

FACULDADE ASSIS GURGACZ - FAG

JORDANA TAVARES DOS SANTOS

**VANTAGENS E DESVANTAGENS DA PROTENSÃO PARA LAJES EM
EDIFICAÇÕES VERTICAIS**

**CASCATEL - PR
2016**

FACULDADE ASSIS GURGACZ - FAG

JORDANA TAVARES DOS SANTOS

**VANTAGENS E DESVANTAGENS DA PROTENSÃO PARA LAJES EM
EDIFICAÇÕES VERTICAIS**

Trabalho apresentado na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso I, do Curso de Engenharia Civil, da Faculdade Assis Gurgacz - FAG, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Professor Orientador: Mestre Izan Gomes de Lacerda, Engenheiro Civil.

**CASCADEL - PR
2016**

CENTRO UNIVERSITÁRIO FAG

JORDANA TAVARES DOS SANTOS

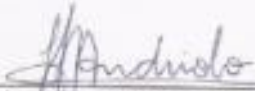
**VANTAGENS E DESVANTAGENS DA PROTENSÃO PARA LAJES EM
EDIFICAÇÕES VERTICAIS**

Trabalho apresentado no Curso de Engenharia Civil, do Centro Universitário FAG, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, sob orientação do Professor Mestre IZAN GOMES DE LACERDA.

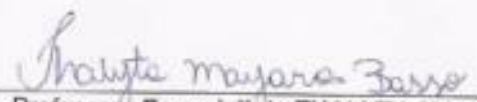
BANCA EXAMINADORA



Orientador Prof. **Mestre IZAN GOMES DE LACERDA**
Centro Universitário FAG
Engenheiro Civil



Professor **HENRIQUE ANDRIOLO**
Centro Universitário FAG
Matemático



Professora **Especialista THALYTA MAYARA BASSO**
Engenheira Civil

DEDICATÓRIA

Agradeço grandemente ao mestre Jesus e aos anjos de luz que vem me guiando e amparando por toda esta jornada. Dedico este trabalho aos meus pais e avós, os quais lutaram muito para que eu pudesse chegar até aqui, pois sem eles, eu nada seria.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus e a Mãe Maria pelo constante amparo e proteção. Os quais me ajudaram quando eu precisava de forças para seguir neste caminho escolhido.

Deixo um agradecimento especial, aos meus pais, que me suportaram nas horas em que mais precisei, emanando sempre muita confiança de que eu conseguiria vencer mais esta etapa em minha vida. Agradeço pelo conforto oferecido e ao entendimento pelas vezes que não estive presente.

Sou grata a esta instituição de ensino, seu corpo docente, administração, bem como a sua direção, pela oportunidade da realização deste curso.

RESUMO

Este trabalho tem por finalidade demonstrar através de revisões bibliográficas as vantagens e as desvantagens do sistema que utiliza a protensão em edificações para lajes em edificações verticais. Nota-se que, por tratar-se de um método que detém um comportamento diferente do que de uma estrutura convencional, que este necessita de um bom acompanhamento enquanto em fase de projeto, seguido de uma boa execução. Pois embora este seja um método eficaz, precisa de cuidados especiais, para que a estrutura venha a se comportar da maneira esperada. Realizou-se por tanto, a descoberta que, através do método que emprega a protensão consegue, através de suas maiores extensões atribuídas à uma laje, que a mesma consegue maior harmonia com relação ao projeto arquitetônico, conseguindo desta maneira, uma maior flexibilização interna de um *layout* em conjunto com a análise mercadológica atual, a qual se beneficia através do método, por tratar-se de um método ágil e de grande maleabilidade arquitetônica.

Palavras-chave: Flexibilização de *Layout*, Protensão, Projeto Estrutural, Lajes Protendidas.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Classificação dos aglomerantes	20
Figura 2 – Armadura Ativa Pós Tractionada: Classificação	24
Figura 3 – Armadura Ativa Pré Tractionada: Classificação.....	25
Figura 4 – Laje Lisa.....	34
Figura 5 – Laje Lisa com Engrossamento na Região dos Pilares.....	34
Figura 6 – Esquemas Estruturais para Lajes Protendidas.....	36
Figura 7 – Interior de uma edificação que se utiliza da protensão e do Concreto Armado.....	40
Figura 8 – Interior de uma edificação que se utiliza da protensão e do Concreto Armado.....	40
Figura 9 – Interior de uma edificação que se utiliza da Protensão e do Concreto Armado	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Limites de composição granulométrica do agregado graúdo	18
Tabela 2 – Limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo	19

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CA – Concreto Armado

CP – Concreto Protendido

FCK – Resistência característica do concreto à compressão

Mpa – Mega Pascal

NBR – Norma Brasileira

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	12
1.1 INTRODUÇÃO	12
1.2 OBJETIVOS DA PESQUISA	13
1.2.1 Objetivo geral	13
1.2.2 Objetivos específicos	13
1.3 JUSTIFICATIVA	13
1.4 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA	14
1.5 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA	15
CAPÍTULO 2	16
2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1.1 CONCRETO ARMADO	16
2.1.1.2 HISTÓRIA	16
2.1.2 COMPOSTOS	17
2.1.3 Agregados	17
2.1.4 Aglomerantes	19
2.1.5 Aditivos	20
2.1.6 CONCRETO PROTENDIDO	21
2.1.6.1 HISTÓRIA	21
2.1.7 PROTENSÃO APLICADA AO CONCRETO	22
2.1.8 CLASSIFICAÇÃO	24
2.1.9 QUANTO AO ESTIRAMENTO DA ARMADURA DE PROTENSÃO	25
2.2.0 QUANTO À FISSURAÇÃO – NÍVEIS DE PROTENSÃO	26
2.2.1 QUANTO À ADERÊNCIA - SISTEMAS DE PROTENSÃO	27
2.2.2 CUIDADOS COM ELEMENTOS PROTENDIDOS	29
CAPÍTULO 3	31
3.1 METODOLOGIA	31
4. LAJES PROTENDIDAS	32
4.1 Definição	32
4.1.1 Concepção do Projeto Estrutural	32
4.1.2 Esquemas Estruturais	33
4.1.3 Problemas com armaduras ativas e as desvantagens do concreto protendido	38
CAPÍTULO 4	39

4.1 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	39
CAPÍTULO 5	41
5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS	41
CAPÍTULO 6	42
6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	42
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43

CAPÍTULO 1

1.1 INTRODUÇÃO

A construção civil no Brasil destaca-se em um cenário cada vez mais competitivo frente aos resultados inerentes ao mercado, fazendo com que a agilidade dos métodos empregados tornem-se uma premissa necessária.

Contudo, o sistema construtivo que utiliza a protensão vem ganhando relevância em relação aos demais métodos, já que o mesmo emprega agilidade e resistência distribuída ao longo de suas cordoalhas. Fato este constatado através do número crescente de obras que empregam a técnica. Pois o consumo aparente de aço bruto no Brasil atingiu 25,1 milhões de toneladas, mantendo-se praticamente estável em relação ao ano anterior. (Relatório Anual de Administração, ArcelorMittal, 2012).

A protensão pode ser definida como o artifício de introduzir, numa estrutura, um estado prévio de tensões, de modo a melhorar sua resistência ou seu comportamento, sob ação de diversas solicitações (PFEIL, 1980).

Este método que emprega a protensão em uma estrutura, por sua vez, comprime o concreto, tornando-o menos permeável, sendo desta forma uma grande contribuição para o mesmo, levando em consideração que o concreto resiste 10 vezes mais à compressão do que à tração.

Com a protensão, todo o concreto da seção trabalha e as cargas se equilibram. (CAUDURO, 2012).

Este processo certamente está em uma das melhorias que a engenharia estrutural pode oferecer. É notório seu efeito sobre uma estrutura, garantindo a esta maior qualidade, leveza estrutural, maior liberdade arquitetônica, obtenção de grandes vãos, ambientes amplos e a possibilidade da redução de pilares, o que torna o método ainda mais atraente aos olhos do consumidor. Entre os benefícios que a protensão pode oferecer, podemos citar a diminuição de fissuras, reduzindo o uso do aço CA através da diminuição de suas flechas e o aumento dos vãos de uma estrutura, reduzindo até o uso do concreto como material empregado.

Este sistema pode resultar uma baixa necessidade de manutenção ao longo de sua vida útil, agregando vantagens no setor da construção civil, explicando o seu emprego mundialmente, de acordo com a Empresa Rudloff Industrial Ltda, 1960. Tornando desta

maneira, viável a execução de arrojados projetos arquitetônicos de obras de vários portes de diversas formas, trazendo inclusive, a facilidade de criação de projetos de grande beleza e valor arquitetônico.

1.2 OBJETIVOS DA PESQUISA

1.2.1 Objetivo geral

Analisar, através de revisões bibliográficas as vantagens e as desvantagens do uso da protensão em obras verticais.

