}) = 1367.81\,\text{MPa}$$

$$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78\cdot\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \qquad \mu = 0.20 \qquad \beta = 0.01\frac{\text{rad}}{\text{m}} \qquad e = 2.72 \qquad L = 31.00\text{m}$$

$$\kappa = \beta\cdot\mu = 0.002\cdot\frac{\text{rad}}{\text{m}} \qquad n = 21 \qquad i = 1, 2 .. n$$

$$S = 0\text{cm}, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 155 \\ 310 \\ 465 \\ 620 \\ 775 \\ 930 \\ 1085 \\ 1240 \\ 1395 \\ 1550 \\ 1705 \\ 1860 \\ 2015 \\ 2170 \\ 2325 \\ 2480 \\ 2635 \\ 2790 \\ 2945 \\ 3100 \end{pmatrix}\text{cm} \qquad \Delta\alpha_{\text{elevação}} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0.6 \\ 3.58 \\ 0 \\ 0 \\ 3.37 \\ 0.39 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}^\circ \qquad \Delta\alpha_{\text{planta}} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}^\circ$$

$$\alpha_i = \begin{cases} 0\text{rad} & \text{if } i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \sqrt{\left(\Delta\alpha_{elevação_i}\right)^2 + \left(\Delta\alpha_{planta_i}\right)^2} & \text{if } i > 1 \\ i \cdot \text{rad} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13904.61 \\ 13861.57 \\ 13818.67 \\ 13775.9 \\ 13733.26 \\ 13690.75 \\ 13648.38 \\ 13577.67 \\ 13367.54 \\ 13326.17 \\ 13284.92 \\ 13088.92 \\ 13030.66 \\ 12990.32 \\ 12950.12 \\ 12910.03 \\ 12870.07 \\ 12830.24 \\ 12790.53 \\ 12750.94 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$n = 21$ $\qquad\qquad$ $(i = 1, 2 .. n)$

$$\Delta\theta_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0.39 \\ 3.37 \\ 0 \\ 0 \\ 3.58 \\ 0.6 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}° \qquad \Delta\theta_{planta} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}°$$

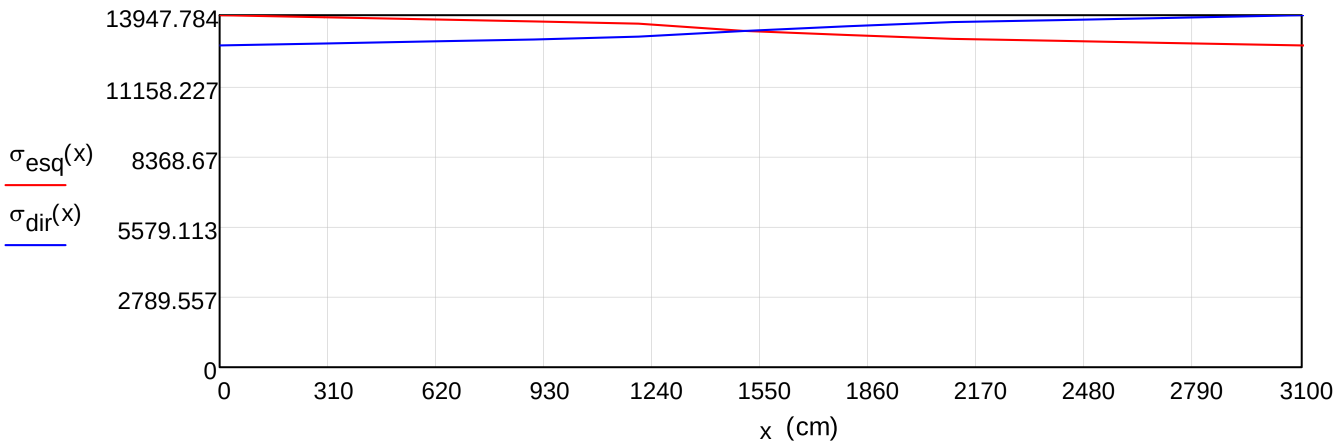
$$\theta_i = \begin{array}{|l} 0rad \quad \text{if} \quad i = 1 \\ \theta_{(i-1)} + \sqrt{\left(\Delta\theta_{elevação_i}\right)^2 + \left(\Delta\theta_{planta_i}\right)^2} \quad \text{if} \quad i > 1 \\ i \cdot rad \quad \text{otherwise} \end{array}$$

$$\sigma_{dir} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \theta + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{dir} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13904.61 \\ 13861.57 \\ 13818.67 \\ 13775.9 \\ 13733.26 \\ 13690.75 \\ 13648.38 \\ 13587.62 \\ 13387.16 \\ 13345.72 \\ 13304.41 \\ 13098.52 \\ 13030.66 \\ 12990.32 \\ 12950.12 \\ 12910.03 \\ 12870.07 \\ 12830.24 \\ 12790.53 \\ 12750.94 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$$a = \text{cspline}(S, \sigma_{esq}) \qquad b = \text{cspline}(S, \sigma_{dir})$$

$$\sigma_{esq}(x) = \text{interp}\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right) \qquad \sigma_{dir}(x) = \text{interp}\left(\frac{b}{g}, S, \frac{\text{reverse}(\sigma_{dir})}{g}, x\right)$$



$c := L$ $\qquad d := 0m$

Given

$d = \sigma_{esq}(c)$ $\qquad d = \sigma_{dir}(c)$

$$\begin{pmatrix} interseção \\ \sigma_{interseção} \end{pmatrix} := Find(c, d)$$

$interseção = 1513.02 \cdot cm$

$$\sigma_{interseção} = 13324.002524 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$$Área_1 := \int_0^{interseção} \sigma_{esq}(x)\, dx \qquad Área_1 = 207439.24 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$Área_2 := \int_{interseção}^{L} \sigma_{dir}(x)\, dx \qquad Área_2 = 217371.91 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$Área := (Área_1) + (Área_2) \qquad Área = 424811.15 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$\sigma_m := \frac{Área}{L} \qquad \sigma_m = 13703.59 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$L_{cabo} := 32.65m$ $\qquad Área_{teórica\_aço} := 143.4 \cdot mm^2$ $\qquad E_{teórico\_aço} := 1950000 \frac{kg}{cm^2}$

$$F_{média\_cabo} := \sigma_m \cdot Área_{teórica\_aço} = 19.7 \cdot t$$

$$\Delta L_{teórico} := \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 229 \cdot mm$$

CABOS C25=C26=C27=C28=C29=C30=C31=C32 (12ø15.2mm)

$Área_{teórica\_aço} = 143.4mm^2$ $\quad fptk = \dfrac{265.8kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1853.56\,MPa$ $\quad fpyk = \dfrac{239.2kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1668.06\,MPa$

$\sigma_{pi} = \min(0.74 \cdot fptk, 0.82 \cdot fpyk) = 1367.81\,MPa$

$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78 \cdot \dfrac{kgf}{cm^2}$ $\quad \mu = 0.20$ $\quad \beta = 0.01 \dfrac{rad}{m}$ $\quad e = 2.72$ $\quad L = 31.00m$

$\kappa = \beta \cdot \mu = 0.002 \cdot \dfrac{rad}{m}$ $\quad n = 21$ $\quad i = 1, 2..n$

$$S = 0cm, \frac{L}{n-1}..L = \begin{pmatrix} 0 \\ 155 \\ 310 \\ 465 \\ 620 \\ 775 \\ 930 \\ 1085 \\ 1240 \\ 1395 \\ 1550 \\ 1705 \\ 1860 \\ 2015 \\ 2170 \\ 2325 \\ 2480 \\ 2635 \\ 2790 \\ 2945 \\ 3100 \end{pmatrix} cm \qquad \Delta\alpha_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0.94 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0.94 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} ° \qquad \Delta\alpha_{planta} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} °$$

$$\alpha_i = \begin{cases} 0\text{rad} & \text{if } i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \sqrt{\left(\Delta\alpha_{\text{elevação}_i}\right)^2 + \left(\Delta\alpha_{\text{planta}_i}\right)^2} & \text{if } i > 1 \\ i \cdot \text{rad} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13904.61 \\ 13861.57 \\ 13818.67 \\ 13775.9 \\ 13733.26 \\ 13690.75 \\ 13648.38 \\ 13561.56 \\ 13519.59 \\ 13477.74 \\ 13436.02 \\ 13394.44 \\ 13309.24 \\ 13268.04 \\ 13226.97 \\ 13186.03 \\ 13145.22 \\ 13104.53 \\ 13063.97 \\ 13023.54 \end{pmatrix} \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$n = 21$ $(i = 1, 2 .. n)$

$$\Delta\theta_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0.94 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0.94 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}° \qquad \Delta\theta_{planta} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}°$$

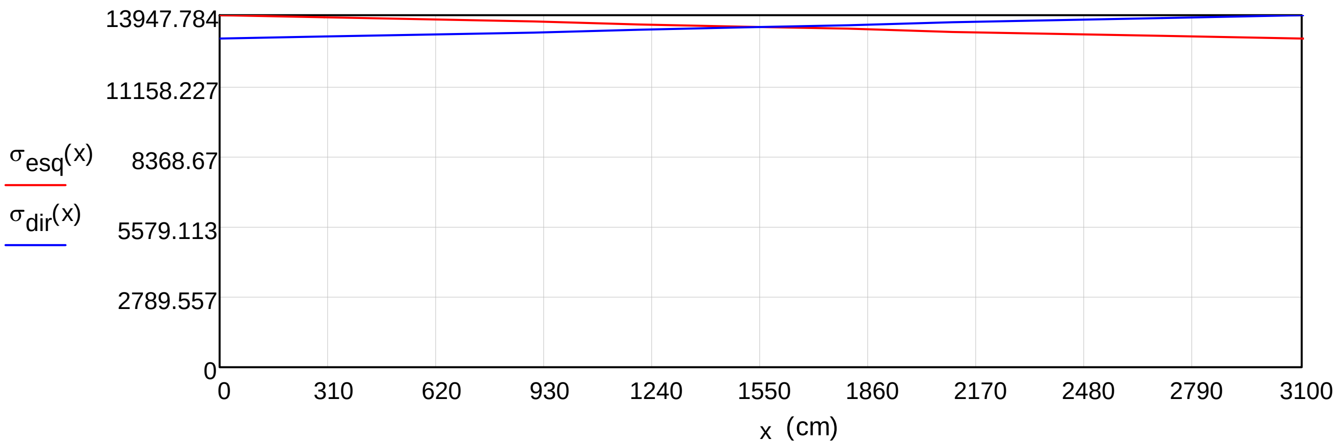
$$\theta_i = \begin{vmatrix} 0rad \quad \text{if} \quad i = 1 \\ \theta_{(i-1)} + \sqrt{\left(\Delta\theta_{elevação_i}\right)^2 + \left(\Delta\theta_{planta_i}\right)^2} \quad \text{if} \quad i > 1 \\ i \cdot rad \quad \text{otherwise} \end{vmatrix}$$

$$\sigma_{dir} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu\cdot\theta+\kappa\cdot S)}$$

$$\sigma_{dir} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13904.61 \\ 13861.57 \\ 13818.67 \\ 13775.9 \\ 13733.26 \\ 13690.75 \\ 13648.38 \\ 13561.56 \\ 13519.59 \\ 13477.74 \\ 13436.02 \\ 13394.44 \\ 13309.24 \\ 13268.04 \\ 13226.97 \\ 13186.03 \\ 13145.22 \\ 13104.53 \\ 13063.97 \\ 13023.54 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$$a = \text{cspline}(S, \sigma_{esq}) \qquad b = \text{cspline}(S, \sigma_{dir})$$

$$\sigma_{esq}(x) = \text{interp}\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right) \qquad \sigma_{dir}(x) = \text{interp}\left(\frac{b}{g}, S, \frac{\text{reverse}(\sigma_{dir})}{g}, x\right)$$



$c = L$ $\quad$ $d = 0m$

Given

$d = \sigma_{esq}(c)$ $\quad$ $d = \sigma_{dir}(c)$

$$\begin{pmatrix} interseção \\ \sigma_{interseção} \end{pmatrix} = Find(c, d)$$

$interseção = 1550 \cdot cm$

$$\sigma_{interseção} = 13477.739455 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$$Área_1 = \int_0^{interseção} \sigma_{esq}(x)\,dx \qquad Área_1 = 212702.36 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$Área_2 = \int_{interseção}^{L} \sigma_{dir}(x)\,dx \qquad Área_2 = 212701.23 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$Área = (Área_1) + (Área_2) \qquad Área = 425403.58 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$\sigma_m = \frac{Área}{L} \qquad \sigma_m = 13722.7 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$L_{cabo} = 32.60m$ $\quad$ $Área_{teórica\_aço} = 143.4 \cdot mm^2$ $\quad$ $E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$

$$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot Área_{teórica\_aço} = 19.7 \cdot t$$

$$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 229 \cdot mm$$

VIGA 1 (ALMAS)- CÁLCULO DAS ARMADURAS DE FRETAGEM

a_0 = Área da placa de distribuição

b = Distância entre eixos das ancoragens

d = Distância entre a face do concreto ao eixo da ancoragem

n = Quantidade de ancoragens em elevação

q = Quantidade de cabos alinhados em cada grupo (seção transversal)

EXTREMIDADE ATIVA

$b = 45cm$ $\quad n = 7$ $\quad q = 2$ $\quad F_{inicial} = 12\cdot\sigma_1\cdot Área_{teórica\_aço} = 2353.73\,kN$

$a_0 = 30cm$

$d = 23cm$ $\quad a_1 = 2d = 46\,cm$

$F_1 = F_{inicial}\cdot\cos(11.9°) = 2303.14\,kN$

$T_1 = 0.25\cdot F_1\cdot\left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 200.27\,kN$

$F_2 = F_{inicial}\cdot\cos(10.1°) = 2317.25\,kN$

$T_2 = 0.25\cdot F_2\cdot\left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 201.5\,kN$

$F_3 = F_{inicial}\cdot\cos(8.4°) = 2328.48\,kN$

$T_3 = 0.25\cdot F_3\cdot\left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 202.48\,kN$

$F_4 = F_{inicial}\cdot\cos(6.4°) = 2339.06\,kN$

$T_4 = 0.25\cdot F_4\cdot\left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 203.4\,kN$

$F_5 = F_{inicial}\cdot\cos(5°) = 2344.77\,kN$

$T_5 = 0.25\cdot F_5\cdot\left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 203.89\,kN$

$F_6 = F_{inicial}\cdot\cos(3°) = 2350.5\,kN$

$T_6 = 0.25\cdot F_6\cdot\left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 204.39\,kN$

$F_7 = F_{inicial}\cdot\cos(0.9°) = 2353.44\,kN$

$T_7 = 0.25\cdot F_7\cdot\left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 204.65\,kN$

$a_2 = 2 \cdot d + (n-1) \cdot b = 316\,cm$ $\quad k = 1..n$

$$F_k = \begin{pmatrix} 2303.14 \\ 2317.25 \\ 2328.48 \\ 2339.06 \\ 2344.77 \\ 2350.5 \\ 2353.44 \end{pmatrix} kN \qquad T_k = \begin{pmatrix} 200.27 \\ 201.5 \\ 202.48 \\ 203.4 \\ 203.89 \\ 204.39 \\ 204.65 \end{pmatrix} kN \qquad \sum F = 16336.65\,kN$$

$$fyd = 43.48 \frac{kN}{cm^2}$$

$$As_1 = q \cdot \left(\frac{max(T)}{fyd}\right) = 9.41\,cm^2$$

$$As_{fretagem} = As_1 = 9.41\,cm^2$$

Adotado espiral ø12.5mm - 7 passos por cabo em cada trecho de ancoragem ativa.

$$As_{estribos} = As_{fretagem} = 9.41\,cm^2$$

$L = a_2 = 316\,cm$ $\quad bitola_{estribo} = 10mm$ $\quad adotados = ceil\left(\frac{As_{estribos}}{bitola_{estribo}^2}\right) = 10$

VIGA 1 (LAJE INFERIOR) - CÁLCULO DAS ARMADURAS DE FRETAGEM

a_0 = Área da placa de distribuição

d = Distância entre a face do concreto ao eixo da ancoragem

n = Número de ancoragens

$n = 4$ $\quad F_{inicial} = 12 \cdot \sigma_1 \cdot Área_{teórica\_aço} = 2353.73\,kN$

$a_0 = 30cm$

$d = 30cm$ $\quad a_1 = 2 \cdot d = 60 \cdot cm$

$F = n \cdot F_{inicial} \cdot \cos(0.9°) = 9413.75\,kN$ $\quad T = 0.25 \cdot F \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 1176.72\,kN$ $\quad fyd = 43.48 \frac{kN}{cm^2}$

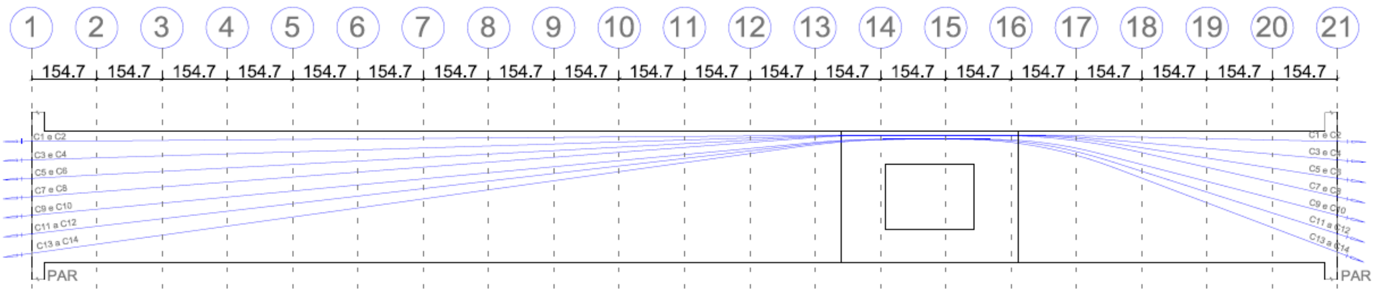
$$As_1 = \frac{T}{fyd} = 27.06\,cm^2$$

$$As_{estribos} = \frac{As_1}{2} = 13.53\,cm^2$$

$L = a_1 = 60\,cm$ $bitola_{estribo} = 12.5mm$ $adotados = ceil\left(\frac{As_{estribos}}{bitola_{estribo}^{2}}\right) = 9$

Estribos adotados = 9 ø12.5mm em cada trecho de ancoragem ativa distribuídos em $L = 60\,cm$ e 10ø10mm até L = 316cm.

