

Concreto Protendido

- vantagens e desvantagens do CP
- aplicações do CP
- materiais e sistemas de protensão
- níveis de protensão (classes e tipos)
- combinações das ações para ELS
- tipos de protensão

Vantagens do CP

- **emprego de aços de alta resistência**
constitui uma necessidade para a efetivação do concreto protendido (por causa das perdas progressivas), e elimina as fissuras.
- **eliminação das tensões de tração**
havendo necessidade, consegue-se eliminar as tensões de tração, portanto, a fissuração do concreto, constituindo-se um meio eficiente de controle de abertura de fissuras quando estas forem permitidas.
- **redução das dimensões da seção transversal**
aços de alta resistência associado a concretos de maior resistência permite redução das dimensões da seção transversal com redução substancial do peso próprio - estruturas mais leves que permitem vencer maiores vãos.
- **diminuição da flecha**
eliminando as seções fissuradas, reduz-se a flecha por eliminar a queda de rigidez a flexão correspondente à seção fissurada.
- **desenvolvimento de métodos construtivos**
criação de sistemas construtivos diversos: balanço sucessivos, pré-moldados e etc.

Desvantagens do CP

(e problemas com a armadura ativa)

- **corrosão do aço de protensão**
além da corrosão eletrolítica (CA), há a corrosão sob tensão (stress-corrosion) fragilizando a seção da armadura, além de propiciar a ruptura frágil, por este motivo à armadura protendida **deve ser muito protegida**
- **perdas de protensão**
são todas as perdas verificadas nos esforços aplicados nos cabos de protensão:
imediatas: *atrito, encunhamento e encurtamento do concreto;*
progressivas: *fluência e retração (concreto) e relaxação (aço).*
- **qualidade da injeção de nata nas bainhas e da capa engraxada nas cordoalhas engraxadas**
- **forças altas nas ancoragens**
- **controle de execução mais rigoroso**
- **cuidados especiais em estruturas hiperestáticas**

