

Revista da Graduação

Vol. 5

No. 1

2012

12

Seção: Faculdade de Engenharia

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE ESTRUTURAS EM
CONCRETO CONVENCIONAL E ESTRUTURAS EM LAJES
PLANAS PROTENDIDAS PARA EDIFÍCIOS COM MÚLTIPLOS
PAVIMENTOS: Análise do ponto de vista executivo, econômico
e produtivo.**

Matheus Scheibler

Este trabalho está publicado na Revista da Graduação.

ISSN 1983-1374

<http://revistaseletronicas.pucrs.br/ojs/index.php/graduacao/article/view/11410>

ESTUDO COMPARATIVO ENTRE ESTRUTURAS EM CONCRETO CONVENCIONAL E ESTRUTURAS EM LAJES PLANAS PROTENDIDAS PARA EDIFÍCIOS COM MÚLTIPLOS PAVIMENTOS: ANÁLISE DO PONTO DE VISTA EXECUTIVO, ECONÔMICO E PRODUTIVO.

Autor: Matheus Scheibler (matheus.scheibler@acad.pucrs.com.br)

Orientador: Prof. Eduardo Giugliani (giugliani@pucrs.br)

RESUMO

Com o intuito de obter estruturas mais flexíveis sob o ponto de vista arquitetônico, percebe-se a necessidade do emprego de métodos distintos ao concreto armado tradicional. Uma alternativa que garante esta flexibilidade consiste no sistema de lajes planas protendidas. Apesar de ser empregado no país há alguns anos, ainda é pequeno o seu emprego quando comparado ao sistema em concreto armado convencional, utilizado na imensa maioria dos empreendimentos de múltiplos pavimentos. Essa situação reflete-se, muitas vezes, pela resistência a utilização de novas tecnologias por parte de projetistas, construtoras e, até mesmo, por parte dos proprietários do empreendimento, pouco familiarizados com este sistema. Esse estudo relaciona os benefícios obtidos através do emprego deste sistema, instruções para a boa prática do processo produtivo, cuidados a serem previstos ao longo da execução, estabelecendo um comparativo de custos e de produtividade, tendo-se de um lado o sistema em lajes planas protendidas e do outro o método convencional em concreto armado.

Palavras-chave: Lajes planas protendidas. Processo executivo. Produtividade. Custos de produção. Pavimentos de concreto.

1. Introdução

Atualmente, a construção civil vive um grande momento, especialmente no setor imobiliário. A cada dia que passa, novos e audaciosos empreendimentos são lançados. Neste contexto, porém, percebe-se que tais empreendimentos valorizam, de forma explícita, os espaços condominiais, os quais são providos de ambientes esportivos, salas gourmet, lounges, brinquedotecas, entre outros. Esta tendência, segundo S. B. Villa (2006), reflete-se no fato de que a área das unidades está cada vez menor, fazendo, assim, com que as pessoas busquem outros lugares para desenvolverem suas atividades. Além disso, a distribuição interna das unidades, definidas por estereótipos arquitetônicos, não retrata de forma satisfatória a necessidade do modo de vida contemporâneo das grandes cidades.

Paralelo a este crescimento imobiliário, observa-se que o setor da construção está passando por um relevante processo de crescimento e modernização, no qual construtoras

investem capital a fim de buscar novos métodos e processos de produção que aumentem a produtividade dos serviços e reduzem o desperdício de materiais e mão de obra, sem afetar de forma negativa a qualidade do produto final.

Nota-se, hoje em dia, que as construtoras passam a ofertar apartamentos, os quais não possuem alguns itens de acabamento, tais como revestimentos de pisos e paredes, louças, dispositivos elétricos e hidráulicos, característica tal, que favorece tanto a construtora, do ponto de vista executivo, uma vez que não necessita atentar para as peculiaridades de cada unidade, como, por outro lado, o cliente, que poderá implantar, em seu apartamento, materiais que ele próprio tenha determinado.

Com o intuito de ofertar um produto diferenciado, no qual, além de simplesmente optar por itens referentes ao acabamento, o cliente também possua a liberdade de escolher a disposição dos ambientes que melhor se enquadre ao seu estilo de vida, fugindo, dessa maneira, dos modelos pré-concebidos de projetos, percebe-se, a necessidade de desenvolver estruturas flexíveis que permitam tal mobilidade, uma vez que, no lançamento arquitetônico, as divisórias entre os ambientes também possuem a função de encobrir as estruturas de sustentação do edifício, tais como vigas e pilares. Porém, as estruturas em concreto convencional, largamente empregadas, não proporcionam tal flexibilidade, devendo, então, ser estudada uma nova solução estrutural para atender a estas necessidades. O problema consiste no fato de que este tipo de decisão é definida, muitas vezes, pelo proprietário do empreendimento, por projetistas (arquitetônicos e estruturais) e por construtoras, os quais, pelo fato de estarem familiarizados somente com sistemas convencionais, apresentam resistência ao emprego de novas tecnologias.

Uma solução adequada e já utilizada no Brasil consiste no emprego de lajes planas, tanto com a utilização de armadura passiva como ativa, estas últimas conhecidas também como lajes planas protendidas. Este modelo estrutural baseia-se em uma laje apoiada simplesmente por pilares, sendo inexistentes, portanto, os elementos estruturais do tipo viga. Esta característica proporciona, dentre diversas outras vantagens, grande flexibilidade arquitetônica.

De acordo com W. Pfeil (1980, p. 38), “a protensão é definida como um esforço aplicado a uma peça de concreto com a finalidade de anular ou reduzir as tensões de tração da mesma.” No concreto protendido as armaduras são alongadas por meio de macacos hidráulicos, com a intenção de restringir deslocamentos da estrutura e fissurações.

Este trabalho, então, busca estimular o emprego deste sistema estrutural através dos resultados obtidos de análises comparativas entre os processos executivos de lajes planas protendidas em relação a estruturas de concreto convencional para um edifício residencial de múltiplos pavimentos, bem como, as limitações e vantagens de cada um destes sistemas.

Para tanto, este estudo tem como objetivo geral estabelecer um comparativo entre as estimativas dos custos de produção inerentes a cada uma das soluções estruturais a serem avaliadas, por um lado pavimento em laje plana protendida e, por outro, pavimento tradicional (laje + viga), além de também suas respectivas estimativas de produtividade.

Neste contexto, os seguintes objetivos específicos deverão ser alcançados:

- definir os modelos estruturais a serem avaliados;
- definir conceitos e elementos presentes na execução de lajes planas protendidas;
- avaliar vantagens e desvantagens de cada modelo estrutural;
- descrever processo construtivo de lajes planas protendidas;
- avaliar custos de produção inerentes aos dois processos construtivos;
- avaliar produtividade dos dois processos construtivos.

Com vistas a manter o foco nos objetivos apresentados, este trabalho não abordará temas referentes à:

- históricos de ambos os sistemas construtivos;
- metodologia de dimensionamento de estruturas tanto em concreto convencional como em lajes planas protendidas;
- processo executivo do sistema convencional em concreto armado;
- diferentes métodos de protensão.

2. Referencial Teórico

Segundo a NBR 6118 (Projeto de estruturas de concreto - Procedimento, p. 4), as estruturas em concreto armado convencional são aquelas “cujo comportamento estrutural depende da aderência entre concreto e armadura, e nos quais não se aplicam alongamentos iniciais das armaduras antes da materialização dessa aderência.” Já W. Pfeil (1988, p.1) possui uma definição de um ponto de vista mais prático e simplificado, afirmando que “concreto armado é definido como o material de construção composto pela associação de concreto com barras de aço colocadas no seu interior. As barras de aço, que constituem a armadura, são posicionadas na forma, antes do lançamento do concreto plástico. Este envolve as barras de aço, obtendo-se, após endurecimento, um elemento de concreto armado.”

A NBR 6118 (Projeto de estruturas de concreto - Procedimento, p. 4) define as estruturas em concreto protendido como aquelas “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).”

De acordo com W. Pfeil (1980, p. 1), “A protensão é um artifício que consiste em introduzir numa estrutura um estado prévio de tensões capaz de melhorar sua resistência ou seu comportamento, sob diversas condições de carga.”