VIGA 2 (COBERTURA - SUSTENTAÇÃO) - CABOS C1 a C14



CABOS C1=C2 (12ø15.2mm)

$\text{Área}_{\text{teórica\_aço}} = 143.4\text{mm}^2$ $\quad$ $\text{fptk} = \dfrac{265.8\text{kN}}{\text{Área}_{\text{teórica\_aço}}} = 1853.56\,\text{MPa}$ $\quad$ $\text{fpyk} = \dfrac{239.2\text{kN}}{\text{Área}_{\text{teórica\_aço}}} = 1668.06\,\text{MPa}$

$\sigma_{pi} = \min(0.74\cdot\text{fptk}, 0.82\cdot\text{fpyk}) = 1367.81\,\text{MPa}$

$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78\cdot\dfrac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$ $\quad$ $\mu = 0.20$ $\quad$ $\beta = 0.01\dfrac{\text{rad}}{\text{m}}$ $\quad$ $e = 2.72$ $\quad$ $L = 30.94\text{m}$

$\kappa = \beta\cdot\mu = 0.002\cdot\dfrac{\text{rad}}{\text{m}}$ $\quad$ $n = 21$ $\quad$ $i = 1, 2..n$

$$S = 0\text{cm}, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 154.7 \\ 309.4 \\ 464.1 \\ 618.8 \\ 773.5 \\ 928.2 \\ 1082.9 \\ 1237.6 \\ 1392.3 \\ 1547 \\ 1701.7 \\ 1856.4 \\ 2011.1 \\ 2165.8 \\ 2320.5 \\ 2475.2 \\ 2629.9 \\ 2784.6 \\ 2939.3 \\ 3094 \end{pmatrix}\text{cm} \qquad \Delta\alpha_{\text{elevação}} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0.45 \\ 0 \\ 0 \\ 1.27 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}^{\circ} \qquad \Delta\alpha_{\text{planta}} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}^{\circ}$$

$$\alpha_i = \begin{cases} 0\text{rad} & \text{if } i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \sqrt{\left(\Delta\alpha_{elevação_i}\right)^2 + \left(\Delta\alpha_{planta_i}\right)^2} & \text{if } i > 1 \\ i \cdot \text{rad} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu\cdot\alpha + \kappa\cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13904.7 \\ 13861.74 \\ 13818.92 \\ 13776.23 \\ 13733.67 \\ 13691.25 \\ 13648.95 \\ 13606.79 \\ 13564.75 \\ 13522.85 \\ 13481.07 \\ 13439.43 \\ 13376.88 \\ 13335.56 \\ 13294.36 \\ 13194.67 \\ 13153.91 \\ 13113.27 \\ 13072.76 \\ 13032.38 \end{pmatrix} \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$n = 21 \qquad\qquad (i = 1, 2 .. n)$

$$\Delta\theta_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1.27 \\ 0 \\ 0 \\ 0.45 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}° \qquad \Delta\theta_{planta} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}°$$

$$\theta_i = \begin{vmatrix} 0rad \quad \text{if} \quad i = 1 \\ \theta_{(i-1)} + \sqrt{\left(\Delta\theta_{elevação_i}\right)^2 + \left(\Delta\theta_{planta_i}\right)^2} \quad \text{if} \quad i > 1 \\ i \cdot rad \quad \text{otherwise} \end{vmatrix}$$

$$\sigma_{dir} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \theta + \kappa \cdot S)}$$

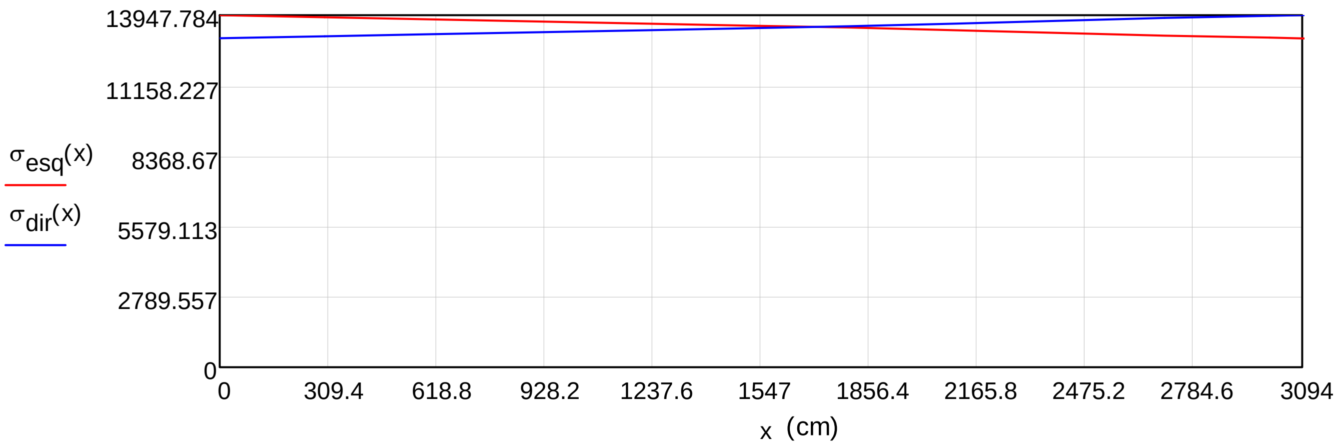
$$\sigma_{dir} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13904.7 \\ 13861.74 \\ 13818.92 \\ 13776.23 \\ 13672.92 \\ 13630.68 \\ 13588.58 \\ 13525.34 \\ 13483.55 \\ 13441.9 \\ 13400.37 \\ 13358.98 \\ 13317.71 \\ 13276.57 \\ 13235.55 \\ 13194.67 \\ 13153.91 \\ 13113.27 \\ 13072.76 \\ 13032.38 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$$a = \text{cspline}(S, \sigma_{esq})$$

$$b = \text{cspline}(S, \sigma_{dir})$$

$$\sigma_{esq}(x) = \text{interp}\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$$

$$\sigma_{dir}(x) = \text{interp}\left(\frac{b}{g}, S, \frac{\text{reverse}(\sigma_{dir})}{g}, x\right)$$



$c = L$ $\qquad$ $d = 0m$

Given

$d = \sigma_{esq}(c)$ $\qquad$ $d = \sigma_{dir}(c)$

$$\begin{pmatrix} interseção \\ \sigma_{interseção} \end{pmatrix} = Find(c, d)$$

$interseção = 1696.93 \cdot cm$

$$\sigma_{interseção} = 13482.259208 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$$Área_1 = \int_0^{interseção} \sigma_{esq}(x)\, dx \qquad Área_1 = 232712.36 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$Área_2 = \int_{interseção}^{L} \sigma_{dir}(x)\, dx \qquad Área_2 = 191690.09 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$Área = (Área_1) + (Área_2) \qquad Área = 424402.45 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$\sigma_m = \frac{Área}{L} \qquad \sigma_m = 13716.95 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$L_{cabo} = 32.55m$ $\qquad$ $Área_{teórica\_aço} = 143.4 \cdot mm^2$ $\qquad$ $E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$

$$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot Área_{teórica\_aço} = 19.7 \cdot t$$

$$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 229 \cdot mm$$

CABOS C3=C4 (12ø15.2mm)

$Área_{teórica\_aço} = 143.4mm^2$ $fptk = \frac{265.8kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1853.56\,MPa$ $fpyk = \frac{239.2kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1668.06\,MPa$

$\sigma_{pi} = \min(0.74 \cdot fptk, 0.82 \cdot fpyk) = 1367.81\,MPa$

$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78 \cdot \frac{kgf}{cm^2}$ $\mu = 0.20$ $\beta = 0.01\frac{rad}{m}$ $e = 2.72$ $L = 30.94m$

$\kappa = \beta \cdot \mu = 0.002 \cdot \frac{rad}{m}$ $n = 21$ $i = 1, 2 .. n$

$$S = 0cm, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 154.7 \\ 309.4 \\ 464.1 \\ 618.8 \\ 773.5 \\ 928.2 \\ 1082.9 \\ 1237.6 \\ 1392.3 \\ 1547 \\ 1701.7 \\ 1856.4 \\ 2011.1 \\ 2165.8 \\ 2320.5 \\ 2475.2 \\ 2629.9 \\ 2784.6 \\ 2939.3 \\ 3094 \end{pmatrix} cm \qquad \Delta\alpha_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1.79 \\ 0 \\ 0 \\ 4.43 \\ 0.72 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}° \qquad \Delta\alpha_{planta} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}°$$

$$\alpha_i = \begin{cases} 0\,\mathrm{rad} & \text{if } i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \sqrt{\left(\Delta\alpha_{elevação_i}\right)^2 + \left(\Delta\alpha_{planta_i}\right)^2} & \text{if } i > 1 \\ i \cdot \mathrm{rad} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu\cdot\alpha + \kappa\cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13904.7 \\ 13861.74 \\ 13818.92 \\ 13776.23 \\ 13733.67 \\ 13691.25 \\ 13648.95 \\ 13606.79 \\ 13564.75 \\ 13522.85 \\ 13481.07 \\ 13439.43 \\ 13314.46 \\ 13273.32 \\ 13232.32 \\ 12989.02 \\ 12916.4 \\ 12876.49 \\ 12836.72 \\ 12797.06 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$n = 21$ $(i = 1, 2 .. n)$

$$\Delta\theta_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0.72 \\ 4.43 \\ 0 \\ 0 \\ 1.79 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} ° \qquad \Delta\theta_{planta} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} °$$

$$\theta_i = \left| \begin{array}{l} 0rad \quad \text{if} \quad i = 1 \\ \theta_{(i-1)} + \sqrt{\left(\Delta\theta_{elevação_i}\right)^2 + \left(\Delta\theta_{planta_i}\right)^2} \quad \text{if} \quad i > 1 \\ i \cdot rad \quad \text{otherwise} \end{array} \right.$$

$$\sigma_{dir} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \theta + \kappa \cdot S)}$$

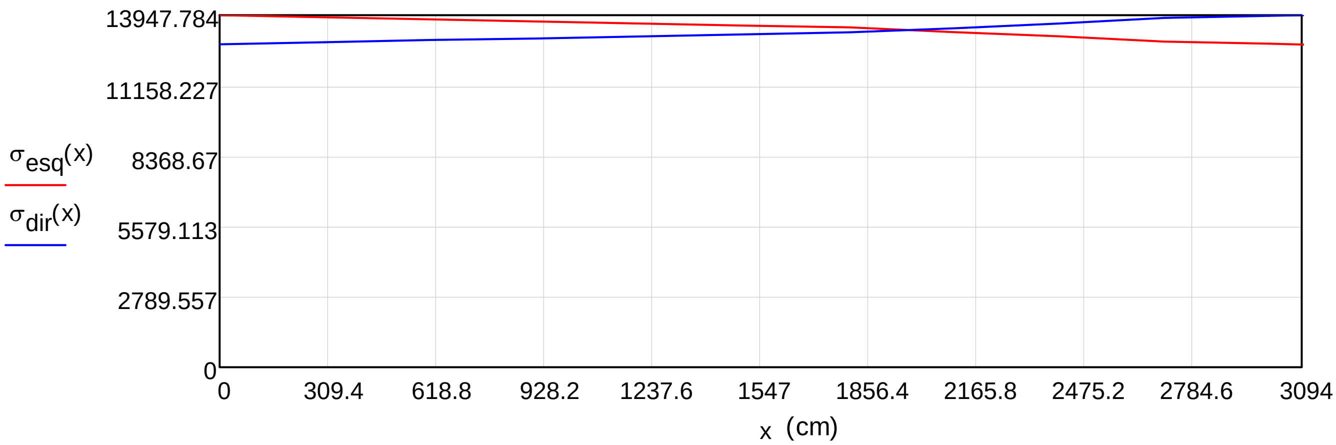
$$\sigma_{dir} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13904.7 \\ 13861.74 \\ 13818.92 \\ 13741.65 \\ 13488.99 \\ 13447.32 \\ 13405.78 \\ 13281.12 \\ 13240.09 \\ 13199.19 \\ 13158.41 \\ 13117.77 \\ 13077.24 \\ 13036.84 \\ 12996.57 \\ 12956.42 \\ 12916.4 \\ 12876.49 \\ 12836.72 \\ 12797.06 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$a = \text{cspline}(S, \sigma_{esq})$

$b = \text{cspline}(S, \sigma_{dir})$

$$\sigma_{esq}(x) = \text{interp}\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$$

$$\sigma_{dir}(x) = \text{interp}\left(\frac{b}{g}, S, \frac{\text{reverse}(\sigma_{dir})}{g}, x\right)$$



$c = L$ $d = 0m$

Given

$d = \sigma_{esq}(c)$ $d = \sigma_{dir}(c)$

$$\begin{pmatrix} interseção \\ \sigma_{interseção} \end{pmatrix} = Find(c, d)$$ $interseção = 1954.27 \cdot cm$

$$\sigma_{interseção} = 13359.939491 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$$Área_1 = \int_0^{interseção} \sigma_{esq}(x)\,dx$$ $Área_1 = 267302.61 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$

$$Área_2 = \int_{interseção}^{L} \sigma_{dir}(x)\,dx$$ $Área_2 = 156023.67 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$

$$Área = (Área_1) + (Área_2)$$ $Área = 423326.28 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$

$$\sigma_m = \frac{Área}{L}$$ $\sigma_m = 13682.17 \cdot \frac{kg}{cm^2}$

$L_{cabo} = 32.60m$ $Área_{teórica\_aço} = 143.4 \cdot mm^2$ $E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$

$$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot Área_{teórica\_aço} = 19.6 \cdot t$$

$$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 229 \cdot mm$$

CABOS C5=C6 (12ø15.2mm)

$Área_{teórica\_aço} = 143.4mm^2$ $fptk = \frac{265.8kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1853.56\,MPa$ $fpyk = \frac{239.2kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1668.06\,MPa$

$\sigma_{pi} = \min(0.74 \cdot fptk, 0.82 \cdot fpyk) = 1367.81\,MPa$

$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78 \cdot \frac{kgf}{cm^2}$ $\mu = 0.20$ $\beta = 0.01 \frac{rad}{m}$ $e = 2.72$ $L = 30.94m$

$\kappa = \beta \cdot \mu = 0.002 \cdot \frac{rad}{m}$ $n = 21$ $i = 1, 2 .. n$

$$S = 0cm, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 154.7 \\ 309.4 \\ 464.1 \\ 618.8 \\ 773.5 \\ 928.2 \\ 1082.9 \\ 1237.6 \\ 1392.3 \\ 1547 \\ 1701.7 \\ 1856.4 \\ 2011.1 \\ 2165.8 \\ 2320.5 \\ 2475.2 \\ 2629.9 \\ 2784.6 \\ 2939.3 \\ 3094 \end{pmatrix} cm \qquad \Delta\alpha_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 3.13 \\ 0 \\ 0.26 \\ 5.93 \\ 2.91 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} ° \qquad \Delta\alpha_{planta} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} °$$

$$\alpha_i = \begin{cases} 0\text{rad} & \text{if } i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \sqrt{\left(\Delta\alpha_{elevação_i}\right)^2 + \left(\Delta\alpha_{planta_i}\right)^2} & \text{if } i > 1 \\ i \cdot \text{rad} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu\cdot\alpha + \kappa\cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13904.7 \\ 13861.74 \\ 13818.92 \\ 13776.23 \\ 13733.67 \\ 13691.25 \\ 13648.95 \\ 13606.79 \\ 13564.75 \\ 13522.85 \\ 13481.07 \\ 13439.43 \\ 13252.32 \\ 13211.38 \\ 13158.62 \\ 12849.23 \\ 12680.07 \\ 12640.9 \\ 12601.85 \\ 12562.92 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$n = 21$ $(i = 1, 2..n)$

$$\Delta\theta_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 2.91 \\ 5.93 \\ 0.26 \\ 0 \\ 3.13 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}° \qquad \Delta\theta_{planta} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}°$$

$$\theta_i = \begin{cases} 0rad & \text{if } i = 1 \\ \theta_{(i-1)} + \sqrt{\left(\Delta\theta_{elevação_i}\right)^2 + \left(\Delta\theta_{planta_i}\right)^2} & \text{if } i > 1 \\ i \cdot rad & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\sigma_{dir} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \theta + \kappa \cdot S)}$$

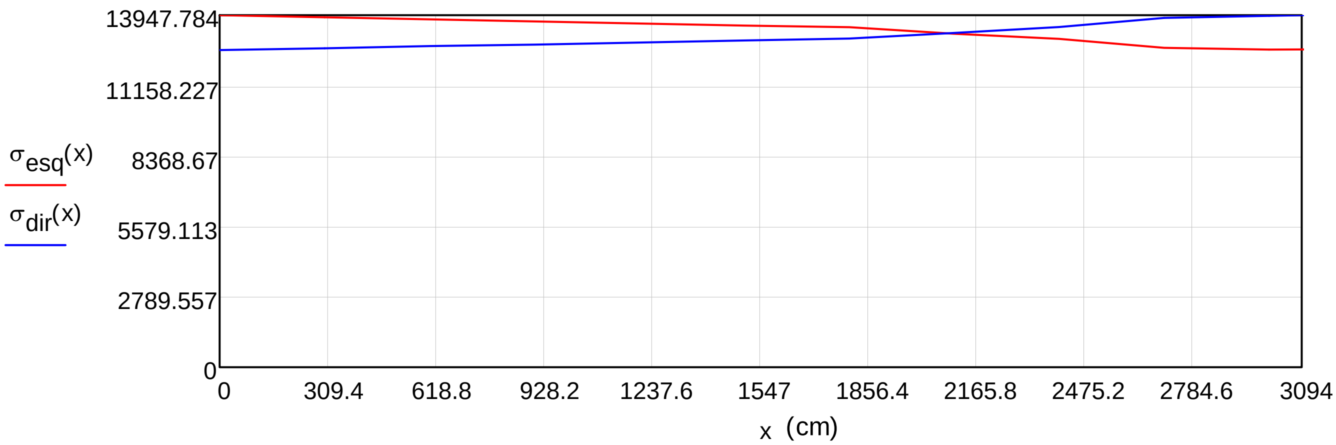
$$\sigma_{dir} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13904.7 \\ 13861.74 \\ 13818.92 \\ 13637 \\ 13316.36 \\ 13263.18 \\ 13222.21 \\ 13038.13 \\ 12997.85 \\ 12957.7 \\ 12917.67 \\ 12877.76 \\ 12837.98 \\ 12798.32 \\ 12758.78 \\ 12719.37 \\ 12680.07 \\ 12640.9 \\ 12601.85 \\ 12562.92 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$a = \text{cspline}(S, \sigma_{esq})$

$b = \text{cspline}(S, \sigma_{dir})$

$$\sigma_{esq}(x) = \text{interp}\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$$

$$\sigma_{dir}(x) = \text{interp}\left(\frac{b}{g}, S, \frac{\text{reverse}(\sigma_{dir})}{g}, x\right)$$



$c = L$ $\quad d = 0m$

Given

$d = \sigma_{esq}(c)$ $\quad d = \sigma_{dir}(c)$

$$\begin{pmatrix} interseção \\ \sigma_{interseção} \end{pmatrix} = Find(c, d) \qquad interseção = 2040.8 \cdot cm$$

$$\sigma_{interseção} = 13230.077647 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$$Área_1 = \int_0^{interseção} \sigma_{esq}(x)\, dx \qquad Área_1 = 278770.08 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$Área_2 = \int_{interseção}^{L} \sigma_{dir}(x)\, dx \qquad Área_2 = 143635.43 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$Área = (Área_1) + (Área_2) \qquad Área = 422405.51 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$\sigma_m = \frac{Área}{L} \qquad \sigma_m = 13652.41 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$$L_{cabo} = 32.65m \qquad Área_{teórica\_aço} = 143.4 \cdot mm^2 \qquad E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$$

$$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot Área_{teórica\_aço} = 19.6 \cdot t$$

$$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 229 \cdot mm$$

CABOS C7=C8 (12ø15.2mm)

$\text{Área}_{\text{teórica\_aço}} = 143.4\text{mm}^2$ $\quad \text{fptk} = \dfrac{265.8\text{kN}}{\text{Área}_{\text{teórica\_aço}}} = 1853.56\,\text{MPa}$ $\quad \text{fpyk} = \dfrac{239.2\text{kN}}{\text{Área}_{\text{teórica\_aço}}} = 1668.06\,\text{MPa}$

$\sigma_{pi} = \min(0.74\cdot\text{fptk}, 0.82\cdot\text{fpyk}) = 1367.81\,\text{MPa}$

$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78\cdot\dfrac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$ $\quad \mu = 0.20$ $\quad \beta = 0.01\dfrac{\text{rad}}{\text{m}}$ $\quad e = 2.72$ $\quad L = 30.94\text{m}$

$\kappa = \beta\cdot\mu = 0.002\cdot\dfrac{\text{rad}}{\text{m}}$ $\quad n = 21$ $\quad i = 1, 2..n$

$$S = 0\text{cm}, \frac{L}{n-1}..L = \begin{pmatrix} 0 \\ 154.7 \\ 309.4 \\ 464.1 \\ 618.8 \\ 773.5 \\ 928.2 \\ 1082.9 \\ 1237.6 \\ 1392.3 \\ 1547 \\ 1701.7 \\ 1856.4 \\ 2011.1 \\ 2165.8 \\ 2320.5 \\ 2475.2 \\ 2629.9 \\ 2784.6 \\ 2939.3 \\ 3094 \end{pmatrix} \text{cm} \qquad \Delta\alpha_{\text{elevação}} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0.1 \\ 4.34 \\ 0 \\ 2.09 \\ 5.95 \\ 5.03 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}^{\circ} \qquad \Delta\alpha_{\text{planta}} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}^{\circ}$$

$$\alpha_i = \begin{cases} 0\text{rad} & \text{if } i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \sqrt{\left(\Delta\alpha_{elevação_i}\right)^2 + \left(\Delta\alpha_{planta_i}\right)^2} & \text{if } i > 1 \\ i \cdot \text{rad} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13904.7 \\ 13861.74 \\ 13818.92 \\ 13776.23 \\ 13733.67 \\ 13691.25 \\ 13648.95 \\ 13606.79 \\ 13564.75 \\ 13522.85 \\ 13481.07 \\ 13434.74 \\ 13191.86 \\ 13151.11 \\ 13015.18 \\ 12708.27 \\ 12448.51 \\ 12410.06 \\ 12371.72 \\ 12333.5 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$n = 21 \qquad (i = 1, 2 .. n)$

$$\Delta\theta_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 5.03 \\ 5.95 \\ 2.09 \\ 0 \\ 4.34 \\ 0.1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}° \qquad \Delta\theta_{planta} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}°$$