1.2.2 Objetivos específicos

- Identificar as principais vantagens e as desvantagens do uso da protensão para lajes em edificações verticais.

1.3 JUSTIFICATIVA

Segundo a empresa Arcelor Mittal S.A, a protensão é um valioso método construtivo, levando em consideração que o concreto protendido detenha em suas características a leveza estrutural, a ausência de fissuração, resistência a ambientes agressivos, possibilidade de execução em peças pré-moldadas, obtenção de grandes vãos, redução do custo de construção, facilidade de criação e viabilização de projetos de grande beleza e valor arquitetônico, portanto, estudos que venham a mostrar sua eficiência possuem grande importância, visando que este seja um método decorrente à modernidade do século XXI, onde o aço se torna cada vez mais valorizado.

O concreto possui resistência à tração, sendo esta inferior à sua resistência à compressão, por este motivo se faz necessário à tomada de métodos para que a fissuração não venha a ocorrer, desta maneira se torna interessante a utilização da protensão para que o concreto venha a criar tensões de compressão prévias, onde o concreto seria tracionado.

A protensão é uma tecnologia que pode ser adotada sempre quando houver a necessidade de se criarem vãos maiores com menos vigas e laje com maior capacidade de carga. Este método que emprega a protensão pode ser executado com cordoalhas engraxadas e plastificadas, a qual abrange uma superfície plastificada ao seu redor, facilitando o método por se utilizar do sistema da não aderência, melhorando o processo, caso este venha existir alguma manutenção.

Este sistema é utilizado para que haja um melhor aproveitamento dos espaços oferecidos através do projeto arquitetônico, visando projetos diferenciados e desafiando a engenharia através de estruturas cada vez mais arrojadas, pois estas obrigam o mercado a aprimorar as soluções construtivas oferecidas ao consumidor, tendo em vista que o método de protensão com cordoalhas não aderentes tenha sido descoberto apenas em 1977 pelo mercado brasileiro, barateando custos e simplificando sua execução. Porém, se trata de um método pouco explorado, merecendo maior conhecimento para que sua utilização seja ainda mais eficiente.

Com este trabalho busca-se relatar as principais vantagens e as desvantagens oferecidas no mercado da construção civil através do sistema que utiliza a protensão para lajes em edificações verticais, visando comparar suas vantagens com o método que emprega o concreto armado. Observando as mudanças que podem ocorrer em relação ao projeto arquitetônico bem como em sua flexibilidade, sendo esta obtida através de tetos lisos, gerando neste uma inexistência de vigas limitadoras, permitindo desta maneira a possibilidade de diferentes layouts para um determinado ambiente. Onde a mudança com a vedação em bloco cerâmico consiga ser realizada, vencendo maiores vãos e acarretando em uma distribuição de ambientes diferenciada.

1.4 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

Os sistemas construtivos atrelados ao uso da protensão em edificações em edificações verticais trazem maior benefícios para seus usuários?

1.5 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

A metodologia a ser utilizada para a obtenção deste trabalho consistirá em realizar uma abordagem teórica, através de uma revisão de literatura a cerca deste assunto, a fim de colaborar no estudo para avaliação dos métodos empregados e seus benefícios, bem como as desvantagens que este possa apresentar.

Limita-se esta pesquisa à revisão bibliográfica a fim de que ocorra a identificação do método construtivo visando suas qualidades e observando se há alguma desvantagem atrelada a sua utilização.

CAPÍTULO 2

2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1.1 CONCRETO ARMADO

2.1.1.2 História

O concreto armado é um processo construtivo, que teve sua origem na Europa em meados do século XIX. Segundo Fusco (2008), este método consiste na combinação de elementos, que unidos, formam o concreto. Sendo a mistura entre o cimento, água, agregado miúdo como é o caso da areia, agregado graúdo, como a pedra brita, a estes ingredientes inseridos a uma armadura de aço, dá-se o nome de concreto armado.

A união entre as propriedades da resistência à tração do aço, em conjunto com a resistência à compressão do concreto, faz destes, uma perfeita união, pois o concreto apresenta uma resistência à tração muito baixa, sendo esta cerca de 8 a 12 vezes menor do que sua resistência à compressão. O concreto por sua vez, protege o aço que sofre com a ação do tempo. Porém, segundo o Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Distrito Federal, dados de 2013, para um bom desempenho do concreto armado, não basta apenas combiná-los, é preciso que exista aderência entre eles, ou seja, o trabalho de resistir às tensões tem que ser realizado de maneira conjunta.

Inicialmente o concreto armado era empregado apenas em embarcações e tubulações hidráulicas, a partir do final do século XIX o concreto armado passou a ser utilizado inclusive nas edificações. Junto com o aço e o vidro, ele constitui o repertório dos chamados “novos materiais” da arquitetura moderna, Benevolo (1976), que são produzidos em escala industrial e viabilizam arranha-céus, pontes, silos, estações ferroviárias ou, em suma, os quais caracterizam os novos objetos arquitetônicos ilustrados no mundo modernizado constituinte do século XX.

No Brasil, a modernização aliada à tecnologia do concreto armado foi muito difundida, sendo este um material estrutural que contém traços de uma hegemonia em diversas construções sendo elas de cunho formal, ou informal.

Para a NBR 6118/2014 – Projeto de Estruturas em Concreto: Entende-se por concreto armado aqueles elementos cujo comportamento estrutural depende da aderência entre concreto e armadura, e nos quais não se aplicam alongamentos iniciais das armaduras antes da materialização desta aderência.

2.1.2 COMPOSTOS

2.1.3 Agregados

Os materiais granulares amplamente utilizados na construção civil recebem o nome de agregados, estes, não possuem forma ou volume definido, os quais possuem diferentes dimensões e propriedades estabelecidas para o uso em obras de engenharia civil, entre os tipos de agregados mais utilizados, pode-se citar a pedra britada, o cascalho e as areias naturais ou obtidas por moagem de rocha, além das argilas e dos substitutivos como resíduos inertes reciclados, escória de aciaria, produtos industriais, entre tantos outros.

Os agregados podem ser divididos entre naturais e artificiais. Os naturais são os que se encontram de forma particulada na natureza, que podem ser encontrados na forma de areia, cascalho ou pedregulho e os artificiais são aqueles produzidos por algum processo industrial, como as pedras britadas, areias artificiais, escória de alto-forno e argilas expandidas, entre outros.

Segundo a Norma Brasileira (NBR) 7211, os agregados devem ser compostos de minerais duros, compactos, estáveis, duráveis e limpos, estes por sua vez, não devem conter substâncias de natureza, que possam afetar a hidratação e o endurecimento do cimento, a proteção da armadura contra corrosão, a durabilidade ou, o aspecto visual do concreto externo.

Com relação ao tamanho dos grãos, os agregados podem ser divididos em graúdos e miúdos, conforme descrito a seguir:

- Agregados graúdos

De acordo com a NBR 7211 (2009), o conceito de agregado graúdo é caracterizado através dos grãos que passam pela peneira com abertura de malha 75 milímetros e que ficam retidos na peneira com abertura da malha de 4,75 milímetros, porém, estes limites seguem estabelecidos conforme demonstrado na Tabela 01, onde o ensaio foi realizado de acordo com o Normativo Brasileiro NBR NM 248, tendo levado em consideração as peneiras definidas pela ABNT NBR NM ISO 3310-1.

Tabela 01 – Limites de composição granulométrica do agregado graúdo

Fonte: NBR 7211 (2009), Agregados para concreto – Especificação.

Peneira com abertura de malha (ABNT NBR NM ISO 3310-1)	Porcentagem, em massa, retida acumulada				
	Zona granulométrica d/D^a				
	4,75/12,5	9,5/25	19/31,5	25/50	37,5/75
75 mm	-	-	-	-	0 – 5
63 mm	-	-	-	-	5 – 30
50 mm	-	-	-	0 – 5	75 – 100
37,5 mm	-	-	-	5 – 30	90 – 100
31,5 mm	-	-	0 – 5	75 – 100	95 – 100
25 mm	-	0 – 5	5 – 25 ^b	87 – 100	-
19 mm	-	2 – 15 ^b	65 ^b - 95	95 – 100	-
12,5 mm	0 – 5	40 ^b - 65 ^b	92 – 100	-	-
9,5 mm	2 - 15 ^b	80 ^b – 100	95 – 100	-	-
6,3 mm	40 ^b – 65 ^b	92 – 100	-	-	-
4,75 mm	80 ^b – 100	95 – 100	-	-	-
2,36 mm	95 - 100	-	-	-	-
^a Zona granulométrica correspondente à menor (d) e à maior (D) dimensões do agregado graúdo.					
^b Em cada zona granulométrica deve ser aceita uma variação de no máximo cinco unidades percentuais em apenas um dos limites marcados com 2). Essa variação pode também estar distribuída em vários desses limites.					

