



**CENTRO UNIVERSITÁRIO PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS
UNIPAC BARBACENA
ENGENHARIA CIVIL**

**PESQUISA COMPARATIVA ENTRE CONCRETO PROTENDIDO E CONCRETO
ARMADO**

**ÁLVARO CÉSAR LIMA
LUIZ FERNANDO DAMASCENO COELHO**

**BARBACENA
2020**

**ÁLVARO CÉSAR LIMA
LUIZ FERNANDO DAMASCENO COELHO**

**PESQUISA COMPARATIVA ENTRE CONCRETO PROTENDIDO E CONCRETO
ARMADO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Civil do centro universitário Presidente Antônio Carlos – UNIPAC, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Profa. Ma. Deysiane Damasceno

**BARBACENA
2020**

Dedicamos este trabalho, que simboliza a Conclusão do Curso de graduação em Engenharia Civil, aos nossos pais e amigos pelo incentivo, e aos professores pelos ensinamentos transmitidos, especialmente à nossa Orientadora, a Profa. Ma. Deysiane Damasceno, que nos ajudou na realização deste trabalho, com sua experiência, profissionalismo e generosidade.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos este trabalho primeiramente a Deus, que nos iluminou nesta jornada, aos familiares pelo apoio, a todos os professores do curso de Engenharia Civil – UNIPAC, pela qualidade do ensino e a todos aqueles que de alguma forma contribuíram para a elaboração deste trabalho.

Somos gratos pela confiança depositada na proposta deste trabalho, e pela dedicação e motivação da orientadora, Profa. Ma. Deysiane Damasceno, que nos auxiliou durante todo esse processo.

RESUMO

A presente pesquisa, estruturada em formato de monográfico, tem o objetivo principal de perfazer uma análise sobre o concreto protendido e o concreto armado convencional, lajes em concreto armado nervuradas e lajes em concreto protendido moldadas *in loco*, considerando critérios práticos para a construção civil, tais como possibilidades de aplicabilidade e escolha entre as modalidades discutidas, em perspectiva voltada para a execução de projetos. Deste modo, utilizam-se as metodologias quali-quantitativa e comparativa, empregando tabelas, dados sobre execução de projetos, além de amplo levantamento bibliográfico, dentre outras informações científicas e técnicas, colhidas durante a consecução deste estudo de caso. Ao final, foi possível concluir que a usabilidade do concreto protendido apresenta pontos mais vantajosos, como emprego de menor volume de materiais e tempo de execução reduzido, dentre outros aspectos capazes de justificar sua escolha face ao concreto armado convencional. A presente pesquisa também pretende deixar uma contribuição à democratização dos estudos em concreto (tradicional, armado ou em sistemas de protensão), na expectativa de que sirva de base consultiva e incentivo ao conhecimento desta modalidade construtiva, que prossegue em contínuo aperfeiçoamento.

Palavras-chave: Lajes. Concreto protendido. Concreto armado. Análise comparativa. Engenharia Civil.

ABSTRACT

This research, structured in a monographic format, has the main objective of carrying out an analysis on prestressed concrete and conventional reinforced concrete, ribbed reinforced concrete slabs, and prestressed concrete slabs molded in loco, considering practical criteria for civil construction, such as possibilities of applicability and choice between the modalities discussed, in a perspective focused on the execution of projects. Thus, quali-quantitative and comparative methodologies are used, using tables, data on project execution, in addition to a comprehensive bibliographic survey, among other scientific and technical information, collected during the completion of this case study. In the end, it was possible to conclude that the prestressed concrete usability presents more advantageous points, such as the use of less material volume and reduced execution time, among other aspects capable of justifying its choice compared to conventional reinforced concrete. This research also intends to contribute to the democratization of concrete studies (traditional, armed or in prestressing systems), in the hope that it will serve as a consultative basis and encourage knowledge of this constructive modality, which shall be continuously improved.

Keywords: Slabs. Prestressed Concrete. Reinforced Concrete. Comparative analysis. Civil Engineering.

LISTA DE IMAGENS E FIGURAS

Figura 1-Disposição das cordoalhas em uma laje protendida.....	21
Figura 2-Bainha metálica para injeção de cimento.....	22
Figura 3-Cordoalhas entre as malhas de aço.....	23
Figura 4- Cabos de protensão.....	24
Figura 5-Tela de 10x10cm sobrepostas na laje.....	24
Figura 6-Espaçadores que erguiam as cordoalhas.....	25
Figura 7-Polimento da superfície da laje.....	26
Figura 8-Cabo de aço da cordoalha travado na laje por cunha.....	26
Figura 9- Máquina de tracionamento hidráulico.....	27
Figura 10-Diferença de cabos antes e após a protensão.....	27
Figura 11-Laje em concreto armado.....	32
Figura 12-Armadura da laje de concreto armado.....	32
Figura 13-Estruturas de cubetas de laje nervurada.....	34
Figura 14- Laje nervurada em cubetas.....	34
Figura 15-Vigotas pré-moldadas com preenchimento em poliestireno expandido.....	35
Figura 16-Vigotas pré-moldadas com preenchimento em bloco cerâmico.....	35
Figura 17-Retração do concreto na estrutura.....	37
Figura 18-Fissuração do concreto na estrutura.....	38
Figura 19- Eflorescência do concreto na estrutura.....	39
Figura 20- Corrosão da armadura na estrutura.....	39
Figura 21- Deterioração do concreto na estrutura.....	40
Figura 22-Desagregação do concreto na estrutura.....	41
Figura 23-Infiltração na estrutura.....	41
Figura 24-Bolhas na superfície do concreto.....	42
Figura 25- Perda de protensão na estrutura.....	43
Figura 26-Corrosão das cordoalhas na estrutura.....	44
Figura 27-Tabela contendo o consumo de material por m ² de laje.....	45

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 SISTEMAS DE PROTENSÃO	19
2.1 Lajes protendidas pré-tracionadas	20
2.2 Lajes em concreto protendido pós-tracionado aderente.....	21
2.3 Lajes em concreto protendido pós-tracionado não-aderente	22
3 SISTEMAS EM CONCRETO ARMADO	29
3.1 Lajes maciças	30
3.2 Lajes nervuradas	33
4 PATOLOGIAS	37
5 ANÁLISE COMPARATIVA DOS SISTEMAS	45
5.1 Regulamentação Normativa Do Concreto Protendido No Brasil	46
5.2 Usabilidades paisagísticas e arquitetônicas.....	47
6 CONCLUSÕES.....	49
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51

1 INTRODUÇÃO

As lajes são “estruturas planas responsáveis por receber o carregamento, essencialmente vertical, imposto à edificação e distribuí-lo aos demais elementos subjacentes” (SALES, 2015). Lajes de concreto são componentes feitos de concreto, possuindo utilização ampla, tal como em pavimentação de estradas, pisos ou revestimento de paredes. “No passado, as lajes de concreto também eram calçadas, no entanto, este procedimento agora é considerado desatualizado” (*Idem*).

As lajes em concreto armado convencional “ainda são as mais utilizadas na construção civil” (HANAI, 2005), sendo as mesmas “moldadas *in loco*, sobre formas de madeira que sustentam as armaduras e o concreto que será despejado” (SOUZA, 1988a). Para a confecção de uma laje de concreto armado, é necessário o auxílio de vigas de apoio para vencerem os vãos necessários em projeto. As vigas de apoio, neste sentido, são mais usualmente disponibilizadas no mercado de insumos para construção civil em madeira e metal, também podendo apresentarem-se com outros materiais, e têm como função auxiliar a distribuição das cargas, durante o processo de cura do concreto.

Alguns estudos específicos sobre a temática do concreto armado e do concreto protendido (CARVALHO, 2017; COÊLHO, 2008; FUSCO, 2013; HANAI, 2005; PFEIL, 1984; ROCHA, 1986; SOUZA, 1988a), apontam que a execução das lajes em concreto armado convencional acontece após o enchimento parcial de todas as vigas do projeto, quando é confeccionado todo o escoramento da laje e a distribuição das ferragens positivas e negativas, para depois a laje receber a concretagem.

Já as lajes em concreto protendido são aquelas em que “cabos e cordoalhas, alocados em seu interior, são alongados por intermédio de um macaco hidráulico” (HANAI, 2005), submetendo o concreto a uma carga prévia de compressão. As extremidades dos cabos ou cordoalhas são fixas em cunhas a fim de manter a ação das forças para que o macaco hidráulico possa ser retirado (ABNT, 2008).

O processo de protensão que ocorre mediante a utilização de cordoalhas não-aderentes, “têm sido empregadas desde a década de 50 nos EUA¹” (CARVALHO, 2017). Segundo Souza (1988b), as cordoalhas não aderentes são constituídas de “cabos engraxados e envolvidos em papel”, sendo as mesmas posteriormente aprimoradas, a partir do

¹ Abreviação para Estados Unidos da América.

desenvolvimento de uma tecnologia de protensão anticorrosiva, “formada por um tubo de polietileno ou polipropileno e uma protensão secundária” (*Idem*), constituída por uma graxa especial que envolve a cordoalha. A utilização das cordoalhas engraxadas e plastificadas no Brasil, só se ocorreu a partir de 1997 (*Idem*), com a fabricação desse material pela Companhia Siderúrgica Belgo-Mineira (em Belo Horizonte/MG), posteriormente vindo a ser controlada pelo grupo econômico “Arcelor Mittal”. Foi a partir deste momento que a referida modalidade de tecnologia construtiva passou a ser mais difundida e utilizada (CARVALHO, 2017), principalmente, em lajes planas lisas, possibilitando um controle adequado às flechas e, praticamente, eliminando o efeito da fissuração, resultando em uma estrutura de qualidade, segurança e durabilidade (HANAI, 2005).

