

ANÁLISE E COMPARAÇÃO DE ESTRUTURA COM CONCRETO PROTENDIDO

DANIEL LUÍS PEROTTO SROCZYNSKI¹
LETÍCIA REIS BATISTA ROSAS²

RESUMO: Quando se fala em concreto protendido pensa-se em estruturas mais eficientes, porque permitem ao máximo a resistência dos seus principais materiais constituintes, o concreto e o aço, possibilitando a confecção de grandes vãos com seções não tão robustas, e tendo um grande controle e redução das deformações e fissurações. Dentre as formas de se realizar o concreto protendido esse trabalho tem ênfase no sistema de pós-tensão com cordoalhas engraxadas, sistema onde não há a criação de aderência entre o cabo e o concreto, pois utiliza-se uma bainha feita com polietileno de alta densidade que é preenchida com uma graxa inibidora que protege a cordoalha, elevando seu tempo de vida útil. Nesse estudo de caso comparou-se duas soluções de estruturas feitas com concreto protendido para uma edificação comercial localizada na cidade de Sinop – MT. A primeira solução foi realizada com vigas protendidas com dez metros de vão com espaçamento de cinco metros uma da outra, suportando o peso de uma laje treliçada. A outra solução é uma laje treliçada protendida com 10 metros de vão e uma espessura de 25 cm. Utilizou-se o software TQS para realizar as análises e para obtenção dos dados de comportamento de ambas as estruturas, para que fosse possível realizar uma comparação entre as duas soluções. Com a obtenção desses dados, descobriu-se que a solução A é mais eficiente para se executar por apresentar melhor comportamento e redução no consumo de materiais.

Palavras-chave: Análise, Comparação, Eficientes, Protensão.

ANALYSIS AND COMPARISON OF STRUCTURE WITH PRESTRESSED CONCRETE

ABSTRACT: When talking about prestressed concrete, you would think of more efficient structures, because it allows the maximum resistance of its main constituent materials, concrete and steel, allowing the making of large spans with not so robust use, and having a great control and reduction of deformations and cracks. Among the ways of making prestressed concrete, this work is highlighted in the post-tension system with greased strings, a system where there is no creation of adhesion between the cable and the concrete as it is a sheath made with high density polyethylene that is used which is filled with an inhibitory grease that protects the wire rope, increasing its useful life. In this case study, two structural solutions with prestressed concrete were compared for a commercial building located in the city of Sinop - MT. The first solution was made with prestressed beams with ten meters of span with a spacing of five meters from each other, supporting the weight of a lattice slab. The other solution is a prestressed lattice slab with 10 meters of span and a thickness of 25 cm. Use the TQS software to perform the analyses and obtain the behavior data of both structures, so that it was possible to make a

¹ Acadêmico de Graduação, Curso de Engenharia Civil, UNIFASIPE Centro Universitário, R. Carine, 11, Res. Florença, Sinop - MT. CEP: 78550-000. Endereço eletrônico: danielpsroczynski@gmail.com;

² Professora Mestre em Engenharia Civil, Curso de Engenharia Civil, UNIFASIPE Centro Universitário, R. Carine, 11, Res. Florença, Sinop - MT. CEP: 78550-000. Endereço eletrônico: eng.leticiarosas@gmail.com

comparison between the two solutions. With the acquisition of data, it was found that solution A is more efficient to perform the best behavior and reduce material consumption.

Key words: Analysis, Comparison, Efficient, Prestressing.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil passou por diversos períodos de desenvolvimento tecnológico na construção civil, desde a construção de residências com pau a pique até os dias de hoje com a construção de residências com concreto armado ou estruturas metálicas. Dentre as diversas técnicas construtivas que existem no Brasil, o concreto protendido vem se destacando e ganhando seu espaço no mercado da construção civil, pois possui diversas vantagens quando comparado com o concreto convencional.

Existem algumas formas de se executar o concreto protendido, sendo elas, em sistema pré tracionado, pós tracionados, sistema aderente ou sistema não aderente com cordoalhas engraxadas. O foco desse trabalho é o sistema sem aderência com cordoalhas engraxadas.

Nesse sistema é utilizado uma armadura ativa que é envolvida por uma bainha que é produzida por um polietileno de alta densidade (PEAD), fazendo com que não haja nenhuma aderência do concreto com a mesma. Depois de sua confecção, a armadura é submetida a um estado prévio de tensões produzindo assim um sistema equilibrado, onde o concreto apenas irá resistir aos esforços de compressão e, o aço será o encarregado de resistir aos esforços de tração. Esse tipo de técnica tende a melhorar muito o desempenho da estrutura fazendo com que o concreto utilize todo seu potencial a compressão e minimize os índices de fissuração e deformações presentes na estrutura, tendo assim elementos estruturais que são capazes de vencer grandes vãos com sua altura reduzida.