Aplicações da protensão

- vigas mais esbeltas



- lajes com maiores vãos



Aplicações da protensão

- pontes estaiadas



- arcos



Aplicações da protensão

- reservatórios

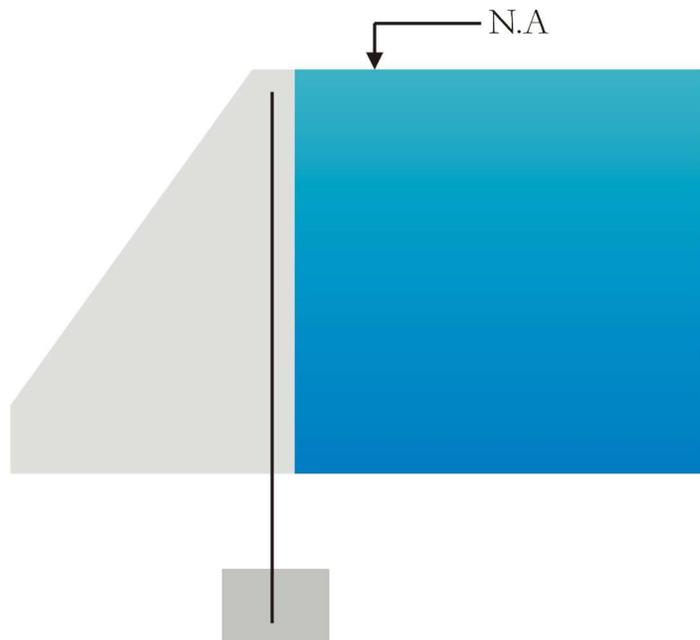


- obras marítimas
ambiente agressivo –
concreto pouco permeável

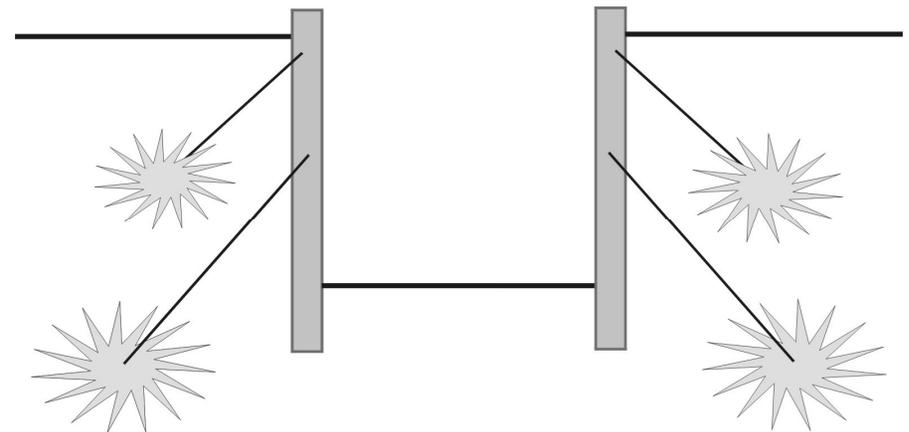


Aplicações da protensão

- barragens



- estruturas de contenção



Materiais e Sistemas de Protensão

- **Elementos de concreto protendido**

“Aqueles nos quais partes das armaduras são previamente alongadas por equipamentos especiais de protensão com a finalidade de, em condições de serviço, impedir ou limitar a fissuração e os deslocamentos da estrutura e propiciar o melhor aproveitamento de aços de alta resistência no ELU”.

f_{ck} - 25 MPa a 50 MPa.

as forças de protensão são obtidas utilizando-se armaduras de alta resistência chamadas **armaduras de protensão** ou **armaduras ativas**.

f_{ptk} - 1500 MPa a 1900 MPa

Materiais e Sistemas de Protensão

• Armadura de protensão

aquela constituída por **barras**, por **fios isolados**, ou por **cordoalhas** destinada à produção de forças de protensão, isto é, na qual se aplica um pré-alongamento inicial.

o elemento unitário da armadura ativa pode ser denominado **cabo**, qualquer que seja seu tipo (*fio, barra, cordoalha* ou *feixe*)

- **barras - $\phi 32$ mm - Dywidag (típica)**

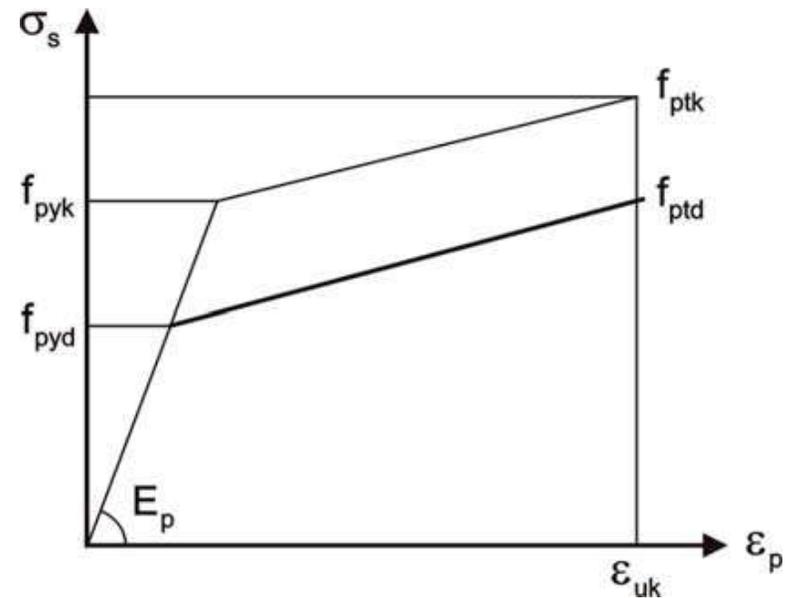
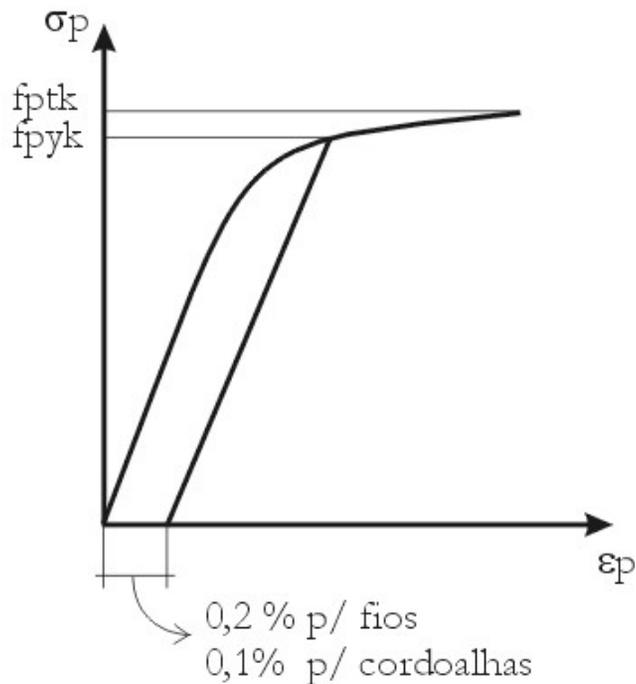
- **fios (NBR 7482) – 2 a 8 mm**

