

**UNIEVANGÉLICA**

**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**THAIS ITACARAMBY JORGE**

**ANÁLISE DO PROCESSO EXECUTIVO DE LAJE  
PROTENDIDA: ESTUDO DE CASO NA OBRA DE  
CONSTRUÇÃO LONDON HOTEL & OFFICES**

**ANÁPOLIS / GO**

**2015**

**THAIS ITACARAMBY JORGE**

**ANÁLISE DO PROCESSO EXECUTIVO DE LAJE  
PROTENDIDA: ESTUDO DE CASO NA OBRA DE  
CONSTRUÇÃO LONDON HOTEL & OFFICES**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA**

**ORIENTADORA: MESTRA ISA LORENA SILVA BARBOSA**

**ANÁPOLIS / GO: 2015**

## **FICHA CATALOGRÁFICA**

JORGE, THAIS ITACARAMBY.

Análise do processo executivo de laje protendida: Estudo de caso na obra de construção London Hotel & Offices [Goiás] (2015)

52P, 297 mm (ENC/UNI, Bacharel, Engenharia Civil, 2015).

TCC - UniEvangélica

Curso de Engenharia Civil.

1. Laje

2. Protendido

3. Vantagens

4. Aderente

I. ENC/UNI

II. Título (Série)

## **REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA**

JORGE, T. I. Análise do processo executivo de laje protendida: Estudo de caso na obra de construção London Hotel & Offices. TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEvangélica, Anápolis, GO, 52p. 2015.

## **CESSÃO DE DIREITOS**

NOME DO AUTOR: Thais Itacaramby Jorge

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO:

Análise do processo executivo de laje protendida: Estudo de caso na obra de construção London Hotel & Offices.

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil

ANO: 2015

É concedida à Unievangélica a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

---

Thais Itacaramby Jorge

E-mail: thaisitacaramby00@hotmail.com

**THAIS ITACARAMBY JORGE**

**ANÁLISE DO PROCESSO EXECUTIVO DE LAJE  
PROTENDIDA: ESTUDO DE CASO NA OBRA DE  
CONSTRUÇÃO LONDON HOTEL & OFFICES**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE  
ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA COMO PARTE DOS REQUISITOS  
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL.**

**APROVADO POR:**

---

**ISA LORENA SILVA BARBOSA, Mestra (UniEVANGÉLICA)**

---

**ADRIANO CARVALHO DE SOUZA, Mestre (UniEVANGÉLICA)  
(EXAMINADOR INTERNO)**

---

**CÉSAR AUGUSTO PAIVA GONÇALVES, Mestre (UniEVANGÉLICA)  
(EXAMINADOR INTERNO)**

**DATA: ANÁPOLIS/GO, 23 de NOVEMBRO de 2015.**

## DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Iracema e Marum, por todo esforço e  
amor que dedicaram a mim.

A Deus.

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais, obrigada pelas oportunidades que me proporcionaram, por todo esforço, dedicação, paciência, carinho, atenção e amor durante toda esta jornada. Ao meu irmão Thiago, por sempre que necessário estar de prontidão para ajudar.

Aos amigos e colegas que adquiri ao longo da árdua jornada da engenharia, obrigada por toda ajuda oferecida a mim.

A professora Isa, minha orientadora, por toda paciência, atenção, cobranças, conhecimentos, sem ela este trabalho não seria possível.

A Luana, engenheira da obra do estudo de caso deste trabalho, pela atenção e pelo conhecimento transmitido a mim.

A Deus por me permitir ter todas essas pessoas ao meu lado.

## **RESUMO**

O presente trabalho apresenta estudo sobre a protensão, com aspectos históricos da tecnologia, demonstrando características, materiais empregados, fundamentos básicos para cálculo, aspectos construtivos e econômicos, sistematização, detalhes da tecnologia e breve comparativo com a laje em concreto armado convencional. O estudo de caso foi elaborado com relatos de profissionais da área, apresentando todo o processo executivo do sistema não aderente com cordoalhas engraxadas e plastificadas utilizado na obra. O objetivo deste trabalho foi alcançado através do conhecimento desta tecnologia, visando um detalhamento que tornasse a leitura de fácil compreensão, não somente para especialistas da área e sim a qualquer pessoa que tenha interesse na técnica da protensão na engenharia.

Palavras-chave: Laje. Protendido. Aderente. Concreto. Cordoalha

## **ABSTRACT**

This paper presents a study about prestressing, with historical aspects of technology, demonstrating characteristics, used materials, basic calculation fundamentals, construction and economics aspects, systematization, technology details and a brief comparison with conventional reinforced concrete slab. The study case was prepared with professional reports from specialists, with the entire executive process of the non-stick system with greased and laminated wire rope used in the work. The objective was achieved through technology knowledge obtaining, seeking a detailing that would make reading easy to understand, not only for experts in the field, but to anyone who has interest in technical engineering prestressing.

Keywords: Slab. Prestressed. Adherent. Concrete. Wire Rope.

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Página</b>
Figura 1 – Ponte do Galeão.....	13
Figura 2 – Ponte Presidente Dutra.....	13
Figura 3 – Fila horizontal de livros.....	16
Figura 4 – Barril de madeira.....	17
Figura 5 – Roda de madeira.....	17
Figura 6 – Sistema de construção em balanços sucessivos.....	18
Figura 7 – Ponte protendida em balanços sucessivos.....	18
Figura 8 – Cordoalha de protensão.....	20
Figura 9 – Ancoragem.....	20
Figura 10 – Macaco hidráulico.....	21
Figura 11 – Cordoalha.....	22
Figura 12 – Cordoalha protensão aderente.....	24
Figura 13 – Macaco hidráulico.....	25
Figura 14 – Manômetro.....	25
Figura 15 – Gráfico comparativo para lajes em concreto armado e protendido.....	28
Figura 16 – Distribuição dos cabos.....	29
Figura 17 – Caso “A”: laje em concreto convencional, com vigas.....	33
Figura 18 – Caso “B”: laje plana lisa em concreto protendido com e sem aderência	33
Figura 19 – Caso “C”: laje mista parcialmente protendida, com concreto celular e blocos cerâmicos.....	34
Figura 20 – Fôrmas concluídas.....	39
Figura 21 – Execução de armação positiva e negativa.....	41
Figura 22 – Execução de furos nas fôrmas.....	42
Figura 23 – Ancoragem passiva pronta.....	42
Figura 24 – Ancoragem passiva e cordoalha fora da bainha.....	43
Figura 25 – Ancoragem passiva fixada às cordoalhas.....	43
Figura 26 – Copinho.....	44
Figura 27 – Espaçadores.....	44
Figura 28 – Detalhamento da altura entre cabo e fôrma através do espaçador.....	45
Figura 29 – Laje pronta para ser concretada.....	46
Figura 30 – Laje pronta para ser protendida.....	47
Figura 31 – Manômetro.....	47
Figura 32 – Copinhos retirados e cabos fora da estrutura.....	48
Figura 33 – Macaco hidráulico executando protensão.....	48
Figura 34 – Relatório de tensionamento das cordoalhas.....	49

**LISTA DE TABELAS**

	<b>Página</b>
Tabela 1 – Tolerância na colocação dos cabos.....	29
Tabela 2 – Comparação de custos entre as soluções analisadas.....	35
Tabela 3 – Quantitativos de fôrmas e volume de concreto.....	39
Tabela 4 –Armação negativa das lajes de pavimento tipo “c” .....	40
Tabela 5 – Armação positiva das lajes de pavimento tipo “c.....	40
Tabela 6 – Resumo de aço CA 50-60.....	40
Tabela 7 – Cobrimento das armaduras.....	45
Tabela 8 – Propriedades exigidas.....	45

## LISTA DE QUADROS

	<b>Página</b>
Quadro 1 – Sistema aderente e não aderente.....	24
Quadro 2 – Concreto armado x concreto protendido.....	26
Quadro 3 – Sequência de cálculo.....	27
Quadro 4 – Sequência construtiva da laje protendida.....	30
Quadro 5 – Considerações iniciais para estudo de laje de edifício comercial em diferentes soluções.....	31
Quadro 6 – Observações importantes sobre os casos estudados.....	32

## **LISTA DE ABREVIATURAS**

ACI	Acessoria de Cooperação Internacional do INPE
DIN	Instituto Alemão para Normatização
ELU	Estado Limite Último
FIP	Federation Internationale de la Precontainte
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
NBR	Norma Brasileira

## LISTA DE SÍMBOLOS

cm	Centímetro, unidade de medida linear
h	Altura da laje
kN	Quilonewton
kg	Quilo, unidade de medida de peso
l	Largura do vão
m	Metro, unidade de medida linear
mm	Milímetro, unidade de medida linear
MPa	Megapascal
p	Peso
Psi	Libra por tonelada quadrada
tf	Tonelada força

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	13
1.1 TEMA .....	14
1.2 OBJETIVOS .....	15
<b>1.2.1 Geral</b> .....	15
<b>1.2.2 Específicos</b> .....	15
1.3 JUSTIFICATIVA .....	15
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	15
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	16
2.1 USO DA PROTENSÃO.....	16
2.2 SISTEMAS DE PROTENSÃO.....	19
<b>2.2.1 Protensão Sem Aderência</b> .....	19
<b>2.2.2 Protensão aderente</b> .....	22
2.3 CONCRETO PROTENDIDO X CONCRETO ARMADO.....	24
2.4 FUNDAMENTOS PARA CÁLCULO.....	27
2.5 ASPECTOS CONSTRUTIVOS.....	29
2.6 ASPECTOS ECONÔMICOS.....	31
<b>3 ESTUDO DE CASO</b> .....	36
3.1 INTRODUÇÃO.....	36
3.2 INFORMAÇÕES E CARACTERÍSTICAS DA OBRA.....	36
3.3 FORNECIMENTO DE MATERIAIS E MÃO DE OBRA.....	37
3.4 CONTRATO DE PRESTAÇÃO DE SERVIÇOS.....	37
3.5 EXECUÇÃO.....	39
<b>4 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	50
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	51

## 1 INTRODUÇÃO

O primeiro sistema de protensão foi patenteado pelo engenheiro americano P.A. Jackson no ano de 1872, ele utilizou o passar das hastes de laço de ferro através dos blocos e apertá-los com porcas. Após a Segunda Guerra Mundial o engenheiro Eugéne Freyssinet construiu seis pontes de concreto protendido sobre o rio Mame, com 55 metros de extensão sobre o rio. A tecnologia do concreto protendido chegou ao Brasil na década de 90 e a primeira obra brasileira que foi utilizada esta técnica foi a ponte do Galeão no Rio de Janeiro (Figura 1), projetada por Eugéne Freyssinet em 1948 (INFORSATO, 2009). Nesta obra tudo foi trazido da França: o aço, as ancoragens, os equipamentos e o projeto. A segunda obra brasileira foi a ponte Presidente Dutra (Figura 2), que liga Petrolina, em Pernambuco, a Juazeiro na Bahia, esta já construída com aço brasileiro (NASCIMENTO, 2004).

**Figura 1 – Ponte do Galeão**



Fonte: < <https://blogdoinsulano.wordpress.com/tag/ponte-estaiada/>>. Acesso em: 05 Abril, 2015.

**Figura 2 – Ponte Presidente Dutra**



Fonte: < <http://blogdodudulajes.blogspot.com.br/2014/05/ritmo-lento.html>>. Acesso em: 05 abril, 2015.