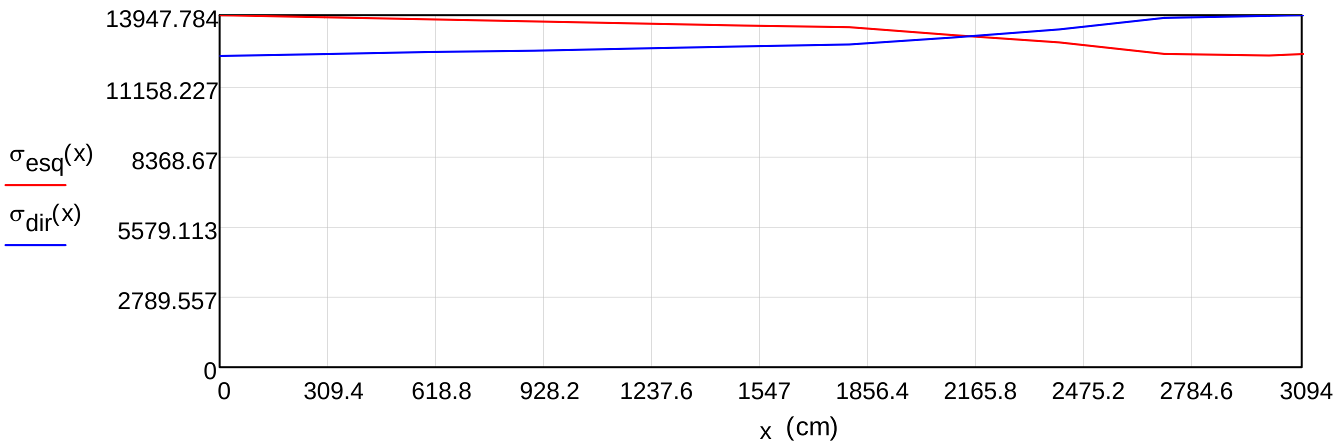
$$\theta_i = \left| \begin{array}{l} 0rad \quad \text{if} \quad i = 1 \\ \theta_{(i-1)} + \sqrt{\left(\Delta\theta_{elevação_i}\right)^2 + \left(\Delta\theta_{planta_i}\right)^2} \quad \text{if} \quad i > 1 \\ i \cdot rad \quad \text{otherwise} \end{array} \right.$$

$$\sigma_{dir} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \theta + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{dir} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13904.7 \\ 13861.74 \\ 13818.92 \\ 13536.46 \\ 13217.26 \\ 13080.65 \\ 13040.24 \\ 12804.49 \\ 12760.48 \\ 12721.06 \\ 12681.77 \\ 12642.59 \\ 12603.53 \\ 12564.6 \\ 12525.78 \\ 12487.09 \\ 12448.51 \\ 12410.06 \\ 12371.72 \\ 12333.5 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$$a = \mathrm{cspline}(S, \sigma_{esq}) \qquad b = \mathrm{cspline}(S, \sigma_{dir})$$

$$\sigma_{esq}(x) = \mathrm{interp}\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right) \qquad \sigma_{dir}(x) = \mathrm{interp}\left(\frac{b}{g}, S, \frac{\mathrm{reverse}(\sigma_{dir})}{g}, x\right)$$



$c := L$ $\qquad d := 0m$

Given

$d = \sigma_{esq}(c)$ $\qquad d = \sigma_{dir}(c)$

$$\begin{pmatrix} interseção \\ \sigma_{interseção} \end{pmatrix} := Find(c, d) \qquad interseção = 2219.25 \cdot cm$$

$$\sigma_{interseção} = 13127.825633 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$$Área_1 := \int_0^{interseção} \sigma_{esq}(x)\, dx \qquad Área_1 = 302170.33 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$Área_2 := \int_{interseção}^{L} \sigma_{dir}(x)\, dx \qquad Área_2 = 119622.65 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$Área := (Área_1) + (Área_2) \qquad Área = 421792.97 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$\sigma_m := \frac{Área}{L} \qquad \sigma_m = 13632.61 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$$L_{cabo} := 32.75m \qquad Área_{teórica\_aço} := 143.4 \cdot mm^2 \qquad E_{teórico\_aço} := 1950000 \frac{kg}{cm^2}$$

$$F_{média\_cabo} := \sigma_m \cdot Área_{teórica\_aço} = 19.5 \cdot t$$

$$\Delta L_{teórico} := \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 229 \cdot mm$$

CABOS C9=C10 (12ø15.2mm)

$\text{Área}_{teórica\_aço} = 143.4mm^2$ $fptk = \dfrac{265.8kN}{\text{Área}_{teórica\_aço}} = 1853.56\,MPa$ $fpyk = \dfrac{239.2kN}{\text{Área}_{teórica\_aço}} = 1668.06\,MPa$

$\sigma_{pi} = \min(0.74 \cdot fptk, 0.82 \cdot fpyk) = 1367.81\,MPa$

$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78 \cdot \dfrac{kgf}{cm^2}$ $\mu = 0.20$ $\beta = 0.01 \dfrac{rad}{m}$ $e = 2.72$ $L = 30.94m$

$\kappa = \beta \cdot \mu = 0.002 \cdot \dfrac{rad}{m}$ $n = 21$ $i = 1, 2 .. n$

$$S = 0cm, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 154.7 \\ 309.4 \\ 464.1 \\ 618.8 \\ 773.5 \\ 928.2 \\ 1082.9 \\ 1237.6 \\ 1392.3 \\ 1547 \\ 1701.7 \\ 1856.4 \\ 2011.1 \\ 2165.8 \\ 2320.5 \\ 2475.2 \\ 2629.9 \\ 2784.6 \\ 2939.3 \\ 3094 \end{pmatrix} cm \qquad \Delta\alpha_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0.53 \\ 4.93 \\ 0 \\ 3.8 \\ 8.95 \\ 2.17 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} ° \qquad \Delta\alpha_{planta} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} °$$

$$\alpha_i = \begin{cases} 0\text{rad} & \text{if } i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \sqrt{\left(\Delta\alpha_{\text{elevação}_i}\right)^2 + \left(\Delta\alpha_{\text{planta}_i}\right)^2} & \text{if } i > 1 \\ i \cdot \text{rad} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13904.7 \\ 13861.74 \\ 13818.92 \\ 13776.23 \\ 13733.67 \\ 13691.25 \\ 13648.95 \\ 13606.79 \\ 13564.75 \\ 13522.85 \\ 13481.07 \\ 13414.59 \\ 13144.98 \\ 13104.37 \\ 12891.74 \\ 12456.61 \\ 12324.42 \\ 12286.35 \\ 12248.4 \\ 12210.56 \end{pmatrix} \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$n = 21$ $(i = 1, 2 .. n)$

$$\Delta\theta_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 2.17 \\ 8.95 \\ 3.8 \\ 0 \\ 4.93 \\ 0.53 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}° \qquad \Delta\theta_{planta} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}°$$

$$\theta_i = \begin{cases} 0rad & \text{if } i = 1 \\ \theta_{(i-1)} + \sqrt{\left(\Delta\theta_{elevação_i}\right)^2 + \left(\Delta\theta_{planta_i}\right)^2} & \text{if } i > 1 \\ i \cdot rad & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\sigma_{dir} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \theta + \kappa \cdot S)}$$

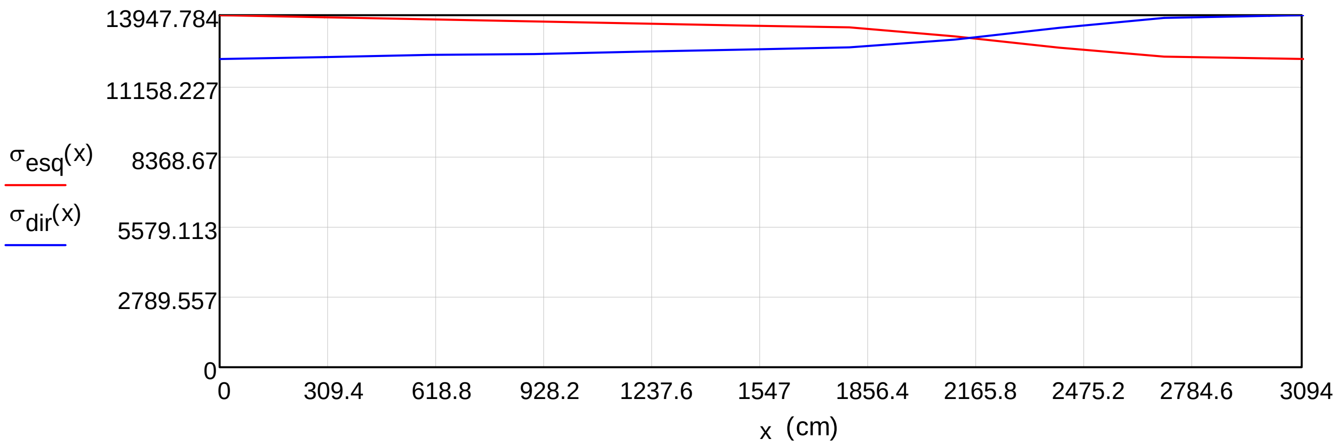
$$\sigma_{dir} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13904.7 \\ 13861.74 \\ 13818.92 \\ 13672.27 \\ 13210.8 \\ 12996.45 \\ 12956.3 \\ 12695.9 \\ 12633.28 \\ 12594.26 \\ 12555.35 \\ 12516.57 \\ 12477.9 \\ 12439.35 \\ 12400.92 \\ 12362.61 \\ 12324.42 \\ 12286.35 \\ 12248.4 \\ 12210.56 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$a = \text{cspline}(S, \sigma_{esq})$

$b = \text{cspline}(S, \sigma_{dir})$

$$\sigma_{esq}(x) = \text{interp}\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$$

$$\sigma_{dir}(x) = \text{interp}\left(\frac{b}{g}, S, \frac{\text{reverse}(\sigma_{dir})}{g}, x\right)$$



$c = L$ $\quad$ $d = 0m$

Given

$d = \sigma_{esq}(c)$ $\quad$ $d = \sigma_{dir}(c)$

$$\begin{pmatrix} \text{interseção} \\ \sigma_{\text{interseção}} \end{pmatrix} = \text{Find}(c, d)$$

$\text{interseção} = 2218.75 \cdot cm$

$$\sigma_{\text{interseção}} = 13069.797393 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$$\text{Área}_1 = \int_0^{\text{interseção}} \sigma_{esq}(x)\, dx \qquad \text{Área}_1 = 301939.84 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$\text{Área}_2 = \int_{\text{interseção}}^{L} \sigma_{dir}(x)\, dx \qquad \text{Área}_2 = 119860.8 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$\text{Área} = (\text{Área}_1) + (\text{Área}_2) \qquad \text{Área} = 421800.64 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$\sigma_m = \frac{\text{Área}}{L} \qquad \sigma_m = 13632.86 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$L_{cabo} = 32.85m$ $\quad$ $\text{Área}_{\text{teórica\_aço}} = 143.4 \cdot mm^2$ $\quad$ $E_{\text{teórico\_aço}} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$

$$F_{\text{média\_cabo}} = \sigma_m \cdot \text{Área}_{\text{teórica\_aço}} = 19.5 \cdot t$$

$$\Delta L_{\text{teórico}} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{\text{teórico\_aço}}} = 230 \cdot mm$$

CABOS C11=C12 (12ø15.2mm)

$Área_{teórica\_aço} = 143.4mm^2$ $fptk = \frac{265.8kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1853.56\,MPa$ $fpyk = \frac{239.2kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1668.06\,MPa$

$\sigma_{pi} = \min(0.74 \cdot fptk, 0.82 \cdot fpyk) = 1367.81\,MPa$

$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78 \cdot \frac{kgf}{cm^2}$ $\mu = 0.20$ $\beta = 0.01 \frac{rad}{m}$ $e = 2.72$ $L = 30.94m$

$\kappa = \beta \cdot \mu = 0.002 \cdot \frac{rad}{m}$ $n = 21$ $i = 1, 2 .. n$

$$S = 0cm, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 154.7 \\ 309.4 \\ 464.1 \\ 618.8 \\ 773.5 \\ 928.2 \\ 1082.9 \\ 1237.6 \\ 1392.3 \\ 1547 \\ 1701.7 \\ 1856.4 \\ 2011.1 \\ 2165.8 \\ 2320.5 \\ 2475.2 \\ 2629.9 \\ 2784.6 \\ 2939.3 \\ 3094 \end{pmatrix} cm \qquad \Delta\alpha_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1.19 \\ 5.14 \\ 0.43 \\ 6.29 \\ 9 \\ 2.87 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} ° \qquad \Delta\alpha_{planta} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} °$$

$$\alpha_i = \begin{cases} 0\text{rad} & \text{if } i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \sqrt{\left(\Delta\alpha_{\text{elevação}_i}\right)^2 + \left(\Delta\alpha_{\text{planta}_i}\right)^2} & \text{if } i > 1 \\ i \cdot \text{rad} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13904.7 \\ 13861.74 \\ 13818.92 \\ 13776.23 \\ 13733.67 \\ 13691.25 \\ 13648.95 \\ 13606.79 \\ 13564.75 \\ 13522.85 \\ 13481.07 \\ 13383.72 \\ 13105.12 \\ 13045.04 \\ 12722.31 \\ 12290.76 \\ 12130.65 \\ 12093.18 \\ 12055.82 \\ 12018.58 \end{pmatrix} \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$n = 21 \qquad (i = 1, 2 .. n)$

$$\Delta\theta_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 2.87 \\ 9 \\ 6.29 \\ 0.43 \\ 5.14 \\ 1.19 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}° \qquad \Delta\theta_{planta} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}°$$

$$\theta_i = \begin{vmatrix} 0rad \quad \text{if} \quad i = 1 \\ \theta_{(i-1)} + \sqrt{\left(\Delta\theta_{elevação_i}\right)^2 + \left(\Delta\theta_{planta_i}\right)^2} \quad \text{if} \quad i > 1 \\ i \cdot rad \quad \text{otherwise} \end{vmatrix}$$

$$\sigma_{dir} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \theta + \kappa \cdot S)}$$

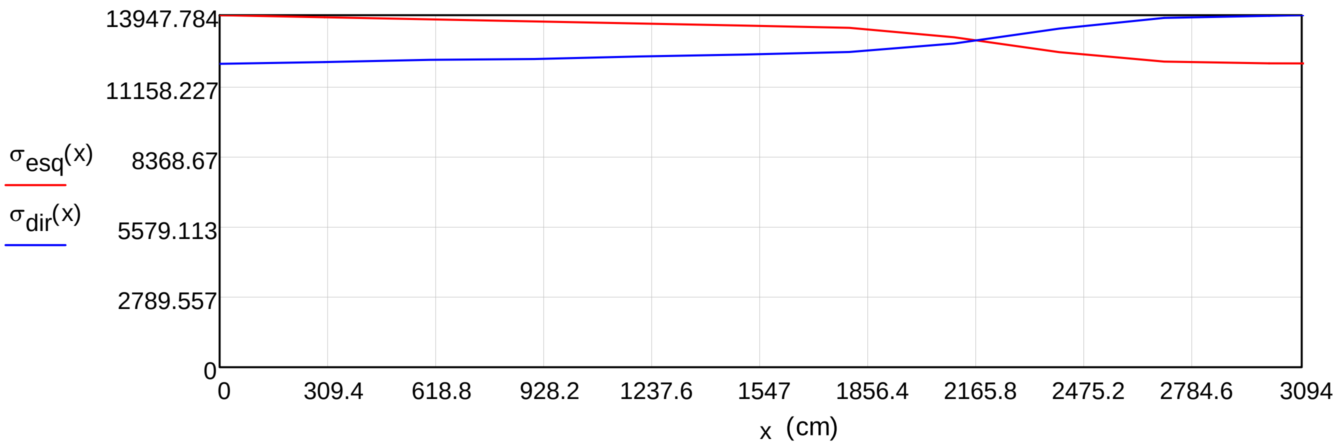
$$\sigma_{dir} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13904.7 \\ 13861.74 \\ 13818.92 \\ 13638.91 \\ 13176.26 \\ 12850.29 \\ 12791.38 \\ 12525.11 \\ 12434.66 \\ 12396.24 \\ 12357.95 \\ 12319.77 \\ 12281.71 \\ 12243.77 \\ 12205.95 \\ 12168.24 \\ 12130.65 \\ 12093.18 \\ 12055.82 \\ 12018.58 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$a = \text{cspline}(S, \sigma_{esq})$

$b = \text{cspline}(S, \sigma_{dir})$

$$\sigma_{esq}(x) = \text{interp}\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$$

$$\sigma_{dir}(x) = \text{interp}\left(\frac{b}{g}, S, \frac{\text{reverse}(\sigma_{dir})}{g}, x\right)$$



$c = L$ $\qquad$ $d = 0m$

Given

$d = \sigma_{esq}(c)$ $\qquad$ $d = \sigma_{dir}(c)$

$$\begin{pmatrix} \text{interseção} \\ \sigma_{\text{interseção}} \end{pmatrix} = \text{Find}(c, d) \qquad \text{interseção} = 2221.51 \cdot cm$$

$$\sigma_{\text{interseção}} = 12967.663175 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$$\text{Área}_1 = \int_0^{\text{interseção}} \sigma_{esq}(x)\, dx \qquad \text{Área}_1 = 302112.56 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$\text{Área}_2 = \int_{\text{interseção}}^{L} \sigma_{dir}(x)\, dx \qquad \text{Área}_2 = 119352.23 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$\text{Área} = (\text{Área}_1) + (\text{Área}_2) \qquad \text{Área} = 421464.79 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$\sigma_m = \frac{\text{Área}}{L} \qquad \sigma_m = 13622 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$$L_{cabo} = 33.00m \qquad \text{Área}_{\text{teórica\_aço}} = 143.4 \cdot mm^2 \qquad E_{\text{teórico\_aço}} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$$

$$F_{\text{média\_cabo}} = \sigma_m \cdot \text{Área}_{\text{teórica\_aço}} = 19.5 \cdot t$$

$$\Delta L_{\text{teórico}} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{\text{teórico\_aço}}} = 231 \cdot mm$$

CABOS C13=C14 (12ø15.2mm)

$\text{Área}_{\text{teórica\_aço}} = 143.4\,\text{mm}^2$ $\quad fptk = \dfrac{265.8\,\text{kN}}{\text{Área}_{\text{teórica\_aço}}} = 1853.56\,\text{MPa}$ $\quad fpyk = \dfrac{239.2\,\text{kN}}{\text{Área}_{\text{teórica\_aço}}} = 1668.06\,\text{MPa}$

$\sigma_{pi} = \min(0.74\cdot fptk, 0.82\cdot fpyk) = 1367.81\,\text{MPa}$

$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78\cdot\dfrac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$ $\quad \mu = 0.20$ $\quad \beta = 0.01\dfrac{\text{rad}}{\text{m}}$ $\quad e = 2.72$ $\quad L = 30.94\,\text{m}$