- **cordoalhas (NBR 7483) - $\phi 9,5$; 12,7; 15,2 mm**



Materiais e Sistemas de Protensão

• Armadura de protensão

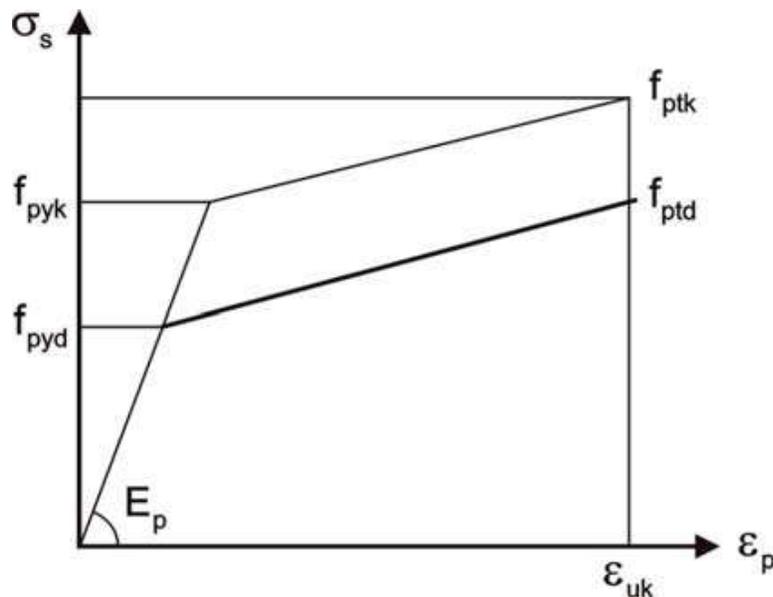


▪ f_{ptk} – resistência característica de ruptura

▪ f_{pyk} – resistência característica de escoamento, equivalente à tensão que conduz a uma deformação permanente de 2‰ fios e a 1‰ nas cordoalhas.

