

## **ANALISE COMPARATIVA ENTRE LAJE NERVURADA EM CONCRETO ARMADO E CONCRETO PROTENDIDO**

**FERNANDO, Natalia Siqueira Ortiz**<sup>1</sup>; (siqueiraeng@outlook.com)  
**BROGIATTI, Rosane Ferreira Lima**<sup>2</sup>; (RosaneLima@ufgd.edu.br.)

**RESUMO** - A finalidade deste trabalho é a comparação entre lajes nervuradas em concreto armado e protendido, avaliando itens como a economia, execução, desempenho, vantagens e desvantagens no uso das mesmas. Não houve a intenção de se aprofundar na análise estrutural, nem tampouco abranger grandes estudos de caso. Primeiramente, é mostrado um breve histórico e análise das lajes nervuradas em geral, a seguir foi feita uma apresentação sobre concreto armado e protendido, baseando-se em bibliografias onde foram analisados artigos, tabelas, empresas especializadas, livros e aulas sobre tais matérias. Após tal análise foi realizado um estudo entre algumas empresas especializadas em tal tecnologia, onde foi possível perceber a vantagem do uso da protensão sobre o concreto armado, comprovando uma grande redução no tempo de execução e principalmente no consumo de materiais, trazendo benefícios econômicos tanto na compra de materiais quanto na mão de obra.

**PALAVRA-CHAVE:** Comparar; Mão-de-obra, Estrutural.

**ABSTRACT:** The purpose of this work is to compare ribbed slabs in reinforced and prestressed concrete, evaluating items such as economy, execution, performance, advantages and disadvantages in their use. It was not intended to deepen the structural analysis, nor to cover large areas. case studies. First, a brief history and analysis of the ribbed slabs in general is shown, followed by a presentation on reinforced and prestressed concrete, based on bibliographies in which articles, tables, specialized companies, books and classes on such materials were analyzed. After this analysis, a study was carried out among some companies specialized in this technology, which showed current market data and productivity indexes, where it was possible to realize the advantage of the use of prestressing on reinforced concrete, proving a great reduction in the execution time. and mainly in the consumption of materials, bringing economic benefits both in the purchase of materials and labo

---

<sup>1</sup> Discente, curso de Engenharia Civil – (UFGD/DOURADOS)

<sup>2</sup> Docente, curso de Engenharia Civil – Orientador (UFGD/DOURADOS)

## 1. INTRODUÇÃO

As construções estão se tornando cada vez mais elaboradas, a evolução arquitetônica e a necessidade de vãos maiores fez com que as lajes maciças tornassem financeiramente inviável, sendo assim desinteressante, entra o papel do concreto protendido e também das lajes nervuradas, que conseguem melhorar o desempenho de estruturas e tornaram-se uma ótima opção, por apresentar uma lista ampla de vantagens, como por exemplo suporte de vãos maiores, este método vem se popularizando no Brasil, a partir do final do século XX e início do século XXI .

“Hoje, a tecnologia para a protensão conta com o emprego de materiais de altas resistências (aço e concreto) e empresas especializadas na confecção de cabos, sistemas de ancoragens e execução da protensão” (LEONHARDT, 1983). Com o surgimento do concreto protendido no século XX, afim de melhorar as propriedades do concreto e o desempenho das estruturas, Franco (1994) constatou que esse sistema torna-se mais competente quando aplicado fios de aço de alta resistência sob elevadas tensões para superar as perdas de protensão.

De acordo com Franco (1994) uma das fases mais importantes do concreto é a escolha do tipo de laje, a escolha deste item depende de alguns fatores como, dimensionamento dos vãos, arquitetura da obra, condições de execução, entre outros, os tipos escolhidos com mais frequência são lajes maciças com vigas, lajes lisas e a laje nervurada.

A relevância do artigo está atrelada à necessidade de profissionais da construção civil agregarem ao seu conhecimento o diferencial e quando pode ser usada uma estrutura em laje nervurada de concreto armado e protendido, que resultam em construções arrojadas e mais leves, rápidas e que atendam aos critérios de projeto arquitetônico com mais facilidade, por se adaptarem a vãos maiores devido ao peso estrutural baixo, quando comparado aos outros métodos convencionais.

Nem sempre a protensão é bem vista na construção civil, devido a sua necessidade de mão-de-obra especializadas para sua execução, porém isto advém da falta de informações, sendo esse o objetivo de estudo do trabalho, estudo comparativo entre laje nervurada em concreto armado e em concreto protendido.

Existem muitas discussões sobre a viabilidade dessa tecnologia, diante de inúmeros elementos construtivos que existem atualmente, por meio deste artigo será mostrado alguns pontos positivos e negativos, alternativas que influenciam diretamente na obra tanto na parte financeira como no cronograma.

## **2. OBJETIVO GERAL**

Apresentar os conceitos e análises sobre essa tecnologia pouco utilizada na região de Dourados, um estudo comparativo entre laje nervurada em concreto armado e em concreto protendido, e a partir disso estabelecer quais os casos esta tecnologia tornasse a melhor e mais vantajosa opção.