- Agregados miúdos

De acordo com a NBR 7211 (2009), os agregados miúdos são caracterizados por grãos que passam pela peneira que possui uma abertura de 4,75 milímetros, obedecendo os limites definidos de acordo com a Tabela 02, mostrada a seguir:

Tabela 2 – Limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo

Fonte: NBR 7211 (2009), Agregados para concreto – Especificação.

Peneira com abertura de malha (ABNT NBR NM ISO 3310-1)	Porcentagem, em massa, retida acumulada			
	Limites inferiores		Limites superiores	
	Zona utilizável	Zona ótima	Zona ótima	Zona utilizável
9,5 mm	0	0	0	0
6,3 mm	0	0	0	7
4,75 mm	0	0	5	10
2,36 mm	0	10	20	25
1,18 mm	5	20	30	50
600 μm	15	35	55	70
300 μm	50	65	85	95
150 μm	85	90	95	100
NOTA 1 O módulo de finura da zona ótima varia de 2,20 a 2,90. NOTA 2 O módulo de finura da zona utilizável inferior varia de 1,55 a 2,20. NOTA 3 O módulo de finura da zona utilizável superior varia de 2,90 a 3,50.				

2.1.4 Aglomerantes

Os aglomerantes são materiais ligantes, encontrados em sua maioria de forma pulverulenta, promovendo a união entre os grãos dos agregados. Os aglomerantes são utilizados na obtenção de pastas, argamassas e concretos.

De acordo com NBR 7211 (2009), os aglomerantes são produtos empregados na construção civil, para fixar ou aglomerar materiais entre si.

Em relação à sua classificação, pode-se dizer que os aglomerantes são classificados quimicamente como inertes ou ativos. Os aglomerantes ativos, por sua vez, são subdivididos em aéreos ou hidráulicos. Paralelamente, existem também os aglomerantes betuminosos. Este esquema pode ser observado na Figura a baixo, de acordo com sua classificação:

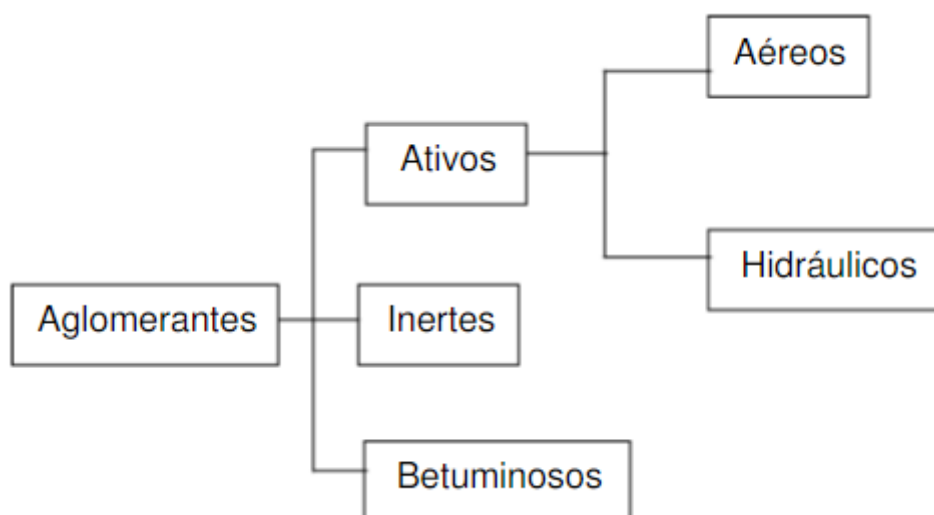


Figura 1 – Classificação dos aglomerantes

Fonte: Autor, 2016.

2.1.5 Aditivos

Segundo MONTROYA *et.al.* (2001), são chamados de aditivos os produtos que são incorporados ao concreto em seu estado fresco, com o objetivo de melhorar as suas características, o que torna mais fácil o processo de inserir o mesmo em obra, regulando seu processo de definição e de endurecimento, aumentando sua durabilidade.

Estão disponíveis no mercado, aditivos que, possuem o nome de aceleradores, retardadores, plastificantes, impermeabilizantes entre tantos outros. Estes colocam a disposição dos técnicos um meio útil para a confecção de concreto, os quais assumem as mais variadas características. Porém, se faz necessária sua correta dosagem, pois em geral, o mesmo assume um valor inferior de 5 por cento do peso do cimento, requerendo um cuidado especial que, quando não dosado de maneira correta, pode interferir na forma do concreto de forma indesejável, por vezes oposta ao que se pretendia inicialmente com o aditivo. Recomenda-se que para seu uso, sejam levados em consideração os produtos garantidos por seus fabricantes, seguindo sua correta indicação para uso.

2.1.6 CONCRETO PROTENDIDO

2.1.6.1 História

De acordo com Kléos e Veríssimo (1998), o método que possibilitava reforçar os elementos de concreto através da introdução das armaduras de aço ficaram conhecidos mundialmente em meados do século XIX, ocorrendo inclusive, a tentativa de se pré-tensionar o concreto, o qual no ano de 1886 foi realizado pelo americano P. H. Jackson, porém, ao findar do século XIX as vertentes do concreto protendido ainda não haviam encontrado êxito. Sendo a protensão considerada perdida, devido à fluência e a retração do concreto, as quais, naquele período eram desconhecidas. Com o passar do tempo, Koenen e Morsch também instituíram técnicas a fim de que conseguissem provar o método da protensão que, infelizmente, após inúmeros experimentos, haviam sido perdidas também, devido à retração e deformação lenta do concreto, porém, devido às especulações a cerca do assunto, vieram a consagrar os conceitos de Morsch mundialmente conhecidos com os fundamentos do concreto armado, sendo os seus conhecimentos ainda válidos nos dias atuais. Passado este período, foi em 1919 que K. Wettstein utilizou cordas de alta resistência que posteriormente seriam protendidas a fim de que fossem utilizadas em painéis de concreto, sendo apenas no ano de 1923 descoberta a necessidade de se utilizarem fios de alta resistência sob elevadas tensões a fim de que as tensões pudessem ser superadas.

Em 1924, a protensão foi utilizada, reduzindo o alongamento de tirantes em galpões que venciam longos vãos, sendo Eugene Freyssinet seu precursor, o qual realizou em 1928 uma apresentação do primeiro trabalho, este, posteriormente ficaria reconhecido com uma grande importância em relação à protensão da armadura nas construções civis. O trabalho de Freyssinet era voltado para as perdas por retração e deformação que a protensão poderia produzir, sendo a retração pela deformação do concreto também um alvo de seus estudos. Freyssinet ficou então, mundialmente conhecido com suas criações acerca do assunto, tornando-se um grande contribuinte para a história do concreto protendido, que por sua vez, obteve maiores recursos e um expressivo desenvolvimento.

No que se refere aos conceitos para a protensão, Pfeil (1984), nos mostra que esta pode ser definida como o artifício de introduzir, numa estrutura, um estado prévio de tensões,

de modo a melhorar sua resistência ou seu comportamento, sobre ação de diversas solicitações de carga.

De acordo com a Norma Brasileira NBR 6118/2014 – Projeto de Estruturas de Concreto: os elementos de concreto protendido são aqueles nos quais parte das armaduras é previamente alongada por equipamentos especiais de protensão, com a finalidade de, em condições de serviço, impedir ou limitar a fissuração e os deslocamentos da estrutura, bem como propiciar o melhor aproveitamento de aços de alta resistência no estado-limite último.

2.1.7 PROTENSÃO APLICADA AO CONCRETO

Segundo Veríssimo e Kléos (1998), o concreto possui resistência à compressão muitas vezes superior do que a sua tração, por este motivo algumas medidas são necessárias e devem ser tomadas a fim de que ocorra o controle de sua fissuração. Levando isto em consideração, percebemos que a protensão pode ser empregada como um meio de se criar tensões de compressão prévias em partes onde o concreto seria tracionado em função das ações que porventura venham a agir na estrutura. A protensão também vem com um potencial de solidarização entre partes menores que venham a ser de concreto armado e que posteriormente venham a fazer parte de um sistema estrutural composto. Pois segundo Mehta, Povindar Kumar (1994), o concreto armado contém as barras de aço, projetadas levando em consideração que os dois materiais resistam juntos aos esforços, enquanto que o concreto protendido é um concreto no qual, pela tração nos cabos de aço, são introduzidas pré-tensões de tal grandeza e distribuição, que as tensões de tração resultantes do carregamento são neutralizadas a um nível desejado. Sendo que uma grande parte do concreto se encontra aplicado em elementos do concreto protendido ou armado.

Para que este processo ocorra, se faz necessário a utilização de um sistema que utiliza a protensão como meio de introduzir uma cordoalha de aço em um elemento estrutural, a qual produza uma força, denominada de normal, necessária bem como nas extremidades deste elemento, os quais serão ancorados.

