



POLI USP

PEF 3523

TÓPICOS ESPECIAIS EM PONTES

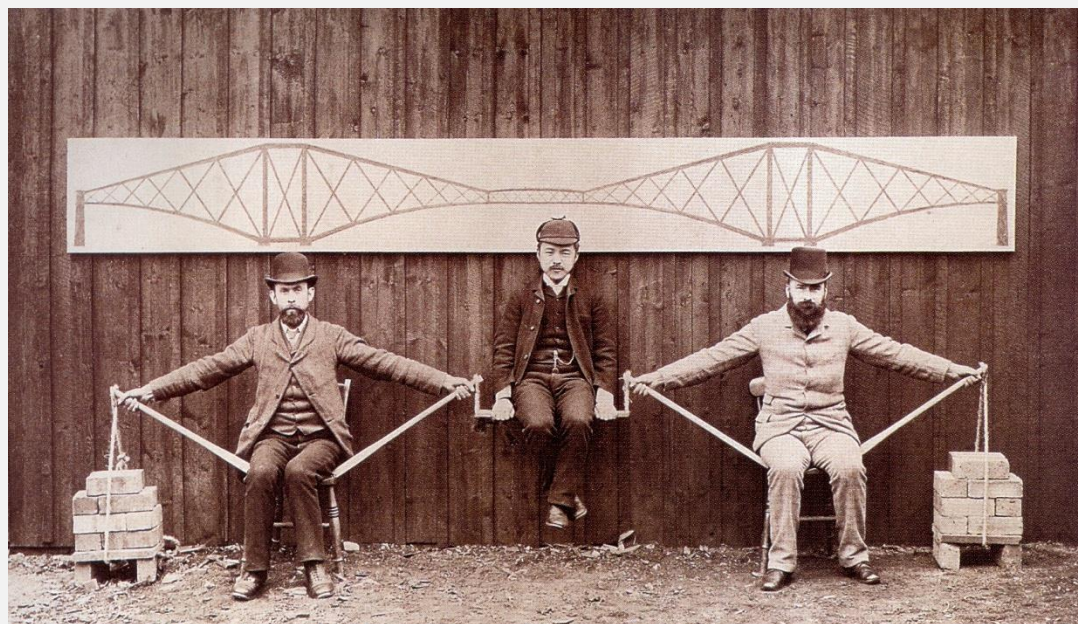
Rui Nobhiro Oyamada

PEF - Engenharia de Estruturas e Geotécnica

2021

Moodle USP

<https://edisciplinas.usp.br/>



FORTH BRIDGE – Edinburgh - Scotland

- Disposições construtivas gerais das armaduras de protensão
 - Introdução
 - Processo de Protensão
 - Armadura de protensão
 - Cabos de protensão
 - Ancoragens
 - Espaçamentos e proteção das armaduras ativas
 - Arranjos das ancoragens



- Peça de Concreto Protendido (segundo a NBR 7197)

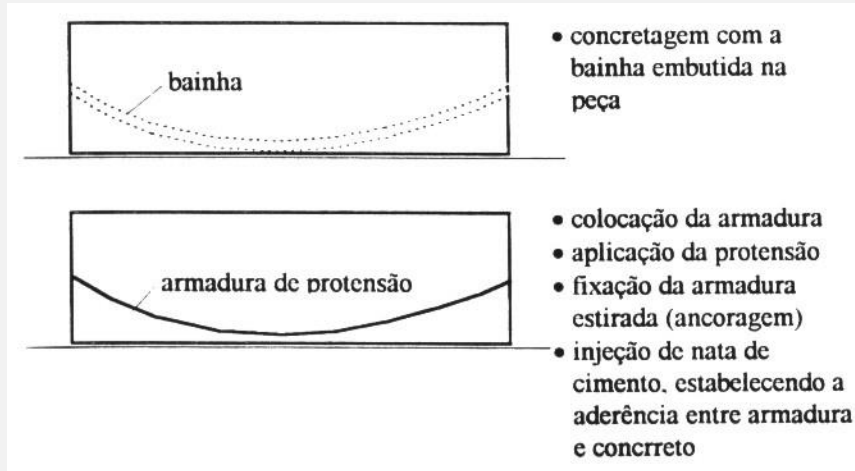
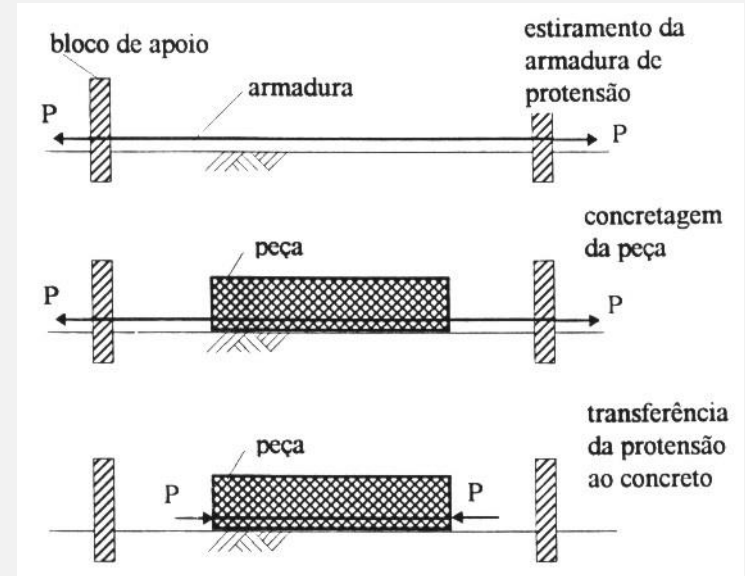
Aquela que é submetida à ação de um sistema de forças especial e permanentemente aplicado, chamado de forças de protensão e tais que, quando a peça é submetida à ação simultânea desse sistema de forças, das cargas permanentes, acidentais e de outros agentes, seu concreto não seja solicitado à tração ou só o seja dentro dos limites admissíveis (limitação da fissuração do concreto).

O f_{ck} do concreto varia de 25 a 50 MPa.

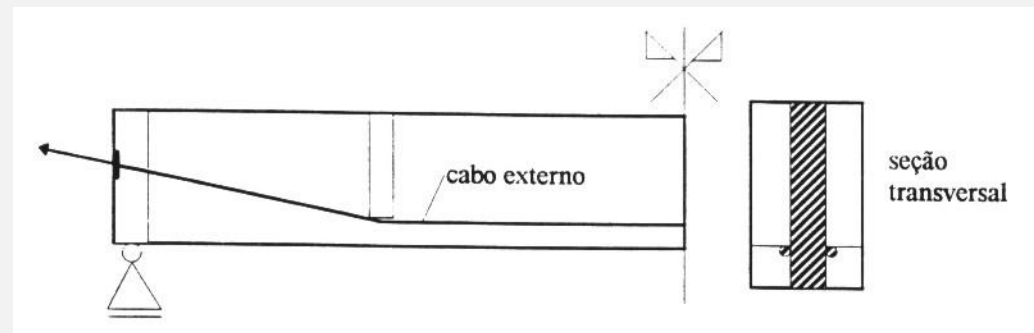
Normalmente as forças de protensão são obtidas utilizando-se armaduras alta resistência chamadas armaduras de protensão com f_{ptk} variando de 1900 a 2100 MPa

Introdução

- CP com aderência inicial

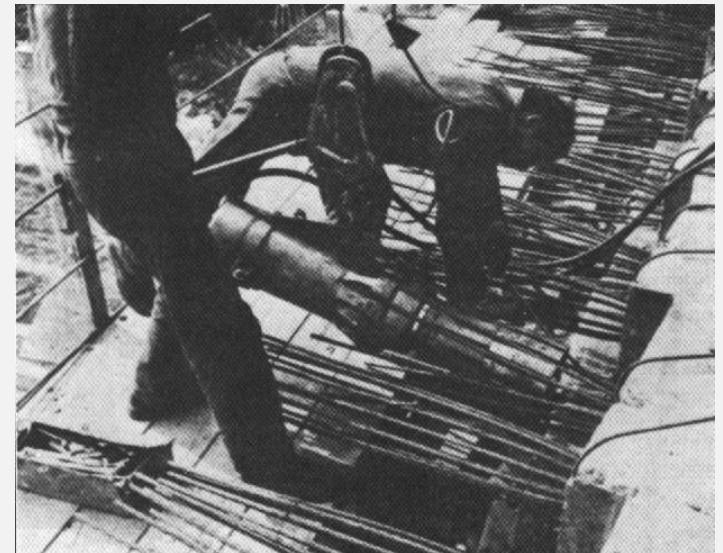
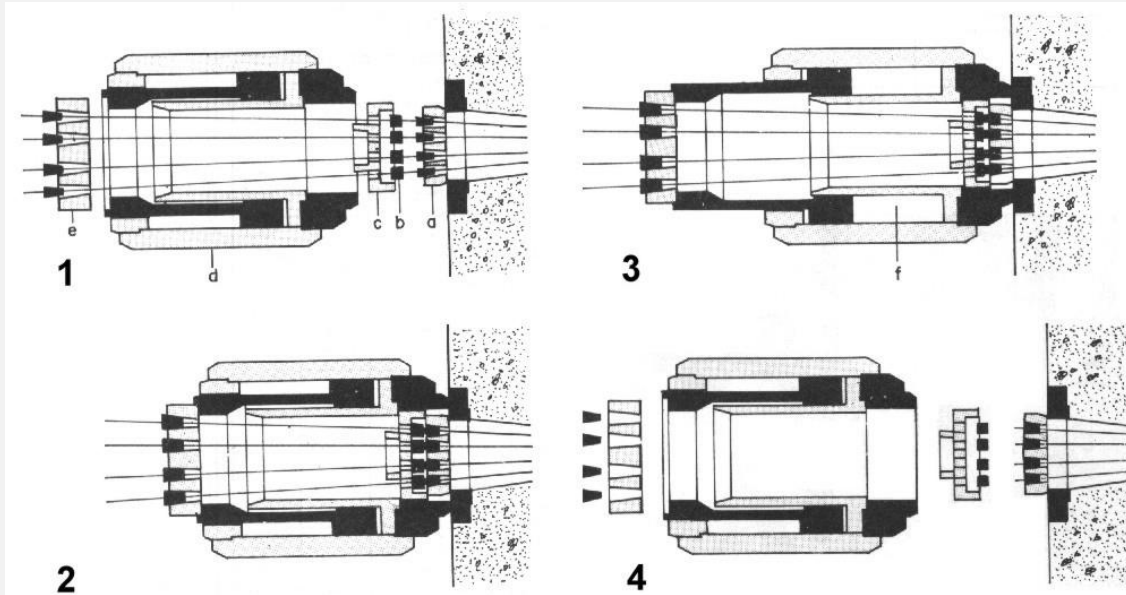