## **3. OBJETIVO ESPECIFICO**

Para compreender as viabilidades da laje nervurada em concreto armado e protendido, estabelecemos os seguintes pontos;

- Apresentação da viabilidade do uso da Laje nervurada de concreto armado e protendido;
- Identificação de suas vantagens e desvantagens;
- Custo financeiro baseado na SINAPI do Mato Grosso do Sul;

## **4. JUSTIFICATIVA**

Por se tratar de uma recente tecnologia que se mostra avançando com os anos, a relevância desse artigo, surge com o constante crescimento do uso do concreto armado e protendido na construção civil, torna-se cada vez mais evidente, o estudo do tema dentro das universidades que veem da necessidade de exploração e pesquisas voltadas para a área, tendo em vista que no cenário brasileira grande parte do conhecimento científico advém das universidades federais, sendo assim para que novos profissionais tenham mais acesso a novas tecnologias e informações, partimos para pesquisa sobre o concreto armado e o concreto protendido, método que ganhou força no Brasil no final do século XX.

O método convencional continua sendo o mais utilizado nas construções, no entanto as obras vêm se tornando cada dia mais relevantes, e faz-se evidente a realização de pesquisas nesta área, buscando mostrar os parâmetros deste método construtivo. Pois na construção civil é necessário sempre estar reestruturando e munindo de novos instrumentos afim de melhor qualidade, economia, durabilidade e segurança, e a laje nervurada de concreto armado e protendido são excelentes alternativas estruturais, visando oferecer embasamento teórico sobre o uso das mesmas, a fim de promover novas alternativas estruturais, já que ambas permitem maior eficiência e redução de custos das obras.

## 5. REFERENCIAL TEORICO

### 5. 1 ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE LAJE NERVURADA DE CONCRETO ARMADO E PROTENDIDO

Segundo Carvalho (2012), o concreto é um material de construção resultante de mistura de agregados (pedra e areia) no qual constitui cerca de 75% de seu material, aglomerantes (cimento) e água, quando ainda fresco tem o corpo plástica, podendo ser moldado, suas principais propriedades são a consistência, trabalhabilidade e homogeneidade, determinados a partir de ensaios, fisicamente o concreto representa um material capilar pouco poroso, sem continuidade da massa, no qual se acham presentes os três estados da agregação – sólido, líquido e gasoso, o autor explica o objetivo do concreto estrutural e o porquê de suas grande aplicação.

“ O objetivo do preparo do concreto estrutural é de se fazer com que se tenha o máximo de material sólido com grande resistência e com poucos espaços vazios. Isto é obtido quanto maior for a hidratação dos materiais pulverentos do cimento e, de maneira simplificada, quanto mais estes envolverem e aderirem aos sólidos presentes ” (CARVALHO, 2012, p.78).

Dito isto, Libânio M. Pinheiro (2004) diz que, os principais fatores que influenciam nas propriedades do concreto são o tipo e quantidade de cimento; Qualidade da água e relação água-cimento; Tipos de agregados, Presença de aditivos e adições; Procedimento e duração da mistura; Condições, duração de transporte e de lançamento; Condições de adensamento e de cura; Forma e dimensões dos corpos-de-prova; Tipo e duração do carregamento; Idade do concreto; Umidade; Temperatura etc

Além disso Almeida (2012) afirma que se destacam três propriedades mecânicas do concreto que são, a resistência tração, compressão e modulo de elasticidade

- Modulo de elasticidade:  $E_{cs}$ , obtido segundo ensaio ABNT/NBR 8522/2017<sup>3</sup>, é utilizado nas análises elásticas do projeto, especialmente para determinação de esforços solicitantes e verificação de limites de serviço.
- Resistência à compressão: Denominada  $F_c$  é a característica mais importante do concreto, é determinada por corpos de prova padronizados seguindo

---

<sup>3</sup> NBR8522 Estabelece os métodos para determinar em corpos de prova cilíndrico em concreto já endurecido, os módulos de elasticidade e deformação a compressão

as normas da ABNT/NBR 5738/2015<sup>4</sup>, afim de obter resultados de diferentes concretos para serem comparados, é importante ressaltar que o fator água/cimento, idade do concreto, forma e dimensão do corpo de prova e qualidade dos materiais podem influenciar na resistência a compressão.

- Resistência à tração: Denominado FCK, a resistência à tração depende de vários fatores, principalmente da aderência dos grãos dos agregados com a argamassa e sua resistência à tração é relativamente pequena, por isso a necessidade de se adicionar armadura à peça de concreto, resultando em um concreto armado.