O desenvolvimento técnico da protensão se encaixa em uma das mais importantes melhorias da engenharia estrutural. É evidente o seu efeito na visão econômica, no comportamento estrutural e nos aspectos técnicos. O potencial que a protensão carrega ainda não foi muito aproveitado pelo meio técnico, a razão mais forte se dá pela não familiaridade que a protensão proporciona por parte de todos os envolvidos em um projeto de edificação, que costuma envolver o dono do empreendimento, a equipe de projeto, incluindo arquitetos, engenheiros e a construtora (SCHMID, 2009).

Sobre lajes protendidas, entre as normas usuais do concreto armado e protendido, podem ser citadas:

- a) NBR 6118 - 2014
- b) DIN 4227 (Apêndice A)
- c) ACI – ASCE Committe 423
- d) FIP (Federation Internationale de la Precontrainte)<sup>1</sup> – Recomendações para o projeto de lajes planas em concreto protendido, com e sem aderência (maio, 1998)
- e) FIP – Recomendações para o projeto de lajes e lajes-fundação protendidas (1998)
- f) FIB – CEB – FIP – Recomendações (setembro, 1999)

Segundo a NBR 6118 (2014, p.4), diz sobre protensão:

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 dos aços de alta resistência no estado limite último.

## 1.1 TEMA

Análise do processo executivo de laje protendida: Estudo de caso na obra de construção London Hotel & Offices.

---

<sup>1</sup> Federação Internacional de protensão

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Geral

Realizar estudo de caso para analisar dados do processo executivo de laje protendida.

### 1.2.2 Específicos

- a) detectar quando deve ser usada a laje protendida;
- b) levantar a mão de obra necessária para a protensão;
- c) vantagens e desvantagens da utilização da laje protendida;
- d) evidenciar facilidades construtivas que a protensão proporciona.

## 1.3 JUSTIFICATIVA

No intuito de concluir o trabalho proposto e em busca de alcançar os objetivos aqui apresentados, foram abordadas características funcionais com este propósito utilizaram-se normas técnicas, pesquisas e estudo de caso, a fim de caracterizar a laje protendida.

O estudo contribuirá com informações relevantes para futuros estudos acadêmicos, já que é um tema moderno, porém não muito abordado na universidade. A idéia de se desenvolver o presente estudo surgiu pelo fato de ser um tema atual, que vem crescendo muito no mercado e também da necessidade da realização do trabalho de conclusão de curso de engenharia civil.

## 1.4 ESTRUTURAS DO TRABALHO

Este trabalho é composto pelos seguintes capítulos:

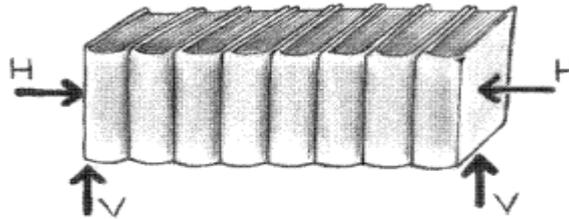
- a) capítulo 1: É feita a introdução, objetivos e justificativas do trabalho;
- b) capítulo 2: São apresentados sistemas de protensão, comparativo com concreto convencional, aspectos econômicos e construtivos.
- c) capítulo 3: É feito o estudo de caso, no qual foram colhidos dados sobre a obra apresentada;
- d) capítulo 4: Apresenta as considerações finais deste trabalho;

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 USO DA PROTENSÃO

A seguir apresentamos como pode ser ilustrado o conceito geral sobre protensão. Quando se resolve carregar uma pilha de livros na horizontal, que são objetos soltos e para que se mantenha em equilíbrio, é necessário que seja aplicada uma força horizontal comprimindo os livros, exercendo assim a mobilização de forças de atrito e ao mesmo tempo forças verticais nas extremidades para poder levantá-la (Figura 3). É indispensável que a força normal seja aplicada antes da força vertical. Ou seja, a aplicação da força normal pode ser interpretada como protensão a estrutura, que no caso são os livros (HANAI, 2005).

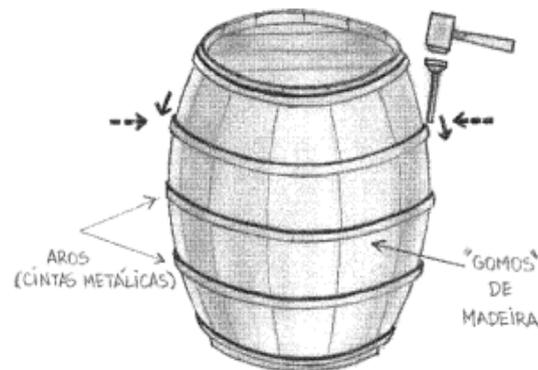
**Figura 3 – Fila horizontal de livros**



Fonte: <[http://www.set.eesc.usp.br/mdidatico/protendido/arquivos/cp\\_ebook\\_2005.pdf](http://www.set.eesc.usp.br/mdidatico/protendido/arquivos/cp_ebook_2005.pdf)> Acesso em: 26 maio, 2015.

A protensão pode ser usada em pontes, lajes, vigas, e também em reservatórios de água, como por exemplo, o reservatório de Buyer, na Alemanha, cuja protensão é conhecida como “tipo barril”. O procedimento consiste em fazer com que os cabos enrolados em volta da parede assumam maiores diâmetros, aplicando assim as forças de protensão. O líquido armazenado no barril exerce pressão hidrostática na parede, provocando assim esforço de tração, que tendem a abrir as juntas entre os gomos. É feita uma operação mecânica que força os aros a uma posição de diâmetro maior, assim tracionadas e comprimindo no sentido transversal os gomos do barril (Figura 4). Sendo assim, o conjunto fica solidarizado e as juntas entre os gomos ficam pré-comprimidas (HANAI, 2005).

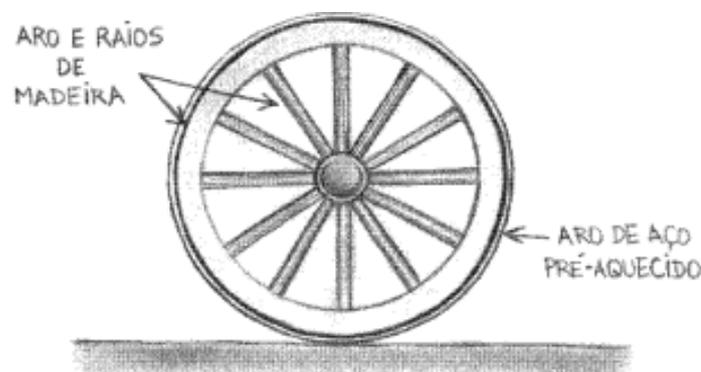
**Figura 4 – Barril de madeira**



Fonte: <[http://www.set.eesc.usp.br/mdidatico/protendido/arquivos/cp\\_ebook\\_2005.pdf](http://www.set.eesc.usp.br/mdidatico/protendido/arquivos/cp_ebook_2005.pdf)>. Acesso em: 26 maio, 2015.

A roda de carroça (Figura 5) é um clássico exemplo de estrutura protendida, que tem suas partes de madeira devidamente montadas por encaixe e é empregado exteriormente um aro de aço que tem a função de solidarizar todo o conjunto. O aro de aço é aquecido e tem seu diâmetro aumentado devido a dilatação, então é colocado em torno da roda pré montada. Quando o aço esfria tende a voltar ao seu diâmetro normal, porém encontra oposição da roda, aplicando esforço sobre ela, desta forma protende e solidariza. O exemplo da roda de madeira de carroça, mostra uma característica do potencial da protensão, que é a possibilidade existente de ser promovida a solidarização de partes de uma estrutura (HANAI, 2005).

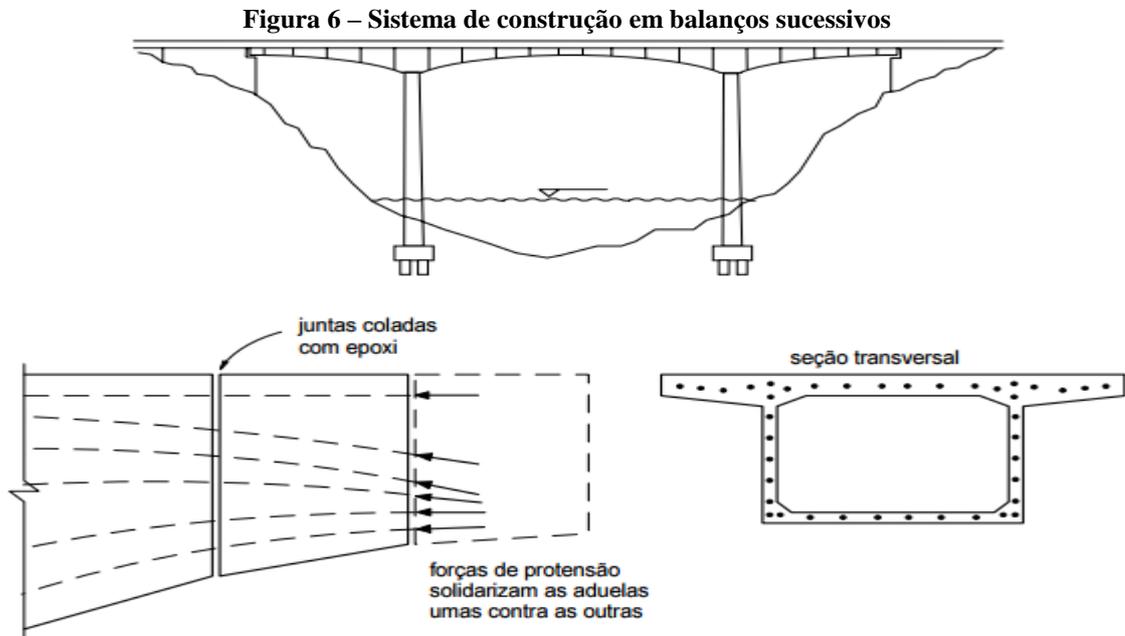
**Figura 5 – Roda de madeira**



Fonte: <[http://www.set.eesc.usp.br/mdidatico/protendido/arquivos/cp\\_ebook\\_2005.pdf](http://www.set.eesc.usp.br/mdidatico/protendido/arquivos/cp_ebook_2005.pdf)>. Acesso em: 26 maio, 2015.

A partir de 1949 o concreto protendido se desenvolveu rapidamente. Em Paris, na década de 50 foi realizado a primeira conferência sobre o assunto, então surgiu a FIP. Finster Walder executou a primeira ponte em balanço sucessivo (Figura 6 e 7). O método de colocar

os cabos de protensão em bainhas, dentro da seção transversal do concreto, possibilitando a protensão dos cabos apoiados no próprio peso do concreto endurecido. Esta técnica formou conceito para execução de estruturas protendidas com grandes vãos (VERÍSSIMO, 1998).



Fonte: VERÍSSIMMO, 1998.

**Figura 7 – Ponte protendida em balanços sucessivos**



Fonte: VERÍSSIMO, 1998.

O concreto possui resistência à tração inferior e a resistência à compressão e se torna indispensável que sejam tomadas medidas para evitar e controlar as fissuras. Portanto, a protensão pode ser aplicada a fim de se criar tensões de compressão prévias em regiões em

que o concreto seria tracionado em virtude das ações sobre a estrutura. A protensão pode ser usada como meio de articulação de partes menores do concreto armado, para que sejam compostos sistemas estruturais (HANAI, 2005).

Protender uma estrutura de concreto, seja ela laje ou viga, é usar uma tecnologia duradoura, inteligente e eficaz. Duradoura, porque permite longa vida útil aos seus elementos. Inteligente, pois possibilita que seja aproveitada ao máximo a resistência mecânica dos principais materiais que a constitui, aço e concreto, reduzindo suas quantidades. Eficaz em virtude de seu alto grau de superioridade técnica sobre soluções habituais proporcionando estruturas seguras. A protensão proporciona baixíssima e muitas vezes nenhuma necessidade de manutenção durante sua vida útil (HANAI, 2005). Segundo Luiz de Brito Prado Vieira, engenheiro do Grupo Votorantim, no concreto protendido é aplicada força de compressão prévia, chamada protensão, nas regiões onde há acúmulo de tensões. O uso é indicado para elementos estruturais de dimensão elevada que exigem esforços no sentido oposto a solicitação de carga, para evitar o comprometimento das peças.

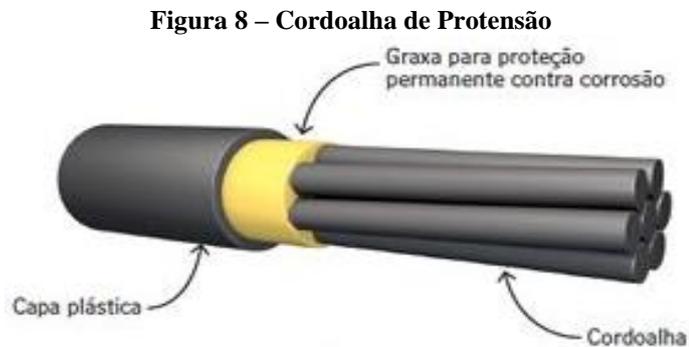
Como todo e qualquer procedimento dentro da engenharia, devem ser seguidas normas, com o objetivo de estabelecer a qualidade, segurança e padrão dos serviços, no caso da protensão não é diferente, existem normas que regem este procedimento, por exemplo, NBR 7197/78 – “Projeto de Estruturas de Concreto Protendido”, NBR 7482/90 – “Fios de Aço para Concreto Protendido” e NBR 7483/90 – “Cordoalha de Aço para Concreto Protendido”.

## 2.2 SISTEMAS DE PROTENSÃO

### 2.2.1 Protensão sem aderência

Esta tecnologia vem sendo utilizada nos Estados Unidos desde a década de 60 em edifícios residenciais, comerciais e em placas para fundações, ou seja, radier. Em um edifício, por exemplo, os cabos de protensão são ancorados nas extremidades da laje e são tracionados contra o concreto, comprimindo-o. Os cabos são distribuídos no interior da peça, com a definição do projetista o local exato e a quantidade de cabos que a peça deve conter, tais cabos atuam sempre em direção do centro de curvatura, contra o sentido das flechas. Os cabos para protensão são plastificados com uma capa de polietileno que serve de bainha e uma camada de graxa de alta densidade que interpõe entre o cabo e a capa, que proporciona proteção contra corrosão, que são chamados de cordoalha engraxada. (Figura 8). É utilizada a

protensão sem aderência para construções de prédios, pontes, shoppings, silos e fundações (HANAI, 2005).

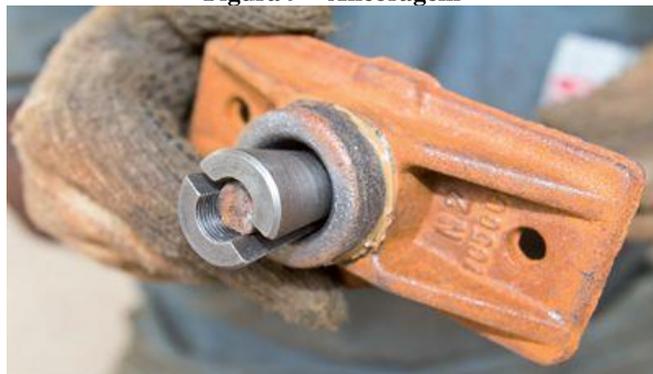


Fonte: <<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/185/radier-protendido-285959-1.aspx>>. Acesso em: 26 de maio, 2015.

É realizada com armadura pós-tracionada, ou seja, a armadura ativa é tracionada após a execução da estrutura de concreto. A protensão sem aderência se refere exclusivamente a armadura ativa, sendo que a armadura passiva sempre deve estar aderente ao concreto (VERÍSSIMO, 1998).

O sistema de não aderência é denominado monocordoalha, pois cada ancoragem (Figura 9) segura apenas uma cordoalha. Com seu baixo coeficiente de atrito, geralmente cada cordoalha leva uma ancoragem pré-encunhada em uma extremidade (HANAI, 2005).

**Figura 9 – Ancoragem**



Fonte: <<http://equipedeobra.pini.com.br/construcao-reforma/57/passo-a-passo-protensao-de-lajes-288539-1.aspx>>. Acesso em: 02 de junho, 2015.

A capa protetora da cordoalha é feita de polietileno de alta densidade, devendo ter a espessura mínima de 1mm, oferece ótima resistência ao manuseio e arraste por entre as ferragens frouxa da obra. Além da facilidade do manuseio, esse tipo de cordoalha descarta a constante preocupação com a integridade da bainha metálica durante seu posicionamento nas fôrmas para verificar possíveis amassamentos ou entrada de nata de cimento que possa vir a

prender a cordoalha. As cordoalhas podem ser reunidas em grupos, mesmo sendo ancoradas individualmente. A protensão é executada por um macaco hidráulico (Figura 10) de pistões paralelos que segura cada cordoalha no centro dos dois pistões, a operação é muito rápida. Também pode ser utilizado macaco com furo central (VERÍSSIMO, 2005).

**Figura 10 – Macaco Hidráulico**



Fonte: < <http://equipedeobra.pini.com.br/construcao-reforma/57/artigo278117-2.aspx>>. Acesso em: 02 de junho, 2015.

O cabo engraxado é fabricado em processo contínuo, em que a cordoalha é coberta com graxa que inibe a corrosão e é revestida com uma capa de polietileno de alta densidade e é recebida na obra em rolos e devem ser armazenadas encima de paletes. (Figura 11). A graxa de proteção deve ter características que não ataquem o aço. As bainhas de polietileno devem ter espessura mínima de 1 mm e seção circular com o diâmetro interno para que seja permitido o movimento interno da cordoalha. Devem ser duráveis, impermeáveis e resistentes aos danos que possam ser causados por meio do transporte, instalação, concretagem e tensionamento (SCHMID, 2009).

**Figura 11 – Cordoalhas**



Fonte: < <http://www.pte.com.br/produtos>> Acesso em: 05 de junho, 2015.

A técnica da protensão sem aderência possui suas vantagens (PTE ENGENHARIA, 2015):

- a) evita bainhas metálicas e injeção de nata de cimento;
- b) redução de custo;
- c) lajes com capacidade de grandes sobrecargas;
- d) uso para laje apoiada no solo (Radier);
- e) operação simples;
- f) economia de fôrmas;
- g) facilidade e rapidez na colocação das cordoalhas nas fôrmas;
- h) menor perda de atrito;
- i) estrutura com maior durabilidade;
- j) ausência de fissuras e deformações;
- k) menor perda de atrito;
- l) o aço chega na obra pronto para uso;
- m) maior excentricidade.

### **2.2.2 Protensão aderente**

É o sistema de protensão em que ocorre injeção de nata de cimento nas bainhas, que garante a aderência mecânica da armadura de protensão ao concreto em todo comprimento do cabo, proporcionando proteção contra corrosão (VALDUGA, 2007). Quando é aplicada a protensão nas cordoalhas, tensões internas são criadas na estrutura, a fim de combater esforços resultantes dos carregamentos e melhorar o desempenho do conjunto.

Constantemente as cordoalhas ficam esticadas (Figura 12), durante toda a vida útil da estrutura. As altas tensões necessárias para esticar as cordoalhas devem ser absorvidas pelo sistema de protensão, a fim de proteger a estrutura e seus usuários (SCHMID, 2009).

A protensão com aderência é capaz de oferecer essa proteção, pois ela permite que a armadura da protensão e o concreto trabalhem em conjunto, ou seja, se por acaso um cabo for rompido, a estrutura irá absorver as tensões que podem causar futuros rompimentos. Então, a perda de força que ocorrerá, será localizada, pois a aderência possibilita que o comprimento do cabo conserve a protensão, possibilitando assim estruturas mais seguras. A fase de injeção da nata de cimento nas bainhas pode ser feita simultaneamente ao cronograma da obra, sem interferir nas outras etapas (SCHMID, 2009).

Principais características da protensão com aderência (SCHMID, 2009):

- a) a aderência possibilita execução de possíveis furos e colocação de chumbadores nas peças concretadas, após a aprovação do projetista;
- b) o aço pode ser considerado no cálculo do estado do limite último, pois é solidarizado com o concreto, permitindo redução na quantidade de armadura passiva;
- c) as cordoalhas podem ser colocadas nas bainhas antes ou depois da concretagem, permitindo que elementos pré-fabricados sejam unidos por meio da protensão;
- d) apresenta maior capacidade de resistência em caso de incêndio.

O quadro 1 a seguir, mostra uma breve diferença entre protensão aderente e não aderente:

**Quadro 1 – Sistema aderente e não aderente**

	Sistema aderente	Sistema não aderente
Colocação das cordoalhas nas formas	Complexo	Fácil
Excentricidade	Menor	Maior
Perda por atrito	Maior	Menor
Segurança à ruína	Maior	Menor

Fonte: VALENTI, 2005.

**Figura 12 – Cordoalhas protensão aderente**



Fonte: < <http://www.impactoprotensao.com.br/component/k2/item/19-aderente&Itemid=> >.  
Acesso em: 07 junho, 2015.

### 2.3 CONCRETO PROTENDIDO X CONCRETO ARMADO

A principal diferença entre o concreto armado e o concreto protendido está na presença de força de protensão.

O concreto armado recebe um carregamento e parte da peça é tracionada e outra comprimida. Considerando que o concreto armado é resistente a compressão e pouco resistente a tração, nas regiões onde a peça é tracionada é necessário a fixação de barras de aço, que resistam bem a tração, assim a peça fica equilibrada e trabalha simultaneamente quando submetida a algum carregamento (REZENDE, 2014).

Já no concreto protendido, são colocadas bainhas em seu interior, no sentido contrário aos esforços procedentes dos carregamentos que a peça receberá, por onde são passados cabos de aço que são tracionados durante o processo de fabricação das peças, assim exercendo compressão nelas. Os cabos são tracionados por um macaco hidráulico de protensão (Figura 13) que possui o manômetro (Figura 14), cujas forças de tração são lidas através dele. que deve ser obedecida a carga que deverá ser aplicada, pois foi estabelecida em projeto, e quando esta carga é atingida os cabos são ancorados à estrutura (REZENDE, 2014).

**Figura 13 - Macaco hidráulico**

Fonte: < <http://www.bauscher.com.br/equipamentos-protensao> > Acesso em: 07 junho, 2015.

**Figura 14 – Manômetro**

Fonte: Próprio autor, 2015.

Para projetar peças de concreto protendido é preciso calcular com mais precisão os efeitos da retração e da fluência do concreto, da relaxação do aço da protensão, perdas por atrito e encunhamento. Faz necessário também uma verificação mais minuciosa de todas as etapas de vida da peça, levando em consideração que a protensão introduz, desde a fase inicial da execução de esforços importantes nos elementos estruturais (HANAI, 2005).

Em vista disso, afirma-se que as diferenças são tecnológicas, ou seja, que exigem ou não conhecimentos adicionais de projetos e execução, sendo que os materiais são na sua essência os mesmos (HANAI, 2005).

Usando tais informações como referências, faz-se um breve comparativo entre usar concreto armado ou concreto protendido. Considerando o concreto protendido como um avanço tecnológico, fica-se tentado a dizer que o concreto protendido seria sempre uma melhor alternativa que o concreto armado. Porém deve ser considerado pelo menos dois aspectos (HANAI, 2005):

a) nem sempre pode-se contar com disponibilidade tecnológica, como conhecimentos, materiais e recursos humanos, para projetar e executar peças de concreto protendido.

b) o uso da protensão nem sempre se manifesta de modo tão favorável; por exemplo: execução de fundações e pilares submetidos à compressão com pequena excentricidade.

O concreto protendido em laje permite (PREMONTA, 2015):

- a) redução no consumo de concreto;
- b) eliminação de escoramentos para vãos de até 3,20 metros;
- c) vãos de 3,21 a 6,20 metros, usa-se apenas 1 escoramento;
- d) vãos de 6,21 a 10,00 metros, usa-se apenas 2 linhas de escoramento;
- e) menor peso próprio;
- f) maíores respeito ao ambiente.

Dentre vários motivos do surgimento do concreto protendido, a necessidade de aumentar resistências à tração e ao cisalhamento, foram os principais. Ao ser aplicada a força de protensão na estrutura, são obtidas as seguintes características, conforme quadro 2:

**Quadro 2 – Concreto armado x Concreto Protendido**

	Concreto armado	Concreto protendido
Armadura	Utiliza armadura passiva	Utiliza armadura ativa
Tensão de tração	Considerável tensão de tração	Redução ou eliminação das tensões de tração, eliminando o potencial de aparecimento de fissuras
Tensão de cisalhamento	Considerável tensão de cisalhamento	Redução da tensão de cisalhamento, reduzindo as seções das peças estruturais

Fonte: VALENTI, 2005.

## 2.4 FUNDAMENTOS PARA CÁLCULO

Qualquer que seja o processo escolhido, aderente ou não aderente, o cálculo das lajes planas protendidas tem o costume de seguir a sequência:

**Quadro 3 – Sequência de Cálculo**

a) Escolha da opção com ou sem aderência	g) Cálculo dos momentos secundários devidos a protensão
b) Distribuição dos pilares e escolha da espessura da laje em função do vão, do cobrimento e da resistência do fogo desejados	h) Verificação do ELU para a flexão com o dimensionamento da armadura passiva necessária
c) Fixação das características dos materiais a serem empregados	i) Verificação do ELU para o punçãoamento
d) Determinação das cargas	j) Verificação dos Estados Limites de Utilização (limitação das fissuras, deformações lineares, vibração, resistência ao fogo)
e) Cálculo dos esforços solicitantes	k) Detalhamento da armadura passiva mínima
f) Escolha da protensão, isto é, da carga a ser balanceada e arranjo dos cabos	

Fonte: SCHMID, 2009.

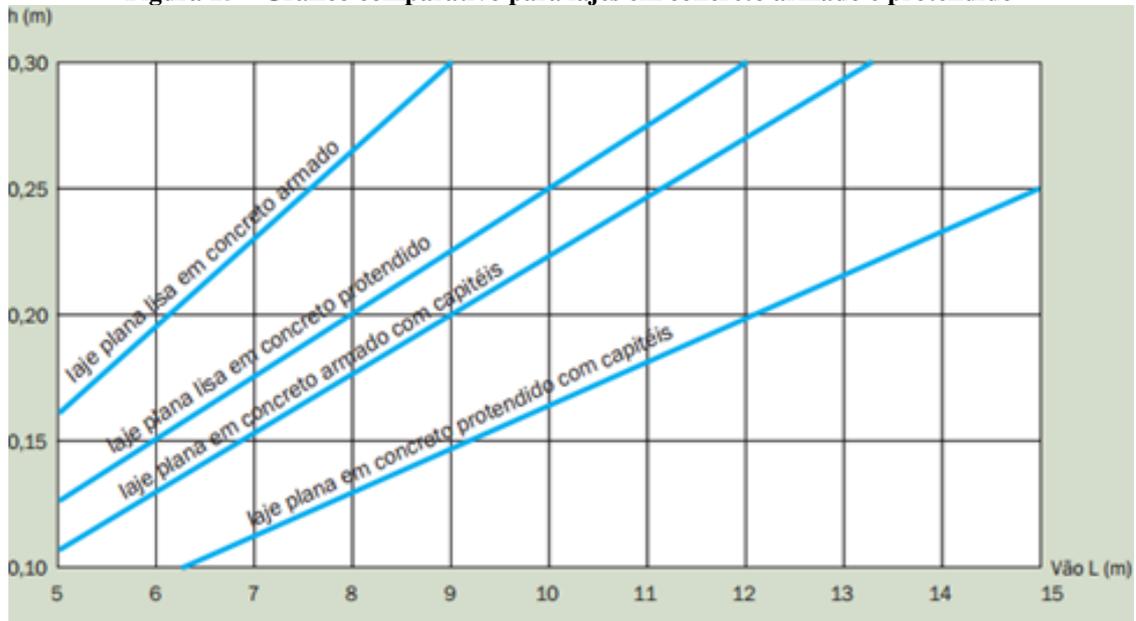
A espessura da laje depende do seu comportamento em relação ao ELU de flexão e punçãoamento. Para que seja feita a escolha da espessura pode-se iniciar dos seguintes valores práticos:

- a)  $L/h \leq 48$  para lajes de cobertura
- b)  $L/h \leq 40$  para lajes de piso com  $p < 3 \text{ kN/m}^2$

Lajes protendidas lisas não devem ter a espessura inferior a 16 cm. A esbeltez ( $L/h$ ) superior a 40 exige comprovação de segurança em relação aos Estados Limites de Utilização, de deformações e vibrações excessivas.

A figura a seguir mostra a relação altura/vão das lajes planas:

**Figura 15 – Gráfico comparativo para lajes em concreto armado e protendido**



Fonte: SCHMID, 2009.

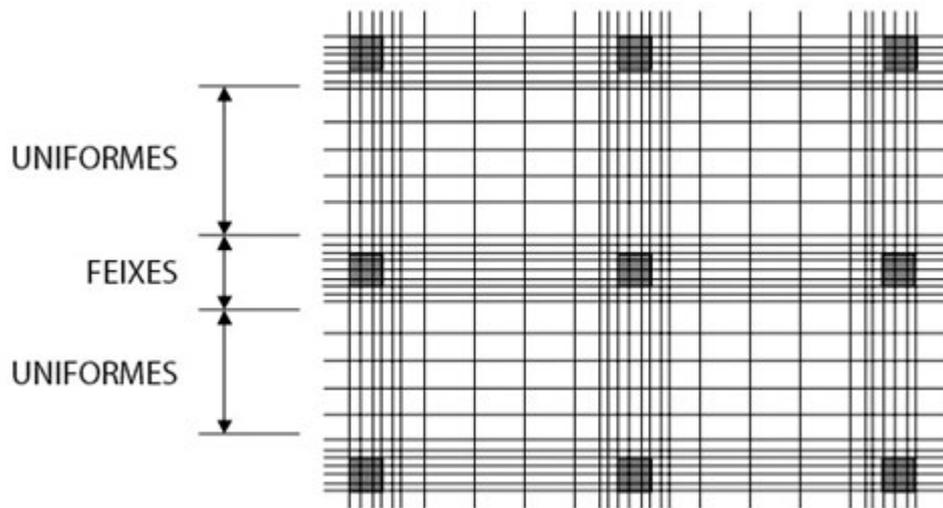
Para lajes que serão protendidas somente em uma direção e apoiadas em linhas de apoio, o dimensionamento é feito como se fossem vigas chatas protendidas, utilizando-se o Método das Cargas Balanceadas, que considera as componentes transversais da protensão como forças agindo em sentido contrário ao das cargas da laje (SCHMID, 2009).

Para lajes que serão protendidas em duas direções, o dimensionamento à flexão poderá ser feito como para lajes em concreto armado (SCHMID, 2009).

Os esforços são mais concentrados nas regiões das faixas de apoio, dessa forma é usual que nesses locais haja maior concentração de cabos. A ACI 423 recomenda sobre a distribuição dos cabos em planta (Figura 16):

- a) faixa de pilares: de 65% a 75% dos cabos
- b) faixa central: de 25% a 35% dos cabos

**Figura 16 – Distribuição dos cabos**



Fonte: < <http://jeffersonbessa.eng.br/engenharia-civil/a-diferenca-entre-a-distribuicao-de-cordoalhas-para-lajes-e- pisos-protendidos/>>. Acesso em: 28 outubro, 2015.

## 2.5 ASPECTOS CONSTRUTIVOS

As fôrmas e escoramentos devem ser projetados levando em consideração o seu peso próprio, peso do concreto, peso da armadura, sobrecarga que atua durante a construção e as deformações que ocorrem na laje devida à protensão (SCHMID, 2009).

A colocação dos cabos é rigorosamente estudada e deve ser obedecida, principalmente em seus cruzamentos. Os cabos devem ser fixados seguindo alinhamentos suaves e sem mudanças repentinas de sua direção, devem ficar perpendiculares as suas ancoragens respectivas em um comprimento de pelo menos 50 cm (SCHMID, 2009). Para tolerâncias na colocação dos cabos, podem ser adotados os valores da tabela 1:

**Tabela 1 – Tolerância na colocação dos cabos**

Espessura da laje	Tolerâncias	
	Vertical	Horizontal
$h \leq 200 \text{ mm}$	$\pm h/40$	$\pm 20 \text{ mm}$
$h > 200 \text{ mm}$	$\pm 5 \text{ mm}$	$\pm 20 \text{ mm}$

Fonte: SCHMID, 2009

Tendo em vista a transmissão de cargas pontuais, o espaçamento dos cabos não deve ser maior que  $6h$  ( $h$  = espessura de laje), exceto quando exista armadura passiva posicionada corretamente. O espaçamento dos cabos sobre os pilares deve permitir que a armadura passiva seja colocada corretamente e uma perfeita concretagem. O espaçamento entre os cabos na

região das ancoragens deve respeitar a dimensão das mesmas. Os cabos devem ser bem fixados, para que não desloquem durante a construção e concretagem (SCHMID, 2009).

Para o cobrimento dos cabos, devem ser seguidas as recomendações da NBR 6118-2007, item 7.4, sobre a qualidade do concreto de cobrimento. Cobrimentos que são indicados no projeto, devem ser respeitados, levando em consideração os perigos de corrosão, resistência ao fogo e à possível inserção de chumbadores na laje (SCHMID, 2009).

A força de protensão será transmitida através das ancoragens, o que exige que tenham uma proteção especial contra corrosão e para que conservem suas características iniciais, tendo em vista a durabilidade da laje (SCHMID, 2009).