As primeiras experiências no uso da força de protensão no concreto foram mal sucedidas, tendo sido registradas no final do século 19 (CARVALHO, 2017). Tais fracassos eram ocasionados pela retração e fluência do concreto, fatores esses que anulavam as forças de protensão. Com o intuito de aumentar a baixa resistência à tração do concreto, em 1928, o engenheiro francês Eugène Freyssinet (HANAI, 2005), visando encontrar alternativas capazes de mitigar ou dirimir o problema, lançou mão de arames de alta resistência no concreto, quando, enfim, obteve resultados satisfatórios (*Idem*). Um exemplo da segurança e da utilização deste método de construção ganhou certa notoriedade quando, em 1936, foi projetada uma ponte utilizando o conceito da protensão sem aderência de cabos externos, pelo engenheiro alemão Dischinger (*Idem*). Com a evolução e o desenvolvimento do método, houve a necessidade de criação e adaptação de equipamentos auxiliares, bem como foram criados os sistemas de ancoragem. A partir de então, o uso do concreto protendido tornou-se frequente na execução de obras de engenharia civil, como um método alternativo ao então predomínio do concreto armado tradicional.

Em 1955, nos EUA, surgiram as primeiras lajes protendidas, utilizando a protensão não aderente. No Brasil, a primeira ponte utilizando concreto protendido foi construída em 1949, tendo sido projetada pelo engenheiro Freyssinet², e fomentando a realização de vários estudos teóricos e experimentais sobre o concreto protendido, com o escopo de ampliar e disseminar o conhecimento da então “nova tecnologia” que possibilitava a redução do peso das estruturas, aumentava a velocidade da obra e reduzia os custos do projeto (HANAI, 2005). “Os esforços e conhecimentos compartilhados por pesquisadores, engenheiros projetistas e

² Trata-se da antiga “Ponte do Galeão”, que faz a ligação de acesso entre a porção continental do município do Rio de Janeiro e a insular (Ilha do Governador), onde localiza-se o Aeroporto Internacional Tom Jobim. Durante alguns anos após a sua construção, a ponte manteve o recorde mundial em número de vãos.

construtores, resultaram na padronização do método e ajudaram a difundir o uso desta forma de construção” (CARVALHO, 2017).

Já na execução das lajes nervuradas em concreto armado, conforme ensinam Franca e Fusco (1997), “é realizada com auxílio de cubetas ou formas plásticas de polipropileno”. Assim, deve ser produzido o escoramento com cimbras metálicas ou de madeiras sob as cubetas, e por fim, a confecção das armaduras dimensionadas em projeto.

A partir do exposto, pretende-se realizar uma análise comparativa entre os tipos de lajes mencionados, contemplando temas como: patologias, custos, vantagens e desvantagens, regulamentação no ordenamento jurídico brasileiro e desdobramentos de matriz ambiental. A pesquisa, portanto, contemplará as metodologias quali-quantitativa e comparativa, com objetivo de avaliar, compreender e descrever os fenômenos e desdobramentos de sua utilização, e pontos para discussão - ainda pouco explorados. Para tanto, foram levantados e recuperados dados quantitativos e realizado um esquadrihado levantamento bibliográfico, de autores especializados no tema-objeto de estudo, com o escopo de construir uma base de informações em íntimo diálogo com a metodologia empregada nesta pesquisa acadêmica, respeitando a moldura e os requisitos específicos para a consecução de um trabalho de conclusão de curso em formatação monográfica.

Deste modo, o projeto de pesquisa contempla seis seções primárias, tendo início na Introdução e contemplando um desenvolvimento estruturado em quatro seções, perfazendo na seção de número 2, uma abordagem teórica, com revisão literária e aprofundamento conceitual sobre o tema, mapeando o estado da arte e trazendo lume ao objeto do estudo. Já na seção de número 3, pretende-se realizar o estudo comparativo *per se*, trazendo uma abordagem mais prática, também acerca de aspectos construtivos e ilustrações que têm fito didático-conceitual, visando o compartilhamento de informações à comunidade acadêmica, aos profissionais de engenharia civil e aos leitores leigos, que possam se interessar sobre a temática, utilizando uma linguagem acessível. Na seção de número 4 são verificadas as patologias que podem incidir em lajes de concreto tradicional ou protendido. Na seção 5, a pesquisa tem por objetivo realizar uma discussão interdisciplinar e ampliativa, com foco na utilização do concreto protendido, seus desdobramentos ambientes, possibilidades plásticas e arquitetônicas, como também refletir o atual panorama brasileiro sobre o mesmo, da regulamentação à difusão dos respectivos métodos construtivos em ambiente acadêmico. Ao final, são apresentadas as Conclusões, como seção última, na qual estão concatenados e resumidos os estudos realizados.

A relevância do tema em comento se dá pois o concreto protendido ainda é um método construtivo pouco utilizado e difundido no ramo da construção e engenharia civil no Brasil, como também possui baixa recorrência nas grades curriculares universitárias. Ademais, a presente pesquisa pretende trazer maior visibilidade ao assunto e contribuir para o desenvolvimento do objeto de estudo, ao mapear as usabilidades do concreto em protensão, sua capacidade plástica em projetos arquitetônicos, durabilidade, rapidez de execução e como ele permite a construção de edificações mais leves, com redução à corrosão e deformações, além do controle de qualidade e a manutenção simplificada.

2 SISTEMAS DE PROTENSÃO

De acordo com Hanai (2005), a palavra “protensão” dissemina a ideia da disposição de um estado prévio de tensões em algum objeto ou estrutura. Na engenharia essa protensão é utilizada em peças estruturais e em materiais de construção. Seu benefício é facilmente exemplificado ao se comprimir, com as duas mãos, uma fila horizontal de tijolos ou livros e levantá-los de forma que eles não caiam.

Outro exemplo recorrente, é o de um barril, onde as ripas de madeira ficam comprimidas internamente e envolvidas por braçadeiras de metal, o líquido no interior do barril exerce pressão hidrostática na parede formada pelas ripas, e assim provoca esforços anelares de tração fazendo com que haja o esforço de protensão entre as ripas de madeira e as braçadeiras de metal. Assim, torna-se possível demonstrar que a pré-tensão pode ser utilizada nos mais variados tipos de objetos, materiais e estruturas.

Sendo assim, Pfeil (1984) propôs a seguinte definição:

Protensão é um artifício que consiste em introduzir numa estrutura um estado prévio de tensões capaz de melhorar sua resistência ou seu comportamento, sob diversas condições de carga.

Segundo o item 3.1.7 da NBR 6118 (ABNT, 2014), “o concreto com armadura ativa pré-tracionada, ou concreto protendido, (protensão com aderência inicial) é aquele em que o pré-alongamento da armadura ativa é feito”, utilizando-se apoios independentes do elemento estrutural, antes do lançamento do concreto. Sendo a ligação da armadura de protensão com os referidos apoios desfeita após o endurecimento do concreto e a ancoragem no concreto realiza-se somente pela aderência entre os elementos. Na construção civil, o concreto protendido provoca compressão no concreto e tração nas armaduras.

Essa força de compressão no concreto tende a aliviar as tensões oriundas do carregamento externo. Essa é a diferença fundamental entre o concreto armado e o concreto protendido, responsável pelo seu sucesso. Dessa maneira, a estrutura pré-tensionada proporciona melhor performance perante as cargas externas a ela direcionadas.

2.1 Lajes protendidas pré-tracionadas

Segundo Hanai (2005), o método de protensão pré-tracionado consiste em acomodar os cabos sobre a laje, fixando-os em uma de suas extremidades, e na outra extremidade é fixado um macaco hidráulico que estira o aço, aplicando sobre ele uma tensão de tração um pouco menor do que a tensão correspondente ao limite elástico.

Após os cabos serem tracionados (HANAY, 2005), “é realizada a concretagem sobre a forma em que os cabos se encontram envolvidos”. Com o devido tempo de endurecimento e cura do concreto para adquirir a resistência adequada ao projeto, os cabos de aço da protensão são soltos das ancoragens, retornando à sua condição indeformada e aplicando uma força de compressão ao concreto - em parte ou em toda a seção transversal da estrutura. Tal sistema também é nomeado como “concreto protendido por aderência inicial”, nas ocasiões nas quais ocorre a transferência da força de protensão da armadura para a peça devido à aderência entre o concreto e a armadura.

Durante a execução do projeto, é possível que ocorra a perda elevada da protensão, “devido à baixa densidade do concreto, encurtamentos elásticos ou deformação lenta, podendo ocasionar a redução do alongamento da armadura de protensão” (CARVALHO 2017).

De acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2014), “o concreto é um material que apresenta baixa resistência à tração”, por volta de 10% de sua resistência à compressão. Tal característica, aliada ao fenômeno de retração (redução significativa do volume de concreto devido à diversos fatores, tais como: perda de água - exsudação, fenômenos químicos, térmicos e erros na dosagem do concreto), podem dar origem a fissuras no concreto, as quais têm o condão de provocar, em médio a longo prazo, a oxidação e a corrosão das armaduras, dada à exposição das mesmas ao oxigênio.