O conceito de se aplicar esta força normal nas peças permite a construção de grandes estruturas, um exemplo destas, seriam as grandes obras de arte como pontes e viadutos, as quais possuem grandes vãos, fazendo com que, embora seu conceito seja simples, sua

execução é bastante criteriosa, fazendo com que os projetos necessitem de uma boa elaboração, pois a partir deste que, tornam-se possíveis uma boa execução.

2.1.7.1 IMPORTÂNCIA DA PROTENSÃO APLICADA AO CONCRETO

De acordo com Walter Pfeil (1980), a técnica da protensão tem uma importância particular no caso do concreto, por algumas razões, entre elas:

O concreto é um dos materiais de construção mais significativo. Entre seus ingredientes necessários à produção do concreto são o cimento, areia, pedra e a água sendo estes disponíveis a baixo custo em todas as regiões do mundo.

O concreto possui uma boa resistência à compressão. Suas resistências estão na ordem de 200 Kgf/cm² (20MPa) a 500 Kgf/cm² (50MPa), sendo estas utilizadas nas obras.

Sabe-se que o concreto detém uma baixa resistência quanto à sua tração, sendo esta aproximadamente 10% de sua resistência à compressão. Além de ser uma resistência pequena, sabe-se que a tração do concreto é pouco confiável. Com certeza, quando o concreto possui uma boa execução, a retração deste pode provocar fissuras, as quais eliminam a resistência à tração do concreto, antes de qualquer solicitação atuar no mesmo. Pelo motivo e por esta natureza aleatória da resistência a tração do concreto, ela é usualmente desprezada para a realização dos cálculos.

Sendo o concreto um material de propriedades tão diferentes a compressão e a tração, o seu comportamento pode ser melhorado aplicando-se compressão prévia (isto é, protensão) nas regiões onde as solicitações produzem tensões de tração. (PFEIL,1980).

A utilização de aços de elevada resistência, como armaduras de concreto armado, fica limitada pela fissuração do concreto. De fato, como os diferentes tipos de aço têm aproximadamente o mesmo módulo de elasticidade, o emprego de aços com tensões de tração elevadas implica grande alongamento dos mesmos, o que, por sua vez, ocasiona fissuras muito abertas. A abertura exagerada das fissuras reduz a proteção das armaduras contra corrosão, e é indesejável esteticamente. (PFEIL,1980).

O artifício da protensão, aplicado ao concreto, consiste em introduzir na viga esforços prévios que reduzam ou anulem as tensões de tração no concreto sob ação das solicitações em serviço. Nessas condições minimiza-se a importância da fissuração como condição determinante de dimensionamento da viga. (PFEIL,1980).

A protensão do concreto é realizada, na prática, por meio de cabos de aço de alta resistência, tracionados e ancorados no próprio concreto. O artifício da protensão desloca a faixa de trabalho do concreto para o âmbito das compressões, onde o material é mais eficiente. Com a protensão, aplicam-se tensões de compressão nas partes da seção tracionadas pelas solicitações dos carregamentos. Desse modo, pela manipulação das tensões internas, pode-se obter a contribuição da área total da seção da viga para a inércia da mesma. (PFEIL,1980).

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

Se as tensões de tração provocadas pelas cargas forem inferiores às tensões prévias de compressão, a seção continuará comprimida, não sofrendo fissuração. (PFEIL,1980).

Desta maneira, sob a ação das cargas mais altas, as tensões de tração ultrapassam as tensões prévias, de modo que o concreto fica tracionado e fissura. Retirando-se a carga, a protensão provoca o fechamento das fissuras (PFEIL, 1980).

2.1.8 CLASSIFICAÇÃO

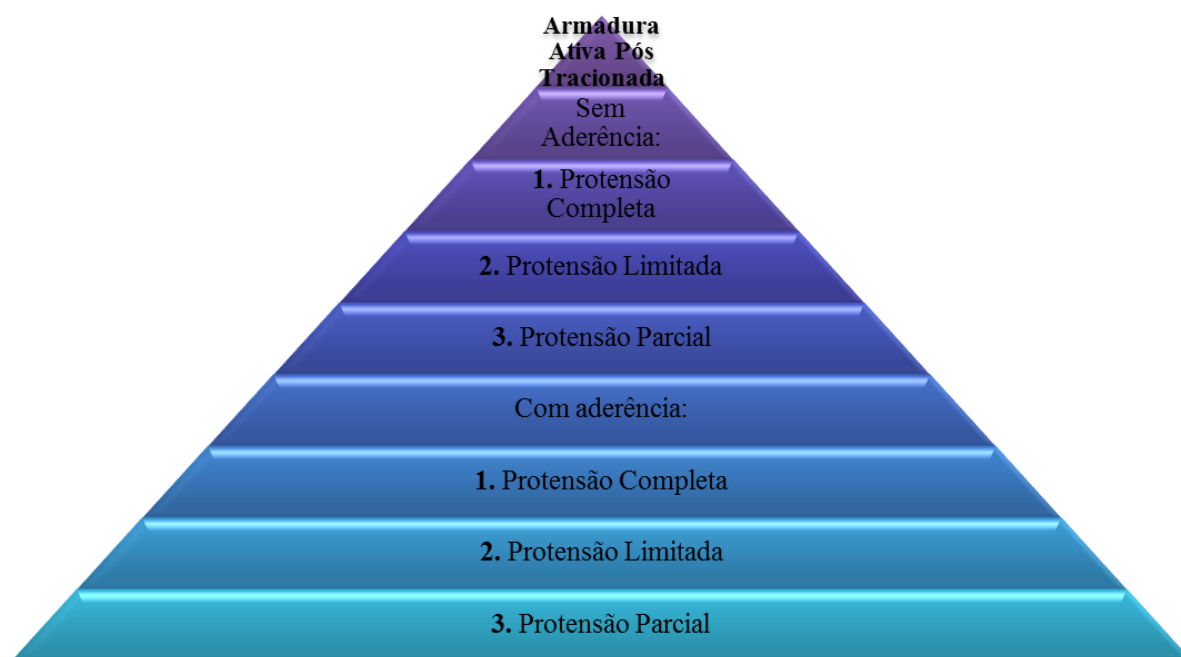


Figura 2 – Armadura Ativa Pós Tracionada: Classificação
Fonte: Autor, 2016.



Figura 3 – Armadura Ativa Pré Tracionada: Classificação
Fonte: Autor, 2016.

2.1.9 QUANTO AO ESTIRAMENTO DA ARMADURA DE PROTENSÃO

De acordo com Pfeil (1983), a protensão do concreto é realizada através dos cabos de aço, os quais são esticados e ancorados em suas extremidades.

Estes cabos de aço, no que lhe concerne, são também chamados de armaduras de protensão, as quais podem ser pré-tracionados ou pós-tracionados, de acordo com o estipulado a seguir:

a) Concreto protendido com armadura ativa (de protensão) pré- tracionada

De acordo com Pereira *et. al.* (2005), concreto com armadura ativa é aquele em que o estiramento da armadura ativa é executado através de apoios independentes da peça, antes mesmo de ocorrer o lançamento do concreto. Após o endurecimento do concreto a ligação da armadura com estes apoios é desfeita e as tensões na armadura se transmitem ao concreto por aderência.

b) Concreto protendido com armadura ativa (de protensão) pós-tracionada

Ainda para Pereira *et. al.* (2005), este método consiste em ser uma técnica onde o estiramento da armadura ativa é feito somente após o endurecimento do concreto, através de apoios na própria peça, criando-se ou não aderência da armadura com o concreto.

2.2.0 QUANTO À FISSURAÇÃO – NÍVEIS DE PROTENSÃO

Uma das intensões da protensão é a de eliminar ou reduzir as tensões de tração em uma peça estrutural, e por sua consequência, controlar a fissuração. Portanto, de acordo com este controle pretendido, temos níveis de protensão a baixo:

a) Concreto protendido nível 3 – Protensão completa ou total

Previsto para protensão com armadura ativa pré-tracionada nas classes de agressividade III e IV. Estas ocorrem quando se verificam as duas condições a baixo:

1) para as combinações frequentes de ações, quando estas são previstas no projeto, sendo respeitado o limite de descompressão, sendo assim, quando atuarem a carga permanente e as sobrecargas frequentes não se admite a tração no concreto.

2) para as combinações raras de ações, quando previstas no projeto, é respeitado o estado limite de formação de fissuras. A protensão total proporciona as melhores condições de proteção das armaduras contra a corrosão, e se utiliza nos casos de obras em meios muito agressivos ou em ocasiões de fissuração exagerada, como exemplo em tirantes de concreto protendido, reservatórios protendidos afim de garantir a estanqueidade da água, vigas formadas por peças pré-moldadas justapostas sem armaduras suplementares, entre outras. (Pereira *et. al.*, 2005).

b) Concreto protendido nível 2 – Protensão limitada

Previsto para protensão com armadura ativa pré-tracionada na classe de agressividade II e pós-tracionada nas classes de agressividade III e IV. Ocorre quando se verificam as duas condições abaixo:

1) para as combinações quase permanentes de ações, previstas no projeto, é respeitado o limite de descompressão, desta maneira, quando atuarem a carga que sempre estará atuando e parte das sobrecargas não se admite a tração existente no concreto.

2) para as combinações frequentes de ações, quando previstas no projeto, é então respeitado o estado limite de formação de fissuras, sendo assim, quando atuarem a carga permanente e as sobrecargas frequentes. A protensão limitada, por sua vez, pode admitir tensões moderadas de tração em serviço, estas exigem a colocação de armadura passiva adicional no dimensionamento à ruptura e no controle da fissuração. Esta combinação de armadura ativa e passiva permite soluções equilibradas e mais econômicas, já que o aço de protensão possui um valor mais elevado do que o aço convencional (Pereira *et. al.*,2005).

c) Concreto protendido nível 1 – Protensão parcial

Previsto para protensão com armadura ativa pré-tracionada na classe de agressividade I e pós-tracionada nas classes de agressividade I e II. Ocorre com a condição citada: Para as combinações frequentes de ações, previstas no projeto, é respeitado o limite de abertura de fissuras, com abertura não superior a 0,20 milímetros, sendo assim, quando atuarem a carga permanente e as sobrecargas frequentes. A protensão parcial é muito parecida com a protensão limitada, mas, admite tensões mais elevadas de tração em serviço e formação de fissuras de maior abertura (porém, não maiores que 0,2 milímetros). Consome menos aço de protensão, mas, como admite fissuração, exige armadura passiva suplementar (Pereira *et. al.*,2005).

2.2.1 QUANTO À ADERÊNCIA - SISTEMAS DE PROTENSÃO

a) Concreto protendido com aderência inicial

De acordo com Veríssimo e Kléos (1998), o concreto com aderência inicial é identificado pelo estiramento da armadura de protensão, a qual é realizada utilizando-se de apoios que são independentes da peça, antes mesmo de ocorrer o lançamento do concreto, sendo que a ligação da armadura de protensão com os mencionados apoios é logo desfeita após ocorrer o endurecimento do concreto. Deste modo, a ancoragem no concreto ocorre unicamente por aderência.

b) Concreto protendido com aderência posterior

Para Veríssimo e Kléos (1998), para este modelo, ocorre a aderência posterior a qual é determinada pelo estiramento da armadura de protensão apenas depois do endurecimento do concreto, o qual utiliza-se de apoios provenientes da própria peça, criando assim, uma aderência posterior com o concreto definitivo.

c) Concreto protendido sem aderência posterior

Ainda segundo Veríssimo e Kléos (1998), o concreto protendido sem aderência é aquele obtido como no caso citado anteriormente, porém acontece que, logo após o estiramento da armadura de protensão, não é criada a aderência com o concreto.

A partir destas alternativas, podemos determinar a solução mais oportuna para cada tipo de obra:

- ARMADURA ATIVA PRÉ-TRACIONADA

Estruturas em peças pré-moldadas, usualmente com a protensão parcial.

- ARMADURA ATIVA PÓS-TRACIONADA

a) Com aderência

Estruturas especiais moldadas no local, como é o caso das vigas ou lajes, normalmente com protensão parcial, com grandes vãos e carregamentos maiores: As pistas de aeroporto, pontes, silos, viadutos, barragens, pisos industriais pesados, etc. (Pereira *et. al.*, 2005).

b) Sem aderência

Estruturas leves moldadas no local como é o caso das vigas e lajes, as quais normalmente com protensão parcial, com vãos máximos da ordem de 10,00 metros, com carregamentos leves a moderados: Sendo estes edifícios comerciais e residenciais, pisos industriais, radiers de edifícios populares, entre outros. (Pereira *et. al.*, 2005).

2.2.2 CUIDADOS COM ELEMENTOS PROTENDIDOS

É importante enfatizar que após a concretagem do elemento estrutural protendido, este se parecerá muito com um elemento de estrutura convencional, mas desta maneira, não se comporta como tal e precisará de certos cuidados especiais. É de grande importância que os funcionários que trabalham na obra estejam familiarizados com os aspectos do concreto protendido para que atitudes geralmente comuns na obra, tais como furações em elementos feitos após a concretagem, devido a falhas cometidas nas instalações ou concretagens, não acarretem patologias na edificação. Um dos itens fundamentais para se obter uma estrutura protendida de qualidade é o cuidado tomado com a concretagem do elemento estrutural. O qual inicia com a escolha do traço a ser adotado, devendo este ser suficientemente plástico, atendendo as solicitações de projeto estrutural. Deve também ser prevista alta resistência inicial a compressão. O processo de recebimento do concreto é o mesmo adotado para estruturas convencionais, mas os resultados dos ensaios de compressão nos corpos-de-prova precisam ser enviados para obra com resultados aos 3 ou 4 dias, resultados estes que irão determinar se é possível tracionar os cabos ou não. A responsabilidade pela liberação do tracionamento dos cabos é do projetista estrutural, o qual deverá informar qual a resistência mínima do concreto imprescindível para resistir aos esforços transmitidos pelos cabos. Quando ocorrer o lançamento do concreto na forma, é de grande importância que ocorra a supervisão da empresa contratada para execução da protensão, pois desta forma é garantida a integridade dos cabos, ancoragens, apoios, entre outros. É de grande importância que o processo de adensamento do concreto seja cuidadoso, para que a massa adquira homogeneidade e não ocorram descontinuidades no elemento. Próximo às ancoragens o adensamento deve ser ainda mais apurado, devido ao acúmulo de reforços de aço, formas

plásticas e apoios, para evitar as falhas de concretagem que podem dificultar ou até inviabilizar o posterior tracionamento dos cabos. O procedimento da cura do elemento pode ser adotado seguindo as mesmas orientações da estrutura convencional. Porém, um dos cuidados básicos que devem ser seguidos na obra diz respeito à distribuição de cargas na laje (tijolos, cimento, azulejos, argamassas, chapas de *Drywall*, entre outros). No caso de estruturas protendidas a recomendação é estocar os materiais na proximidade dos pilares, onde há o maior acúmulo de armaduras. Também a forma de se comportar da estrutura protendida é diferenciado. Em estruturas convencionais, não é raro o aparecimento de flechas nas lajes ou vigas, ocasionadas pelo alívio mal feito, pela retirada precoce do escoramento, pelo excesso de carga na laje, etc., inclusive com o aparecimento de fissuras na face inferior do elemento. Já as estruturas protendidas podem apresentar uma contra flecha, por haver a transmissão das cargas de tração dos cabos para a estrutura, a qual pode vir se normalizar quando da aplicação das cargas permanentes (vedações, contrapiso, acabamentos, etc.). (PEREIRA *et. al.* 2005).

A definição de transmissão de cargas de uma laje a ser concretada para as outras ainda em processo de cura difere bastante do habitual visto para estruturas convencionais. Nas quais é realizado o método do alívio, que baseia em manter parte do escoramento do elemento estrutural intocado, quando é realizado o processo da desforma. Impedindo que elementos com tempo de cura não adequada sofram deformações elevadas, provocadas até mesmo pelo seu peso próprio. Serve também para dividir o peso do elemento recém concretado e ainda fresco com os pavimentos inferiores, que podem ainda estar com alívio ou não. Para os elementos protendidos, o processo utilizado é o de reescoramento, o qual é feito somente após o tensionamento dos cabos de protensão quando as formas são totalmente removidas. Isto porque após o tensionamento, o elemento pode demonstrar uma pequena contraflecha, que diminui, e até anula a eficiência do escoramento. Com relação à quantidade, posicionamento e níveis dos reescoramentos do elemento protendido ou de alívios da estrutura convencional, é de grande importância que se consulte o projetista da estrutura, o qual irá fornecer as melhores direções, tais como cargas ou áreas mais sujeitas a esforços não previstos em projeto (Pereira *et. al.* 2005).

CAPÍTULO 3

3.1 METODOLOGIA

Quanto ao tipo do estudo, o mesmo pode ser classificado como uma pesquisa aplicada, pois abrange estudos elaborados com o objetivo de resolver um problema identificado no âmbito da sociedade em que o pesquisador vive, estando esta voltada à aquisição de conhecimentos com vistas à aplicação em uma situação específica. Quanto aos objetivos, a pesquisa é exploratória porque proporciona maior familiaridade com a questão levantada, visando torná-la mais explícita. Com relação à natureza dos dados, a pesquisa é classificada como qualitativa (GIL, 2010).