A cordoalha utilizada nesse sistema é composta por um conjunto de fios de aço altamente resistentes. É envolvida por uma camada inibidora feita de graxa e uma bainha plástica para proteger o aço das possíveis corrosões durante a vida útil da cordoalha.

No Brasil está começando a se intensificar a utilização do sistema não aderente, a sua maior utilização ocorre em residências ou edificações comerciais, principalmente em elementos estruturais como lajes nervuradas ou lajes maciças.

Com isso, o objetivo desse trabalho foi realizar um estudo de caso comparando duas soluções de estrutura para uma edificação comercial, com intuito de saber qual delas tem a melhor performance, analisando os deslocamentos e consumo de materiais. A primeira solução foi realizada com vigas protendidas com dez metros de vão com espaçamento de cinco metros uma da outra, suportando o peso de uma laje treliçada. A outra solução é uma laje treliçada protendida com vigotas dupla, as vigotas ficaram no sentido de menor vão, os 10 metros e possui uma espessura de 25 centímetro de altura.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Segundo a NBR 6118 (2014) os elementos feitos de concreto protendido são aqueles que possuem parte das suas armaduras previamente alongadas por equipamentos especiais de protensão, como os macacos hidráulicos, tendo objetivo de impedir ou diminuir a formação de fissuras e os deslocamentos das estruturas, e também fazer com que o aço seja melhor aproveitado no estado limite último (ELU).

Cauduro (2003) define que o concreto protendido é o concreto armado ao qual se acrescenta mais um carregamento através de cabos de protensão, esses carregamentos nada mais são do que tensões que são introduzidas nos elementos estruturais, tais como, vigas e lajes.

Pfeil (1984) definiu a protensão como sendo uma introdução de um estado prévio de tensões em uma estrutura, essas tensões são capazes de melhorar sua resistência e o seu comportamento sobre diversas condições de cargas.

De uma forma geral a protensão é o ato de introduzir um estado prévio de tensões no elemento estrutural, para que quando os carregamentos externos forem inseridos sobre a estrutura haja um balanceamento de cargas resultando em um melhor comportamento do elemento estrutural.

Como o concreto é um excelente material para lidar com os esforços de compressão e o aço para lidar com os esforços de tração, o concreto protendido acaba-se aproveitando muito bem dessas propriedades, fazendo com que o concreto passe a suportar apenas os esforços de compressão, com isso pode-se conseguir construir elementos com vãos maiores e com seções transversais menores e que possuem um bom comportamento nos estados limites de serviço e último (ELS e ELU).

A norma que foi utilizada para redigir esse trabalho foi a NBR 6118:2014

2.1 Sistema de protensão com cordoalhas não aderente

A principal característica desse sistema de protensão é que não há a criação de aderência entre o cabo e o concreto, pois dispensa o uso bainha metálica que é utilizada em outros sistemas de protensão que provoca a aderência do cabo com o concreto, e passa-se a utilizar uma bainha feita com um polietileno de alta densidade (PEAD). Dentro dessa bainha plástica passa-se somente uma única cordoalha que é coberta por uma camada de graxa inibidora para fazer com que a mesma não sofra corrosão. Cada cabo utiliza um par de ancoragem (essas ancoragens são colocadas cada uma em uma ponta do cabo) e são protendidos um cabo por vez, diferente do sistema de protensão com aderência que com apenas uma ancoragem pode se protender vários cabos de uma só vez.

A ancoragem é uma peça crucial para os sistemas de protensão, pois é ela que irá transmitir a força de protensão que foi inserida na cordoalha para o concreto.

2.2 Cordoalha engraxada

De acordo com Cauduro (2003) as cordoalhas nada mais são do que arames entrelaçados entre si na forma de hélices, esses arames possuem uma elevada resistência, e podem possuir diâmetros de 3 a 8 mm. As cordoalhas podem possuir dois fios, três fios ou até mesmo sete fios, sendo encontradas no mercado possuindo diâmetros de 15,2 mm e 12,7 mm

Os cabos são produzidos em indústrias, através de um processo contínuo onde a cordoalha recebe um banho de graxa inibidora em seguida é revestida por uma bainha feita de polietileno através do processo de extrusão. De acordo com Sebio (2003) realizar a extrusão em um material é converter esse material que está no estado sólido em um fluido através da inserção de calor e trabalho mecânico, realizando dessa forma a termoplastificação desse material.

A graxa que está presente dentro da bainha não serve apenas para proteger a cordoalha contra a corrosão, mas também para facilitar o alongamento da mesma depois que o elemento estrutural já esteja concretado.

