

Momento do Cabo

O objetivo do momento do cabo é dar ao projetista uma boa referência quanto ao nível de tensões resultantes na seção (protensão + carga atuante), facilitando assim anular as tensões na borda inicialmente tracionada através de um correto posicionamento dos cabos de protensão.

É importante salientar que na formulação do momento do cabo existe tanto a parcela isostática ($F_p * e$) como a parcela da normal ($F_p * \frac{W}{S}$). Para evitar confusões, a fórmula foi resumidamente colocada na legenda.

Dadas as seguintes convenções:

M_f » momento fletor atuante, por metro, do carregamento em estudo (ATOPRO, CFREQ,...). (+) Tração em baixo.

F_p » Força total, por metro, de protensão na seção. (+) Compressão.

e » Excentricidade do cabo de protensão. (+) Acima da LN.

M_H » Momento hiperestático, por metro, atuante na seção. (+) Tração em baixo.

γ_f » Coeficiente de majoração dos esforços atuantes.

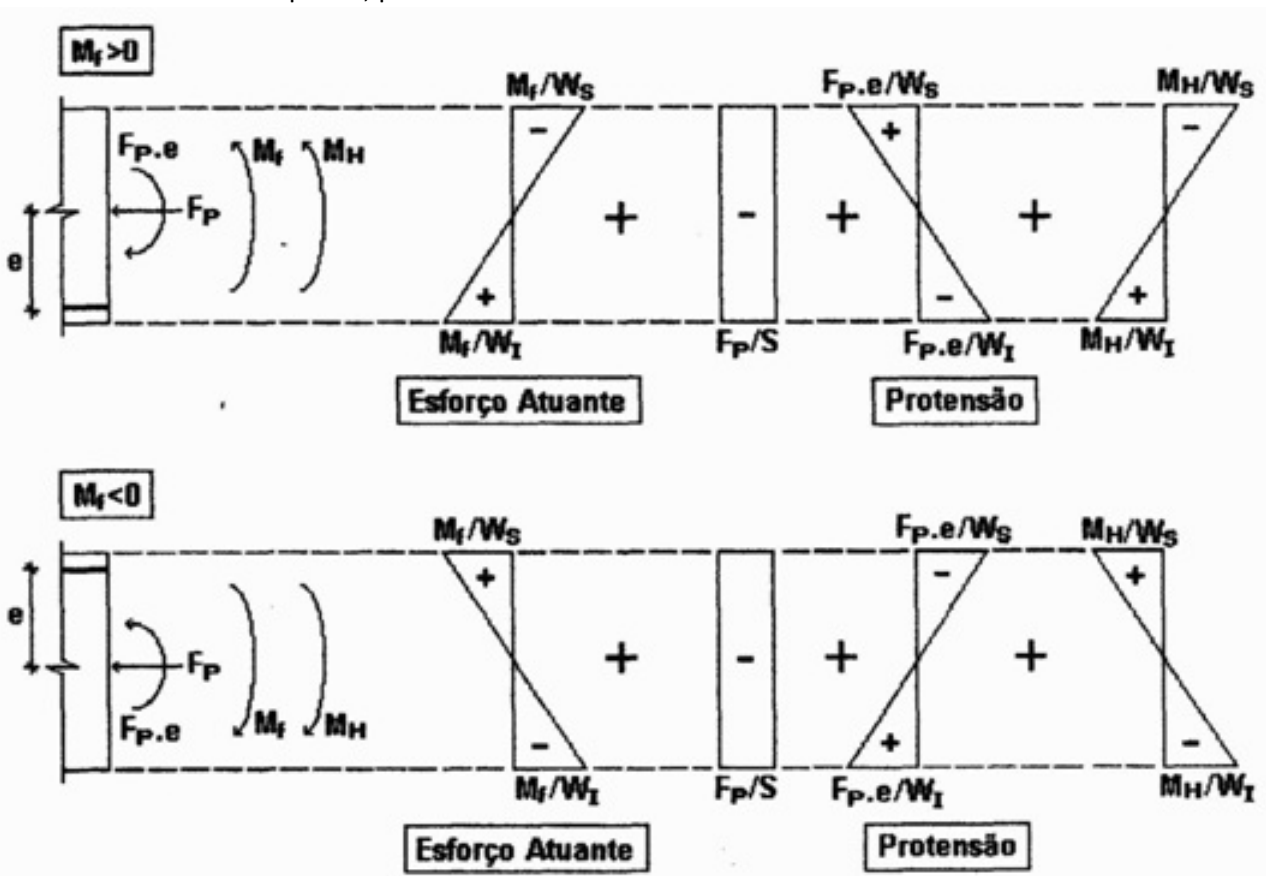
γ_p » Coeficiente de majoração das forças de protensão.