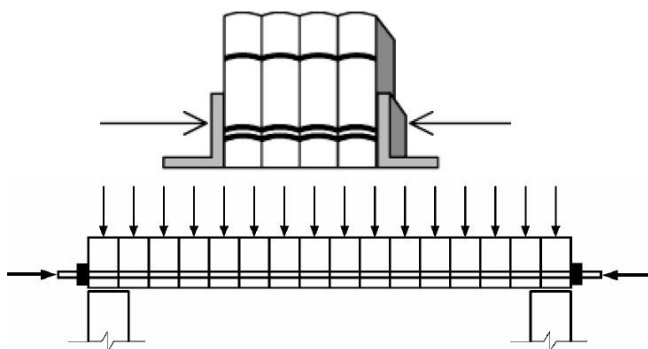


Figura 1 - Princípio da aplicação dos esforços de protensão. Fonte: J. L. S. Pereira et al. (2005, p. 2)

As estruturas em concreto protendido podem receber os esforços de protensão antes ou após o lançamento do concreto. Neste estudo, então, será abordado o concreto protendido pós-tracionado que, segundo J. L. S. Pereira et al (2005, p. 7) é “aquele em que o estiramento da armadura ativa é feito após o endurecimento do concreto, através de apoios na própria peça, criando-se ou não aderência da armadura com o concreto.”

Para haver um perfeito entendimento acerca do tema que será abordado neste trabalho, alguns conceitos são fundamentais. Armadura ativa, segundo a NBR 6118 (Projeto de estruturas de concreto - Procedimento, p. 4) é aquela “constituída por barra, fios isolados ou cordoalhas, destinada à produção de forças de protensão, isto é, na qual se aplica um pré-alongamento inicial.” Armadura passiva, de acordo com a NBR 6118 (Projeto de estruturas de concreto - Procedimento), é aquela que não é alongada, dessa forma, não recebendo nenhum tipo de protensão.

Uma das vantagens de estruturas executadas em concreto protendido refere-se ao aumento da durabilidade destas estruturas devido à redução da incidência de fissurações. Porém, de acordo com a NBR 6118 (Projeto de estruturas de concreto - Procedimento), no caso de aparecimento de fissuras, estas tendem a ser mais prejudiciais devido à possibilidade de

corrosão das armaduras tensionadas. Uma das vantagens mais notórias deste sistema estrutural, mencionado por A. V. Nascimento (2004), consiste em uma maior facilidade nos serviços posteriores a execução da estrutura, gerando um menor custo de produção.

De modo a fornecer diretrizes para que, durante a execução da obra, permita um controle e verificação da protensão, W. Pfeil (1980) introduz o plano de protensão, o qual deve ser fornecido pelo projetista. Durante a protensão, é permitida uma diferença de até 5% entre o alongamento previsto para o cabo e alongamento medido *in loco*. Caso exceda esta faixa de tolerância, o projetista deve ser comunicado. Além disso, o plano de protensão deve conter as perdas por encunhamento admissíveis para que, da mesma forma sejam comparados com os valores realmente executados. De uma forma geral, o plano de protensão deve conter: pressão manométrica a ser alcançada no macaco, alongamento do cabo e perda por encunhamento.

Alguns aspectos especiais devem ser considerados com relação a execução de estruturas em concreto protendido. Segundo J. L. S. Pereira et al (2005), o concreto a ser empregado deve possuir a propriedade de alta resistência inicial a compressão.

As estruturas em concreto protendido requerem maior atenção e cuidado no momento de sua execução. De acordo com W. Pfeil (1980), deve-se atentar para as perdas de protensão existentes, as quais se classificam em imediatas e diferidas. As perdas imediatas de protensão nos cabos possuem natureza mecânica e são provenientes de diversos fatores distintos como: deslizamento nas ancoragens, resistências de atrito ao longo do cabo e deformação elástica imediata do concreto. Já as perdas diferidas ocorrem em função da retração do concreto, da deformação lenta do mesmo e da relaxação do aço, e podem representar de 20 a 30% da força de protensão aplicada na estrutura, segundo A. Schaffer (2011). Enfim, durante a execução da protensão, tais perdas precisam ser medidas e comparadas com valores pré-estabelecidos em fase projeto.

A introdução da protensão, segundo M. Schmid (2009, p. 27), pode ser feita, aplicando-se “50% da força de protensão a partir do quarto dia após a concretagem, liberando o escoramento e formas, mas mantendo pontaletes nos terços dos vãos. Os 50% finais poderão ser aplicados a partir do oitavo dia após a concretagem.”

Um aspecto que requer atenção especial, em fase de projeto, consiste na consideração da estabilidade global do edifício. Segundo G. S. Veríssimo et al (1998, p.16), “em edifícios altos, com lajes e, ou, vigas protendidas, a maior esbeltez da estrutura horizontal pode prejudicar a estabilidade global da edificação. Nesses casos, devem ser feitos os estudos pertinentes, que freqüentemente conduzem a um aumento da rigidez da estrutura vertical.”

A viabilidade econômica do sistema de lajes planas protendidas quando comparado ao sistema convencional em concreto armado é visualizado, segundo M. Schmid (2009, p. 28), quando analisam-se “o custo final, onde se consideram também o menor tempo de execução, o melhor reaproveitamento das formas, a própria aparência final da estrutura e algumas vantagens adicionais que a laje lisa pode oferecer, em relação à laje cortada por vigas.”

Com relação à produtividade do sistema de lajes planas protendidas, verifica-se uma maior agilidade na execução destes sistemas uma vez que, segundo A. V. Nascimento (2004, p. 54), apresentam “formas simples e de fácil montagem/desmontagem, resultando em menos mão-de-obra, rapidez na execução e enorme economia.”

3. Metodologia de Pesquisa

3.1 Classificação da pesquisa

Muitas são as formas de classificação de pesquisas, de acordo com E. L. Silva e E. M. Menezes (2005), as quais podem ser agrupadas em função de sua natureza e da maneira de abordagem do problema. Já para A. C. Gil (1991), as pesquisas podem ser classificadas de acordo com seus objetivos e de acordo com seus procedimentos técnicos. De um modo geral, o presente trabalho pode ser classificado como:

- do ponto de vista da natureza, como sendo aplicada, pois, segundo E. L. Silva e E. M. Menezes (2005), “objetiva gerar conhecimentos para aplicação prática e dirigidos à solução de problemas específicos”.

- do ponto de vista da maneira de abordagem do problema, como sendo qualitativa uma vez que, de acordo com E. L. Silva e E. M. Menezes (2005), “A interpretação dos fenômenos e a atribuição de significados são básicas no processo de pesquisa qualitativa. Não requer o uso de métodos e técnicas estatísticas. O ambiente natural é a fonte direta para coleta de dados e o pesquisador é o instrumento chave. É descritiva. Os pesquisadores tendem a analisar seus dados indutivamente. O processo e seu significado são os focos principais de abordagem.”

- do ponto de vista de seus objetivos, como sendo exploratória, pois, assim como afirma A. C. Gil (1991), “visa proporcionar maior familiaridade com o problema com vistas a torná-lo explícito ou a construir hipóteses. Envolve levantamento bibliográfico; entrevistas com pessoas que tiveram experiências práticas com o problema pesquisado; análise de exemplos que estimulem a compreensão.”

- do ponto de vista dos procedimentos técnicos, como sendo bibliográfica, uma vez que, de acordo com A. C. Gil (1991), é embasado através de livros, artigos, entre outros. Pode,

também, ser enquadrada como experimental em função, como afirma A. C. Gil (1991), de apresentar um objeto de estudo, a partir do qual se identificam parâmetros que podem influenciá-lo.

3.2 Desenvolvimento da pesquisa

A pesquisa teve início através da coleta de dados em livros, periódicos, manuais de procedimentos de empresas e catálogos de fornecedores, para que, dessa forma, fosse possível consolidar o conhecimento acerca dos assuntos a serem abordados. Em seguida, foram pré-determinados os parâmetros de comparação a serem analisados de modo a obter o comparativo entre o sistema de estrutural em concreto armado convencional com o sistema empregando lajes planas protendidas. Consolidada esta etapa, pôde ser iniciada uma coleta de dados melhor direcionada e paralelo a este processo desenvolveram-se visitas a empreendimentos, os quais empregavam as soluções estruturais já mencionadas, com a intenção de obter informações reais a respeito dos processos executivos, custos relativos a produção e produtividade, assuntos estes que são alvo do presente estudo. Por fim, de posse dos resultados das análises realizadas e de todo conhecimento adquirido ao longo deste processo, puderam ser elaboradas as devidas conclusões a respeito da temática abordada. De uma forma simplificada, o desenvolvimento desta pesquisa pode ser expresso através do fluxograma apresentado na figura 2.

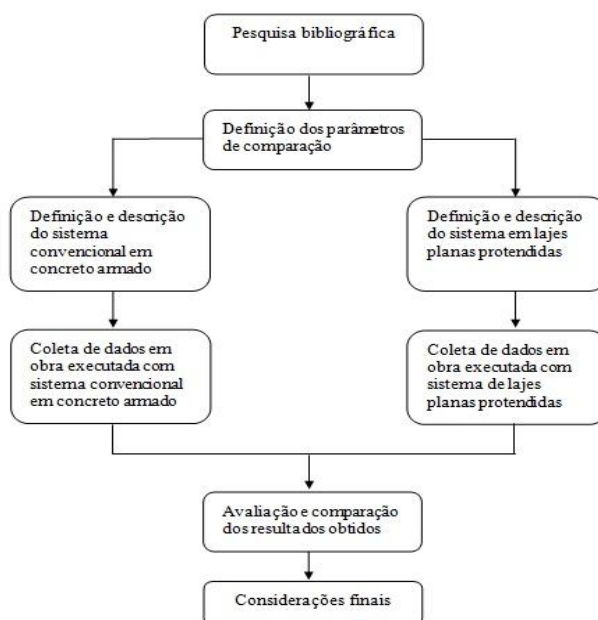


Figura 2 - Fluxograma de desenvolvimento do estudo.

4. Aplicação

4.1 Processo Executivo

4.1.1 Montagem dos pilares

Primeiramente, deve ser efetuada a marcação dos pilares, os quais são locados na laje de acordo com as medidas descritas no projeto de geometria. Feito isso, coloca-se então, a armadura do pilar. Deve-se atentar para a colocação dos espaçadores os quais irão garantir que toda armadura seja envolvida pelo concreto com um recobrimento mínimo conforme determinado no projeto estrutural. Uma peculiaridade existente na obra a qual empregou o sistema em lajes planas protendidas e que colaborou para que fosse atingida a produtividade descrita mais adiante, consiste na utilização da armadura de pilares em lances duplos, conforme anexos 2 e 3. Todo o aço utilizado para montagem de pilares era entregue cortado, dobrado e montado com comprimentos de barras equivalentes a dois pavimentos. Assim que esse material chegasse à obra, ele era descarregado do caminhão com o auxílio de uma grua e armazenado em baias previamente dispostas. Na ocasião da montagem dos pilares, então, a mesma grua se deslocava até as baias e transportava as armaduras até o pavimento de destino.

Feito isso, procede-se o fechamento dos pilares com formas previamente confeccionadas com chapas de compensado plastificado de acordo com o projeto. Sobre as formas é aplicado desmoldante o qual é empregado para facilitar a posterior desforma. Posteriormente, são colocados os aprumadores e efetua-se o completo travamento das formas.

4.1.2 Montagem das formas da laje

A execução de montagem das formas para lajes planas protendidas segue, basicamente, as instruções descritas abaixo.

Colocam-se, primeiramente, os painéis horizontais e, em seguida, os verticais, marcando-se nestes o eixo de cada cabo, segundo os projetos estruturais. Com a intenção de facilitar o posterior processo de protensão, é aconselhável que a forma horizontal possua uma dimensão maior que a laje a ser executada, para que assim permita o acesso adequado à borda externa da mesma. Nos painéis horizontais, também, devem ser indicadas as dimensões das placas de ancoragem.

Paralelo a isso, devem ser posicionados os escoramentos de acordo com projeto específico.

Em seguida, devem ser realizadas aberturas nos painéis verticais para a colocação das ancoragens ativas, segundo projeto estrutural. Além disso, A. V. Nascimento (2004),

recomenda que seja aplicada uma “graxa inibidora de corrosão na extremidade da forma para nicho que encaixa na cavidade da placa de ancoragem.” Deve-se, então, unir a placa de ancoragem com a forma para nicho e colocá-los nas aberturas realizadas anteriormente, fixando-os no painel vertical. Cauduro (2002), afirma que “o encaixe da forma para nicho na cavidade da placa de ancoragem deve ser perfeito.”

Outro fator que requer atenção especial consiste na verificação do posicionamento da placa de ancoragem a qual deve estar bem fixa e no sentido perpendicular à forma, como apresentado na figura 3.

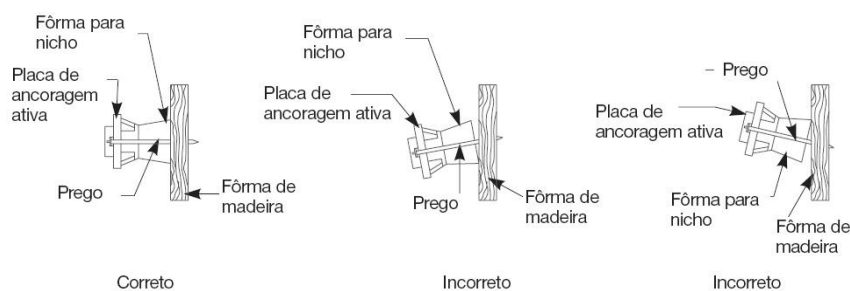


Figura 3 - Exemplos de instalação correta e incorreta de placas de ancoragens e formas para nichos. Fonte: Cauduro (2002)

Feito isso, pode-se, então, marcar no assoalho das formas o posicionamento dos apoios dos cabos de protensão e o local e altura dos espaçadores a serem colocados, segundo projeto estrutural.

4.1.3 Montagem da armadura passiva da laje

A colocação da armadura passiva deve atender as especificações de projeto, procedendo-se de maneira semelhante a montagem a qual se executa no sistema em concreto convencional.

Posteriormente a distribuição dos cabos de protensão, deve ser prevista a colocação das armaduras de fretagem. Essas armaduras possuem a função de resistir aos esforços de tração que surgem no sentido perpendicular ao de aplicação do esforço de protensão, evitando, dessa forma, que o concreto fissure nas extremidades próximas as ancoragens ativas. Na figura 4, é apresentado um esquema genérico da montagem das armaduras de fretagem.

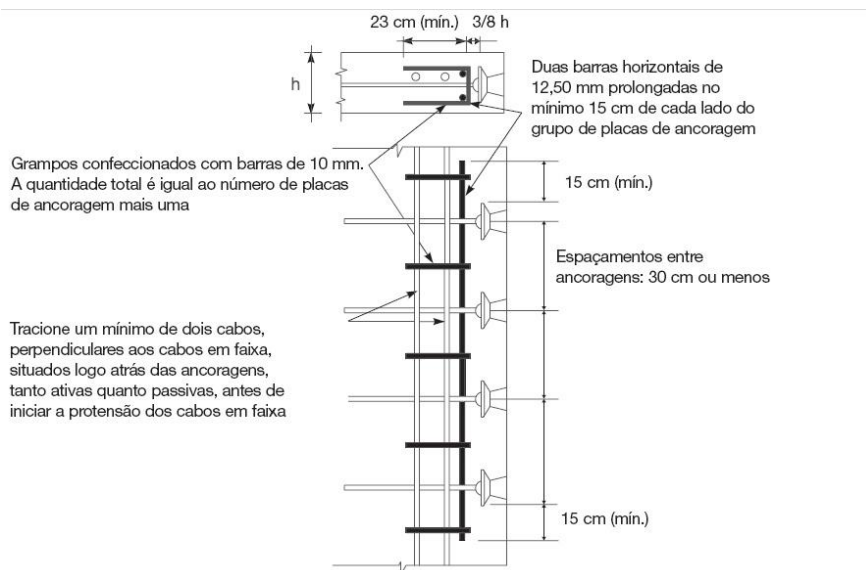


Figura 4 - Detalhe genérico das armaduras de fretagem da laje. Fonte: Cauduro (2002)

4.1.4 Montagem da armadura ativa da laje

Realizada totalmente a distribuição dos cabos, deve-se, então, remover a bainha da extremidade ativa do cabo de modo a permitir que a cordoalha seja inserida através da placa de ancoragem e da forma para nicho. Outra medida a ser tomada consiste em remover o excesso de graxa no entorno da cordoalha para que, assim, não haja o escorregamento da mesma na ocasião da protensão. Em seguida, monta-se a ancoragem na extremidade desencapada da cordoalha, mantendo-se, aproximadamente, 2,5 cm de folga da cordoalha exposta entre a placa de ancoragem e o cabo, envolvido pela bainha, conforme apresentado na figura 5.

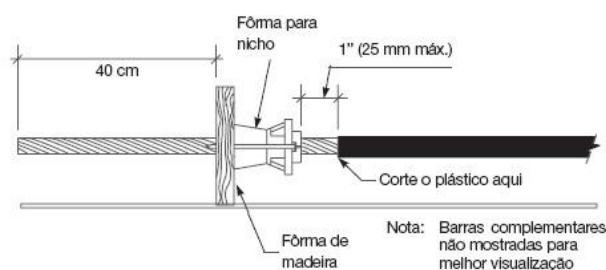


Figura 5 – Montagem da extremidade ativa. Fonte: Cauduro (2002)

Segundo Cauduro (2002), é aconselhável, em ambientes com agressividade acentuada, o emprego de luvas de conexão impermeáveis entre a placa de ancoragem e a parte revestida com a bainha plástica. É imprescindível que a colocação do cabo na placa de ancoragem seja realizada de forma perpendicular, podendo acarretar, caso não observada esta indicação, em

ruptura da cordoalha, baixo alongamento, falha na cravação das cunhas, entre outros problemas na protensão.

Feito isso, procede-se o agrupamento dos cabos para sua fixação, de acordo com os projetos estruturais específicos. A fixação dos cabos deve ser realizada sobre o sistema de apoio de acordo com as cotas de projeto. Devem ser amarradas adequadamente, formando uma unidade, o cabo, a barra de apoio e a cadeira, de modo a evitar qualquer movimentação durante a execução da concretagem. Não pode ocorrer, na ocasião da amarração dos cabos, uma sobreposição entre os mesmos. Todos os cabos devem estar na posição horizontal e paralelos uns em relação aos outros. Junto às placas de ancoragem, este paralelismo entre os cabos é interrompido por uma suave mudança de direção. Deve-se atentar para que a amarração dos cabos não seja realizada com muita força, podendo, romper a bainha, comprometendo, assim, o cabo.

Outra situação que requer atenção, diz respeito aos desvios nos traçados dos cabos devido à existência de aberturas previamente projetadas nas lajes. Desvios bruscos devem ser evitados e os cabos devem se afastar, no mínimo, 150 cm do perímetro destas aberturas. O anexo 4 apresenta o posicionamento em curva suave dos cabos de protensão. O ideal é que todas essas situações sejam descritas de forma clara no projeto estrutural, de modo a evitar problemas futuros devido à execução incorreta da colocação dos cabos de protensão. No anexo 5, visualiza-se o aspecto final após a distribuição e montagem dos cabos de protensão.

4.1.5 Verificação pré-concretagem da laje

Com vistas a garantir a qualidade e o correto desempenho da estrutura, é aconselhável a realização da conferência de alguns itens relevantes com relação à montagem das formas, colocação das armaduras passivas e ativas e alguns outros detalhes construtivos, anteriormente ao lançamento do concreto. Para isso, Cauduro (2002) citou, de forma resumida, alguns elementos a serem analisados antes da execução da concretagem da laje, a partir do qual foi desenvolvido um *check list* para ser empregado em obra, conforme quadro 1.

Quadro 1 - Planilha de inspeção de serviço

Planilha de Inspeção de Serviço					
Execução de lajes planas protendidas					
N°	Item a ser verificado	Verificação 1		Verificação 2	
		CORRETO	INCORRETO	CORRETO	INCORRETO
1	Ensaio referente aos cabos de protensão				
2	Prolongamento da forma da laje nas áreas de ancoragens ativas permitindo livre acesso às operações de protensão				
3	Placas de ancoragem uniformes e sem deformações				
4	Placas de ancoragem da extremidade ativa possuem as formas para nicho				
5	Montagem e posicionamento da armadura convencional				
6	Cadeiras ou sistemas de apoio conforme projeto				
7	Montagem e posicionamento dos cabos de acordo com projeto (número de cabos, cotas de pontos altos e baixo dos cabos, ausência de oscilações horizontais excessivas, posicionamento vertical e horizontal junto a placa de ancoragem)				
8	Remoção da bainha plástica na extremidade ativa do cabo				
9	Bainha plástica livre de imperfeições				
10	Ausência de corrosão na extremidade ativa do cabo				
11	Montagem e posicionamento da armadura de fretagem				

4.1.6 Concretagem da laje

Realizada a verificação dos itens mencionados anteriormente, pode, então, ser realizada a concretagem da laje. Na obra utilizada como base para este estudo, o concreto empregado possuía fck igual a 30 MPa, ao qual eram introduzidos aditivos que conferiam a este uma grande resistência inicial. Esta propriedade é de suma relevância uma vez que, para satisfazer ao cronograma pré-determinado, a protensão da laje deveria ser efetuada após três dias da concretagem da mesma.

Ainda com relação a este item, o engenheiro responsável pela execução do empreendimento salientou um aspecto que deve ser levado em consideração. Para os pavimentos mais elevados, àqueles em que o lançamento do concreto não pode ser realizado por meio de bombas do tipo “lança”, são empregadas bombas estacionárias as quais conduzem o concreto por meio de dutos fixados a estrutura da edificação, tendo em sua extremidade um mangote. Com relação a este, deve-se ter certo cuidado durante a execução da concretagem, uma vez que sua movimentação pode deslocar os cabos de protensão previamente colocados, acarretando em um comprometimento da estrutura.

4.1.7 Desforma da laje

O emprego de soluções estruturais em lajes planas acaba por facilitar esta atividade, uma vez que as formas da laje são compostas apenas por painéis horizontais. Esta etapa é

executada após três dias da concretagem da laje na obra tomada como referência para este estudo.

4.1.8 Protensão

A introdução da protensão, segundo G. S. Veríssimo et al (1998) “funciona como uma verdadeira prova de carga, pois as tensões introduzidas nessa fase são muito maiores que as correspondentes a situação da peça em serviço. A estrutura é testada antes de entrar em operação propriamente”.

Esta etapa inicia-se com a remoção das formas da borda da laje. Em seguida, remove-se a forma para nicho e limpa-se a cavidade da placa de ancoragem enquanto o concreto ainda estiver “verde”. Deve-se, também, conferir o estado do concreto com relação ao aparecimento de fissuras e bicheiras. Caso positivo, a protensão não deve ser executada. Realizadas tais conferências, devem ser instaladas as cunhas. Utiliza-se, como gabarito, uma tábua de madeira para se criar uma referência com relação à borda da laje.

Seguindo o cronograma pré-estabelecido da obra em estudo, passados três dias da concretagem da laje pode-se efetuar a protensão dos cabos. É importante salientar que o concreto possua resistência apropriada para a introdução da protensão. Por questões de segurança, é importante frisar que apenas pessoas capacitadas têm permissão de aproximar-se do macaco durante a protensão.

As mandíbulas do macaco são acopladas ao cabo, tendo-se garantia de que estas estão na posição correta de modo a não danificar a cordoalha. É importante que o operador tenha total visibilidade do manômetro para não ocorrer comprometimento do serviço.

Realizada a protensão, apresentado no anexo 6, deve ser feita a leitura do alongamento obtido, registrando-a juntamente com a pressão do manômetro e força do macaco. Cauduro (2002) afirma que “o alongamento medido deve ser de +/- 7% dos valores mostrados nos desenhos de montagem. A medição do alongamento deve ter uma precisão de +/- 3 mm. Se houver discrepâncias que excedam a 7% de tolerância, NÃO PROTENDA MAIS qualquer cabo até que o problema seja identificado e corrigido”. É importante salientar que não se devem aplicar aos cabos esforços maiores do que os especificados de modo a obter alongamentos adequados. Feito isso, deve, então, ser realizado o corte das pontas do cabo de protensão. Finalmente, a última etapa consiste no grauteamento do nicho de protensão. Para isso, primeiramente deve ser aplicado sobre o cabo e a parte exposta da placa, uma cobertura anti-corrosiva. Antes de se efetuar o grauteamento, também, deve-se garantir que toda a

superfície esteja livre de poeiras e quaisquer outros materiais que prejudiquem a aderência deste com o concreto. Garantidas estas ressalvas pode-se efetuar a aplicação do graute. Cauduro (2002) ainda enfatiza: “Sob nenhuma circunstância deixe os nichos expostos por muito tempo.”

4.2 Vantagens e desvantagens relativas à utilização do sistema estrutural em lajes planas protendidas

O motivo pelo qual diversas empresas já utilizam esta solução estrutural em lajes planas protendidas, deve-se ao fato deste sistema possuir notórias vantagens, quando comparado ao método convencional, em concreto armado. Dentre estas vantagens pode-se mencionar:

- A composição de estruturas mais atraentes devido à leveza e esbeltez das seções. Segundo G. S. Veríssimo (1998, p. 16), “normalmente as peças em concreto protendido possuem menor peso próprio, em relação a peças equivalentes em concreto armado”;
- A redução do custo das soluções em fundações devido a uma diminuição do peso da edificação;
- A diminuição da altura da edificação devido à inexistência das vigas, as quais limitam o pé direito dos pavimentos. Este benefício ainda reflete-se em uma economia de materiais, como revestimentos, canalizações, entre outros, e, também, de mão-de-obra para a execução dos respectivos serviços;
- A maior flexibilidade arquitetônica devido à inexistência de vigas, permitindo diversas disposições distintas de divisórias internas de apartamentos. Tal flexibilidade é potencializada através do emprego de tecnologias como, por exemplo, o gesso acartonado, ou, como também é conhecido, drywall para a confecção dos painéis internos das unidades.
- A existência de vãos maiores. Além de garantir uma maior flexibilidade arquitetônica este benefício também permite uma maior otimização do espaço para o arranjo das vagas de estacionamento, consideração esta que, em muitos empreendimentos, torna-se de fundamental importância;

- A redução de fissurações, pois a protensão anula quase que totalmente os esforços de tração, aumentando, desta forma, a durabilidade da estrutura uma vez que as armaduras ficam mais bem protegidas contra agressividade do meio.
- A redução da deformação ao longo do tempo;
- A maior simplicidade na confecção das formas resultando em economia de materiais, mão-de-obra e maior agilidade na execução deste serviço;
- A inexistência da aplicação da contra-flecha nas formas, anterior a concretagem. Esta contra-flecha é obtida durante a execução da protensão;
- A simplicidade na execução de serviços posteriores a supra-estrutura, como, por exemplo, execução das instalações hidrossanitárias prediais rentes ao forro;
- O menor custo de manutenção da edificação;

Em contrapartida, podem ser apontados alguns inconvenientes relacionados a esta solução estrutural, sendo estes:

- Maior controle de execução devido ao concreto de maior resistência. Além disso, muita atenção é requerida por ocasião da colocação dos cabos de protensão, os quais devem ser distribuídos com máxima precisão nas posições previstas em projeto. De acordo com A. V. Nascimento (2004, p. 56) “como a força de protensão possui um valor muito alto, um pequeno desvio do cabo em relação ao projeto pode produzir esforços não previstos, levando o comportamento inadequado da laje e até mesmo ao colapso.” Portanto, para garantir qualidade na execução dos serviços, deve haver um intenso e constante treinamento do pessoal envolvido;
- Maior controle com relação ao aço de protensão. Tal controle contempla desde o recebimento do material em obra até a sua etapa de montagem;
- A maior esbeltez da estrutura horizontal com relação ao sistema convencional em concreto armado, pode desencadear o comprometimento da estabilidade global da edificação, processo este que torna-se mais evidente em edifícios altos. Porém, este processo pode ser impedido aumentando-se a rigidez vertical da estrutura;
- Maior controle durante a elaboração dos projetos, sendo, neste sistema estrutural, imprescindível uma perfeita coordenação entre os mesmos.

4.3 Análise comparativa – Estrutura em concreto convencional X Estrutura em lajes planas protendidas

4.3.1 Caracterização dos empreendimentos

Com vistas a estabelecer os devidos comparativos de custos e produtividade foram selecionados dois empreendimentos distintos, cada qual utilizando um dos sistemas construtivos alvos do presente estudo.

O empreendimento no qual foi empregado, por ocasião da execução da supra-estrutura, o sistema convencional em concreto armado, será denominado ao longo deste trabalho como empreendimento A.

Tal empreendimento consiste em um condomínio de cinco edifícios. Cada edifício possui 17 pavimentos tipo mais subsolo, térreo e cobertura, locais estes que abrigam as mais diversas áreas condominiais. Analisando-se a forma estrutural, as lajes do 3° ao 18° pavimento são equivalentes. Por receber um carregamento diferenciado, a laje do 2° pavimento possui uma taxa de armadura maior que nos demais pavimentos, sendo assim desconsiderada para este estudo. Cada pavimento tipo possui 12 apartamentos, totalizando, então, 204 apartamentos por edifício. Multiplicando-se tal valor pelos cinco edifícios, obtêm-se 1020 unidades.

O edifício é formado por uma geometria em forma de Y, sendo composto por três setores idênticos, os quais formam as pontas do Y, ambos unidos na parte central, na qual se encontra a área de circulação horizontal, conforme apresentado no anexo 1. Cada um dos setores possui uma área de 288,51 m², contabilizando, para os três setores, 865,53 m², aos quais devem ser acrescidos 104, 13 m² referentes à circulação. Por fim, um pavimento tipo possui 969,66 m² em planta. Para fins de estabelecimento dos devidos comparativos será considerada a execução de apenas um setor.

Com relação ao empreendimento no qual foi empregado o sistema estrutural em lajes planas protendidas, foi considerado, para fins deste estudo, um condomínio residencial, o qual será denominado ao longo deste trabalho como empreendimento B. O edifício em questão é composto por 17 pavimentos tipo com 420 m², dois níveis de subsolo, pavimento térreo, segundo pavimento e cobertura. Apesar de ser empregada a solução em lajes planas, a geometria do pavimento tipo apresenta algumas vigas em sua extremidade.

As geometrias de ambos os empreendimentos encontram-se na figura 6.

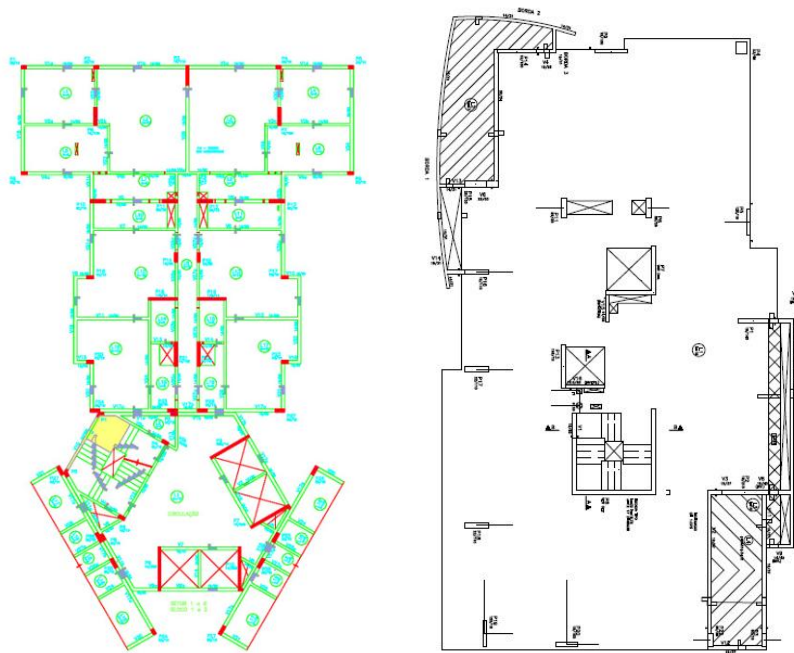


Figura 6 – À esquerda geometria de um dos três setores constituintes do pavimento tipo, incluindo a circulação do empreendimento executado em concreto armado. À direita, geometria do pavimento tipo do edifício constituído por lajes planas protendidas. Fonte: Construtoras responsáveis pela execução dos empreendimentos A e B.

4.3.2 Comparativo de produtividade – Estruturas em concreto convencional X Estrutura em lajes planas protendidas

O desenvolvimento da supra-estrutura consiste em um ponto preponderante na execução do empreendimento. Paralelo ao seu desenvolvimento, iniciam-se outros serviços tais como execução de alvenarias, instalações elétricas, instalações hidráulicas, reboco interno, entre outros. Caso haja qualquer interrupção ou perda de produtividade da equipe responsável pela execução da supra-estrutura ao longo do processo, pode acarretar em um comprometimento do cronograma pré-estabelecido no planejamento da obra, uma vez que serão afetadas de forma indireta todas as demais atividades que estão sendo desenvolvidas.

No quadro 2, estão descritas de forma ordenada as atividades a serem realizadas, em ambos os sistemas estruturais, para a execução da supra-estrutura de um pavimento tipo.