Sua aplicação se dá principalmente em lajes de edifícios, podendo ser lajes do tipo cogumelo, maciças ou nervuradas. Mas também pode ser aplicada em diversos outros tipos de componentes estruturais, sendo eles elementos pré-moldados ou moldados em loco.

2.3 Ancoragens monocordoalha

As ancoragens servem para efetuarem o travamento das cordoalhas depois que elas são esticadas, fazendo assim com que as tensões geradas pela cordoalha sejam transferidas por completo no elemento estrutural. Podendo ser divididas em ativas, passivas ou intermediárias.

Segundo Cauduro (2003) a ancoragem ativa é posicionada na extremidade ativa do cabo, a onde o macaco hidráulico irá efetuar a protensão. A ancoragem intermediária é localizada em algum ponto ao decorrer do comprimento do cabo, utilizado para tensionar a cordoalha em determinado local sem a necessidade de cortá-la, é utilizada geralmente em elementos estruturais muito grandes. Já a ancoragem passiva ou ancoragem morta é posicionada e fixada em uma extremidade do cabo durante o procedimento de pré-blocagem.

A ancoragem para monocordoalha é formada por uma peça inteiriça de aço fundido, que tem como função distribuir os esforços para o elemento estrutural, é na ancoragem que as cunhas são posicionadas para efetuar o travamento das cordoalhas.

Como as ancoragens são submetidas a elevados estados de tensão como tração e flexão, é necessário que o fabricante emita os certificados de qualidade da fundição e os ensaios dessas peças em condições de operação e de ruptura.

2.4 Cunhas

De acordo com Cauduro (2003), as cunhas são peças metálicas que tem um formato tronco cônico que possuem dentes, esses dentes servem para morderem o aço de protensão durante a fase de alongamento das cordoalhas que é feito através de um macaco hidráulico. Geralmente utiliza-se cunhas bipartidas para cabos de uma única cordoalha.

2.5 Pocket Form

É uma peça de plástico utilizada em ancoragens passivas para que quando realizar a concretagem da peça estrutural, forme-se um nicho, permitindo que o equipamento de protensão consiga se conectar a placa de ancoragem.

2.6 Equipamentos

Consiste normalmente em um macaco, uma bomba hidráulica, mangueiras e manômetros de pressão, maçaricos ou lixadeiras.

Segundo Cauduro (2003) o macaco hidráulico é um equipamento que é utilizado para realizar a protensão dos cabos em um elemento estrutural, aplicando-o uma força, no sistema não aderente o macaco hidráulico realiza a protensão de um cabo por vez, isso permite o uso de um equipamento de pequeno porte, fornecendo forças máximas de protensão entre 20 a 30 toneladas para tensionar cordoalhas de 12,7 mm e 15,2 mm.

A bomba hidráulica é a responsável por aplicar a força de protensão nas cordoalhas, é necessário realizar a calibragem periodicamente, porque com o uso do equipamento alguns desgastes podem acontecer nos dispositivos de controle e que podem influenciar na hora de aplicar essas forças.

Os maçaricos ou lixadeiras, são utilizados para a realização do corte das cordoalhas após a protensão dos mesmos.

2.7 Vantagens e desvantagens do concreto protendido

O concreto protendido apresenta grandes vantagens quando utilizados nas obras. De acordo com a engenheira Schmid (2006) a utilização do concreto protendido é muito vantajoso, pois trata-se de uma tecnologia inteligente, eficaz e duradoura, esse tipo de tecnologia quando empregado permite que os materiais (aço e concreto) consigam aproveitar ao máximo as suas resistências mecânicas, também nos fornece uma superioridade técnica para solucionar os problemas convencionais das estruturas, e também possibilita que a estrutura tenha sua vida útil estendida.

Porém a utilização dessa técnica requer alguns desafios, sendo eles, requer total atenção para ser calculada e deve ser executada com bastante rigor, necessitando de equipes técnicas qualificadas e utilização de equipamentos com alto controle tecnológico.

Quando se compara o concreto armado com o concreto protendido, consegue-se destacar as seguintes vantagens:

- Confecção de maiores vãos;
- Controle e redução de deformações e fissuração;
- Possibilidade de ser usado em ambientes agressivos;
- Elementos mais esbeltos;
- Melhor controle de flechas e contra flechas;
- Projetos arquitetônicos mais ousados.

2.8 Níveis de protensão

A NBR 6118 preconiza que o concreto protendido possui três diferentes níveis de protensão, que estão relacionados ao grau de agressividade ambiental que a peça estará sujeita durante a sua vida útil. Relaciona-se também com o nível da força de protensão que será aplicada no elemento e as exigências relativas à fissuração. Os níveis de protensão são os seguintes, protensão parcial, limitada e completa.