γ_H » Coeficiente de minoração/majoração dos esforços hiperestáticos favoráveis/desfavoráveis.

S » Área, por metro, da seção.

W_I » Módulo de resistência inferior, por metro.

W_S » Módulo de resistência superior, por metro.



As fórmulas para cálculo das tensões válidas para ambas as situações são:

$$\sigma_S = -(M_f/W_S) \cdot \gamma_f + (-F_P/S - F_P \cdot e/W_S) \cdot \gamma_P - (M_H/W_S) \cdot \gamma_H$$

$$\sigma_I = +(M_f/W_I) \cdot \gamma_f + (-F_P/S + F_P \cdot e/W_I) \cdot \gamma_P + (M_H/W_S) \cdot \gamma_H$$

Cálculo do Momento do Cabo para cada uma das situações:

a) $M_f > 0$ » Objetivo: Zerar tensões de tração inferiores.

$$\sigma_I = +(M_f/W_I) \cdot \gamma_f + (-F_P/S + F_P \cdot e/W_I) \cdot \gamma_P + (M_H/W_I) \cdot \gamma_H$$

$$0 = +(M_f/W_I) \cdot \gamma_f + (-F_P/S + F_P \cdot e/W_I) \cdot \gamma_P + (M_H/W_I) \cdot \gamma_H \times [W_I/\gamma_f]$$

$$0 = + \boxed{M_f} + \boxed{(-F_P \cdot W_I/S + F_P \cdot e) \cdot \frac{\gamma_P}{\gamma_f}} + \boxed{\frac{M_H \cdot \gamma_H}{\gamma_f}}$$

$M_{ATUANTE}$
 M_{CABO}
 M_{HIPER}

b) $M_f < 0$ » Objetivo: Zerar tensões de tração superiores.

$$\sigma_S = -(M_f/W_S) \cdot \gamma_f + (-F_P/S - F_P \cdot e/W_S) \cdot \gamma_P - (M_H/W_S) \cdot \gamma_H$$

$$0 = -(M_f/W_S) \cdot \gamma_f + (-F_P/S - F_P \cdot e/W_S) \cdot \gamma_P - (M_H/W_S) \cdot \gamma_H \times [W_S/\gamma_f]$$

$$0 = \boxed{+M_f} + \boxed{(+F_P \cdot W_S/S + F_P \cdot e) \cdot \frac{\gamma_P}{\gamma_f}} + \boxed{+M_H \cdot \frac{\gamma_H}{\gamma_f}}$$