De acordo com Bastos (2006) pelo concreto apresentar baixa resistência a tração é preciso utiliza-lo com um material de alta resistência a tração, assim surge o concreto armado, envolvendo o fenômeno da aderência desses materiais, pode-se definir o concreto armado como “a união do concreto simples e de um material resistente à tração (envolvido pelo concreto) de tal modo que ambos resistam solidariamente aos esforços solicitantes”, sua estrutura é composta por concreto e por uma estrutura de aço por dentro, onde as barras da armadura absorvem as tensões de tração e o concreto absorve as tensões de compressão utilizada em obras na qual não necessitam de estruturas muito fortalecidas, médio e baixo porte, é um material utilizado no mundo todo, isso se dá pelas amplas características positivas, aqui no Brasil por exemplo é um material de baixo valor financeiro e fácil acesso, é um material duradouro, favorece a arquitetura por ser moldável e relativamente sua construção pode ser rápida, seguro contra o fogo, impermeável e resistente a choques e vibrações, seus problemas com fadigas são menores e resistentes a corrosão, mas o concreto armado também possuem suas desvantagens sendo como principal item o peso próprio  $\gamma_{conc} = 25 \text{ kN/m}^3$ , reformas e adaptações são complicadas de serem feitas e pode haver o aparecimento de fissuras, por fim mas não menos importante transmite calor e som.

A ABNT/NBR 6118/2014 (item 3.1.3) define: Elementos de concreto armado: “aqueles cujo comportamento estrutural depende da aderência entre concreto e armadura e nos quais não se aplicam alongamentos iniciais das armaduras antes da materialização dessa aderência”.

Vasconcelos (2010) explica que a armadura do concreto armado é chamada “armadura passiva”, o que significa que as tensões e deformações nela aplicadas devem-

---

<sup>4</sup> NBR5738 Deverá como deve ser o processo para moldagem e cura dos corpos de prova cilíndricos e prismáticos de concreto, não sendo aplicada em concretos com abatimento igual a zero ou misturas relativamente secas como concretos para barragens e compactado com rolo.

se exclusivamente aos carregamentos aplicados nas peças onde está inserida, " qualquer armadura que não seja usada para produzir forças de protensão, isto é, que não seja previamente alongada".

Já no concreto protendido, de acordo com o dicionário da Engenharia Civil pode-se entender por armadura passiva, a armadura que não é usada para fazer força de protensão, ou seja, ela não se alonga, como a armadura de concreto armado comum, já a armadura ativa, feita por barras, fios isolados e cordoalhos tem a função de produzir força de protensão, ou seja, ela ativa um pré alongamento, em outras palavras a maior diferença entre uma armadura ativa e passiva em concreto protendido, é a pré-tração das barras de aço, passando a aplicar uma força de compressão a mais no concreto, aplicando maior resistência a tração que é um item negativo do concreto.

De acordo com Carvalho (2012) o concreto protendido apresenta algumas vantagens em relação ao concreto armado, pois além do aço interior possui cabos de aço tracionados e ancorados com a função de aumentar a resistência, tem a capacidade de ser cinco vezes mais resistentes que o concreto tradicional, pode obter redução nas tensões de tração provocadas pela flexão e pelos esforços cortantes, por este ponto este tipo de concreto é mais usado em obras maiores afim de evitar desmoronamento, fissurais, controle das deflexões, e rachaduras, suporta grandes vãos (e para o mesmo vão reduz a altura necessária), e capacitado para suportar construções como garagens pontes, edifícios e pisos industriais, possui a estrutura mais leve, boa durabilidade, pequenos custos de manutenção, boa resistência ao fogo, menores deformações que as estruturas similares, fletidas, estruturas com controle da propriedade dos materiais aço e concreto (como o aço e o concreto são colocados sob carga durante a protensão, costuma-se afirmar que a estrutura protendida se apresenta com a resistência de seus materiais testada), em contrapartida é um sistema não tão popular, o que eleva seu custo, em grandes centros este sistema já é utilizado com mais frequência, e mais viável financeiramente, devido existência de tecnologia e mão de obra especializada.

Ainda seguindo as conclusões de Carvalho (2012), ele conclui que a armadura longitudinal principal trabalha mesmo sem a retirada do escoramento, pelo fato de que o aço de protensão é distendido por macacos hidráulicos de protensão, externos à estrutura, assim a armadura entra em ação independentemente da movimentação do concreto, causando na estrutura uma força contrária à flexão, obtendo maior utilização da mesma quanto à compressão. Dessa maneira, a armadura de protensão é chamada de "ativa".

Considerando o mecanismo de aderência entre a armadura de protensão e o concreto, a ABNT/NBR 6118/2014 classifica o Concreto Protendido em três tipos: com aderência inicial, com aderência posterior e sem aderência.

- **Concreto com armadura ativa pré-tracionada (protensão com aderência inicial):** A pré tração com aderência acontece quando o pré-alongamento da armadura (ativa de protensão) 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; a ancoragem no concreto realiza-se só por aderência (ISHITANI, 2002).
  - **Concreto com armadura ativa pós-tracionada com aderência (protensão com aderência posterior):** ocorre quando a aderência entre a armadura e o concreto é iniciada após o endurecimento do concreto, sendo utilizadas, como apoios, partes do próprio elemento estrutural, criando posteriormente aderência com o concreto de modo permanente, por meio da injeção das bainhas; (CARVALHO, 2012)
  - **Concreto com armadura ativa pós-tracionada sem aderência (protensão sem aderência):** Concreto protendido em que o pré-alongamento da armadura ativa é realizado após o endurecimento do concreto, sendo utilizados, como apoios, partes do próprio elemento estrutural, mas não sendo criada aderência com o concreto, ficando a armadura ligada ao concreto apenas em pontos localizados, contando com uma graxa e a própria bainha para a proteção da armadura contra efeitos externos. (HANAI, 2005).