$\kappa = \beta\cdot\mu = 0.002\cdot\dfrac{\text{rad}}{\text{m}}$ $\quad n = 21$ $\quad i = 1, 2..n$

$$S = 0\,\text{cm}, \frac{L}{n-1}..L = \begin{pmatrix} 0 \\ 154.7 \\ 309.4 \\ 464.1 \\ 618.8 \\ 773.5 \\ 928.2 \\ 1082.9 \\ 1237.6 \\ 1392.3 \\ 1547 \\ 1701.7 \\ 1856.4 \\ 2011.1 \\ 2165.8 \\ 2320.5 \\ 2475.2 \\ 2629.9 \\ 2784.6 \\ 2939.3 \\ 3094 \end{pmatrix}\text{cm} \qquad \Delta\alpha_{\text{elevação}} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1.84 \\ 5.17 \\ 1.11 \\ 8.69 \\ 9.05 \\ 3.52 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}° \qquad \Delta\alpha_{\text{planta}} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}°$$

$$\alpha_i = \begin{cases} 0\text{rad} & \text{if } i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \sqrt{\left(\Delta\alpha_{\text{elevação}_i}\right)^2 + \left(\Delta\alpha_{\text{planta}_i}\right)^2} & \text{if } i > 1 \\ i \cdot \text{rad} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13904.7 \\ 13861.74 \\ 13818.92 \\ 13776.23 \\ 13733.67 \\ 13691.25 \\ 13648.95 \\ 13606.79 \\ 13564.75 \\ 13522.85 \\ 13481.07 \\ 13353.38 \\ 13074.05 \\ 12983.26 \\ 12556.43 \\ 12128.38 \\ 11943.26 \\ 11906.36 \\ 11869.58 \\ 11832.92 \end{pmatrix} \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$n = 21$ $(i = 1, 2 .. n)$

$$\Delta\theta_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 3.52 \\ 9.05 \\ 8.69 \\ 1.11 \\ 5.17 \\ 1.84 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}° \qquad \Delta\theta_{planta} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}°$$

$$\theta_i = \begin{vmatrix} 0rad \quad \text{if} \quad i = 1 \\ \theta_{(i-1)} + \sqrt{\left(\Delta\theta_{elevação_i}\right)^2 + \left(\Delta\theta_{planta_i}\right)^2} \quad \text{if} \quad i > 1 \\ i \cdot rad \quad \text{otherwise} \end{vmatrix}$$

$$\sigma_{dir} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \theta + \kappa \cdot S)}$$

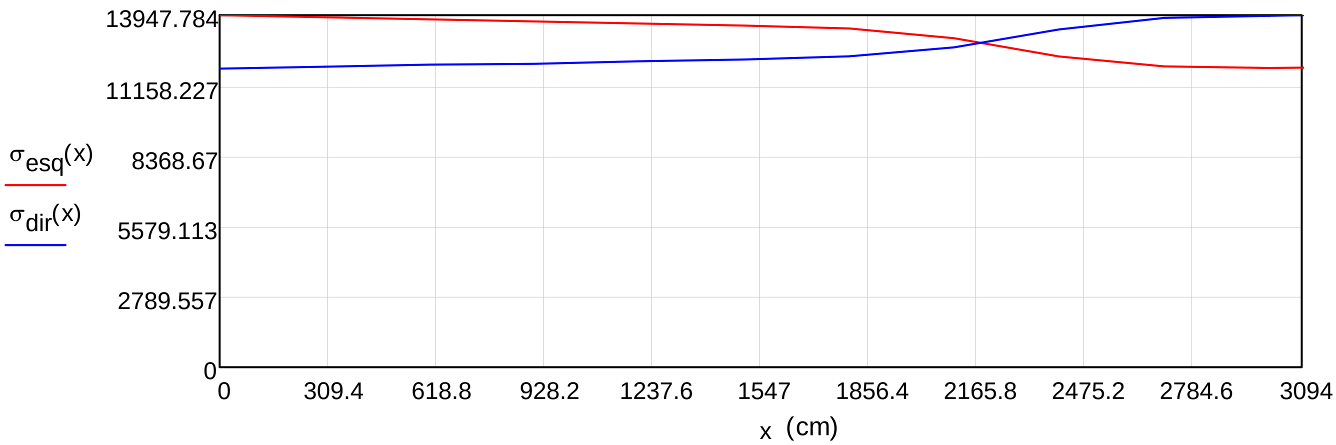
$$\sigma_{dir} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13904.7 \\ 13861.74 \\ 13818.92 \\ 13608 \\ 13144.1 \\ 12711.98 \\ 12623.71 \\ 12359.63 \\ 12242.57 \\ 12204.75 \\ 12167.05 \\ 12129.46 \\ 12091.99 \\ 12054.63 \\ 12017.39 \\ 11980.27 \\ 11943.26 \\ 11906.36 \\ 11869.58 \\ 11832.92 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$a = \text{cspline}(S, \sigma_{esq})$

$b = \text{cspline}(S, \sigma_{dir})$

$$\sigma_{esq}(x) = \text{interp}\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$$

$$\sigma_{dir}(x) = \text{interp}\left(\frac{b}{g}, S, \frac{\text{reverse}(\sigma_{dir})}{g}, x\right)$$



$c := L$ $\quad$ $d := 0m$

Given

$d = \sigma_{esq}(c)$ $\quad$ $d = \sigma_{dir}(c)$

$$\begin{pmatrix} \text{interseção} \\ \sigma_{\text{interseção}} \end{pmatrix} := \text{Find}(c, d) \qquad \text{interseção} = 2221.32 \cdot cm$$

$$\sigma_{\text{interseção}} = 12867.04889 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$$\text{Área}_1 := \int_0^{\text{interseção}} \sigma_{esq}(x)\,dx \qquad \text{Área}_1 = 301911.42 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$\text{Área}_2 := \int_{\text{interseção}}^{L} \sigma_{dir}(x)\,dx \qquad \text{Área}_2 = 119238.93 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$\text{Área} := (\text{Área}_1) + (\text{Área}_2) \qquad \text{Área} = 421150.35 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$\sigma_m := \frac{\text{Área}}{L} \qquad \sigma_m = 13611.84 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$L_{cabo} := 33.20m$ $\quad$ $\text{Área}_{teórica\_aço} := 143.4 \cdot mm^2$ $\quad$ $E_{teórico\_aço} := 1950000 \frac{kg}{cm^2}$

$$F_{média\_cabo} := \sigma_m \cdot \text{Área}_{teórica\_aço} = 19.5 \cdot t$$

$$\Delta L_{teórico} := \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 232 \cdot mm$$

VIGA 2 - CÁLCULO DAS ARMADURAS DE FRETAGEM

a_0 = Área da placa de distribuição

b = Distância entre eixos das ancoragens

d = Distância entre a face do concreto ao eixo da ancoragem

n = Quantidade de ancoragens em elevação

q = Quantidade de cabos alinhados em cada grupo (seção transversal)

EXTREMIDADE ATIVA (Esquerda)

$b = 45cm$ $n = 7$ $q = 2$ $F_{inicial} = 12 \cdot \sigma_1 \cdot Área_{teórica\_aço} = 2353.73\,kN$

$a_0 = 30cm$

$d = 25cm$ $a_1 = 2d = 50\,cm$

$F_1 = F_{inicial} \cdot \cos(0°) = 2353.73\,kN$

$$T_1 = 0.25 \cdot F_1 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 235.37\,kN$$

$F_2 = F_{inicial} \cdot \cos(2°) = 2352.29\,kN$

$$T_2 = 0.25 \cdot F_2 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 235.23\,kN$$

$F_3 = F_{inicial} \cdot \cos(3°) = 2350.5\,kN$

$$T_3 = 0.25 \cdot F_3 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 235.05\,kN$$

$F_4 = F_{inicial} \cdot \cos(4°) = 2347.99\,kN$

$$T_4 = 0.25 \cdot F_4 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 234.8\,kN$$

$F_5 = F_{inicial} \cdot \cos(5°) = 2344.77\,kN$

$$T_5 = 0.25 \cdot F_5 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 234.48\,kN$$

$F_6 = F_{inicial} \cdot \cos(7°) = 2336.18\,kN$

$$T_6 = 0.25 \cdot F_6 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 233.62\,kN$$

$F_7 = F_{inicial} \cdot \cos(8°) = 2330.82\,kN$

$$T_7 = 0.25 \cdot F_7 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 233.08\,kN$$

$a_2 = 2 \cdot d + (n-1) \cdot b = 320\,cm$ $\quad k = 1..n$

$$F_k = \begin{pmatrix} 2353.73 \\ 2352.29 \\ 2350.5 \\ 2347.99 \\ 2344.77 \\ 2336.18 \\ 2330.82 \end{pmatrix} kN \qquad T_k = \begin{pmatrix} 235.37 \\ 235.23 \\ 235.05 \\ 234.8 \\ 234.48 \\ 233.62 \\ 233.08 \end{pmatrix} kN \qquad \sum F = 16416.3\,kN$$

$$fyd = 43.48\,\frac{kN}{cm^2}$$

$$As_1 = q \cdot \left(\frac{\max(T)}{fyd}\right) = 10.83\,cm^2$$

EXTREMIDADE ATIVA (Direita)

$b = 45cm$ $\quad n = 7$ $\quad q = 2$ $\quad F_{inicial} = 12 \cdot \sigma_1 \cdot Área_{teórica\_aço} = 2353.73\,kN$

$a_0 = 30\,cm$

$d = 25cm$ $\quad a_1 = 2d = 50\,cm$

$F_1 = F_{inicial} \cdot \cos(0°) = 2353.73\,kN$ $\quad F_5 = F_{inicial} \cdot \cos(15°) = 2273.53\,kN$

$$T_1 = 0.25 \cdot F_1 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 235.37\,kN \qquad T_5 = 0.25 \cdot F_5 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 227.35\,kN$$

$F_2 = F_{inicial} \cdot \cos(5°) = 2344.77\,kN$ $\quad F_6 = F_{inicial} \cdot \cos(18°) = 2238.53\,kN$

$$T_2 = 0.25 \cdot F_2 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 234.48\,kN \qquad T_6 = 0.25 \cdot F_6 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 223.85\,kN$$

$F_3 = F_{inicial} \cdot \cos(9°) = 2324.75\,kN$ $\quad F_7 = F_{inicial} \cdot \cos(21°) = 2197.39\,kN$

$$T_3 = 0.25 \cdot F_3 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 232.47\,kN \qquad T_7 = 0.25 \cdot F_7 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 219.74\,kN$$

$F_4 = F_{inicial} \cdot \cos(13°) = 2293.4\,kN$

$$T_4 = 0.25 \cdot F_4 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 229.34\,kN$$

$a_2 = 2 \cdot d + (n-1) \cdot b = 320\,cm$ $\qquad k = 1..n$

$$F_k = \begin{pmatrix} 2353.73 \\ 2344.77 \\ 2324.75 \\ 2293.4 \\ 2273.53 \\ 2238.53 \\ 2197.39 \end{pmatrix} kN \qquad T_k = \begin{pmatrix} 235.37 \\ 234.48 \\ 232.47 \\ 229.34 \\ 227.35 \\ 223.85 \\ 219.74 \end{pmatrix} kN \qquad \sum F = 16026.1\,kN$$

$$fyd = 43.48 \cdot \frac{kN}{cm^2}$$

$$As_2 = q \cdot \left(\frac{\max(T)}{fyd}\right) = 10.83\,cm^2$$

$$As_{fretagem} = \max(As_1, As_2) = 10.83\,cm^2$$

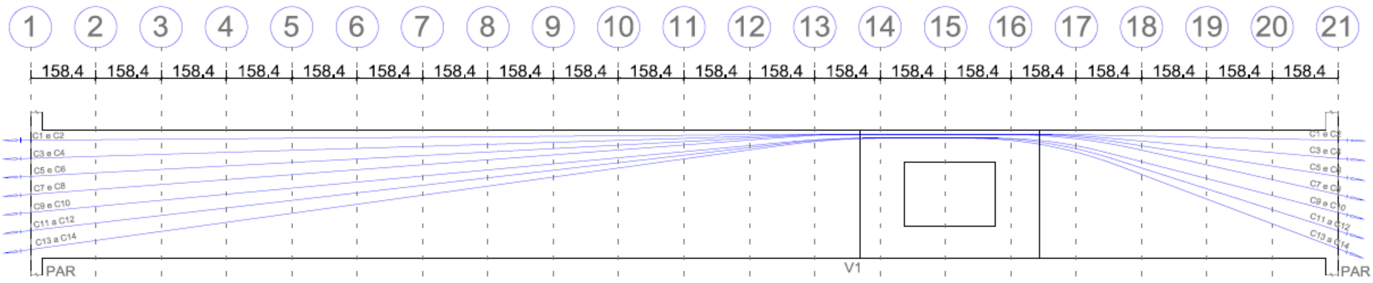
Adotado espiral ø12.5mm - 7 passos por cabo em cada trecho de ancoragem ativa.

$$As_{estribos} = As_{fretagem} = 10.83\,cm^2$$

$L = a_2 = 320\,cm$ $\qquad bitola_{estribo} = 10mm$ $\qquad adotados = ceil\left(\frac{As_{estribos}}{bitola_{estribo}^2}\right) = 11$

Estribos adotados = 11 ø10.0mm em cada trecho de ancoragem ativa distribuídos em L = 320 cm

VIGA 3 (COBERTURA - SUSTENTAÇÃO) - CABOS C1 a C14



CABOS C1=C2 (12ø15.2mm)

$Área_{teórica\_aço} = 143.4mm^2$ $\quad fptk = \frac{265.8kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1853.56\,MPa$ $\quad fpyk = \frac{239.2kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1668.06\,MPa$

$\sigma_{pi} = \min(0.74 \cdot fptk, 0.82 \cdot fpyk) = 1367.81\,MPa$

$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78 \cdot \frac{kgf}{cm^2}$ $\quad \mu = 0.20$ $\quad \beta = 0.01 \frac{rad}{m}$ $\quad e = 2.72$ $\quad L = 31.67m$

$\kappa = \beta \cdot \mu = 0.002 \cdot \frac{rad}{m}$ $\quad n = 21$ $\quad i = 1, 2 .. n$

$$S = 0cm, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 158.35 \\ 316.7 \\ 475.05 \\ 633.4 \\ 791.75 \\ 950.1 \\ 1108.45 \\ 1266.8 \\ 1425.15 \\ 1583.5 \\ 1741.85 \\ 1900.2 \\ 2058.55 \\ 2216.9 \\ 2375.25 \\ 2533.6 \\ 2691.95 \\ 2850.3 \\ 3008.65 \\ 3167 \end{pmatrix} cm \qquad \Delta\alpha_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0.45 \\ 0 \\ 0 \\ 1.27 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} ° \qquad \Delta\alpha_{planta} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} °$$

$$\alpha_i = \begin{cases} 0\,rad & \text{if } i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \sqrt{\left(\Delta\alpha_{elevação_i}\right)^2 + \left(\Delta\alpha_{planta_i}\right)^2} & \text{if } i > 1 \\ i \cdot rad & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13903.68 \\ 13859.72 \\ 13815.89 \\ 13772.21 \\ 13728.66 \\ 13685.25 \\ 13641.98 \\ 13598.84 \\ 13555.84 \\ 13512.98 \\ 13470.25 \\ 13427.66 \\ 13364.19 \\ 13321.93 \\ 13279.81 \\ 13179.26 \\ 13137.59 \\ 13096.05 \\ 13054.64 \\ 13013.36 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$n = 21$ $(i = 1, 2..n)$

$$\Delta\theta_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1.27 \\ 0 \\ 0 \\ 0.45 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}° \qquad \Delta\theta_{planta} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}°$$

$$\theta_i = \begin{cases} 0rad & \text{if } i = 1 \\ \theta_{(i-1)} + \sqrt{\left(\Delta\theta_{elevação_i}\right)^2 + \left(\Delta\theta_{planta_i}\right)^2} & \text{if } i > 1 \\ i \cdot rad & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\sigma_{dir} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \theta + \kappa \cdot S)}$$

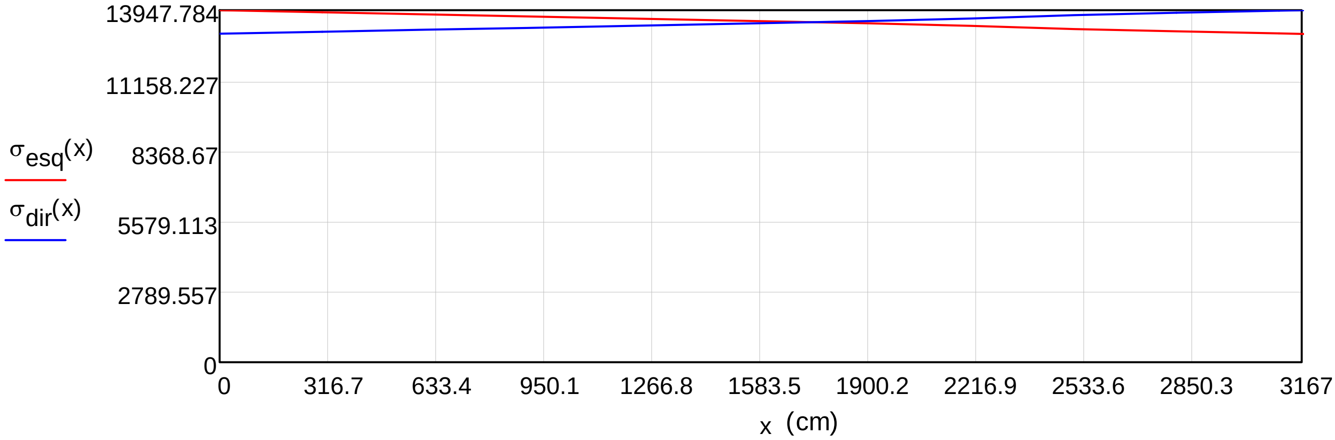
$$\sigma_{dir} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13903.68 \\ 13859.72 \\ 13815.89 \\ 13772.21 \\ 13667.93 \\ 13624.72 \\ 13581.63 \\ 13517.44 \\ 13474.7 \\ 13432.09 \\ 13389.62 \\ 13347.28 \\ 13305.08 \\ 13263.01 \\ 13221.07 \\ 13179.26 \\ 13137.59 \\ 13096.05 \\ 13054.64 \\ 13013.36 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$$a = \text{cspline}(S, \sigma_{esq})$$

$$b = \text{cspline}(S, \sigma_{dir})$$

$$\sigma_{esq}(x) = \text{interp}\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$$

$$\sigma_{dir}(x) = \text{interp}\left(\frac{b}{g}, S, \frac{\text{reverse}(\sigma_{dir})}{g}, x\right)$$



$c := L$ $\qquad d := 0m$

Given

$d = \sigma_{esq}(c)$ $\qquad d = \sigma_{dir}(c)$

$\begin{pmatrix} interseção \\ \sigma_{interseção} \end{pmatrix} := Find(c, d)$ $\qquad interseção = 1733.32 \cdot cm$

$\sigma_{interseção} = 13472.384171 \cdot \frac{kg}{cm^2}$

$Área_1 := \int_0^{interseção} \sigma_{esq}(x)\, dx$ $\qquad Área_1 = 237616.53 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$

$Área_2 := \int_{interseção}^{L} \sigma_{dir}(x)\, dx$ $\qquad Área_2 = 196640.59 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$

$Área := (Área_1) + (Área_2)$ $\qquad Área = 434257.12 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$

$\sigma_m := \frac{Área}{L}$ $\qquad \sigma_m = 13711.94 \cdot \frac{kg}{cm^2}$

$L_{cabo} := 33.30m$ $\qquad Área_{teórica\_aço} := 143.4 \cdot mm^2$ $\qquad E_{teórico\_aço} := 1950000 \frac{kg}{cm^2}$

$F_{média\_cabo} := \sigma_m \cdot Área_{teórica\_aço} = 19.7 \cdot t$

$\Delta L_{teórico} := \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 234 \cdot mm$

CABOS C3=C4 (12ø15.2mm)

$Área_{teórica\_aço} = 143.4mm^2$ $fptk = \frac{265.8kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1853.56\,MPa$ $fpyk = \frac{239.2kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1668.06\,MPa$

$\sigma_{pi} = \min(0.74 \cdot fptk, 0.82 \cdot fpyk) = 1367.81\,MPa$

$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78 \cdot \frac{kgf}{cm^2}$ $\mu = 0.20$ $\beta = 0.01 \frac{rad}{m}$ $e = 2.72$ $L = 31.67m$

$\kappa = \beta \cdot \mu = 0.002 \cdot \frac{rad}{m}$ $n = 21$ $i = 1, 2 .. n$

$$S = 0cm, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 158.35 \\ 316.7 \\ 475.05 \\ 633.4 \\ 791.75 \\ 950.1 \\ 1108.45 \\ 1266.8 \\ 1425.15 \\ 1583.5 \\ 1741.85 \\ 1900.2 \\ 2058.55 \\ 2216.9 \\ 2375.25 \\ 2533.6 \\ 2691.95 \\ 2850.3 \\ 3008.65 \\ 3167 \end{pmatrix} cm \qquad \Delta\alpha_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0.37 \\ 1.43 \\ 0 \\ 0 \\ 3.87 \\ 1.28 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}^{\circ} \qquad \Delta\alpha_{planta} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}^{\circ}$$

$$\alpha_i = \begin{cases} 0\text{rad} & \text{if } i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \sqrt{\left(\Delta\alpha_{\text{elevação}_i}\right)^2 + \left(\Delta\alpha_{\text{planta}_i}\right)^2} & \text{if } i > 1 \\ i \cdot \text{rad} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu\cdot\alpha+\kappa\cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13903.68 \\ 13859.72 \\ 13815.89 \\ 13772.21 \\ 13728.66 \\ 13685.25 \\ 13641.98 \\ 13598.84 \\ 13555.84 \\ 13512.98 \\ 13470.25 \\ 13410.33 \\ 13301.36 \\ 13259.3 \\ 13217.38 \\ 12998.79 \\ 12899.93 \\ 12859.14 \\ 12818.48 \\ 12777.94 \end{pmatrix} \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$n = 21$ $\qquad\qquad$ $(i = 1, 2 .. n)$

$$\Delta\theta_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1.28 \\ 3.87 \\ 0 \\ 0 \\ 1.43 \\ 0.37 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}° \qquad \Delta\theta_{planta} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}°$$

$$\theta_i = \left| \begin{array}{l} 0rad \quad \text{if} \quad i = 1 \\ \theta_{(i-1)} + \sqrt{\left(\Delta\theta_{elevação_i}\right)^2 + \left(\Delta\theta_{planta_i}\right)^2} \quad \text{if} \quad i > 1 \\ i \cdot rad \quad \text{otherwise} \end{array} \right.$$

$$\sigma_{dir} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \theta + \kappa \cdot S)}$$

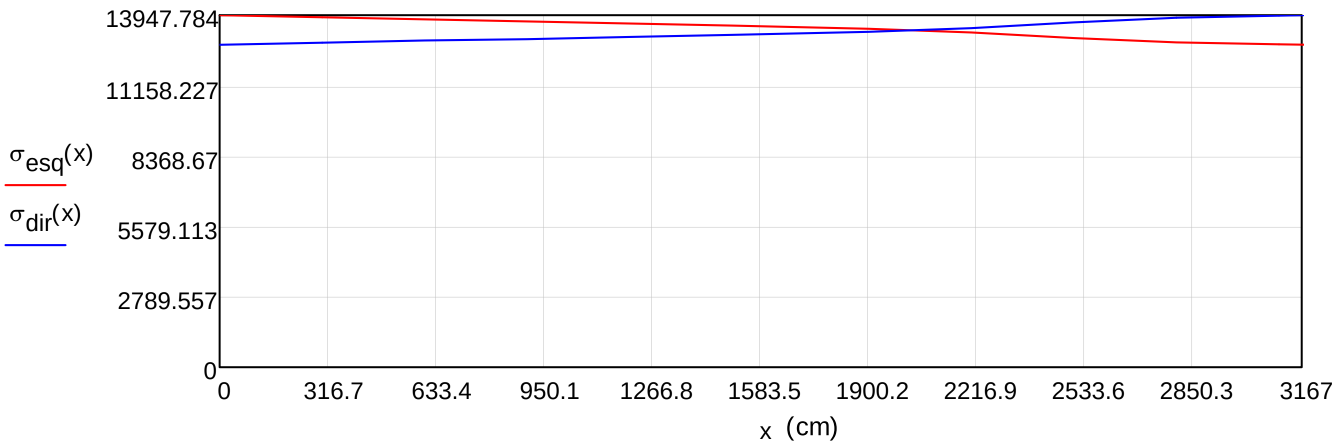
$$\sigma_{dir} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13903.68 \\ 13859.72 \\ 13815.89 \\ 13710.81 \\ 13484.07 \\ 13441.43 \\ 13398.93 \\ 13290.06 \\ 13230.93 \\ 13189.1 \\ 13147.39 \\ 13105.82 \\ 13064.38 \\ 13023.07 \\ 12981.89 \\ 12940.84 \\ 12899.93 \\ 12859.14 \\ 12818.48 \\ 12777.94 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$$a = \mathrm{cspline}(S, \sigma_{esq})$$

$$b = \mathrm{cspline}(S, \sigma_{dir})$$

$$\sigma_{esq}(x) = \mathrm{interp}\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$$

$$\sigma_{dir}(x) = \mathrm{interp}\left(\frac{b}{g}, S, \frac{\mathrm{reverse}(\sigma_{dir})}{g}, x\right)$$



$c := L$ $d := 0m$

Given

$d = \sigma_{esq}(c)$ $d = \sigma_{dir}(c)$

$$\begin{pmatrix} interseção \\ \sigma_{interseção} \end{pmatrix} := Find(c, d)$$ $interseção = 1986.89 \cdot cm$

$$\sigma_{interseção} = 13349.645455 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$$Área_1 := \int_0^{interseção} \sigma_{esq}(x)\, dx$$ $Área_1 = 271656.34 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$

$$Área_2 := \int_{interseção}^{L} \sigma_{dir}(x)\, dx$$ $Área_2 = 161423.54 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$

$$Área := (Área_1) + (Área_2)$$ $Área = 433079.88 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$

$$\sigma_m := \frac{Área}{L}$$ $\sigma_m = 13674.77 \cdot \frac{kg}{cm^2}$

$L_{cabo} := 33.30m$ $Área_{teórica\_aço} := 143.4 \cdot mm^2$ $E_{teórico\_aço} := 1950000 \frac{kg}{cm^2}$

$$F_{média\_cabo} := \sigma_m \cdot Área_{teórica\_aço} = 19.6 \cdot t$$

$$\Delta L_{teórico} := \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 234 \cdot mm$$

CABOS C5=C6 (12ø15.2mm)

$Área_{teórica\_aço} = 143.4mm^2$ $fptk = \dfrac{265.8kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1853.56\,MPa$ $fpyk = \dfrac{239.2kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1668.06\,MPa$

$\sigma_{pi} = \min(0.74\cdot fptk, 0.82\cdot fpyk) = 1367.81\,MPa$

$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78\cdot\dfrac{kgf}{cm^2}$ $\mu = 0.20$ $\beta = 0.01\dfrac{rad}{m}$ $e = 2.72$ $L = 31.67m$

$\kappa = \beta\cdot\mu = 0.002\cdot\dfrac{rad}{m}$ $n = 21$ $i = 1, 2 .. n$

$$S = 0cm, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 158.35 \\ 316.7 \\ 475.05 \\ 633.4 \\ 791.75 \\ 950.1 \\ 1108.45 \\ 1266.8 \\ 1425.15 \\ 1583.5 \\ 1741.85 \\ 1900.2 \\ 2058.55 \\ 2216.9 \\ 2375.25 \\ 2533.6 \\ 2691.95 \\ 2850.3 \\ 3008.65 \\ 3167 \end{pmatrix} cm \qquad \Delta\alpha_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0.95 \\ 2.17 \\ 0 \\ 0 \\ 5.63 \\ 3.47 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}° \qquad \Delta\alpha_{planta} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}°$$

$$\alpha_i = \begin{cases} 0\text{rad} & \text{if } i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \sqrt{\left(\Delta\alpha_{\text{elevação}_i}\right)^2 + \left(\Delta\alpha_{\text{planta}_i}\right)^2} & \text{if } i > 1 \\ i\cdot\text{rad} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu\cdot\alpha + \kappa\cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13903.68 \\ 13859.72 \\ 13815.89 \\ 13772.21 \\ 13728.66 \\ 13685.25 \\ 13641.98 \\ 13598.84 \\ 13555.84 \\ 13512.98 \\ 13470.25 \\ 13383.2 \\ 13240.21 \\ 13198.35 \\ 13156.62 \\ 12859.79 \\ 12664.79 \\ 12624.74 \\ 12584.83 \\ 12545.03 \end{pmatrix} \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$n = 21 \qquad (i = 1, 2 .. n)$

$$\Delta\theta_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 3.47 \\ 5.63 \\ 0 \\ 0 \\ 2.17 \\ 0.95 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}^{\circ} \qquad \Delta\theta_{planta} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}^{\circ}$$

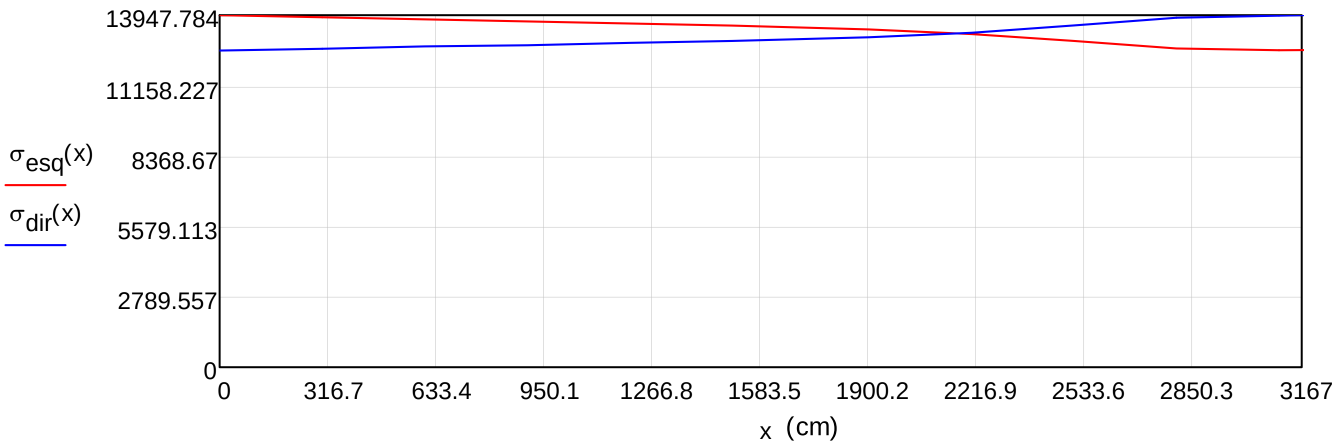
$$\theta_i = \begin{vmatrix} 0rad \quad \text{if} \quad i = 1 \\ \theta_{(i-1)} + \sqrt{\left(\Delta\theta_{elevação_i}\right)^2 + \left(\Delta\theta_{planta_i}\right)^2} \quad \text{if} \quad i > 1 \\ i \cdot rad \quad \text{otherwise} \end{vmatrix}$$

$$\sigma_{dir} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \theta + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{dir} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13903.68 \\ 13859.72 \\ 13815.89 \\ 13606.4 \\ 13299.42 \\ 13257.37 \\ 13215.45 \\ 13074.25 \\ 12989.77 \\ 12948.69 \\ 12907.75 \\ 12866.93 \\ 12826.25 \\ 12785.69 \\ 12745.26 \\ 12704.96 \\ 12664.79 \\ 12624.74 \\ 12584.83 \\ 12545.03 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$$a = \text{cspline}(S, \sigma_{esq}) \qquad b = \text{cspline}(S, \sigma_{dir})$$

$$\sigma_{esq}(x) = \text{interp}\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right) \qquad \sigma_{dir}(x) = \text{interp}\left(\frac{b}{g}, S, \frac{\text{reverse}(\sigma_{dir})}{g}, x\right)$$



$c = L$ $\qquad d = 0m$

Given

$d = \sigma_{esq}(c)$ $\qquad d = \sigma_{dir}(c)$

$$\begin{pmatrix} \text{interseção} \\ \sigma_{interseção} \end{pmatrix} = \text{Find}(c, d) \qquad \text{interseção} = 2087.46 \cdot cm$$

$$\sigma_{interseção} = 13223.087153 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$$Área_1 = \int_0^{interseção} \sigma_{esq}(x)\,dx \qquad Área_1 = 284940.75 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$Área_2 = \int_{interseção}^{L} \sigma_{dir}(x)\,dx \qquad Área_2 = 147123.5 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$Área = (Área_1) + (Área_2) \qquad Área = 432064.25 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$\sigma_m = \frac{Área}{L} \qquad \sigma_m = 13642.7 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$$L_{cabo} = 33.40m \qquad Área_{teórica\_aço} = 143.4 \cdot mm^2 \qquad E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$$

$$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot Área_{teórica\_aço} = 19.6 \cdot t$$

$$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 234 \cdot mm$$

CABOS C7=C8 (12ø15.2mm)

$Área_{teórica\_aço} = 143.4mm^2$ $fptk = \frac{265.8kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1853.56\,MPa$ $fpyk = \frac{239.2kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1668.06\,MPa$

$\sigma_{pi} = \min(0.74\cdot fptk, 0.82\cdot fpyk) = 1367.81\,MPa$

$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78\cdot\frac{kgf}{cm^2}$ $\mu = 0.20$ $\beta = 0.01\frac{rad}{m}$ $e = 2.72$ $L = 31.67m$

$\kappa = \beta\cdot\mu = 0.002\cdot\frac{rad}{m}$ $n = 21$ $i = 1, 2 .. n$

$$S = 0cm, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 158.35 \\ 316.7 \\ 475.05 \\ 633.4 \\ 791.75 \\ 950.1 \\ 1108.45 \\ 1266.8 \\ 1425.15 \\ 1583.5 \\ 1741.85 \\ 1900.2 \\ 2058.55 \\ 2216.9 \\ 2375.25 \\ 2533.6 \\ 2691.95 \\ 2850.3 \\ 3008.65 \\ 3167 \end{pmatrix} cm \qquad \Delta\alpha_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1.54 \\ 2.91 \\ 0 \\ 1.39 \\ 6.09 \\ 5.59 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}° \qquad \Delta\alpha_{planta} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}°$$

$$\alpha_i = \begin{cases} 0\text{rad} & \text{if } i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \sqrt{\left(\Delta\alpha_{\text{elevação}_i}\right)^2 + \left(\Delta\alpha_{\text{planta}_i}\right)^2} & \text{if } i > 1 \\ i\cdot\text{rad} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu\cdot\alpha+\kappa\cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13903.68 \\ 13859.72 \\ 13815.89 \\ 13772.21 \\ 13728.66 \\ 13685.25 \\ 13641.98 \\ 13598.84 \\ 13555.84 \\ 13512.98 \\ 13470.25 \\ 13355.67 \\ 13178.89 \\ 13137.22 \\ 13032.29 \\ 12717.83 \\ 12432.64 \\ 12393.33 \\ 12354.14 \\ 12315.08 \end{pmatrix} \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$n = 21$ $(i = 1, 2..n)$

$$\Delta\theta_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 5.59 \\ 6.09 \\ 1.39 \\ 0 \\ 2.91 \\ 1.54 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}° \qquad \Delta\theta_{planta} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}°$$

$$\theta_i = \left| \begin{array}{l} 0rad \quad \text{if} \quad i = 1 \\ \theta_{(i-1)} + \sqrt{\left(\Delta\theta_{elevação_i}\right)^2 + \left(\Delta\theta_{planta_i}\right)^2} \quad \text{if} \quad i > 1 \\ i \cdot rad \quad \text{otherwise} \end{array} \right.$$

$$\sigma_{dir} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \theta + \kappa \cdot S)}$$

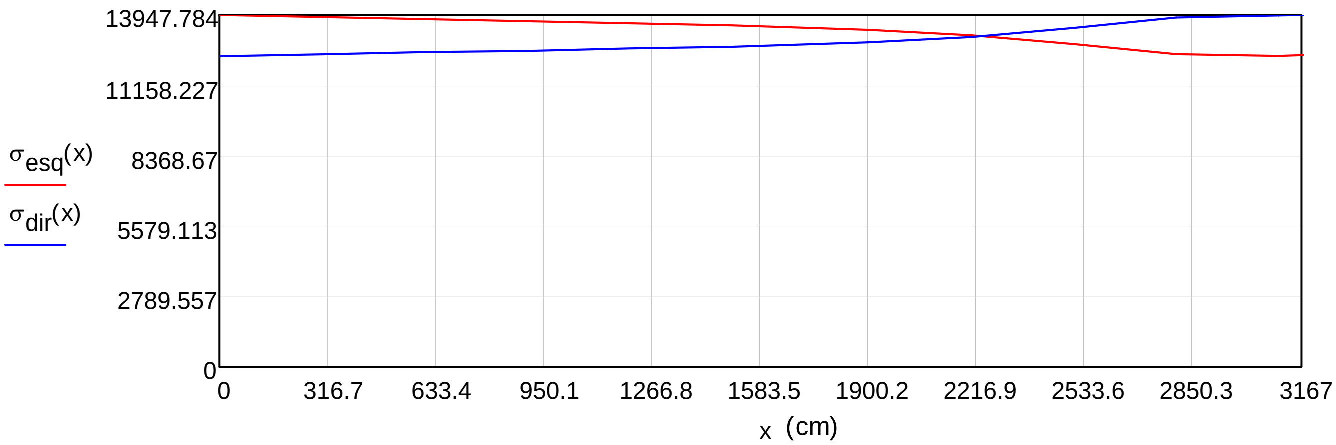
$$\sigma_{dir} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13903.68 \\ 13859.72 \\ 13815.89 \\ 13506.08 \\ 13180.19 \\ 13074.92 \\ 13033.57 \\ 12861.06 \\ 12751.66 \\ 12711.34 \\ 12671.14 \\ 12631.08 \\ 12591.14 \\ 12551.33 \\ 12511.64 \\ 12472.08 \\ 12432.64 \\ 12393.33 \\ 12354.14 \\ 12315.08 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$a = cspline(S, \sigma_{esq})$

$b = cspline(S, \sigma_{dir})$

$$\sigma_{esq}(x) = interp\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$$

$$\sigma_{dir}(x) = interp\left(\frac{b}{g}, S, \frac{reverse(\sigma_{dir})}{g}, x\right)$$



$c = L$ $\qquad$ $d = 0m$

Given

$d = \sigma_{esq}(c)$ $\qquad$ $d = \sigma_{dir}(c)$

$$\begin{pmatrix} \text{interseção} \\ \sigma_{\text{interseção}} \end{pmatrix} = \text{Find}(c, d)$$

$\text{interseção} = 2280.57 \cdot cm$

$$\sigma_{\text{interseção}} = 13117.232427 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$$\text{Área}_1 = \int_0^{\text{interseção}} \sigma_{esq}(x)\, dx \qquad \text{Área}_1 = 310207.02 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$\text{Área}_2 = \int_{\text{interseção}}^{L} \sigma_{dir}(x)\, dx \qquad \text{Área}_2 = 121155.76 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$\text{Área} = (\text{Área}_1) + (\text{Área}_2) \qquad \text{Área} = 431362.78 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$\sigma_m = \frac{\text{Área}}{L} \qquad \sigma_m = 13620.55 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$L_{cabo} = 33.50m$ $\qquad$ $\text{Área}_{\text{teórica\_aço}} = 143.4 \cdot mm^2$ $\qquad$ $E_{\text{teórico\_aço}} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$

$$F_{\text{média\_cabo}} = \sigma_m \cdot \text{Área}_{\text{teórica\_aço}} = 19.5 \cdot t$$

$$\Delta L_{\text{teórico}} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{\text{teórico\_aço}}} = 234 \cdot mm$$

CABOS C9=C10 (12ø15.2mm)

$Área_{teórica\_aço} = 143.4mm^2$ $fptk = \frac{265.8kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1853.56\,MPa$ $fpyk = \frac{239.2kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1668.06\,MPa$

$\sigma_{pi} = \min(0.74 \cdot fptk, 0.82 \cdot fpyk) = 1367.81\,MPa$

$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78 \cdot \frac{kgf}{cm^2}$ $\mu = 0.20$ $\beta = 0.01 \frac{rad}{m}$ $e = 2.72$ $L = 31.67m$

$\kappa = \beta \cdot \mu = 0.002 \cdot \frac{rad}{m}$ $n = 21$ $i = 1, 2..n$

$$S = 0cm, \frac{L}{n-1}..L = \begin{pmatrix} 0 \\ 158.35 \\ 316.7 \\ 475.05 \\ 633.4 \\ 791.75 \\ 950.1 \\ 1108.45 \\ 1266.8 \\ 1425.15 \\ 1583.5 \\ 1741.85 \\ 1900.2 \\ 2058.55 \\ 2216.9 \\ 2375.25 \\ 2533.6 \\ 2691.95 \\ 2850.3 \\ 3008.65 \\ 3167 \end{pmatrix} cm \qquad \Delta\alpha_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1.97 \\ 3.5 \\ 0 \\ 2.76 \\ 9.16 \\ 3.01 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} ° \qquad \Delta\alpha_{planta} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} °$$

$$\alpha_i = \begin{cases} 0\text{rad} & \text{if } i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \sqrt{\left(\Delta\alpha_{\text{elevação}_i}\right)^2 + \left(\Delta\alpha_{\text{planta}_i}\right)^2} & \text{if } i > 1 \\ i \cdot \text{rad} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13903.68 \\ 13859.72 \\ 13815.89 \\ 13772.21 \\ 13728.66 \\ 13685.25 \\ 13641.98 \\ 13598.84 \\ 13555.84 \\ 13512.98 \\ 13470.25 \\ 13335.64 \\ 13132.05 \\ 13090.53 \\ 12924.02 \\ 12477.74 \\ 12308.28 \\ 12269.36 \\ 12230.57 \\ 12191.89 \end{pmatrix} \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$n = 21$ $(i = 1, 2 .. n)$

$$\Delta\theta_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 3.01 \\ 9.16 \\ 2.76 \\ 0 \\ 3.5 \\ 1.97 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}° \qquad \Delta\theta_{planta} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}°$$

$$\theta_i = \begin{cases} 0rad & \text{if } i = 1 \\ \theta_{(i-1)} + \sqrt{\left(\Delta\theta_{elevação_i}\right)^2 + \left(\Delta\theta_{planta_i}\right)^2} & \text{if } i > 1 \\ i \cdot rad & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\sigma_{dir} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \theta + \kappa \cdot S)}$$

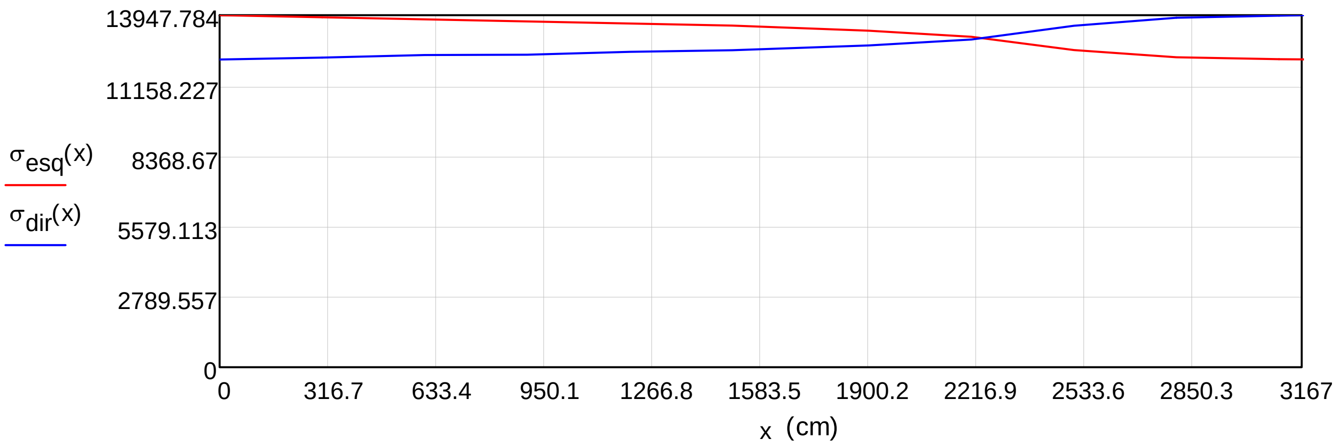
$$\sigma_{dir} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13903.68 \\ 13859.72 \\ 13815.89 \\ 13628.26 \\ 13157.66 \\ 12990.3 \\ 12949.23 \\ 12751.54 \\ 12624.11 \\ 12584.19 \\ 12544.4 \\ 12504.73 \\ 12465.19 \\ 12425.78 \\ 12386.49 \\ 12347.32 \\ 12308.28 \\ 12269.36 \\ 12230.57 \\ 12191.89 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$a = \text{cspline}(S, \sigma_{esq})$

$b = \text{cspline}(S, \sigma_{dir})$

$\sigma_{esq}(x) = \text{interp}\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$

$\sigma_{dir}(x) = \text{interp}\left(\frac{b}{g}, S, \frac{\text{reverse}(\sigma_{dir})}{g}, x\right)$



$c = L$ $\quad$ $d = 0m$

Given

$d = \sigma_{esq}(c)$ $\quad$ $d = \sigma_{dir}(c)$

$$\begin{pmatrix} \text{interseção} \\ \sigma_{\text{interseção}} \end{pmatrix} = \text{Find}(c, d) \qquad \text{interseção} = 2282.67 \cdot cm$$

$$\sigma_{\text{interseção}} = 13059.8022 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$$\text{Área}_1 = \int_0^{\text{interseção}} \sigma_{esq}(x)\,dx \qquad \text{Área}_1 = 310307.52 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$\text{Área}_2 = \int_{\text{interseção}}^{L} \sigma_{dir}(x)\,dx \qquad \text{Área}_2 = 121018.22 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$\text{Área} = (\text{Área}_1) + (\text{Área}_2) \qquad \text{Área} = 431325.75 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$\sigma_m = \frac{\text{Área}}{L} \qquad \sigma_m = 13619.38 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$L_{cabo} = 33.60m$ $\quad$ $\text{Área}_{\text{teórica\_aço}} = 143.4 \cdot mm^2$ $\quad$ $E_{\text{teórico\_aço}} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$

$$F_{\text{média\_cabo}} = \sigma_m \cdot \text{Área}_{\text{teórica\_aço}} = 19.5 \cdot t$$

$$\Delta L_{\text{teórico}} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{\text{teórico\_aço}}} = 235 \cdot mm$$

CABOS C11=C12 (12ø15.2mm)

$Área_{teórica\_aço} = 143.4mm^2$ $fptk = \frac{265.8kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1853.56\,MPa$ $fpyk = \frac{239.2kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1668.06\,MPa$

$\sigma_{pi} = \min(0.74 \cdot fptk, 0.82 \cdot fpyk) = 1367.81\,MPa$

$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78 \cdot \frac{kgf}{cm^2}$ $\mu = 0.20$ $\beta = 0.01 \frac{rad}{m}$ $e = 2.72$ $L = 31.67m$

$\kappa = \beta \cdot \mu = 0.002 \cdot \frac{rad}{m}$ $n = 21$ $i = 1, 2..n$

$$S = 0cm, \frac{L}{n-1}..L = \begin{pmatrix} 0 \\ 158.35 \\ 316.7 \\ 475.05 \\ 633.4 \\ 791.75 \\ 950.1 \\ 1108.45 \\ 1266.8 \\ 1425.15 \\ 1583.5 \\ 1741.85 \\ 1900.2 \\ 2058.55 \\ 2216.9 \\ 2375.25 \\ 2533.6 \\ 2691.95 \\ 2850.3 \\ 3008.65 \\ 3167 \end{pmatrix} cm \qquad \Delta\alpha_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 2.63 \\ 4.14 \\ 0 \\ 5.25 \\ 9.21 \\ 3.7 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}° \qquad \Delta\alpha_{planta} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}°$$

$$\alpha_i = \begin{cases} 0\text{rad} & \text{if } i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \sqrt{\left(\Delta\alpha_{elevação_i}\right)^2 + \left(\Delta\alpha_{planta_i}\right)^2} & \text{if } i > 1 \\ i \cdot \text{rad} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13903.68 \\ 13859.72 \\ 13815.89 \\ 13772.21 \\ 13728.66 \\ 13685.25 \\ 13641.98 \\ 13598.84 \\ 13555.84 \\ 13512.98 \\ 13470.25 \\ 13304.95 \\ 13072.59 \\ 13031.26 \\ 12754.17 \\ 12311.6 \\ 12115.18 \\ 12076.88 \\ 12038.69 \\ 12000.62 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$n = 21 \qquad (i = 1, 2 .. n)$

$$\Delta\theta_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 3.7 \\ 9.21 \\ 5.25 \\ 0 \\ 4.14 \\ 2.63 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}^{\circ} \qquad \Delta\theta_{planta} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}^{\circ}$$

$$\theta_i = \left| \begin{array}{l} 0rad \quad \text{if} \quad i = 1 \\ \theta_{(i-1)} + \sqrt{\left(\Delta\theta_{elevação_i}\right)^2 + \left(\Delta\theta_{planta_i}\right)^2} \quad \text{if} \quad i > 1 \\ i \cdot rad \quad \text{otherwise} \end{array} \right.$$

$$\sigma_{dir} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \theta + \kappa \cdot S)}$$

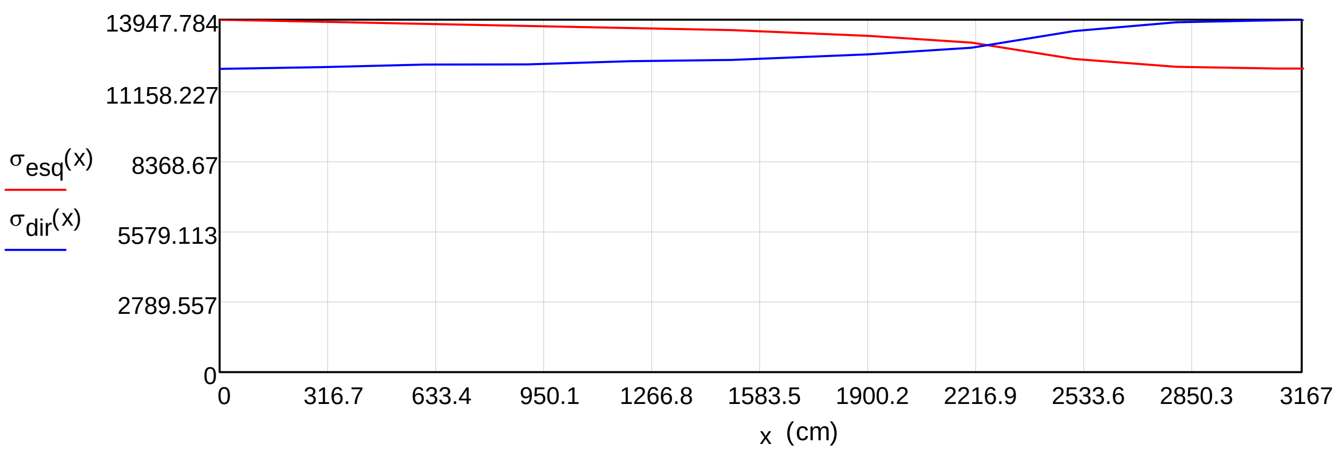
$$\sigma_{dir} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13903.68 \\ 13859.72 \\ 13815.89 \\ 13595.48 \\ 13123.72 \\ 12844.66 \\ 12804.05 \\ 12580.44 \\ 12426.06 \\ 12386.76 \\ 12347.6 \\ 12308.55 \\ 12269.63 \\ 12230.84 \\ 12192.16 \\ 12153.61 \\ 12115.18 \\ 12076.88 \\ 12038.69 \\ 12000.62 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$a = \text{cspline}(S, \sigma_{esq})$

$b = \text{cspline}(S, \sigma_{dir})$

$\sigma_{esq}(x) = \text{interp}\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$

$\sigma_{dir}(x) = \text{interp}\left(\frac{b}{g}, S, \frac{\text{reverse}(\sigma_{dir})}{g}, x\right)$



$c := L$ $\qquad$ $d := 0m$

Given

$d = \sigma_{esq}(c)$ $\qquad$ $d = \sigma_{dir}(c)$

$$\begin{pmatrix} interseção \\ \sigma_{interseção} \end{pmatrix} := Find(c, d)$$

$interseção = 2281.29 \cdot cm$

$$\sigma_{interseção} = 12958.12605 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$$Área_1 := \int_0^{interseção} \sigma_{esq}(x)\,dx \qquad Área_1 = 309896.1 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$Área_2 := \int_{interseção}^{L} \sigma_{dir}(x)\,dx \qquad Área_2 = 121056.42 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$Área := (Área_1) + (Área_2) \qquad Área = 430952.52 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$\sigma_m := \frac{Área}{L} \qquad \sigma_m = 13607.59 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$L_{cabo} := 33.75m$ $\qquad$ $Área_{teórica\_aço} := 143.4 \cdot mm^2$ $\qquad$ $E_{teórico\_aço} := 1950000 \frac{kg}{cm^2}$

$$F_{média\_cabo} := \sigma_m \cdot Área_{teórica\_aço} = 19.5 \cdot t$$

$$\Delta L_{teórico} := \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 236 \cdot mm$$

CABOS C13=C14 (12ø15.2mm)

$Área_{teórica\_aço} = 143.4mm^2$ $fptk = \frac{265.8kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1853.56\,MPa$ $fpyk = \frac{239.2kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1668.06\,MPa$

$\sigma_{pi} = \min(0.74 \cdot fptk, 0.82 \cdot fpyk) = 1367.81\,MPa$

$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13947.78 \cdot \frac{kgf}{cm^2}$ $\mu = 0.20$ $\beta = 0.01 \frac{rad}{m}$ $e = 2.72$ $L = 31.67m$

$\kappa = \beta \cdot \mu = 0.002 \cdot \frac{rad}{m}$ $n = 21$ $i = 1, 2 .. n$

$$S = 0cm, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 158.35 \\ 316.7 \\ 475.05 \\ 633.4 \\ 791.75 \\ 950.1 \\ 1108.45 \\ 1266.8 \\ 1425.15 \\ 1583.5 \\ 1741.85 \\ 1900.2 \\ 2058.55 \\ 2216.9 \\ 2375.25 \\ 2533.6 \\ 2691.95 \\ 2850.3 \\ 3008.65 \\ 3167 \end{pmatrix} cm \qquad \Delta\alpha_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 3.27 \\ 4.85 \\ 0 \\ 7.64 \\ 9.26 \\ 4.35 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} ° \qquad \Delta\alpha_{planta} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} °$$

$$\alpha_i = \begin{vmatrix} 0\text{rad} \quad \text{if} \quad i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \sqrt{\left(\Delta\alpha_{\text{elevação}_i}\right)^2 + \left(\Delta\alpha_{\text{planta}_i}\right)^2} \quad \text{if} \quad i > 1 \\ i \cdot \text{rad} \quad \text{otherwise} \end{vmatrix}$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu\cdot\alpha+\kappa\cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13903.68 \\ 13859.72 \\ 13815.89 \\ 13772.21 \\ 13728.66 \\ 13685.25 \\ 13641.98 \\ 13598.84 \\ 13555.84 \\ 13512.98 \\ 13470.25 \\ 13275.26 \\ 13011.13 \\ 12969.99 \\ 12588.74 \\ 12149.8 \\ 11928.86 \\ 11891.14 \\ 11853.54 \\ 11816.06 \end{pmatrix} \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$n = 21 \qquad (i = 1, 2 .. n)$

$$\Delta\theta_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 4.35 \\ 9.26 \\ 7.64 \\ 0 \\ 4.85 \\ 3.27 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}° \qquad \Delta\theta_{planta} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}°$$

$$\theta_i = \begin{vmatrix} 0\text{rad} \quad \text{if} \quad i = 1 \\ \theta_{(i-1)} + \sqrt{\left(\Delta\theta_{elevação_i}\right)^2 + \left(\Delta\theta_{planta_i}\right)^2} \quad \text{if} \quad i > 1 \\ i \cdot \text{rad} \quad \text{otherwise} \end{vmatrix}$$

$$\sigma_{dir} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu\cdot\theta+\kappa\cdot S)}$$

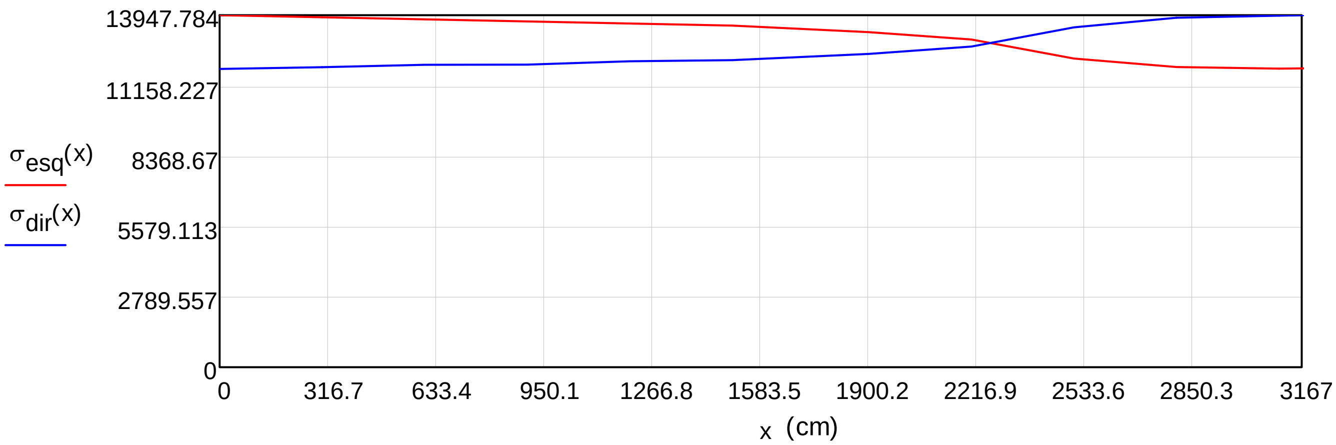
$$\sigma_{dir} = \begin{pmatrix} 13947.78 \\ 13903.68 \\ 13859.72 \\ 13815.89 \\ 13564.66 \\ 13091.69 \\ 12706.86 \\ 12666.68 \\ 12414.66 \\ 12234.95 \\ 12196.27 \\ 12157.7 \\ 12119.26 \\ 12080.94 \\ 12042.74 \\ 12004.66 \\ 11966.7 \\ 11928.86 \\ 11891.14 \\ 11853.54 \\ 11816.06 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$a = \text{cspline}(S, \sigma_{esq})$

$b = \text{cspline}(S, \sigma_{dir})$

$$\sigma_{esq}(x) = \text{interp}\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$$

$$\sigma_{dir}(x) = \text{interp}\left(\frac{b}{g}, S, \frac{\text{reverse}(\sigma_{dir})}{g}, x\right)$$



$c := L$ $\quad$ $d := 0m$

Given

$d = \sigma_{esq}(c)$ $\quad$ $d = \sigma_{dir}(c)$

$$\begin{pmatrix} interseção \\ \sigma_{interseção} \end{pmatrix} := Find(c, d)$$

$interseção = 2279.77 \cdot cm$

$$\sigma_{interseção} = 12859.641749 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$$Área_1 := \int_0^{interseção} \sigma_{esq}(x)\, dx$$

$$Área_1 = 309464.83 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$Área_2 := \int_{interseção}^{L} \sigma_{dir}(x)\, dx$$

$$Área_2 = 121118.24 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$Área := (Área_1) + (Área_2)$$

$$Área = 430583.07 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$\sigma_m := \frac{Área}{L}$$

$$\sigma_m = 13595.93 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$L_{cabo} := 33.95m$ $\quad$ $Área_{teórica\_aço} := 143.4 \cdot mm^2$ $\quad$ $E_{teórico\_aço} := 1950000 \frac{kg}{cm^2}$

$$F_{média\_cabo} := \sigma_m \cdot Área_{teórica\_aço} = 19.5 \cdot t$$

$$\Delta L_{teórico} := \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 237 \cdot mm$$

VIGA 3 - CÁLCULO DAS ARMADURAS DE FRETAGEM

a_0 = Área da placa de distribuição

b = Distância entre eixos das ancoragens

d = Distância entre a face do concreto ao eixo da ancoragem

n = Quantidade de ancoragens em elevação

q = Quantidade de cabos alinhados em cada grupo (seção transversal)

EXTREMIDADE ATIVA (Esquerda)

$b = 45cm$ $\quad n = 7$ $\quad q = 2$ $\quad F_{inicial} = 12 \cdot \sigma_1 \cdot Área_{teórica\_aço} = 2353.73\,kN$

$a_0 = 30cm$

$d = 25cm$ $\quad a_1 = 2d = 50\,cm$

$F_1 = F_{inicial} \cdot \cos(0°) = 2353.73\,kN$

$$T_1 = 0.25 \cdot F_1 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 235.37\,kN$$