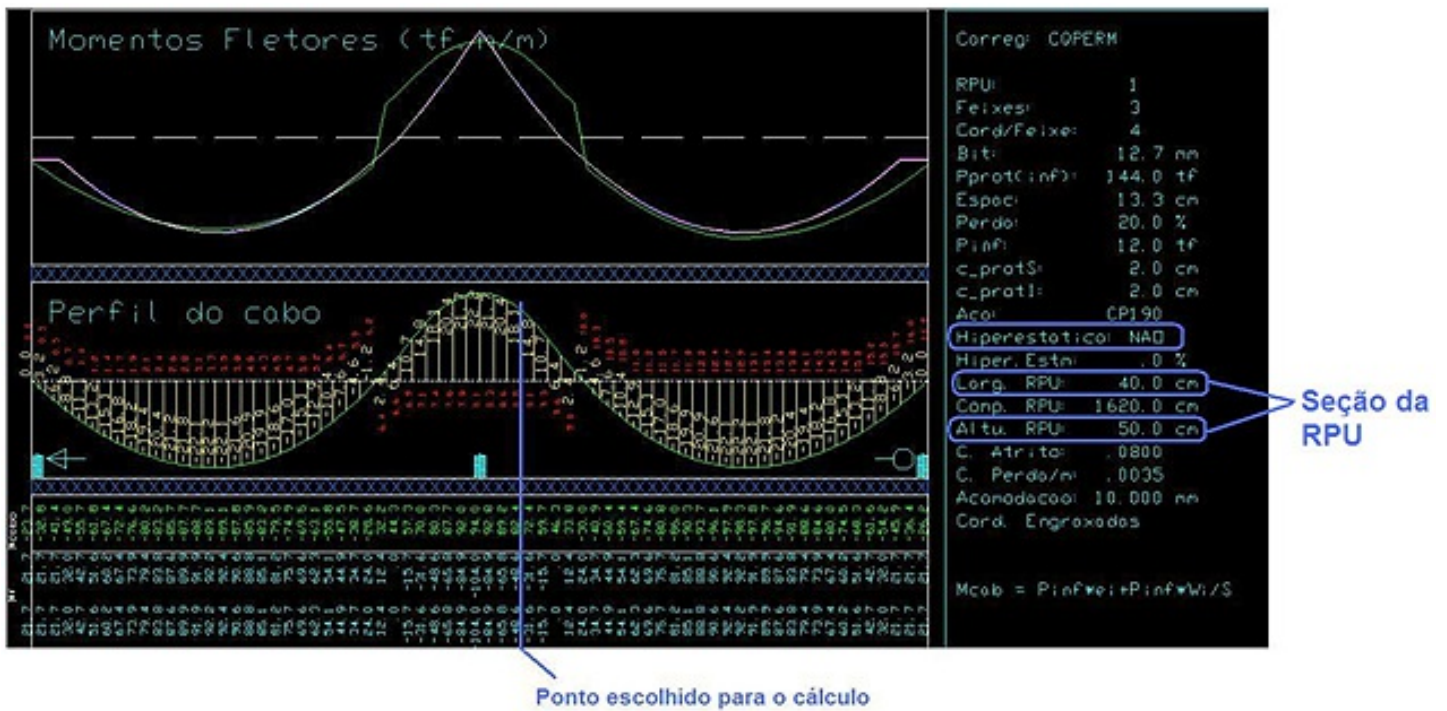
$M_{ATUANTE}$
 M_{CABO}
 M_{HIPER}

Note que a fórmula apresentada na legenda do programa para o momento do cabo é exatamente a anterior com $\gamma_p = \gamma_f = 1,0$ (CQPERM).

Outra conclusão que podemos chegar diretamente através das fórmulas anteriores é a seguinte: se a laje está com o hiperestático calculado, mesmo que você iguale o momento do cabo com o momento atuante, as tensões não ficarão zeradas.

No caso contrário, isto é, com a laje ainda sem hiperestático, as tensões sempre anularão nos pontos onde o momento do cabo for igual ao momento atuante correspondente.

A seguir o cálculo do momento do cabo em um determinado ponto de um perfil.



Observe que o M_f é menor que "0":



Portanto a formulação será:

$$\sigma_s = -(M_f/W_s) \cdot \gamma_f + (-F_p/S - F_p \cdot e/W_s) \cdot \gamma_p - (M_H/W_s) \cdot \gamma_H$$

$$0 = -(M_f/W_s) \cdot \gamma_f + (-F_p/S - F_p \cdot e/W_s) \cdot \gamma_p - (M_H/W_s) \cdot \gamma_H \quad \times [W_s/\gamma_f]$$

$$0 = \boxed{+M_f} + \boxed{(+F_p \cdot W_s/S + F_p \cdot e) \cdot \frac{\gamma_p}{\gamma_f}} + \cancel{\boxed{+M_H \cdot \frac{\gamma_H}{\gamma_f}}}$$