Este estudo trata-se de uma análise voltada para a revisão bibliográfica, pois o trabalho desenvolve-se através de material já publicado a respeito do tema (MARCONI; LAKATOS, 2010) não se tratando por fim, de uma obra específica para o estudo de caso. Esta revisão bibliográfica terá como intuito a demonstração das linhas de pesquisa, atreladas à utilização que emprega a protensão como método construtivo.

A amostra utilizada foi qualquer edificação aonde a utilização da protensão fosse viável e que permitisse a flexibilização de seu *layout*, aplicadas à execução de lajes para edificações verticais de uso multifamiliar.

A coleta de dados foi realizada através das revisões bibliográficas encontradas mediante estudo prévio em literaturas relacionadas ao tema e em empresas que atuam no seguimento, bem como catálogos contendo informações técnicas a cerca do assunto, destacando suas propriedades e as qualidades interligadas ao uso da protensão como uma tecnologia proveniente da modernização na construção civil.

A organização deste trabalho foi realizada através de um estudo de caso, o qual se utilizou de uma caracterização abrangente para designar uma diversidade de buscas que coletam e registram informações de um caso particular ou de vários casos a fim de estruturar um relatório ordenado e crítico de uma experiência, ou avalia-la analiticamente, objetivando tomar decisões a seu respeito ou propor uma ação transformadora. (CHIZZOTTI, 1995, p. 102).

Os dados foram levantados e analisados mediante a tendência mercadológica atual que por sua vez, tende a ser altamente competitiva frente aos resultados inerentes à construção

civil. Os dados analisados foram voltados para a área estética da construção, tendo como objetivo principal o estudo de espaços físicos gerados por uma laje protendida, levando em consideração a cultura regional, os quais serão discutidos no item a seguir.

4. LAJES PROTENDIDAS

4.1 Definição

De acordo com o Portal da Educação (2013), as lajes são os elementos planos que se destinam a receber a maior parte das ações aplicadas em uma construção, como de pessoas, móveis, pisos, paredes, e os mais variados tipos de carga que podem existir em função da finalidade arquitetônica do espaço físico que a laje faz parte.

Ainda sobre o tema, para a NBR 6118/2014, são classificadas como lajes elementos de superfície, onde a dimensão chamada de espessura é relativamente pequena em face da largura e comprimento. Novamente sobre o tema citado de acordo com o normativo, as placas que possuem espessura maior do que $L/3$ do vão devem ser calculadas como placas espessas.

4.1.1 Concepção do Projeto Estrutural

É de grande importância que o projeto de estrutura em concreto protendido de lajes para edificações verticais deva atender às solicitações das Normas Brasileiras existentes, principalmente a NBR 6118 – Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento.

De acordo com Esteche (2008), a determinação do tipo da estrutura a ser adotado depende de muitos fatores, os quais devem ser estudados em conjunto com o projetista arquitetônico e o construtor da obra. O engenheiro ou o arquiteto precisará levar em conta determinadas peculiaridades das estruturas protendidas e tirar partido arquitetônico disto, tanto no aspecto prático de execução da obra como no aspecto estético.

Todavia, de acordo com alguns projetistas e construtores da área em questão, alguns itens merecem estudo mais detalhado, sendo estes:

- Modulação de pilares: As lajes de concreto protendido têm eficiência estrutural ainda mais eficiente caso os pilares possam seguir uma distribuição modulada, com pilares ordenados em duas direções ortogonais.

- Vãos das lajes: Como as lajes protendidas possuem um sentido econômico para vãos maiores do que 7,00 metros, a melhor forma é conciliar com vãos estruturais que estejam próximos ao valor de 6,00 a 8,00 metros.

- Extensão mínima de pilar: Os pilares que sustentam lajes protendidas, sem vigas, devem ter dimensões mínimas de 30 centímetros, devendo ser levado em consideração no projeto arquitetônico. Se a construção for de elevada dimensão, a estabilidade global deverá ser garantida com paredes estruturais, as quais são também nomeadas de caixas de escadas e de elevadores.

- Balanços e vãos máximos: Constantemente, deve-se resguardar o lançamento dos pilares nos bordos de lajes, devendo prever os balanços sempre que possível, além do pilar mais afastado, mesmo que este seja de pequeno porte. Os vãos extremos, quando puderem, devem ter comprimento inferior aos vãos seguintes internos, de forma a se manter os valores de momentos fletores dentro de uma mesma escala de valores. Deve se desta maneira, impedir vãos isostáticos, onde a eficiência dos cabos de protensão cai demasiadamente, pertinente à falta de excentricidade geométrica na distribuição do cabo.

4.1.2 Esquemas Estruturais

Segundo Emerick (2002), existem fundamentais tipos de lajes as quais são utilizadas para lajes protendidas que são as lajes lisas e as lajes nervuradas. As lajes lisas manifestam muitas vantagens em relação às demais lajes, desta forma podem precisar de reforços nos apoios devido ao seu funcionamento o qual, pode ser melhorado com o uso do das vigas faixas protendidas ou ainda com o engrossamento da laje na região de seus pilares.

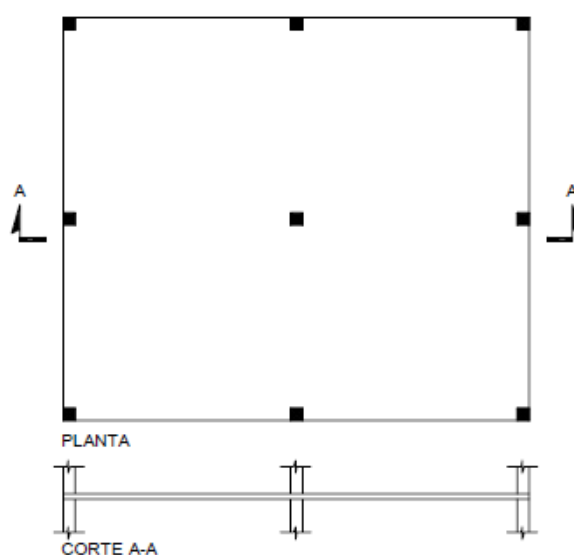


Figura 4 – Laje Lisa

Fonte: Esteche, 2008.

Visando obter tetos sem a participação dos componentes enrijecedores nas lajes, obtem-se a resolução estrutural de lajes maciças protendidas, sem vigas, as quais são chamadas de lajes lisas protendidas. Onde a placa é apoiada em contato com os pilares. Esta solução vem sendo muito visada nos dias atuais, tendo sua participação tanto para edificações comerciais quanto para as de uso residencial. O vão máximo obtido com este sistema é da ordem de 12 metros, para vãos maiores a laje torna-se muito espessa, o que acaba impossibilitando sua utilização. (Esteche, 2008).

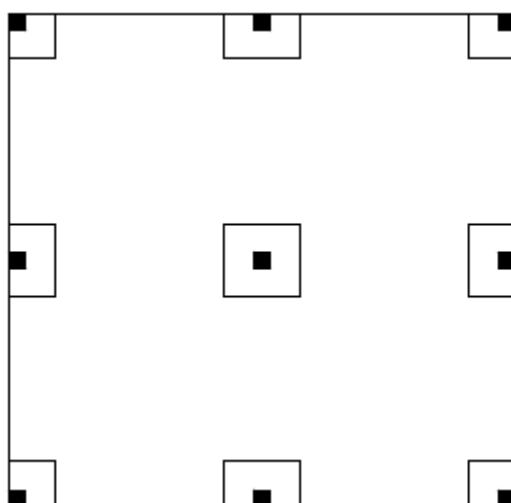


Figura 5 – Laje Lisa com Engrossamento na Região dos Pilares

Fonte: Esteche, 2008.

As lajes maciças que não possuem vigas podem também sentir a consequência do funcionamento que é realizado em conjunto aos pilares, desta maneira, as forças cortantes mais altas nos apoios que procuram furar o pano de laje; assim sendo, outro recurso que pode ser utilizado para este complexo é criar um enrijecimento em conjunto com os pilares, mediante um engrossamento da laje, sendo este chamado de ábaco ou então com um engrossamento do pilar, sendo este o capitel, que pode ser em tronco de cone ou de pirâmide. Este modelo também é chamado de laje cogumelo protendida e, com esse sistema, pode-se diminuir a espessura da placa fora da zona do pilar, tornando-se viável para vãos até 14 metros.

Para lajes com carregamentos menores que 5 kN/m^2 e vãos até 12 metros, pode-se optar pelo esquema de vigas faixa numa única direção. Para lajes com carregamento superior a 5 kN/m^2 torna-se necessário a utilização de vigas-faixa em ambas direções podendo aumentar os vãos até 14 metros.

Nas lajes nervuradas com engrossamento na região dos pilares ou com vigas-faixa, pode-se estimar carregamentos acima de 5 kN/m^2 , limitando seu vão a 12 metros.