$F_2 = F_{inicial} \cdot \cos(2°) = 2352.29\,kN$

$$T_2 = 0.25 \cdot F_2 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 235.23\,kN$$

$F_3 = F_{inicial} \cdot \cos(3°) = 2350.5\,kN$

$$T_3 = 0.25 \cdot F_3 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 235.05\,kN$$

$F_4 = F_{inicial} \cdot \cos(4°) = 2347.99\,kN$

$$T_4 = 0.25 \cdot F_4 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 234.8\,kN$$

$F_5 = F_{inicial} \cdot \cos(5°) = 2344.77\,kN$

$$T_5 = 0.25 \cdot F_5 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 234.48\,kN$$

$F_6 = F_{inicial} \cdot \cos(7°) = 2336.18\,kN$

$$T_6 = 0.25 \cdot F_6 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 233.62\,kN$$

$F_7 = F_{inicial} \cdot \cos(8°) = 2330.82\,kN$

$$T_7 = 0.25 \cdot F_7 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 233.08\,kN$$

$a_2 = 2 \cdot d + (n-1) \cdot b = 320\,cm$ $\qquad k = 1..n$

$$F_k = \begin{pmatrix} 2353.73 \\ 2352.29 \\ 2350.5 \\ 2347.99 \\ 2344.77 \\ 2336.18 \\ 2330.82 \end{pmatrix} kN \qquad T_k = \begin{pmatrix} 235.37 \\ 235.23 \\ 235.05 \\ 234.8 \\ 234.48 \\ 233.62 \\ 233.08 \end{pmatrix} kN \qquad \sum F = 16416.3\,kN$$

$$fyd = 43.48 \frac{kN}{cm^2}$$

$$As_1 = q \cdot \left(\frac{\max(T)}{fyd}\right) = 10.83\,cm^2$$

EXTREMIDADE ATIVA (Direita)

$b = 45cm$ $\qquad n = 7$ $\qquad q = 2$ $\qquad F_{inicial} = 12 \cdot \sigma_1 \cdot Área_{teórica\_aço} = 2353.73\,kN$

$a_0 = 30\,cm$

$d = 25cm$ $\qquad a_1 = 2d = 50\,cm$

$F_1 = F_{inicial} \cdot \cos(0°) = 2353.73\,kN$ $\qquad F_5 = F_{inicial} \cdot \cos(15°) = 2273.53\,kN$

$T_1 = 0.25 \cdot F_1 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 235.37\,kN$ $\qquad T_5 = 0.25 \cdot F_5 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 227.35\,kN$

$F_2 = F_{inicial} \cdot \cos(5°) = 2344.77\,kN$ $\qquad F_6 = F_{inicial} \cdot \cos(18°) = 2238.53\,kN$

$T_2 = 0.25 \cdot F_2 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 234.48\,kN$ $\qquad T_6 = 0.25 \cdot F_6 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 223.85\,kN$

$F_3 = F_{inicial} \cdot \cos(9°) = 2324.75\,kN$ $\qquad F_7 = F_{inicial} \cdot \cos(21°) = 2197.39\,kN$

$T_3 = 0.25 \cdot F_3 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 232.47\,kN$ $\qquad T_7 = 0.25 \cdot F_7 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 219.74\,kN$

$F_4 = F_{inicial} \cdot \cos(13°) = 2293.4\,kN$

$T_4 = 0.25 \cdot F_4 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 229.34\,kN$

$a_2 = 2 \cdot d + (n - 1) \cdot b = 320\,cm$ $\quad k = 1..n$

$$F_k = \begin{pmatrix} 2353.73 \\ 2344.77 \\ 2324.75 \\ 2293.4 \\ 2273.53 \\ 2238.53 \\ 2197.39 \end{pmatrix} kN \qquad T_k = \begin{pmatrix} 235.37 \\ 234.48 \\ 232.47 \\ 229.34 \\ 227.35 \\ 223.85 \\ 219.74 \end{pmatrix} kN \qquad \sum F = 16026.1\,kN$$

$$fyd = 43.48 \cdot \frac{kN}{cm^2}$$

$$As_2 = q \cdot \left(\frac{\max(T)}{fyd} \right) = 10.83\,cm^2$$

$$As_{fretagem} = \max\left(As_1, As_2\right) = 10.83\,cm^2$$

Adotado espiral ø12.5mm - 7 passos por cabo em cada trecho de ancoragem ativa.

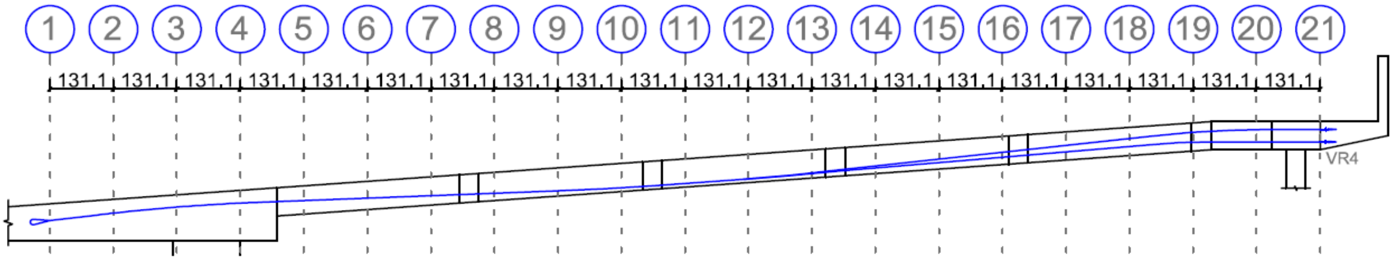
$$As_{estribos} = As_{fretagem} = 10.83\,cm^2$$

$L = a_2 = 320\,cm$ $\quad bitola_{estribo} = 10mm$ $\quad adotados = ceil\left(\frac{As_{estribos}}{bitola_{estribo}{}^2} \right) = 11$

Estribos $adotados = 11$ ø10.0mm em cada trecho de ancoragem ativa distribuídos em $L = 320\,cm$

VR1 (RAMPA) - CABOS C1 a C10

CABOS C1=C2=C3=C4=C5 (6ø12.7mm)



$t = \text{tonne}$

$\text{Área}_{\text{teórica\_aço}} = 100.9\text{mm}^2$ $\quad$ $\text{fptk} = \dfrac{187.3\text{kN}}{\text{Área}_{\text{teórica\_aço}}} = 1856.29\,\text{MPa}$ $\quad$ $\text{fpyk} = \dfrac{168.6\text{kN}}{\text{Área}_{\text{teórica\_aço}}} = 1670.96\,\text{MPa}$

$\sigma_{pi} = \min(0.74\cdot\text{fptk}, 0.82\cdot\text{fpyk}) = 1370.19\,\text{MPa}$

$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13972.03\cdot\dfrac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$ $\quad$ $\mu = 0.20$ $\quad$ $\beta = 0.01\dfrac{\text{rad}}{\text{m}}$ $\quad$ $e = 2.72$ $\quad$ $L = 26.23\text{m}$

$\kappa = \beta\cdot\mu = 0.002\cdot\dfrac{\text{rad}}{\text{m}}$ $\quad$ $n = 21$ $\quad$ $i = 1, 2..\, n$

$$S = 0cm, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 131.15 \\ 262.3 \\ 393.45 \\ 524.6 \\ 655.75 \\ 786.9 \\ 918.05 \\ 1049.2 \\ 1180.35 \\ 1311.5 \\ 1442.65 \\ 1573.8 \\ 1704.95 \\ 1836.1 \\ 1967.25 \\ 2098.4 \\ 2229.55 \\ 2360.7 \\ 2491.85 \\ 2623 \end{pmatrix} cm \qquad \Delta\alpha_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0.83 \\ 3.48 \\ 2.04 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0.08 \\ 1.84 \\ 0.42 \\ 0.6 \\ 1.27 \\ 0.05 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0.86 \\ 1.04 \\ 3.23 \\ 0.4 \end{pmatrix} ° \qquad \Delta\alpha_{planta} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0.35 \\ 2.13 \\ 2.13 \\ 2.13 \\ 2.13 \\ 2.13 \\ 2.13 \\ 2.13 \\ 2.13 \\ 2.13 \\ 2.13 \\ 2.13 \\ 2.13 \\ 2.13 \\ 2.13 \\ 2.13 \end{pmatrix} °$$

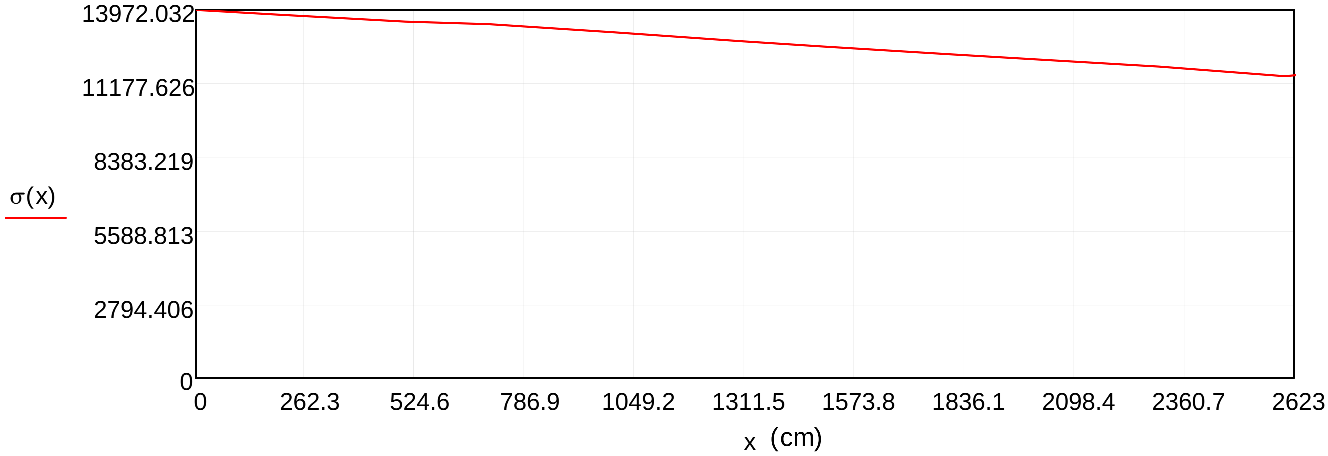
$$\alpha_i = \begin{array}{|l} 0rad \quad \text{if} \quad i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \sqrt{\left(\Delta\alpha_{elevação_i}\right)^2 + \left(\Delta\alpha_{planta_i}\right)^2} \quad \text{if} \quad i > 1 \\ i \cdot rad \quad \text{otherwise} \end{array}$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13972.03 \\ 13895.12 \\ 13691.39 \\ 13558.63 \\ 13523.11 \\ 13471.22 \\ 13336.4 \\ 13202.93 \\ 13070.73 \\ 12909.04 \\ 12778.02 \\ 12646.48 \\ 12504.64 \\ 12379.47 \\ 12255.58 \\ 12132.93 \\ 12011.51 \\ 11884.37 \\ 11755.56 \\ 11567.48 \\ 11450.23 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$$a = cspline(S, \sigma_{esq})$$

$$\sigma(x) = interp\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$$



$Área = \int_0^L \sigma(x)\,dx$ $\qquad$ $Área = 334816.6 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$

$\sigma_m = \frac{Área}{L}$ $\qquad$ $\sigma_m = 12764.64 \cdot \frac{kg}{cm^2}$

$L_{cabo} = 27.10m$ $\qquad$ $Área_{teórica\_aço} = 100.9 \cdot mm^2$ $\qquad$ $E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$

$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot Área_{teórica\_aço} = 12.9 \cdot t$

$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 177 \cdot mm$

CABOS C6=C7=C8=C9=C10 (6ø12.7mm)

$Área_{teórica\_aço} = 100.9mm^2$ $\qquad$ $fptk = \frac{187.3kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1856.29\,MPa$ $\qquad$ $fpyk = \frac{168.6kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1670.96\,MPa$

$\sigma_{pi} = \min(0.74 \cdot fptk, 0.82 \cdot fpyk) = 1370.19\,MPa$

$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13972.03 \cdot \frac{kgf}{cm^2}$ $\qquad$ $\mu = 0.20$ $\qquad$ $\beta = 0.01 \frac{rad}{m}$ $\qquad$ $e = 2.72$ $\qquad$ $L = 26.23m$

$\kappa = \beta \cdot \mu = 0.002 \cdot \frac{rad}{m}$ $\qquad$ $n = 21$ $\qquad$ $i = 1, 2 .. n$

$$S = 0cm, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 131.15 \\ 262.3 \\ 393.45 \\ 524.6 \\ 655.75 \\ 786.9 \\ 918.05 \\ 1049.2 \\ 1180.35 \\ 1311.5 \\ 1442.65 \\ 1573.8 \\ 1704.95 \\ 1836.1 \\ 1967.25 \\ 2098.4 \\ 2229.55 \\ 2360.7 \\ 2491.85 \\ 2623 \end{pmatrix} cm \qquad \Delta\alpha_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1.67 \\ 3.3 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0.45 \\ 1.15 \\ 0.09 \\ 0.61 \\ 1.27 \\ 0.05 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0.86 \\ 1.04 \\ 3.23 \\ 0.4 \end{pmatrix} ° \qquad \Delta\alpha_{planta} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0.35 \\ 2.13 \\ 2.13 \\ 2.13 \\ 2.13 \\ 2.13 \\ 2.13 \\ 2.13 \\ 2.13 \\ 2.13 \\ 2.13 \\ 2.13 \\ 2.13 \\ 2.13 \\ 2.13 \\ 2.13 \end{pmatrix} °$$

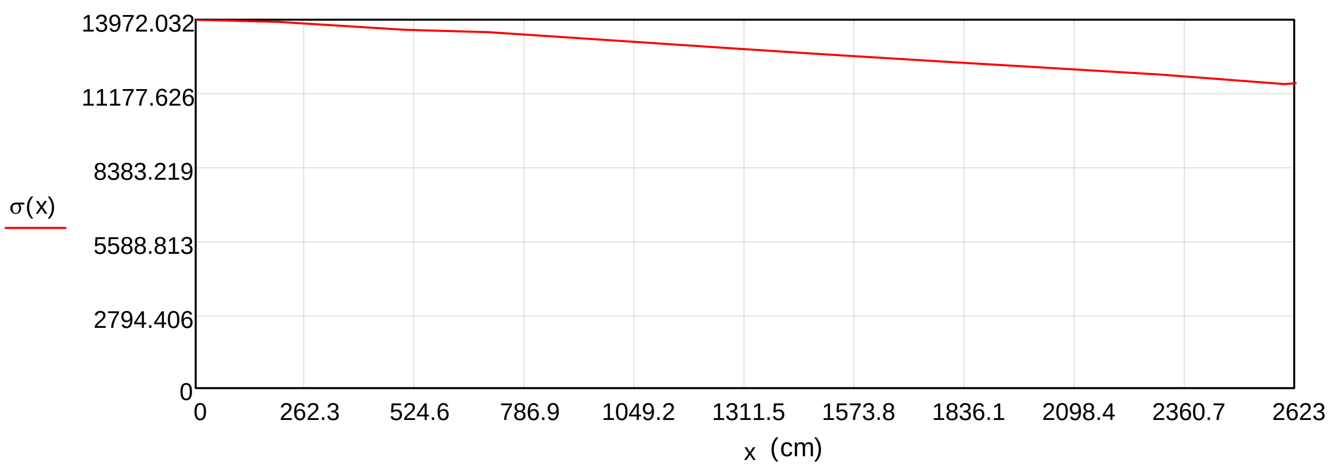
$$\alpha_i = \left| \begin{array}{l} 0rad \quad \text{if} \quad i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \sqrt{\left(\Delta\alpha_{elevação_i}\right)^2 + \left(\Delta\alpha_{planta_i}\right)^2} \quad \text{if} \quad i > 1 \\ i \cdot rad \quad \text{otherwise} \end{array} \right.$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13972.03 \\ 13935.43 \\ 13818.14 \\ 13624.1 \\ 13588.41 \\ 13536.26 \\ 13400.8 \\ 13266.69 \\ 13131.76 \\ 12987.16 \\ 12857.11 \\ 12724.63 \\ 12581.91 \\ 12455.97 \\ 12331.31 \\ 12207.91 \\ 12085.73 \\ 11957.81 \\ 11828.21 \\ 11638.97 \\ 11520.99 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$$a = \mathrm{cspline}(S, \sigma_{esq})$$

$$\sigma(x) = \mathrm{interp}\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$$



$$\text{Área} = \int_0^L \sigma(x)\,dx \qquad \text{Área} = 336667.74 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$\sigma_m = \frac{\text{Área}}{L} \qquad \sigma_m = 12835.22 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$$L_{cabo} = 27.10m \qquad \text{Área}_{teórica\_aço} = 100.9 \cdot mm^2 \qquad E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$$

$$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot \text{Área}_{teórica\_aço} = 13 \cdot t$$

$$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 178 \cdot mm$$

VR1 - CÁLCULO DAS ARMADURAS DE FRETAGEM

a_0 = Área da placa de distribuição

b = Distância entre eixos das ancoragens

c = Distância entre as ancoragens

d = Distância entre a face do concreto ao eixo da ancoragem

n = Quantidade de ancoragens em elevação

q = Quantidade de cabos alinhados em cada grupo (seção transversal)

EXTREMIDADE ATIVA (Direita)

$b = 27cm$ $\quad n = 2$ $\quad q = 5$ $\quad F_{inicial} = 6 \cdot \sigma_1 \cdot Área_{teórica\_aço} = 829.51\,kN$

$a_0 = 18.5cm$ $\quad c = 8cm$

$d = 16.5cm$ $\quad a_1 = a_0 + c = 26.5\,cm$

$F_1 = F_{inicial} \cdot \cos(0°) = 829.51\,kN$ $\quad F_2 = F_{inicial} \cdot \cos(0°) = 829.51\,kN$

$$T_1 = 0.25 \cdot F_1 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 62.6\,kN \qquad T_2 = 0.25 \cdot F_2 \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 62.6\,kN$$

$a_2 = 2 \cdot d + (n - 1) \cdot b = 60\,cm$

$$F = \begin{pmatrix} 829.51 \\ 829.51 \end{pmatrix} kN \qquad T = \begin{pmatrix} 62.6 \\ 62.6 \end{pmatrix} kN \qquad \sum F = 1659.02\,kN$$

$$T_n = \frac{2}{3} \cdot \left(1 - \frac{n \cdot a_1}{a_2}\right) \cdot \sum F = 129.04\,kN \qquad fyd = 43.48 \frac{kN}{cm^2}$$

$$As_1 = \frac{\max(T)}{fyd} = 1.44\,cm^2 \qquad As_2 = q \cdot \left(\frac{T_n}{fyd}\right) = 14.84\,cm^2$$

EXTREMIDADE PASSIVA

$q = 6$ $F_{inicial} = 829.51\,kN$

$a_0 = 18.5\,cm$

$d = 35cm$ $a_1 = 2 \cdot d = 70 \cdot cm$

$F = q \cdot F_{inicial} \cdot \cos(7°) = 4939.97\,kN$ $T = 0.25 \cdot F \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 908.6\,kN$ $fyd = 43.48 \cdot \frac{kN}{cm^2}$

$As_4 = \frac{T}{fyd} = 20.9\,cm^2$

$As_{fretagem} = As_1 = 1.44\,cm^2$

Adotado espiral ø10mm - 5 passos por cabo em cada trecho de ancoragem ativa e passiva.