Quadro 2 - Descrição da sequência de atividades para a execução de um pavimento tipo em ambos os sistemas estruturais

Descrição da seqüência executiva de ambos sistemas estruturais		
Dia	Estrutura em concreto convencional	Estrutura em lajes planas protendidas
1	Marcação dos pilares	Marcação dos pilares
	Desforma dos pilares do pavimento inferior	Colocação da armadura dos pilares*
	Montagem da armadura dos pilares	Montagem e travamento das formas
	Montagem e travamento das formas dos pilares	-
2	Retirada do cimbramento e reescoramento do pavimento inferior	Concretagem dos pilares
	Retirada das formas de laje e vigas do pavimento inferior	-
	Retirada do reescoramento da laje concretada a mais de 28 dias	-
	Início do escoramento do pavimento a ser executado	-
	Montagem dos painéis de fundo e laterais internas das vigas	-
3	Término do escoramento	Desforma dos pilares
	Montagem da forma da laje	Desforma da laje do pavimento inferior
	-	Execução da protensão da laje do pavimento inferior
	-	Início da montagem da forma da laje
	-	Início do escoramento do pavimento a ser executado**
4	Concretagem dos pilares	Conclusão da montagem da forma da laje
	-	Retirada de 50% do escoramento do pavimento abaixo e posicionamento do mesmo no pavimento a ser executado, deixando-o 100% escorado
	-	Posicionamento das vigas de bordo
	-	Início da montagem da armadura positiva da laje
5	Montagem dos painéis laterais externos das vigas	Conclusão da montagem da armadura positiva da laje
	Início do posicionamento da armadura das vigas	Início da disposição dos cabos de protensão
	-	Início da montagem da armadura negativa da laje
6	Término do posicionamento da armadura das vigas	Conclusão da disposição dos cabos de protensão
	Montagem completa da armadura da laje	Montagem da armadura negativa da laje
	Posicionamento de instalações elétricas e hidráulicas na laje	Posicionamento de instalações elétricas e hidráulicas na laje
7	Concretagem da laje	Concretagem da laje

Conhecendo-se qualitativamente os serviços a serem desempenhados para a execução de um pavimento tipo e realizando-se um levantamento quantitativo do volume destes serviços, pode-se, então, estabelecer os devidos comparativos de produtividade. Os índices, os quais serão apresentados na seqüência, são o resultado da divisão do total de horas de profissionais necessários para a produção de um pavimento tipo, pela respectiva metragem quadrada de formas desenvolvidas, estimando-se, assim, a produtividade da equipe de carpinteiros. A construtora, a qual empregou a solução em concreto armado convencional, também utiliza dois outros índices para estimar a produtividade desta equipe: em um, divide-se o total de horas empregadas, pelo volume de concreto do pavimento, e, o outro, consiste no quociente do total de horas trabalhadas, pela metragem quadrada de projeção do pavimento.

Por outro lado, a equipe de ferreiros terá sua produtividade estimada pela divisão do total de horas aplicadas, pelo peso de aço a ser empregado.

Com relação ao desenvolvimento da supra-estrutura do edifício no qual foi empregada a solução em concreto armado convencional, o cronograma apontava para a execução de um pavimento (laje + pilares) em um ciclo de sete dias, com as atividades desempenhadas conforme mencionado anteriormente. Para isso foram designadas equipes compostas de 5 ferreiros e 8 carpinteiros, os quais trabalhavam em uma jornada diária de 8,8 horas. Porém, por falta de produtividade desta e por outros intervenientes, não foi totalmente alcançado o desempenho esperado, realizando-se, em média, um ciclo a cada 8 dias.

De forma semelhante, o empreendimento que empregou a solução estrutural em lajes planas protendidas organizou uma equipe composta por 5 ferreiros e 9 carpinteiros, os quais produziam um pavimento a cada sete dias, completando assim seu ciclo de execução.

Todos os dados utilizados para fins deste estudo foram obtidos junto às construtoras responsáveis pelos empreendimentos e encontram-se descritos no quadro 3.

Quadro 3 - Estimativas de produtividade das equipes em ambos os sistemas estruturais

ESTIMATIVAS DE PRODUTIVIDADE DE AMBOS SISTEMAS ESTRUTURAIIS						
		Un.	Estrutura em concreto convencional		Estrutura em lajes planas protendidas	
			Ferreiros	Carpinteiros	Ferreiros	Carpinteiros
Equipe de trabalho	Equipe de profissionais	Nº	5	8	5	9
	Dias de trabalho	Dias	8	8	7	7
	Horas de trabalho	h	8,8	8,8	8,8	8,8
	Total de horas	h	352	563,2	308	554,4
Materiais	Volume de concreto	m ³	48		90,7	
	m ² do pavimento	m ²	-	284,82	-	420
	m ² de fôrmas (desenvolvido)	m ²	-	561,4	-	666,29
	kg de aço comum	kg	5187,00	-	5149	-
	kg de cordoalha	kg	-	-	2000	-
Taxas calculadas	hh ferreiro/kg de aço	hh/kg	0,068	-	0,043	-
	hh carpinteiro/m ² fôrma (desenvolvido)	hh/m ²	-	1,003	-	0,832
	hh carpinteiro/m ² de estrutura	hh/m ³	-	11,733	-	6,112
	hh carpinteiro/m ² do pavimento	hh/m ²	-	1,977	-	1,320
	hh ferreiro/m ² do pavimento	hh/m ²	1,236	-	0,733	-

Analisando-se os índices obtidos, percebe-se que todos eles convergem para um mesmo resultado. Todos eles indicam que a equipe responsável pelo desenvolvimento da supra-estrutura em lajes planas protendidas atingiram um maior desempenho quando comparado com a equipe a qual emprega o sistema tradicional em concreto armado.

Tomando-se como base o índice o qual leva em consideração a metragem quadrada de formas a serem realmente produzidas, verifica-se que houve um aumento de performance da equipe de carpinteiros de 17,05%, utilizando o sistema em lajes planas. Este acréscimo de produtividade é ainda mais evidente se observarmos a taxa que leva em consideração o volume de concreto do pavimento. Esta taxa indica um aumento de 47,91% no desempenho da equipe de carpinteiros para este sistema. Outro índice relevante a ser analisado corresponde

ao número de horas de trabalho de carpinteiro necessário para a produção de um pavimento tipo. Comparando-se os dois sistemas, evidencia-se uma redução de 33,23% no total de horas de trabalho a serem empregadas por parte da equipe de carpintaria no sistema em lajes planas.

Analisando-se agora a produção da equipe de ferreiros, observa-se um implemento de produtividade de 36,76% com o sistema em lajes planas, com base na taxa que relaciona o total de quilos de aço pelo número de horas empregadas para sua devida montagem. Também, percebe-se uma diminuição de 40,69% do total de horas de trabalho de ferreiros necessárias para a produção de um pavimento tipo neste sistema estrutural. Cabe ressaltar que estas taxas podem ter sofrido algumas distorções em função das diferentes resistências dos concretos utilizados em cada um dos empreendimentos. Na obra a qual aplica o sistema convencional, o fck do concreto era de 35 MPa e na obra desenvolvida em lajes planas protendidas o fck era de 30 MPa. Essa diferença acarreta em diferentes taxas de armadura para ambos os sistemas, influenciando, dessa maneira, no índice calculado.

4.3.3 Comparativo entre estimativas de custos – Estruturas em concreto convencional X Estrutura em lajes planas protendidas

Com vistas a estabelecer o comparativo de custos de produção inerentes a ambas soluções estruturais, foram considerados os dados coletados junto as duas diferentes construtoras as quais foram responsáveis pelo desenvolvimento e execução dos empreendimentos já mencionados. Porém, para não haverem distorções nestes comparativos, foram padronizados os custos unitários de chapas de compensado empregadas para montagem das formas, aço CA-50 e CA-60, cortado e dobrado e concreto usinado bombeado (fck 35 MPa, slump 10 + - 2). Para o custo unitário dos aços de protensão (cordoalhas) foi adotado o valor utilizado pela construtora a qual empregava a solução em lajes planas. Já o custo da mão de obra, foi obtido junto ao Sindicato dos Trabalhadores nas Indústrias da Construção Civil de Porto Alegre. As estimativas de custos para ambos os sistemas estruturais apresentam-se descritas nos quadros 4 e 5.