Segundo recomendações do meio técnico brasileiro as lajes lisas sem vigas têm a espessura pré-dimensionada da seguinte maneira: $h = L/30$ a $L/40$, sendo “h” a altura da laje maciça e “L” a distância entre os pilares, em centímetros. As lajes cogumelo, que possuem engrossamentos em conjunto aos pilares, podem apresentar uma espessura pré-dimensionada entre os valores de $L/34$ a $L/44$.

Outra viabilidade de aplicação da laje protendida moldada no local é a formação de vigas faixa unindo os pilares, em uma ou duas direções. Este mecanismo possibilita que, fora das faixas, a laje possa ter espessura de menor dimensão do que aquela conquistada com uma laje de espessura constante. Podem existir vãos máximos da ordem de 13 metros, e têm uma estimativa para sua espessura de $L/35$ a $L/45$. As faixas maciças têm sua espessura pré-estimada de $L/18$ a $L/25$. (ESTECHE, 2008).

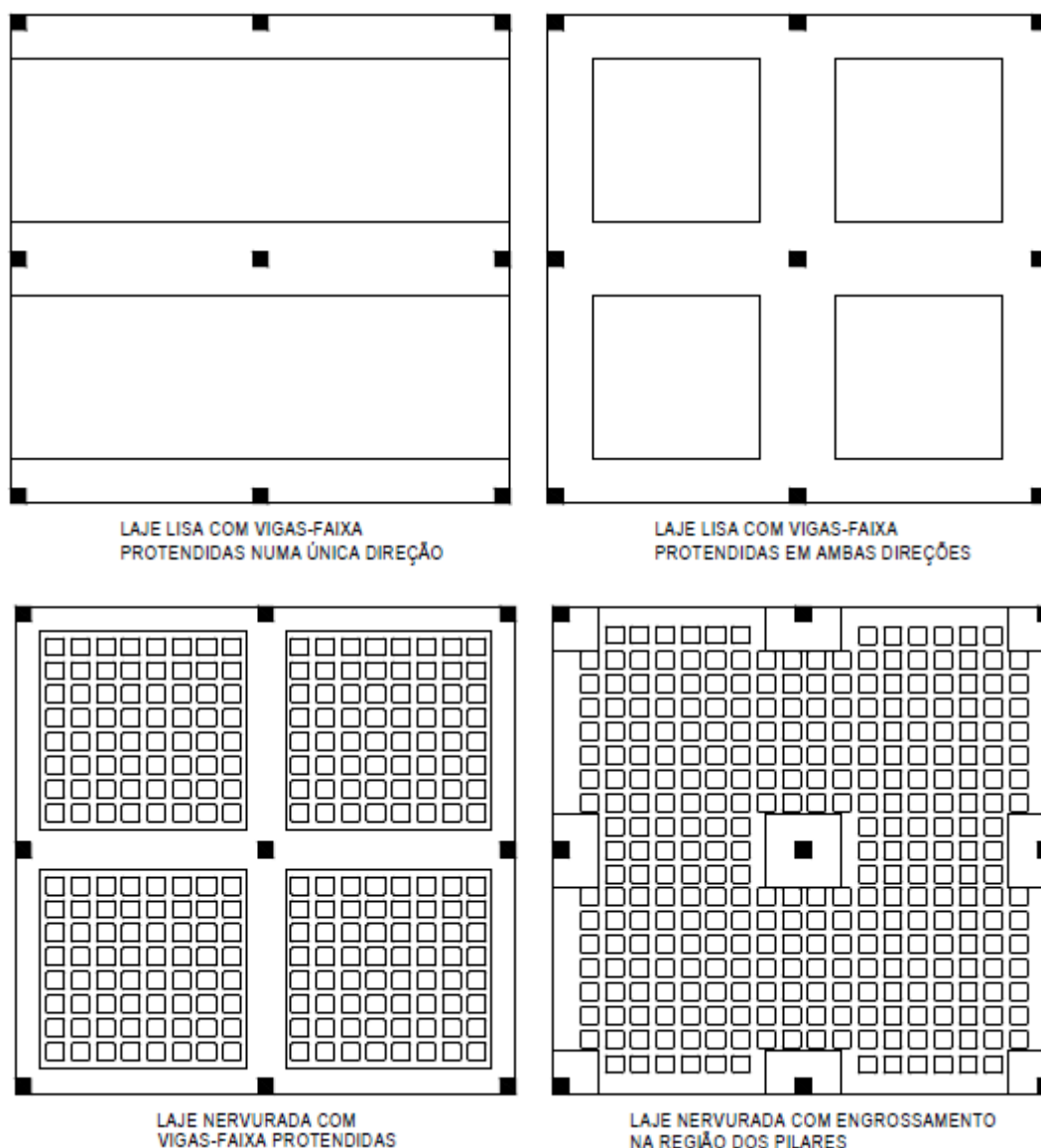


Figura 6 – Esquemas Estruturais para Lajes Protendidas

Fonte: Esteche, 2008.

Frente à crescente demanda das monocordoalhas engraxadas em lajes que são protendidas nas mais diversas obras tanto no Brasil quanto ao redor do mundo, são explicadas algumas de suas vantagens que o sistema se comparadas às estruturas em feitas em concreto armado convencional. Ainda, segundo a empresa Concrefato (2006), o concreto protendido apresenta benefícios se atrelados a uma boa e correta execução, entre estes podemos citar:

- a) A diminuição das tensões de tração realizadas pela flexão e pelos esforços cortantes;
- b) Reduz a incidência das fissuras;

- c) Reduz as frações indispensáveis de aço e concreto, devido ao emprego eficaz de materiais de grande resistência;
- d) Possibilita vencer vãos ainda maiores do que o concreto armado convencional que para o mesmo vão, permite diminuir a altura indispensável da viga;
- e) Facilita o seu uso generalizado de pré-moldagem, visto que a protensão retira a fissuração enquanto as peças são transportadas.

Enquanto estiver acontecendo o procedimento da protensão, o aço e o concreto são submetidos á tensões muito superiores às que poderão existir na laje sujeita às cargas de serviço. A operação de protensão constitui, para este sistema, um tipo de prova de carga para esta laje. Garantindo, desta maneira, que as tensões aplicadas na mesma serão suportadas por esta estrutura.

Na visão de Hideki Ishitani, Ricardo Leopoldo e Silva França (2002), o concreto protendido possui outras características que podemos citar como benéficas também, abaixo estão citadas algumas de suas qualidades e na sequência alguns problemas que podem ser encontrados:

a) Emprego de aços de grande resistência: Pois estes tipos aços não são utilizáveis no concreto armado por existir o aparecimento das fissuras de aberturas de grande proporção advindas pelas deformações fundamentais para analisar a sua alta resistência, além do mais, em certas ocasiões podem aparecer dificuldades para se estabelecer estas deformações. Ao mesmo tempo em que a alta resistência cria uma necessidade para a efetivação do concreto protendido, causada pelas perdas progressivas, eliminando os problemas mencionados.

b) Omissão das tensões de tração: Caso haja necessidade, consegue-se retirar as tensões de tração e, por conseguinte a fissuração do concreto. De qualquer maneira, este é um meio eficiente de controle de aparição das fissuras quando estas forem liberadas.

c) Diminuição das dimensões da seção transversal: A utilização obrigatória de aços de grande resistência interligado á concretos de elevada resistência, o que permite uma diminuição das dimensões da seção transversal acompanhadas a uma diminuição do peso próprio. Têm-se, assim, estruturas menos pesadas que conseguem vencer vãos mais distâtes. A protensão também consegue favorecer a resistência ao cisalhamento, reduzindo desta maneira, a força cortante efetiva.

d) Redução da flecha: A protensão, quase, consegue eliminar a aparição das seções fissuradas. Tem-se, desta maneira, uma diminuição da flecha por extinguir a queda de rigidez a flexão a qual corresponde à seção fissurada.

e) Criação de sistemas construtivos: A protensão consegue criar métodos construtivos diferenciados: Como é o exemplo dos balanços sucessivos, pré-moldados e entre outros.

4.1.3 Problemas com armaduras ativas e as desvantagens do concreto protendido

a) Corrosão do aço de protensão: Como nos aços de concreto armado as armaduras de protensão também sofrem com a corrosão eletrolítica. No entanto nas armaduras protendidas estas demonstram um outro tipo de corrosão, que é também chamado de corrosão sob tensão ou no inglês: *stress-corrosion*, a qual fragiliza a seção da armadura, propiciando a ruptura frágil. Por esta razão a armadura protendida deve ser muito bem protegida.

b) Perdas de protensão: As quais são todas as perdas geradas nos esforços aplicados nos cabos de protensão (Hideki Ishitani Ricardo Leopoldo e Silva França, 2002).