Para saber qual classe de agressividade ambiental está atuando sobre nossa estrutura, basta conferir a tabela 1 presente nesse material. E já para encontrarmos as exigências de durabilidade que são associadas à fissuração e a proteção de armaduras é necessário olhar a tabela 2 desse material.

Segundo a NBR 6118 (2014) os concretos protendidos de nível 1 (protensão parcial), quando produzidos com o sistema de pré-tração podem ser utilizados apenas na classe de agressividade ambiental 1 (CAA I), respeitando as exigências relativas à fissuração de ELS-W $W_k \leq 0,2$ mm. Já quando forem produzidos com o sistema de pós-tração podem ser utilizados nas classes de agressividade ambiental 1 e 2 (CAA I e CAA II), respeitando o mesmo critério para as fissurações.

Nos concretos protendidos de nível 2 (protensão limitada), para os casos de sistema de pré-tração podem ser utilizados apenas na CAA II, respeitando as exigências relativas à fissuração de ELS-F para combinações frequentes de ações, e ELS-D para combinações de ações quase permanentes. Já para o sistema de pós-tração, podem ser utilizados nas CAA III e CAA IV, respeitando os mesmos critérios de fissurações.

Já para concretos protendidos de nível 3 (protensão completa) feitos com o sistema de pré-tração, podem ser utilizados nas CAA III e CAA IV, respeitando as exigências relativas à fissuração ELS-F para combinações permanentes e ELS-D para combinações de ações frequentes. As peças produzidas com sistema de pós-tração podem ser utilizadas em todas as classes de agressividades ambientais, respeitando o mesmo critério de fissurações (Tabelas 1 e 2).

Tabela 1: Classes de agressividade ambiental

| Classe de agressividade ambiental | Agressividade | Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto | Risco de deterioração da estrutura |
|--|---------------|--|------------------------------------|
| I | Fraca | Rural | Insignificante |
| | | Submersa | |
| II | Moderada | Urbana | Pequeno |
| III | Forte | Marinha | Grande |
| | | Industrial | |
| IV | Muito forte | Industrial | Elevado |
| | | Respingos de maré | |
| <p>1) Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) para ambientes internos secos (sala, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura)</p> <p>2) Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) em: obras em regiões de clima seco, com umidade relativa do ar menor ou igual a 65%, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos, ou regiões onde chove raramente.</p> <p>3) Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.</p> | | | |

Fonte: NBR 6118:2014

Tabela 2: Exigências de durabilidade relacionadas à fissuração e à proteção da armadura, em função das classes de agressividade ambiental

| Tipo de concreto estrutural | Classe de agressividade ambiental (CAA) e tipo de protensão | Exigências relativas à fissuração | Combinação de ações em serviço a utilizar |
|---|---|------------------------------------|---|
| Concreto simples | CAA I a CAA IV | Não há | -- |
| Concreto armado | CAA I | ELS-W $w_k 0,4 mm$ | Combinação frequente |
| | CAA II e CAA III | ELS-W $w_k 0,3 mm$ | |
| | CAA IV | ELS-W $w_k 0,2 mm$ | |
| Concreto protendido nível 1 (protensão parcial) | Pré-tração com CAA II | ELS-W $w_k 0,2 mm$ | Combinação frequente |
| Concreto protendido nível 2 (protensão limitada) | Pré-tração com CAA II Ou Pós-tração com CAA III e IV | Verificar as duas condições abaixo | |
| | | ELS-F | Combinação frequente |
| | | ELS – D ¹⁾ | Combinação quase permanente |
| Concreto protendido nível 2 (protensão completa) | Pré-tração com CAA III e IV | Verificar as duas condições abaixo | |
| | | ELS-F | Combinação rara |
| | | ELS – D ¹⁾ | Combinação frequente |
| <p>1) A critério do projetista, o ELS-D pode ser substituído pelo ELS-DP com $\partial_p = 25 mm$ (figura 3.1).</p> <p>NOTAS</p> <p>1 As definições de ELS-W, ELS-F e ELS-D encontram-se em 3.2.</p> <p>2 Para as classes de agressividade ambiental CAA-III e IV exige-se que as cordoalhas não aderentes tenham proteção especial na região de suas ancoragens</p> | | | |

Fonte: NBR 6118:2014

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização das edificações

A edificação será construída na cidade de Sinop – MT e servirá de lugar para um novo comércio local. Possui forma geométrica retangular com 10 metros de largura por 20 metros de comprimento, e a altura do pé direito da edificação é de três metros.