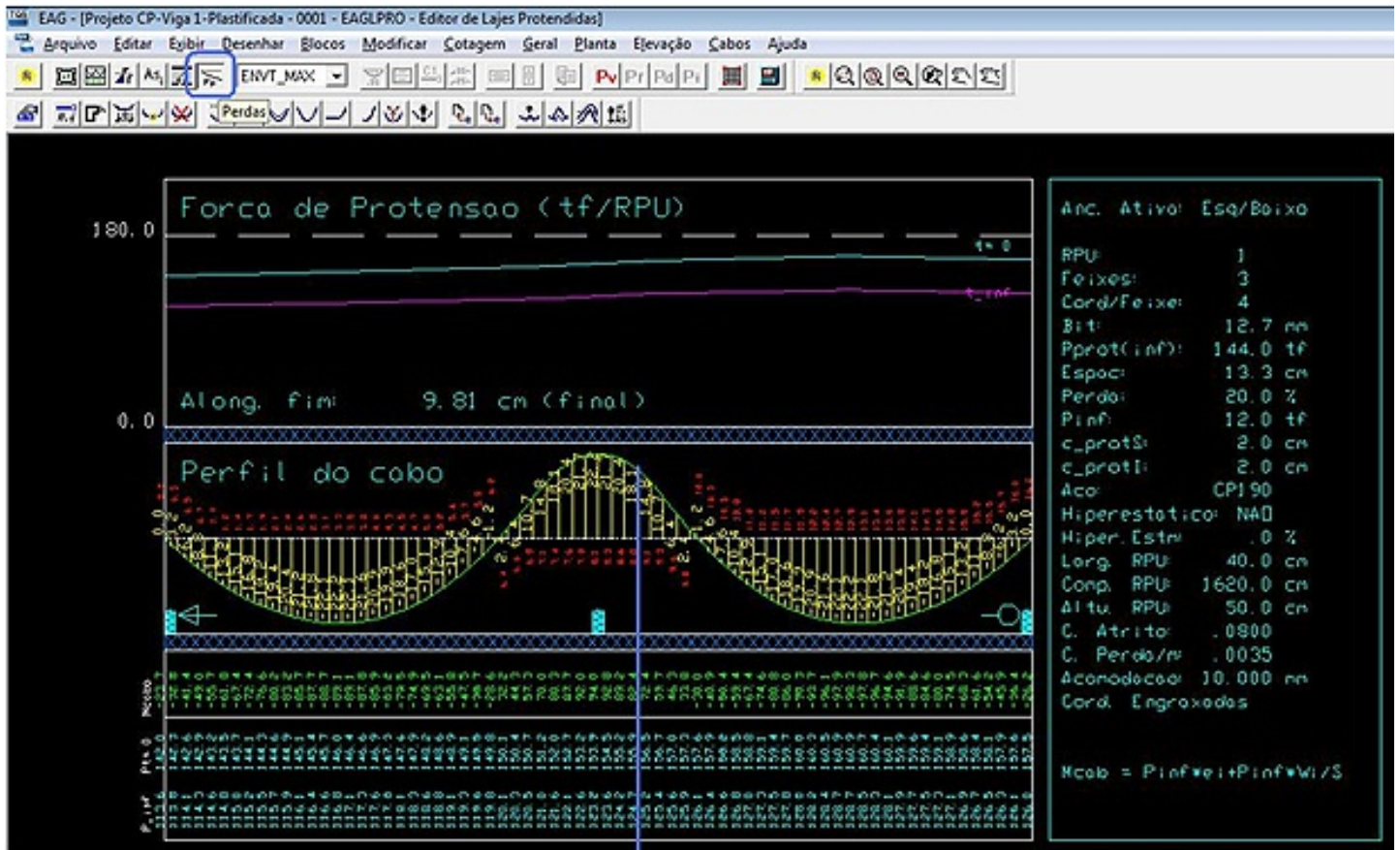
M_{ATUANTE} M_{CABO} M_{HIPER}

Desconsiderado, pois não foi processado o hiperestático

Resumindo:

$$M_{cabo} = \left(P_{inf} \times e + P_{inf} \times \frac{W_i}{S} \right) \div \text{largura da RPU}$$

Para pegar os dados da fórmula, basta entrar no perfil do cabo de Força de Protensão:



Cálculo de W_i e S (lembrando que são por metro):

$$W_i = \frac{I}{y} = \left(\frac{b \times h^3}{12 \times y} \right) \div \text{largura da RPU} = \left(\frac{40 \times 50^3}{12 \times 25} \right) \div 0,4 = 41666,7 \text{ cm}^3/\text{m}$$

$$S = (b \times h) \div \text{largura da RPU} = (40 \times 50) \div 0,4 = 5000 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Obs.: Esses valores podem ser conferidos no próprio Editor de lajes protendidas:



Clique duas vezes no ponto do perfil.

Dados de seção retangular OK Cancelar

À altura da seção deve ser fornecida em cm.

Vão para cálculo de acréscimo de tensões (cm):

Propriedades geométricas da seção

Posição do CG em relação a face inferior (ycg):	25.00 cm
Área (S):	5000.0 cm ² /m
Inércia (I):	1041666.7 cm ⁴ /m
Módulo de resistência superior (W _s):	41666.7 cm ³ /m
Módulo de resistência inferior (W _i):	41666.7 cm ³ /m

Outros dados:

Porcentagem na RTE:	100.0 %
Largura equivalente:	40.00 cm

-> Alterar p/ seção T ou l...

$$M_{cabo} = \left(124,7 \times 18,1 + 124,7 \times \frac{41666,7}{5000} \right) \div 0,4 = 8240 \text{ tf.cm/m} \rightarrow$$

$$M_{cabo} = 82,4 \text{ tf.m/m}$$