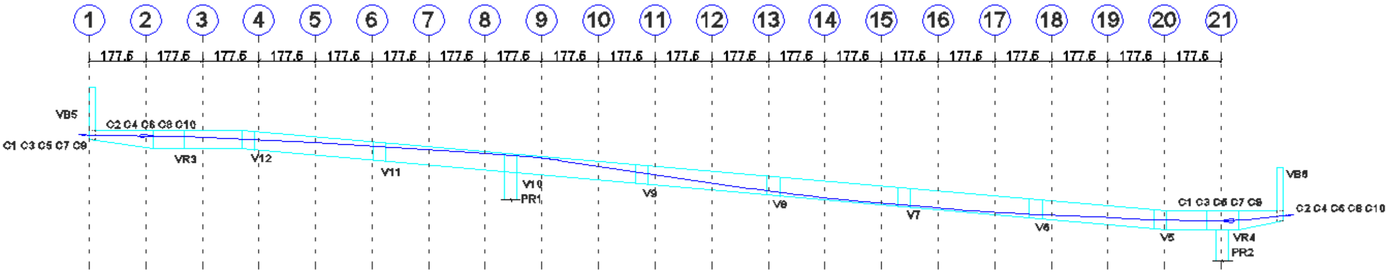
$$As_{estribos} = \frac{\max(As_2, As_4)}{4} = 5.22\,cm^2$$

$L = \max(a_1, a_2) = 70\,cm$ $bitola_{estribo} = 10mm$ $adotados = ceil\left(\frac{As_{estribos}}{bitola_{estribo}^{\;2}}\right) = 6$

Estribos duplos $adotados = 6$ ø10.0mm em cada trecho de ancoragem ativa e passiva distribuídos em $L = 70\,cm$

VR2 (RAMPA) - CABOS C1 a C10

CABOS C1=C3=C5=C7=C9 (6ø12.7mm)



$Área_{teórica\_aço} = 100.9mm^2$ $\quad fptk = \frac{187.3kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1856.29\,MPa$ $\quad fpyk = \frac{168.6kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1670.96\,MPa$

$\sigma_{pi} = \min(0.74 \cdot fptk, 0.82 \cdot fpyk) = 1370.19\,MPa$

$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13972.03 \cdot \frac{kgf}{cm^2}$ $\quad \mu = 0.20$ $\quad \beta = 0.01 \frac{rad}{m}$ $\quad e = 2.72$ $\quad L = 35.50m$

$\kappa = \beta \cdot \mu = 0.002 \cdot \frac{rad}{m}$ $\quad n = 21$ $\quad i = 1, 2 .. n$

$$S = 0cm, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 177.5 \\ 355 \\ 532.5 \\ 710 \\ 887.5 \\ 1065 \\ 1242.5 \\ 1420 \\ 1597.5 \\ 1775 \\ 1952.5 \\ 2130 \\ 2307.5 \\ 2485 \\ 2662.5 \\ 2840 \\ 3017.5 \\ 3195 \\ 3372.5 \\ 3550 \end{pmatrix} cm \qquad \Delta\alpha_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1.94 \\ 0 \\ 0.51 \\ 0 \\ 0 \\ 1.72 \\ 1.05 \\ 4.5 \\ 0 \\ 0 \\ 0.94 \\ 1.38 \\ 1.13 \\ 0 \\ 1.56 \\ 0.74 \\ 0 \\ 1.44 \\ 1.4 \end{pmatrix}° \qquad \Delta\alpha_{planta} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 4.43 \\ 3.39 \\ 3.39 \\ 3.39 \\ 3.39 \\ 3.39 \\ 3.39 \\ 3.39 \\ 3.39 \\ 3.39 \\ 3.39 \\ 3.39 \\ 3.39 \\ 3.39 \\ 3.39 \\ 3.39 \\ 0.47 \\ 0 \end{pmatrix}°$$

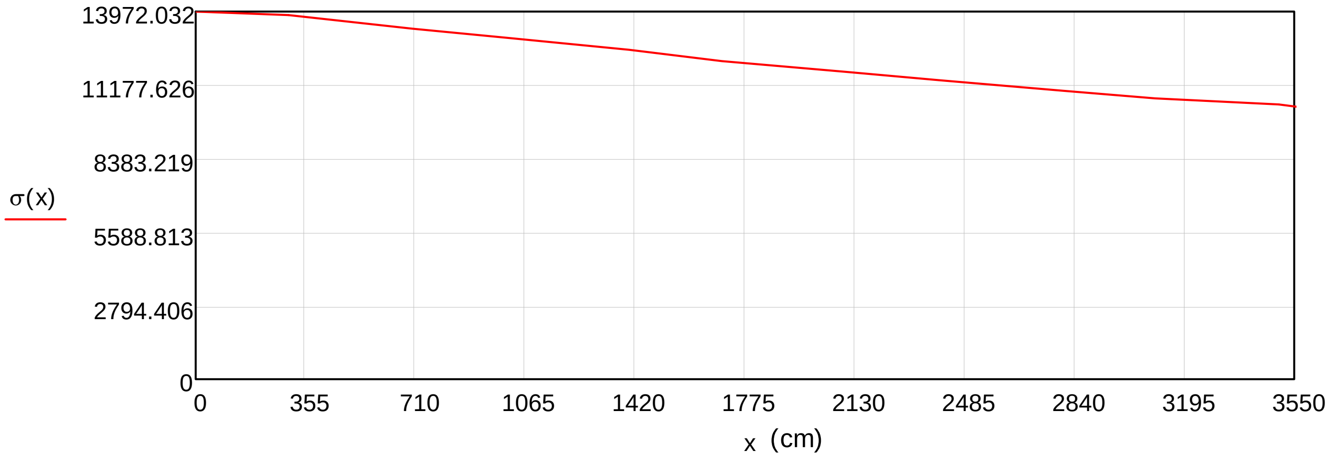
$$\alpha_i = \begin{cases} 0\text{rad} & \text{if } i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \sqrt{\left(\Delta\alpha_{elevação_i}\right)^2 + \left(\Delta\alpha_{planta_i}\right)^2} & \text{if } i > 1 \\ i \cdot \text{rad} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13972.03 \\ 13922.52 \\ 13779.55 \\ 13520.03 \\ 13311.86 \\ 13108.65 \\ 12908.54 \\ 12693.24 \\ 12492.54 \\ 12205.85 \\ 12019.52 \\ 11836.03 \\ 11650.15 \\ 11461.49 \\ 11279.3 \\ 11107.11 \\ 10924.52 \\ 10754.75 \\ 10590.57 \\ 10497.39 \\ 10409.2 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$$a = \text{cspline}\left(S, \sigma_{esq}\right)$$

$$\sigma(x) = \text{interp}\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$$



$$Área = \int_0^L \sigma(x)\,dx \qquad Área = 430013.98 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$\sigma_m = \frac{Área}{L} \qquad \sigma_m = 12113.07 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$$L_{cabo} = 36.40m \qquad Área_{teórica\_aço} = 100.9 \cdot mm^2 \qquad E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$$

$$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot Área_{teórica\_aço} = 12.2 \cdot t$$

$$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 226 \cdot mm$$

CABOS C2=C4=C6=C8=C10 (6ø12.7mm)

$Área_{teórica\_aço} = 100.9mm^2$ $fptk = \frac{187.3kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1856.29\,MPa$ $fpyk = \frac{168.6kN}{Área_{teórica\_aço}} = 1670.96\,MPa$

$\sigma_{pi} = \min(0.74 \cdot fptk, 0.82 \cdot fpyk) = 1370.19\,MPa$

$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13972.03 \cdot \frac{kgf}{cm^2}$ $\mu = 0.20$ $\beta = 0.01 \frac{rad}{m}$ $e = 2.72$ $L = 35.50m$

$\kappa = \beta \cdot \mu = 0.002 \cdot \frac{rad}{m}$ $n = 21$ $i = 1, 2 .. n$

$$S = 0cm, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 177.5 \\ 355 \\ 532.5 \\ 710 \\ 887.5 \\ 1065 \\ 1242.5 \\ 1420 \\ 1597.5 \\ 1775 \\ 1952.5 \\ 2130 \\ 2307.5 \\ 2485 \\ 2662.5 \\ 2840 \\ 3017.5 \\ 3195 \\ 3372.5 \\ 3550 \end{pmatrix} cm \qquad \Delta\alpha_{elevação} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1.94 \\ 0 \\ 0.51 \\ 0 \\ 0 \\ 1.72 \\ 3 \\ 0.45 \\ 0 \\ 0 \\ 0.85 \\ 1.47 \\ 1.13 \\ 0.2 \\ 1.41 \\ 0.7 \\ 0 \\ 1.44 \\ 1.4 \\ 6.21 \end{pmatrix} ° \qquad \Delta\alpha_{planta} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 4.43 \\ 3.39 \\ 3.39 \\ 3.39 \\ 3.39 \\ 3.39 \\ 3.39 \\ 3.39 \\ 3.39 \\ 3.39 \\ 3.39 \\ 3.39 \\ 3.39 \\ 3.39 \\ 3.39 \\ 3.39 \\ 0.47 \\ 0 \end{pmatrix} °$$

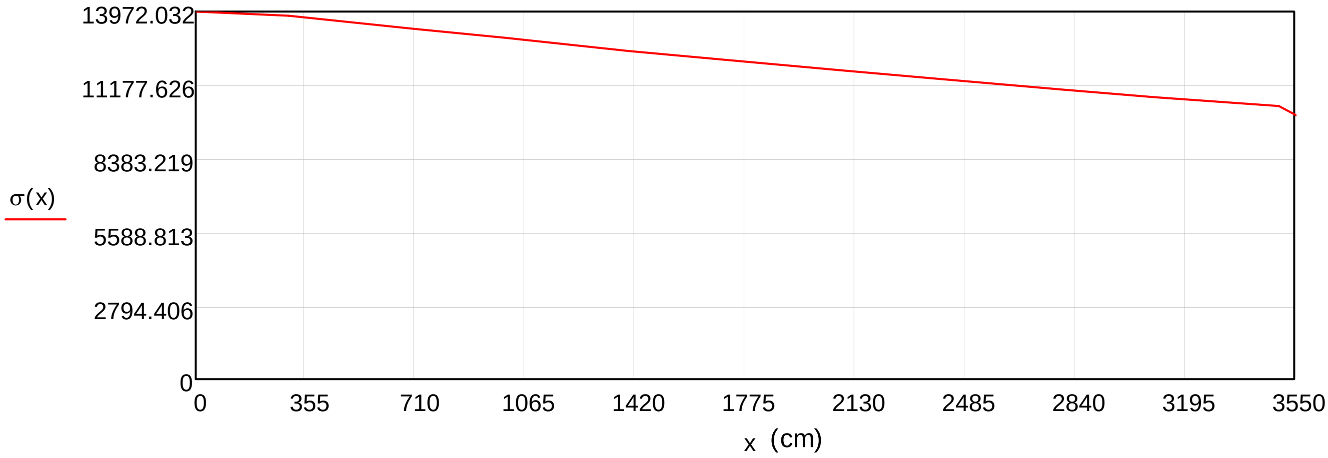
$$\alpha_i = \begin{cases} 0\text{rad} & \text{if } i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \sqrt{\left(\Delta\alpha_{elevação_i}\right)^2 + \left(\Delta\alpha_{planta_i}\right)^2} & \text{if } i > 1 \\ i \cdot \text{rad} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13972.03 \\ 13828.56 \\ 13779.55 \\ 13518.65 \\ 13312.28 \\ 13109.06 \\ 12890.42 \\ 12643.36 \\ 12449.06 \\ 12259.02 \\ 12071.88 \\ 11883.24 \\ 11689.38 \\ 11503.57 \\ 11327.73 \\ 11143.85 \\ 10970.99 \\ 10803.51 \\ 10627.71 \\ 10535.6 \\ 10273.14 \end{pmatrix} \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$a = \text{cspline}\left(S, \sigma_{esq}\right)$$

$$\sigma(x) = \text{interp}\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$$



$$\text{Área} = \int_0^L \sigma(x)\,dx \qquad \text{Área} = 430401.08 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$\sigma_m = \frac{\text{Área}}{L} \qquad \sigma_m = 12123.97 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$$L_{cabo} = 36.40m \qquad \text{Área}_{teórica\_aço} = 100.9 \cdot mm^2 \qquad E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$$

$$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot \text{Área}_{teórica\_aço} = 12.2 \cdot t$$

$$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 226 \cdot mm$$

VR2 - CÁLCULO DAS ARMADURAS DE FRETAGEM

a_0 = Área da placa de distribuição

d = Distância entre a face do concreto ao eixo da ancoragem

n = Número de ancoragens

$n = 10$

$F_{inicial} = 6 \cdot \sigma_1 \cdot Área_{teórica\_aço} = 829.51\,kN$

$a_0 = 18.5cm$

$d = 15cm$

$a_1 = 2 \cdot d = 30 \cdot cm$

$F = n \cdot F_{inicial} \cdot \cos(1°) = 8293.86\,kN$

$T = 0.25 \cdot F \cdot \left(1 - \frac{a_0}{a_1}\right) = 794.83\,kN$

$fyd = 43.48 \frac{kN}{cm^2}$

$As_1 = \frac{T}{fyd} = 18.28\,cm^2$

$As_{estribos} = \frac{As_1}{4} = 4.57\,cm^2$

$L = a_1 = 30\,cm$

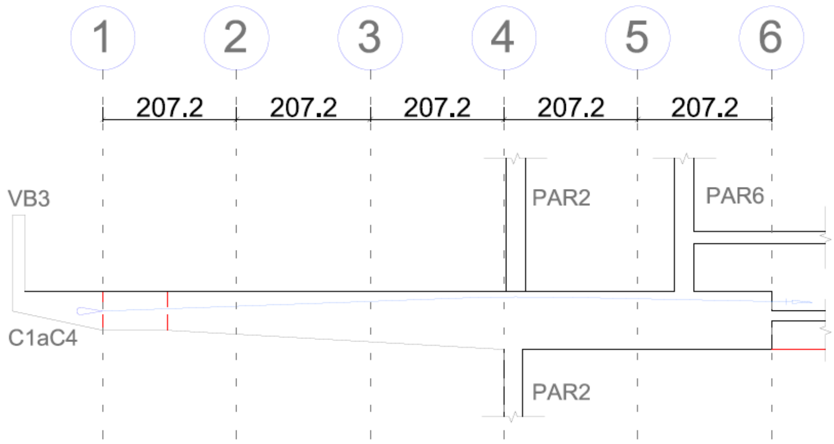
$bitola_{estribo} = 10mm$

$adotados = ceil\left(\frac{As_{estribos}}{bitola_{estribo}^{\;2}}\right) = 5$

Estribos duplos $adotados = 5$ ø10.0mm em cada trecho de ancoragem ativa e passiva distribuídos em $L = 30\,cm$

VR3 (RAMPA) - CABOS C1 a C4

CABOS C1=C2=C3=C4 (6ø12.7mm)



$t = \text{tonne}$

$\text{Área}_{\text{teórica\_aço}} = 100.9\text{mm}^2$ $\quad$ $\text{fptk} = \dfrac{187.3\text{kN}}{\text{Área}_{\text{teórica\_aço}}} = 1856.29\,\text{MPa}$ $\quad$ $\text{fpyk} = \dfrac{168.6\text{kN}}{\text{Área}_{\text{teórica\_aço}}} = 1670.96\,\text{MPa}$

$\sigma_{pi} = \min(0.74\cdot\text{fptk}, 0.82\cdot\text{fpyk}) = 1370.19\,\text{MPa}$

$\sigma_1 = \sigma_{pi} = 13972.03\cdot\dfrac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$ $\quad$ $\mu = 0.20$ $\quad$ $\beta = 0.01\dfrac{\text{rad}}{\text{m}}$ $\quad$ $e = 2.72$ $\quad$ $L = 10.36\text{m}$

$\kappa = \beta\cdot\mu = 0.002\cdot\dfrac{\text{rad}}{\text{m}}$ $\quad$ $n = 6$ $\quad$ $i = 1, 2 .. n$

$$S = 0\text{cm}, \frac{L}{n-1} .. L = \begin{pmatrix} 0 \\ 207.2 \\ 414.4 \\ 621.6 \\ 828.8 \\ 1036 \end{pmatrix}\text{cm} \qquad \Delta\alpha_{\text{elevação}} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1.65 \\ 1.6 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}°$$

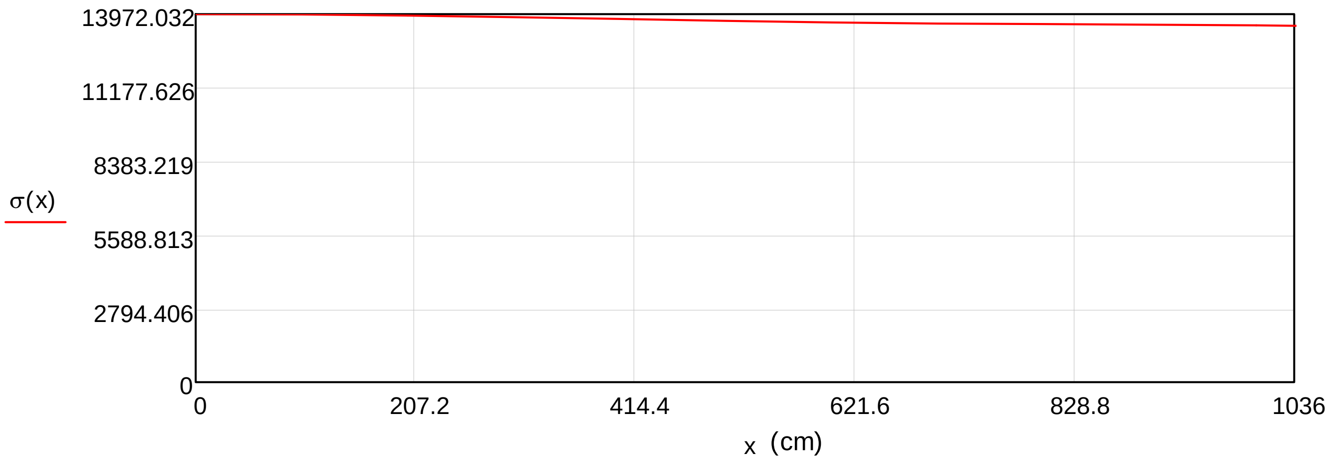
$$\alpha_i = \left| \begin{array}{ll} 0\text{rad} & \text{if } i = 1 \\ \alpha_{(i-1)} + \Delta\alpha_{\text{elevação}_i} & \text{if } i > 1 \\ i\cdot\text{rad} & \text{otherwise} \end{array} \right.$$

$$\sigma_{esq} = \sigma_1 \cdot e^{-(\mu \cdot \alpha + \kappa \cdot S)}$$

$$\sigma_{esq} = \begin{pmatrix} 13972.03 \\ 13914.25 \\ 13777.13 \\ 13643.74 \\ 13587.32 \\ 13531.13 \end{pmatrix} \cdot \frac{kgf}{cm^2}$$

$$a = cspline(S, \sigma_{esq})$$

$$\sigma(x) = interp\left(\frac{a}{g}, S, \frac{\sigma_{esq}}{g}, x\right)$$



$$Área = \int_0^L \sigma(x)\, dx \qquad Área = 142310.18 \cdot \frac{kg \cdot m}{cm^2}$$

$$\sigma_m = \frac{Área}{L} \qquad \sigma_m = 13736.5 \cdot \frac{kg}{cm^2}$$

$$L_{cabo} = 11.15m \qquad Área_{teórica\_aço} = 100.9 \cdot mm^2 \qquad E_{teórico\_aço} = 1950000 \frac{kg}{cm^2}$$

$$F_{média\_cabo} = \sigma_m \cdot Área_{teórica\_aço} = 13.9 \cdot t$$

$$\Delta L_{teórico} = \frac{(\sigma_m) \cdot (L_{cabo})}{E_{teórico\_aço}} = 79 \cdot mm$$

VR3 - CÁLCULO DAS ARMADURAS DE FRETAGEM

a_0 = Área da placa de distribuição

d = Distância entre a face do concreto ao eixo da ancoragem

n = Número de ancoragens

$n = 4$

$F_{inicial} = 6 \cdot \sigma_1 \cdot Área_{teórica\_aço} = 829.51\,kN$

$a_0 = 18.5cm$

$d = 30cm$

$a_1 = 2 \cdot d = 60 \cdot cm$

$F = n \cdot F_{inicial} \cdot \cos(1°) = 3317.54\,kN$

$T = 0.25 \cdot F \cdot \left(1 - \dfrac{a_0}{a_1}\right) = 573.66\,kN$

$fyd = 43.48\,\dfrac{kN}{cm^2}$

$As_1 = \dfrac{T}{fyd} = 13.19\,cm^2$

$As_{estribos} = \dfrac{As_1}{4} = 3.3\,cm^2$

$L = a_1 = 60\,cm$

$bitola_{estribo} = 8mm$

$adotados = ceil\left(\dfrac{As_{estribos}}{bitola_{estribo}^{\,2}}\right) = 6$

Estribos duplos $adotados = 6$ ø8.0mm em cada trecho de ancoragem ativa e passiva distribuídos em $L = 60\,cm$