De acordo com Castro (2010), Lajes são elementos estruturais tridimensionais planos. Elas sofrem a ação de carregamentos externos normais à suas faces, há vários tipos de lajes no mercado atualmente, a laje nervurada em especial vem se popularizando de acordo com a evolução arquitetônica, segundo Vasconcelos (2010) isto ocorre principalmente por esta tecnologia ser capaz de proporcionar grandes vãos, além disso os vazios deste tipo de tecnologia tornam a estrutura mais leve e oferece o crescimento da altura útil da construção, ou seja, “a distância entre o centro de gravidade da armadura tracionada e a face comprimida da seção, depende principalmente do cobrimento da armadura” (BASTOS, 2015)

A construção deste tipo de laje podem ser realizadas por duas maneiras, segundo Pretto (2013), a primeira e com o uso de moldes de polipropileno, para a realização deste método é necessário a utilização de escoras, disponíveis para compra ou aluguel por diversas empresas juntamente com os moldes, ambos são oferecidos em inúmeras dimensões e alturas, tais escoras devem ser apoiadas sobre pranchões de madeira, afim de evitar que o solo ceda durante a concretagem, as escoras são posicionadas entre as longarinas, que apoiam as bordas das cubetas, para após 72h da cura do concreto ser realizada a desforma dos moldes, o uso de desmoldantes<sup>5</sup> podem ser de grande valia, como mostrado na figura 1 e 2.

**Figura 1 – Formas de Polipropileno**



Fonte: PRETTO(2013)

**Figura 2 - Detalhe das formas de polímeros sobre escoramento.**



Fonte: RIOS (2008)

O segundo tipo de construção se faz utilizando o material inerte (como EPS, tijolos entre outros), quando concretados os espaços vazios que ficaram na divisão entre esses materiais inertes formaram nervuras e acima a mesa de concreto ou seja, apropriam-se de

---

<sup>5</sup> Desmoldantes, é uma solução que conserva o estado do material utilizado para moldar o concreto e facilita a desforma, por impedir restos de materiais ficarem colados nas formas permite maior reaproveitamento do molde na construção, isso é possível porque o desmoldante – aplicado no estado líquido – cria uma camada fina e oleosa, impedindo o contato entre os materiais, o uso deste material não é obrigatório, ficando a critério do cliente utiliza-lo ou não.

vigotas pré-moldadas sem a necessidade de utilizar moldes, após a concretagem as vigotas ocupam os papéis das nervuras.

Segundo a ABNT/NBR 6118/2014, entende-se por lajes nervuradas "lajes moldadas no local ou com nervuras pré-moldadas, cuja zona de tração é constituída por nervuras entre as quais pode ser colocado material inerte "

Florio (2004) afirma que qualquer produto inerte pode ser utilizado para a função de enchimento, apesar de não ser necessário para a resistência da laje, a boa qualidade deste material é importante para a segurança, pelo fato de que os blocos de enchimentos são responsáveis por transferir o peso do concreto ainda fresco às vigotas que se apoiam sobre as linhas de escora.

Vasconcelos (2010) ressalta que a laje nervurada se destaca por seus pontos positivos: resistência a tração e compressão, capacidade de atender maiores vãos das estruturas, quando preenchidas com EPS obtém maior acústica, maior produtividade e agilidade na obra, tem menor uso de energia comparado ao método convencional e design arquitetônico diferente e inovado.

Ele ainda diz que apesar dos pontos positivos a laje nervurada necessita de maior atenção em certos pontos como, um maior cuidado com as cubetas para que não haja perda e quebra do material, para cada ocasião deve ser analisado o melhor tipo de material a ser utilizado, possuem menor rigidez horizontal e, portanto, podem não ser indicadas para edifícios muito esbeltos, quando tem várias instalações sob a laje o relevo das cubetas passa a não ser um ganho e começa a ser um ponto negativo na construção.

## **5.2 PROBLEMÁTICAS OCORRIDAS DENTRO DA PESQUISA REALIZADA.**

Por conta dos materiais e mão-de-obra especializadas, essa opção torna -se financeiramente inviável, tal tecnologia vem se popularizando vagorosamente, apesar dos vários pontos positivos, a maioria ainda prefere optar pelo método clássico, laje maciça de concreto armado, devido ao conhecimento e confiança que já possui.