4.1.4 Sentido econômico do concreto protendido

De acordo com a empresa Concrefato (2006), as resistências de concreto, empregadas para o concreto protendido, são duas a três vezes mais altas do que as aplicadas no concreto armado. Os aços que são aplicados nos cabos de protensão têm resistência três a cinco vezes mais elevadas às dos aços normalmente utilizados de concreto armado. Sendo de grande importância o discernimento econômico do concreto protendido já que este consiste no fato de que os aumentos percentuais dos valores são muito menores aos acréscimos de resistência utilizáveis, tanto para o aço como para o concreto de protensão.

CAPÍTULO 4

4.1 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este trabalho teve como objetivo demonstrar a importância do concreto protendido para a construção civil, que almeja flexibilizar o *layout* para o mercado consumidor, atendendo desta maneira, o público que tenha o intuito de maior flexibilidade interna de um imóvel, inclusive pensando nos maiores espaços que podem ser gerados para as garagens, advindos do uso da protensão.

Demonstrou-se desta maneira, a relevância do emprego do sistema protensão frente aos métodos utilizados convencionalmente no mercado nos dias atuais, como é o caso do concreto armado.

Desejou-se também, mostrar que há de fato benefícios atrelados à sua utilização, juntamente com a verificação da tendência mercadológica voltada para este meio. Os benefícios aqui mencionados, disseram respeito à parte de *layout*, as quais envolvem a estrutura de uma edificação. Sendo esta criteriosamente analisada em conjunto com o mercado consumidor atual.

Nas Figuras a baixo inseridas, consegue-se notar o uso prático da protensão em conjunto com o concreto armado. Porém, observa-se a diminuição dos pilares e dos maiores vãos gerados para esta estrutura, que anteriormente haviam sido demonstrados a partir de referencial bibliográfico.

Demonstra-se também a eficácia estrutural deste método, haja vista o ganho proporcionado ao ambiente, bem como o benefício atrelado ao desuso das vigas, eliminando prazo, material e mão de obra de aplicação das formas dentre o processo de sua execução, entre compartimentos dos ambientes, possuindo desta maneira uma grande flexibilização de *layout*, que neste caso, propôs-se ao cliente, uma obra em *Drywall*, o que de certa maneira proporcionou ao comprador, uma variabilidade e uma maleabilidade em caso de modificação de sua estrutura interna. Desta maneira, observou-se que a protensão viabilizou o conforto arquitetônico bem como uma ampla variedade de possibilidades para disposição dos ambientes internos à edificação.



Figura 7 – Interior de uma Edificação que se utiliza da protensão e do Concreto Armado
Fonte: Autor, 2016.



Figura 8 – Interior de uma Edificação que se utiliza da protensão e do Concreto Armado
Fonte: Autor, 2016.



Figura 9 – Interior de uma edificação que se utiliza da Protensão e do Concreto Armado
Fonte: Autor, 2016.

CAPÍTULO 5

5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em decorrência ao estudo mencionado a cima, pode-se concluir que a protensão é de grande valia para o mercado da construção civil, tendo em vista seu emprego mundialmente aceito.

Comprovou-se através das revisões bibliográficas que o método apresenta benefícios se atrelados a uma adequada execução, destaca-se ainda, seu uso para residências e ambientes corporativos, os quais almejam uma flexibilização de seu *layout* interno, bem como uma diminuição dos pilares existentes em garagens e internamente aos ambientes.

Observou-se ainda que, devido à redução de pilares que pode existir devido ao dimensionamento de uma estrutura protendida, que esta, possuirá a possibilidade de uma maior personalização interna dos ambientes, pois de certa maneira, os usuários de uma edificação protendida, podem experimentar diversas formas de layout arquitetônico para o interior de suas residências. Considera-se ainda, que, a partir do estado de compressão sofrido pela laje no momento de sua protensão, que a mesma venha a apresentar uma significativa diminuição quanto à sua fissuração. Destaca-se também a viabilidade de maiores vãos entre pilares, os quais em menor quantidade geram uma melhor adaptabilidade do projeto arquitetônico bem como uma melhor disponibilidade de vagas de garagem, entretanto, nota-se que, mesmo ocorrendo uma diminuição de pilares, não necessariamente haverá uma diminuição linear das fundações, uma vez que as mesmas estarão mais carregadas. Tornando-se um método atrativo para os investidores de uma edificação que pretendam empreender com agilidade enquanto na fase de execução, bem como uma maior oferta de possibilidades na hora de atender seus clientes. Possibilitando desta maneira, uma vasta gama de atrativos frente ao mercado construtor, que pretenda atrair seus clientes visando um método de maior agilidade para execução bem como de grande eficiência arquitetônica e desta maneira, ofertando um maior ganho da personalização interna ofertada a seus consumidores.

Levando em consideração que a construção civil se encontra cada vez mais competitiva, há uma tendência mercadológica voltada para a implementação de novas tecnologias no mercado, onde torna-se de grande importância a rapidez, a personalização do produto, o conforto do usuário e o ganho de área útil de uma edificação.

CAPÍTULO 6

6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestão para trabalhos futuros, pode-se realizar o levantamento do ganho de pavimentos com o uso da protensão para lajes planas em edificações verticais, devido ao ganho de área útil recebido através de cada pavimento, quando não se é posicionado vigas intermediando cada pavimento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO DE NORMAS TÉCNICAS. **NM 248**: Agregados - Determinação da composição granulométrica, Rio de Janeiro 2003.

ASSOCIAÇÃO DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de Estruturas em Concreto. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211**: Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro, 2009.

CAUDURO, EUGÊNIO. A execução de estruturas de concreto protendido com cordoalhas engraxadas exige cuidados do recebimento do material no canteiro até a inspeção pós-carga (Artigo para internet). **Revista Técnica**, São Paulo, ed. 185 – Junho 2012.

CONCREFATO (2006) http://www.concrefato.com.br/lajes_protendidas.htm, com acesso em Agosto de 2016.

CHIZZOTTI, Antonio. **Pesquisa em Ciências Humanas e Sociais**. 2. ed. São Paulo: Cortez, 1995.

Esteche, David Guillermo Pedrozo – **Estudo de Modelos para Projeto de Lajes Lisas Protendidas (2008)**.

Emerick, Alexandre Anozé – **Projeto e Execução de Lajes Protendidas**, Brasília (2002).

FUSCO, P.B. (2008). Estruturas de Concreto: solicitações tangenciais. Pini, São Paulo.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5. Ed. São Paulo: Atlas, 2010.

HANAI, João Bento - **Fundamentos do Concreto Protendido** - E-Book de apoio para o curso de engenharia civil - Universidade de São Paulo - Escola de Engenharia Civil de São Carlos, 2005.

Hideki Ishitani Ricardo Leopoldo e Silva França, 2002. **Concreto Protendido, Fundamentos Iniciais**. Escola Politécnica – USP (Departamento de Engenharia de Estruturas e Fundações).

LACROIX, Roger; FUENTÈS, Albert - Hormigón Pretensado: concepción, cálculo, ejecución; traducción al español Amalio Jaime Rivas Zaragüeta. Editores Técnicos Asociados, dA, Maigón, 26 - Barcelona - España, 1978.

LEONHARDT, Fritz - Construção de Concreto. Volume 5. Concreto Protendido; tradução João Luis Escosteguy Merino. Rio de Janeiro - Ed. Interciência, 1983.

LEONHARDT, Fritz - Hormigón Pretensado; traducción de la segunda edición alemana por Alberto Corral - Artes Gráfica MAG, SL - Burgos - Madrid, 1967.

MARCONI, M. de A.; LAKATOS, E. M. Fundamentos de metodologia científica. 7. Ed São Paulo: Atlas, 2010.

MONTOYA, PEDRO JIMÉNEZ; MESEGUER, ÁLVARO GARCÍA; CABRÉ, FRANCISCO MORÁN. **Hormigón Armado**. 14. ed. 2ª tirada, Barcelona – Espanha: TECFOTO, 2001.

Pereira, Carvalho, Lacerda, Alves e Cunha (2005) **CONCRETO PROTENDIDO E LAJES PROTENDIDAS COM MONOCORDOALHAS ENGRAXADAS NOÇÕES GERAIS SOLUÇÃO ESTRUTURAL E CORRETA EXECUÇÃO**

Portal da Educação – Artigo por Colunista Portal Educação, março de 2013.

PFEIL, Walter - Concreto Protendido: processos construtivos, perdas de protensão. 2ª ed. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1983.

PFEIL, Walter – **Concreto Protendido**, Livros Técnicos e Científicos editora Ltda, 1980.

Relatório Anual de Administração, ArcelorMittal, 2012.

VERÍSSIMO, Gustavo de Souza e KLÉOS M. LENZ César Jr - Concreto Protendido - Fundamentos Básicos. Universidade Federal de Viçosa, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Departamento de Engenharia Civil, 4a edição nov/1998.

Walter Pfeil, **Concreto Protendido** – vol 01, Livros Técnicos e científicos editora Ltda (1980).