- CP com aderência posterior

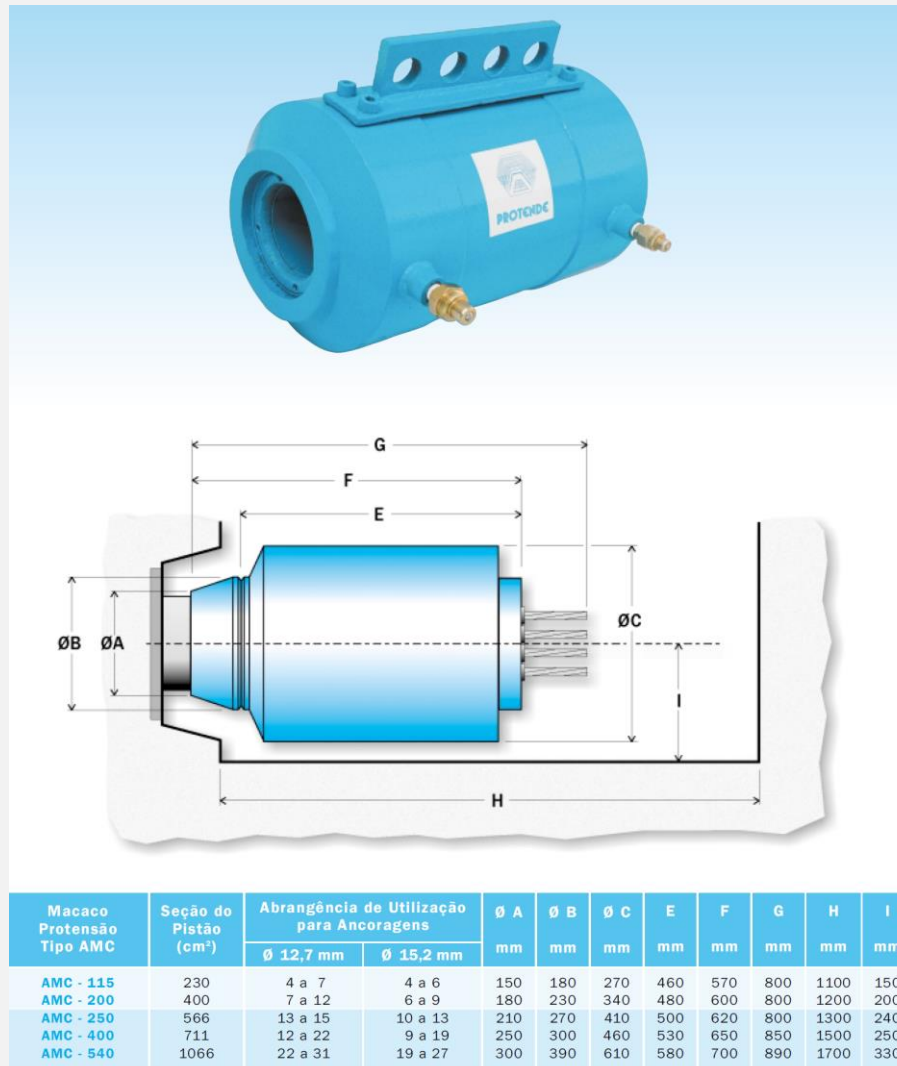


- CP sem aderência

Processo de Protensão



Processo de Protensão



Armadura de Protensão

- Barras

- forma de barras rosqueadas com nervuras laminadas a quente
- ϕ_{barra} : 15mm, 32mm, 36mm e 40mm

Diagrama aproximado (NBR 7197)

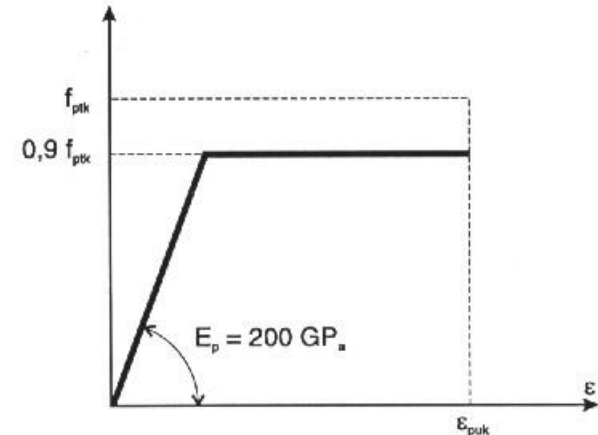
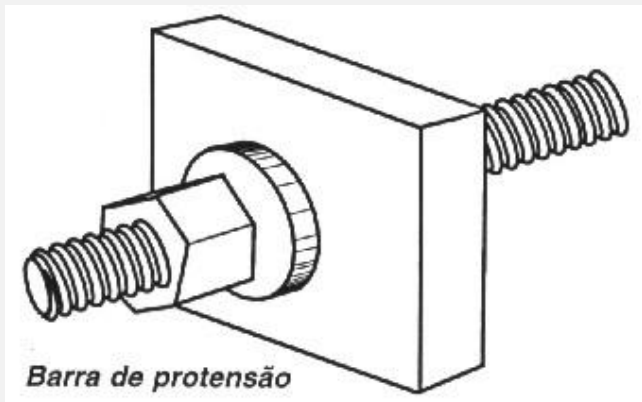
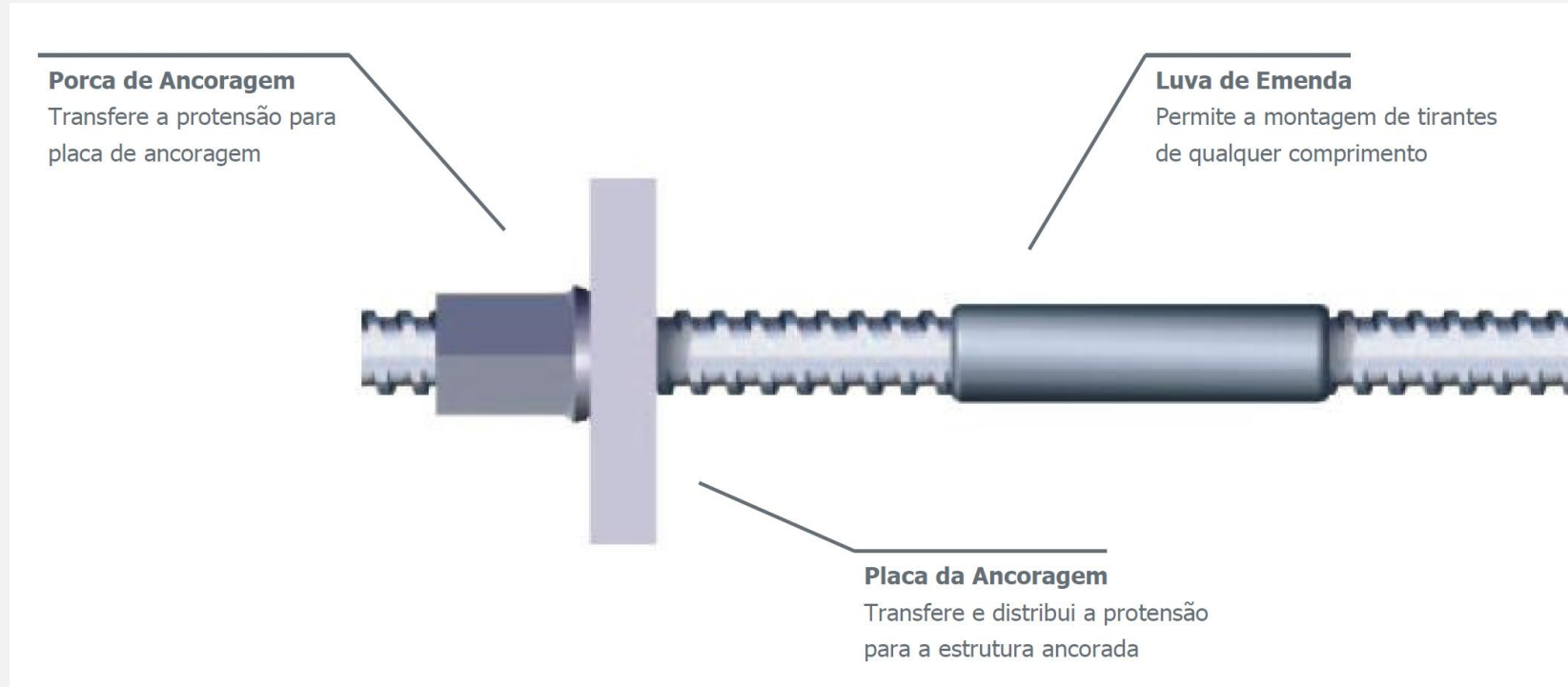


Diagrama simplificado para efeito de projeto



Barra de protensão

Armadura de Protensão



Armadura de Protensão

- Cordoalhas para concreto protendido (NBR 7483)
 - Cordoalhas de sete fios: cordoalha constituída de seis fios de mesmo diâmetro nominal, encordoados juntos, numa forma helicoidal, em torno de um fio central
 - Cordoalhas de três fios: cordoalha constituída de três fios de mesmo diâmetro nominal, encordoados juntos numa forma helicoidal.
 - Conforme a resistência à tração, as cordoalhas classificam-se em:
 - CP-190
 - CP-210
 - Módulo de Elasticidade: $E_p = 200 \text{ GPa}$

Armadura de Protensão

Tabela 1 — Características das cordoalhas de três e sete fios com relaxação baixa – RB

Categoria	Número de fios	Designação ^a	Diâmetro nominal da cordoalha mm	Tolerância no diâmetro nominal mm	Área da seção de aço da cordoalha mm ²			Massa nominal Kg / 1 000 m	Carga mínima de ruptura kN	Carga mínima ^b a 1 % de alongamento kN	Alongamento total mínimo ^c após ruptura %	Relaxação máxima após 1 000 h ^d %
					Mínimo	Nominal	Máximo					
RB 190	7 fios	CP 190 RB 9,5	9,5	-0,2 / +0,4	54,9	56,2	57,3	441	102,3	92,1	3,5% min.	3,5% max.
		CP 190 RB 12,7	12,7		98,6	100,9	102,9	792	183,7	165,3		
		CP 190 RB 15,2	15,2		139,9	143,4	146,3	1.126	260,7	234,6		
	3 fios	CP 190 RB 3 x 3,0	3 x 3,00	+/-0,3	21,5	21,8	22,8	171	40,1	36,1		
		CP 190 RB 3 x 3,5	3 x 3,50		30,0	30,3	31,8	238	55,9	50,3		
		CP 190 RB 3 x 4,0	3 x 4,00		37,6	38,7	39,8	304	70,1	63,1		
		CP 190 RB 3 x 4,5	3 x 4,50		46,2	46,6	48,9	366	86,1	77,5		
		CP 190 RB 3 x 5,0	3 x 5,00		65,7	66,2	69,6	520	122,4	110,2		
RB 210	7 fios	CP 210 RB 9,5	9,5	-0,2 / +0,4	54,9	56,2	57,3	441	113,1	101,8	3,5% min.	3,5% max.
		CP 210 RB 12,7	12,7		98,6	100,9	102,9	792	203,1	182,8		
		CP 210 RB 15,2	15,2		139,9	143,4	146,3	1.126	288,2	259,4		
	3 fios	CP 210 RB 3 x 3,0	3 x 3,00	+/-0,3	21,5	21,8	22,8	171	44,3	39,9		
		CP 210 RB 3 x 3,5	3 x 3,50		30,0	30,3	31,8	238	61,8	55,6		
		CP 210 RB 3 x 4,0	3 x 4,00		37,6	38,7	39,8	304	77,5	69,7		
		CP 210 RB 3 x 4,5	3 x 4,50		46,2	46,6	48,9	366	95,2	85,7		
		CP 210 RB 3 x 5,0	3 x 5,00		65,7	66,2	69,6	520	135,3	121,8		

^a 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 1 kgf/mm² = 9,81 MPa.