Quadro 4 - Estimativas de custos para supra-estrutura em concreto armado convencional

ESTIMATIVAS DE CUSTOS PARA EXECUÇÃO DA SUPRA-ESTRUTURA - SOLUÇÃO EM CONCRETO ARMADO CONVENCIONAL				
Item	Un.	Quantidade	Custo Unitário (R\$)	Custo Total (R\$)
1. Materiais:				
1.1 Chapa de compensado plastificado (2,44 x 1,22, espessura = 18 mm)	m ²	561,4	R\$ 21,77	R\$ 12.221,68
1.2 Aço CA-50 e CA-60 cortado e dobrado (vários diâmetros)	kg	5187	R\$ 4,21	R\$ 21.837,27
1.3 Concreto usinado bombeado - Fck = 35 Mpa (slump 10 + -2)	m ³	48	R\$ 287,37	R\$ 13.793,76
			SUBTOTAL	R\$ 47.852,71
			R\$/m ²	R\$ 168,01
2. Mão de obra:				
2.1 Mão de obra para ferreiros	h	352	R\$ 4,18	R\$ 1.471,36
2.2 Mão de obra para carpinteiros	h	563,2	R\$ 4,18	R\$ 2.354,18
2.3 Encargos sociais	%	176,82	R\$ 3.825,54	R\$ 6.764,31
			SUBTOTAL	R\$ 10.589,85
			R\$/m ²	R\$ 37,18
TOTAL:			R\$ 58.442,56	
			R\$/m ²	R\$ 205,19

Quadro 5 - Estimativas de custos para supra-estrutura em lajes planas protendidas

ESTIMATIVAS DE CUSTOS PARA EXECUÇÃO DA SUPRA-ESTRUTURA - SOLUÇÃO EM LAJES PLANAS PROTENDIDAS				
Item	Un.	Quantidade	Custo Unitário (R\$)	Custo Total (R\$)
1. Materiais:				
1.1 Chapa de compensado plastificado (2,44 x 1,22, espessura = 18 mm)	m ²	666,29	R\$ 21,77	R\$ 14.505,13
1.2 Aço CA-50 e CA-60 cortado e dobrado (vários diâmetros)	kg	5149	R\$ 4,21	R\$ 21.677,29
1.3 Cordoalhas de protensão	kg	2000	R\$ 15,25	R\$ 30.500,00
1.4 Concreto usinado bombeado - Fck = 35 Mpa (slump 10 + -2)	m ³	90,7	R\$ 287,37	R\$ 26.064,46
			SUBTOTAL	R\$ 92.746,88
			R\$/m ²	R\$ 220,83
2. Mão de obra:				
2.1 Mão de obra para ferreiros	h	308	R\$ 4,18	R\$ 1.287,44
2.2 Mão de obra para carpinteiros	h	554,4	R\$ 4,18	R\$ 2.317,39
2.3 Encargos sociais	%	176,82	R\$ 3.604,83	R\$ 6.374,06
			SUBTOTAL	R\$ 9.978,90
			R\$/m ²	R\$ 23,76
TOTAL:			R\$ 102.725,78	
			R\$/m ²	R\$ 244,59

Analisando-se os dados gerados, observa-se que, para um pavimento tipo:

- Houve um acréscimo de 31,44% no custo de materiais na solução em lajes planas protendidas;
- A solução em concreto armado convencional apresentou um custo de mão de obra 56,48% mais elevado;
- Em termos gerais, o sistema estrutural em lajes planas, quando comparado com o método convencional em concreto armado, apresentou um custo 19,20% maior.

4.3.4 Estimativas para a execução de um empreendimento

Este tópico abordará as estimativas de produtividade e custos em ambos os sistemas estruturais para um empreendimento hipotético, o qual possui uma área total construída de 5000 m².

Primeiramente, será desenvolvido um estudo sobre o tempo de execução da supra-estrutura, para ambas as soluções estruturais, levando-se em consideração as taxas de produtividade obtidas anteriormente, conforme apresentado no quadro 6.

Quadro 6 – Estimativas de produtividade para execução do empreendimento

ESTIMATIVAS DE PRODUTIVIDADE PARA A EXECUÇÃO DO EMPREENDIMENTO					
	Un.	Estrutura em concreto convencional		Estrutura em lajes planas protendidas	
		Ferreiros	Carpinteiros	Ferreiros	Carpinteiros
1. Taxas calculadas:					
1.1 hh carpinteiro/m ² do pavimento	hh/m ²	-	1,977	-	1,320
1.2 hh ferreiro/m ² do pavimento	hh/m ²	1,236	-	0,733	-
2. Dado do empreendimento:					
2.1 m ² do empreendimento	m ²	5000,000	5000,000	5000,000	5000,000
3. Horas de trabalho:					
3.1 hh carpinteiro	hh	-	9886,946	-	6600,000
3.2 hh ferreiro	hh	6179,341	-	3666,667	-
4. Equipes					
4.1 Ferreiros	n ^o	5		5	
4.2 Carpinteiros	n ^o		8		8
5. Duração do período de execução da supra-estrutura:					
5.1 Dias	d		140,440		93,750
5.2 Semanas	s		28,088		18,750
5.3 Meses	m		7,022		4,688

Observando-se os dados gerados, percebe-se uma drástica redução no tempo de duração das atividades de supra-estrutura, percebendo-se uma otimização de 33,24% na duração destes serviços para a solução em lajes planas protendidas.

Percebe-se, também, que o “gargalo” da execução da supra-estrutura é composto pelas atividades de carpintaria, uma vez que estas requerem mais horas de trabalho quando comparado com o total de horas necessárias por parte dos ferreiros.

Para o desenvolvimento do comparativo de custos, foi realizada uma média aritmética entre os quantitativos de materiais anteriores para cada uma das áreas dos pavimentos estudados, com a área do pavimento hipotético. Foi considerado, também, para determinação do custo de mão de obra, o total de horas empregada de cada profissional conforme calculado anteriormente. Como o comparativo de custos para a execução deste empreendimento foi desenvolvido a partir da proporcionalidade entre área a ser construída em relação às áreas dos pavimentos estudados, o resultado de custo de material por metro quadrado, mão de obra por metro quadrado e, por fim, custo total da execução da supra-estrutura por metro quadrado, permaneceram inalterados.

Como já demonstrado anteriormente, a solução em lajes planas protendidas apresentou redução no tempo de duração da execução da supra-estrutura. O objetivo do comparativo a ser desenvolvido a seguir, busca estimar o acréscimo no custo da mão de obra para desenvolvimento deste mesmo empreendimento hipotético quando executado em concreto

armado convencional, no momento em que se igualam o tempo de duração da execução da supra-estrutura para ambas as soluções.

Para isso, foi utilizada a função “*solver*” do software Excel, na qual foi fixada como variável o número de carpinteiros, uma vez que esta é a equipe que está operando com deficiência. Como valor meta a ser atingido, foi estabelecido o período de duração dos serviços. O resultado obtido a partir deste processo foi um acréscimo no efetivo da equipe de carpintaria, a qual passou a ser composta por 12 profissionais, como pode ser visualizado no quadro 7.

Quadro 7 – Estimativas de produtividade para execução do empreendimento

	Un.	Estrutura em concreto convencional		Estrutura em lajes planas protendidas	
		Ferreiros	Carpinteiros	Ferreiros	Carpinteiros
1. Taxas calculadas:					
1.1 hh carpinteiro/m ² do pavimento	hh/m ²	-	1,977	-	1,320
1.2 hh ferreiro/m ² do pavimento	hh/m ²	1,236	-	0,733	-
2. Dado do empreendimento:					
2.1 m ² do empreendimento	m ²	5000,000	5000,000	5000,000	5000,000
3. Horas de trabalho:					
3.1 hh carpinteiro	hh	-	9886,946	-	6600,000
3.2 hh ferreiro	hh	6179,341	-	3666,667	-
4. Equipes					
4.1 Ferreiros	n ^o	5		5	
4.2 Carpinteiros	n ^o		12		8
5. Duração do período de execução da supra-estrutura:					
5.1 Dias	d	93,760		93,750	
5.2 Semanas	s	18,752		18,750	
5.3 Meses	m	4,688		4,688	

Definida a equipe, pode-se, então, definir o novo custo da execução da supra-estrutura, conforme apresentado nos quadros 8 e 9.

Quadro 8 - Estimativas de custos para supra-estrutura em concreto armado

ESTIMATIVAS DE CUSTOS PARA EXECUÇÃO DA SUPRA-ESTRUTURA - SOLUÇÃO EM CONCRETO ARMADO CONVENCIONAL				
Item	Un.	Quantidade	Custo Unitário (R\$)	Custo Total (R\$)
1. Materiais:				
1.1 Chapa de compensado plastificado (2,44 x 1,22, espessura = 18 mm)	m ²	9855,347	R\$ 21,77	R\$ 214.550,90
1.2 Aço CA-50 e CA-60 cortado e dobrado (vários diâmetros)	kg	91057,51	R\$ 4,21	R\$ 383.352,12
1.3 Concreto usinado bombeado - Fck = 35 Mpa (slump 10 + -2)	m ³	842,63	R\$ 287,37	R\$ 242.146,58
			SUBTOTAL	R\$ 840.049,60
			R\$/m ²	R\$ 168,01
2. Mão de obra:				
2.1 Mão de obra para ferreiros	h	6490	R\$ 4,18	R\$ 27.128,20
2.2 Mão de obra para carpinteiros	h	12975	R\$ 4,18	R\$ 54.235,50
	%	176,82	R\$ 81.363,70	R\$ 143.867,29
			SUBTOTAL	R\$ 225.230,99
			R\$/m ²	R\$ 45,05
TOTAL:			R\$ 1.065.280,60	
			R\$/m ²	R\$ 213,06