Nesse estudo foram comparadas duas soluções de estruturas para esse empreendimento, a primeira composta por vigas protendidas de dez metros de comprimento, com espaçamento de cinco metros de eixo a eixo, que suportam uma laje treliçada convencional com blocos de EPS que será confeccionada nos vãos de cinco metros, e cada viga protendida possui seção transversal de 25 x 60 centímetros. Pode chamar essa primeira estrutura de solução A.

Para a segunda estrutura, o qual será denominado ao longo desse trabalho de solução B, foi analisada uma laje treliçada protendida com blocos de EPS no sentido de menor vão da edificação (10 metros). Essa laje tem altura de 25 centímetros e vigotas duplas, onde são colocadas as cordoalhas de protensão.

3.2 Sistema de protensão

O sistema de protensão adotado para ambas estruturas estudadas nesse trabalho foi o de pós-protensão com cordoalhas engraxadas, utilizando cordoalhas CP-190 RB de 12,7 mm, que é um aço com relaxação baixa, esse tipo de aço é empregado para diminuir as perdas de protensão que podem acontecer durante a vida útil da estrutura.

A escolha desse sistema de protensão se deu por conta da facilidade de encontrá-lo em nossa região. Outro motivo de optarmos pela escolha desse sistema foi de que ele possui uma maior facilidade na hora de se executar os elementos protendidos quando se comparado com os outros sistemas de protensão, pois precisa de equipamentos mais leves, como por exemplo o macaco hidráulico.

3.3 Modelagem

Com o sistema de protensão já determinado, foi dado início aos projetos. A primeira etapa foi a criação de dois novos edifícios dentro do software TQS, que foi dado os nomes de solução A e solução B.

Ambas as soluções foram configuradas da seguinte forma: pé direito de 3 metros, f_{ck} de 40 MPa para vigas pilares e lajes, classe de agressividade ambiental II – Moderado – Urbana – Clima seco / Ambientes internos, cobrimento de 3,5 centímetros para lajes e vigas protendidas e 3 centímetros para pilares. Foi utilizado γ_f com valor de 1,4 para coeficiente de ponderação.

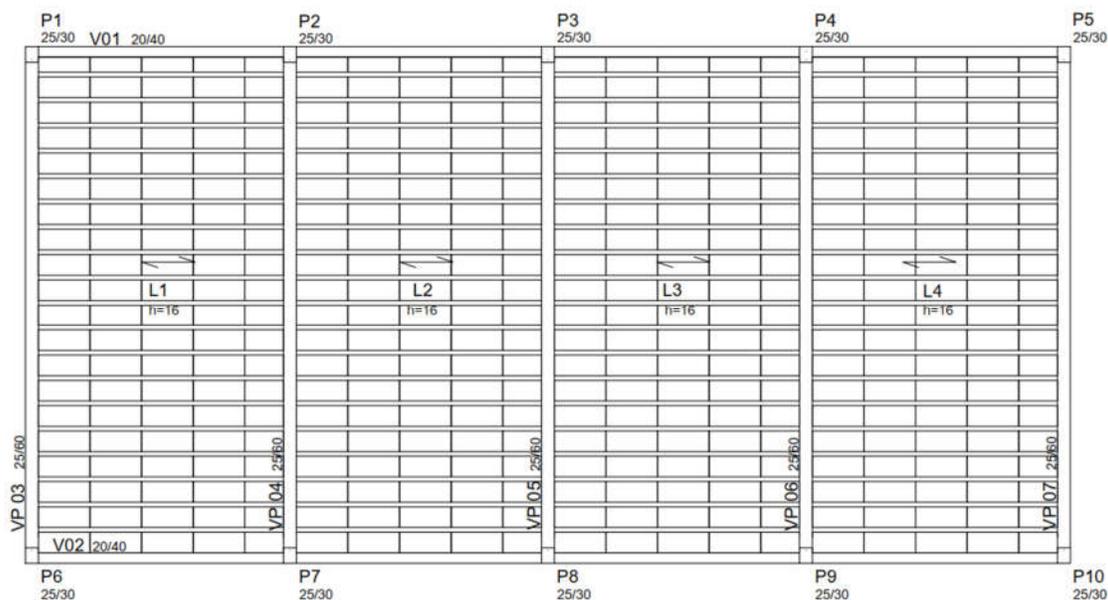
Utilizamos a tabela 10 da NBR 6120/2019 para determinar quais os valores das cargas que deveriam ser inseridas em ambas soluções, determinou-se um valor de 3 kN/m² para as cargas acidentais e 1,4 kN/m² para as cargas permanentes, que é o que a norma determina para edifícios comerciais, esses valores de carregamentos foram inseridos nas lajes de cada solução.

