

Aula 08

*EMBASA (Engenharia Sanitária/Sanitária
Ambiental) Conhecimentos Específicos -
2021 (Pré-Edital)*

Autor:
Marcus Campiteli

05 de Julho de 2021

Concreto Protendido	2
1 – Introdução	2
2 – Tipos de Concreto Protendido	4
<i>2.1 – Protensão Aderente.....</i>	<i>4</i>
<i>2.2 – Protensão sem Aderência.....</i>	<i>15</i>
3 – Processo de Protensão	17
4 – Processo de Injeção.....	18
5 – Nichos de Protensão	19
6 – Perdas da Força de Protensão	21
7 – Demais Considerações.....	23
<i>7.1 - Definições da norma NBR 14931</i>	<i>23</i>
<i>7.2 – Definições da norma NBR 7483/2021</i>	<i>24</i>
8 – Estados Limites	26
9 – Questões Apresentadas	28
10 – Gabarito.....	31
11 – Referências Bibliográficas.....	31



CONCRETO PROTENDIDO

Olá pessoal, apresentamos para vocês nesta aula sobre concreto protendido, mesclando conceitos normativos com explicações amigáveis e didáticas sobre o assunto, tendo em vista a complexidade do tema.

Vale a pena focar as partes negritadas. Apresentamos fotos e figuras, pois em um curso de engenharia funciona aquela ideia de que uma imagem vale mais do que mil palavras.

Nesta aula também apresento as questões comentadas junto à teoria, pois os comentários complementam-na. Dessa forma mantém-se a continuidade de cada assunto.

Caso queiram treinar antes mesmo de adentrar à teoria, há os capítulos finais com as questões apresentadas e o gabarito final.

Dicas adicionais são publicadas no **Instagram**: [@profmarcuscampiteli](https://www.instagram.com/profmarcuscampiteli)

Bons estudos e boa sorte!

Adota-se para o concreto protendido o sitio <<http://www.rudloff.com.br>>, por ser bem didático, e o apoio do sitio <http://www.ecivilnet.com/artigos/concreto_protendido.htm>, por Walter Pfeil, assim como as normas da ABNT, NBR 6118/2014, NBR 14931/2004 (Anexos A, B e C) e NBR 7483/2021.

1 – INTRODUÇÃO

Os elementos de concreto protendido são aqueles nos quais parte das armaduras é previamente alongada 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 estado limite último (ELU).

A armadura ativa (de protensão) é constituída por barras, fios isolados ou cordoalhas, destinada à produção de forças de protensão, isto é, na qual se aplica um pré-alongamento inicial.

O artifício da protensão, aplicado ao concreto, consiste em introduzir esforços prévios que reduzam ou anulem as tensões de tração no concreto sob ação das solicitações em serviço. Nessas condições minimiza-se a importância da fissuração como condição determinante de dimensionamento da viga, por exemplo.

A protensão do concreto é realizada, na prática, por meio de cabos de aço de alta resistência, tracionados e ancorados no próprio concreto. O artifício da protensão desloca a faixa de trabalho do concreto para o âmbito das compressões, onde o material é mais eficiente. Com a protensão, aplicam-se tensões de compressão nas partes da seção tracionadas pelas solicitações dos carregamentos. Desse modo, pela manipulação das tensões internas, pode-se obter a contribuição da área total da seção.



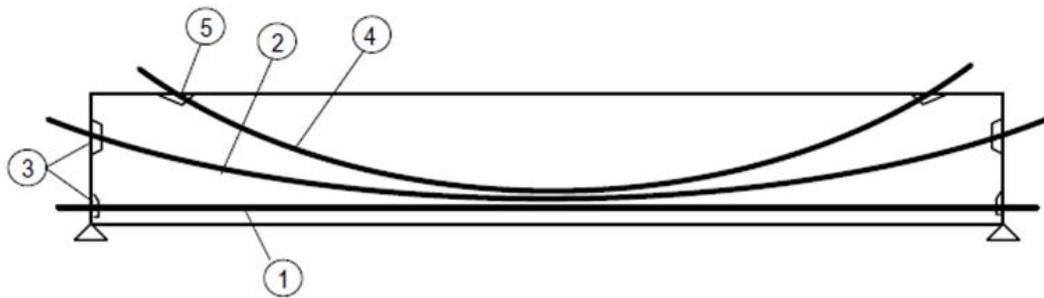
Sob ação de cargas, uma viga protendida sofre flexão, alterando-se as tensões de compressão aplicadas previamente. Quando a carga é retirada, a viga volta à sua posição original e as tensões prévias são restabelecidas.

Se as tensões de tração provocadas pelas cargas forem inferiores às tensões prévias de compressão, a seção continuará comprimida, não sofrendo fissuração.

Sob ação de cargas mais elevadas, as tensões de tração ultrapassam as tensões prévias, de modo que o concreto fica tracionado e fissura. Retirando-se a carga, a protensão provoca o fechamento das fissuras.

Os aços utilizados nos cabos de protensão têm resistência três a cinco vezes superiores às dos aços usuais do concreto armado.

O concreto protendido pode ser adotado em edifícios, reservatórios, pistas de aeroporto, pisos, pontes, viadutos, barragens etc.



Tipos de cabos de protensão utilizados em vigas simplesmente apoiadas: 1) cabo retilíneo ancorado nas faces extremas da viga; 2) cabo curvo, ou parte retilíneo e parte curvilíneo, ancorado nas faces extremas da viga; 3) nicho de ancoragem ativa, na face extrema da viga; 4) cabo curvo, ou parte retilíneo e parte curvilíneo, ancorado na face superior da viga; 5) nicho de ancoragem ativa, na face superior da viga (Pfeil, 1984).

Fonte: < <http://www.wp.feb.unesp.br> >

Vantagens Técnicas do Concreto Protendido

Em relação ao concreto armado, o concreto protendido apresenta as seguintes vantagens:

- Reduz as tensões de tração provocadas pela flexão e pelos esforços cortantes.
- Reduz a incidência de fissuras.
- Reduz as quantidades necessárias de concreto e de aço, devido ao emprego eficiente de materiais de maior resistência.
- Permite vencer vãos maiores que o concreto armado convencional; para o mesmo vão, permite reduzir a altura necessária da viga.
- Facilita o emprego generalizado de pré-moldagem, uma vez que a protensão elimina a fissuração durante o transporte das peças.



f) Durante a operação de protensão, o concreto e o aço são submetidos a tensões em geral superiores às que poderão ocorrer na viga sujeita às cargas de serviço. A operação de protensão constituído, neste caso, uma espécie de prova de carga da viga.

Uma das vantagens mais importantes do concreto protendido é a da alínea d acima. Para ilustrá-la pode-se criar o fato de que as pontes com vigas retas de concreto armado têm seu vão livre limitado a 30m ou 40m, enquanto as pontes com vigas protendidas já atingiram vãos de 250m.

2 – TIPOS DE CONCRETO PROTENDIDO

A execução do concreto protendido pode ser de:

a) Concreto com Armadura Ativa Pré-tracionada (protensão com aderência inicial): concreto protendido em que o **pré-alongamento** da armadura ativa é feito **utilizando-se apoios independentes** do elemento estrutural, **antes do lançamento do concreto**, sendo a ligação da armadura de protensão com os referidos apoios desfeita após o endurecimento do concreto; a ancoragem no concreto realiza-se só por aderência.

b) Concreto com Armadura Ativa Pós-Tracionada (protensão com aderência posterior): concreto protendido em que o **pré-alongamento** da armadura ativa é realizado **após o endurecimento do concreto**, sendo utilizadas, como apoios, partes do próprio elemento estrutural, **criando posteriormente aderência com o concreto** de modo permanente, através da injeção das bainhas.

c) Concreto com Armadura Ativa Pós-Tracionada sem Aderência (protensão sem aderência): concreto protendido em que o **pré-alongamento** da armadura ativa é realizado **após o endurecimento do concreto**, sendo utilizados, como apoios, partes do próprio elemento estrutural, mas não sendo criada aderência com o concreto, ficando a armadura ligada ao concreto apenas em pontos localizados.

Neste último caso adotam-se cordoalhas engraxadas.

2.1 – PROTENSÃO ADERENTE

É o sistema de protensão no qual a **injeção de nata de cimento nas bainhas** garante a **aderência mecânica** da armadura de protensão ao concreto **em todo o comprimento do cabo**, além de assegurar a **proteção das cordoalhas contra a corrosão**.

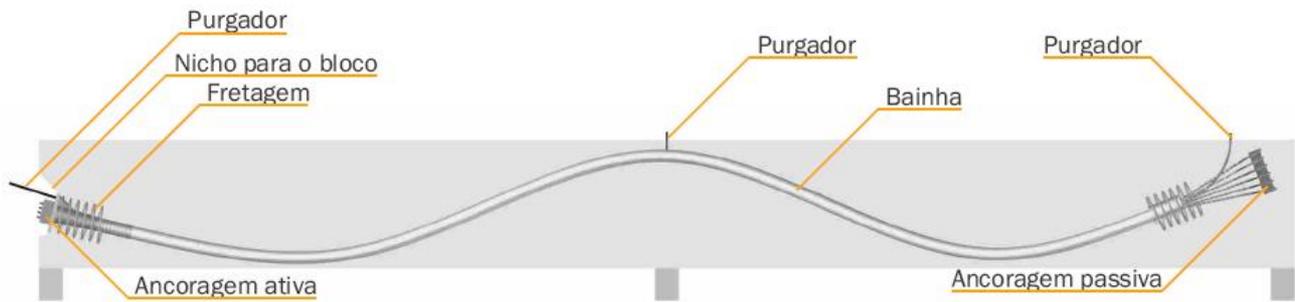
A aderência responde por melhor distribuição das fissuras, por maior segurança à ruína e por maior segurança da estrutura na parte e no todo, diante de situações como incêndios e explosões.