Segundo Vasconcelos (2010) "A protensão envolve a aplicação de grandes forças de forma concentrada na estrutura, e deve ser executada por equipe especializada. Sua mão-de-obra requer um nível razoável de treinamento e qualificações", a partir disso observa-se a problemática de que implantar uma nova tecnologia passa a ser um desafio, pois são poucos os que estão dispostos a investir em novos métodos construtivos, a falta de divulgações a respeito das lajes nervuradas e do concreto protendido, dificulta o acesso,

o que causa um desconhecimento dos seus pares e de seu público alvo, grupos comuns dentro de outros meios sociais.

Este método tem alta capacidade de se tornar competitivo no mercado, entre tanto ainda não se popularizou, pois além da dificuldade de apresentar novas técnicas e possuir vantagens apresenta ainda alguns pontos negativos, como maior dificuldade na compatibilização com outras etapas de projeto, como sistemas de instalações prediais – elétrica e hidráulica, por exemplo, dificuldade em projetar uma modulação única para o pavimento todo, de maneira que o espaçamento entre as nervuras seja sempre o mesmo, e também por necessitar de um cálculo de elementos diferenciado, no canteiro de obra, exige cuidado e atenção na concretagem, para que não haja áreas vazias, exigindo atenção no processo de vibração do concreto<sup>6</sup>.

Estes pontos negativos dificultam a popularização desta tecnologia que adentra o mercado mesmo com difícil acesso, os aspectos que dificultam o diálogo com outras áreas, como hidráulica ou elétrica, proporcionam relutância dentro do campo, pois dificultam sua execução, entretendo os pontos positivos que ela proporciona para os clientes, acabam aos poucos possibilitando sua entrada no mercado.

## 6. METODOLOGIA

Este trabalho destaca o estudo das recomendações das normas, ações em lajes de concreto armado e protendido, materiais de enchimento e detalhamento das lajes nervuradas, que é feito com o auxílio de materiais disponibilizados por empresas especializadas nestes produtos como a EVEHX, Atex e Tchnical Manage, por pesquisas, artigos, e livros já publicados por outros autores, tudo isto será feito de acordo com a norma, Projetos de estruturas de concreto - NBR 6118/2014<sup>7</sup>

Todavia, é importante ressaltar que este tipo de pesquisa exige uma atitude crítica sobre o assunto, levando em consideração a vasta produção de informações sobre tal conteúdo, tudo que foi pesquisado e estudado para que não seja repassada informações inconstantes.

No cenário atual de Dourados a protensão *in loco* não é realizada por empresa alguma, possui apenas empresas que fabricam peças pré-moldadas, foi realizado orçamentos comparativos em laje nervurada de concreto armado e protendido, afim de

---

<sup>6</sup> Vibração do concreto consiste na movimentação do concreto tendo como objetivo diminuir os números de vazios, bolhas e água em excesso, para então obter um concreto compacto

<sup>7</sup> NBR 6118. Esta Norma fixa os requisitos básicos exigíveis para projeto de estruturas de concreto simples, armado e protendido, excluídas aquelas em que se empregam concreto leve, pesado ou outros especiais.

demonstrar, para que possamos enxergar de maneira mais clara a diferença de custos de tais métodos.

É mostrado também aplicação dessa em um estudo de caso de um pavimento de laje nervurada em concreto armado e protendido *in loco* onde será feita uma análise comparativa de dados quantitativos e índices de produtividade com o auxílio da TCPO (Tabelas de Composição de preços para Orçamentos), e SINAPI (Sistema Nacional de Pesquisa de Custo e Índices).

## **7. RESULTADOS E DISCUSSÕES**

Portanto, após as pesquisas e estudos realizados sobre o assunto, percebe-se que a escolha do sistema construtivo muitas vezes pode ter ligação com a cultura da região, em Dourados por exemplo o ramo de pré-moldados é o mais utilizado nas obras, pois é o método em que os profissionais da região sentem mais segurança para trabalhar, por conta dessa cultura o concreto protendido acaba sendo oprimido, e não sendo desfrutado de suas vantagens oferecidas para a Engenharia Civil, resultando em poucos profissionais com experiência em tal tecnologia e provoca uma insegurança nas construtoras no momento de investir em novos materiais e métodos construtivos.

Segundo algumas empresas especializadas em tal tecnologia, o valor por m<sup>2</sup> em função de algumas variáveis como a altura da cubeta, o pé-direito a ser timbrado, entre outras, a título de informação o material referente ao sistema de moveis de polímero, que é fornecido para a execução de lajes nervuradas obtém custo de locação mensal entre R\$46,00 a R\$52,00 por m<sup>2</sup>, sendo estas empresas que analisam o projeto e informam ao cliente o tamanho da forma que se adaptara melhor em determinada obra.

Feita uma média dos custos relacionados aos dois sistemas construtivos, concreto armado e concreto protendido de pós-tração sem aderência, resultou nas tabelas mostradas a baixo (quadro 1 e 2), os índices de produtividade obtidos nelas foram retirados empresas atuantes na construção civil e com especialidade em tais sistemas construtivos, a mão de obra e o sistema de cimbramento não serão orçados, sendo assim o suporte que sustenta as cubetas também não será considerado, o frete das fôrmas plásticas não será incluso no orçamento.