Quadro 9 - Estimativas de custos para supra-estrutura em lajes planas protendidas

ESTIMATIVAS DE CUSTOS PARA EXECUÇÃO DA SUPRA-ESTRUTURA - SOLUÇÃO EM LAJES PLANAS PROTENDIDAS				
Item	Un.	Quantidade	Custo Unitário (R\$)	Custo Total (R\$)
1. Materiais:				
1.1 Chapa de compensado plastificado (2,44 x 1,22, espessura = 18 mm)	m ²	7932,02	R\$ 21,77	R\$ 172.680,08
1.2 Aço CA-50 e CA-60 cortado e dobrado (vários diâmetros)	kg	61297,62	R\$ 4,21	R\$ 258.062,98
1.3 Cordoalhas de protensão	kg	23809,52	R\$ 15,25	R\$ 363.095,18
1.4 Concreto usinado bombeado - Fek = 35 Mpa (slump 10 + -2)	m ³	1079,76	R\$ 287,37	R\$ 310.290,63
			SUBTOTAL	R\$ 1.104.128,87
			R\$/m ²	R\$ 220,83
2. Mão de obra:				
2.1 Mão de obra para ferreiros	h	3666,67	R\$ 4,18	R\$ 15.326,68
2.2 Mão de obra para carpinteiros	h	6600	R\$ 4,18	R\$ 27.588,00
2.3 Encargos sociais	%	176,82	R\$ 42.914,68	R\$ 75.881,74
			SUBTOTAL	R\$ 118.796,42
			R\$/m ²	R\$ 23,76
			TOTAL:	R\$ 1.222.925,29
			R\$/m ²	R\$ 244,59

Analisando-se os dados gerados para um empreendimento hipotético com área construída total equivalente a 5000 m², observa-se que:

- Houve um acréscimo de 31,44% no custo de materiais na solução em lajes planas protendidas;
- A solução em concreto armado convencional apresentou um custo de mão de obra 89,60% mais elevado;
- Em termos gerais, o sistema estrutural em lajes planas, quando comparado com o método convencional em concreto armado, apresentou um custo 14,79% maior.

5. Considerações Finais

Conforme demonstrado neste trabalho, a supra-estrutura de um edifício executado em lajes planas protendidas apresentou-se mais dispendiosa, no momento em que se consideram os custos inerentes a produção, do que se a mesma fosse desenvolvida em concreto convencional. Porém, pôde-se perceber, também, que inúmeras são as vantagens dessa solução quando comparado ao sistema tradicional sob diversos pontos de vista. Apesar de ser de suma relevância, a escolha de uma solução estrutural ou de outra, não deve ser definida única e exclusivamente a partir de fatores econômicos. Diversos outros intervenientes promovidos pela estrutura em lajes planas devem ser considerados no momento de se efetuar tal definição, como por exemplo, do ponto de vista arquitetônico, o desenvolvimento de estruturas mais esbeltas, maior flexibilidade devido à inexistência de vigas, execução de vãos maiores, os quais permitem um melhor arranjo de vagas de estacionamento. Sob o ponto de vista econômico, existem outros fatores a serem analisados, os quais não foram abordados neste estudo, como por exemplo, redução no

custo de fundações devido à diminuição do peso do edifício, redução do custo de manutenção da edificação, entre outros.

Do ponto de vista executivo, a solução estrutural em lajes planas protendidas requer uma maior perícia ao longo de seu desenvolvimento, quando comparado com estruturas em concreto convencional. De modo a garantir qualidade e o perfeito desempenho estrutural ainda soma-se uma minuciosa verificação destes serviços.

O Brasil atravessa atualmente um momento de grande ascensão no setor imobiliário e paralelo a isso, ocorrem enormes avanços nos setores tecnológicos, buscando desenvolver novas formas de produção, as quais primam pela racionalização, tanto de materiais, regidas por princípios de sustentabilidade, como de mão de obra. Tais métodos produtivos, dentre eles pode-se destacar o descrito neste estudo, devem ser constantemente estimulados por parte de empreendedores e construtoras, rompendo, assim, com antigos paradigmas, de modo a introduzir a indústria da construção civil neste processo de modernização.

Referências

- PEREIRA J. L. S. et al., Concreto protendido e lajes protendidas com monocordalhas engraxadas - Noções gerais: Solução estrutural e correta execução. 2005
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2004.
- CAUDURO E. L., Manual para a boa execução de estruturas protendidas usando cordalhas de aço engraxadas e plastificadas. São Paulo, 2002.
- GIL, A. C. Métodos e técnicas de pesquisa social. 4ª edição. São Paulo: Atlas, 2008.
- NASCIMENTO, A. V., Concreto protendido – O uso da protensão não aderente em edifícios comerciais e residenciais. São Paulo. 2004
- PFEIL, Walter. Concreto armado. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1988.
- PFEIL, Walter. Concreto protendido - Processos construtivos, perdas de protensão, sistemas estruturais. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1980.
- SCHAFFER A. Notas de aula: Tópicos especiais II - Concreto protendido. Porto Alegre. 2011.
- SCHMID, M.T. - Lajes Planas Protendidas, Publicação Técnica de Rudloff. São Paulo, 2009.

SILVA, E. L., MENEZES, E. M. Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação. 4ª edição. Rev. Atual, Florianópolis, Laboratório de Ensino a Distância da UFSC, 2005.

SINDICATO DOS TRABALHADORES NA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL DE PORTO ALEGRE. Acordos coletivos. Disponível em: <http://www.sintracon.com.br/acordos_full.asp>. Acesso em: 02 nov. 2011.

VERÍSSIMO G. S. et al. Concreto protendido – Fundamentos básicos. 4ª edição. UFMG. 1998.

VILLA S. B. O produto imobiliário paulistano – Uma crítica a produção de apartamentos ofertados no mercado imobiliário a partir de 2000. São Paulo. 2006.

Anexos

Anexo 1



Vista superior de uma das torres constituintes do empreendimento A. Fonte: Construtora responsável pela execução do empreendimento A (2010).

Anexo 2



Montagem das armaduras dos pilares do pavimento tipo do empreendimento B em lances duplos. Fonte: Engenheiro Matheus S. Bittencourt (2010).

Anexo 3



Aspecto dos pilares do pavimento tipo do empreendimento B, após a execução da concretagem. Fonte: Engenheiro Matheus S. Bittencourt (2010).

Anexo 4



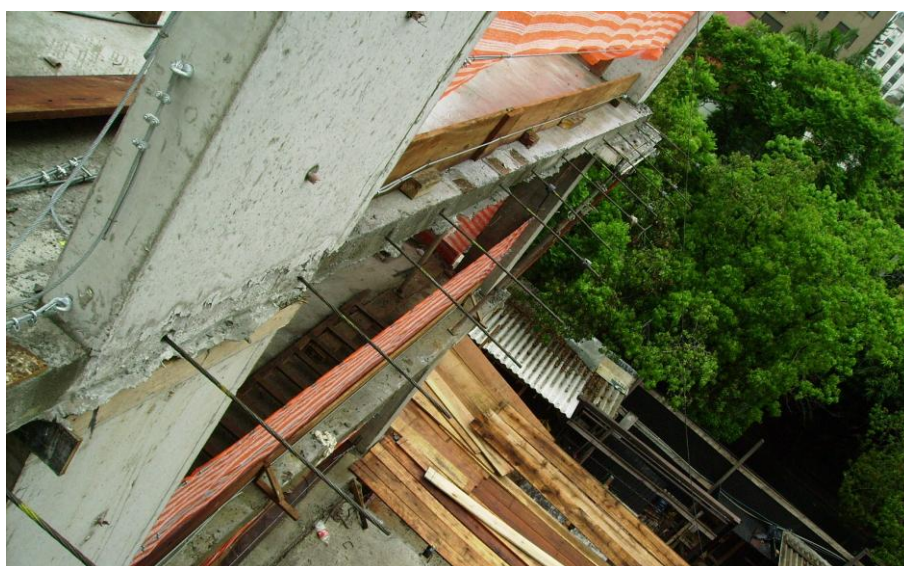
Curvas suaves no traçado dos cabos de protensão existentes nas lajes do empreendimento B. Fonte: Engenheiro Matheus S. Bittencourt (2010).

Anexo 5



Posicionamento e montagem dos cabos de protensão na laje do pavimento tipo do empreendimento B. Fonte: Engenheiro Matheus S. Bittencourt (2010).

Anexo 6



Cordoalhas existentes nas lajes do pavimento tipo do empreendimento B, após a execução da protensão. Fonte: Engenheiro Matheus S. Bittencourt (2010).