No quadro 4 a seguir, apresenta a sequência construtiva da laje protendida:

**Quadro 4 – Sequência construtiva da laje protendida**

a) Montagem das fôrmas que irão suportar a laje da protensão	g) Concretagem e cura do concreto
b) Instalação das ancoragens	h) Retirada das fôrmas verticais de borda
c) Colocação da armadura passiva inferior e de punção	i) Protensão dos cabos segundo o plano de protensão definido no projeto, com a obtenção dos alongamentos que serão comparados com os de projeto
d) Distribuição dos cabos de protensão em planta	j) Retirada gradativa das formas
e) Fixação dos cabos em elevação sobre os suportes, conforme projeto	l) Corte das pontas, protensão das ancoragens e fechamento dos nichos
f) Colocação da armadura passiva superior	m) Injeção dos cabos se forem aderentes

Fonte: SCHMID, 2009

O item d) do quadro deve ser definido previamente, a fim de evitar ao máximo, na obra a “costura” de alguns cabos. Os cabos devem se estender no mínimo 80 cm além de suas respectivas ancoragens, para que seja possível o encaixe do macaco hidráulico para executar a protensão (SCHMID, 2009).

Sobre o ato de protender, pode-se aplicar 50% da força de protensão a partir do quarto dia após a concretagem, liberando assim escoramentos e fôrmas, mas mantendo pontaletes nos terços dos vãos. Os 50% finais poderão ser aplicados a partir do oitavo dia após a concretagem. A laje deverá ficar escorada caso tenha que suportar a carga durante a execução do próximo pavimento (SCHMID, 2009).

## 2.6 ASPECTOS ECONÔMICOS

Escolher a laje plana protendida, supõe que existam viabilidade técnica, viabilidade econômica e conveniências arquitetônicas, funcionais e de execução. A viabilidade econômica se prende ao parâmetro “vão”. Existindo nos grandes vãos (7,0 a 12,0 metros), a solução em lajes planas protendidas será competitiva, como mostra o gráfico 1, citado acima, e o exemplo comparativo que será abordado a seguir (SCHMID, 2009).

Não deve ser comparado metro quadrado com metro quadrado, mas sim o custo final, onde é considerado também o menor tempo de execução, melhor reaproveitamento das fôrmas, a aparência final da estrutura e mais algumas outras vantagens que a laje lisa protendida pode oferecer em relação à laje cortada por vigas. A ausência de vigas facilita a instalação de dutos em projetos hospitalares e de dutos de ar condicionado em edificações convencionais, além de permitir redução na altura do pé direito, portanto na altura total do edifício (SCHMID, 2009).

Será apresentado agora um comparativo com estudo de laje de edifício comercial em diferentes soluções. No quadro 5, é apresentado as considerações iniciais:

**Quadro 5 – Considerações iniciais para estudo de laje de edifício comercial em diferentes soluções**

<p>Solução A: em concreto armado com lajes e vigas</p>	<p>Solução B: em concreto protendido com laje plana lisa:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• solução “B1”: com cordoalhas aderentes</li> <li>• solução “B2”: com cordoalhas engraxadas</li> </ul>	<p>Solução C: em laje mista parcialmente protendida:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• solução “C1”: com concreto celular</li> <li>• solução “C2”: com blocos cerâmicos ou tijolos</li> </ul>	<p>Carregamento adotado para A, B e C:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• sobrecarga: <math>p = 2,5 \text{ kN/m}^2</math>;</li> <li>• acabamentos+paredes: <math>g = 2,5 \text{ kN/m}^2</math></li> <li>• total <math>q=5,0 \text{ kN/m}^2</math></li> </ul>
--	---	--	--

Fonte: SCHMID, 2009.

O quadro 6, apresenta observações sobre os casos estudados:

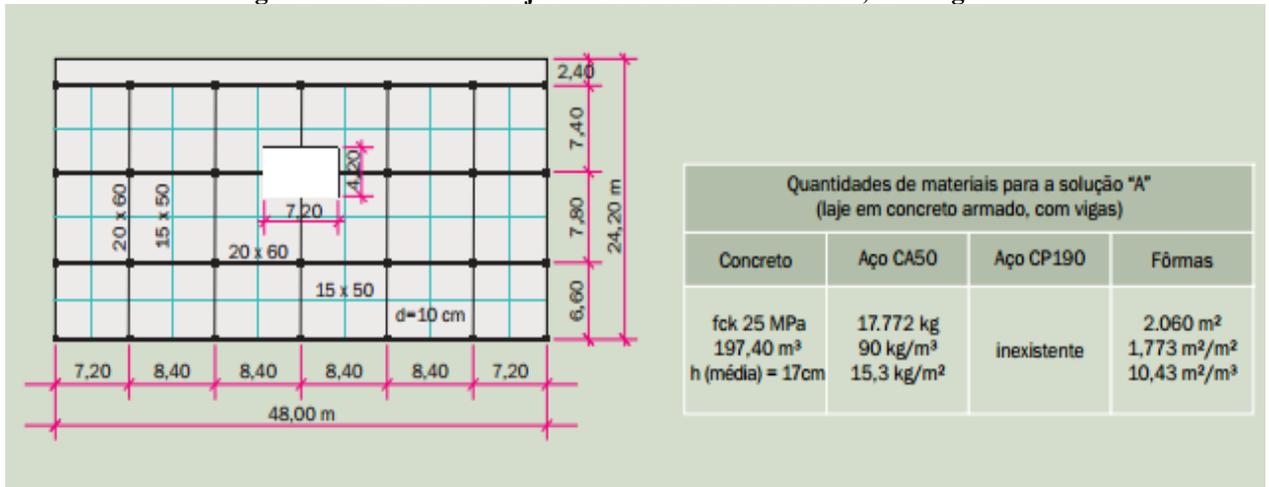
**Quadro 6 – Observações importantes sobre os casos estudados**

<p>a) o custo das fôrmas nas soluções apresentadas foi reduzido em 25% em virtude da mão de obra facilitada, do maior índice de reaproveitamento e do menor tempo de execução de uma forma lisa</p>	<p>e) a tabela 2 pode ser facilmente corrigida caso os valores das linhas 3 a 8 (coluna 2) estejam em proporções diferentes das indicadas em relação ao valor “1” do aço CA50 (linha 2)</p>
<p>b) Para materiais aço CA, concreto e fôrmas, tomou-se a média dos valores Pini em várias cidades brasileiras</p>	<p>f) Para o cálculo do custo da solução “B2”, considerou-se:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ausência das bainhas e do serviço correspondente</li> <li>- Cordoalha engraxada é aproximadamente 11,6% mais pesada que a normal. Para atender ao ELU de flexão, cabos não aderentes exigem maior quantidade de armadura passiva. Este acréscimo varia de 0 a 34%, sendo que no exemplo considerou-se 12%</li> </ul>
<p>c) Não foi levado em consideração a redução de altura de 37 cm por pavimento em relação à solução “A”, o que no caso de um edifício alto, daria um pavimento adicional para cada 8 pavimentos, ou simplesmente significaria redução no custo das paredes, tubulações, fachadas e elevadores</p>	<p>g) No caso das cordoalhas engraxadas, tem-se uma menor perda por atrito ao longo dos cabos e um melhor aproveitamento dos mesmos devido à sua maior excentricidade (aproximadamente 10%), oriunda da ausência da bainha metálica</p>
<p>d) a solução “C” será tanto mais viável quanto mais baixo for o custo do material de enchimento – concreto celular ou, preferencialmente, blocos cerâmicos de vedação. Neste estudo foram usados blocos 19 cm x 19 cm x 39 cm</p>	

Fonte: SCHMID, 2009.

A figura 17 apresenta projeto e quantidade de materiais para solução “A”:

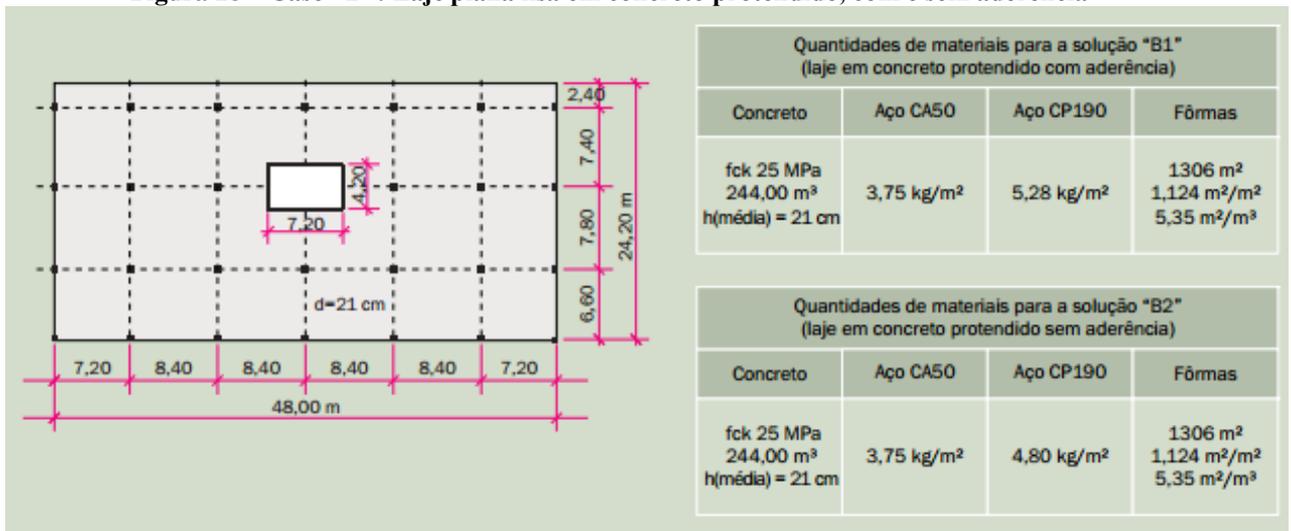
**Figura 17 – Caso “A”: Laje em Concreto Convencional, com vigas**



Fonte: SCHMID, 2009.

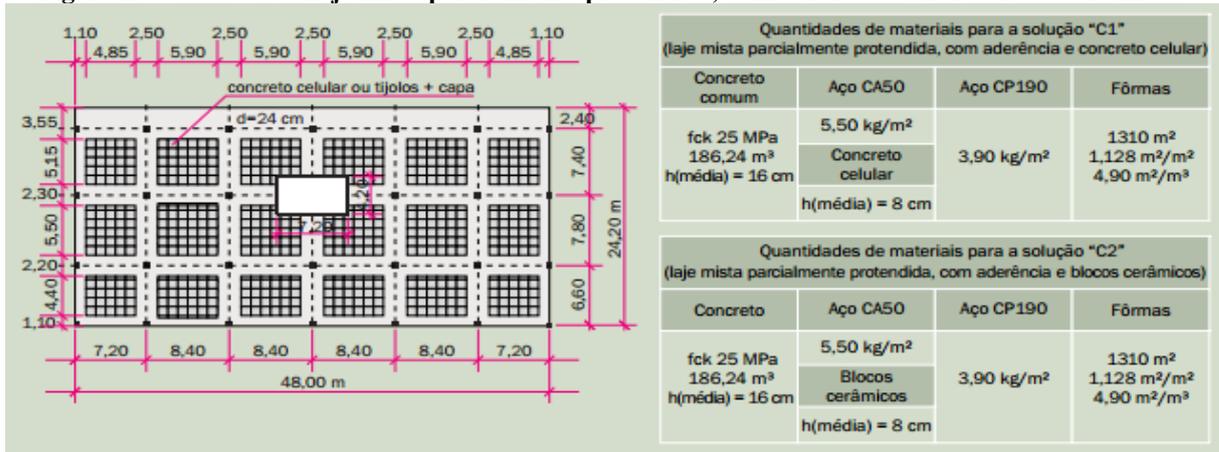
A figura 18 apresenta projeto e quantidade de materiais para solução “B”:

**Figura 18 – Caso “B”: Laje plana lisa em concreto protendido, com e sem aderência**



Fonte: SCHMID, 2009.

**Figura 19 – Caso “C”:** Laje mista parcialmente protendida, com concreto celular e blocos cerâmicos



Fonte: SCHMID, 2009.

Com o objetivo de comparação das soluções entre si, consideramos para 1 kg de aço CA-50 dobrado e colocado nas fôrmas, o custo paramétrico será igual a 1,0 (um). Em relação a este parâmetro, os demais materiais e suas respectivas mãos de obra terão os valores constantes, conforme tabela 2:

Tabela 2 – Comparação de custos entre as soluções analisadas

1	2	3	4	5	6	7
Material	Valor relativo	Solução “A”	Solução “B1”	Solução “B2”	Solução “C1”	Solução “C2”
Aço CA50 (dobrado e colocado)	1,00	1,00 X 15,30	1,00 X 3,75	1,00 X 4,20	1,00 X 5,50	1,00 X 5,50
Aço CP190 aderente (cabos posicionados)	2,37	Não aplicável	2,37 x 5,28	Não aplicável	2,37 x 3,90	2,37 x 3,90
Aço CP190 engraxado (cordoalha engraxada, cabos posicionados)	2,19	Não aplicável	Não aplicável	2,19 x 4,80	Não aplicável	Não aplicável
Fôrmas (material+mão de obra)	6,34	6,34 x 1,77	4,75 x 1,124	4,75 x 1,124	4,75 x 1,128	4,75 x 1,128
Concreto fck 25 (lançado)	41,07	41,07 x 0,17	41,07 x 0,21	41,07 x 0,21	41,07 x 0,16	41,07 x 0,16
Concreto celular (colocado)	28,78	Não aplicável	Não aplicável	Não aplicável	28,78 x 0,08	Não aplicável
Blocos cerâmicos	0,96	Não aplicável	Não aplicável	Não aplicável	Não aplicável	0,96 x 0,08
Soma		33,50	30,22	28,67	28,97	26,74
Valor Relativo		1,00	0,90	0,85	0,86	0,80

Fonte: SCHMID, 2009.

### 3 ESTUDO DE CASO

#### 3.1 INTRODUÇÃO

O presente estudo de caso foi desenvolvido na obra London Hotel & Offices, do Grupo Proeng S.A., que fica localizada na Rua Coronel Batista, número 415, Setor Central, Anápolis, Goiás. Teve por objetivo demonstrar a funcionalidade do método de protensão para obras de grande porte. O estudo foi realizado com a engenheira Luana Procópio, responsável pela obra, e a orientadora engenheira Isa Lorena.

Protender estruturas, apesar de ser um método um tanto quanto antigo, foi utilizado na cidade de Anápolis, de forma inédita e até então exclusiva no ano de 2013, no empreendimento da Emisa Construtora, Residencial Belvedere Du Parc.

O estudo de caso teve foco na parte executiva, evidenciando comparativo com o método convencional, largura de vãos, redução de concreto, importância na altura correta da cordoalha na laje, cuidados durante a concretagem e apresentar como é feita a protensão através do macaco hidráulico.

#### 3.2 INFORMAÇÕES E CARACTERÍSTICAS DA OBRA

O empreendimento possui 14 pavimentos, sendo 1 subsolo, 3 pavimentos de garagem, 9 pavimentos tipo e 1 cobertura, possuindo ainda heliponto. Possui pé direito de 3,06 m, cada pavimento tipo possui 784 m<sup>2</sup>, a laje possui 20 cm de altura e foi gasto cerca de 156 m<sup>3</sup> de concreto por laje. O aço das cordoalhas utilizadas na obra foi o CP 190 – RB – 12,7 mm, engraxada. Em cada pavimento tipo, foram utilizados 219 cabos. Os pavimentos tipos não possuem vigas, somente nas escadas.

A protensão das lajes planas da obra London Hotel & Offices utilizou o sistema de monocordoalhas não-aderentes, ou seja, cada ancoragem recebe uma cordoalha. Cada cordoalha leva uma ancoragem pré encunhada em uma extremidade, que é chamada de ancoragem passiva e sendo protendida apenas pela outra extremidade, que é chamada de ancoragem ativa.

Para a escolha do sistema construtivo a equipe técnica do empreendimento realizou pesquisas, estudos, cursos e treinamentos. Visando melhor aproveitamento do espaço, por se tratar de um empreendimento comercial, a protensão dispensa o uso de tantos pilares,

promovendo melhor aproveitamento dos pavimentos de garagem, dispondo assim de mais vagas.

Os projetos estruturais da obra foram fornecidos por MCA Estruturas, com sede em Vitória – Espírito Santo e os projetos específicos da protensão, a PTE Engenharia foi a fornecedora, com sede em Serra – Espírito Santo.

### 3.3 FORNECIMENTO DE MATERIAIS E MÃO DE OBRA

As cidades de Anápolis, Brasília e Goiânia não possuem fornecedores das cordoalhas utilizadas na protensão, portanto os cabos que chegaram na obra são adquiridas do estado do Espírito Santo, pela PTE Engenharia. Os cabos devem ser fornecidos já cortados nas medidas estabelecidas em projeto.

A PTE Engenharia é responsável pelo fornecimento de serviços e materiais referentes a protensão. Uma laje deste tipo utiliza-se 3.643 kg de cordoalhas, que são fornecidas a R\$ 4,50 o quilo.

### 3.4 CONTRATO DE PRESTAÇÃO DE SERVIÇOS

Referente à protensão, a PTE Engenharia apresentou-se como fornecedora dos materiais e serviços utilizados na obra. Foi estabelecido pela contratante e pela contratada, um contrato de prestação de serviços, onde são estabelecidas todas as responsabilidades de ambas as partes. O contrato foi estabelecido em 05 de fevereiro de 2014.

A seguir apresento especificações importantes do contrato:

A cláusula 4 do contrato, refere-se a contratada:

- a) os serviços serão prestados somente em dias úteis, das 07:00 às 17:00 horas;
- b) detalhamento dos sistemas de protensão;
- c) acompanhamentos dos cortes das cordoalhas conforme estabelecido em projeto;
- d) orientação técnica na montagem do sistema por funcionários da contratada. Pois todos os acessórios, como: ancoragens ativas e passivas, cunhas, suportes plásticos e metálicos, nichos de protensão, etc., são fornecidos pela contratada;
- e) tensionamento das cordoalhas através do macaco hidráulico;
- f) acompanhamentos dos cortes das sobras dos cabos;
- g) fornecimento da cordoalha engraxada CP 190 – RB – 12,7 mm;

- h) demarcação e orientação das marcações da laje;
- i) fornecimento de Relatório do Tensionamento das Cordoalhas;
- j) fornecimento da Anotação de Responsabilidade Técnica, sendo o valor por conta da contratante;
- k) fornecimento dos projetos executivos nos moltes da PTE;
- l) deslocamento de funcionários de Vitória/Brasília/Anápolis e Anápolis/Brasília/Vitória é de responsabilidade da contratada.

A cláusula 5 do contrato, refere-se a contratante:

- a) agendamentos dos serviços devem ocorrer no prazo de 48 horas de antecedência;
- b) desformar os painéis laterais de bordas e remover os nichos da protensão;
- c) fornecer projeto estrutural;
- d) fornecer aço CA-50 e CA-60, solicitados em projeto, além de arame, prego, furadeira e brocas, necessários na execução do sistema;
- e) fornecimento de maçarico com oxigênio e gás para corte das pontas de protensão;
- f) arcar com a guarda e responsabilidade sobre todos os equipamentos da contratada;
- g) fornecer toda a mão de obra necessária ao transporte e montagem das cordoalhas, ferragens, fôrmas e desformas;
- h) promover perfeita cura do concreto e executar o escoramento e re-escoramento conforme solicitação do projetista;
- i) contratar empresa especializada em tecnologia de concreto para verificação da resistência dos corpos de provas referente a cada pavimento executado;
- j) fornecer por escrito os resultados dos corpos de prova ao responsável da contratada para avaliação e liberação de serviços;
- k) fornecer café da manhã e almoço quando os funcionários da contratada estiverem no local.

A cláusula 7 do contrato, diz sobre custos:

- a) o valor dos serviços com material que constam na cláusula 4 deste contrato é de R\$ 3,30 por quilo de cordoalha empregada. O valor da cordoalha é R\$ 4,50 por quilo acrescido de 5% referente ao IPI e frete.

### 3.5 EXECUÇÃO

Os dados aqui apresentados são referentes ao 7º pavimento tipo.

É feita a montagem de fôrmas seguindo o projeto, no qual foram especificados os quantitativos de fôrmas e volume de concreto, conforme tabela 3:

**Tabela 3 – Quantitativos de fôrmas e volume de concreto**

Elemento	Área de fôrma (m <sup>2</sup> )	Volume de concreto (m <sup>3</sup> )
Vigas	38,50	3,00
Pilares	285,00	25,50
Lajes	784,00	156,00
<b>TOTAL</b>	<b>1.107,50</b>	<b>184,50</b>

Fonte: Próprio autor, 2015.

A figura 20 apresenta laje tipo com a etapa de formas concluída:

**Figura 20 – Formas concluídas**



Fonte: Próprio autor, 2015.

Quando a laje estiver com a etapa de formas concluídas, segue-se o projeto de armação positiva e negativa, e os aços que são usados na obra foram o CA-50 e o CA-60, conforme tabelas 4, 5 e 6:

**Tabela 4 – Armação negativa das lajes de pavimento tipo “c”**

Aço	Posição	Bitola (mm)	Quantidade	Comprimento	
				Unitário (cm)	Total (cm)
50	1	12,5	170	200	34000
50	2	12,5	48	150	6900
50	3	12,5	246	400	95400
50	4	12,5	77	300	23100
50	5	12,5	154	440	67760
50	6	8	129	200	25800
50	7	12,5	3	182	540
50	8	8	71	150	10650
50	9	12,5	34	500	17000
50	10	8	75	200	15000
50	11	8	35	150	5400

Fonte: Próprio autor, 2015.

**Tabela 5 – Armação positiva das lajes de pavimento tipo “c”**

Aço	Posição	Bitola (mm)	Quantidade	Comprimento	
				Unitário (cm)	Total (cm)
50	1	8	384	600	230400
50	2	8	28	400	11200
50	3	12,5	49	600	29400
50	4	12,5	7	400	2800
60	5	5	100	-CORR-	1630000
50	6	8	9	421	3789
50	7	12,5	32	210	6720
50	8	12,5	32	90	2880
50	9	12,5	4	240	960
50	10	12,5	4	60	320

Fonte: Próprio autor, 2015.

**Tabela 6 – Resumo de aço**

Aço	Bitola (mm)	Comprimento (m)	Peso (kg)
60	5	16300	2608
50	6,3	92	23
50	8	3022	1209
50	10	638	402
50	12,5	2908	2908

Peso total 60 = 2608 kg

Peso total 50 = 4542 kg

Fonte: Próprio autor, 2015.

A figura 21 apresenta pavimento com armação positiva e negativa sendo executada:

**Figura 21 – Execução de armação positiva e negativa**



Fonte: Próprio autor, 2015.

Em seguida das armações começa a preparação, marcação e passagem das cordoalhas que serão usadas para protender a estrutura. Conforme projeto fornecido pela PTE Engenharia, a execução da estrutura é de responsabilidade da empresa construtora e deverá contar com a consultoria de uma tecnologista de materiais e o engenheiro responsável deverá obedecer as recomendações da NBR 14931 – Execução de Estruturas de Concreto – Procedimentos.

Apresento passo a passo da preparação e execução da laje referente a protensão:

a) a montagem da laje começa com a execução das fôrmas, é feita seguindo projeto e o projeto é elaborado seguindo NBR 6118, NBR 6120, NBR 6123, 7483 E ACI 318/08. É feita então a marcação nas formas mostrando onde os cabos serão passados. Essa etapa quem tem a responsabilidade de executar é a PTE Engenharia, empresa contratada para serviços referentes a protensão. Os furos são feitos nas formas por uma furadeira, conforme figura 22:

**Figura 22 – Execução de furos nas fôrmas**



Fonte: < <http://equipededeobra.pini.com.br/construcao-reforma/57/artigo278117-2.aspx>>. Acesso em: 02 de junho, 2015.

b) os cabos possuem duas pontas, um lado recebe ancoragem passiva, que é fixa e fica invisível na estrutura após a concretagem, dispensando ser feito furo na forma para sua passagem, (Figura 23) na qual a transferência da força de protensão que envolve a ancoragem se dá por aderência ao longo das cordoalhas na parte em que a cordoalha esta fora da bainha e por tensões de compressão entre a ancoragem e o concreto. A ancoragem passiva já deve ser fornecida fixada a uma das extremidades do cabo, conforme mostra figura 23, em que os cabos foram recebidos e armazenados na obra.

**Figura 23 – Ancoragem passiva pronta**



Fonte: Próprio autor, 2015.

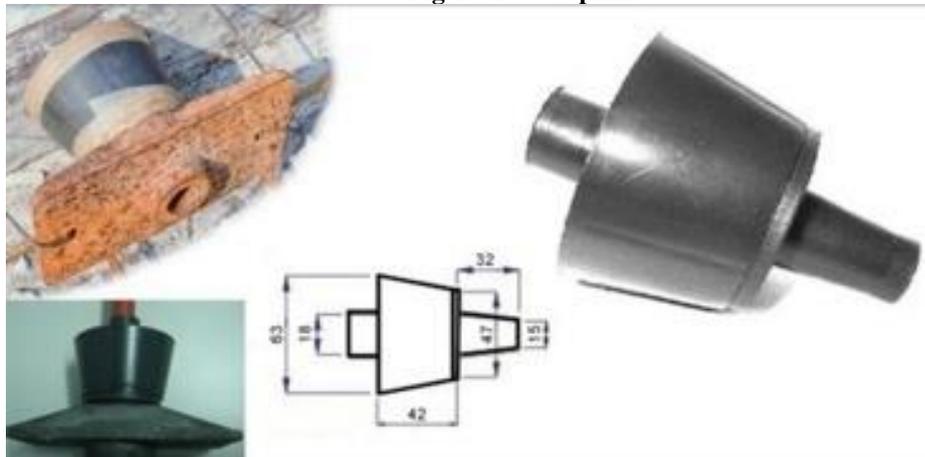
**Figura 24 – Ancoragens passivas já fixadas às cordoalhas**



Fonte: Próprio autor, 2015.

Do outro lado do cabo usa-se a ancoragem ativa. Através do furo que é feito na forma, conforme mencionado no ítem a, é posicionado o copinho (figura 25) que tem a função de após a concretagem, deixar um pequeno espaço para dentro do concreto, para que o macaco hidráulico possa ser encaixado e no copinho é fixada a ancoragem ativa.

**Figura 25 – Copinho**



Fonte: < <http://equipedeobra.pini.com.br/construcao-reforma/57/artigo278117-2.aspx>>. Acesso em: 02 de novembro, 2015.

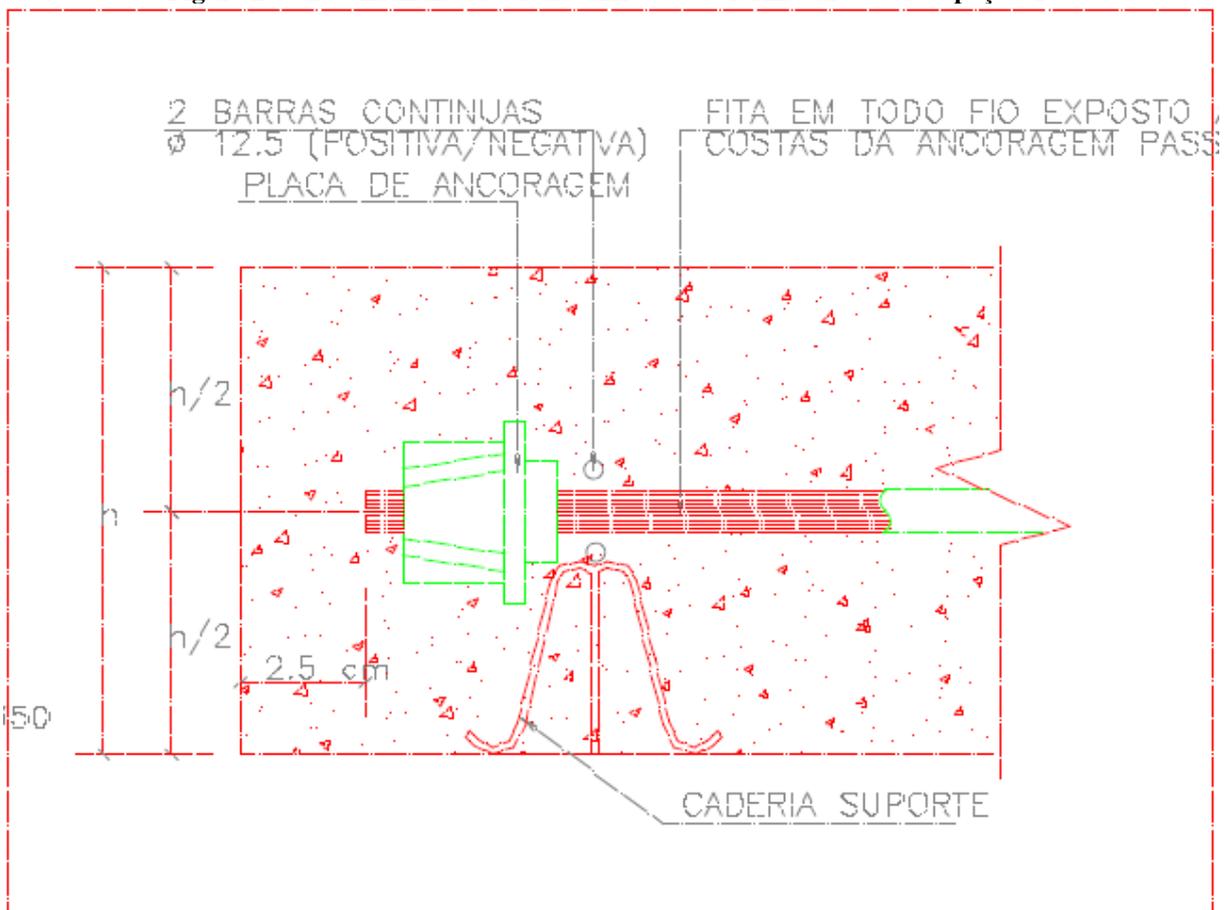
c) após a passagem dos cabos são colocados os espaçadores (Figura 26), que tem a função de manter certa altura entre o cabo e a forma, essas alturas são estabelecidas em projeto (Figura 27). Devem ser fixados à forma através de pregos ou grampos de pressão e tem a função de garantir o cobrimento das armaduras, que são estabelecidas em projeto (tabela 7) e também assegurar a posição das armaduras.

**Figura 26 - Espaçadores**



Fonte: < <http://equipedeobra.pini.com.br/construcao-reforma/57/artigo278117-2.aspx>>. Acesso em: 02 de junho, 2015.

**Figura 27 – Detalhamento da altura entre cabo e forma através do espaçador**



Fonte: Próprio autor, 2015.

**Tabela 7 – Cobrimento das armaduras**

Elemento	Cobrimento
Pilares	3,0 cm
Vigas	3,0 cm
Lajes	2,0 cm
Tolerância para cobrimento	0,5 cm

Fonte: Próprio autor, 2015.

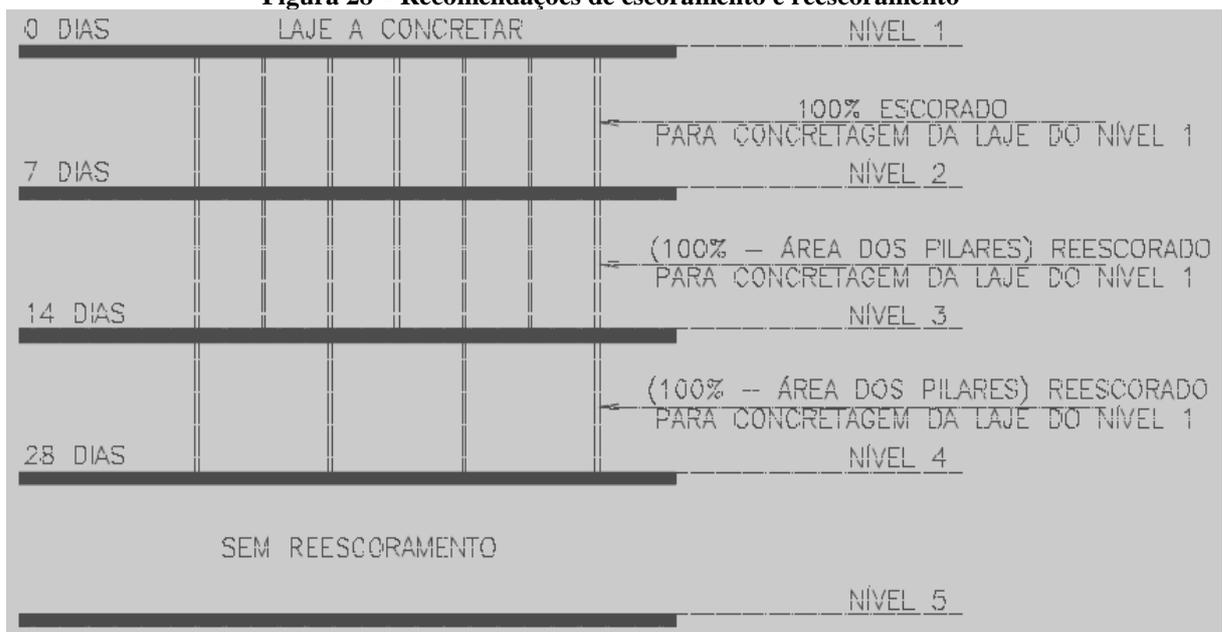
d) enfim, é hora de concretar a estrutura obedecendo as resistências estabelecidas em projeto conforme tabela 8:

**Tabela 8 – Propriedades exigidas**

Propriedade	Valor			Unidade
	Lajes	Vigas	Pilares	
Resistência característica (fck)	35	35	35	MPa
Consumo mínimo de cimento	320	320	320	Kg/m <sup>3</sup>
Fator água cimento	0,50	0,50	0,50	-

Fonte: Próprio autor, 2015.

Para concretar a estrutura devem ser seguidas algumas recomendações sobre escoramentos e reescoramentos, conforme figura 28:

**Figura 28 – Recomendações de escoramento e reescoramento**

Fonte: Próprio autor, 2015.

Antes de iniciar o lançamento do concreto, todas as ferragens e cabos foram espaçados. (Figura 29). Quando a concretagem estava sendo executada, alguns cuidados foram tomados para que os cabos da protensão não fossem deslocados, como por exemplo: o concreto não foi lançado de altura superior a 2 metros, assim como não pisou-se sobre os espaçadores.

**Figura 29 – Laje pronta para ser concretada**



Fonte: Próprio autor, 2015.

O concreto foi lançado na estrutura através de tubulação fixa na obra acoplado a um caminhão bomba, conforme NBR 5738, são retiradas amostras a cada 50 m<sup>3</sup> de concreto para moldagem de corpo de prova. Após o lançamento do concreto, inicia-se a cura.

A figura 30 mostra a laje do 7º pavimento pronta para ser protendida:

**Figura 30 – Laje pronta para ser protendida**



Fonte: Próprio autor, 2015.

e) a estrutura só pode ser protendida quando atingir a resistência mínima para isso, que é de 21 MPa, esta resistência é conhecida quando a empresa responsável pela moldagem e rompimento dos corpos de prova enviam os laudos para a obra.

A força de protensão que deve ser aplicada em cada cabo é também especificada em projeto, que é de 15 tf (tonelada força), esta força é medida através do manômetro, equipamento que está junto com o macaco hidráulico, quando esta carga é atingida, o manômetro (figura 31) automaticamente encerra a aplicação de força naquele cabo. A unidade de medida que é usada no manômetro é psi (libra força por tonelada quadrada), 5.800 psi equivale a 15 tf.

**Figura 31 - Manômetro**



Fonte: Próprio autor, 2015.

Para protender o cabo, é muito simples, basta encaixar o furo central do macaco hidráulico do lado em que a cordoalha está a aproximadamente 80 cm para fora da estrutura. A figura 32 apresenta os copinhos já retirados, que funcionam como molde para o encaixe do macaco hidráulico, conforme foi citado no ítem b deste capítulo e apresenta também cabos para fora da estrutura:

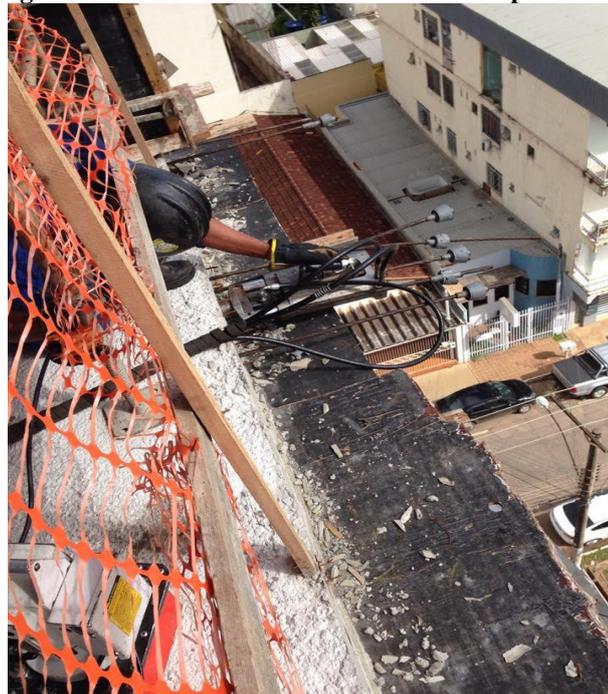
**Figura 32 – Copinhos retirados e cabos fora da estrutura**



Fonte: Próprio autor, 2015.

A figura 33 apresenta o macaco hidráulico encaixado e aplicando a força no cabo:

**Figura 33 – Macaco hidráulico executando a protensão**



Fonte: Próprio autor, 2015.

Após aplicar a força através do macaco hidráulico, em todos os cabos da laje, a estrutura está protendida. Então a PTE Engenharia fornece o relatório para a obra, que contém: a carga aplicada no cabo, a identificação do cabo, alongamentos obtidos e se estão conforme a protensão de cada cabo, conforme figura 34:

Figura 34 – Relatório do tensionamento das cordoalhas



ELABORADOR: OTAMAR		RELATORIO DO TENSIONAMENTO DAS CORDOALHAS			CÓDIGO: FOR 01			
APROVADOR: OTAMAR					REVISÃO:00			
OBRA:ED. LONDON ANÁPOLIS				DESENHO: 011-044-1010-00C				
ENDEREÇO: RUA CORONEL BATISTA - CENTRO ANÁPOLIS / GO				DATA DESENHO: 06/05/2014				
CONTRATANTE: EMPREENDIMENTOS SPE ANÁPOLIS LTDA				PISO: 7º TIPO				
VERIFICADOR: ALEXANDRE R. AMARAL				MACACO: 06				
VERIFICADOR: OTAMAR AZEREDO R. FILHO				MANOMETRO:06				
				AREA SEÇÃO DO CILINDRO: 6.28 IN²				
IDENT. DO CABO	FORÇA APLICADA (KG)	LEITURA MANOM. (PSI)	ALONGAM. CÁLCULO (CM)	ALONGAMENTO MEDIDO			DESVIO (%)	SITUAÇÃO (C/NC)
				1ª PONTA (CM)	2ª PONTA (CM)	TOTAL (CM)		
01A	15.000	5.800	31,4	22,6	9,2	31,8	1,3	C
01B	15.000	5.800	31,4	22,9	9,1	32,0	1,9	C
01C	15.000	5.800	31,4	22,5	9,2	31,7	0,9	C
01D	15.000	5.800	31,4	22,5	9,2	31,7	0,9	C
02A	15.000	5.800	31,4	22,8	9,1	31,9	1,6	C
02B	15.000	5.800	31,4	22,9	9,2	32,1	2,2	C
02C	15.000	5.800	31,4	22,5	9,1	31,6	0,6	C
02D	15.000	5.800	31,4	22,6	9,2	31,8	1,3	C
03A	15.000	5.800	31,4	22,7	9,2	31,9	1,6	C
03B	15.000	5.800	31,4	22,5	9,1	31,6	0,6	C
04A	15.000	5.800	31,4	22,6	9,2	31,8	1,3	C
04B	15.000	5.800	31,4	22,5	9,1	31,6	0,6	C

Fonte: Próprio autor, 2015.

A desforma pode ser feita após o tensionamento de todos os cabos, nos vãos centrais logo após o tensionamento e vãos em balanço 21 dias após a concretagem.

Esses foram os passos executados na obra deste estudo de caso para que ocorra a protensão nas lajes.

#### **4 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Cada vez mais competitivo, com novos métodos presentes e com clientes cada vez mais exigentes, o meio da construção civil exige que seja seguida a direção da qualidade, produtividade e rapidez.

Com o sistema não aderente de cordoalhas engraxadas permite-se a construção de vãos maiores, obtendo assim melhor aproveitamento dos espaços, possibilitando maior número de vagas nas garagens, diminuindo a grande quantidade de pilares. Esta técnica permite lajes planas, ou seja, sem vigas, ou com vigas de menores dimensões, dispondo assim de maior liberdade arquitetônica. A obra fica limpa, rápida, segura, garantindo a posição das instalações e alvenarias em virtude das facilidades de execução nitidamente maiores em relação ao concreto armado convencional.

O sistema não aderente utilizado nesta obra apresenta complexidade na confecção do projeto, fazendo necessária a utilização de softwares específicos que às vezes não estão disponíveis nas empresas que elaboram tais projetos.

Foi identificado que falta mão de obra qualificada, assim como materiais de fácil acesso na região de Anápolis, Goiás.

Poucas são as empresas que oferecem serviços de protensão e fornecimento dos materiais, como foi apresentado neste estudo de caso.

A protensão enfrenta algumas desvantagens, mas duas se destacam:

- a) alto custo;
- b) supervisão perfeita em todas as etapas, desde a confecção do projeto até a execução.

O trabalho teve foco no processo executivo do método de protensão de lajes planas, sugiro que a continuidade deste trabalho abordasse a protensão em vigas e apresentasse como os projetos são elaborados e os cálculos necessários para a protensão.

## REFERÊNCIAS

\_\_\_\_\_. NBR 6120: **Cargas para o cálculo de estruturas de edificações**. Rio de Janeiro, 1980. 6 p.

\_\_\_\_\_. NBR 6123: **Forças devidas ao vento em edificações**. Rio de Janeiro, 1988. 66 p.

\_\_\_\_\_. NBR 5738: **Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova**. Rio de Janeiro, 2003. 6 p.

\_\_\_\_\_. NBR 14931: **Execução de estruturas de concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2004. 53 p.

\_\_\_\_\_. NBR 7483: **Cordoalhas de aço para concreto protendido**. Rio de Janeiro, 2004. 7 p.

\_\_\_\_\_. NBR 6118: **Projeto de estruturas de concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2015. 221 p.

INFORSATO, B. T. **Considerações sobre o projeto, cálculo e detalhamento de vigas pré-fabricadas protendidas com aderência inicial em pavimentos de edificações**. São Carlos, 2009, 259 p.

HANAI, JOÃO BENTO. **Fundamentos do Concreto Protendido**. 2005. Disponível em: <[http://www.set.eesc.usp.br/mdidatico/protendido/arquivos/cp\\_ebook\\_2005.pdf](http://www.set.eesc.usp.br/mdidatico/protendido/arquivos/cp_ebook_2005.pdf)> Acesso em: 26 mai. 2015.

NASCIMENTO, V.A. **Concreto protendido: O uso da protensão não aderente em edifícios residenciais e comerciais**. São Paulo, 2004. 88 p.

PREMONTA. **Especificação e comparativo da laje protendida**. 2015. Disponível em: < <http://premonta.com.br/especificacao-e-comparativo-da-laje-protendida/>> Acesso: 07 jun. 2015. 17:52:03.

REZENDE, JOÃO MARCUS. **Concreto Armado x Concreto protendido**. 2014. Disponível em: <<http://www.trabalhosfeitos.com/ensaios/Concreto-Armado-x-Concreto-Protendido/47866578.html>> Acesso em: 02 jul. 2015.

SCHMID, T. M. **Pavimentos rígidos em concreto protendido**. Publicação Técnica 4. 2 ed. São Paulo, 2005. 17 p.

SCHMID, T. M. **Lajes planas protendidas**. Publicação técnica 1. 3 ed. São Paulo, 2009. 30 p.

VALENTI, L.R. **Lajes planas com uso de cordoalhas engraxadas e plastificadas.** São Paulo, 2005, 68 p.

VERÍSSIMO S.G, JÚNIOR C.L.M.K, **Concreto Protendido: Fundamentos básicos.** 4 ed. Viçosa, 1998. 78 p.

VALDUGA, C.J. **Porque protender uma estrutura de concreto.** 2013. Disponível em:  
< <http://www.ebah.com.br/content/ABAAABwK4AE/por-que-protender-estrutura-concreto-revista-concreto-45>> Acesso: 20 mai. 2015.