**Quadro 1** – Custo e produtividade por metro quadrado no sistema de concreto armado.

CONCRETO ARMADO						
ITEM	QUANTIDADE	UNIDADE	CUSTO UNITARIO	TOTAL	INDICE DE PRODUTIVIDADE	TOTAL
Concreto fck25	0,307	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	R\$ 305,26	R\$ 93,71	1,3 h/m <sup>3</sup>	0,302 h/m <sup>2</sup>
Aço CA-50	23,94	kg/m <sup>2</sup>	R\$ 3,84	R\$ 91,93	0,06 h/kg	1,058 h/m <sup>2</sup>
Moldes	0,63	m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>	R\$ 5,00	R\$ 3,15	0,30 h/um	0,392 h/m <sup>2</sup>
Aluguel de formas	1,89	m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>	R\$ 52,00	R\$ 98,28	1,50 h/m <sup>2</sup>	1,27 h/m <sup>2</sup>
TOTAL				R\$ 287,07		3,02 h/m <sup>2</sup>

Fonte: Autor

**Quadro 2** – Custo e produtividade por metro quadrado no sistema em concreto protendido

CONCRETO PROTENDIDO						
ITEM	CONSUMO POR M <sup>2</sup>	UNIDADE	CUSTO UNITARIO	TOTAL	INDICE DE PRODUTIVIDADE	TOTAL
Concreto	0,227	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	R\$ 305,26	R\$ 69,29	1,3 h/m <sup>3</sup>	0,251 h/m <sup>2</sup>
Aço CA-50	12,5	kg/m <sup>2</sup>	R\$ 3,84	R\$ 48,00	0,06 h/kg	0,587 h/m <sup>2</sup>
Aço CP 190	3,97	kg/m <sup>2</sup>	R\$ 9,12	R\$ 36,21	0,05 h/kg	0,114 h/m <sup>2</sup>
Moldes	1,16	un/m <sup>2</sup>	R\$ 5,00	R\$ 5,80	0,30 h/n	0,392 h/m <sup>2</sup>
Aluguel de formas	1,24	m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>	R\$ 52,00	R\$ 64,48	1,50 h/m <sup>2</sup>	1,084 h/m <sup>2</sup>
TOTAL				R\$ 223,78		2,43 h/m <sup>2</sup>

Fonte: Autor

A execução das lajes nervuradas protendidas segue o mesmo processo executivo da laje nervurada convencional, acrescentando somente as cordoalhas engraxadas, e efetuando a protensão dos mesmos após a laje ser concretada. O uso da protensão nas lajes nervuradas, traz grandes benefícios as obras como a flexibilidade de utilização, vãos maiores, menor consumo de concreto e redução do custo final da obra.

**Quadro 3** – Comparativo de custo e produtividade por m<sup>2</sup> nos dois sistemas.

ITEM	PREÇO POR M <sup>2</sup>	ECONOMIA	INDICE DE PRODUTIVIDADE	REDUÇÃO NO PRAZO
Concreto armado	R\$ 287,97	R\$ 64,19	3,02 h/m <sup>2</sup>	0,19 h/m <sup>2</sup>
Concreto Protendido	R\$ 223,78		2,43 h/m <sup>2</sup>	

Fonte: Autor

Afim de demonstrar com mais nitidez a diferença dos dois métodos construtivos, concentrando informações que se referem ao tipo de material utilizado, foi realizado o exemplo de um edifício com lajes de aproximadamente 1,400m<sup>2</sup> e 15 pavimentos, obtemos então 21,000m<sup>2</sup> de laje em toda a edificação multiplicando essa área pela diferença de custo dos sistemas construtivos apresentados, foi obtida uma economia de aproximadamente R\$ 1.347.99 no total da obra a seguir.

**Quadro 4** – Diferença de custo em obra

ITEM	PREÇO POR M <sup>2</sup>	OBRA	TOTAL
Concreto Armado	R\$ 287,97	21000 m <sup>2</sup>	R\$ 6.047,37
Concreto Protendido	R\$ 223,78		R\$ 4.699,38
Diferença	R\$ 64,19		R\$ 1.347,99

Fonte: Autor

Comparando os valores obtidos foi possível concluir que há uma redução no prazo de obras, com isso reduz honorários de empregados, energia, aluguel de máquinas, entre outros itens, a quantidade de materiais também é menor em relação a laje nervurada de concreto armado, em média 30% quando comparado ao método convencional de laje maciça, colaborando assim com o meio ambiente. Vasconcelos (2010) diz que o consumo de materiais se mostra muito importante, já que isso indica um projeto otimizado, em que se constrói uma maior área útil com menos material.

É preciso ressaltar que na composição das tabelas não foi considerada as necessidades de material inerte como o EPS por exemplo, pois a escolha de utilizar este material é do cliente, e não interfere na estrutura, apenas na estética do ambiente.