Com os edifícios criados foi dado início a modelagem. A primeira estrutura a ser modelada foi a solução A, de início foram modelados os pilares da estrutura, estima-se uma seção retangular de 25x30 centímetros, a posição dos pilares ficaram voltadas para as vigas protendidas para que houvesse uma melhor transferência de esforços, cada pilar ficou espaçado um do outro a 5 metros, eixo a eixo, tendo uma pequena variação no comprimento face a face da edificação ficando com 20,20 m.

Ao terminar a modelagem dos pilares parte-se para a modelagem das vigas que ficariam posicionadas no sentido do vão de 10 metros, um total de 5 vigas, cada uma delas possui seção transversal de 25 x 60 centímetros, as vigas 04, 05 e 06 possuem 10 cabos de protensão cada, já as vigas 03 e 07 possuem apenas 5 cabos de protensão pois elas suportam um carregamento menor do que as outras. Por final para completar a estrutura foram modeladas duas vigas com seção de 20 x 40 cm nas laterais da edificação.

Entre uma viga protendida e outra foram inseridas lajes treliçadas que possuem 5 centímetros de capa e 11 centímetros de enchimento EPS, utilizou-se treliça TR 12645 para confecção das vigotas, totalizando 16 centímetros de altura para cada laje.

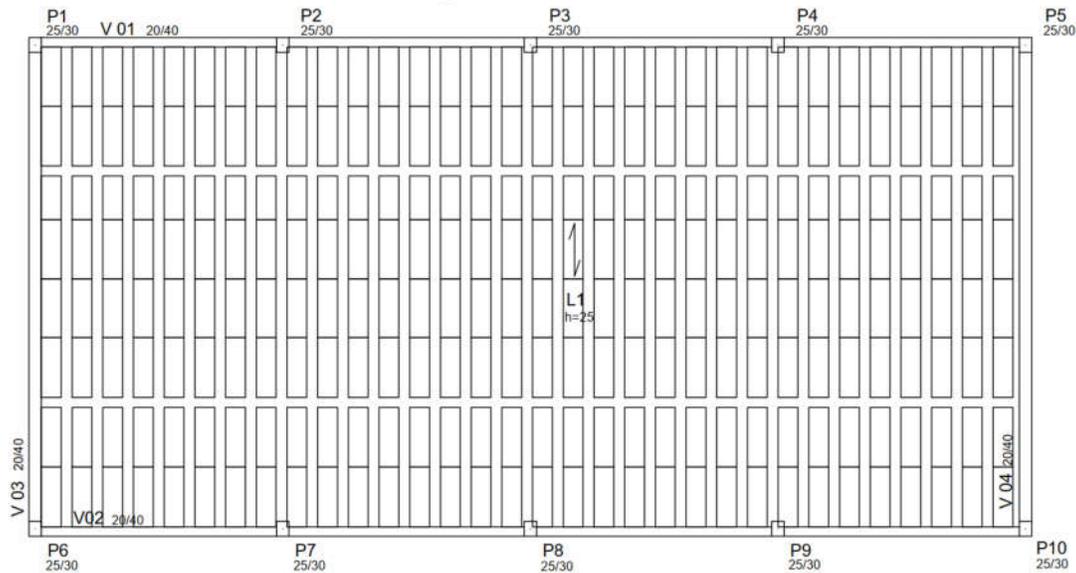
Figura 01: Solução A



Fonte: Própria (2020)

Na solução B, a modelagem dos pilares ficou idêntica a solução A. Para realizar o fechamento da linha de bordo foram modeladas vigas apenas nas laterais da edificação, vigas essas que possuem seção transversal de 20x40 centímetros, com a linha de bordo fechada insere-se uma única laje treliçada no sentido de menor vão, os dez metros, laje essa que possui vigotas duplas e 25 centímetros de altura. Nessa solução as cordoalhas foram inseridas nas vigotas duplas, utilizando um total de 31 feixes de cordoalhas.

Figura 02: Solução B



Fonte: Própria (2020)

3.5 Análise das estruturas

Após realizar o lançamento de ambas as estruturas dentro do software, foi utilizado o comando processamento global para realizar o processamento das soluções. Esse processamento pode ser realizado de duas formas, processando apenas os esforços ou realizando um processamento completo, de primeira foi realiza apenas um processamento de esforços, para entendermos como a estrutura se comporta e se as seções adotadas seriam suficientes para suportar as cargas inseridas. Com ambas as soluções modeladas e com seus esforços processados foi possível realizar uma análise verificando se o que foi modelado estaria de acordo com o que a NBR 6118:2014 determina.

Segundo a NBR 6118:2014, os deslocamentos limites são definidos como valores práticos que são utilizados para realizar verificações na fase de serviço do estado limite das deformações excessivas que possam existir na estrutura, no item d do item 13.3 Deslocamentos limites da NBR 6118:2014 diz que os efeitos de deslocamentos em elementos estruturais podem afetar o comportamento do elemento estrutural, provocando afastamento em relação às hipóteses de cálculo adotadas, devendo-se considerar todos os deslocamentos que forem relevantes para o elemento estrutural analisado.

Os valores de deslocamentos que foram encontrados na estrutura foram comparados com os da tabela 13.2 – Limites para deslocamentos da NBR 6118:2014, onde deve-se dividir o vão do elemento estrutural por 250 para encontrar o valor do deslocamento limite que esse elemento estrutural poderá ter.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Primeiramente foi realizado a análise da solução A, onde pode-se perceber que as lajes descarregam todo o seu carregamento nas vigas protendidas, que posteriormente transfere esses carregamentos para os pilares, e dos pilares para as fundações.

As vigas protendidas possuem valores de momentos fletores em Y bem grandes por conta do grande vão e dos carregamentos, já as vigas que não são protendidas têm o papel de fechamento da laje e suportam praticamente apenas o peso próprio delas mesmas, pois possuem valores pequenos de momentos fletores em Y.

Posteriormente foi realizada a análise da solução B, e foi possível notar que o comportamento dessa estrutura é totalmente diferente da primeira, a laje protendida suporta todos os carregamentos que nela são inseridos, mas acaba descarregando um pouco de carga para as vigas que estão nas laterais da estrutura. Fazendo com que essas vigas das laterais tenham um pouco mais de deslocamento, mas ainda dentro dos deslocamentos limites que a norma NBR 6118 estabelece.

Para a solução A os momentos fletores máximos em Y encontrados nas vigas 03 e 07 foram de 3,61 tf.m, já as vigas 04 e 06 tiveram valores máximos de momentos fletores de 5,14 tf.m, porem esse valor se encontra próximo as extremidades das vigas, mais para o centro da viga esse valor de momento decai e chega em 4,71 tf.m, o mesmo acontece para a viga 05 que é a viga central da estrutura, os valores máximos de momento estão próximos a extremidade e são de 4,38 tf.m, possuindo um valor de momento de 1,92 tf.m no meio do vão.

As deformações encontradas nas vigas 03 e 07 foram de 0,27 centímetros, nas vigas 04 e 06 as deformações foram de 0,36 centímetros e na viga 05 teve deformações de 0,21 centímetros, todas essas deformações são valores máximos e estão localizados no meio dos vãos.

As vigas 01 e 02 que não são protendidas tiveram pequenos valores de momentos fletores, não passando de 0,95 tf.m, isso nos mostra que as lajes estão descarregando os seus carregamentos apenas nas vigas protendidas e que as vigas 01 e 02 estão suportando apenas o seu peso próprio.

Determinamos também os valores de momentos fletores e deslocamentos que as lajes possuem para termos uma análise completa da estrutura, as lajes 01 e 04 possuem momentos fletores máximos de 1,06 tf.m e deslocamentos de 0,88 centímetros, já as lajes 02 e 03 possuem 0,79 tf.m de momento fletor em Y e 0,69 centímetros de deslocamento.

Tabela 1: Resultados da solução A

| Solução A | Momento Fletor Máximos em Y (Tf.m) | Deslocamento (cm) |
|-----------|------------------------------------|-------------------|
| V 01 | 0,95 | 0,03 |
| V 02 | 0,95 | 0,03 |
| VP 03 | 3,61 | 0,27 |
| VP 04 | 5,14 | 0,36 |
| VP 05 | 4,38 | 0,21 |
| VP 06 | 5,14 | 0,36 |
| VP 07 | 3,61 | 0,27 |
| Laje 01 | 1,06 | 0,88 |
| Laje 02 | 0,79 | 0,69 |
| Laje 03 | 0,79 | 0,69 |
| Laje 04 | 1,06 | 0,88 |

Fonte: Própria 2020.

Os resultados encontrados na solução B foram os seguintes, a laje possui valor de momento fletor de 2,99 tf.m em sua parte central e nas extremidades da esquerda e da direita há momentos fletores de 1,40 e 1,18 tf.m. A laje acaba descarregando um pouco de sua carga para as vigas 01, 02, 03 e 04, (as vigas de fechamento das laterais). Nas vigas 01 e 02 obteve

um valor máximo de momento fletor de 15,40 e 15,12 tf.m que ficam localizados em cima dos pilares 07 e 09. As vigas 03 e 04 suportam um momento fletor máximo de 6,93 tf.m.

Todos os deslocamentos que essa solução apresentou estão dentro do que a NBR 6118:2014 estabelece para estruturas de concreto. A laje 01 teve um deslocamento máximo de 2,36 centímetros, as vigas V01 e V02 tiveram deslocamentos máximos de 0,15 centímetros, já as vigas V03 e V04 apresentaram deslocamentos máximos de 0,80 centímetros, isso nos mostra que as cargas da laje que foram transferidas para essas vigas foram baixas.

Tabela 2: Resultados da solução B

| Solução B | Momento Fletor Máximos em Y (Tf.m) | Deslocamento (cm) |
|-----------|------------------------------------|-------------------|
| V 01 | 15,40 | 0,15 |
| V 02 | 15,12 | 0,15 |
| V 03 | 6,93 | 0,80 |
| V 04 | 6,93 | 0,80 |
| Laje 01 | 2,99 | 2,36 |

Fonte: Própria 2020.

Realizamos um resumo de materiais de protensão para sabermos qual das duas soluções iria consumir menos material e se tornaria a mais viável para se executar, os resultados foram os seguintes.

Tabela 3: Consumo de cabos

| | QND CABOS | M / CABO | M TOTAL | KG/M UNIT. | KG TOTAL |
|-----------|-----------|----------|---------|------------|----------|
| Solução A | 40 | 10,6 | 424 | 0,89 | 377,4 |
| Solução B | 62 | 10,6 | 657,2 | 0,89 | 584,90 |

Fonte: Própria 2020.

A solução A apresentou um consumo de cabos de protensão bem menor do que a solução B, tendo uma diferença aproximada de 35,5% no consumo de cabos. Com isso a solução A acaba se tornando mais viável economicamente para se executar, mas mesmo com baixo consumo de materiais essa solução apresentou seus diagramas de momentos fletores mais organizados e possui deslocamentos bem inferiores quando comparado os elementos pretendidos de ambas as soluções.

Além de ser mais econômica, a solução A é a mais fácil para se executar e a mais rápida também (em relação a protensão), pois são menos cabos que precisam ser pretendidos isso acaba agilizando bastante a construção da obra.

5. CONCLUSÃO

Ao término desse trabalho foi possível concluir que a protensão é uma tecnologia de construção fabulosa, quando empregada de maneira correta pode executar qualquer tipo de estrutura, das, mas diferentes formas possíveis.

E que o tempo que se leva para projetar uma estrutura com concreto pretendido é superior quando realizado um projeto de uma estrutura com concreto armado convencional,

porque são muitos detalhes que o projetista deve se atentar quando está realizando um projeto dessa magnitude.

Após a realização do estudo das duas soluções foi possível concluir que a solução A se tornou mais viável, no seu comportamento, apresentou deslocamentos inferiores do que a solução B, e no consumo de materiais que teve uma diferença de aproximadamente 35,5% no consumo de cabos CP190-RB.

Além de ser a solução que demandaria menos tempo para realizar a execução, pois como apresenta menos cabos, o tempo que se leva para executar esse serviço acaba diminuindo, acelerando a construção da obra.

REFERÊNCIAS

ABNT NBR6120. **Ações para o cálculo de estruturas de edificações**. Segunda edição 30.09.2019

ZANETTE, Diogo. **Projeto de vigas de pequeno porte parcialmente protendidas com monocordalhas engraxadas**. Orientador: Prof. Dr. Daniel Domingues Loriggio. 2006. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2006.

CAUDURO, EUGENIO LUIZ. **Manual para a Boa Execução de Estruturas Protendidas Usando Cordalhas de Aço Engraxadas e Plastificadas**. Guide to Good Implementation of pre-stressed concrete structures using steel ropes greased and plasticized. 2ed. São Paulo: Belgo Mineira. (In portuguese), 2003.

NANAL, João Bento. **Fundamentos do concreto protendido**. São Carlos, 2005.

PFEIL, Walter. **Concreto Protendido-Introdução**. LTCE, Rio de Janeiro, v. 5, 1984.

VERÍSSIMO, Gustavo. **Concreto protendido, fundamentos básicos**. 4º Edição, novembro/1998.

SEBIO, Leonard. **Desenvolvimento de plástico biodegradável a base de amido de milho e gelatina pelo processo de extrusão: Avaliação das propriedades mecânicas, térmicas e de barreira**. Orientador: Prof. Dr. Yoon Kil Chang. Tese em Doutorado em Tecnologia de Alimentos. Campinas, Agosto de 2003.

ABNT NBR6118. **Projeto de estruturas de concreto – procedimento**. Terceira edição 29.04.2014.

SCHMID, Manfred Theodor. **Perdas da força de protensão**. 2º Edição – 1998 – REV.01.

SCHMID, MARIA REGINA LEONI. **Comunicacao e informacao no design de catalogos tecnicos: um estudo comparativo de catalogos de engenharia**. 2006. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

RECENA, Fernando Piazza. **Retração do concreto**. [Recurso Eletrônico], Porto Alegre: EDIPUCRS, 2014.