Materiais e Sistemas de Protensão

• Armadura de protensão



▪ **relaxação** – perda de tensão sob deformação constante

▪ **RN** – relaxação normal ($\Delta\sigma_{pr} \leq 12 \% \sigma_{pi}$)
 $f_{pyk} = 0,85 f_{ptk}$

▪ **RB** – relaxação baixa ($\Delta\sigma_{pr} \leq 3,5 \% \sigma_{pi}$)
 $f_{pyk} = 0,90 f_{ptk}$

▪ cabos de protensão

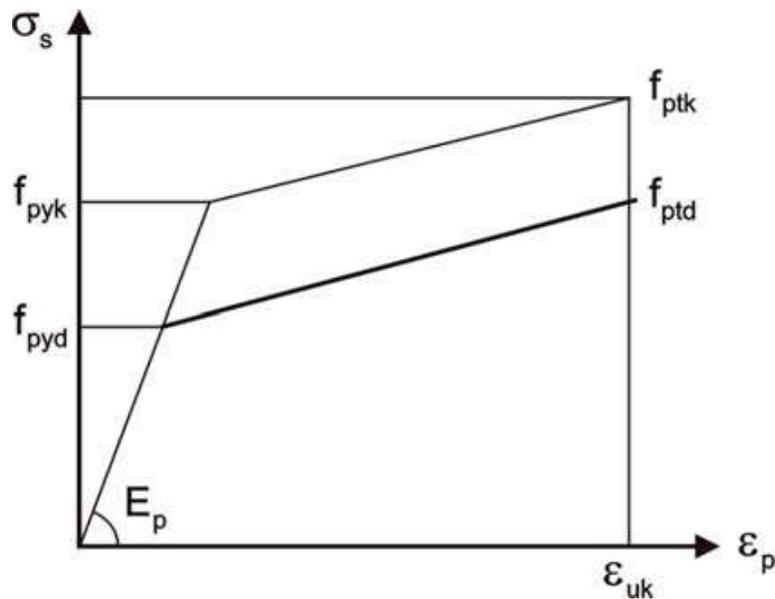
constituídos por um feixe de fios ou cordoalhas
- cabos de 6 cordoalhas de $\phi 12,7\text{mm}$
- cabos de 12 cordoalhas de $\phi 15,2\text{mm}$

▪ armadura passiva

“qualquer armadura que não seja usada para produzir forças de protensão, isto é, que não seja previamente alongada.” – (NBR7840)

Materiais e Sistemas de Protensão

- Armadura de protensão



$E_p = 195 \text{ GPa}$

aço para concreto protendido

relaxação baixa – RB ou RN

CP 170 RB L

$f_{ptk} \text{ (kN/cm}^2\text{)}$

L – fio liso
E – fio entalhe

Materiais e Sistemas de Protensão

• Armadura de protensão

FIOS	DIÂMETRO NOMINAL (mm)	ÁREA APROX. (mm ²)	ÁREA MÍNIMA (mm ²)	MASSA APROX. (kg/km)	TENSÃO MÍNIMA DE RUPTURA		TENSÃO MÍNIMA A 1% DE ALONGAMENTO		ALONG. APÓS RUPTURA (%)
					(MPa)	(Kgf/mm ²)	(MPa)	(kgf/mm ²)	
CP 145RBL	9,0	63,6	62,9	500	1.450	145	1.310	131	6,0
CP 150RBL	8,0	50,3	49,6	394	1.500	150	1.350	135	6,0
CP 170RBE	7,0	38,5	37,9	302	1.700	170	1.530	153	5,0
CP 170RBL	7,0	38,5	37,9	302	1.700	170	1.530	153	5,0
CP 170RNE	7,0	38,5	37,9	302	1.700	170	1.450	145	5,0
CP 175RBE	4,0	12,6	12,3	99	1.750	175	1.580	158	5,0
CP 175RBE	5,0	19,6	19,2	154	1.750	175	1.580	158	5,0
CP 175RBE	6,0	28,3	27,8	222	1.750	175	1.580	158	5,0
CP 175RBL	5,0	19,6	19,2	154	1.750	175	1.580	158	5,0
CP 175RBL	6,0	28,3	27,8	222	1.750	175	1.580	158	5,0
CP 175RNE	4,0	12,6	12,3	99	1.750	175	1.490	149	5,0
CP 175RNE	5,0	19,6	19,2	154	1.750	175	1.490	149	5,0
CP 175RNE	6,0	28,3	27,8	222	1.750	175	1.490	149	5,0