O cabo de protensão é composto basicamente por:

- uma ou mais cordoalhas de aço;
- ancoragens;
- bainha metálica;

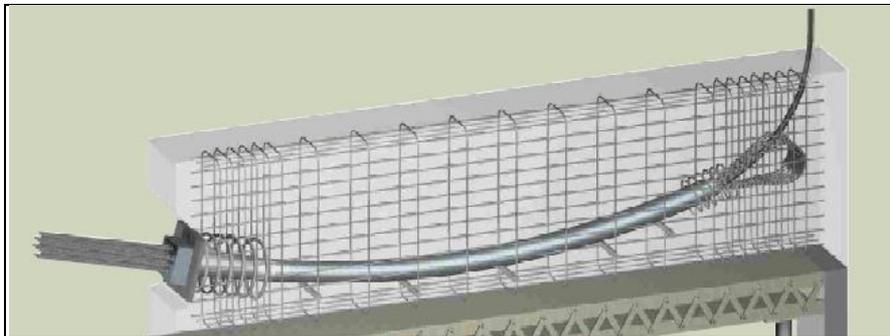


- e purgadores.

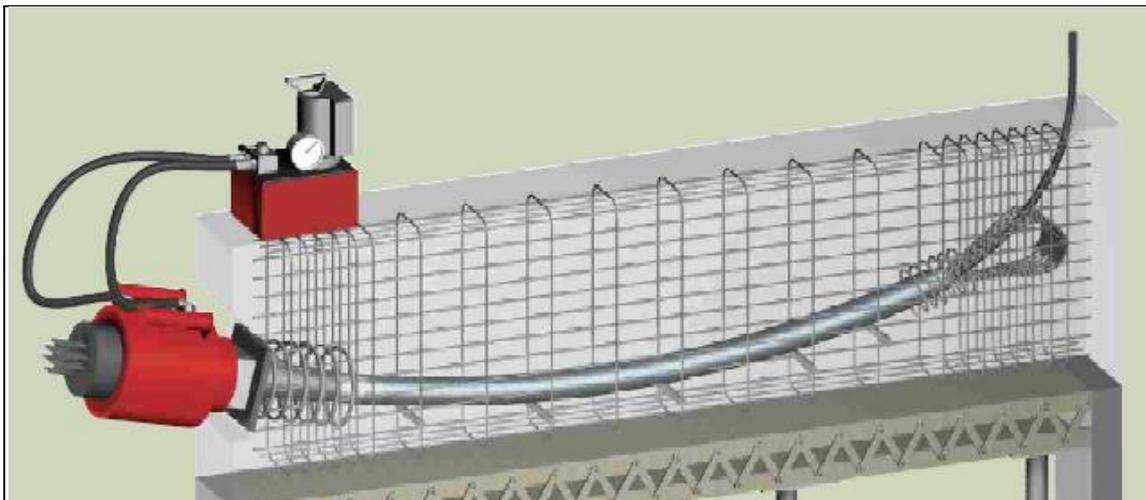


As cordoalhas ficam inicialmente soltas dentro da bainha, o que permite a sua movimentação na ocasião da protensão. Após a concretagem da estrutura e a cura do concreto, os cabos são protendidos e é injetada nata de cimento no interior das bainhas (Concreto com Armadura Ativa Pós-Tracionada – protensão com aderência posterior).

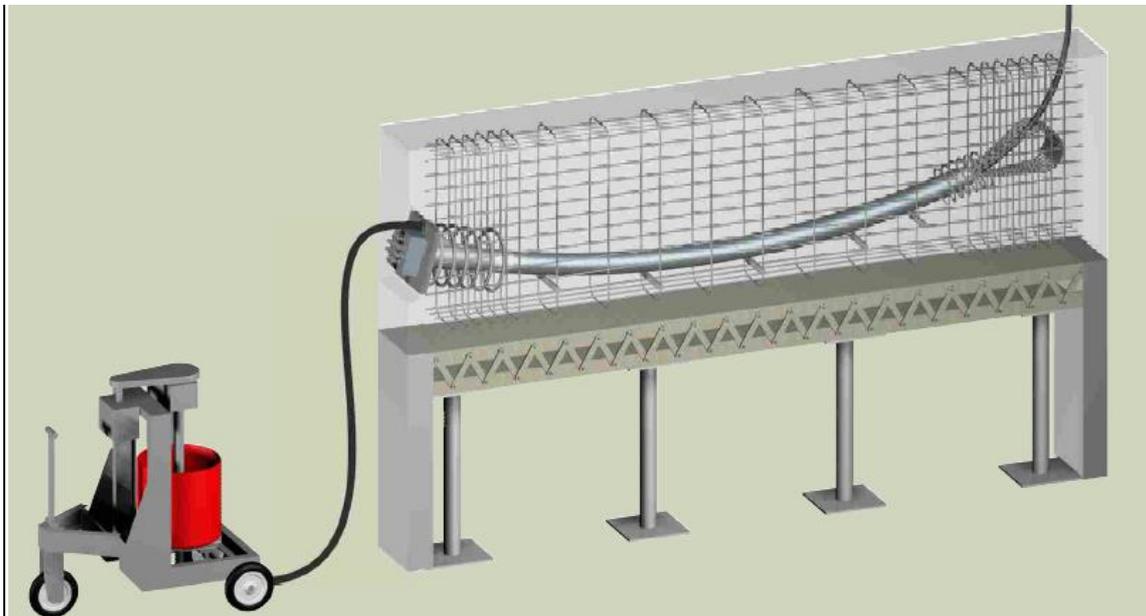
- Preparação:



- Protensão:



- Injeção da Nata de Cimento:



a) Bainhas

As **principais funções** das bainhas são **possibilitar** a movimentação das cordoalhas durante a operação de **protensão e receber a nata de cimento**, na operação de injeção.

Bainhas usadas em **vigas** têm seção transversal **circular**, enquanto em **lajes**, usam-se bainhas **chatas**.

Sua escolha deve ser feita em função da quantidade de cordoalhas do cabo.

As bainhas devem ter diâmetro interno pelo menos medindo 10 mm (admitindo-se 6 mm para bainhas chatas) a mais do que o diâmetro do respectivo cabo e área interna de sua seção transversal igual a no mínimo 2,5 vezes a área da seção transversal dos aços de protensão.

Para cabos verticais e para o caso de se adotar o princípio da cablagem pós-enfiada (concretagem da peça estrutural com as bainhas vazias) esses valores devem ser aumentados. No caso de barra, o diâmetro interno da bainha deve medir pelo menos 6 mm a mais que o diâmetro da barra.

Para evitar que os aços de protensão permaneçam no interior das bainhas por período muito prolongado até a operação de protensão, deve ser adotado, sempre que possível, o critério de pós-enfiagem da cablagem.

As emendas de bainhas são asseguradas por meio de luvas externas, feitas com o mesmo material das bainhas e diâmetro ligeiramente maior.

b) Cordoalhas

As **cordoalhas mais utilizadas** neste sistema de protensão são compostas de **sete fios** e têm **diâmetro de 12,7 mm** ou 15,2 mm. São produzidas sempre na condição de relaxação baixa e fabricadas com **seis fios** de mesmo diâmetro nominal **encordoados em torno de um fio central** de diâmetro ligeiramente maior do que os demais.

CARACTERÍSTICAS DAS CORDOALHAS DE AÇO CP190 PARA PROTENSÃO ADERENTE		
ESPECIFICAÇÃO	Ø12,7 mm ou Ø1/2"	Ø15,2 mm ou Ø5/8"
Diâmetro nominal da cordoalha (*)	12,7 mm	15,2 mm
Área nominal da seção de aço da cordoalha (*) (valor recomendado para cálculo estrutural)	100,9 mm ²	143,4 mm ²
Massa nominal (*)	0,792 kg/m	1,126 kg/m
Carga de ruptura mínima (*)	18730 kgf = 187,30 kN	26580 kgf = 265,80 kN
Carga a 1 % de deformação mínima (*)	16860 kgf = 168,60 kN	23920 kgf = 239,20 kN
Relaxação máxima após 1000 h (*)	3,5 %	3,5 %
Módulo de elasticidade (**)	202 kN/mm ² , +/- 3%	202 kN/mm ² , +/- 3%

(*) Conforme NBR7483:2004 (**) Conforme a NBR7483:2004, este valor é fornecido pelo fabricante. Adotamos valor sugerido em Catálogo Belgo / Setembro 2003.

É **vedado** efetuar no elemento tensor, o corte com **maçarico**, bem como o endireitamento através de máquinas endireitadoras ou qualquer outro processo, pois esses procedimentos alteram radicalmente as propriedades físicas do aço.

