

COMPARATIVO ENTRE CP190 E CP210 NA UTILIZAÇÃO DE PAVIMENTOS DE EDIFÍCIOS – ESTUDO DE CASO

Eduardo Martins dos Reis¹

¹ IDD/ Eng. Civil/ eng.eduardo.reis@terra.com.br

1. Introdução

O concreto protendido tem sido utilizado no Brasil desde 1948 e, desde então, está sendo aplicado em vários projetos de estruturas de concreto apresentando-se vantajoso em relação ao concreto armado convencional. Nos anos 50 surgiu a primeira patente de protensão que utilizava bainhas individuais de plástico extrudadas. Existem vantagens significativas em utilizar o concreto protendido em determinadas estruturas, pois este material permite:

- Projetar peças com seções mais reduzidas, diminuindo assim o peso próprio da estrutura;
- Vencer maiores vãos e, desta maneira, conseguir mais espaços livres na obra;
- Atingir menores deformações da estrutura ao longo do tempo;
- Obter fissuras menores ou quase inexistentes, levando a uma maior durabilidade da estrutura;
- Facilitar a criação e viabilização de projetos esteticamente agradáveis e de maior valor arquitetônico.

Com isso, deu-se um grande salto nas soluções de projeto estrutural promovendo redução no custo total da obra tornando este tipo de solução uma das escolhas iniciais para a concepção da tipologia estrutural de edifícios.

O presente trabalho consiste em um estudo da utilização da protensão não aderente em lajes de edifícios quanto ao aspecto da viabilidade no comparativo de determinados insumos dessa solução. Com intuito de corroborar com as ideologias do uso do concreto protendido, esse estudo tem por finalidade mostrar a economia quando da utilização do aço CP210 em substituição ao CP190 visando menor quantidade de cordoalhas no pavimento e, com isso, menor quantidade de horas empregadas na montagem dos cabos, aconregens e acessórios na laje.

2. A PROTENSÃO

2.1 CORDOALHAS ENGRAXADAS E PLASTIFICADAS

As cordoalhas engraxadas e plastificadas produzidas pela Arcelor Mittal apresentam bainha plástica extrudada sobre a própria cordoalha (figura 1). São produzidas em rolos de até 12.000 metros. Apresentam em sua composição, além da bainha plástica PEAD, graxa com massa linear variando de 37g/m a 44g/m para cordoalhas de diâmetro 12,7mm a 15,2mm respectivamente. Possui ainda, o coeficiente de atrito entre o aço e o plástico da bainha com graxa variando de 0,05 a 0,07. Seu acondicionamento é feito em rolos de 1,4 a 2,8t (ver figura 2). Elas são formadas de fios enrolados em forma de hélice e possuem 7 fios. Seu módulo de elasticidade está em torno de 202 GPa $\pm$ 3% e a perda máxima de tensão por relaxação após 1.000 horas a 20°C para carga inicial correspondente 80% da carga de ruptura. As cordoalhas da Arcelor Mittal utilizados na protensão de concreto são fabricados conforme a norma ABNT NBR:7483 - Cordoalhas de Aço para Concreto Protendido. As propriedades mecânicas e geométricas estão especificadas na figura 3.



Figura 1: Detalhe da Cordoalha engraxada.
(ARCELLOR MITTAL, 2017)

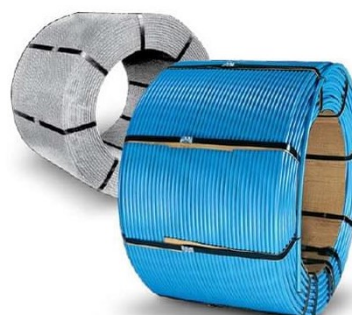


Figura 2: Acondicionamento de cordoalhas em rolos.
(ADAPTADO DE ARCELLOR MITTAL, 2017)

ESPECIFICAÇÕES DOS PRODUTOS - CORDOALHAS PARA PROTENSÃO ENGRAXADAS E PLASTIFICADAS							
Produto	Diâmetro nominal (mm)	Área aprox. (mm²)	Área mínima (mm²)	Massa aprox. (kg/1.000 m)	Carga mínima de ruptura (kN)	Carga mínima a 1% de deformação (kN)	Alongamento após ruptura (%)
Cordoalhas de 7 fios CP 190, cor azul							
Cord. CP 190 RB 12,70	12,7	101	99	792	187	169	
Cord. CP 190 RB 15,20	15,2	143	140	1.126	265	239	3,5
Cord. CP 190 RB 15,70	15,7	150	147	1.172	279	246	
Cordoalhas de 7 fios CP 210, cor laranja							
Cord. CP 210 RB 12,70	12,7	101	99	792	203	183	
Cord. CP 210 RB 15,20	15,2	143	140	1.126	288	259	3,5
Cord. CP 190 RB 15,70*	15,7	150	147	1.172	308	277	

Figura 3 – Especificações das cordoalhas para protensão (ARCELLOR MITTAL, 2017)

A bainha plástica deve apresentar as seguintes características:

- Ser impermeável à água;
- Apresentar capa plástica composta de polietileno de alta qualidade;
- Ter resistência e durabilidade para suportar o arraste por entre as ferragens soltas da obra;
- Formar barreira juntamente com a graxa, contra a passagem de umidade e agentes químicos;
- Não reagir com o concreto ou com as armaduras ativas e passivas e nem o material inibidor de corrosão (graxa).

A graxa deve apresentar as seguintes características:

- Agir como um redutor de atrito entre a cordoalha e a bainha;
- Funcionar como um elemento de proteção e inibição da corrosão para a armadura ativa.