Tabela - Características físicas e mecânicas de fios produzidos pela Belgo Mineira

Materiais e Sistemas de Protensão

• Armadura de protensão

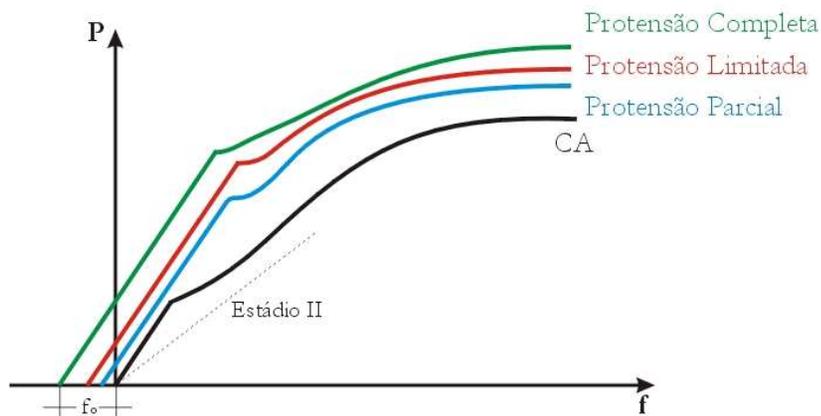
CORDOALHAS	DIÂMNO	ÁREA	ÁREA	MASSA	CARGA MÍNIMA DE		CARGA MÍNIMA A 1%	ALONG.	
	M.	APROX.	MÍNIMA	APROX.	RUPTURA	DE ALONGAMENTO	APÓS RUPT.		
	(mm)	(mm ²)	(mm ²)	(kg/km)	(kN)	(kgf)	(kN)	(kgf)	(%)
CORD CP 190 RB 3x3,0	6,5	21,8	21,5	171	40,8	4.080	36,7	3.670	3,5
CORD CP 190 RB 3x3,5	7,6	30,3	30,0	238	57,0	5.700	51,3	5.130	3,5
CORD CP 190 RB 3x4,0	8,8	39,6	39,4	312	74,8	7.480	67,3	6.730	3,5
CORD CP 190 RB 3x4,5	9,6	46,5	46,2	366	87,7	8.770	78,9	7.890	3,5
CORD CP 190 RB 3x5,0	11,1	66,5	65,7	520	124,8	12.480	112,3	11.230	3,5
CORD CP 190 RB 7	6,4*	26,5	26,2	210	49,7	4.970	44,7	4.470	3,5
CORD CP 190 RB 7	7,9*	39,6	39,3	313	74,6	7.460	67,1	6.710	3,5
CORD CP 190 RB 7	9,5	55,5	54,8	441	104,3	10.430	93,9	9.390	3,5
CORD CP 190 RB 7	11,0	75,5	74,2	590	140,6	14.060	126,5	12.650	3,5
CORD CP 190 RB 7	12,7	101,4	98,7	792	187,3	18.730	168,6	16.860	3,5
CORD CP 190 RB 7	15,2	143,5	140,0	1.126	265,8	26.580	239,2	23.920	3,5

Tabela - Características físicas e mecânicas das cordoalhas produzidas pela Belgo Mineira

Níveis de Protensão

“ Os níveis de protensão estão relacionados com os níveis de intensidade da *força de protensão*, que por sua vez é função da *proporção de armadura ativa utilizada em relação à passiva* ”.