^b Os valores da carga a 1% de alongamento são considerados equivalentes à carga a 0,2 % de alongamento permanente.

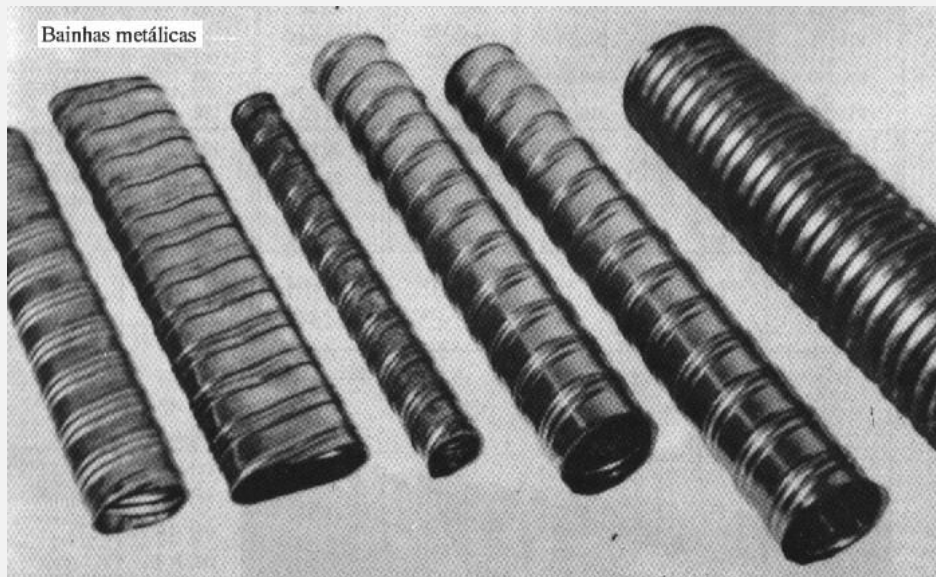
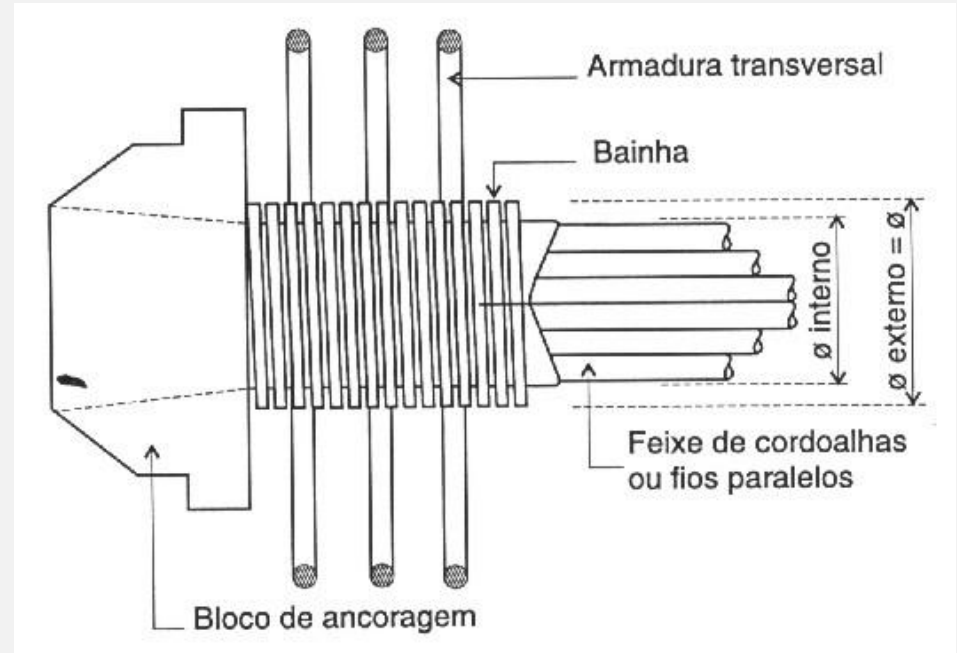
^c Base da medida: 600 mm mínimo.

^d Medida a 20 °C com aplicação de carga inicial aplicada de 80 % da carga de ruptura, conforme ABNT 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.

- **Bainha metálicas**

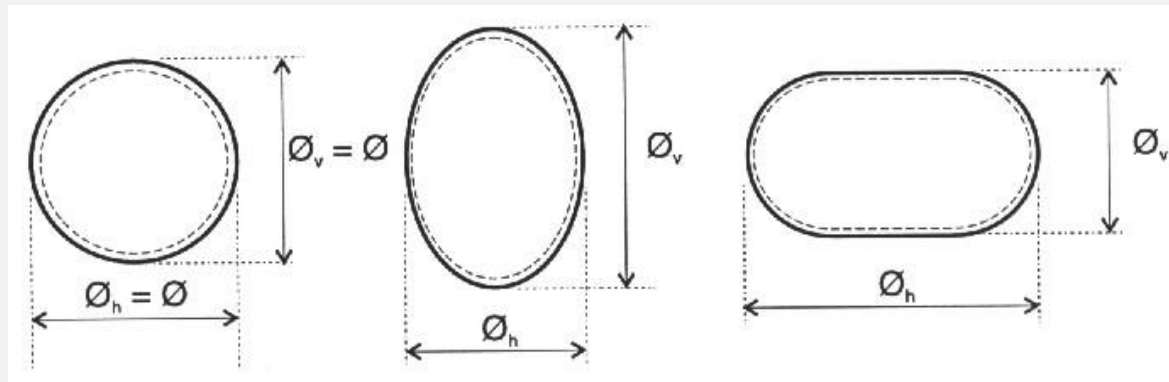
- Devem resistir:
 - ao trânsito de operários
 - à utilização do vibrador
- Devem aderir ao concreto



Bainhas metálicas

Cabos de Protensão

- Arranjo: ϕ_{ext}



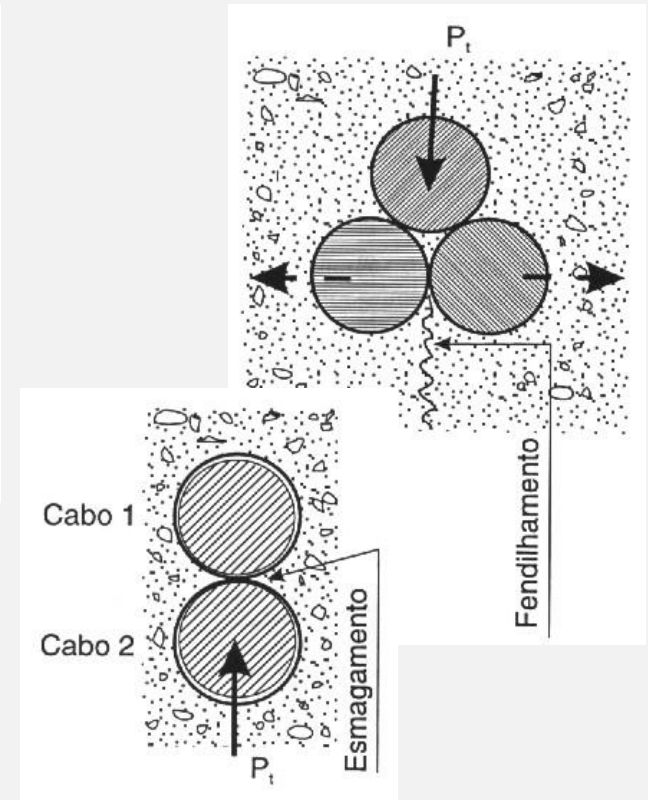
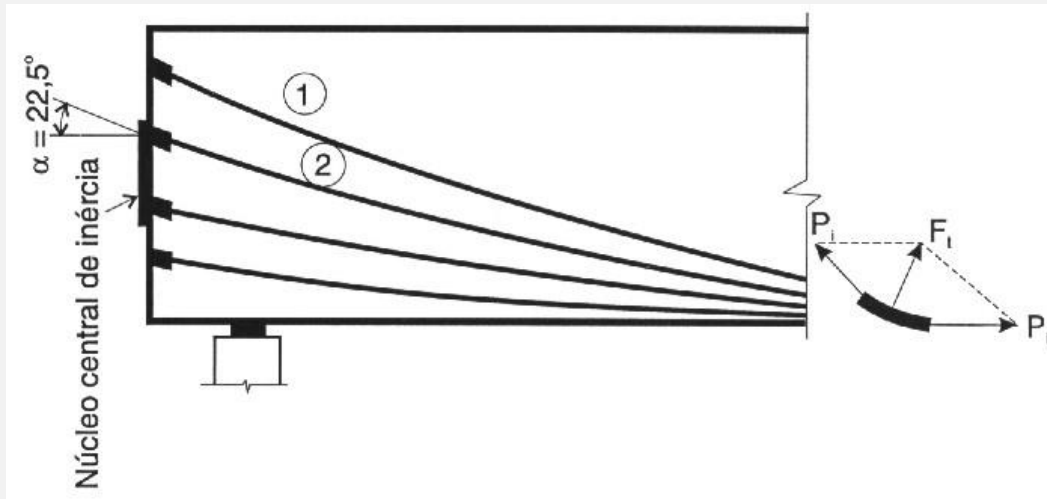
- Escolha do cabo
 - Tabelas fornecidas pelos fabricantes

Espaçamentos e proteção das armaduras ativas

- Fatores determinantes
 - peças protendidas possuem dimensões menores
 - ϕ dos cabos maiores que ϕ das barras de CA
- Feixes de cabos
 - Objetivo: colocação de mais cabos numa mesma seção de concreto
 - Deve-se ter em vista:
 - a condição de aderência dos cabos ao concreto
 - evitar bloqueio recíproco dos cabos durante a protensão
 - evitar fendilhamento