1. (21 – Chesf/2012 – Cesgranrio) Em uma obra, estão sendo utilizadas cordoalhas de aço para concreto protendido com a seguinte designação: CP-190 RB 15,2. Portanto, essas cordoalhas têm

- (A) área da seção de aço de 190 mm²
- (B) área da seção de aço de 19,0 mm²
- (C) área da seção de aço de 15,2 mm²
- (D) diâmetro nominal de 19,0 mm
- (E) diâmetro nominal de 15,2 mm

Comentários

De acordo com a norma DNER-EM 376-97:

Conforme o número de fios, as cordoalhas classificam-se em:

- cordoalha de sete fios;
- cordoalha de três fios;
- cordoalha de dois fios.

Conforme a resistência à tração, as cordoalhas de sete fios classificam-se em:

- categoria CP-175 (175 kgf/mm² = 1750 MPa);
- categoria CP-190 (190 kgf/mm² = 1900 MPa).

Para as cordoalhas de dois e três fios, prevê-se apenas a categoria CP-180.

Conforme o comportamento na relaxação, as cordoalhas classificam-se em:



- cordoalha de sete fios:
 - relaxação normal (RN);
 - relaxação baixa (RB).
- cordoalha de dois e de três fios:
 - relaxação normal (RN).

Portanto, CP-190 RB 15,2 significa cordoalha de sete fios para concreto protendido (CP), categoria 190, relaxação baixa (RB) e diâmetro nominal de 15,2 mm (15,2).

Gabarito: E

2. (58 – Petrobras/2012 – Cesgranrio) Os cabos de protensão devem ter em suas extremidades segmentos retos, permitindo o alinhamento de seus eixos com os eixos dos respectivos dispositivos de ancoragem. Excetuando-se o caso das monocordoalhas engraxadas, esses segmentos retos devem ter o comprimento, em cm, não inferior a

- (A) 100
- (B) 110
- (C) 120
- (D) 130
- (E) 150

Comentários

De acordo com a NBR 6118/2014, os cabos de protensão devem ter em suas extremidades segmentos retos que permitam o alinhamento de seus eixos com os eixos dos respectivos dispositivos de ancoragem. O comprimento desses segmentos não deve ser inferior a 100 cm ou 50 cm no caso de monocordoalhas engraxadas.

Os cabos de protensão devem ter prolongamentos de extremidade que se estendam além das ancoragens ativas, com comprimento adequado à fixação dos aparelhos de protensão.

Gabarito: A

3. (31 – Petrobras/2010 – Cesgranrio) No arranjo longitudinal dos cabos de protensão, as extremidades desses cabos devem ter segmentos retos que permitam o alinhamento de seus eixos com os eixos dos respectivos dispositivos de ancoragem. No caso de monocordoalhas engraxadas, o comprimento desses segmentos deve ser superior, em centímetros, a

- (A) 20 (B) 25 (C) 40 (D) 50 (E) 60

Comentários

Conforme vimos na questão anterior, o comprimento desses segmentos não deve ser inferior a 100 cm ou 50 cm no caso de monocordoalhas engraxadas.

Gabarito: D



(Liquigas/2013 – Cesgranrio) Considere os dados a seguir para responder às questões 68 e 69.

As lajes L1 a L5 a seguir foram projetadas como lajes protendidas, segundo a NBR 6118:2007 (Projetos de estruturas de concreto – Procedimento).

Laje	Altura h (cm)	Espaçamento entre cabos de protensão (cm)
L1	16	3
L2	16	6
L3	18	4
L4	18	5
L5	20	10

4. 68 - Analisando-se exclusivamente o espaçamento mínimo entre os cabos, estão em conformidade com a referida norma apenas a(s) laje(s)

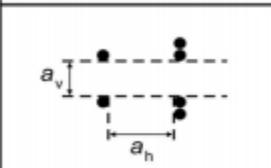
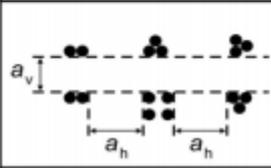
- (A) L1
- (B) L5
- (C) L1 e L3
- (D) L1, L3 e L4
- (E) L2, L4 e L5

Comentários

De acordo com a NBR 6118/2014, os elementos da armadura de protensão devem estar suficientemente afastados entre si, de modo a ficar garantido o seu perfeito envolvimento pelo concreto.

Os afastamentos na direção horizontal visam permitir a livre passagem do concreto e, quando for empregado vibrador de agulha, a sua introdução e operação. Os valores mínimos dos espaçamentos estão indicados nas tabelas a seguir:

Espaçamentos mínimos - Caso de pós-tração

Disposição das bainhas	Espaço livre	
	a_h (horizontal)	a_v (vertical)
	$\geq \phi_{ext}$ $\geq 4cm$	$\geq \phi_{ext}$ $\geq 5cm$
	$\geq 1,2\phi_{ext}$ $\geq 4cm$	$\geq 1,5\phi_{ext}$ $\geq 5cm$

onde:
 ϕ_{ext} é diâmetro externo da bainha



**- Espaçamentos mínimos
- Caso de pré-tração**

Disposição dos fios ou cordoalhas	Espaço livre	
	a_h (horizontal)	a_v (vertical)
	$\geq 2\phi$ $\geq 1,2d_{m\acute{a}x}$ $\geq 2\text{cm}$	$\geq 2\phi$ $\geq 1,2d_{m\acute{a}x}$ $\geq 2\text{cm}$
	$\geq 3\phi$ $\geq 1,2d_{m\acute{a}x}$ $\geq 2,5\text{cm}$	$\geq 3\phi$ $\geq 1,2d_{m\acute{a}x}$ $\geq 2\text{cm}$
	$\geq 3\phi$ $\geq 1,2d_{m\acute{a}x}$ $\geq 3\text{cm}$	$\geq 3\phi$ $\geq 1,2d_{m\acute{a}x}$ $\geq 3\text{cm}$
onde: ϕ é diâmetro do fio ou cordoalha $d_{m\acute{a}x}$ é a dimensão máxima característica do agregado graúdo		

A protensão em lajes realiza-se após o endurecimento do concreto, ou seja, é o caso de pós-tração. Portanto, adota-se a primeira tabela:

Espaçamentos mínimos - Caso de pós-tração

Disposição das bainhas	Espaço livre	
	a_h (horizontal)	a_v (vertical)
	$\geq \phi_{ext}$ $\geq 4\text{cm}$	$\geq \phi_{ext}$ $\geq 5\text{cm}$
	$\geq 1,2\phi_{ext}$ $\geq 4\text{cm}$	$\geq 1,5\phi_{ext}$ $\geq 5\text{cm}$
onde: ϕ_{ext} é diâmetro externo da bainha		

Verifica-se que as distâncias verticais devem ser maiores ou iguais a 5 cm. Com isso, as lajes L2, L4 e L5 satisfazem a esse critério.

Gabarito: E



5. 69 - Fazendo um reestudo dos espaçamentos entre cabos, um engenheiro quis verificar qual o espaçamento máximo entre cabos da laje L1. Fazendo-se as contas de acordo com a norma, esse valor, em centímetros, é

- (A) 16
- (B) 32
- (C) 48
- (D) 96
- (E) 104

Comentários

De acordo com a NBR 6118/2014, para que uma faixa de laje seja tratada como uma região protendida, na direção considerada, o espaçamento entre cordoalhas, cabos ou feixes de cabos deve ser no máximo de $6h$, não excedendo 120 cm.

Na seção da laje correspondente ao cabo ou feixe de cabos, o espaçamento entre eles deve resultar em uma tensão de compressão média igual ou superior a 1 MPa, considerando-se todas as perdas.

Portanto, temos que $6h = 6.16 = 96$ cm.

Gabarito: D

6. (38 – Transpetro/2011 – Cesgranrio) Segundo a NBR 6118/2007 (Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento), os raios mínimos de curvatura das armaduras de protensão são dispensados de justificativa quando o raio de curvatura adotado, no caso de cordoalhas, for superior, em metros, a

- (A) 3
- (B) 5
- (C) 7
- (D) 10
- (E) 12

Comentários

De acordo com a NBR 6118/2014, as curvaturas das armaduras de protensão devem respeitar os raios mínimos exigidos em função do diâmetro do fio, da cordoalha ou da barra, ou do diâmetro externo da bainha.

O estabelecimento dos raios mínimos de curvatura pode ser realizado experimentalmente, desde que decorrente de investigação adequadamente realizada e documentada. Dispensa-se justificativa do raio de curvatura adotado, desde que ele seja superior a 4 m, 8 m e 12 m, respectivamente, nos casos de fios, barras e cordoalhas.



Quando a curvatura ocorrer em região próxima à face do elemento estrutural, provocando empuxo no vazio, devem ser projetadas armaduras que garantam a manutenção da posição do cabo sem afetar a integridade do concreto nessa região.

Gabarito: E

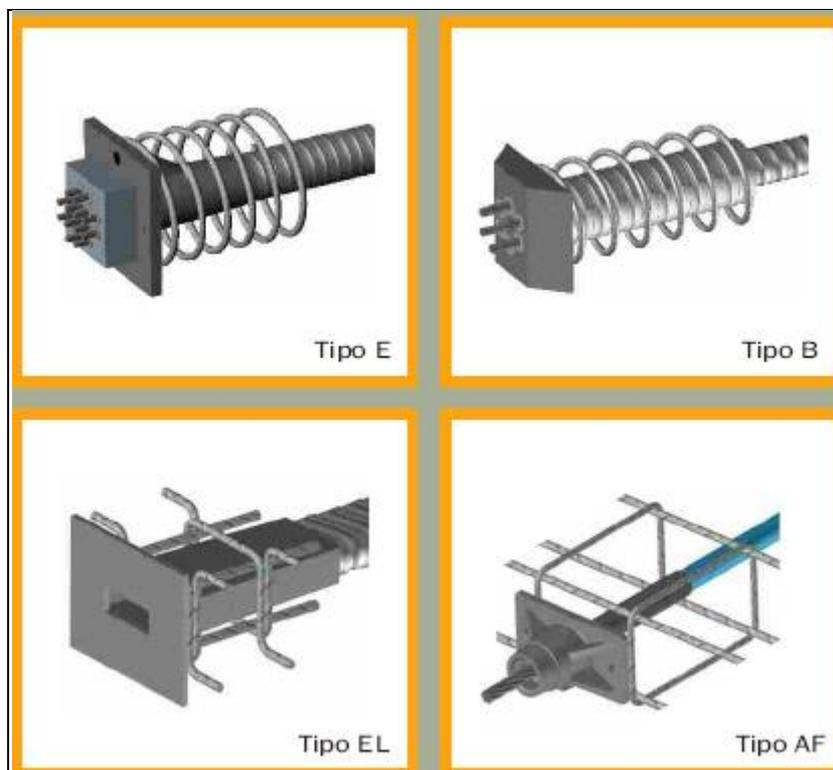
c) Ancoragens

As ancoragens são dispositivos capazes de manter o cabo em estado de tensão, transmitindo a força de protensão ao concreto ou ao elemento estrutural.

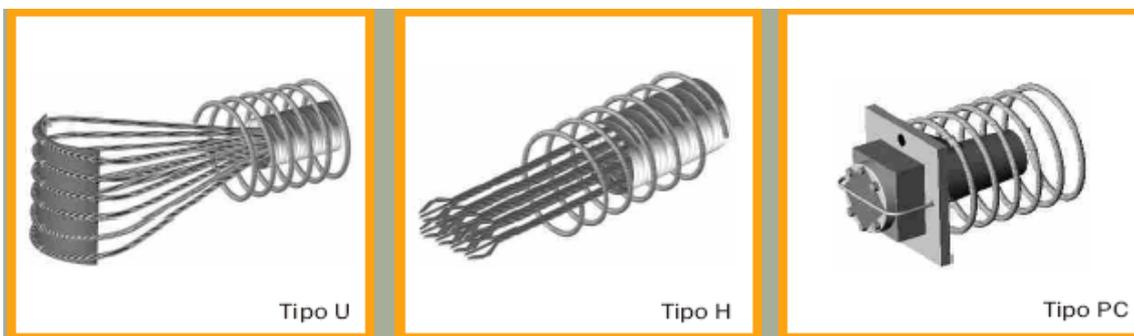
A protensão faz com que a região das ancoragens seja altamente solicitada.

São basicamente de quatro tipos:

- Ancoragens ativas: são as ancoragens nas quais se promove o estado de tensão no cabo, através do macaco de protensão.



- **Ancoragens passivas:** são dispositivos embutidos no concreto, destinados a **fixar a extremidade do cabo oposta àquela da ancoragem ativa**. Somente recebem o esforço advindo da protensão executada na ancoragem ativa. A transferência da força de protensão para o concreto se dá por aderência das cordoalhas e por tensões de compressão entre a ancoragem e o concreto.



Ancoragens de emenda: são combinações de duas ancoragens, uma passiva e uma ativa, que permitem a continuação de cabos a partir de pontos intermediários.

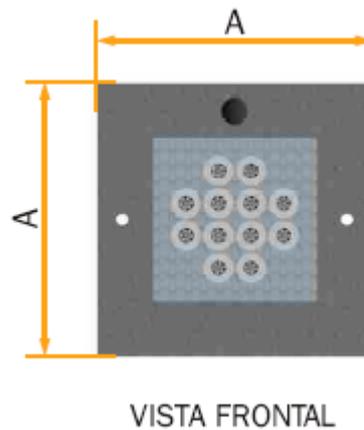
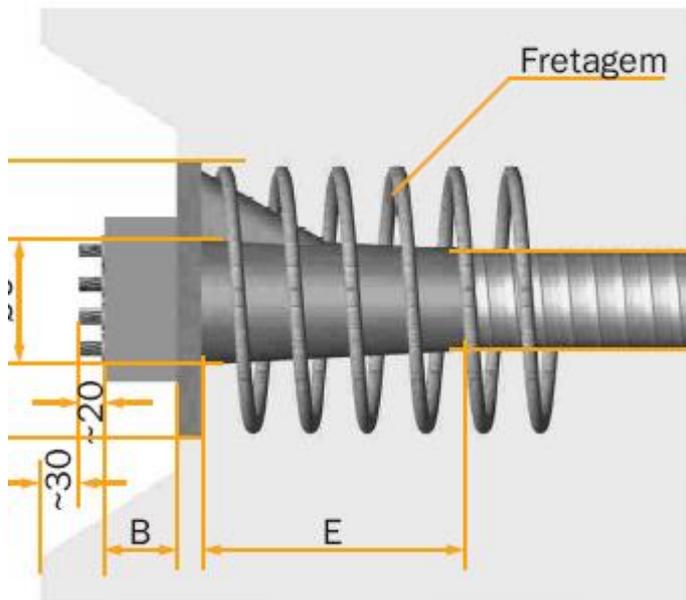


Ancoragens intermediárias: são ancoragens posicionadas no meio dos cabos, quando suas extremidades forem inacessíveis para a protensão.



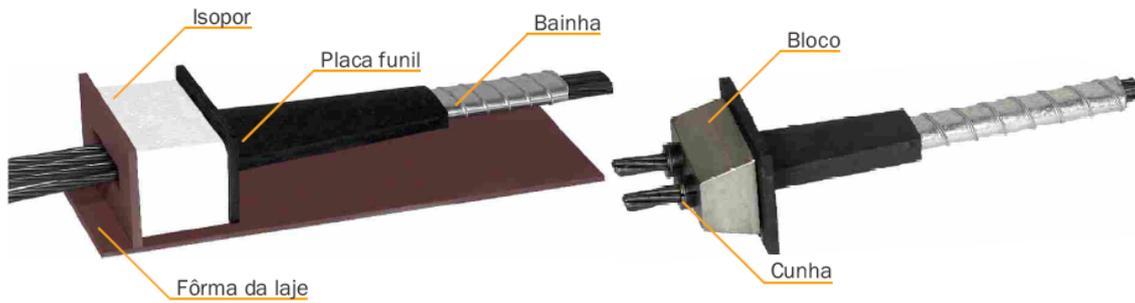
a.1) Ancoragem Ativa

É composta por bloco de ancoragem com furos tronco cônicos, cunhas tripartidas e placa funil, repartidora de esforços sobre o concreto. A placa funil é o único componente da ancoragem que é posicionado na estrutura antes da concretagem.



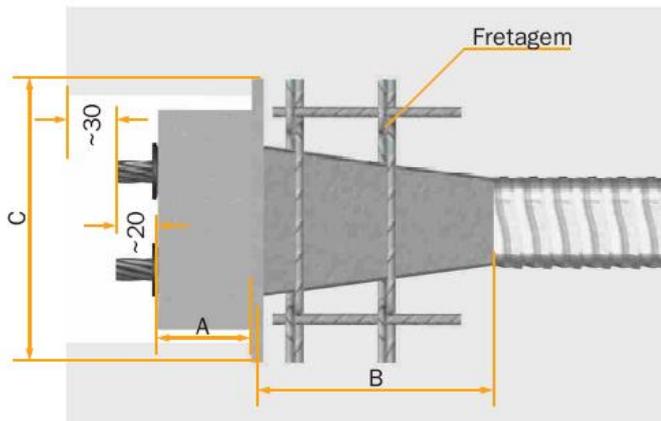
a.2) Ancoragem Ativa com Bainha Achatada

Tem formato achatado e destina-se à protensão de lajes, pisos, tabuleiros de pontes e outras estruturas delgadas. Os cabos, com até 4 cordoalhas de 12,7 mm ou 15,2 mm, são colocados em bainhas metálicas chatas (com exceção das bainhas para cabos monocordoalhas, que são redondas) e as cordoalhas são protendidas uma a uma.

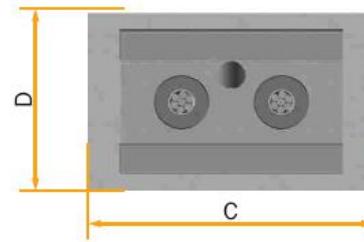


VISTA DA ANCORAGEM EL 5-4
(antes da concretagem)

VISTA DA ANCORAGEM EL 5-2
(depois da concretagem)



VISTA SUPERIOR



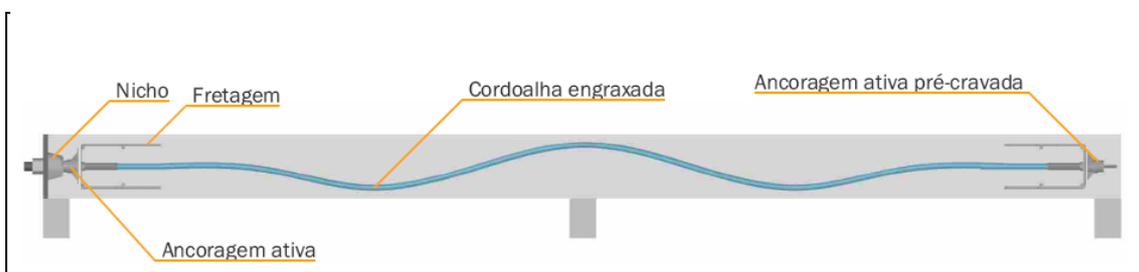
VISTA FRONTAL

2.2 – PROTENSÃO SEM ADERÊNCIA

É o sistema de protensão no qual não existe aderência entre o aço de protensão e a estrutura de concreto. Os cabos são compostos basicamente por uma ancoragem em cada extremidade e uma **cordoalha de aço envolta com graxa e capa de polietileno de alta densidade**.

De acordo com Walid Yazigi (2009), utiliza-se uma proteção anticorrosiva ao cabo formada por tubo de polietileno ou polipropileno e uma proteção secundária constituída por graxa especial que envolve diretamente a cordoalha.

A graxa possibilita a movimentação das cordoalhas nas bainhas, por ocasião da protensão. Após a concretagem da estrutura e a cura do concreto, os cabos são protendidos e ancorados (Concreto com Armadura Ativa Pós-Tracionada sem Aderência – protensão sem aderência).



Neste sistema, como não existe aderência entre a armadura de protensão e o concreto, a manutenção da tensão ao longo da vida útil da estrutura se concentra nas ancoragens. Devido a isso, é fundamental que elas sejam fabricadas com elevado padrão de qualidade.

As cordoalhas usadas no sistema de protensão não aderente são as mesmas utilizadas no sistema aderente, compostas de sete fios e com diâmetro de 12,7 mm ou 15,2 mm.

a) Cabo Engraxado

O cabo engraxado é fabricado por meio de processo contínuo, através do qual a cordoalha é coberta com graxa inibidora de corrosão e então revestida com uma capa de polietileno de alta densidade (PEAD), a qual constitui a bainha do cabo.

As bainhas de PEAD que revestem individualmente as cordoalhas devem ter espessura da parede mínima de 1 mm e seção circular com diâmetro interno que permita o livre movimento da cordoalha em seu interior. Devem ser impermeáveis, duráveis e resistentes aos danos provocados por manuseio no transporte, instalação, concretagem e tensionamento.

A graxa de proteção anticorrosiva e lubrificante deve ter características que não ataquem o aço, tanto no estado de repouso, como no estado limite característico de tensão desse aço.

b) Vantagens

A protensão não aderente pode ser executada a partir de equipamentos leves, facilmente aplicáveis em obras de pequeno porte. Isso possibilita ao concreto protendido ser competitivo com o concreto armado em edifícios residenciais com vãos pequenos (de 3 a 5 metros), o que não acontece com a protensão aderente.



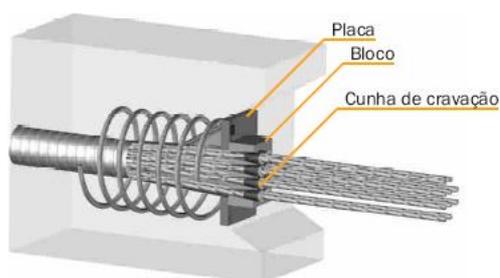
Além disso, os cabos engraxados são leves, de fácil manuseio e flexíveis, o que permite a existência de curvas em sua disposição em planta e possibilita o desvio de eventuais obstáculos existentes em seu trajeto.

3 – PROCESSO DE PROTENSÃO

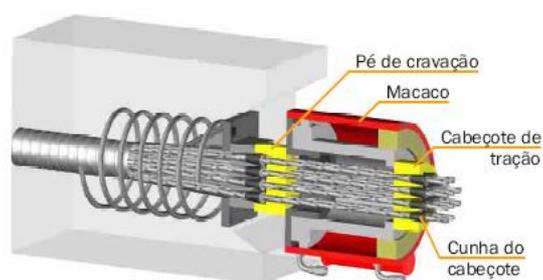
A operação de protensão é aplicada através de macacos hidráulicos e bombas de alta pressão. Normalmente, é composta pelas etapas de preparação, colocação do equipamento, protensão das cordoalhas, cravação e acabamento.

a) Preparação

As formas dos nichos devem ser retiradas, seguidas de limpeza, quando necessária, da área de apoio do bloco da ancoragem. Em seguida, deve ser feita a colocação do bloco e das cunhas. Após o concreto atingir a resistência mínima indicada em projeto estrutural, deve ser providenciado o posicionamento do macaco hidráulico e dos seus acessórios.



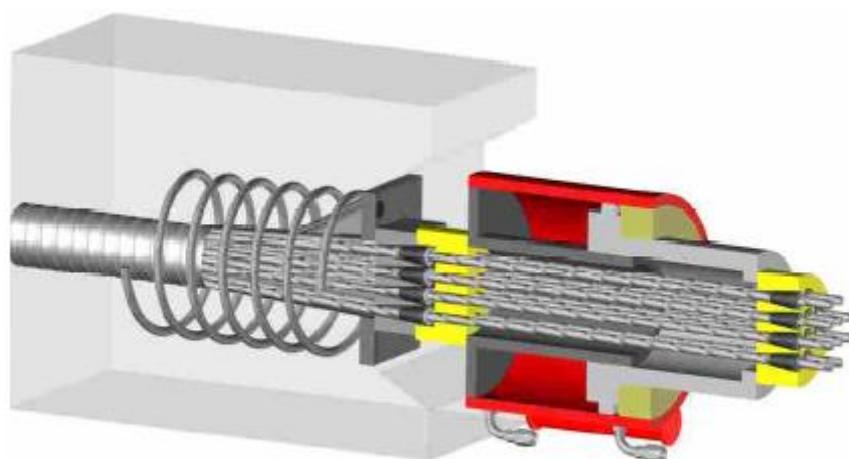
Colocação de bloco e cunhas



Posicionamento do macaco de protensão

b) Protensão

A operação de protensão é realizada pelo acionamento do macaco, através da bomba de alta pressão. As cordoalhas são tracionadas obedecendo à força indicada no projeto estrutural. Deve-se registrar a pressão indicada no manômetro e o correspondente alongamento dos cabos.

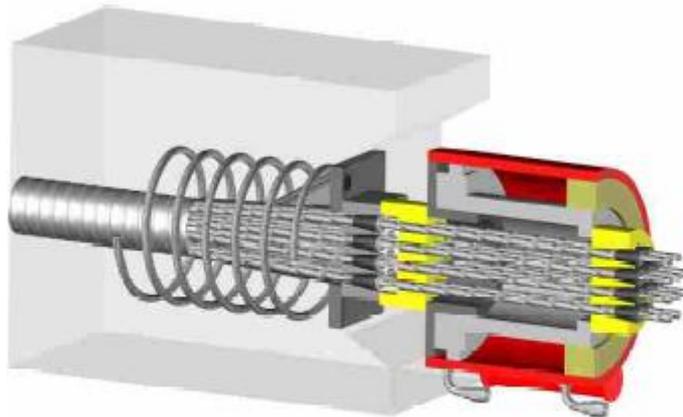


Tracionamento das cordoalhas

c) Ancoragem e(ou) Cravação



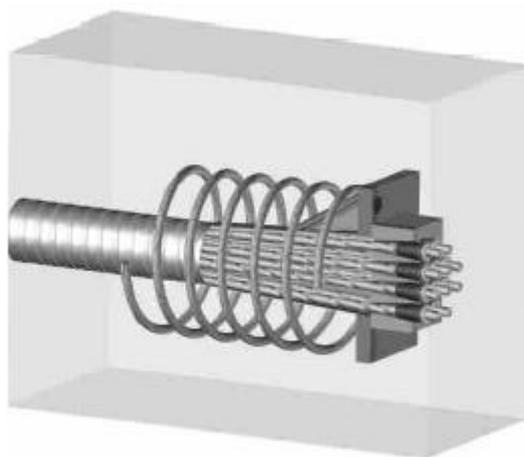
Quando o macaco atingir carga e/ou alongamento indicados no projeto estrutural, finaliza-se a protensão. A pressão no macaco é aliviada e as cordoalhas se ancoram automaticamente no bloco. Em seguida, é feita a remoção do equipamento de protensão.



Cravação das cunhas

d) Acabamento

Após a liberação da protensão, é feito o corte das pontas das cordoalhas. Em seguida, deve-se providenciar o fechamento dos nichos e, no caso de protensão com aderência, a injeção dos cabos com nata de cimento.



Corte das pontas das cordoalhas e fechamento dos nichos

4 – PROCESSO DE INJEÇÃO

A injeção de nata de cimento nas bainhas visa assegurar a aderência mecânica entre as armaduras de protensão e o concreto em todo o comprimento do cabo e a proteção das cordoalhas contra a corrosão.

A **nata de cimento** é obtida pela combinação de **água, cimento e aditivos**.

As características da calda de injeção variam ligeiramente com as diversas marcas de cimento e tipos de aditivos.

A nata de injeção deve atender aos requisitos estabelecidos nas normas técnicas quanto a: fluidez, exsudação, expansão, resistência mecânica, retração, absorção capilar, tempo de pega, tempo de injetabilidade, dosagem de aditivos, e ausência de agentes agressivos.

5 – NICHOS DE PROTENSÃO

Por razões construtivas ou estéticas, normalmente é interessante que as ancoragens ativas fiquem reentrantes à superfície acabada do concreto. Para o acesso a elas, durante a aplicação da protensão, torna-se então necessário que se preveja, no projeto estrutural, a execução de nichos nos elementos de concreto. Após a protensão, os nichos são fechados, formando-se assim uma superfície plana que protege ancoragens e cordoalhas contra a corrosão.

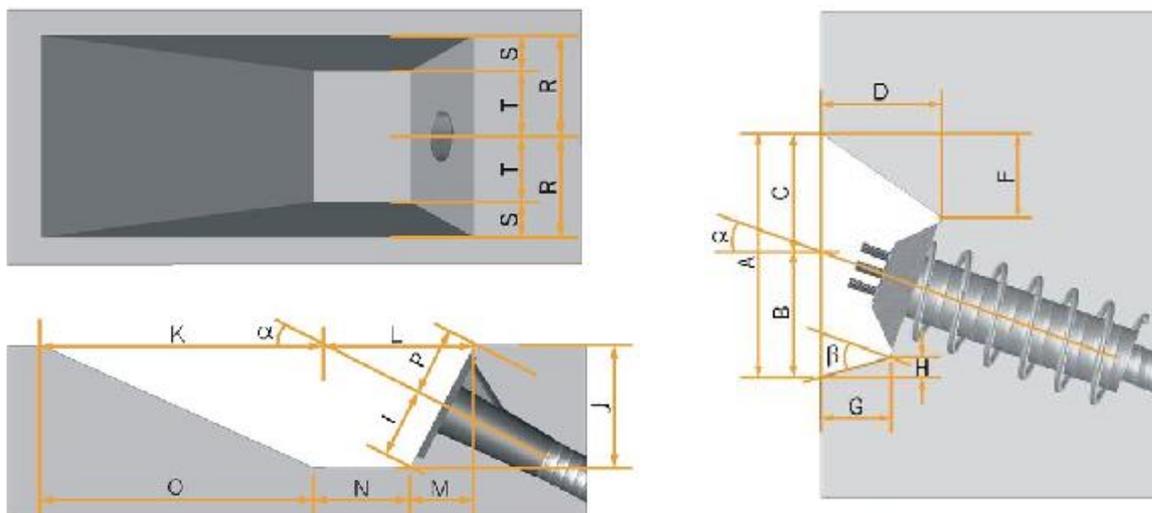
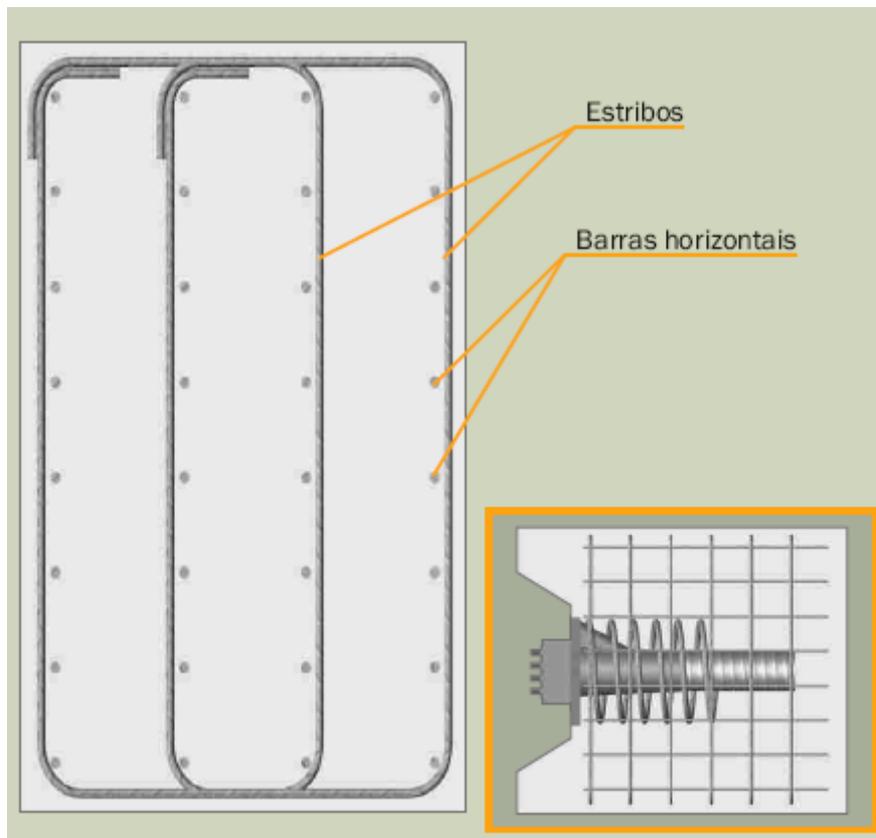
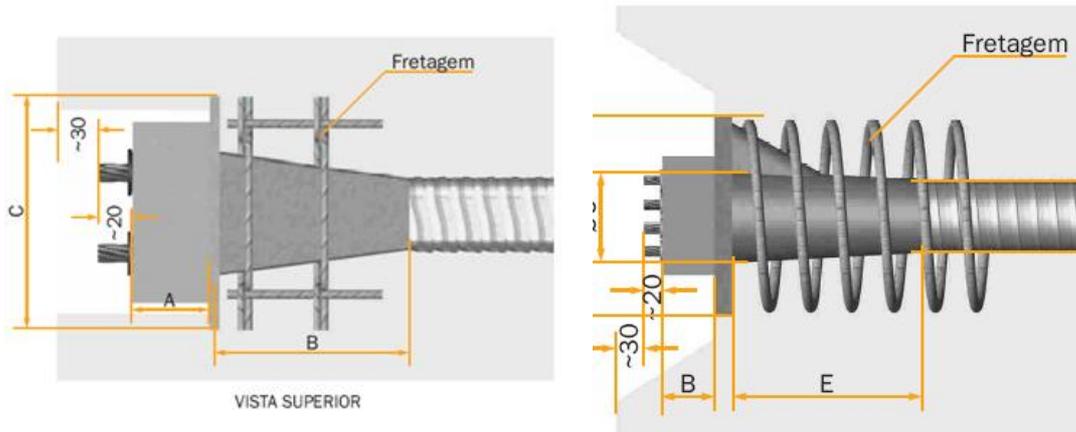


Ilustração: Nicho de protensão vertical

Fendilhamento e Fretagem

O concreto quando protendido é solicitado por tensões elevadas nas imediações das ancoragens, que provocam altos esforços de fendilhamento concentrados nestas regiões. É fundamental a existência de armação que combata estes esforços, assim como de armaduras de fretagem para distribuí-los.



Seção transversal de armadura de fendilhamento.
No detalhe, seção longitudinal da mesma armadura.

6 – PERDAS DA FORÇA DE PROTENSÃO

Fonte: <http://www.rudloff.com.br/downloads/publicacoes-tecnicas/publicacao2_perdas_da_forca_de_protensao.pdf>

a) Perdas Imediatas

- por atrito

Nas peças pós-tracionadas, a armadura ativa ao ser posta em tensão pelo macaco sofre um alongamento gradativo que varia de zero até o valor final. Em consequência, e como a bainha apresenta quase sempre desenvolvimento curvo e **sinuosidades involuntárias**, surge o inevitável atrito entre o aço de protensão e a bainha.

As **perdas de protensão por atrito** ao longo do cabo são calculadas em **função da curvatura do cabo e dos seguintes coeficientes**, que dependem das características dos materiais empregados:

- μ = coeficiente de **atrito aparente entre cabo e bainha**;

- k = coeficiente de **perda** por metro provocada por **curvaturas não intencionais no cabo**.

- por acomodação da ancoragem

A acomodação das cunhas nas ancoragens (cravação) provoca uma perda de aproximadamente 6 mm no alongamento inicial ao qual se chegou antes da cravação.

Em cabos muito curtos, com menos de 10 m de comprimento e uma ancoragem ativa, pode-se compensar a perda de cravação através da colocação de calços de aço de aproximadamente 6 mm.

- no equipamento de protensão

As perdas por atrito que ocorrem internamente no macaco de protensão podem ser avaliadas em 2,5 % do esforço da protensão. Portanto, o projetista deve levar em conta este valor por ocasião do cálculo final do esforço da protensão.

b) Perdas Progressivas

As perdas progressivas decorrem da natureza intrínseca dos materiais aço e concreto e são devidas a uma diminuição de volume de concreto, decorrente dos fenômenos de **retração e deformação lenta**. São devidas também à **fluência do aço**, à qual corresponde uma **relaxação**, isto é, perda de tensão.

- fluência e retração no concreto

A fluência ou deformação lenta do concreto é o encurtamento do mesmo devido à ação de forças permanentemente aplicadas.



A fluência varia linearmente com a tensão aplicada e compõe-se de uma **parte rápida e uma parte lenta**. A **parte rápida é irreversível**. A **lenta** é composta pela deformação **reversível e irreversível**.

Retração é o encurtamento do concreto devido à **evaporação da água** desnecessária à hidratação do cimento. A retração depende da umidade relativa do ambiente, da consistência do concreto no lançamento e da espessura fictícia da peça.

7. (20 – Petrobras/2010 – Cesgranrio) A deformação rápida por fluência do concreto ocorre após a aplicação da carga que a originou e durante as primeiras

- (A) 10 horas, sendo reversível.
- (B) 12 horas, sendo reversível.
- (C) 24 horas, sendo reversível.
- (D) 24 horas, sendo irreversível.
- (E) 48 horas, sendo irreversível.

Comentários

De acordo com a NBR 6118/2014, a deformação por fluência do concreto compõe-se de duas partes, uma rápida e outra lenta. A deformação rápida é irreversível e ocorre durante as primeiras 24 h após a aplicação da carga que a originou. A deformação lenta é por sua vez composta por duas outras parcelas: a deformação lenta irreversível e a deformação lenta reversível.

Gabarito: D

- fluência do aço – relaxação

Fluência do aço vem a ser o **alongamento** que o mesmo sofre no **decorrer do tempo** quando mantido **sob tensão constante**. Há tratamentos térmicos que permitem amenizar o valor destas perdas (aços de relaxação baixa RB).

A tabela a seguir (Tab. 5, NBR 7197) fornece os valores de relaxação para os aços que a 20°C foram submetidos durante 1000h a tensão de 60%, 70% e 80% da resistência característica de tração do aço.

TENSÃO INICIAL	CLASSE DE RELAXAÇÃO	
	RELAXAÇÃO NORMAL	RELAXAÇÃO BAIXA
$\sigma_{pi} = 0,60 f_{ptk}$	4,5	1,5
$\sigma_{pi} = 0,70 f_{ptk}$	7,0	2,5
$\sigma_{pi} = 0,80 f_{ptk}$	12,0	3,5



7 – DEMAIS CONSIDERAÇÕES

7.1 - DEFINIÇÕES DA NORMA NBR 14931

Pessoal, além de entender o sistema de protensão, sabemos que para a prova é importante sabermos as definições das normas aplicáveis.

- **ancoragem:** dispositivo capaz de manter o cabo em estado de tensão, transmitindo força de protensão à estrutura.
- **ancoragem ativa:** ancoragem na qual se promove o estado de tensão no cabo, através de equipamento de protensão.
- **ancoragem de emenda:** dispositivo destinado a dar continuidade a trechos de cabos.
- **ancoragem morta:** dispositivo imerso no concreto destinado a fixar a extremidade do cabo oposta àquela da ancoragem ativa. Esta ancoragem não permite acesso para operação e verificação do grau de protensão e da eventual ocorrência de deslizamento.
- **ancoragem passiva:** dispositivo embutido no concreto destinado a fixar a extremidade do cabo oposta àquela da ancoragem ativa. Embora de configuração análoga àquela da ancoragem ativa, pode ou não permitir acesso para operação de protensão e possibilita verificação do grau de protensão e a eventual ocorrência de deslizamentos.
- **cabeça pré-moldada:** peça de concreto que aloja uma ou mais ancoragens, executada previamente com a finalidade de permitir a antecipação das operações de tensionamento dos cabos e com a função de melhorar a distribuição dos esforços nas extremidades.
- **cabo:** conjunto formado por fios, cordoalhas ou barras e seus dispositivos complementares, como ancoragem, bainhas, purgadores etc.
- **fretagem:** armadura passiva (frouxa) destinada a resistir às tensões locais de tração no concreto, transmitidas pela ancoragem.
- **bainha** duto que isola o cabo do concreto.
- **luva:** peça destinada a emendar bainhas.
- **trombeta ou funil:** peça que faz a concordância da bainha com a ancoragem.
- **suporte:** dispositivo utilizado para manter a bainha na posição de projeto.
- **espaçadores:** dispositivos utilizados em alguns tipos de cabos, destinados a manter seus elementos componentes afastados uns dos outros.
- **operação de protensão:** ato de aplicar força de tração no cabo de protensão, sob condições previamente especificadas.
- **operação de cravação:** ato de fixar o cabo à ancoragem ativa, após a operação de protensão.



- **operação de reprotensão:** compreende a execução de operação de protensão em cabo já protendido, sem a necessidade de efetuar a desprotensão.
- **desprotensão:** ato de proceder, controladamente, à diminuição de tensão de cabo já protendido.
- **acomodação de ancoragem:** perda de alongamento **prevista** e previamente determinada, para cada tipo de ancoragem, que ocorre durante a operação de cravação.
- **deslizamento:** movimento **não previsto** entre a armadura de protensão e a ancoragem.
- **zona de ancoragem:** região de uma peça de concreto onde se situam as ancoragens, especialmente reforçada, para atender aos esforços locais que aí se manifestam.

Seguem demais recomendações da norma 14.931/2004:

Caso seja indispensável a execução de solda próxima aos aços para armadura de protensão, deve ser usada proteção que garanta a integridade dos mesmos.

É vedado o uso de óleo solúvel em água para proteger o aço de protensão contra corrosão.

7.2 – DEFINIÇÕES DA NORMA NBR 7483/2021

- **cordoalha de sete fios:** cordoalha constituída por sete fios, sendo seis fios com o mesmo diâmetro nominal, encordoados juntos, em uma forma helicoidal, com passo uniforme, **em torno do fio central (alma)**.
- **cordoalha de três fios:** cordoalha constituída por três fios com o mesmo diâmetro nominal, encordoados juntos, em uma forma helicoidal, com passo uniforme.
- **cordoalha de sete fios entalhada:** cordoalha constituída por sete fios, sendo seis fios com o mesmo diâmetro nominal, encordoados juntos, **entalhados**, em uma forma helicoidal, com passo uniforme, **em torno do fio central (alma)**.
- **cordoalha de sete fios revestida (engraxada e plastificada ou encerada e plastificada):** cordoalha constituída por sete fios, sendo seis fios com o mesmo diâmetro nominal, encordoados juntos, **entalhados**, em uma forma helicoidal, com passo uniforme, **em torno do fio central (alma)**, recoberta por uma camada de graxa ou cera e por uma capa extrudada de polietileno ou polipropileno de alta densidade.
- **graxa de pós-tensão:** lubrificante utilizado entre a cordoalha e a capa polimérica.
- **cera de pós-tensão:** lubrificante utilizado entre a cordoalha e a capa polimérica.
- **capa polimérica extrudada:** recobrimento plástico à base de polietileno ou polipropileno de alta densidade extrudado sobre a cordoalha revestida com graxa ou cera.
- **passo da hélice:** **comprimento** ao longo do eixo de **uma volta completa** do fio helicoidal em torno do fio central (alma).



- **diâmetro da cordoalha:** diâmetro da circunferência metálica que a circunscribe, não sendo considerada a dimensão adicional formada pela graxa ou cera e pela capa polimérica.
- **lance:** segmento contínuo de cordoalha sem emendas.
- **rolo:** certo segmento de cordoalha apresentado em espiras concêntricas, formando um volume compacto, que pode ser **composto no máximo por dois lances**.
- **lote:** quantidade de cordoalha produzida sob as mesmas condições na etapa de encordoamento.
- **emenda:** qualquer tipo de união entre segmentos adjacentes de fios ou cabos (soldas, amarrilhos, cunhas etc.).
- **flecha:** medida da distância máxima entre a linha que une as duas pontas de um segmento amostral e a face interna da cordoalha.

a) Classificação das cordoalhas

- número de fios: 3 ou 7 fios;
- resistência à tração: categoria CP-190, CP-210, CP-220, CP-230, CP-240; os números correspondem ao limite mínimo de resistência à tração em kgf/mm^2 , sendo $1 \text{ kgf/mm}^2 = 9,81 \text{ MPa}$.
- características da superfície: nua lisa, nua entalhada, revestida.

b) Características das cordoalhas

As cordoalhas de 3 e 7 fios são produzidas sempre na condição de relaxação baixa.

A cordoalha de 7 fios deve ter o fio central com diâmetro nominal pelo menos 3% maior do que o dos fios externos. O passo dos fios externos deve ser de 14 a 18 vezes o diâmetro nominal da cordoalha. Os fios externos da cordoalha de 3 fios devem ter o mesmo passo.

c) Designação

- CP: concreto protendido;
- EGP: cordoalha engraxada e plastificada;
- ECP: cordoalha encerada e plastificada;
- CP-190 RB 12,7 EGP: cordoalha de 7 fios para concreto protendido, categoria 190, relaxação baixa e diâmetro nominal de 12,7 mm, engraxada e plastificada;
- CP-190 RB 15,2 ENT: cordoalha de 7 fios para concreto protendido, categoria 190, relaxação baixa e diâmetro nominal de 15,2 mm, entalhada;
- CP-190 RB 3 x 3,0: cordoalha para concreto protendido, categoria 190, relaxação baixa, cordoalha de três fios e diâmetro nominal de 3 mm por fio.

d) Encomenda

Deve-se indicar, dentre outros, a massa da encomenda, em kg; a designação; o cobrimento ou condição superficial.



e) Requisito

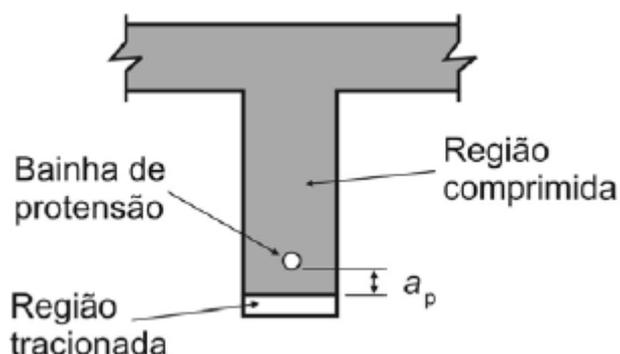
Para o aço-carbono comum, o valor nominal do módulo de elasticidade é de 200 GPa.

8 – ESTADOS LIMITES

No dimensionamento estrutural, além dos estados limite último e de serviço aplicáveis ao concreto armado, usualmente podem ocorrer as verificações quanto ao:

a) estado limite de descompressão (ELS-D): estado no qual em um ou mais pontos da seção transversal a tensão normal é nula, não havendo tração no restante da seção. Verificação usual no caso do concreto protendido.

b) estado limite de descompressão parcial (ELS-DP): estado no qual garante-se a compressão na seção transversal, na região onde existem armaduras ativas. Essa região deve se estender até uma distância a_p da face mais próxima da cordoalha ou da bainha de protensão, conforme figura a seguir:



c) estado limite de compressão excessiva (ELS-CE): Estado em que as tensões de compressão atingem o limite convencional estabelecido. Usual no caso do concreto protendido na ocasião da aplicação da protensão.

8. (28 – SEGAS/2013 – FCC) É característica das lajes planas protendidas:

- (A) a possibilidade de utilização de vãos maiores, proporcionando maiores áreas livres.
- (B) deformações maiores em comparação a estruturas de concreto simples equivalentes.
- (C) a consideração das deformações geradas pelo peso próprio no dimensionamento.
- (D) a baixa resistência ao puncionamento.
- (E) o intervalo de tempo prolongado para a retirada do escoramento.

Comentários

Leonhardt (1983) apresenta as seguintes vantagens do concreto protendido:



- devido ao emprego de materiais de resistências elevadas (tanto o aço como o concreto), o concreto protendido permite vãos maiores e estruturas mais esbeltas, de menor peso próprio do que as de concreto armado;
- a protensão melhora a capacidade de utilização, impedindo que as fissuras se desenvolvam no concreto ou, pelo menos, fazendo com que as aberturas de fissuras possam ser limitadas com segurança a um valor não prejudicial. Isto aumenta a durabilidade;
- as deformações permanecem muito pequenas, porque a estrutura, sob a ação de cargas de utilização – mesmo no caso de protensão parcial – permanece praticamente no Estádio I;
- as estruturas de concreto protendido apresentam uma elevada resistência à fadiga, porque a amplitude de oscilações das tensões no aço – mesmo no caso de protensão inicial – permanece pequena e, com isso, muito abaixo da resistência à fadiga;
- as estruturas de concreto protendido podem suportar consideráveis excessos de carga sem danos remanescentes. As fissuras que surgem por ocasião do excesso de carga voltam a se fechar por completo, desde que as tensões no aço permaneçam abaixo do limite de alongamento de 0,01%.

No artigo intitulado “Concretos e Cabos”, da Revista Técnica, da PINI, há o seguinte comentário acerca de lajes de concreto protendido: “Algumas dessas considerações são mais ligadas à tecnologia e desempenho, como a redução das deformações, o melhor comportamento em relação a fissuras e maior resistência ao punctionamento.” (grifei)

E ainda: “No entanto, há vantagens com reflexo direto no custo ou facilidade de execução. “Como as lajes protendidas trabalham com tensões relativamente baixas, é possível retirar antecipadamente o escoramento e as fôrmas e aumentar a velocidade da obra”, comenta Pedro Ferreira, gerente de contrato da Hochtief. “Além disso, a ausência de vigas leva a economia de material, redução do peso próprio da estrutura e melhor aproveitamento dos espaços”, acrescenta.”

Gabarito: A



9 – QUESTÕES APRESENTADAS

1. 1. (21 – Chesf/2012 – Cesgranrio)

Em uma obra, estão sendo utilizadas cordoalhas de aço para concreto protendido com a seguinte designação: CP-190 RB 15,2. Portanto, essas cordoalhas têm

- (A) área da seção de aço de 190 mm^2
- (B) área da seção de aço de $19,0 \text{ mm}^2$
- (C) área da seção de aço de $15,2 \text{ mm}^2$
- (D) diâmetro nominal de 19,0 mm
- (E) diâmetro nominal de 15,2 mm

2. (58 – Petrobras/2012 – Cesgranrio)

Os cabos de protensão devem ter em suas extremidades segmentos retos, permitindo o alinhamento de seus eixos com os eixos dos respectivos dispositivos de ancoragem. Excetuando-se o caso das monocordoalhas engraxadas, esses segmentos retos devem ter o comprimento, em cm, não inferior a

- (A) 100
- (B) 110
- (C) 120
- (D) 130
- (E) 150

3. (31 – Petrobras/2010 – Cesgranrio)

No arranjo longitudinal dos cabos de protensão, as extremidades desses cabos devem ter segmentos retos que permitam o alinhamento de seus eixos com os eixos dos respectivos dispositivos de ancoragem. No caso de monocordoalhas engraxadas, o comprimento desses segmentos deve ser superior, em centímetros, a

- (A) 20 (B) 25 (C) 40 (D) 50 (E) 60

(Liquigas/2013 – Cesgranrio)

Considere os dados a seguir para responder às questões 68 e 69.

As lajes L1 a L5 a seguir foram projetadas como lajes protendidas, segundo a NBR 6118:2007 (Projetos de estruturas de concreto – Procedimento).



Laje	Altura h (cm)	Espaçamento entre cabos de protensão (cm)
L1	16	3
L2	16	6
L3	18	4
L4	18	5
L5	20	10

4. 68 –

Analisando-se exclusivamente o espaçamento mínimo entre os cabos, estão em conformidade com a referida norma apenas a(s) laje(s)

- (A) L1
- (B) L5
- (C) L1 e L3
- (D) L1, L3 e L4
- (E) L2, L4 e L5

5. 69 –

Fazendo um reestudo dos espaçamentos entre cabos, um engenheiro quis verificar qual o espaçamento máximo entre cabos da laje L1. Fazendo-se as contas de acordo com a norma, esse valor, em centímetros, é

- (A) 16
- (B) 32
- (C) 48
- (D) 96
- (E) 104

6. (38 – Transpetro/2011 – Cesgranrio)

Segundo a NBR 6118/2007 (Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento), os raios mínimos de curvatura das armaduras de protensão são dispensados de justificativa quando o raio de curvatura adotado, no caso de cordoalhas, for superior, em metros, a

- (A) 3
- (B) 5
- (C) 7
- (D) 10
- (E) 12



7. (20 – Petrobras/2010 – Cesgranrio)

A deformação rápida por fluência do concreto ocorre após a aplicação da carga que a originou e durante as primeiras

- (A) 10 horas, sendo reversível.
- (B) 12 horas, sendo reversível.
- (C) 24 horas, sendo reversível.
- (D) 24 horas, sendo irreversível.
- (E) 48 horas, sendo irreversível.

8. (28 – SEGAS/2013 – FCC)

É característica das lajes planas protendidas:

- (A) a possibilidade de utilização de vãos maiores, proporcionando maiores áreas livres.
- (B) deformações maiores em comparação a estruturas de concreto simples equivalentes.
- (C) a consideração das deformações geradas pelo peso próprio no dimensionamento.
- (D) a baixa resistência ao puncionamento.
- (E) o intervalo de tempo prolongado para a retirada do escoramento.



10 – GABARITO

1) E	2) A	3) D	4) E
5) D	6) E	7) D	8) A

11 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP. **Guia básico de utilização do cimento Portland**. 7ª Edição. São Paulo, 2002.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. **NBR 14931/2004 – Execução de Estruturas de Concreto - Procedimento**.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. **NBR 6118/2014 – Execução de Estruturas de Concreto - Procedimento**.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. **NBR 7483/2021 – Cordoalhas de aço para estruturas de concreto protendido - Especificação**.
- Hanai, João Bento de. **Fundamentos do Concreto Protendido**, acessado no sitio: <http://www.set.eesc.usp.br/mdidatico/protendido/arquivos/cp_ebook_2005.pdf>.
- Leonhardt, Fritz e Monnig, Eduard. **Concreto Protendido, volume 5**. Rio de Janeiro. Interciência: 1983.
- Yazigi, Walid. **Técnica de Edificar**. São Paulo. Pini: 2009.



ESSA LEI TODO MUNDO CONHECE: PIRATARIA É CRIME.

Mas é sempre bom revisar o porquê e como você pode ser prejudicado com essa prática.



1 Professor investe seu tempo para elaborar os cursos e o site os coloca à venda.



2 Pirata divulga ilicitamente (grupos de rateio), utilizando-se do anonimato, nomes falsos ou laranjas (geralmente o pirata se anuncia como formador de "grupos solidários" de rateio que não visam lucro).



3 Pirata cria alunos fake praticando falsidade ideológica, comprando cursos do site em nome de pessoas aleatórias (usando nome, CPF, endereço e telefone de terceiros sem autorização).



4 Pirata compra, muitas vezes, clonando cartões de crédito (por vezes o sistema anti-fraude não consegue identificar o golpe a tempo).



5 Pirata fere os Termos de Uso, adultera as aulas e retira a identificação dos arquivos PDF (justamente porque a atividade é ilegal e ele não quer que seus fakes sejam identificados).



6 Pirata revende as aulas protegidas por direitos autorais, praticando concorrência desleal e em flagrante desrespeito à Lei de Direitos Autorais (Lei 9.610/98).



7 Concurseiro(a) desinformado participa de rateio, achando que nada disso está acontecendo e esperando se tornar servidor público para exigir o cumprimento das leis.



8 O professor que elaborou o curso não ganha nada, o site não recebe nada, e a pessoa que praticou todos os ilícitos anteriores (pirata) fica com o lucro.



Deixando de lado esse mar de sujeira, aproveitamos para agradecer a todos que adquirem os cursos honestamente e permitem que o site continue existindo.