- **Nível 1** – Protensão **Completa**
- **Nível 2** – Protensão **Limitada**
- **Nível 3** – Protensão **Parcial**

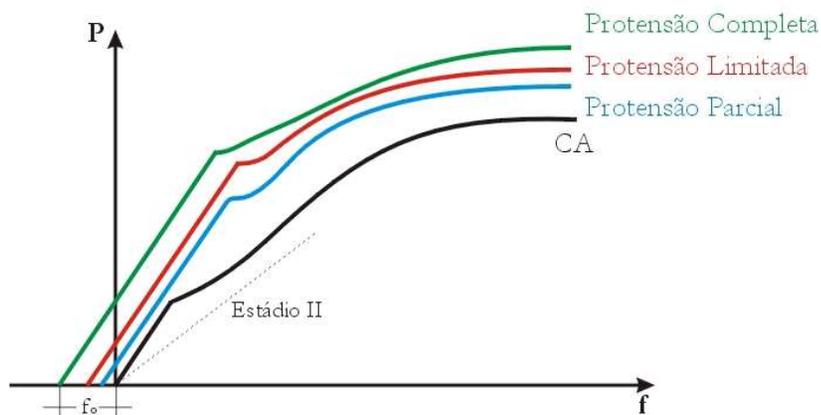


A escolha se dá em função da:

- **agressividade do ½ ambiente**
- **limites para a sua utilização (ELS)**

AGRESSIVIDADE DO ½ AMBIENTE

- **Nível 1 – Muito Agressivo (Protensão Completa)**
ambientes marinhos, contato com o solo ou gases agressivos;
- **Nível 2 – Pouco Agressivo (Protensão Limitada)**
interior de edifícios com alta UR, exposição à intempéries, água corrente;
- **Nível 3 – Não Agressivo (Protensão Parcial)**
interior de edifícios com baixa UR e estruturas protegidas.

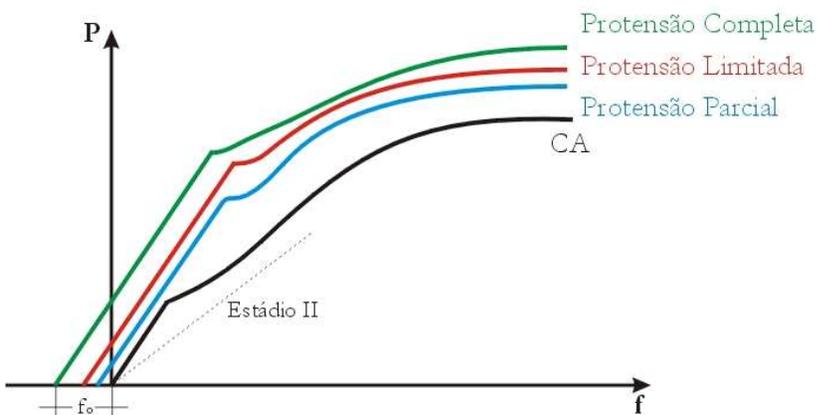


A escolha se dá em função da:

- **agressividade do ½ ambiente**
- **limites para a sua utilização (ELS)**

ELS – Estado Limite de Utilização

- **ELSD – Estado Limite de Descompressão** ($\sigma_{ct} \leq 0$)
(não há tração na seção)
- **ELSF – Estado Limite de Formação de Fissuras** ($\sigma_{ct} \leq f_{ctm}$)
(não há formação de fissuras)
- **ELSW – Estado Limite de Abertura de Fissuras** ($\sigma_{ct} \geq f_{ctm}$)
(há formação de fissuras – $\omega \leq \omega_{lim}$)

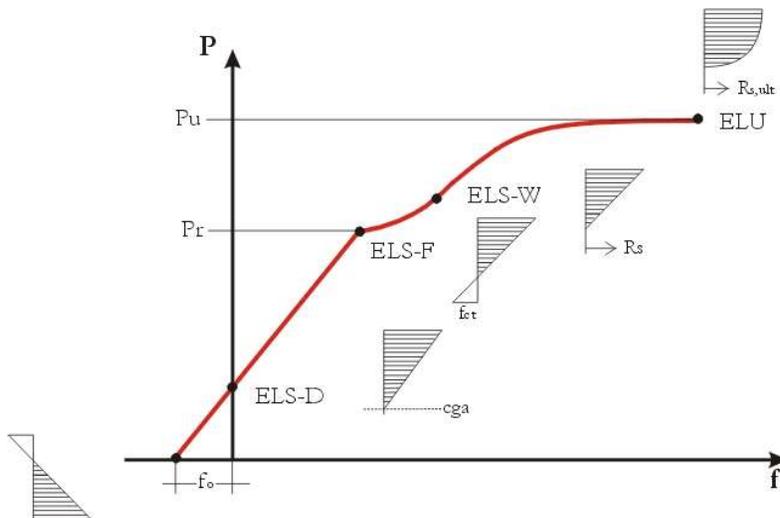


A escolha se dá em função da:

- **agressividade do ½ ambiente**
- **limites para a sua utilização (ELS)**

ELS – Estado Limite de Utilização

- **ELSD – Estado Limite de Descompressão** ($\sigma_{ct} \leq 0$)
(não há tração na seção)
- **ELSF – Estado Limite de Formação de Fissuras** ($\sigma_{ct} \leq f_{ctm}$)
(não há formação de fissuras)
- **ELSW – Estado Limite de Abertura de Fissuras** ($\sigma_{ct} \geq f_{ctm}$)
(há formação de fissuras – $\omega \leq \omega_{lim}$)



TIPOS DE PROTENSÃO

TIPO DE PROTENSÃO	COMBINAÇÕES DE CARREGAMENTO		
	CQP	CF	CR
COMPLETA		ELSD	ELSF
LIMITADA	ELSD	ELSF	
PARCIAL	ELSD	ELSW	

Combinações de Carregamento - ELS

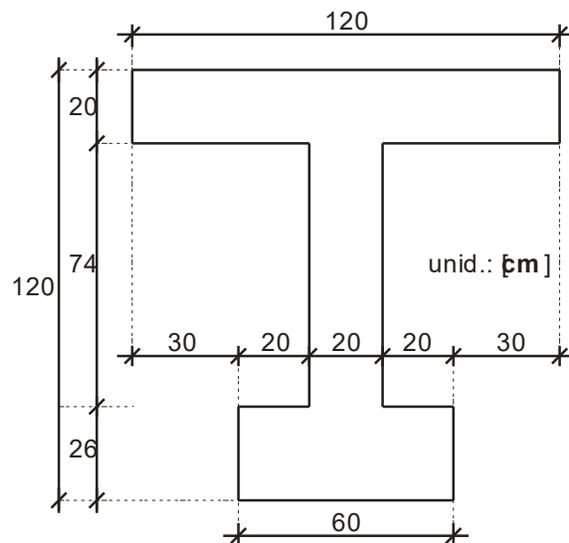
$$\text{CR (rara)} - F_d = F_{gk} + F_{pk} + F_{q1k} + 0,7 \cdot \Sigma F_{qik} + F_{(cc+cs+te)}$$

$$\text{CF (frequente)} - F_d = F_{gk} + F_{pk} + \gamma_{q1} \cdot F_{q1k} + 0,4 \cdot \Sigma F_{qik} + F_{(cc+cs+te)}$$

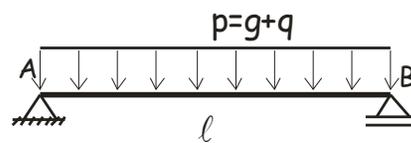
$$\text{CQP (quase-permanente)} - F_d = F_{gk} + F_{pk} + 0,4 \cdot \Sigma F_{qik} + F_{(cc+cs+te)}$$

EXEMPLO

Determinar a força de protensão necessária para a viga indicada abaixo.



seção transversal



$M_g = 3000 \text{ kN.m}$
 $M_q = 1500 \text{ kN.m}$
(momentos $\frac{1}{2}$ vão)

Sistema de Pós-Tração.

Ambiente Pouco-Agressivo \Rightarrow Protensão Limitada

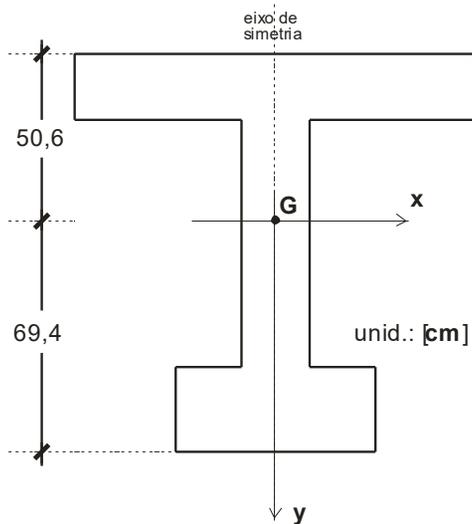
Edifício público

Materiais:

concreto - **C30** ($f_{ck} = 30 \text{ MPa}$)

aço - **CP190RB** ($f_{ptk} = 190 \text{ kN/cm}^2$) – cordoalha 7fios

EXEMPLO



seção transversal

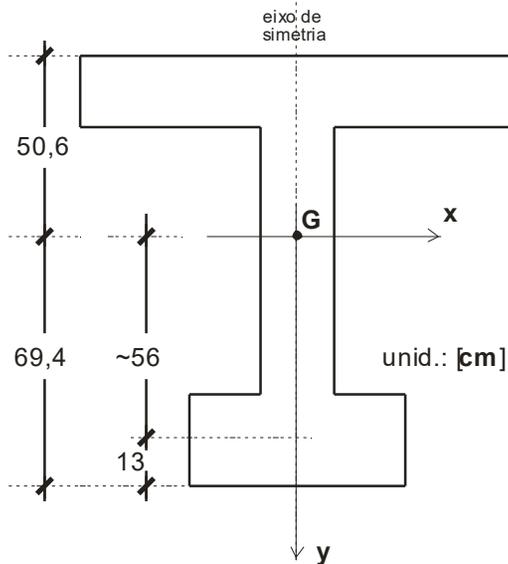
▪ características geométricas

$$A = 0,544 \text{ m}^2, y_i = 69.4 \text{ cm}, y_s = 50.6 \text{ cm}$$

$$I_x = I_y = 0,09822 \text{ m}^4 \Rightarrow W_i = + 0,1415 \text{ m}^3$$

$$W_s = - 0,194 \text{ m}^3$$

EXEMPLO



seção transversal

▪ protensão limitada – ELS

- **CF – ELS-F** : $\sigma_i \leq \alpha f_{ctk,inf} = 1,3 \times 0,21 \times f_{ck}^{2/3} = 2,63 \text{ MPa}$
combinação frequente – *formação de fissuras*

$$M_{d,ser} = M_g + 0.6 M_q = 3000 + 0.6 \times 1500 = 3900 \text{ kN.m}$$

$$\sigma_i = \frac{M_{d,ser}}{W_i} + P \left(\frac{1}{A} + \frac{e_p}{W_i} \right)$$

- **CQP – ELS-D** : $\sigma_i \leq 0$

combinação quase-permanente – *descompressão*

$$M_{d,ser} = M_g + 0.4 M_q = 3000 + 0.4 \times 1500 = 3600 \text{ kN.m}$$

$$\sigma_i = \frac{M_{d,ser}}{W_i} + P \left(\frac{1}{A} + \frac{e_p}{W_i} \right)$$

$$\sigma_i = \frac{3900}{0,1415} + P \left(\frac{1}{0,544} + \frac{0,564}{0,1415} \right) \leq 2630 \text{ kPa} \rightarrow P \leq -4280 \text{ kN}$$

$$\sigma_i = \frac{3600}{0,1415} + P \left(\frac{1}{0,544} + \frac{0,564}{0,1415} \right) \leq 0 \rightarrow P \leq -4368 \text{ kN}$$

Força de protensão:

$$F = 4368 \text{ kN}$$