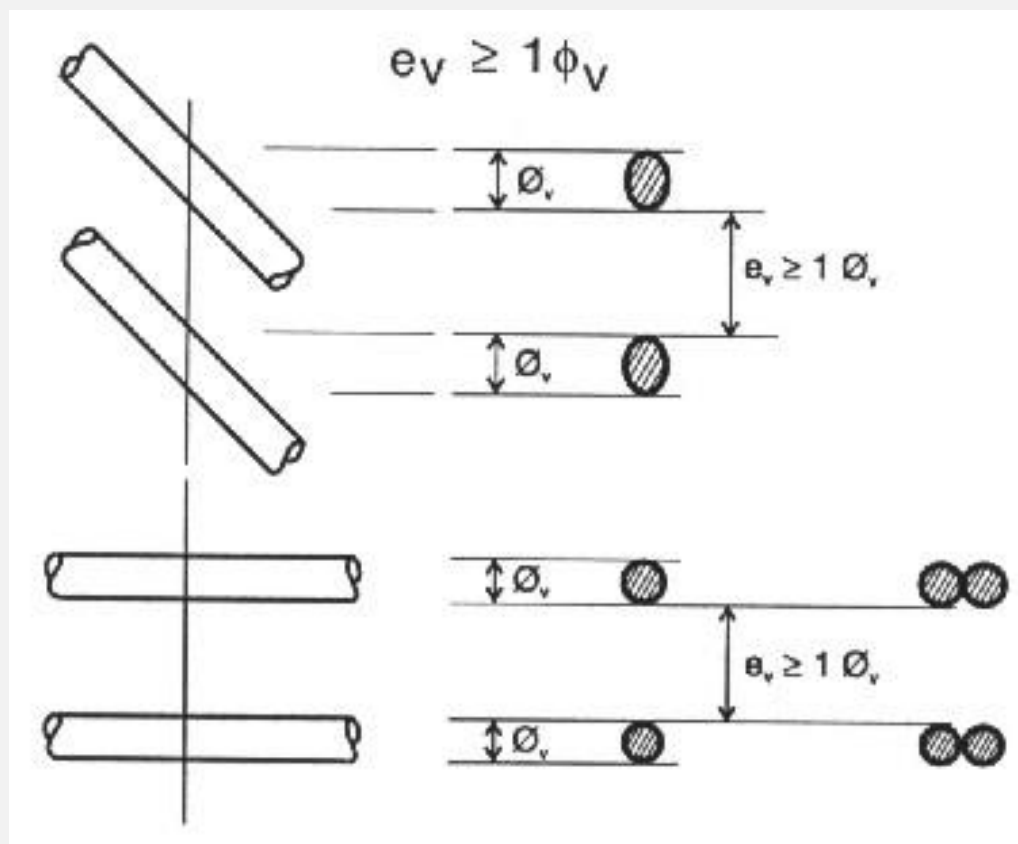
Espaçamentos e proteção das armaduras ativas

- Deve-se evitar feixes verticais
 - esmagamento da bainha (devido às forças verticais e à ordem de protensão)
- Feixes horizontais com no máximo 2 cabos
 - fendilhamento (efeito de cunha durante a protensão)



Espaçamentos e proteção das armaduras ativas

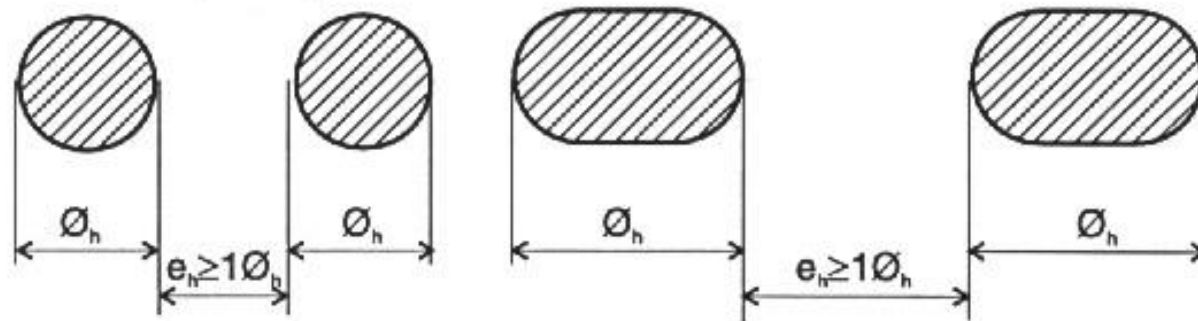
- Espaçamento vertical



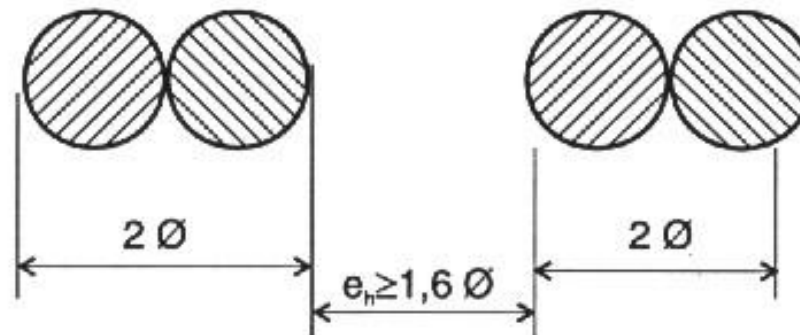
Espaçamentos e proteção das armaduras ativas

- Espaçamento horizontal

a) Cabos isolados ($e_h \geq 1\phi_h$)



b) Feixes de cabos ($e_h \geq 0,8$ da dimensão horizontal do feixe)



Espaçamentos e proteção das armaduras ativas

- Cobrimento vertical

$$c_v \geq 4\text{cm}$$

$$c_v \geq 1\phi_h \text{ (} c_v \geq 2\phi_h \text{ no caso de feixes)}$$

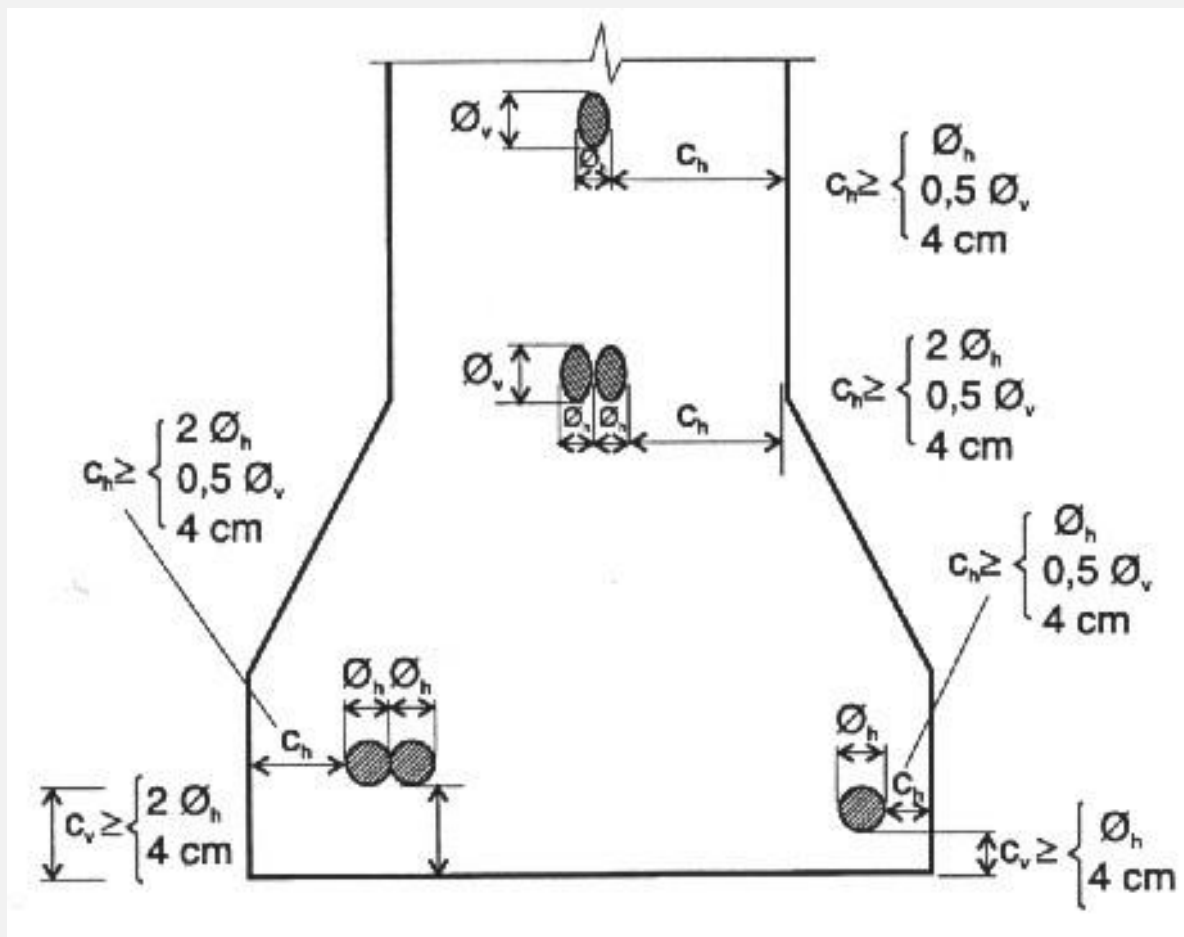
- Cobrimento horizontal. Nervuras e almas das vigas

$$c_h \geq 4\text{cm}$$

$$c_h \geq 0,5 \phi_v$$

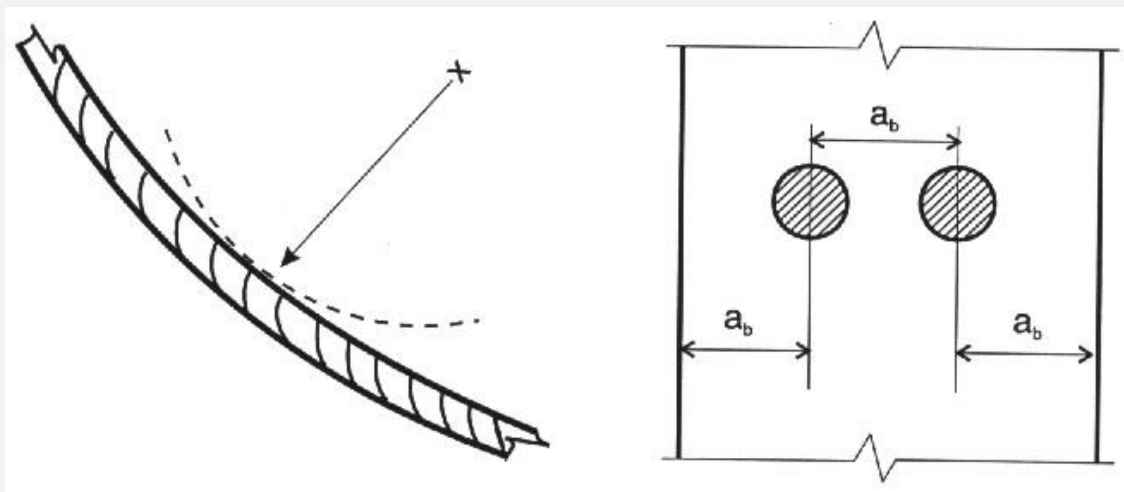
$$c_h \geq 1\phi_h \text{ (} c_h \geq 2\phi_h \text{ no caso de feixes)}$$

Espaçamentos e proteção das armaduras ativas



Espaçamentos e proteção das armaduras ativas

- Limitação da pressão exercida pelos cabos curvos
 - raio de curvatura



Obs.:

Vários cabos curvados na mesma camada: $r_{ef} \geq 1,5 r$

2 camadas: $r_{ef} \geq 2 r$

3 camadas: $r_{ef} \geq 3 r$

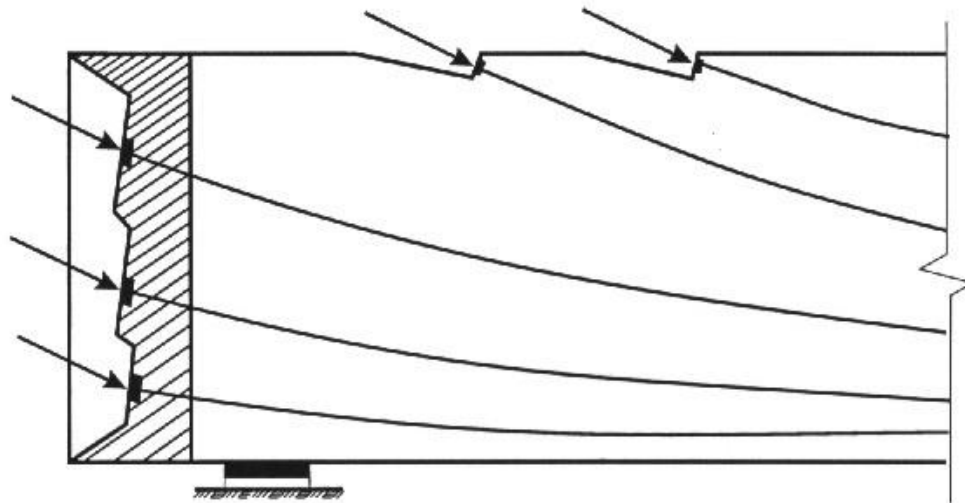
Arranjos das ancoragens

- Concreto protendido

- Aderência Inicial: ancoragem por aderência entre os fios e o concreto
- Aderência Posterior: cabos são ancorados em suas extremidades ⇨ Ancoragens

- Ancoragens

- Dispositivos pré-fabricados (considerados como blocos rígidos)
- para o projeto: conhecer dimensões (tabeladas)



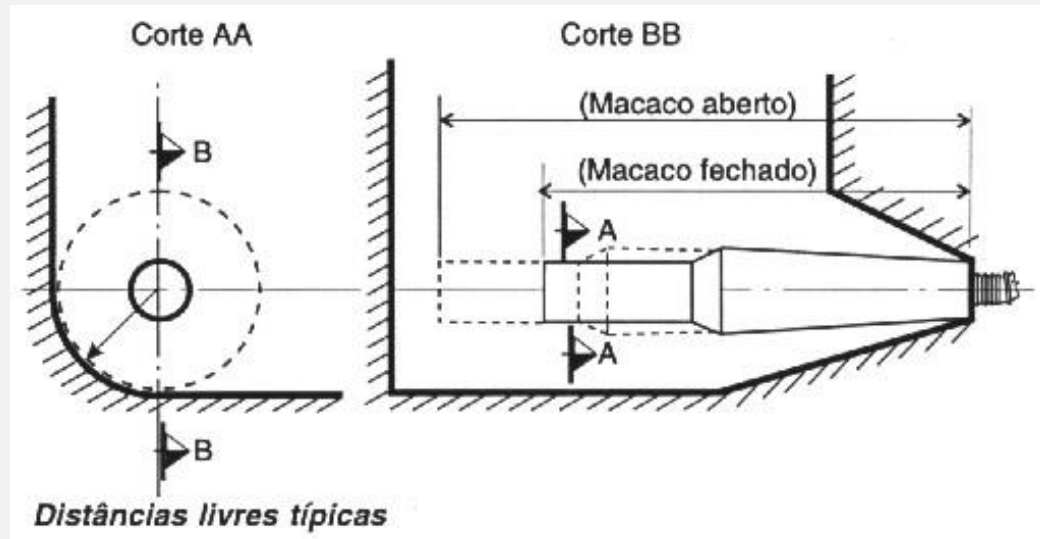
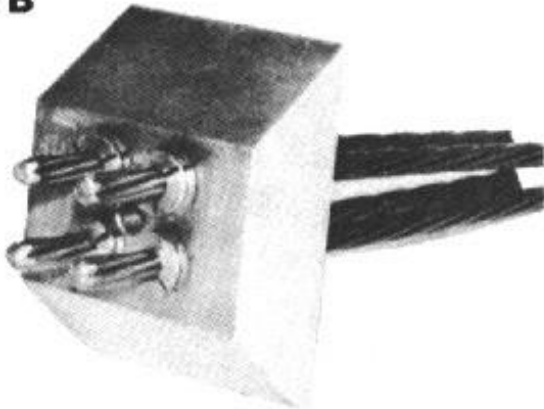
Arranjos das ancoragens

- Tipos de ancoragem

- **ancoragens ativas ou móveis:**

- São as que permitem a aplicação do macaco de protensão.
- As ancoragens ativas exigem que haja espaço livre suficiente para as operações de protensão.
- A princípio, todas as ancoragens poderiam ser ativas, reduzindo a perda da força de protensão.
- Fatores: disponibilidade de 2 macacos e espaço

Ancoragem móvel RUDLOFF - VSL tipo B

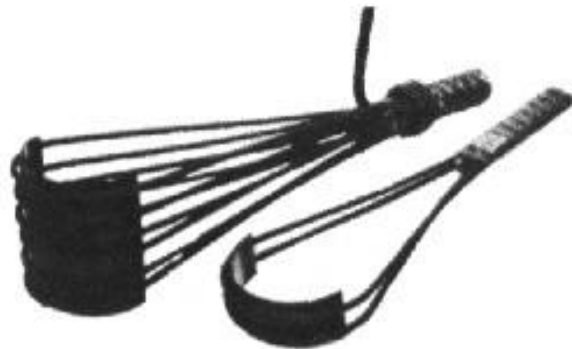


Arranjos das ancoragens

- **ancoragens passivas ou fixas:**

- São as ancoragens que ficam embutidas no concreto ou são pré-bloqueadas.
- Podem ser inseridas no interior da peça ou em uma de suas extremidades.
- Seu emprego aumenta as perdas de protensão.

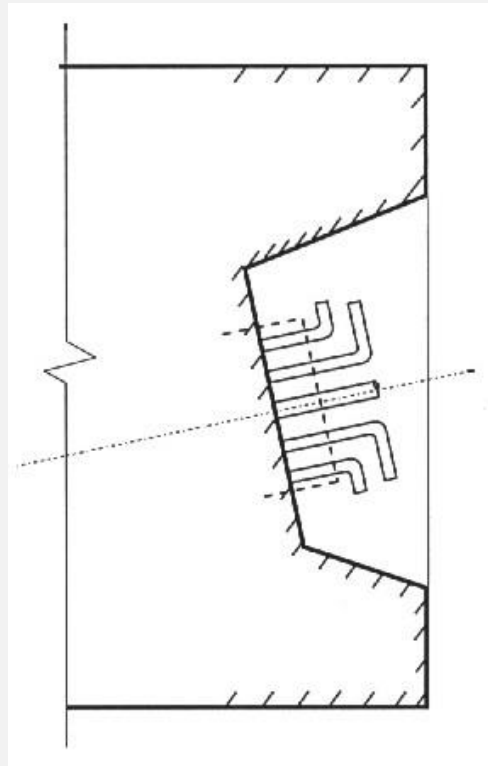
Ancoragem fixa RUDLOFF - VSL, tipo U



Arranjos das ancoragens

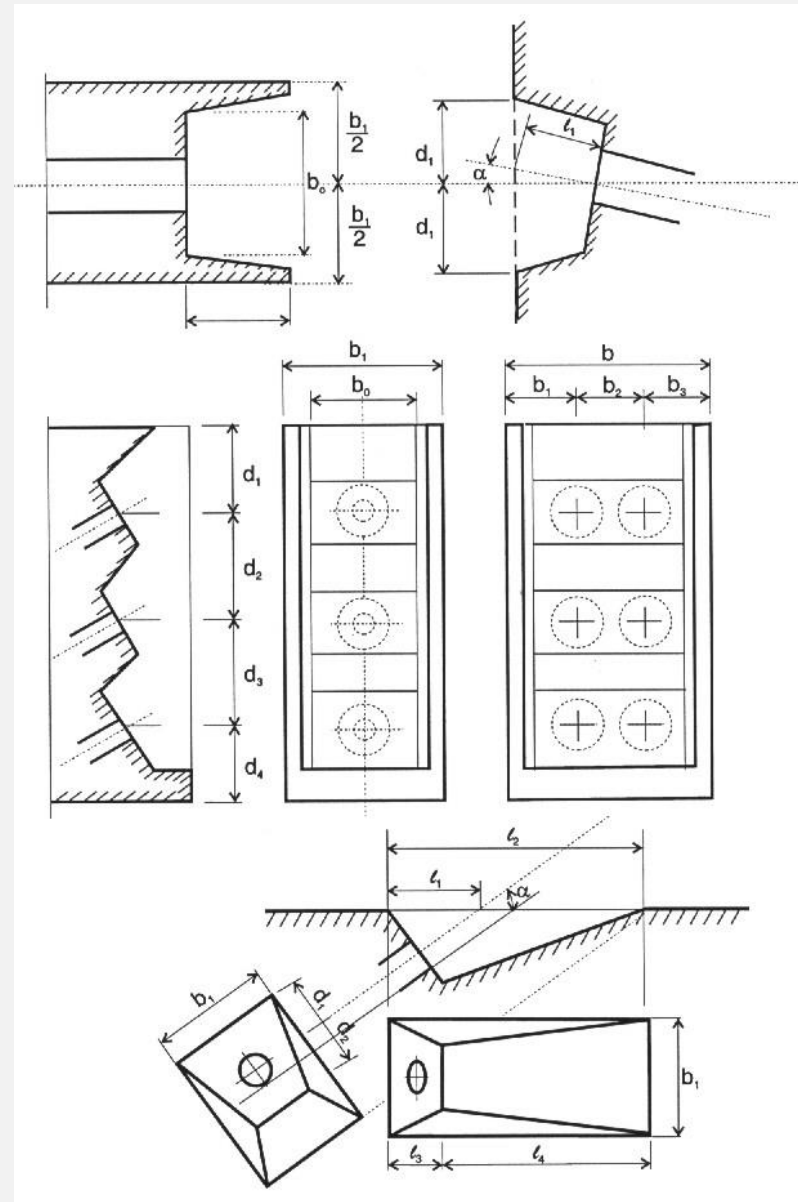
- **ancoragens embutidas ou internas:**

- Situadas no interior de recessos da periferia da peça.
- Situação normal das ancoragens \Rightarrow proteção das armaduras e ancoragens
- Após a protensão \Rightarrow obstrução dos nichos com argamassa



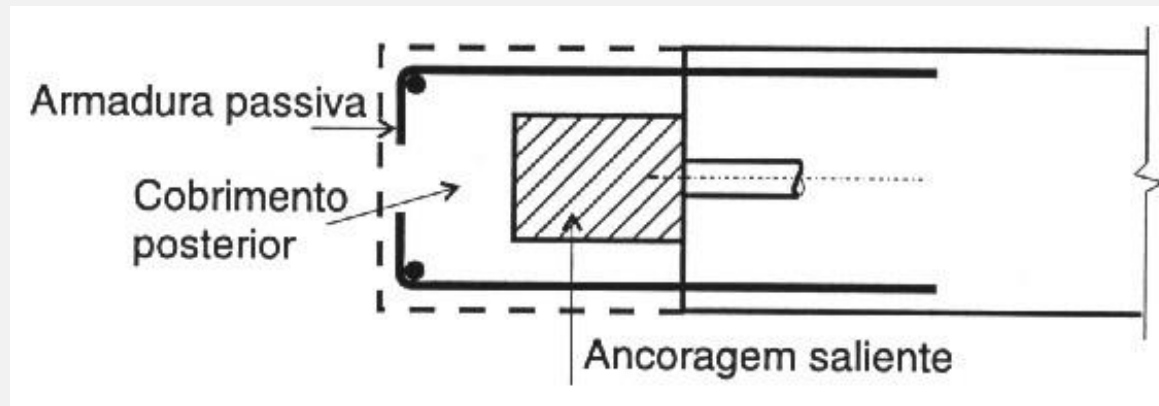
Arranjos das ancoragens

Arranjo dos nichos de concretagem



Arranjos das ancoragens

- **ancoragens salientes ou externas:**
 - São as que têm o dispositivo de ancoragem saliente em relação à peça estrutural.



Arranjos das ancoragens

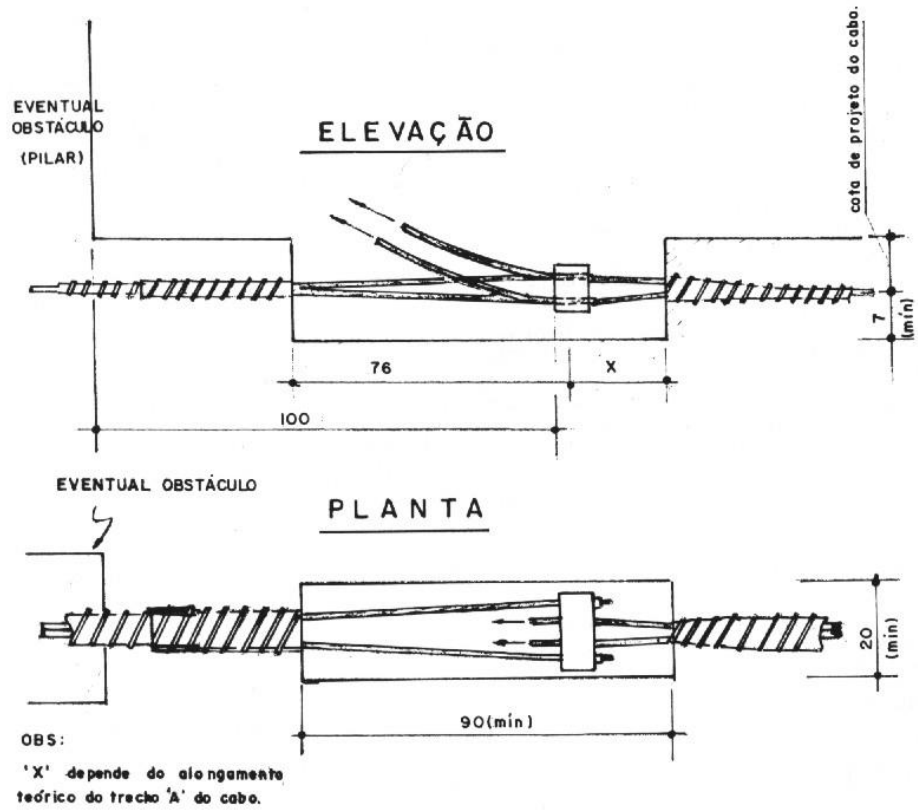
• ancoragens de emenda:

- permitem a emenda de cabos, nos casos de execução fracionada de uma obra

• ancoragens especiais:

- ancoragens para protensão pelo meio da laje, para cabos engraxados, para os tirantes de pontes estaiadas, para bancos de protensão

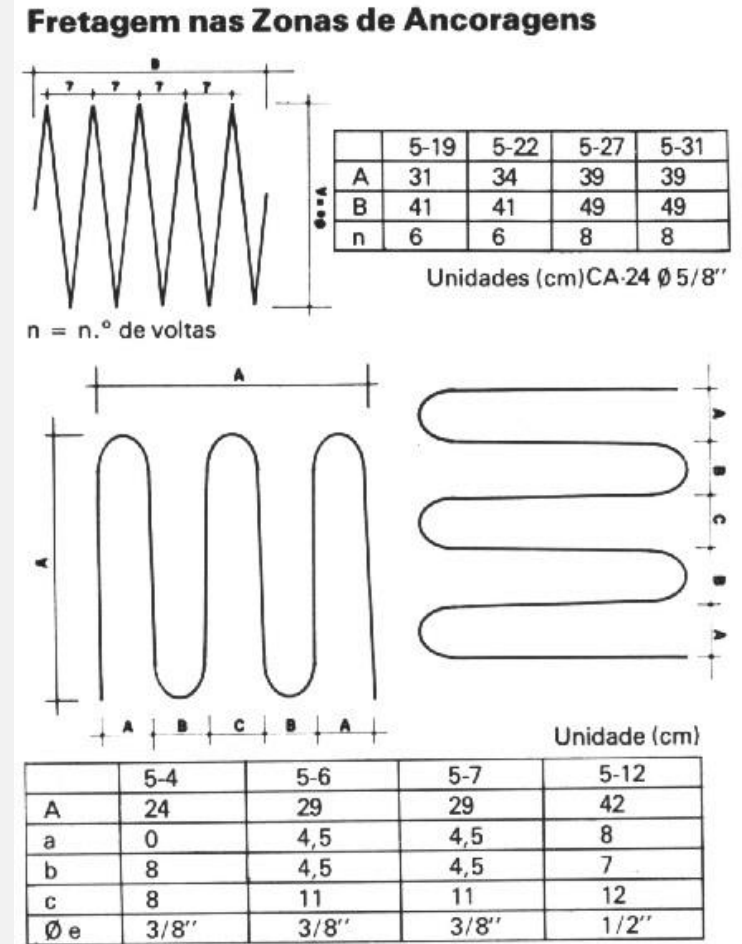
Ancoragem Interna – 4NX 12,7



Sistema Freyssinet

Arranjos das ancoragens

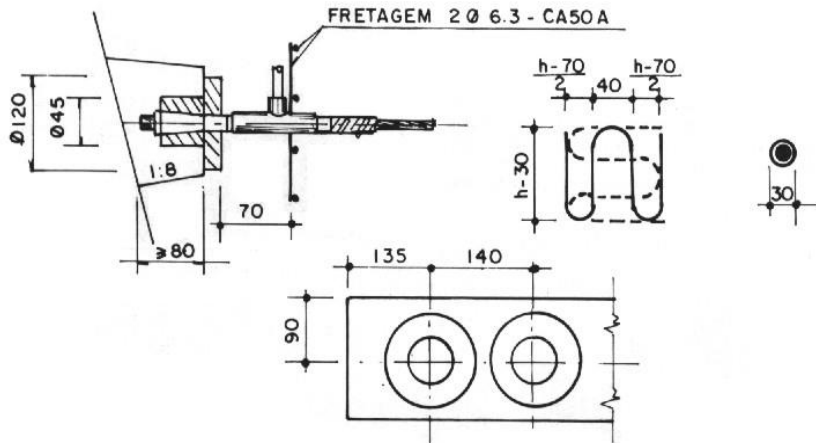
- Região da ancoragem: condições
 - resistência do concreto e ordem de protensão
 - espaçamento entre ancoragens e suas distâncias aos bordos
 - fretagens das ancoragens e a armadura de espera para solidarizar o concreto de fechamento do nicho de concretagem



Sistema Rudloff

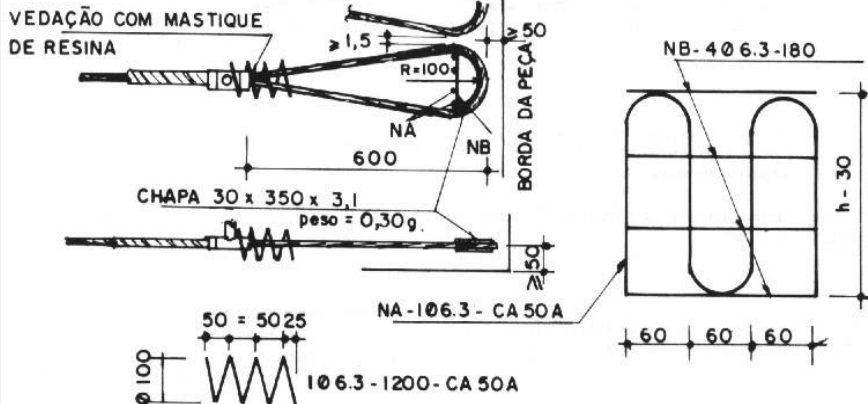
Unidade de Protensão – 1L 12,7

Ancoragem Ativa



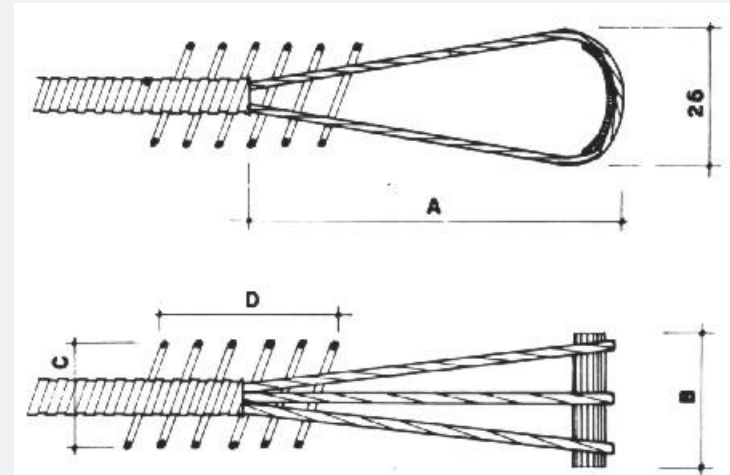
PESO DA ANCORAGEM COMPLETA = 2,24 kg

Ancoragem Passiva em Laço



Peso da chapa = 0,30 kg

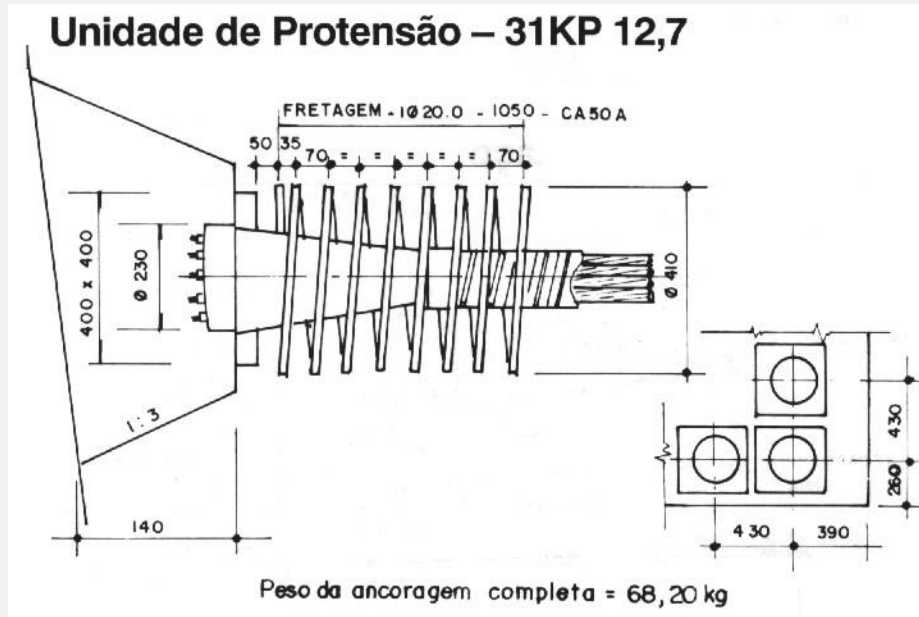
Arranjos das ancoragens



	U 5-2	U 5-4	U 5-6	U 5-7	U 5-12	U 5-19	U 5-27	U 5-31
A	60	65	70	70	70	91	140	140
B	4	7	12	15,5	28	39	54	62
C		14	14	14	21	24	24	24
D		25	25	25	35	35	35	35

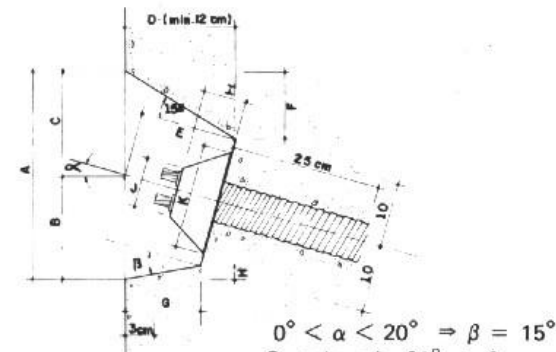
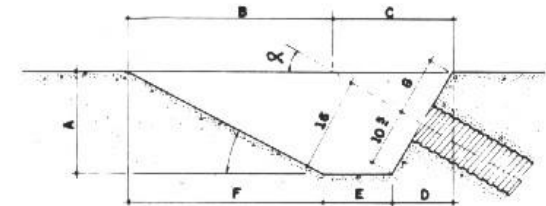
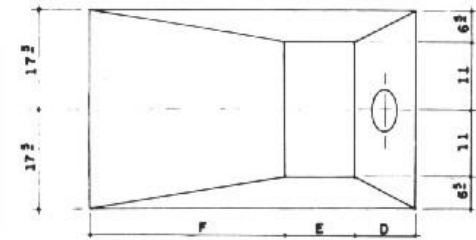
- O número de voltas é igual a 6
- Para ancoragens até 70 1/2" - aço CA-24 Ø 3/8"
 - Para ancoragens de 120 1/2" - aço CA-24 Ø 1/2"
 - Para ancoragens até 310 1/2" - aço CA-24Ø 5/8"

Arranjos das ancoragens



$\alpha = 20^\circ$ (cm)

	B 5-4/6/7
A	21
B	47
C	34
D	7,5
E	16,5
F	57
G	11,5

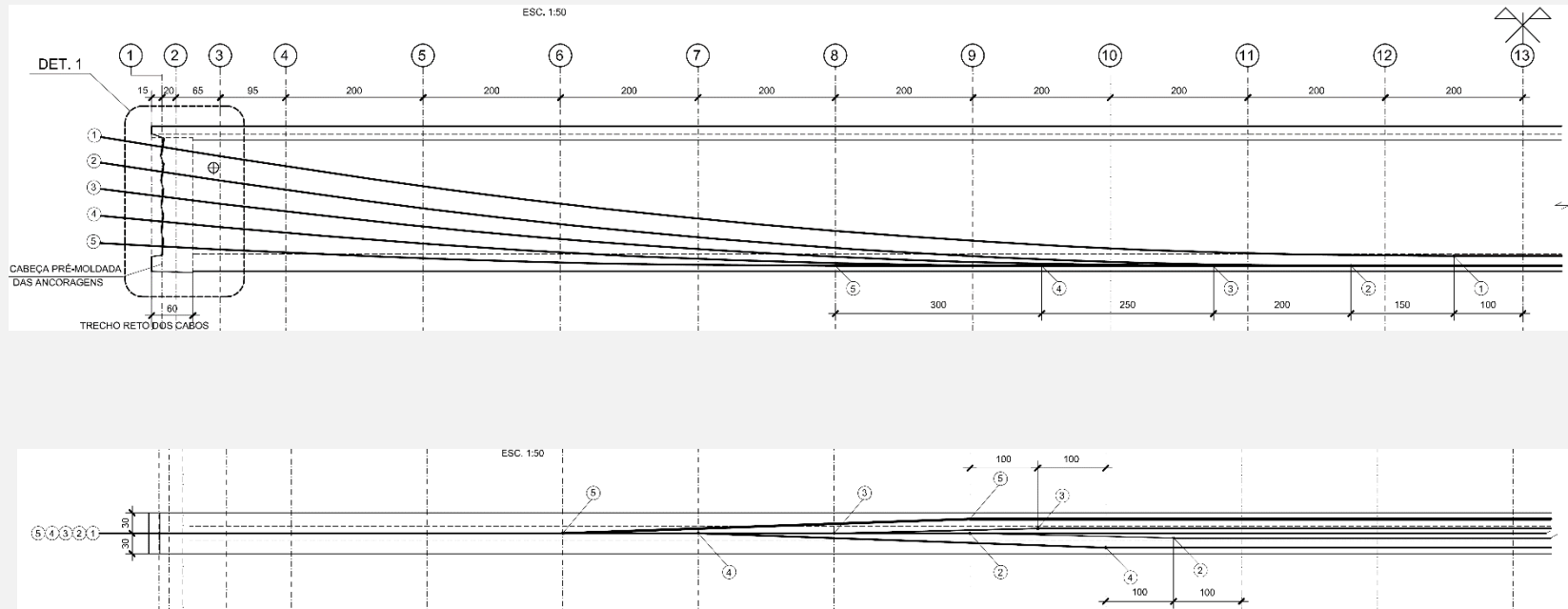


$0^\circ < \alpha < 20^\circ \Rightarrow \beta = 15^\circ$
 Quando $\alpha > 20^\circ \therefore \beta = \alpha$

* Para $\alpha = 20^\circ$ Unidades (cm)

	B 5-4	B 5-6	B 5-7
A	30	30	30
B	14	14	14
C	16	16	16
D	16	16	16
E	13,5	13,5	13,5
F	11,5	11,5	11,5
G	9,5	9,5	9,5
H	0	0	0
I	5	5	5
J	7,5	9,2	9,2
K	15,5x11,5	18,2x14,5	18,5x17

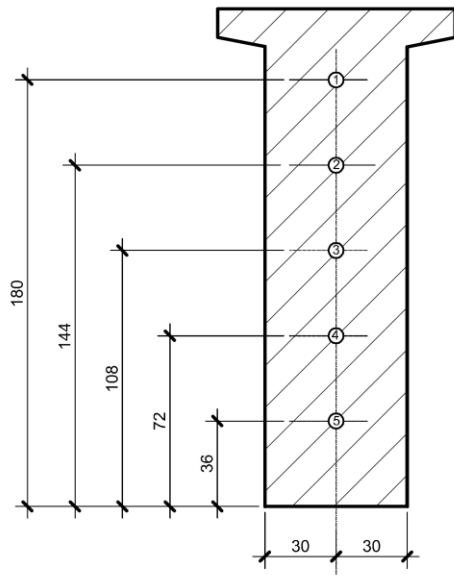
Detalhamento – Viga Isostática Protendida



Detalhamento – Viga Isostática Protendida

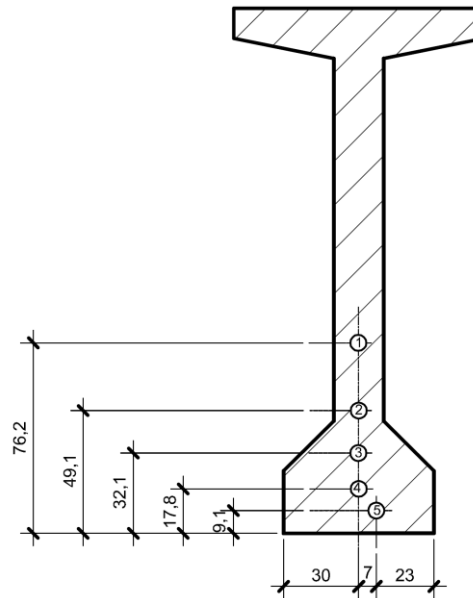
SEÇÃO 1

ESC. 1:20



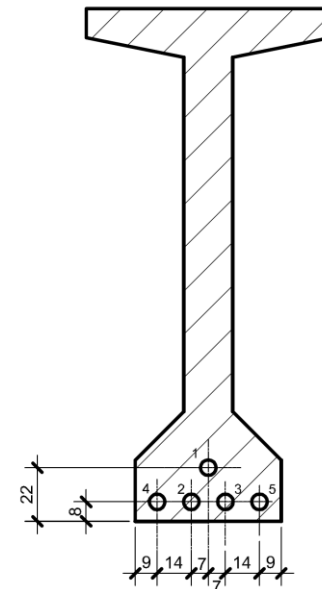
SEÇÃO 7

ESC. 1:20

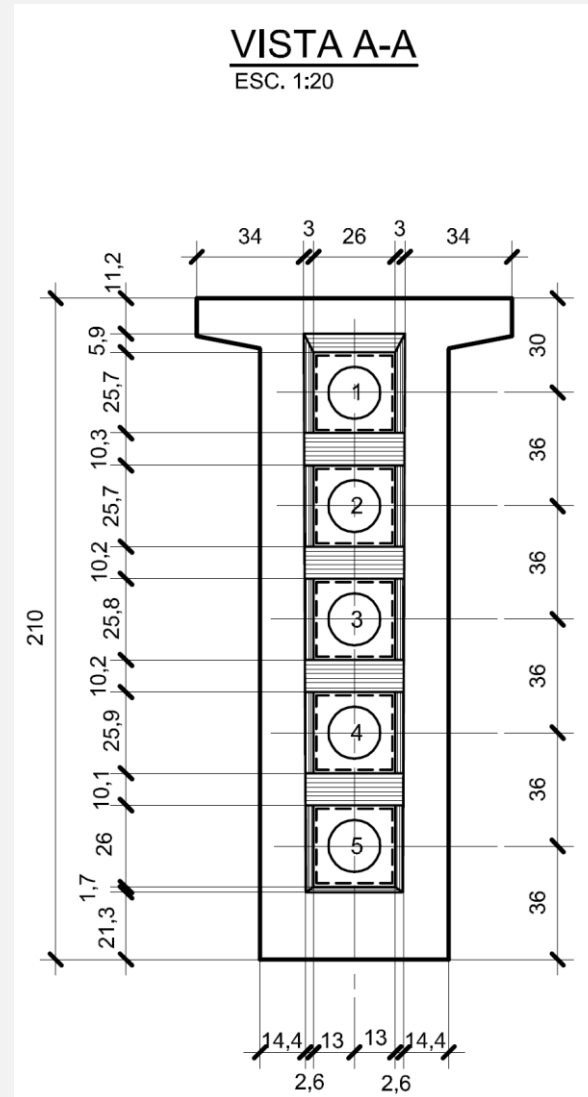
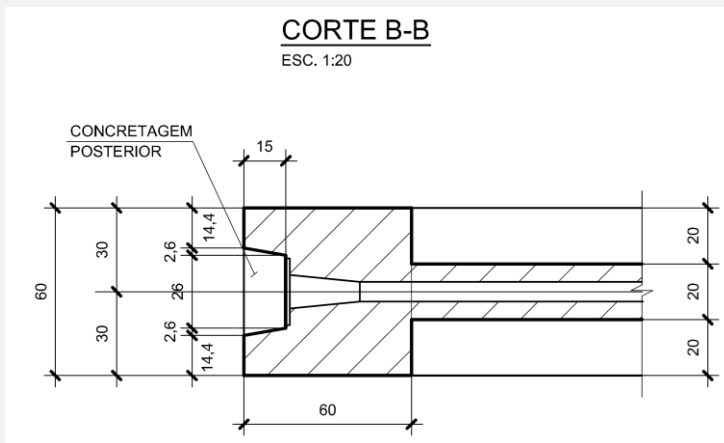
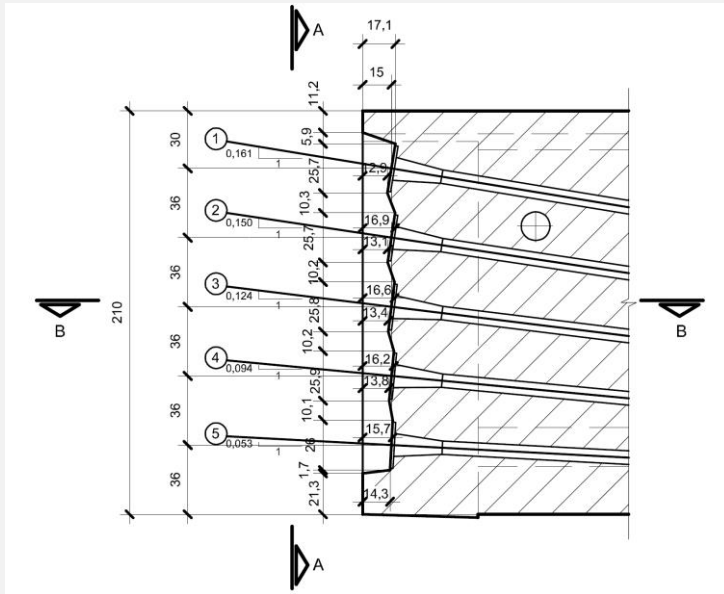


SEÇÃO 13

ESC. 1:20

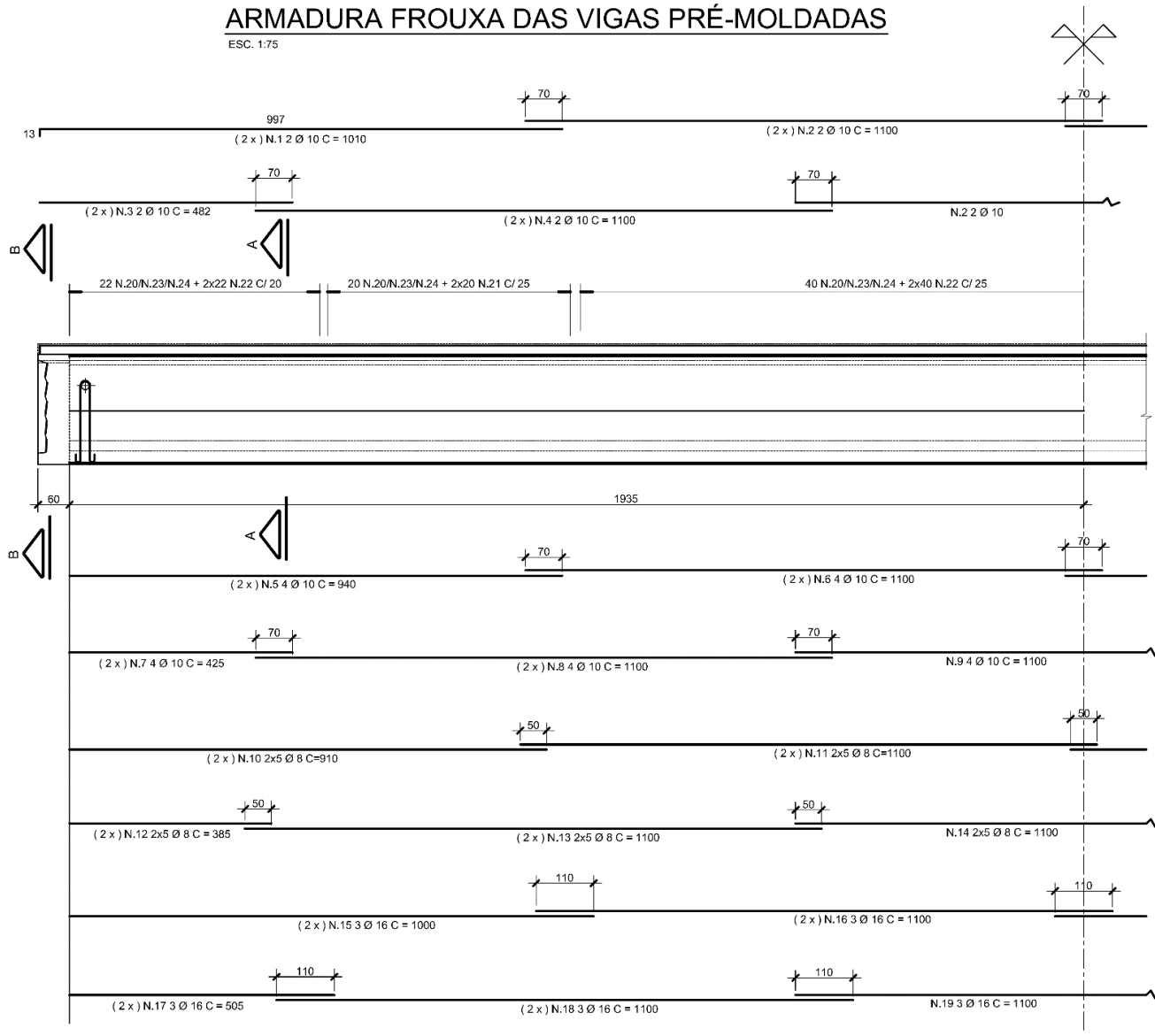


Detalhamento – Viga Isostática Protendida

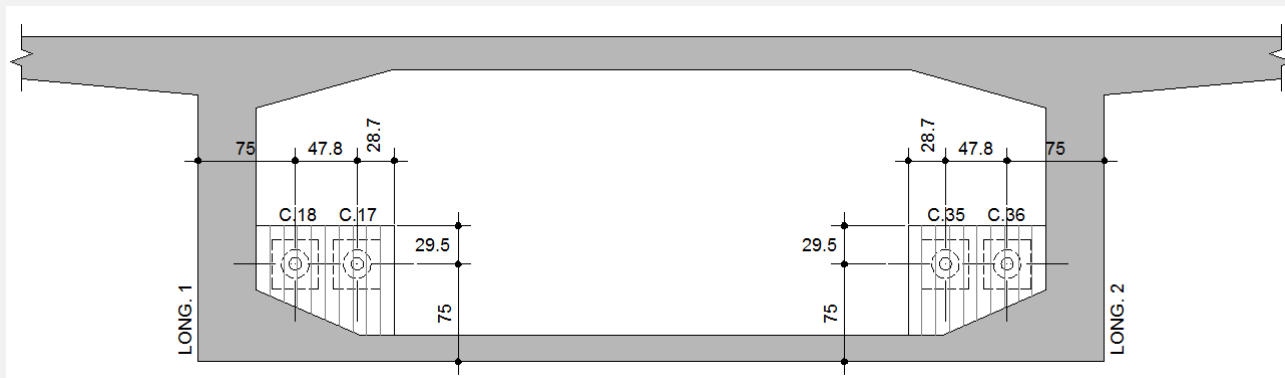
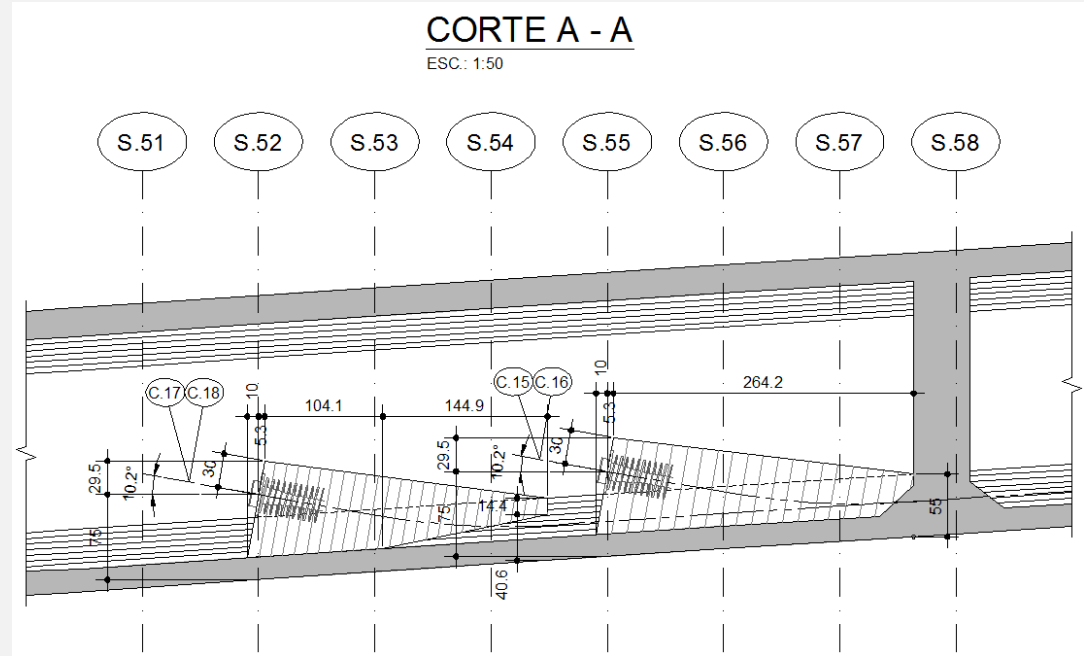
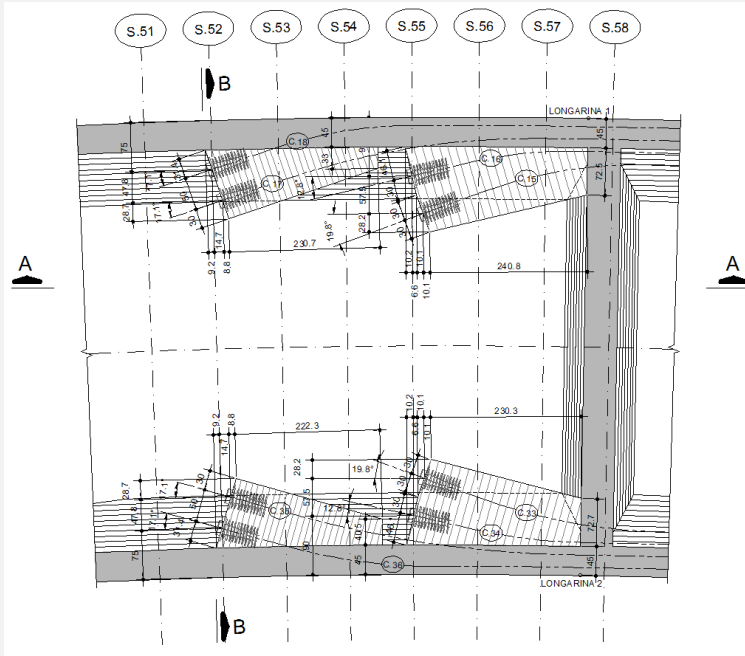


ARMADURA FROUXA DAS VIGAS PRÉ-MOLDADAS

ESC. 1:75



Detalhamento – Nichos de Protensão



Detalhamento – Nichos de Protensão