2.2 ANCORAGENS

As ancoragens (ver figura 4) na protensão sem aderência são as responsáveis pela integridade da protensão pois não existe aderência entre o concreto e a armadura ativa, logo, o único fator

que promove a interação da protensão com o concreto são as ancoragens. Daí vem a preocupação na obra em se ter um cuidado maior no momento da concretagem dos locais onde se encontram as ancoragens. Deve ser feito com o cuidado necessário para não resultar em intervenções no projeto durante a etapa de execução do posicionamento dos cabos e ancoragens passivas e ativas na obra. No caso de ancoragens de cordoalhas não aderentes (engraxadas), o espaçamento entre elas é igual independentemente do fabricante. Sendo assim, devemos utilizar as seguintes dimensões mínimas:



Figura 4: Dimensões e espaçamentos mínimos entre as ancoragens (SOUZA, 2017)

De acordo com Graziano (2001) as ancoragens são submetidas a forças de tração paralelas ao plano, de intensidade até quatro vezes a força de protensão. Essas peças devem resistir pelo menos 1,2 vezes a solicitação de estado limite último, segundo o referido autor. De acordo com as recomendações do PTI (1983), as ancoragens devem prover, pelo menos, 95% da resistência última da cordoalha, o que garante condição suficiente de segurança.

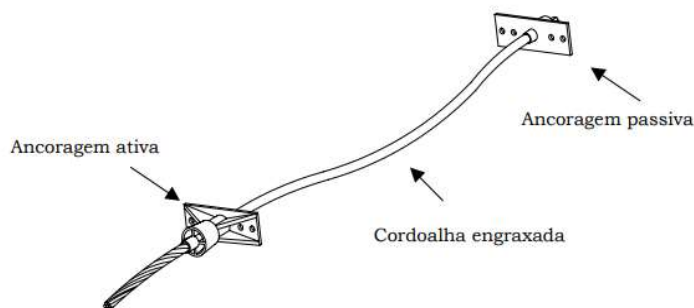


Figura 5: Detalhe dos tipos de ancoragens ativa e passiva (ALMEIDA FILHO, 2002)

Segundo as recomendações do PTI (2000), deve-se tomar cuidado na execução das ancoragens, atentando-se para o seu posicionamento, que deve estar bem ligada e perpendicular à fôrma para não permitir vazamentos durante a concretagem (figura 5). Deve-se observar que a fôrma plástica (pocket form) tem como função impedir a passagem de pasta de cimento para a cavidade da ancoragem

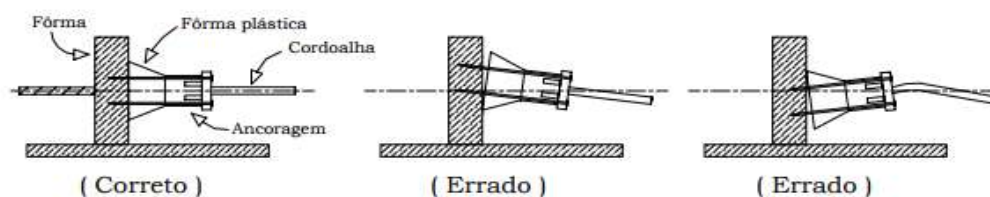


Figura 6 – Posicionamento da ancoragem na fôrma (ADAPTADO DE PTI, 2000)

2.3. MACACO HIDRÁULICO

O macaco hidráulico, utilizado para realizar a protensão das cordoalhas engraxadas, apresenta dois modelos, o automático (figura 7) e o manual (figura 8).

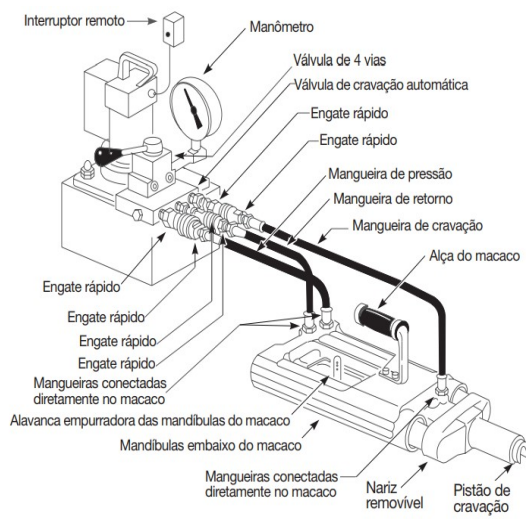


Figura 7: Macaco hidráulico de regulagem automática (CAUDURO, 2003).

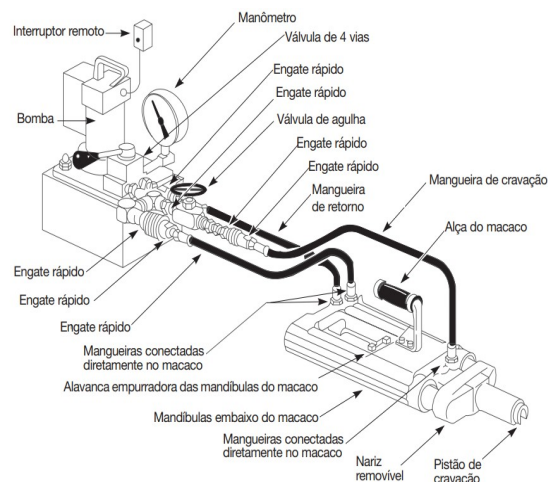


Figura 8: Macaco hidráulico de regulagem manual (CAUDURO, 2003).

A pressão medida no manômetro durante o ato da protensão é de 390 bar (390 kgf/cm²) para a cordoalha CP190 12,7mm e 425 bar (425 kgf/cm²) para a cordoalha CP210 15,2mm sendo equipamentos diferentes para cada um desses tipos de aços.