De acordo com Cholfe (2018), o concreto “é um material de características tão diferentes à compressão e à tração”, que o seu desempenho pode ser aprimorado ao se aplicar uma pré-tensão nos pontos onde as solicitações causam cargas de tração. A protensão do concreto é realizada, na prática, por meio de cordoalhas altamente resistentes, tracionadas e ancoradas no próprio concreto. Com a pré-tensão, aplicam-se forças de compressão nas regiões que serão tracionadas pelas solicitações dos carregamentos, segundo Leonardt e Monnig (1977). Se as forças de tração geradas pelas cargas forem menores que as forças prévias geradas pela compressão, a região permanecerá comprimida, não sofrendo fissuração devido à tração.

2.2 Lajes em concreto protendido pós-tracionado aderente

A protensão aderente é um método que utiliza cabos envoltos em bainhas metálicas, sendo elas lisas ou onduladas. Nas bainhas metálicas fazem-se as injeções de calda de cimento, para se alcançar a aderência necessária ao projeto. Essas bainhas são compostas por tubos acoplados que, divididos entre o vão, recebem a injeção de calda de cimento, e por purgadores, que controlam a saída do ar e o preenchimento dos espaços vazios entre o cabo e a bainha. A utilização desse método é mais comumente observada na edificação de pontes, onde se exige uma maior densidade de cabos metálicos.

Elementos em concreto protendido pós-tracionado são aqueles submetidos à uma compressão, por intermédio de uma cordoalha alocada em seu interior e tracionada nas extremidades por macaco hidráulico após o endurecimento do concreto. As imagens abaixo exemplificam e ilustram a aplicação do concreto protendido pós-tracionada aderente:

Figura 1 - Disposição das cordoalhas em uma laje protendida.



Fonte: Elaboração própria, 2020.

Figura 2 - Bainha metálica para injeção de cimento.



Fonte: Elaboração própria, 2020.

Segundo os autores Carvalho (2017), Hanai (2005) e Leonardt e Monnig (1977), na execução das lajes em protensão pós-tracionada, um conduíte é colocado dentro da laje, a fim de que dentro do mesmo seja passado um cabo de aço, o qual receberá a protensão mediante emprego de macaco hidráulico. Logo após, uma cunha de cada lado segura essa cordoalha, possibilitando a retirada do macaco hidráulico e permitindo a compressão da peça de concreto.

2.3 Lajes em concreto protendido pós-tracionado não-aderente

A protensão não aderente é um método que utiliza cabos engraxados e cobertos por material plástico de alta aderência (polietileno ou polipropileno). Esta camada plástica que reveste os cabos, protege e minimiza os danos sofridos pela corrosão, os impactos de manuseio, no transporte e na instalação. Este método consiste em acomodar os cabos sobre a laje, para que a concretagem seja realizada de forma convencional, geralmente utilizados para corrigir deformidade excessiva e para reduzir o número de pilares e vigas.

As cordoalhas são produzidas pelas fábricas de acordo com que o cliente solicita no projeto e são fabricadas com cabos de aço e armazenadas em rolos, onde serão cortadas sob a

medida exigida e enviadas à obra, onde serão posicionadas e instaladas de acordo com sua exata posição na estrutura.

A seguir é apresentada a execução de uma laje protendida em uma obra situada na rua José Pires dos Reis, nº 32, bairro Mansões, Barbacena - MG, referente a um edifício de dezesseis andares, utilizando em todas suas lajes o concreto protendido pós-tracionado moldado *in loco*, de modo que as dimensões sejam calculadas e ajustadas à realidade de cada projeto ou empreendimento construtivo. O método utilizado foi o de protensão de cordoalhas (FIG. 3). Esse tipo de laje permite a execução mais rápida e a redução da quantidade de aço na estrutura, sendo que as cordoalhas suportam peso aproximado de 15000 kg, para lajes de 20 cm de espessura.



Figura 3 - Cordoalhas entre as malhas de aço.

Fonte: Elaboração própria, 2020.

O cabo de protensão (FIG. 4) é composto basicamente por uma ou mais cordoalhas de aço, ancoragens, bainha metálica e purgadores. As cordoalhas ficam inicialmente soltas dentro da bainha, o que permite a sua movimentação na ocasião da protensão. Após a concretagem da estrutura e a cura do concreto, os cabos são protendidos.

A imagem a seguir demonstra como os cabos de protensão são comercializados *in natura*, ou seja, antes de iniciado o processo de tensionamento.

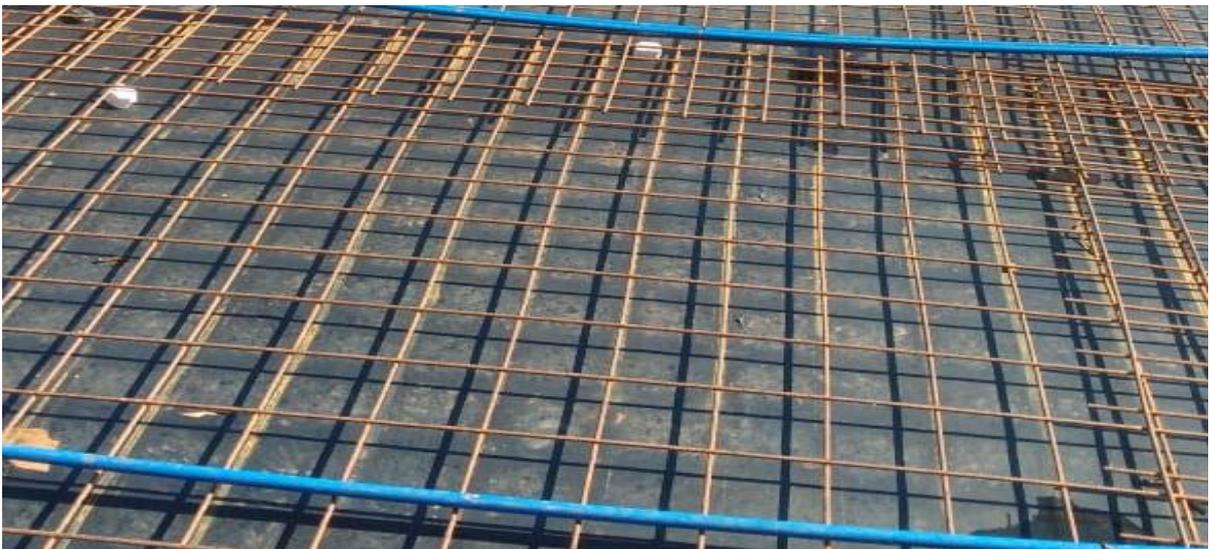
Figura 4 - Cabos de protensão.



Fonte: Elaboração própria, 2020.

Em cima das formas da laje coloca-se uma tela feita com barras de aço com diâmetro de 5 mm, em malhas quadradas de 10 centímetros. Para que as cordoalhas não fiquem em contato direto com a taipa, são colocados espaçadores, conforme apresentado nas duas imagens a seguir, entre a tela e as cordoalhas, com alturas variando entre 6 e 17 cm.

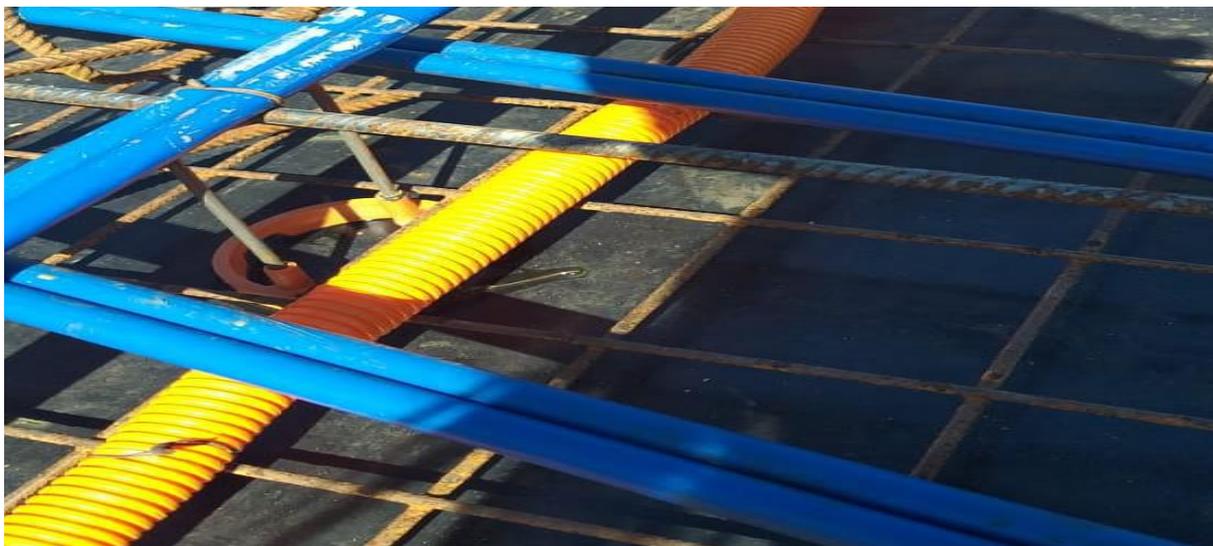
Figura 5 - Tela de 10x10 cm sobrepostas na laje.



Fonte: Elaboração própria, 2020.

As cordoalhas são espaçadas entre si com distâncias determinadas em projeto. Para a laje apresentada, foram colocadas 42 cordoalhas no sentido transversal, transpassadas uma em cima da outra (negativa e positiva).

Figura 6 - Espaçadores que erguiam as cordoalhas.



Fonte: Elaboração própria, 2020.

As cordoalhas negativas são as que ficam suspensas pelos espaçadores. Após o posicionamento das cordoalhas, são colocadas as barras de aço negativas de bitola 12,5 mm na posição longitudinal sobre os pilares. Essas barras negativas exercem o papel de suportar e distribuir as cargas que vão para os pilares. Após posicionar as cordoalhas nos locais determinados em projeto é feita a concretagem da laje, por meio do lançamento e adensamento do concreto (usinado, neste caso). Para a laje em questão, foram utilizados 130 m³ de concreto com resistência de 30 MPa.

Figura 7 - Polimento da superfície da laje.



Fonte: Elaboração própria, 2020.

Após o processo de cura e endurecimento da laje, o qual ocorre em um intervalo médio de tempo de 7 dias, foi feita a desforma e a protensão das cordoalhas. Esta protensão é feita da seguinte forma: (I) primeiro retira-se os copinhos que travam os cabos na laje, para então (II) as cunhas, que são socadas para dentro, travando novamente o cabo e o tracionando, conforme mostra na imagem abaixo:

Figura 8 - Cabo de aço da cordoalha travado na laje por cunha.



Fonte: Elaboração própria, 2020.

Utilizando uma máquina de tracionamento hidráulico calibrada de acordo com as especificações do projeto (FIG. 9), é colocado o cabo que será tracionado.

Figura 9 - Máquina de tracionamento hidráulico.



Fonte: Elaboração própria, 2020.

Logo, é possível utilizar um pequeno pedaço de madeira como referência para marcar o quanto o cabo esticou. A figura a seguir apresenta dois cabos, o de baixo tracionado e o de cima não tracionado.

Figura 10 - Diferença de cabos antes e após a protensão.



Fonte: Elaboração própria, 2020.

É possível perceber que os cabos de menor extensão não sofreram tensionamento, enquanto os cabos mais compridos encontram-se tracionados.

3 SISTEMAS EM CONCRETO ARMADO

Historicamente, os métodos construtivos de lajes podem ser divididos em: (I) tradicionais, (II) convencionais; e (III) industrializados. O método tradicional caracteriza-se pelo uso intenso de mão de obra e pela utilização de matérias primas naturais como pedra, barro, madeira. O método convencional é caracterizado pela predominância de materiais ofertados pela indústria da construção civil, utilizando poucos equipamentos mecânicos e considerável mão de obra (HANAI, 2005). No método industrializado, as principais composições da edificação são produzidas fora do canteiro de obras, através de processos industriais. Nesse processo, predomina a mecanização dos trabalhos, racionalizando as etapas da construção, com uma redução significativa da mão de obra, em relação aos processos anteriores (PFEIL, 1984).

Com a atualização e aperfeiçoamento contínuo dos processos construtivos, e com o surgimento de *softwares* específicos, as lajes podem ser facilmente dimensionadas e executadas de várias formas, com diferentes materiais e suportando diferentes cargas, possibilitando assim diversas alternativas de construção, com melhores resultados estruturais e redução econômica de projetos, conforme leciona Carvalho (2017). Logo, as lajes são consideradas um dos elementos mais utilizados nas estruturas das edificações, sendo caracterizadas como estruturas laminares, regularmente planas e horizontais, bidimensionais, onde são solicitadas predominantemente por ações normais resultantes de uma edificação e a cargas variáveis definidas pela finalidade do projeto arquitetônico (HANAI, 2005).

As cargas permanentes e variáveis são comumente perpendiculares ao plano da laje, podendo ser distribuídas em apoios, linearmente ou em toda sua extensão. Embora menos comum, também podem ocorrer ações externas na forma de momentos fletores, normalmente aplicados nas bordas das lajes (HANAI, 2005). Ao receberem essas cargas, as lajes são responsáveis por transmitir as devidas cargas para as vigas, as vigas para os pilares, e os pilares para a fundação (RUSCH,1980).

As lajes de concreto usualmente utilizadas nas obras nacionais são as moldadas *in loco*, podendo ser também pré-fabricadas. A definição do modelo de laje a ser utilizado parte do projeto arquitetônico, onde é realizada a análise estrutural e econômica dos diversos modelos existentes (PFEIL, 1984). As lajes moldadas *in loco* são aquelas executadas no canteiro de obra, não demandando transporte e mão de obra especializada, porém possuem alto consumo de concreto e podem acarretar o desperdício de materiais (RUSCH,1980).

De acordo com as NBR 6118 (ABNT, 2014), NBR 7483 (ABNT, 2008^a), NBR 8800 (ABNT, 2008b) e NBR 6120 (ABNT, 1980), bem como mediante contemplação e aplicação dos estudos propostos por Rusch (1980) e Carvalho (2017), as lajes em concreto armado convencional são executadas após o enchimento parcial de todas as vigas do projeto, quando, em seguida, é confeccionado todo o escoramento da laje, distribuição das ferragens positivas e negativas, para depois a laje receber a concretagem.

Já no contexto das lajes pré-fabricadas, são essas constituídas por vigas pré-fabricadas ou vigotas de concreto, por elementos de enchimento e por armaduras complementares, responsáveis por anular forças negativas e garantir o travamento da laje. A laje é finalizada com a capa de concreto. Suas dimensões são especificadas por normas e variam de acordo com a finalidade do projeto. Conforme a NBR 6118 (ABNT, 2014) e os ensinamentos do Professor Roberto Carvalho (2012), há necessidade de cubetas/formas plásticas de polipropileno que, considerando um mesmo fabricante, deverão possuir dimensões uniformes nas formas. Assim, deve ser produzido o escoramento com cimbras metálicas ou de madeiras sob as cubetas e, por fim, a confecção das armaduras dimensionadas em projeto, com cálculos específicos.

3.1 Lajes maciças

Em conformidade com Rocha (1986), a laje maciça constitui o sistema convencional de lajes utilizado em obras de pequeno e médio portes, tendo sido o principal sistema construtivo de lajes, durante um longo período histórico. As lajes maciças são dimensionadas para suportar ações e cargas não muito elevadas, possuindo baixa espessura. São executadas totalmente *in loco*, moldadas em formas e constituídas por concreto e aço em toda sua espessura, contendo armaduras transversais e armaduras longitudinais, sendo apoiadas em vigas de seção retangular, ou paredes ao longo de suas extremidades; sua estrutura se assemelha à de um material monolítico.

Segundo Fusco (2013) e Coêlho (2008), as lajes maciças podem ser classificadas em relação: (I) à forma geométrica; (II) aos tipos de vínculos nos apoios; e (III) à direção em que é armada. Quanto à forma geométrica, as lajes devem atender a diferentes especificações, de acordo com a necessidade do projeto arquitetônico.

De modo usual, emprega-se uma forma retangular. Quanto à direção de suas armaduras, as lajes maciças podem ser armadas em uma ou duas direções. Por fim, as lajes maciças podem ser classificadas como de borda livre (laje em balanço), borda apoiada (laje

isolada apoiada em vigas), e borda engastada (laje apoiada em vigas de grande rigidez), a depender das vinculações utilizadas.

Comumente utilizadas em pavimentos que possuem pequenos vãos, cuja dimensão do menor vão teórico não ultrapassa 5 m, as lajes maciças possuem espessuras que variam de 7 cm a 16 cm. Para maiores vãos, as lajes maciças apresentam peso próprio muito elevado, o que demanda muito material, desfavorecendo sua utilização. De acordo com a NBR6118 (ABNT, 2014), a espessura dessas lajes deve respeitar valor mínimo segundo cada situação:

- a) 7 cm para lajes de cobertura não em balanço;
- b) 8 cm para lajes de piso não em balanço;
- c) 10 cm para lajes em balanço;
- d) 10 cm para lajes que suportem veículos de peso total menor ou igual a 30 kN;
- e) 12 cm para lajes que suportem veículos de peso maior que 30 kN;
- f) 16 cm para lajes lisas e 14 cm para lajes-cogumelo, fora da região do capitel.

Segundo Pilloto Neto (2018), o processo executivo das lajes maciças pode ser definido nas seguintes etapas:

- a) Formas e escoramento: distribuição das formas e dos escoramentos constituídos de material em madeira ou metal, servindo de base para o concreto completar seu período de cura;
- b) Armaduras: são distribuídas as ferragens da laje, posicionando as armaduras principais, secundárias e espaçadores de acordo com a determinação do projeto. Em conjunto são adicionados os componentes elétricos da edificação;
- c) Concretagem: lançamento do concreto, executando os processos de nivelamento e adensamento;
- d) Cura: deve ser realizado o processo de proteção e hidratação do concreto durante o período de cura; e
- e) Desforma: após o concreto atingir sua resistência mecânica estipulada pelo projeto (em média 28 dias), as formas e escoramentos podem ser devidamente retirados.

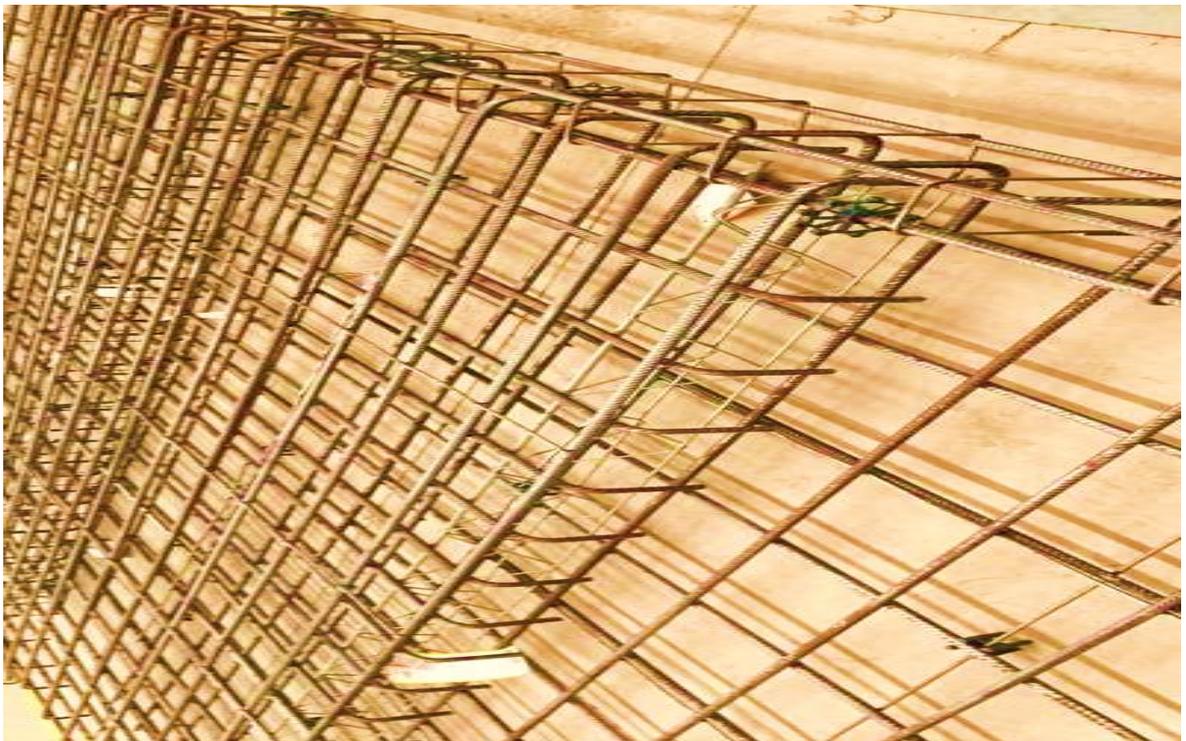
As figuras a seguir (FIG. 11 e FIG. 12) apresentam, respectivamente, uma laje maciça em concreto armado e esquema de armadura e formas dessas lajes.

Figura 11 - Laje em concreto armado.



Fonte: Elaboração própria, 2020.

Figura 12 - Armadura da laje de concreto armado.



Fonte: Elaboração própria, 2020.

3.2 Lajes nervuradas

Segundo os ensinamentos de Argemiro França e Péricles Fusco (1997), como também as diretrizes fixadas pela NBR 9062 (ABNT, 2017), as lajes nervuradas foram criadas devido à necessidade de reduzir a quantidade de concreto utilizada nas lajes maciças, as solicitações nas lajes, conseqüentemente reduzindo os custos de uma edificação. Trata-se de um modelo construtivo moldado *in loco*, que utiliza nervuras de concreto armado ligadas a uma capa de compressão em concreto.

A zona de tração da laje é constituída por nervuras que se encontram na parte inferior da laje, enquanto na parte superior localiza-se a capa de compressão em concreto, podendo existir entre essas camadas algum material inerte. Logo, é relevante a análise de que não deve existir esforço algum sobre a região preenchida por materiais inertes, que podem ser blocos cerâmicos ou de concreto utilizados para preencher esses vazios na estrutura, o que reduz o uso de formas. São esses espaços vazios interligados em toda extensão da laje, que tornam a estrutura mais leve e permitem alcançar maiores vãos, geralmente superiores a 5 metros.

As nervuras também favorecem a estética da edificação, proporcionando um teto completamente plano, pés direitos mais altos, além de melhorar suas características de isolamento termoacústico. As lajes nervuradas moldadas *in loco* podem ser classificadas em dois tipos de estruturas:

a) Laje nervurada em cubetas (fig. 13 e 14): utilizada em grandes edificações, apresentam maior resistência aos esforços horizontais. Sua estrutura é moldada com cubetas de polipropileno, apoiadas sobre o escoramento, podendo este ser de modelo convencional ou específico para as cubetas, e o cimbramento pode ser constituído de madeirites ou estruturas metálicas.

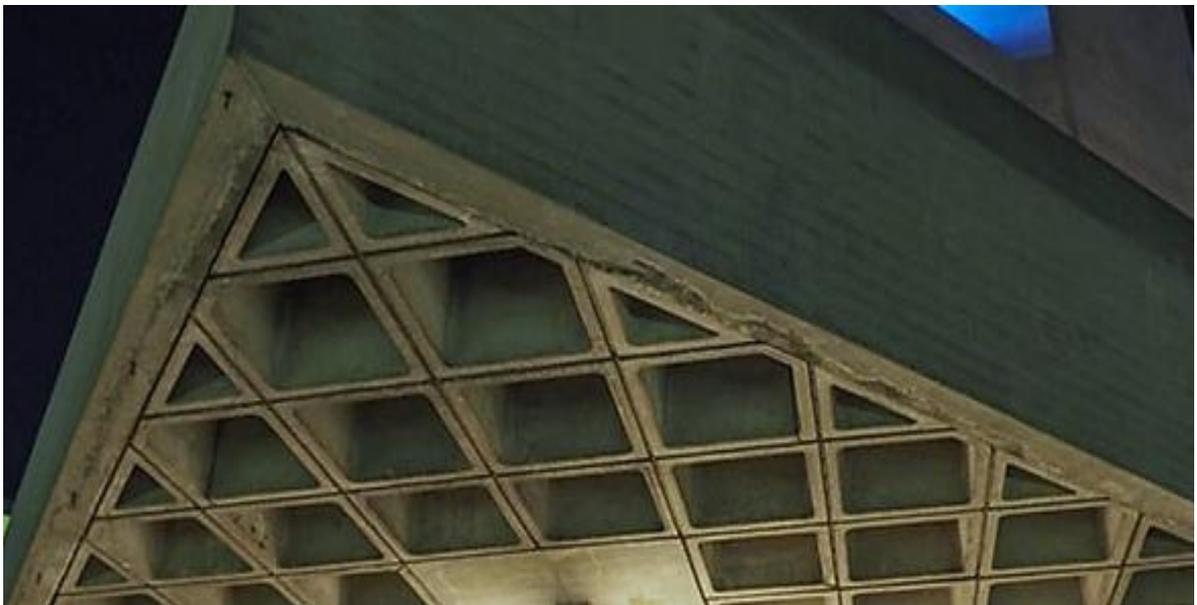
A figura adicionada a seguir ilustra o que é a laje nervurada em cubetas e como se dá a sua formatação:

Figura 13 - Estruturas de cubetas de laje nervurada.



Fonte: Elaboração própria, 2020.

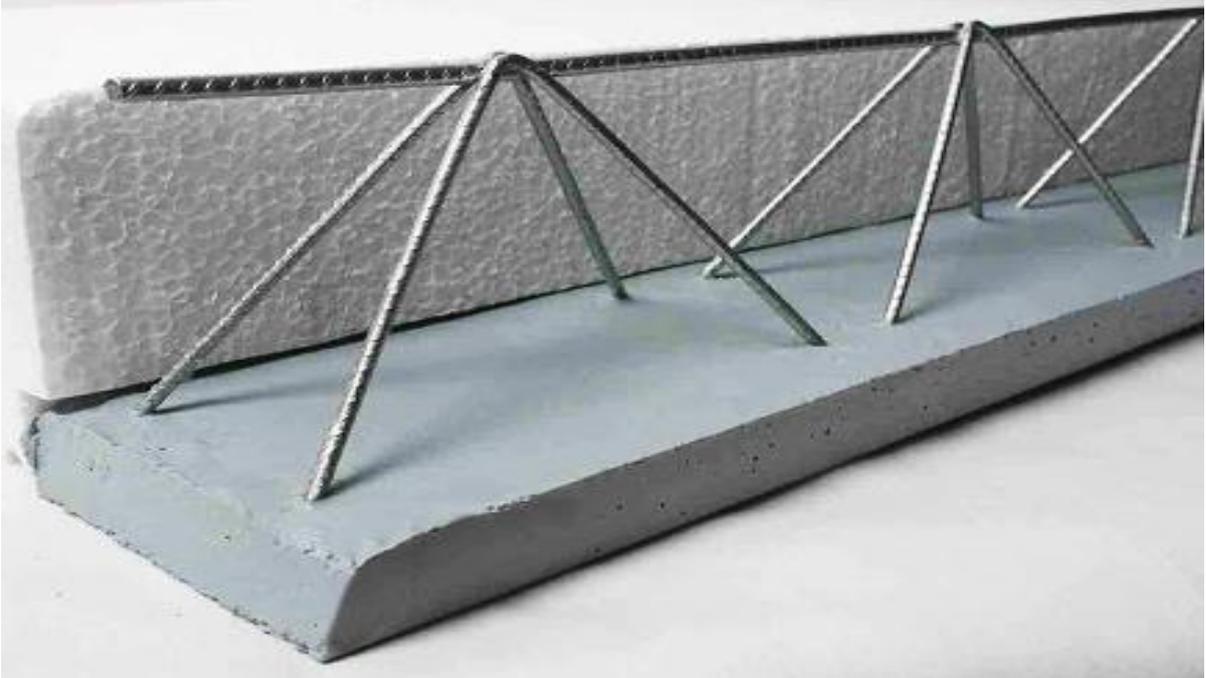
Figura 14 - Laje nervurada em cubetas.



Fonte: Elaboração própria, 2020.

b) Laje nervurada com vigotas (fig. 15 e 16): utilizada em pequenas edificações, com vãos menores e poucos pavimentos. Sua estrutura é moldada com vigotas ou painéis treliçados, pré-fabricados, podendo ser constituídos de materiais em poliestireno expandido e lajotas cerâmicas.

Figura 15 - Vigotas pré-moldadas com preenchimento em poliestireno expandido.



Fonte: Elaboração própria, 2020.

Figura 16 - Vigotas pré-moldadas com preenchimento em bloco cerâmico.



Fonte: Elaboração própria, 2020.

O modelo de laje nervurada a ser utilizado deve ser analisado de acordo com o projeto e as necessidades da edificação, considerando alguns critérios indissociáveis, tais como: (I) o tamanho dos vãos; (II) a qualidade e tipo dos materiais empregados; (III) as limitações de

deformação; e (IV) a especialização da mão de obra, dentre outras. A NBR-6118 (ABNT, 2014) institui algumas exigências para o dimensionamento das lajes nervuradas, quais sejam:

- a) a distância livre entre as nervuras não deve ultrapassar a 100 centímetros;
- b) a espessura da nervura não deve ser inferior a 4 centímetros;
- c) a espessura da mesa não deve ser inferior a 4 centímetros ou a $1/15$ da distância entre as nervuras;
- d) o apoio das lajes deve ser ao longo das nervuras;
- e) nas lajes armadas numa direção são necessárias nervuras transversais sempre que haja carga concentrada a distribuir ou quando o vão teórico for superior a 4,00 metros, exigindo-se duas nervuras, no mínimo, quando esse vão ultrapassar a 6,00 metros; e
- f) nas nervuras com espessura inferior a 8 centímetros não é permitido colocar armadura de compressão no lado oposto à mesa.

4 PATOLOGIAS

Segundo Helene (1992), a patologia, em se tratando das estruturas, analisa os sintomas, causas e origens dos problemas encontrados nas estruturas de concreto armado e conseqüentemente o modo como ocorrem as falhas e a degradação da estrutura. As estruturas são projetadas de modo e obter qualidade e segurança na edificação, evitando problemas desde uma pequena infiltração, até o colapso da estrutura. O surgimento de problemas de maneira geral está ligado a uma falha durante o planejamento ou execução de umas das etapas da construção de uma estrutura. Pode-se definir as manifestações patológicas recorrentes nas estruturas como:

a) Patologias resultantes da falha de concepção do projeto: são várias as falhas possíveis durante a elaboração do projeto, originadas de deficientes estudos preliminares, anteprojetos equivocados, elaboração de projeto de execução. Ocorrem de maneira a interferir no andamento do processo construtivo, gerando grandes transtornos e encarecimento da construção (SOUZA, 1998a).

b) Retração do concreto: a retração do concreto, conforme ilustra a figura a seguir, é um processo natural, porém, deve ter seu comportamento considerado no dimensionamento e execução da estrutura. Se não for restrito por armaduras e vínculos externos, pode levar a casos de fissuração e formação de trincas (SOUZA, 1998a).

Figura 17 - Retração do concreto na estrutura.



Fonte: Elaboração própria, 2020.

c) Rachadura, trincas e Fissuras: as rachaduras e trincas, perceptíveis na ilustração adiante anexada, são características pela falta de resistência às tensões internas e externas aplicadas em um determinado material utilizado, ocasionando aberturas acentuadas e profundas facilmente observáveis, evidenciando a separação entre as partes.

Figura 18 - Fissuração do concreto na estrutura.



Fonte: Elaboração própria, 2020.

d) Eflorescência e corrosão da armadura: As eflorescências no concreto, ilustradas adiante, ocorrem devido à umidade, ocasionando formações de sais, que aparecem sob o aspecto de manchas de cor branca na estrutura. Elas podem alterar a aparência da superfície e seus sais constituintes são agressivos, causando desagregação profunda da estrutura (RIBEIRO, 2018).

Segundo Ribeiro (2018), a corrosão da armadura é um fenômeno que ocorre devido a um processo eletroquímico, podendo ter a sua causa elevada por alguns fatores como a ação de agentes agressivos externos e internos, os quais podem ter sido adicionados ao concreto, como também os demais fatores ambientais naturais (intempéries climáticas, acomodação do solo, etc.). As figuras a seguir ilustram algumas dessas patologias.

Figura 19 - Eflorescência do concreto na estrutura.



Fonte: Elaboração própria, 2020.

Figura 20 - Corrosão da armadura na estrutura.

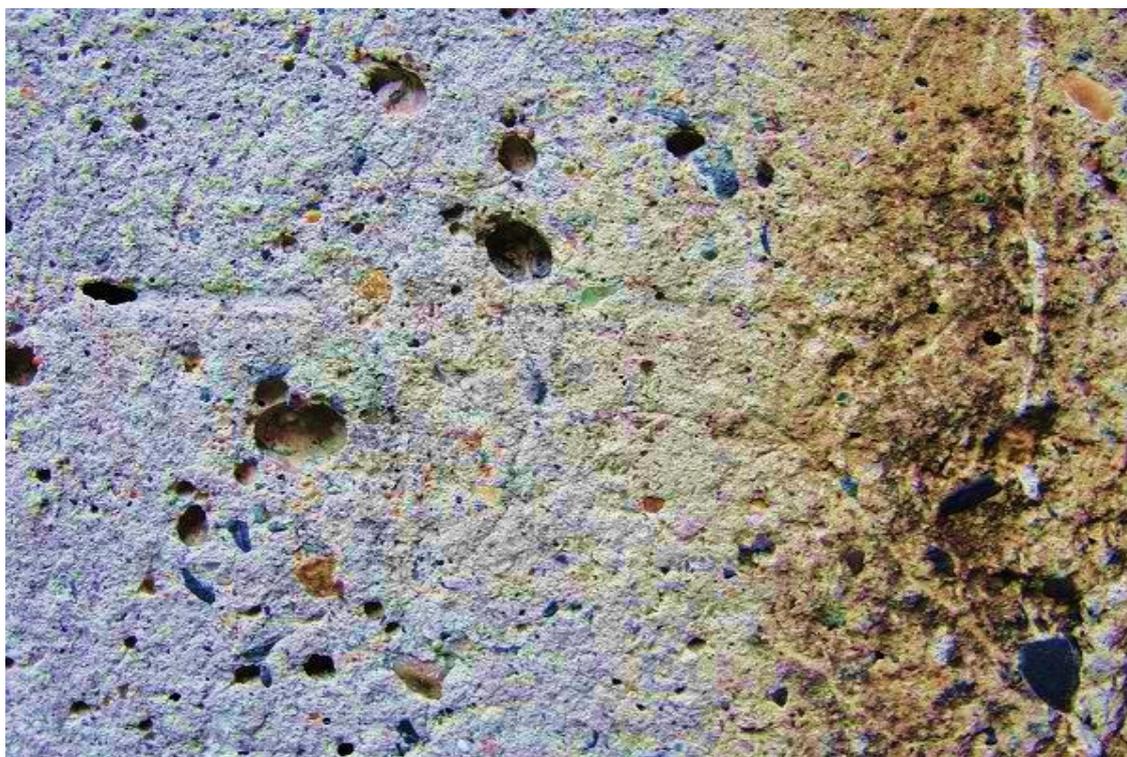


Fonte: Elaboração própria, 2020.

e) Deterioração do concreto armado:

A deterioração, conforme demonstra a ilustração abaixo inserida, consiste na abrasão do material da superfície da estrutura, devido ao arraste, atrito ou fricção decorrente de intensa utilização da estrutura, seja por grande circulação de pessoas ou veículos e por agentes, ou por demais intempéries (SOUZA, 1998).

Figura 21 - Deterioração do concreto na estrutura.



Fonte: Elaboração própria, 2020.

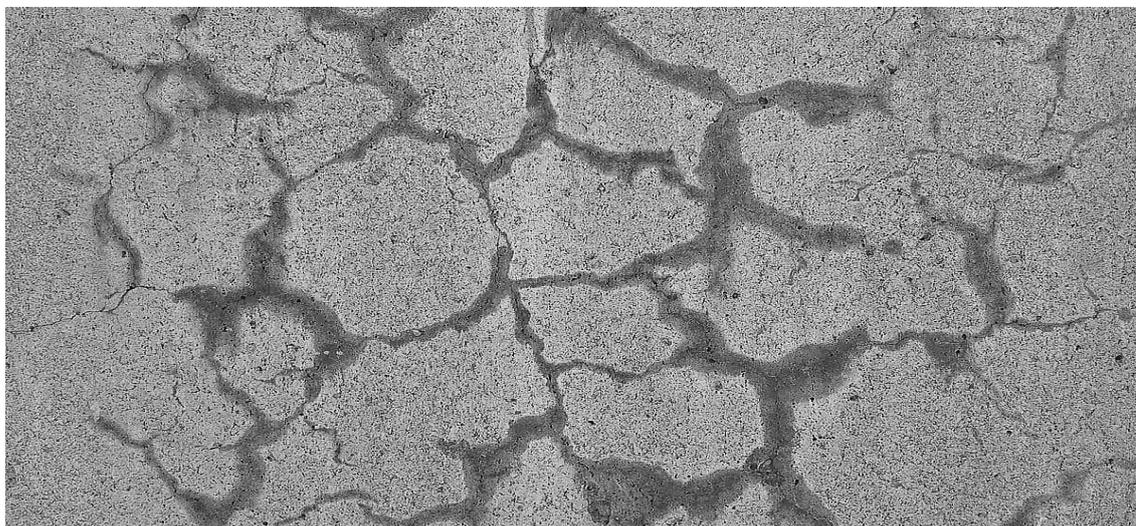
f) Carbonatação, desagregação e perda de aderência:

A carbonatação é um fenômeno lento e que ocorre, também, devido às reações químicas das interações dos elementos da estrutura e à redução do pH na pasta de cimento, que diminui a proteção passiva das armaduras, aumentando a vulnerabilidade à corrosão e comprometendo a durabilidade da estrutura (RIBEIRO, 2018).

A desagregação do concreto, representada na figura abaixo, consiste na separação física da estrutura em pedaços, ocorrendo devido à falta de resistência na região desagregada. Ela geralmente está associada à fissuração, decorrente de falhas no assentamento do concreto,

formando vazios na parte inferior da armadura. Já a perda de aderência entre o concreto e o aço ocorre, geralmente, nos casos de oxidação ou dilatação da ferragem (SOUZA, 1998).

Figura 22 - Desagregação do concreto na estrutura.



Fonte: Elaboração própria, 2020.

g) Infiltração de água: As infiltrações são causadas por excesso de umidade na estrutura, ocasionando manchas, fungos, eflorescência, fissuras e mudanças de coloração da estrutura e ou revestimentos (RIBEIRO, 2018), conforme ilustrado abaixo.

Figura 23 - Infiltração na estrutura.



Fonte: Elaboração própria, 2020.

h) Bolhas de superfície: As bolhas de superfície podem ocorrer por diversos fatores nas estruturas de concreto. Porém, essa patologia é mais perceptível em peças pré-moldadas que, por ficarem expostas, prejudicam sua estética. O aparecimento das bolhas no concreto pré-fabricado ocorre devido ao tipo de desmoldante utilizado nas formas, ou excesso de água na produção do concreto.

Segundo França (1997), a utilização de óleos e graxas residuais para a desmoldagem do concreto, torna propícia a retenção de água superficial, dando origem a bolhas e vazios, depois do concreto endurecido. As bolhas originadas podem constituir pontos permeáveis e de pouca resistência. A seguir, a imagem representa uma estrutura com bolhas em sua superfície.

Figura 24 - Bolhas na superfície do concreto.

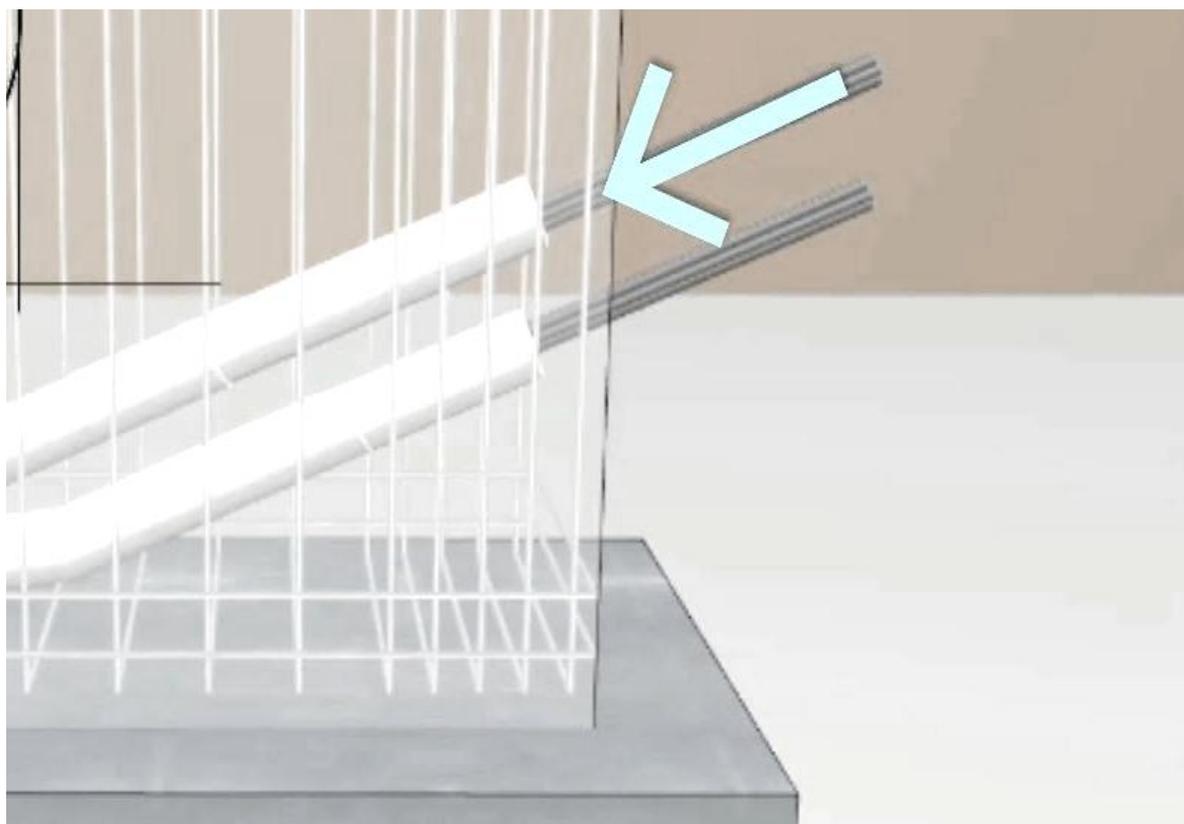


Fonte: Elaboração própria, 2020.

i) Perda de protensão: O aço no concreto protendido pode sofrer três tipos de perda da força de proteção. A primeira perda ocorre na pré-tração, devido ao atrito no desvio das armaduras, ao escorregamento na ancoragem da armadura, à relaxação da armadura e à retração do concreto. A segunda modalidade decorre das perdas imediatas, no momento em que o

concreto recebe a força de protensão, devido ao atrito, a acomodação das armaduras e ao encurtamento do concreto. A terceira perda pode ser verificada progressivamente, durante a vida útil da estrutura, devido à retração e fluência do concreto e relaxação do aço (FRANÇA, 1997). A imagem abaixo apresenta como ocorre o processo de perda de protensão de uma estrutura por escorregamento dos fios.

Figura 25 - Perda de protensão na estrutura.



Fonte: Elaboração própria, 2020.

j) Corrosão nas cordoalhas: A corrosão nas cordoalhas, adiante ilustrada, exige maior atenção e cuidado na sua realização, pois os seus fios possuem diâmetros pequenos, entre 4 e 9 mm, sendo estes submetidos a grandes tensões. Estes dois fatores combinados em um ambiente agressivo, gera maior probabilidade de ocorrer corrosão do elemento. Tal fenômeno é chamado de “corrosão sob tensão”.

Portanto, o aço tensionado, na presença de umidade em ambiente que contenha cloretos, sulfatos, sulfetos, nitratos e ácidos, começa a passar por um processo de corrosão que pode levar à ruptura, causando o colapso da estrutura.

Figura 26 - Corrosão das cordoalhas na estrutura.



Fonte: Elaboração própria, 2020.

5 ANÁLISE COMPARATIVA DOS SISTEMAS

A análise comparativa tem por objetivo evidenciar as diferenças entre os três métodos construtivos de lajes anteriormente explanados, apresentando resultados quantitativos de insumos necessários, viabilidade de execução, critérios de dimensionamento, porém sem grandes aprofundamentos teóricos, a fim de sintetizar e tornar mais objetiva a análise.

Com base na comparação dos métodos referenciados, os profissionais da área da construção civil, e até mesmo os investidores, podem avaliar e escolher qual método de construção melhor se adequa ao orçamento e ao projeto.

Na tabela abaixo são apresentadas as quantidades de materiais utilizados na execução de três lajes – maciça, nervurada e protendida, de dimensões 100 m². Esses dados foram adquiridos através do estudo de caso sobre a execução das três lajes em questão, obtidos com embasamento nas obras já citadas comentadas ao longo desta pesquisa.

No exemplo em análise, toma-se uma laje convencional, com espessura de 12 cm e concreto com F_{ck} de 25 MPa, para uma sobrecarga de 350 kg/m³, e uma laje protendida apresentando uma espessura de 14 cm, e concreto com F_{ck} de 30 MPa, para uma sobrecarga de 350 kg/m³.

Figura 27 - Tabela contendo o consumo de material por m² de laje.

ITEM	LAJE MACIÇA	LAJE NERVURADA	LAJE PROTENDIDA
Concreto (m ³)	0,158	0,106	0,185
Cordoalha (kg)	0	0	2,8
CA-50 (kg)	23,04	12,08	11,28
Forma (m ²)	1,62	0,92	1,46

Fonte: Elaboração própria, 2020.

Segundo Souza (1998a), a laje protendida é mais leve, limpa, permite a execução de vãos maiores, utilizando menor quantidade de materiais, eliminando a necessidade de vigas, e possui insumos mais baratos que uma laje convencional.

Para Souza (1998b), as lajes protendidas permitem estruturas mais esbeltas que as de concreto armado, possibilitando melhor aproveitamento da altura total, além de facultar o eventual acréscimo de mezaninos ou de mais um pavimento. No mesmo sentido, também

permitem vãos que seriam inviáveis de serem vencidos por estruturas em concreto armado, possibilitando variadas soluções arquitetônicas, com melhor aproveitamento dos espaços, e redução do número de pilares. As lajes, quando submetidas a fortes carregamentos, como cargas móveis, choques mecânicos e a vibrações, encontram na protensão a diminuição de possíveis efeitos danos, tais como a fissuração, bem como a preservação do aço em face da corrosão e a deterioração do concreto. O sistema de protensão reduz as tensões de tração provocadas pela flexão e pelos esforços cortantes aplicadas nas lajes (FRANÇA, 1997).

As lajes protendidas, quando comparadas às de concreto armado, apresentam uma considerável economia de insumos (concreto e aço), por utilizarem a seção transversal plena em serviço e materiais mais resistentes, além de possibilitarem a redução das cargas impostas às fundações devido à sua leveza estrutural (SOUZA, 1988a). A quantidade de aço necessária para a estrutura é de cerca de 1/3 (um terço) do que o gasto em uma estrutura concreto armado convencional.

As lajes protendidas, quando estão em processo de execução, possibilitam uma prova de carga, sendo o concreto e o aço submetidos a tensões superiores às que ocorrem nas cargas de serviços comuns. Outra faculdade das lajes em concreto protendido se refere à redução do tempo de construção das mesmas, devido à facilidade de execução das respectivas formas, o seu reaproveitamento e a não-utilização de vigas nas suas estruturas.

Conforme ensina Carvalho (2017), para que o concreto protendido seja de alta qualidade, necessita de maior densidade e de alta resistência, refletindo a boa qualidade físico-química de sua produção, colocação e compactação. Ademais, importa que os aços também possuam rigidez elevada, que podem ser de 2,5 a 3,5 vezes mais dispendiosos do que os utilizados em concreto armado.

O sistema de protensão necessita de equipamentos de tensão e dispositivos de ancoragem, que geralmente são de alto custo e carente de profissionais da área de projetos e cálculos estruturais e de mão de obra especializada. Ele não é tão viável financeiramente, quando destinado a estruturas de baixa geometria. Por fim, a execução do concreto protendido requer monitoramento constante em todas as fases de construção (SOUZA, 1988a).

5.1 Regulamentação normativa do concreto protendido no Brasil

O uso do concreto protendido nas lajes e demais estruturas registrou um aumento no Brasil, a partir dos anos 2000 (CARVALHO, 2017). Porém, ainda é subutilizado em determinadas regiões, devido ao desconhecimento do método construtivo, escassez de

profissionais habilitados para execução desse método e da mão de obra profissional e competente para tal laborar segundo os paradigmas peculiares a tal segmento construtivo. Apesar de haver normas brasileiras que regulamentam o método protendido pré-tracionado, esses documentos ainda não estão devidamente atualizados com a realidade que o método exige.

Há, também, a escassez de normas regulamentadoras brasileiras que venham a organizar, normatizar e padronizar o dimensionamento e a execução das estruturas em concreto protendido pós-tracionados moldados *in loco*, tornando necessária a busca de referências estrangeiras. Neste ponto, importa comentar que grande parte de projetos elaborados na atualidade são baseados em sistemas de *softwares*, também programados segundo normas e padrões (*standards*) estrangeiros.

Outro ponto relevante, e não menos importante, vem a ser a falta de implementação e ou aprofundamento dos estudos dessa modalidade construtiva nas grades curriculares acadêmicas, como conteúdo disciplinar regular da graduação em Engenharia Civil. Esta liberalidade por parte de algumas das Instituições de Ensino Superior (IES) brasileiras, quanto à disponibilização do conteúdo em comento aos seus discentes, possivelmente tem como desdobramentos: (I) a baixa capacitação (como prática, habilidade e competência) em sistemas protendidos e (II) o déficit de profissionais detentores de tal conhecimento, os quais adquirem as ferramentas necessárias para capacitação nesta área, após as suas graduações acadêmicas, em nível de Especialização ou Pós-graduação (Mestrado e Doutorado).

5.2 Usabilidades paisagísticas e arquitetônicas

O sistema de protensão permite a obtenção de grandes vãos por suportar carregamentos duas vezes maiores que o concreto armado convencional, tornando as lajes mais limpas (sem vigas). Assim, os vãos livres dão uma sensação de amplitude e segurança. Considerando a utilização de vigas da mesma altura e em uma mesma área da edificação, é possível dimensionar a viga protendida com a metade da altura, o que resulta em leveza da estrutura e aperfeiçoamento estético.

O concreto protendido, segundo Carvalho (2017), também possibilita melhorias em diversas modalidades de edificações, e nas mais variadas formas de construção, sendo utilizado desde barragens a pistas de aeroportos, pontes a estações de tratamento, dentre outras possibilidades.

Segundo as tendências construtivas recentes, contemplando a sustentabilidade aliada a projetos arquitetônicos integradores, ousados e competitivos, o emprego de concreto pretendido também reflete as escolhas de profissionais e empresas dos ramos de Construção e Engenharia Civil, por métodos mais produtivos, de melhor qualidade e menor tempo de execução. Tais critérios também incentivam o abandono dos métodos tradicionais e a adesão metodologias mais adequadas à essência de cada projeto, visando garantir, ao mesmo tempo, a eficiência e economia (CARVALHO, 2017).

6 CONCLUSÕES

A metodologia comparativa empregada durante a pesquisa do presente Trabalho de Conclusão de Curso, em sede de Monografia, permitiu analisar os sistemas de protensão, compreendendo as lajes protendidas pré-tracionadas, em suas variáveis aderente e não-aderente, no escopo do aprofundamento das importantes características quanto à usabilidade do concreto protendido, sendo as de maior relevância a sua fraqueza na tração e sua força na compressão. Os avanços tecnológicos no campo da Engenharia Civil já apresentam alternativas para a introdução de barras de aço de alta resistência em membros de concreto. Usando este método, é possível superar o problema de tensão de tração, permitindo ao engenheiro abarcar várias possibilidades, tais como reduzir o tamanho do membro aumentando o comprimento do vão, dentre outras.

A pesquisa também contemplou o estudo dos métodos construtivos em concreto armado, considerando a edificação de lajes maciças e lajes nervuradas como as amostras selecionadas como objetos de análise. Tal abordagem teve por função o estabelecimento de um eixo comparativo em relação ao concreto protendido. Em seguida, foram trazidas a comento as patologias de ambas as modalidades de construção, complementando as percepções em relação a critérios de escolha, tais como durabilidade, trincas e fissuras, porosidade, infiltração, rachaduras, carbonatação, destacamento, gretamento e desbotamento.

Ao final, foi realizada uma análise comparativa dos sistemas (concreto tradicional e concreto protendido), na qual restou demonstrado que a seleção do concreto protendido para a execução de um projeto, pode ser a mais adequada e econômica em relação ao sistema convencional de concreto armado, quando considerados o volume de materiais e a mão de obra empregados, sobretudo em projetos de médio e grande portes, além de possuir maior durabilidade e suportar cargas maiores.

O concreto protendido é uma das construções mais confiáveis, duráveis e amplamente utilizadas em projetos de construção e em pontes - em todo o planeta. Tornou-se significativo contributo para a indústria da construção, a indústria de fabricação de pré-moldados e a indústria de cimento, como um todo. Tais circunstâncias promoveram a uma variedade de aplicações estruturais, incluindo edifícios, pontes, navios de energia nuclear, torres de TV e perfuração *offshore* para plataformas de petróleo. A utilização do concreto protendido, como melhoramento natural ao método de construção baseado em concreto armado, popularizou-se no Brasil, inclusive em execuções de projetos de médio e grande portes, além de ter incorrido em barateamento de custos.

Deste modo, a presente pesquisa também pretende deixar uma contribuição à democratização dos estudos em concreto (tradicional, armado ou em sistemas de protensão), na expectativa de que sirva de base consultiva e incentive o conhecimento desta modalidade construtiva, que não fica limitada a estes estudos, mas prossegue em contínuo aperfeiçoamento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-6118 - Projeto e Execução de Obras de Concreto Armado**. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-6120 - Cargas para o Cálculo de Estruturas de Edificações**. Rio de Janeiro: ABNT, 1980.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-7483, Cordoalhas de aço para estruturas de concreto protendido – Especificação**. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-8800 - Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios**. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-9062 - Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado**. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

CARVALHO, Roberto Chust. **Estruturas em concreto protendido: cálculo e detalhamento**. São Paulo: Pini, 2017.

CHOLFE, Luiz. **Concreto Protendido: teoria e prática**. 2 ed. São Paulo: Oficina de Texto, 2018.

COÊLHO, Ronaldo Sérgio de Araújo. **Concreto armado na prática**. São Luís: UEMA Editora, 2008.

FRANCA, Argemiro. B. M; FUSCO, Péricles. B. **As lajes nervuradas na moderna construção de edifícios**. São Paulo: AFALA & ABRAFEX, 1997

FUSCO, Péricles Brasiliense. **Técnica de armar estruturas de concreto**. 2 ed. São Paulo: Pini, 2013.

HANAI, João Bento de. **Fundamentos do concreto protendido**. São Carlos: EDUSP, 2005.

LEONARDT, Fritz. e MONNIG, Eduard. **Construções de Concreto**. 2 ed. Rio de Janeiro: Editora Livraria Interciência, 1977.

PFEIL, Walter. **Concreto protendido**. 1 ed. Rio de Janeiro: LTc, 1984.

PILLOTO NETO, Egydio. **Caderno de receitas de concreto armado: lajes**. 3 ed. Rio de Janeiro: LTc, 2018.

RIBEIRO, Daniel Vêras. **Corrosão e degradação em estruturas de concreto: teoria, controle e técnicas de análise e intervenção**. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2018.

ROCHA, Anderson Moreira da. **Concreto Armado**. São Paulo: Nobel, 1986.

RUSCH, Hubert. **Concreto armado e protendido**: propriedades dos materiais. Rio de Janeiro: Editora Campus, 1980.

SALES, José Jairo de. **Sistemas estruturais**. 2 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.

SOUZA, Vicente Custódio de. **Lajes em concreto armado e protendido**. 2 ed. Rio de Janeiro: EDUFF, 1998a.

SOUZA, Vicente Custódio de. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo: Pini, 1998b.