É de suma importância ressaltar que cada estrutura tem suas indicações de uso e suas propriedades, sendo assim apenas os custos de materiais não determinam qual o melhor sistema a ser aplicado, devendo assim todos os fatores serem analisados com muita cautela, atualmente apesar da pouca divulgação existem programas que nos mostra com mais nitidez este processo.

## **8. CONCLUSÃO**

No decorrer deste trabalho foi possível notar que o sistema de protensão já é competitivo no mercado, principalmente pelo seu custo financeiro que vem se tornando mais acessível, conforme esta tecnologia se populariza e expandi a mão-de-obra especializada. Também foi perceptível a importância das normas técnicas no andamento do projeto, como este trabalho não teve como objetivo generalizar todas as situações e resultados obtidos, podendo ressaltar que a escolha de um sistema estrutural depende de várias variáveis.

Portanto este Trabalho de conclusão de curso (TCC) teve como finalidade abranger as informações para profissionais da construção civil afim de colaborar para tomada de decisão do elemento escolhido, além do mais sugere-se que este estudo seja aprofundado para a análise em efeitos estruturais.

Como já dito durante este projeto o aspecto mais importante em uma obra é o valor final, item que pode ser alterado por diversos fatores que vão além de materiais utilizados, variando da finalidade da edificação, funcionalidade, ações a serem atendidas, normas a serem respeitadas, perspectiva e prazo de execução, são itens que devem ser analisados minuciosamente pois podem inviabilizar a utilização de um método estrutural.

Foi visto que com o tempo e a popularidade a protensão vem ocupando cada vez mais espaço no mercado, em cidades grandes principalmente, pelo fato de ser mais

acessível, e sendo usado as vezes até em construções residenciais, o principal motivo para esta escolha é a disponibilidade de poder proporcionar vãos maiores, tendo grande economia a partir de 7 metros em uma laje, além da agilidade na construção.

Para vãos menores que 7 metros, no quesito economia é menos vantajoso, porém tem como ponto positivo a capacidade de ampliar as possibilidades arquitetônicas da construção, além de colaborarem com a preservação do meio ambiente, pois os moldes de polímeros são reutilizáveis e podem ser reciclados.

Outro ponto importante na laje de concreto protendido é a capacidade de reduzir a altura, podendo proporcionar a diminuição da altura da construção obtendo as mesmas capacidades e propriedades ou podendo ampliar estruturas de pavimentos sem alterar a altura total, por exemplo em uma estrutura de 20 pavimentos em concreto armado é possível construir 21 pavimentos em concreto protendido, ou optar por 20 pavimentos e obter uma economia significativa, pois será utilizado menos materiais, tempo e consequentemente menos mão de obra.

Além disso pelo concreto protendido oferecer uma redução no uso de materiais, a estrutura se faz mais leve, sendo assim transmitira menos esforços ao solo, evidentemente a fundação será menor e implicara em grande economia no valor total da obra.

No entanto uma análise comparativa de dados quantitativos não garante que uma alternativa é mais benéfica que a outra, para tal conclusão é preciso considerar as peculiaridades de cada sistema e uma avaliação mais completa de dados, o local da construção influencia drasticamente na opção pela técnica escolhida, levando em consideração que algumas cidades não possuem empresas especializadas neste tipo de técnica, podendo levar ao encarecimento da construção, devido a exportação de material e mão-de-obra especializada, tornando financeiramente inviável.

## **9. AGRADECIMENTOS**

“No final das contas somos produto da influência das pessoas que convivemos. ”

Desta forma agradeço a cada um que contribuiu para que eu chegasse até aqui, principalmente aos meus professores por todo e conhecimentos que foram me passados, agradeço em especial a minha família, mãe e irmã aos meus amigos Everaldo e Alfredo pela paciência, e por dedicarem grande parte do seu dia a mim, certamente nunca conseguirei retribuir na mesma intensidade.

Agradeço a minha orientadora, por toda a dedicação e tempo, e por final os meus colegas pelo apoio, pelas risadas e por todos os momentos que deixaram a vida menos

dura ao longo destes anos, a todos este obrigada pela importância que representam em minha vida.

## 10. REFERÊNCIAS

ALMEIDA, L. C. de. (Prof. Msc.) **Concreto**: Notas de aula da disciplina: AU414 – Estruturas IV – Concreto armado. Campinas, 2002.

ANDOLFATO, R. P. **Controle Tecnológico Básico do Concreto**. Ilha Solteira: s.n., 2002.  
ANDRADE, P. H. de. **Evolução do Concreto Armado**. 2006. 56f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Básico sobre cimento**. Disponível em: <<http://www.abcp.org.br/conteudo/basico-sobre-cimento/basico/basico-sobre-cimento>>. Acesso em: 17 de Março 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8522** Concreto - Determinação dos módulos estáticos de elasticidade e de deformação à compressão: Procedimento. Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118** Projeto de estruturas de concreto: Procedimento. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738** Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova: Procedimento. Rio de Janeiro, 2015

AEC WEB. **Lajes nervuradas garantem economia na construção**. Disponível em: <[https://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/lajes-nervuradas-garantem-economia-a-construcao\\_11026\\_0](https://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/lajes-nervuradas-garantem-economia-a-construcao_11026_0)> Acesso em: 23 de Abril 2019.