2.4. PROCESSO CONSTRUTIVO

Procedimento da execução da protensão sem aderência em lajes pode ser assim resumidamente descrito:

- Após o posicionamento das formas e da armadura passiva, deve-se colocar a armadura ativa não aderente.
- Durante o posicionamento da armadura ativa, o cuidado com os cabos pode ser relativamente pequeno uma vez que a bainha plástica é resistente ao contato com a forma e a armadura passivas durante o arrastamento. Deve-se, porém, ter cuidado no instante do posicionamento das ancoragens junto às armaduras de fretagem;
- Os cabos devem deslizar livremente pelas fôrmas, podendo fazer curvas para interceptar pilares que estejam um pouco fora da linha dos demais;
- Deve ser colocada uma luva plástica na zona de intersecção entre a ancoragem e o cabo para evitar a passagem de pasta de cimento para a ancoragem;
- Nas ancoragens passivas devem ser assegurados o seu cobrimento e o seu posicionamento por meio de suportes;
- Após o lançamento das armaduras ativas e passivas, deve ser feita uma inspeção para assegurar a correta localização das ferragens e se o perfil de elevação atende ao projeto;
- Com isso, pode ser iniciada a concretagem do pavimento, sempre tomando cuidado para não atingir nenhum cabo durante o processo, pois a vibração pode provocar afastamento de algum cabo de sua posição original (mudança de elevação);
- A protensão dos cabos deve ser realizada somente quando o concreto atingir a resistência mínima estabelecida em projeto;

- Durante a protensão dos cabos, deve-se tomar cuidado como o alongamento das cordoalhas, marcando-se com tinta, com intuito de ter uma referência do alongamento da cordoalha;
- Com isso, pode-se realizar a protensão com o macaco hidráulico posicionando-se as cunhas e alongando um cabo por vez;
- Aprovada a planilha de alongamentos pelo calculista, deve-se proceder ao corte das pontas dos cabos e executar o preenchimento do nicho de protensão, o que deve ser feito com material cimentício e baixa retração de modo a proteger as ancoragens de agentes agressivos do meio ambiente.

3. METODOLOGIA

Para o estudo das tensões para a determinação do número de cabos serão elaborados caso a caso exemplos numéricos levando-se em conta a inclusão dos parâmetros de resistência do aço CP de modo a influenciar nos quantitativos finais dos cabos.

3.1 LAJE DE ESTUDO

Para o estudo, foi tomado como exemplo um pavimento comercial de 1442,00m² modelado através do software ADAPT- Floor Pro 2015® que discretiza as lajes por elementos de casca pelo Método dos Elementos Finitos. O modelo consiste em uma laje nervurada de 45cm apoiadas sobre vigas faixa de 150 x 45cm e vigas de bordo de 19 x 60cm. As nervuras espaçam de 80cm horizontalmente e 240cm verticalmente.

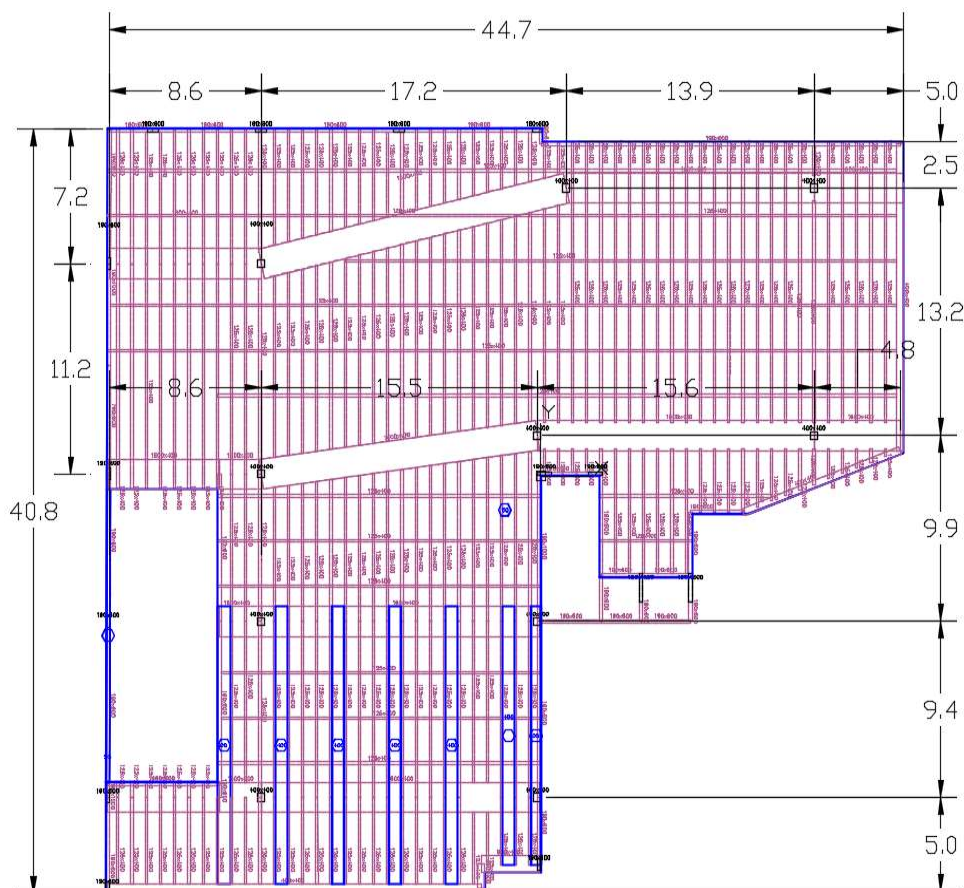


Figura 9: Arranjo estrutural para o sistema de laje plana nervurada apoiada sobre os pilares. (AUTOR, 2017)

A relação vão/espessura máximo utilizado foi 40, levando a espessura das vigas horizontais faixa de mesma espessura. O carregamento considerado será de 3kN/m² para as sobrecargas acidentais e 1kN/m² para as sobrecargas permanentes. A classe de agressividade ambiental escolhida será a II (meio urbano), conforme a tabela 6.1 da NBR6118:2014 (figura 10) e a classe de concreto escolhida será o C30 em consonância com os critério da tabela 7.1 da NBR 6118:2014 (figura 11)

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural Submersa	Insignificante
II	Moderada	Urbana ^{1), 2)}	Pequeno
III	Forte	Marinha ¹⁾ Industrial ^{1), 2)}	Grande
IV	Muito forte	Industrial ^{1), 3)} Respingos de maré	Elevado

¹⁾ Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

²⁾ Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) em: obras em regiões de clima seco, com umidade média relativa do ar menor ou igual a 65%, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos, ou regiões onde chove raramente.

³⁾ Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

Figura 10 – Classe de agressividade ambiental CAA. (NBR 6118:2014)

Concreto ¹⁾	Tipo ^{2) 3)}	Classe de agressividade (tabela 6.1)			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	≤ 0,65	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,45
	CP	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,50	≤ 0,45
Classe de concreto (ABNT NBR 8953)	CA	≥ C20	≥ C25	≥ C30	≥ C40
	CP	≥ C25	≥ C30	≥ C35	≥ C40

NOTAS

1 O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 12655.

2 CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado.

3 CP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido.

Figura 11 – Correspondência entre classe de agressividade e qualidade do concreto. (NBR 6118:2014)

Tipo de concreto estrutural	Classe de agressividade ambiental (CAA) e tipo de protensão	Exigências relativas à fissuração	Combinação de ações em serviço a utilizar
Concreto simples	CAA I a CAA IV	Não há	--
Concreto armado	CAA I	ELS-W $w_k \leq 0,4$ mm	Combinação frequente
	CAA II e CAA III	ELS-W $w_k \leq 0,3$ mm	
	CAA IV	ELS-W $w_k \leq 0,2$ mm	
Concreto protendido nível 1 (protensão parcial)	Pré-tração com CAA I ou Pós-tração com CAA I e II	ELS-W $w_k \leq 0,2$ mm	Combinação frequente
Concreto protendido nível 2 (protensão limitada)	Pré-tração com CAA II ou Pós-tração com CAA III e IV	Verificar as duas condições abaixo	
		ELS-F	Combinação frequente
		ELS-D ¹⁾	Combinação quase permanente
Concreto protendido nível 3 (protensão completa)	Pré-tração com CAA III e IV	Verificar as duas condições abaixo	
		ELS-F	Combinação rara
		ELS-D ¹⁾	Combinação frequente

¹⁾ A critério do projetista, o ELS-D pode ser substituído pelo ELS-DP com $a_p = 50$ mm (Figura 3.1).

NOTAS

1 As definições de ELS-W, ELS-F e ELS-D encontram-se em 3.2.

2 Para as classes de agressividade ambiental CAA-III e IV exige-se que as cordoalhas não aderentes tenham proteção especial na região de suas ancoragens.

3 No projeto de lajes lisas e cogumelo protendidas basta ser atendido o ELS-F para a combinação frequente das ações, em todas as classes de agressividade ambiental.

Figura 12 – Exigências de durabilidade relacionadas à fissuração e à proteção da armadura em função das classes de agressividade ambiental. (NBR 6118:2014)

Sendo assim, podemos escolher o nível de protensão para o projeto conforme a tabela 13.4 da NBR 6118:2014 (figura 12). Será escolhido o nível 2, em que as tensões no concreto devem atender o estado limite de formação de fissuras (ELS-D) na combinação freqüente de carregamento e o estado limite de descompressão (ELS-D) na combinação quase permanente. A tensão de tração máxima no concreto calculada através da equação 1 produziu valor de 3,04MPa

$$\sigma_t \leq 0,21.1,5.\sqrt[3]{Fck^2} \quad (\text{Equação 1})$$

Através dos critérios de tesões verificados pelas combinações da equação 2 e da compressão mínima de 1MPa (item 20.3.2.1 da NBR 6118:2014) serão definidas as quantidades de cordoalhas para cada “tributária” e cada tipo aço, sendo eles, CP190 12,7 e CP210 15,2. Obtendo-se os quantitativos de cordoalhas para cada tipo de aço, serão analisados os quantitativos de materiais, entre eles acessórios e ancoragens, e a mão de obra em homens/hora no intuito de encontrar a real economia em função da troca do aço por um de maior resistência e diâmetro visando menor quantidade de cabos na laje.

$$\sigma = \frac{P_{inf}}{A} + \frac{P_{inf} \cdot e_p \cdot y}{I} + \frac{M_k y}{I} \quad (\text{Equação 2})$$

4. RESULTADOS

Por se tratar de tipologia de laje nervurada, procurou-se realizar a disposição de forma com que se obtivesse a mesma proporção de força de protensão tanto para a laje utilizando o cabo de 12.7mm quanto para o cabo de 15.2mm, porém isso nem sempre foi possível. Ao passo que, com a cordoalha de 12.7 foram necessárias 2 cabos por nervura (figura 13), a equivalência para com a cordoalha de 15.2 foi realizada de modo que ora temos 1 cabo por nervura, ora temos 2 cabos por nervura (figura 14).

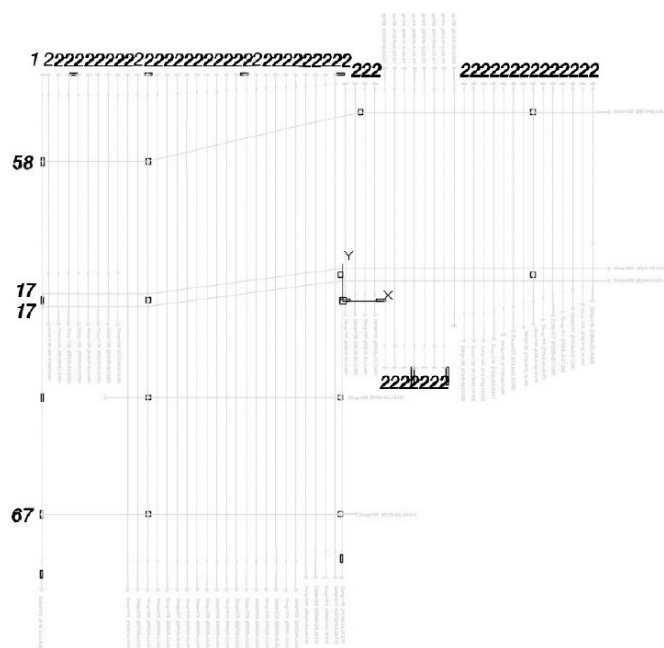


Figura 13: Esquema da distribuição das cordoalhas CP190 de diâmetro 12.7mm no pavimento. (FONTE: AUTOR, 2017)

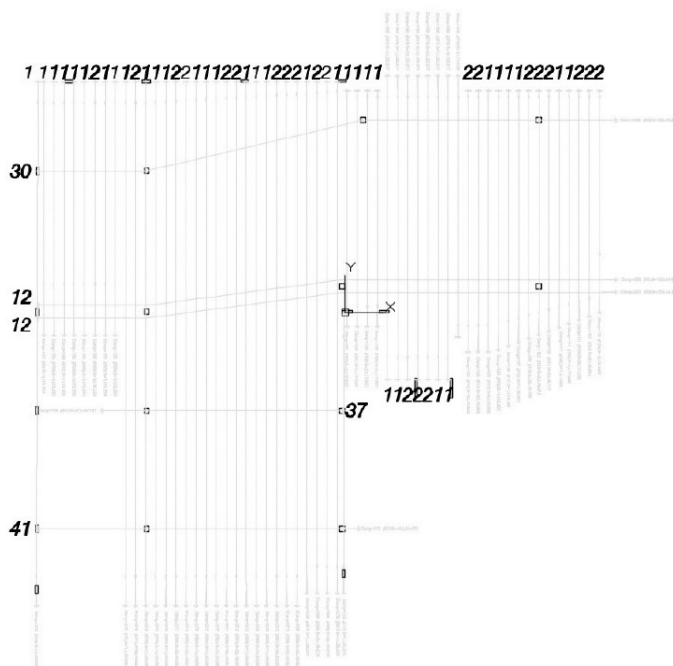


Figura 14: Esquema da distribuição das cordoalhas CP210 de diâmetro 15.2mm no pavimento. (FONTE: AUTOR, 2017)

O resumo com o quantitativo de cordoalhas para as duas soluções pode ser visualizado na tabela 1.

Tabela 1 – Quantitativos e peso dos cabos para as duas soluções

CABO Ø12,7mm	UN	COMPR. UNIT. (m)	COMPR TOTAL (m)	PESO TOTAL (kg)	CABO Ø15,2mm	UN	COMPR. UNIT. (m)	COMPR TOTAL (m)	PESO TOTAL (kg)
58	45	45,008	2.025,36	1.802,6	58	30	45,008	1.350,24	1.520,4
61 A 62	34	44,902	1.526,67	1.358,7	61 A 62	24	44,902	1.077,65	1.213,4
64	54	18,187	982,10	874,1	64	37	18,187	672,92	757,7
67	60	24,474	1.468,44	1.306,9	67	41	24,474	1.003,43	1.129,9
112/114 /115	6	19,838	119,03	105,9	112/114 /115	5	19,838	99,19	111,7
116	2	19,657	39,31	35,0	116	1	19,657	19,66	22,1
117	2	19,361	38,72	34,5	117	1	19,361	19,36	21,8
118	2	19,065	38,13	33,9	118	1	19,065	19,07	21,5
119	2	18,765	37,53	33,4	119	2	18,765	37,53	42,3
120	2	18,473	36,95	32,9	120	2	18,473	36,95	41,6
121	2	18,177	36,35	32,4	121	2	18,177	36,35	40,9
122	2	17,881	35,76	31,8	122	1	17,881	17,88	20,1
123	2	17,586	35,17	31,3	123	1	17,586	17,59	19,8
124	2	17,290	34,58	30,8	124	2	17,290	34,58	38,9
125	2	16,994	33,99	30,2	125	2	16,994	33,99	38,3
126	2	16,689	33,38	29,7	126	2	16,689	33,38	37,6
100 A 103	8	17,807	142,46	126,8	100 A 103	6	17,807	106,84	120,3
113	2	19,838	39,68	35,3	113	2	19,838	39,68	44,7
147	1	21,273	21,27	18,9	147	1	21,273	21,27	24,0
96/317 A 323	16	19,224	307,58	273,7	96/318/320/ 322/323/ 398 A 400	8	19,224	153,79	173,2
106/ 107/368 A 372	14	23,217	325,04	289,3	106/107/ 368 A 393	12	23,217	278,60	313,7
72/148/377 A 393	37	40,688	1.505,46	1.339,9	72/148/377 A 393	27	40,688	1.098,58	1.237,0
394 A 397	8	39,679	317,43	282,5	394 A 397	6	39,679	238,07	268,1
				9.180,39					6.446,59
				8.170,54					7.258,86

4.1 ANÁLISE E COMPARATIVO DAS TENSÕES

Conforme esperado, apesar da diferença de peso entre as soluções (menos 11% para cordoalha 15.2mm) verificado na tabela 1, as tensões foram congruentes tendo em vista atender os critérios de tensões especificados e a proporcionalidade relativa entre o CP190 e o CP210 (figuras 15 a 18).

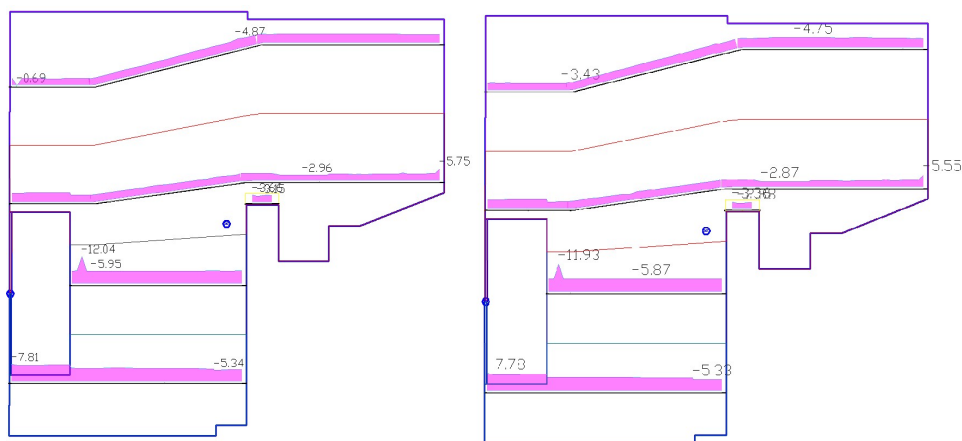


Figura 15a e 15b: Pré-compressão das tributárias horizontais para cordoalhas CP210 diâmetro 15.2 mm (esq) e CP190 12.7mm (dir) (MPa). (FONTE: AUTOR, 2017)

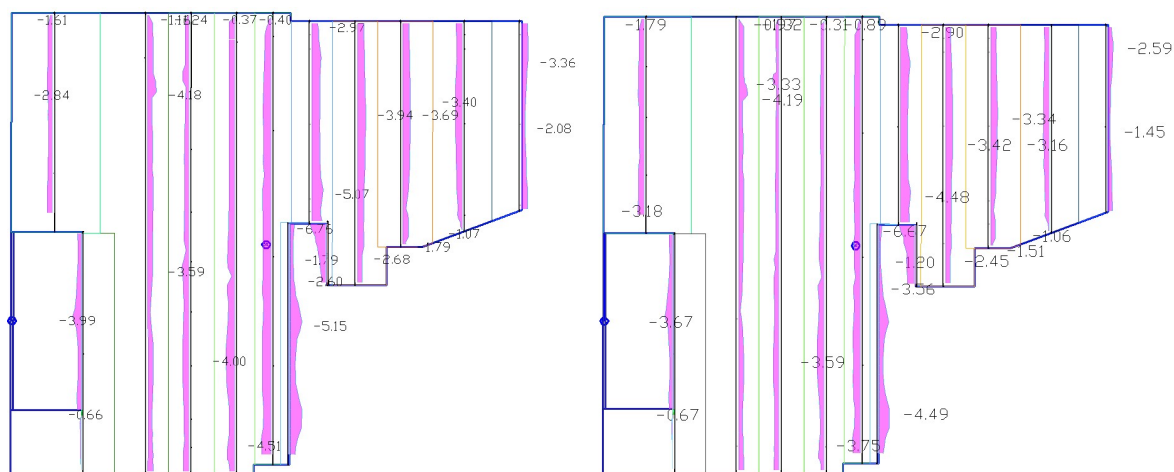


Figura 16a e 16b: Pré-compressão das tributárias verticais para cordoalhas CP210 diâmetro 15.2 mm (esq) e CP190 12.7mm (dir) (MPa). (FONTE: AUTOR, 2017)

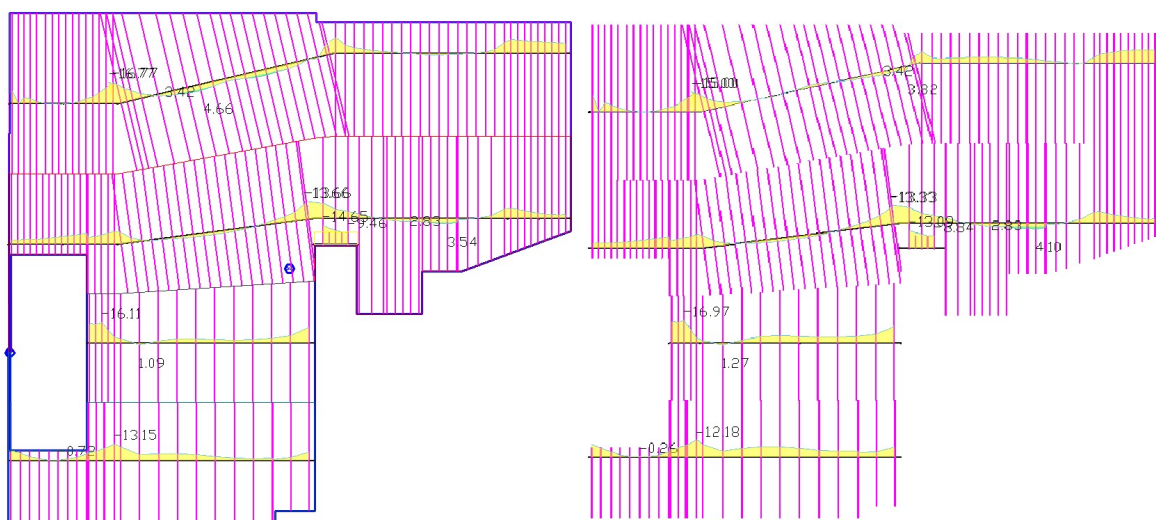


Figura 17a e 17b: Tensões nas fibras inferiores das tributárias horizontais, combinação freqüente, para cordoalhas CP210 diâmetro 15.2 mm (esq) e CP190 12.7mm (dir) (MPa). (FONTE: AUTOR, 2017)

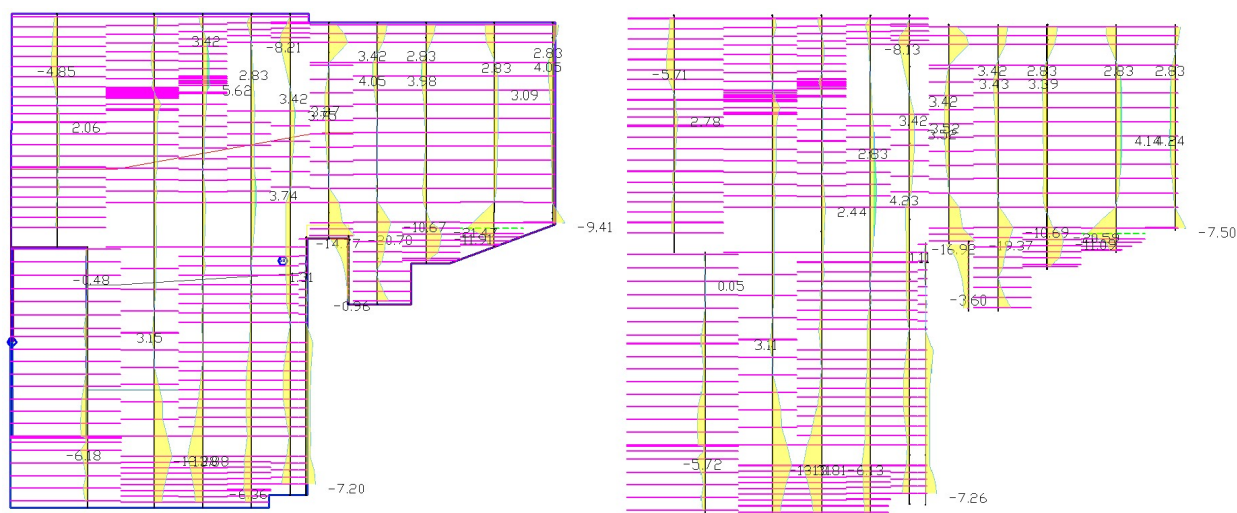


Figura 18a e 18b: Tensões nas fibras inferiores das tributárias verticais, combinação freqüente, para cordoalhas diâmetro CP210 15.2 mm (esq) e CP190 12.7mm (dir) (MPa). (FONTE: AUTOR, 2017)

4.2 VALORES DE MÃO-DE-OBRA E ACESSÓRIOS

Uma vez apurados os quantitativos de armaduras ativas, as duas opções foram enviadas à uma empresa de protensão para cotação dos valores dos acessórios e mão de obra de execução. Valores de dezembro/2017 ilustrados na tabela 2.

Tabela 2 – Descrição dos valores da mão-de-obra e acessórios (valores de Dezembro/2017)

DESCRIÇÃO	UNIDADE	QUANTIDADE		PREÇO UNITÁRIO (R\$)		PREÇO TOTAL (R\$)	
		12,7mm	15,2mm	12,7mm	15,2mm	12,7mm	15,2mm
Acompanhamento	kg	8170,55	7258,90	2,61	2,79	21325,13	20252,25
Ancoragem	unidade	614	432	6,90	12,35	4236,60	5335,20
Cunha	par	614	432	5,67	13,62	3481,38	5883,84
Pocket Forme	unidade	307	216	1,55	2,00	475,85	432,00
Adaptador ancoragem (*)	unidade	307	216	5,77	0,56	1771,39	126,96
						31290,35	32030,25

(*) Para a cordoalha 12,7mm, a empresa disponibiliza solução diferenciada.

4.3 CUSTO TOTAL DA PROTENSÃO

A tabela 3 ilustra a soma do valor das cordoalhas à mão de obra, ancoragens e acessórios levantados na tabela 2 obtendo-se assim, o custo final para cada solução.

Tabela 3 – Comparativo do custo total da protensão do pavimento (valores de Dezembro/2017)

Desembolso 2017

DESCRIÇÃO	UNIDADE	QUANTIDADE		PREÇO POR KG		PREÇO TOTAL (R\$)	
		12,7mm	15,2mm	12,7mm	15,2mm	12,7mm	15,2mm
Mão-de-obra	kg	8170,55	7258,9	3,82	4,41	31290,35	32030,25
Cordoalha				7,98	8,44	65200,99	61279,38
							96491,34

5. DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

Conferindo os critérios adotados nesse artigo, que foram das tensões de pré-compressão e das tensões de verificação das fibras inferiores na combinação freqüente, verifica-se que a quantidade de armadura passiva empregada na obra foi 11% menor quando da substituição do aço CP190 12.7mm pelo CP210 15.2mm sendo que, a tensão de tração na cordoalha CP210 é 10,5% superior quando comparada com a cordoalha CP190 a um custo 5% superior por quilo. Ao utilizar o diâmetro de 15.2mm no CP210, a força final aplicada no cabo no ato da protensão aumenta 60% quando se comparado ao CP190 12.7mm aumentando conseqüentemente a capacidade de carga da laje para o mesmo vão reduzindo de operação para aplicação da mesma força uma vez da menor quantidade de cabos. Mas considerando os custos globais de material e mão de obra, a vantagem encontrada foi de R\$ 3.181,71 a favor da solução CP210 15.2mm resultando na diferença global de apenas 3.29% . Analisando a tabela 3, pode-se concluir que, mesmo sendo pequena a diferença final, a adoção da solução CP210 15.2mm tem potencial de expansão uma vez que a quantidade de metros lineares de cabos empregados no pavimento diminuiu substancialmente (9.179,8m para o CP190 12.7mm contra 6.446,6m do CP210 15.2mm). Essa diferença de metros lineares de cabos empregados na obra poderia ser contabilizada caso a empresa que cotou os serviços utilizasse a razão de

homens/hora para a execução da montagem dos cabos, ancoragens e acessórios ao invés de adotar um valor de verba por quilo de armadura ativa em que é verificado apenas a maior trabalhabilidade do manuseio do peso unitário da cordoalha de diâmetro 15.2. Recomenda-se para estudos futuros o comparativo entre as cordoalhas CP190 12.7mm e CP210 15.2mm em tipologias de laje plana maciça em que o peso próprio a ser equilibrado pela protensão é maior e a distribuição dos cabos pode ser mais livre em detrimento da padronização dos espaços encontrado na laje nervurada.

Referências

ABNT NBR 6118 - Projeto de Estruturas de Concreto, 2014.

ABNT NBR 7483 – Cordoalhas de Aço para Concreto Protendido, 2005.

ABNT. NBR 6118:2014 – Comentários e Exemplos de Aplicação. Ed. IBRACON. São Paulo, 2015.

ARCELOR MITTAL. Website, acesso em julho de 2017, <http://corporate.arcelormittal.com>

ALMEIDA FILHO, F. M. Estruturas de pisos de edifícios com a utilização de cordoalhas engraxadas. Tese - UFSCar. São Carlos, 2002.

AALAMI, B. O. Post-tensioned buildings: design e construction. Adapt, Palo Alto, 2014

BELGO BEKAERT. Website, acesso em julho 2017
<http://www.belgobekaert.com.br/SitePages/Inicio.asp>

LEONHARDT, F. Construções de concreto. Vol. 5. Rio de Janeiro, 1983.

PFEIL, W. Concreto Protendido Vol.1 – Introdução. LTC Editora, Rio de Janeiro, 1984.

ANAIS DO II SELAP – SEMINÁRIO LATINO-AMERICANO DE PROTENSÃO

LIBBY, James R. Modern Prestressed Concrete. New York: Van Nostrand Reinhold Company, 1984.

LIN, T. Y. Design of Prestresses Concrete Structures. New York: John Wiley & Sons, 1963.

SHUSHKEWICH, Kenneth W. Simplified Equivalent Loads of Prestressing. Journal of Structural Engineering. Vol. 117, nº 11. American Society of Civil Engineerings (ASCE): USA, 1991.

COLLINS, Michael P. & MITCHELL, Denis. Prestressed Concrete Basics. Ottawa, Canadá: Canadian Prestressed Concrete Institute, 1987.

CARVALHO, ROBERTO CHUST. Estrutura em concreto protendido: Cálculo e detalhamento. Pini. São Paulo, 2012.

CAUDURO, E. L. Manual para a boa execução de estruturas protendidas usando cordoalhas de aço engraxadas e plastificadas. Belgo Mineira. Belo Horizonte, 2003

- GRAZIANO, F.P. Lajes Protendidas com Cordoalhas Engraxadas – Parte 1. Revista Técnica No. 48. São Paulo, 2000.
- GRAZIANO, F.P. Lajes Protendidas com Cordoalhas Engraxadas – Parte 2. Revista Técnica No. 52. São Paulo, 2001.
- EMERICK, A. A. Projeto e execução de lajes protendidas. Interciência. Rio Grande, 2009.
- MARTINS, A.R. & STUCCHI, Fernando R. Ações nas Estruturas de Concreto. Anais, III Simpósio EPUSP sobre Estruturas de Concreto. Escola Politécnica da USP. São Paulo, SP: 1993.
- NILSON, Arthur H. Design of Prestressed Concrete. Second Edition, New York: John Wiley & Sons, 1987.
- KEYDER, Engin. Friction Losses in Prestressed Steel by Equivalent Load Method. PCI Journal. Nº 2. 1990.
- PTI – POST TENSIONING INSTITUTE. Post _Tensioned Commercial and Industrial Floors. . U.S.A, 1983.
- PTI – POST TENSIONING INSTITUTE. Field Procedures Manual for Unbonded Single Strand Tendons. U.S.A, 2000.
- CHOLFE, L.; BONILHA, L. Concreto protendido: teoria e prática. Ed. Pini. São Paulo, 2013
- SOUZA, Alexandre. Introdução ao Concreto Protendido. Notas de Aula – Instituto IDD, Curitiba, 2017
- SOUZA, V. C. M.; CUNHA, A. J. P. Lajes em Concreto armado e protendido. Editora EDUFF. Rio de Janeiro – RJ, 1998.