BASTOS, P. S. dos SANTOS. **Fundamentos do Concreto Armado**. Bauru, 2006.

CAMPOS FILHO, A. **Projeto de Lajes Maciças de Concreto Armado**. 2014. 45f. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, S.I. 2014.

CARVALHO, R. C. **Estruturas em Concreto Protendido**: Pré-tração, Pós- tração, Cálculo e Detalhamento. 1. ed. São Paulo: PINI Ltda, 2012.

DICIONÁRIO DA ENGENHARIA CIVIL. **Diferença entre laje nervurada ativa e passiva**. Disponível em: <<https://www.ecivilnet.com/dicionario/o-que-e-armadurapassiva.html>>. Acesso em: 03 de Julho 2019.

EMERICK, A. A. **Projeto e Execução de Lajes Protendidas**. Brasília, 2002.

ESCOLA ENGENHARIA **Concreto Protendido, o que é, como é feito, vantagens e desvantagens** Disponível em: <<https://www.escolaengenharia.com.br/concreto-protendido/>> Acesso em: 09 de Novembro de 2019.

FLÓRIO, M. C. **Projeto e Execução de Lajes Unidirecionais com Vigotas em Concreto Armado**. 2004. 240f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2004.

HANAI, J. B. de. **Fundamentos do Concreto Protendido**. São Carlos, 2005.

ISHITANI, H.; LEOPOLDO R.; FRANÇA S. **Concreto Protendido: Fundamentos Iniciais**. São Paulo, 2002.

LIBÂNIO M. PINHEIRO, CASSIANE D. MUZARDO, SANDRO P. SANTOS **Estruturas de concreto** - Universidade de São Paulo, 2004.

LEONHARDT F. **Estruturas de concreto** vol. 5 – Interciência 1983

MARKUS, J. P. **Estudo de Comparação entre Estruturas com Laje Convencional em Concreto Armado e uma Estrutura com Laje Plana Lisa e Protendida**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Faculdade Assis Gurgacz, Cascavel, 2014.

NOGUEIRA, D. J. L.; CASTRO, F. dos S. **Sistemas Estruturais de Lajes: Parâmetros de Escolhas da Solução Estrutural de Lajes** 2010. 133f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade da Amazônia e Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Belém, 2010.

NERVO, Ricardo. **ANÁLISE COMPARATIVA DOS SISTEMAS ESTRUTURAIS DE LAJES CONVENCIONAIS E LAJES NERVURADAS**. 2012. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade de Santa Cruz do Sul.

OLIVEIRA, Luis Gustavo Simão de. **ESTUDO SOBRE O COMPORTAMENTO ESTRUTURAL DE PAVIMENTOS DE EDIFÍCIOS COM LAJES SEM VIGAS COM A PRESENÇA DE FUROS E ABERTURAS**. 2018. Disponível em <  
<https://www.archdaily.com.br/br/889035/tipo-de-lajes-de-concreto-vantagens-e-desvantagens>>. Acesso em: 6 de Outubro de 2019

OLIVEIRA, Maicon Jean Rocha de. **PROJETO DE LAJES NERVURADAS DE CONCRETO ARMADO**. 2013. Disponível em <  
<http://wwwp.feb.unesp.br/pbastos/concreto1/Projeto%20Lajes%20Nervuradas.pdf>>. Acesso em: 7 de Outubro de 2019.

PEREIRA, Valdir Moraes, **Norma abnt/nbr 6118 comentada**. 2018 Disponível em <  
<https://www.mapadaobra.com.br/inovacao/norma-comentada-abnt-nbr-6118/>> Acesso em: 16 de Abril de 2019.

PRETTO, Sloane. **Formas Plásticas para Laje Nervurada**. Janeiro/2013. Disponível em <  
<https://www.ufrgs.br/eso/content/?tag=laje-nervurada>>

RESELLI, Ana Paula, **Laje Nervurada – Processo Construtivo**. 2011. Disponível em <  
<https://www.ufrgs.br/eso/content/?paged=6>>. Acesso em: 08 de setembro de 2019.

UFRGS, ESO **Formas plásticas para laje nervurada**. Disponível em: <  
<https://www.ufrgs.br/eso/content/?tag=laje-nervurada>>. Acesso em 27 de julho 2019.

Análise comparativa.

VASCONCELOS, K. da S. **Análise Comparativa entre Lajes Nervuradas em Concreto Armado e Concreto Protendido**. 2010. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

ZILLI, E; BORTOLOTTI F. **Estudo Comparativo entre uma Estrutura com Laje Convencional em Concreto Armado e uma Estrutura com Laje Plana Lisa Protendida: Estudo de Caso de um Edifício Residencial Multifamiliar na Cidade de Pato Branco – PR**. 2013. 133f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco.