

COMPARAÇÃO ORÇAMENTARIA ENTRE LAJES DE CONCRETO ARMADO E LAJES PLANAS LISAS PROTENDIDAS

Cost comparison between reinforced concrete slabs and prestressed flat slabs

Amanda Mosele Tonin¹; Diniane Baruffi²; Gabriele Rech Silveira³; Gilson Francisco Paz Soares⁴; Thomas Bertochi Rigotti⁵

¹ Diplomada em Engenharia Civil pela Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai, Erechim, Brasil. *E-mail*: amandamosele@yahoo.com.br

² Doutora em Engenharia pela Universidade de Passo Fundo – UPF. Professora do curso de Engenharia Civil da Universidade Regional do Alto Uruguai e das Missões – URI – Câmpus de Erechim. *E-mail*: dinianebaruffi@uricer.edu.br

³ Acadêmica da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai, Erechim, Brasil. *E-mail*: 095479@aluno.uricer.edu.br

⁴ Doutor em Engenharia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. Professor do curso de Engenharia Civil da Universidade Regional do Alto Uruguai e das Missões – URI – Câmpus de Erechim. *E-mail*: gilsonfps@uricer.edu.br

⁵ Diplomado pela Universidade de Passo Fundo, Pós Graduado em Estruturas em Concreto Armado e Fundações pela IPOG Porto Alegre e Pós Graduado em Estruturas em Concreto Protendido pelo IDD, Florianópolis. *E-mail*: thomas.rigotti@hotmail.com

Data do recebimento: 24/01/2022 - Data do aceite: 11/05/2022

RESUMO: Concreto protendido é uma técnica crescente na engenharia civil. Visa a diminuir e/ou eliminar as tensões de tração no concreto, aproveitando ao máximo as tensões de compressão resistente pelo concreto simples, possibilitando estruturas com vãos maiores. Este artigo apresenta uma comparação orçamentária em relação ao custo dos materiais, aço, fôrma e concreto, entre o concreto armado e protendido, em lajes maciças. Foi utilizado um estudo de caso de um edifício multifamiliar, com a estrutura em concreto protendido, concebida com lajes planas lisas e a estrutura em concreto armado composta pelo sistema laje-viga-pilar. Para a análise de materiais obteve-se o quantitativo global a partir do projeto estrutural com a utilização do software TQS,

para o Concreto Armado (CA). Já o projeto em Concreto Protendido (CP) foi disponibilizado pela empresa responsável pelo dimensionamento, utilizando-se dos softwares Eberick e ADAPT. Elaborou-se um orçamento comparativo, utilizando os valores disponibilizados pela construtora responsável pelo estudo de caso. Os resultados apresentaram um custo de R\$ 1.248.780,22 para o CP e R\$ 1.038.298,54 para o CA, sendo o método construtivo de lajes maciças em CA, 20 % mais econômico.

Palavras-chave: Concreto protendido. Estruturas. Laje maciça.

ABSTRACT: Prestressed concrete is a growing technique in civil engineering. It aims to reduce and/or eliminate tensile stresses in concrete, making the most of the resistant compression stresses by simple concrete, enabling structures with larger spans. This article presents a budget comparison in relation to the cost of materials, steel, formwork and concrete between reinforced and prestressed concrete in solid slabs. A case study of a multifamily building with a prestressed concrete structure designed with plain flat slabs and a reinforced concrete structure composed of the slab-beam-column system was used. For the analysis of the material the global quantitative was obtained from the structural design using the TQS software for Reinforced Concrete (RC). The Prestressed Concrete (PC) project was provided by the company responsible for the dimensioning, using Eberick and ADAPT software. A comparative budget was prepared, using the values provided by the construction company responsible for the case study. The results presented a cost of R\$ 1,248,780.22 for the CP and R\$ 1,038,298.54 for the CA, with the construction method of solid slabs in CA 20 % more economical.

Keywords: Prestressed concrete. Structures. Massive slab.

Introdução

O concreto é o principal componente utilizado para as construções, sendo um elemento heterogêneo composto por cimento, água e agregados. Quando utilizado como material estrutural recebe a denominação de concreto estrutural, que pode ser de três tipos diferentes: concreto simples sem qualquer tipo de armadura; concreto armado quando há uma armadura não pré-tracionada (armadura passiva); e concreto protendido quando há uma armadura que é ativa pré-tracionada (armadura ativa) (COUTO et al., 2013).

O mercado da construção civil apresenta-se cada vez mais competitivo. Com isso, surgem preocupações referentes à redução de custos e materiais, estando diretamente ligados com o meio ambiente, sendo necessário, também, uma redução do uso de recursos naturais (LEITE; PEREIRA JÚNIOR, 2019). Assim, a escolha do sistema empregado para a concepção estrutural envolve uma série de variáveis, desde questões muito concretas – como custos, mão de obra disponível, prazos e etc. – bem como questões delicadas, como valores sociais e culturais (REBELLO, 2007).

A arquitetura, no conceito moderno, exige soluções estruturais inovadoras. Essa ideia, aliada à necessidade de diminuição de prazos e otimização dos materiais, no atual mercado da engenharia, restringe a utilização do concreto armado e aumenta a necessidade de novos sistemas estruturais.

De acordo com W. Pfeil (1980), a protensão é utilizada em peças de concreto com a intenção de eliminar ou reduzir as tensões de tração. No concreto, a protensão é realizada por meio de cabos de aço de alta resistência, tracionados por macacos hidráulicos e ancorados no próprio concreto, a aplicação dessa tensão resulta na diminuição considerável de tração presentes no concreto, evitando que fissuras expressivas surjam, as quais prejudicam a estética e a durabilidade dos elementos.

Visto a existência de diferentes métodos construtivos na construção civil, este trabalho busca realizar um estudo comparativo de custos de concreto, aço e fôrma, entre duas soluções propostas para um mesmo projeto, sendo uma solução em laje convencional de concreto armado e, a outra solução, uma estrutura em laje plana lisa protendida, referentes a um edifício residencial multifamiliar, na cidade de Erechim-RS.

Sistema estrutural em Concreto Armado

O sistema estrutural em concreto armado consiste na associação do concreto simples com a armadura (aço), colocada de acordo com a combinação de tal maneira que ambos resistam aos esforços solicitantes (CARVALHO; FIGUEIREDO FILHO, 2014).

A união do concreto e do aço é utilizada, visto que o concreto apresenta cerca de 10 % da resistência à tração do que é capaz de resistir à compressão, enquanto o aço possui elevada resistência tanto à tração quanto à compressão. A composição entre esses dois

elementos, apresenta resultados eficientes.

Entre os elementos estruturais mais importantes, destacam-se as lajes, as vigas e os pilares, sendo responsáveis por proporcionar a estabilidade global dos edifícios, sendo a laje o elemento destinado a receber maior parte das ações aplicadas numa construção, como de pessoas, móveis, pisos e paredes. Geralmente são transmitidas as ações das lajes para as vigas de apoio, porém, também, podem ser transmitidas diretamente aos pilares (BASTOS, 2006).

Laje maciça é aquela onde toda a espessura é composta por concreto, contendo armaduras longitudinais de flexão e, eventualmente, armaduras transversais (BASTOS, 2015). O sistema estrutural de laje maciça também é conhecido pelo método laje-viga-pilar, onde as lajes apoiam-se sobre as vigas e estas sobre os pilares. A espessura entre os planos de lajes do pavimento deve ser considerada igual, pois facilita a mão de obra e diminui o consumo de fôrmas (DAL PRÁ, 2012).

O sistema de laje maciça em concreto armado apresenta limitações em relação aos vãos livres e é prática usual adotarem vãos médios econômicos, entre 3,5 m e 5 m. Devido à grande quantidade de vigas, a fôrma do pavimento fica muito recortada, ocasionando uma diminuição na produtividade e aumento no consumo de fôrmas.

Sistema Estrutural em Concreto Protendido

Segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014), concreto protendido é definido aquele em que parte das armaduras é alongada previamente, por protensão, com finalidade de impedir ou limitar a fissuração e deslocamentos das estruturas.

Segundo Veríssimo e César Jr (1998), no sistema estrutural em concreto protendido

é utilizado uma resistência característica do concreto à compressão (f_{ck}) alta com o objetivo de atingir resistência suficiente para suportar a protensão logo nas primeiras idades, acelerando o processo construtivo, o que, também faz com que o elemento sofra menos retração e deformação.

O concreto protendido se diferencia do concreto armado pelo uso de armadura ativa. Segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014), a armadura ativa, de protensão, é constituída por barras, fios isolados ou cordoalhas, destinada à produção de forças de protensão, isto é, na qual se aplica um pré-alongamento inicial.

Devido ao fornecimento, em grandes comprimentos, dos fios e cordoalhas, isto acaba por evitar os problemas relacionados à emenda da armadura em peças estruturais de grandes vãos (VERRÍSIMO; CEZAR JR, 1998).

As técnicas para a aplicação da protensão na estrutura podem ser definidas como pré-tração com aderência inicial, quando se utilizam fios ou cordoalhas de aço especial, estirados ao ar livre com o auxílio de macacos hidráulicos. Depois dos cabos serem tensionados as peças são concretadas e, após o ganho suficiente de resistência do concreto, os fios ou cordoalhas são liberados, ficando diretamente em contato com o concreto, aderidos apenas pelo atrito. É muito comum a utilização de peças pré-moldadas no sistema com aderência inicial (VERRÍSIMO; CEZAR JR, 1998).

Ainda, tem-se o método de pós-tração com aderência, em que os cabos são colocados dentro de bainhas metálicas, sendo essas injetadas com nata de cimento após a operação de protensão das cordoalhas. A finalidade da injeção é assegurar uma proteção eficaz das armaduras de protensão contra a corrosão, e permitir uma perfeita ligação mecânica da armadura e o concreto, preenchendo os vazios existentes entre a armadura e a parede

da bainha (EMERICK, 2003; PFEIL, 1984). A aderência criada através da injeção da nata de cimento faz com que o aço protendido e o concreto trabalhem em conjunto, de forma integrada (RUDLOFF, 2015; SCHMID, 2009).

E por fim, conforme a NBR 6118 (2014, p. 4) o sistema de pós-tração sem aderência que ocorre quando “[...] o pré-alongamento da armadura ativa é realizado após o endurecimento do concreto, sendo utilizadas, como apoios, partes do próprio elemento estrutural, mas não sendo criada aderência com o concreto [...]”.

O sistema de protensão não aderente é feito com cordoalhas engraxadas plastificadas. As cordoalhas engraxadas são as mesmas cordoalhas tradicionais com a adição de um revestimento de polietileno de alta densidade - PEAD, sobre a cordoalha já engraxada em toda a sua extensão (EMERICK, 2003).

A presença da graxa entre a cordoalha e a bainha plástica permite o cabo deslizar sem problemas no ato da protensão, reduzindo as perdas por atrito, e também funciona como elemento de proteção e inibição da corrosão para a armadura ativa (DE ALMEIDA FILHO; CORRÊA, 2002).

Há dois tipos principais de lajes protendidas: as pré-moldadas e as moldadas no local. As pré-moldadas são executadas em pistas de protensão e possuem o sistema de aderência inicial. Já as moldadas no local, são executadas com pós-tração, podendo ser compostas principalmente por lajes protendidas planas, nervuradas, treliçadas e alveolares. Dentro das lajes protendidas *in loco* destacam-se as lajes planas lisas, chamadas também de maciças, com monocordoalhas engraxadas (CARVALHO, 2012).

A laje plana lisa protendida (LPLP) é aquela que não admite capitéis, nem sequer o engrossamento da laje. Normalmente, as LPLPs, são confeccionadas com o emprego da protensão não aderente por meio de

cordoalhas engraxadas. Para a opção desse tipo de laje deve haver viabilidade técnica e econômica (SCHMID, 2009).

A viabilidade econômica das lajes protendidas lisas está ligada, essencialmente, ao parâmetro “vão”. Em uma estrutura onde a concepção deve prever grandes vãos, na ordem de 7,0 a 12,0 metros, o projeto em LPLP é naturalmente competitivo.

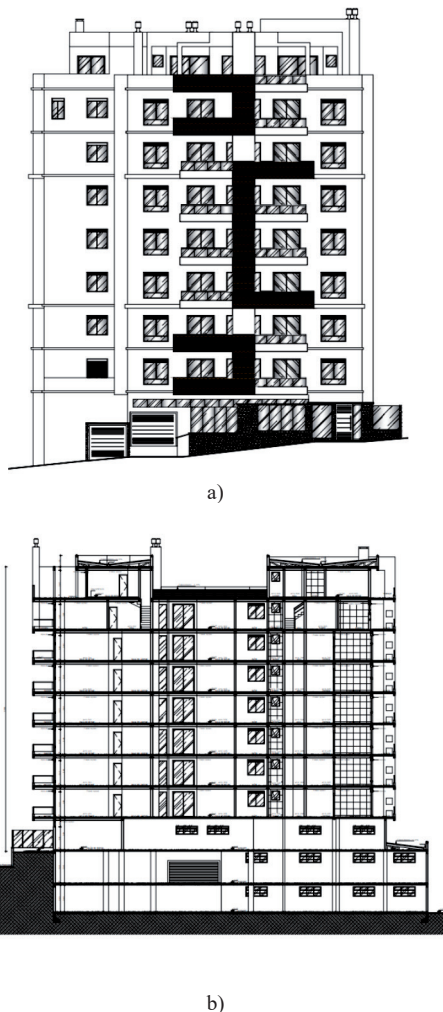
Metodologia

O estudo de caso tomou como base uma estrutura real de um edifício residencial multifamiliar localizado na cidade de Erechim-RS, com área total de 7.811,01 m² e contém 11 pavimentos sendo, 2 subsolos, 1 térreo, 6 pavimentos tipos, 1 duplex inferior e 1 duplex superior. A Figura 1 apresenta o projeto da fachada e do corte longitudinal do prédio analisado.

O subsolo 2 (nível -5,40 m), possui 21 vagas de garagens sendo 5 vagas duplas, totalizando uma área de 935,14 m². Já o subsolo 1 (nível -2,65 m), abrange 22 vagas de garagens sendo 7 vagas duplas e possuindo uma área total de 935,14 m². O pavimento térreo (nível +0,10 m), possui uma área de 795,15 m² englobando 14 vagas de garagens, sendo 2 vagas duplas, um salão de festas, hall de entrada e espaço de convivência. O pavimento tipo (nível +3,40 m) apresenta seis apartamentos.

O empreendimento em concreto protendido foi dimensionado por uma empresa especializada na área utilizando o software Eberick juntamente com o ADAPT para a protensão. Devido a possíveis alterações no projeto, a empresa não realizou o dimensionamento dos pavimentos duplex até a data de elaboração deste trabalho. Por esse motivo, foi considerado para o trabalho todos os pavimentos, com exceção do duplex, correspondente ao 10° e 11° pavimento.

Figura 1: Projeto do edifício a) Fachada Frontal b) Corte Longitudinal



No sistema construtivo foi utilizado um f_{ck} de 40 MPa para todos elementos estruturais. No que se refere à aplicação da protensão, o sistema utilizado neste trabalho foi com pós-tração não aderente, devido à facilidade de execução e um custo mais baixo, com macacos hidráulicos menores e de fácil manuseio. A laje do edifício é do tipo plana lisa protendida, não possuindo capitéis.

As cordoalhas são do tipo monocordoalhas engraxadas e plastificadas. O material da bainha plástica é de polietileno de alta densidade (PEAD), sendo de fácil manuseio e

instalação na laje. O aço utilizado é o CP190 RB com diâmetro nominal de 12,7 mm, possuindo 7 fios envoltos com graxa para não ocorrer perdas de protensão devido ao atrito da cordoalha com a bainha plástica. O nível de protensão utilizado é o completo, não admitindo que o concreto trabalhe tensões de tração, evitando fissuras e melhorando a estética da laje.

O projeto possui vigas de bordo com função arquitetônica e estrutural, e vigas de transição para melhor locação dos pilares. Nos primeiros pavimentos a estrutura protendida inclui lajes maciças em concreto armado, contabilizado na relação de materiais do sistema protendido.

O edifício, inicialmente dimensionado em concreto protendido, serviu de base para o dimensionamento em concreto armado com lajes maciças. A estrutura em concreto armado foi concebida a partir da utilização do software TQS, que seguiu as mesmas cargas que o projeto em concreto protendido.

No dimensionamento da estrutura com concreto armado foi utilizado o concreto com f_{ck} de 40 MPa. A classe de agressividade ambiental (CAA), na qual a estrutura se inclui, é a II, sendo a agressividade moderada, com um pequeno risco de deterioração da estrutura.

Os lançamentos das vigas se deram de acordo com os ambientes e a delimitação das paredes do layout de cada pavimento. A estrutura compõe, no total, de 289 vigas de seções variadas, nomeadas de acordo com o pavimento e os comprimentos chegam a vencer vãos de 7,60 metros.

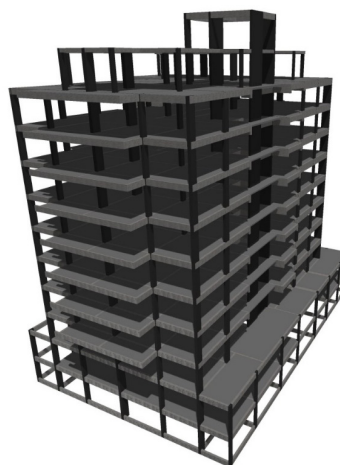
A locação dos pilares, no primeiro momento, se baseou pela estrutura existente em concreto protendido e foi adaptada para os vãos e as características do concreto armado. Visto que o sistema em CA não possui as mesmas características do CP, se tornou necessária a mudança de locação e o acréscimo

de pilares. Para evitar a perda de garagens foram adicionadas vigas de transição.

A partir de um lançamento preliminar, respeitando a área mínima para cada elemento estrutural de acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2014), foram analisados os deslocamentos, de acordo com a pior combinação e, averiguado o gráfico dos momentos fletores a fim de compreender melhor a distribuição das cargas na estrutura.

No projeto de estruturas em concreto armado verificou-se a segurança em relação aos estados limites últimos (ELU), a fim de dimensionar os elementos estruturais. Também foi verificado o estado limite de serviço (ELS), analisando as flechas das vigas e das lajes respeitando o máximo indicado por norma. A Figura 2 apresenta a imagem 3D do edifício concebido em Concreto Armado.

Figura 2: 3D da estrutura em CA



Levantamento dos quantitativos de materiais

Inicialmente, foram extraídos os quantitativos de materiais do software TQS, para Concreto Armado, e do software Eberick

e ADAPT, para o concreto protendido. O levantamento do quantitativo para o projeto em concreto protendido engloba além das fôrmas, concreto e aço, os acessórios: ancoragem, cunha bipartida, tampão de concreto, adaptador ancoragem e *pocket former* que tem a função de formar nicho de proteção para cordoalha.

Para definir o consumo de materiais de cada sistema estrutural foram desconsideradas as escadas e rampas, visto que ambas foram dimensionadas em concreto armado. A extração dos quantitativos englobam a superestrutura, a partir do pavimento subsolo 2 (nível -5,40 m) até o pavimento tipo 6 (nível +19,87 m), desconsiderando os pavimentos duplex.

Destaca-se que foi adotado, para o sistema de laje maciça convencional em concreto armado, o tempo de escoramento de 21 dias corridos, resultando na compra de 4 jogos de fôrmas. Em contrapartida, para os sistemas estruturais em concreto protendido, o tempo de escoramento adotado foi de 7 dias corridos, resultando na compra de 3 jogos de fôrmas. Para ambos os sistemas estruturais foi considerado o reaproveitamento de 3 vezes para cada jogo de fôrma.

Vale ressaltar que o quantitativo de fôrmas, chapa de madeirite plastificado com espessura de 14 mm, incluiu todos elementos estruturais (vigas, lajes e pilares), não contabilizando as escoras das lajes nem o sistema de travamento dos mesmos.

Orçamento dos sistemas estruturais

Foi realizado um orçamento global para cada sistema estrutural para a comparação entre os sistemas. Nos dois orçamentos os valores dos materiais utilizados se basearam no estudo de caso, na qual foram disponibi-

lizados os preços pela empresa responsável da execução, localizada na cidade de Erechim/RS, com base em valores do primeiro semestre de 2020.

Resultados e Discussão

São apresentados os resultados e discussões alcançados com a realização do estudo em relação aos quantitativos de materiais, orçamentos e comparações realizadas entre o sistema de concreto armado e concreto protendido para um edifício multifamiliar executado no município de Erechim/RS.

Quantitativos de materiais

A partir do projeto em concreto protendido disponibilizado pela empresa responsável, foi possível extrair os quantitativos de aço, fôrma, concreto e acessórios para cada pavimento. Para o quantitativo de fôrma, com um reaproveitamento de 3 vezes, a quantidade total para o edifício em concreto protendido englobando vigas, pilares e lajes foi de 3.274 m². O quantitativo de fôrmas para o concreto armado, com um reaproveitamento de 3 vezes, foi de 5.452 m², resultando em um aumento de aproximadamente 66% quando comparado com o concreto protendido. Essa diferença, já esperada, ocorreu devido à laje plana lisa protendida possuir uma extensa área contínua a ser ocupada pelas fôrmas e também permitir a desforma após a protensão resultando em um número menor de jogos de fôrma.

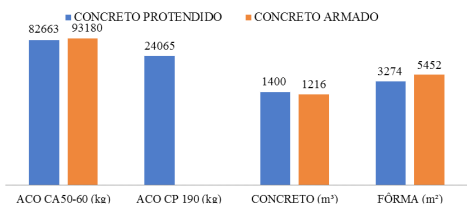
No sistema em concreto protendido, as lajes, por serem do tipo plana lisa, possuem altura de 20 cm na camada de concreto, maiores que as espessuras de 12 cm e 15 cm adotadas para o concreto armado. Entretanto, o consumo final mostrou-se contrário ao que se esperava, sendo que a estrutura em concreto armado apresentou uma redução de 13,14% no consumo final de concreto. Essa

redução pode ser justificada pelo uso de vigas de transição e vigas de bordo sem a finalidade estrutural utilizada no sistema de CP.

Para efeito comparativo de armaduras, o consumo de aço CA 50 e CA 60 se mostrou maior para o Concreto Armado, porém quando somado o consumo total em kg de aço, considerando a armadura passiva (CA 50 - CA 60) e a armadura ativa (CP 190), o Concreto Protendido resulta em um consumo superior. Entretanto, analisando a diferença de armadura passiva entre os sistemas, o sistema em concreto armado utilizou cerca de 11,28% a mais de aço do que o sistema protendido, que se justifica pela distribuição de vigas e pilares, criando pórticos que resistem e distribuem melhor os esforços aos pilares para o sistema CA.

Na Figura 3, é possível visualizar a diferença entre os dois sistemas construtivos em relação aos quantitativos de materiais.

Figura 3: Quantitativo CA e CP



Orçamentos

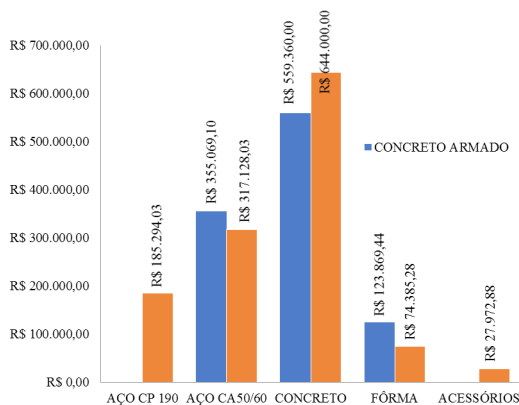
A partir dos preços disponibilizados pela construtora do edifício foco do trabalho, com base no primeiro semestre de 2020, foram realizados dois orçamentos, um para cada sistema estrutural. Analisou-se que a estrutura com menor custo foi a edificação concebida em concreto armado, conforme a Figura 4.

Pode ser analisado que o custo total do consumo de materiais que compõem o sistema estrutural, sem levar em consideração

os pavimentos duplex superior e inferior, foi de aproximadamente R\$ 1.248.786,70 e R\$ 1.038.298,54, para os sistemas construtivos com Concreto Protendido e Concreto Armado, respectivamente, no qual resulta em uma economia de aproximadamente 20% na opção pelo sistema com Concreto Armado. Considerando uma área estruturada de 5.747,67 m², tem-se um custo de 217,26 R\$/m² na opção por laje lisa protendida e de 180,65 R\$/m² na opção por laje maciça de concreto armado.

Deve-se ressaltar que na avaliação econômica das alternativas estruturais não se deve comparar simplesmente o consumo dos materiais por metro quadrado, mas sim o custo final, incluindo a infraestrutura e também considerar o tempo de execução, que não foram observados neste estudo.

Figura 4: Orçamento Comparativo



Segundo Giroldo (2007), para uma análise comparativa devem ser levados em conta fatores como: consumo de materiais, mão de obra, métodos construtivos, racionalização, prazo de execução, construtibilidade e sustentabilidade. Com isso, observa-se que uma análise comparativa que forneça apenas os quantitativos de materiais não garante que uma alternativa estrutural vai ser melhor ou menos benéfica em relação à outra.

No sistema com lajes protendidas, a desforma acontece assim que atingida a protensão final das lajes, quando o concreto atinge a resistência do projeto da estrutura, que no caso do estudo a aplicação da protensão se deu no 7º dia após a concretagem, sendo que, no sistema com lajes em Concreto Armado, a desforma acontece apenas no 21º dia. Com isso, é possível perceber a diferença de tempo na execução de ambos os sistemas, no qual a economia em mão de obra se inclina para o sistema com protensão.

Análise comparativa CP e CA

Para manter o número de vagas de garagens, no dimensionamento em Concreto Armado, houve a necessidade de adicionar pilares e vigas de transições. Contudo, não foi considerado o local e a altura das vigas, estando algumas delas aparentes, resultando em uma estética diferenciada a do Concreto Protendido com lajes planas.

O projeto em Concreto Protendido abrange um total de 46 pilares nascidos a partir da fundação. Já o projeto em Concreto Armado possui um acréscimo de 6 pilares, totalizando 52 pilares que nascem na fundação. Com esse aumento a área de manobra nas garagens foi reduzida, dificultando o acesso a algumas vagas.

A adição de 6 pilares resultaria em um aumento de 6 fundações. No entanto, no presente trabalho não foi considerada a infraestrutura, que ocasionaria um acréscimo de materiais para o sistema de concreto armado.

Análise do Estudo de caso

Com o acompanhamento da obra do estudo de caso, foi perceptível a diferença dos processos executivos para cada sistema estrutural. O edifício executado em lajes

planas lisas protendidas caracteriza-se, até o momento, pela rapidez na montagem de fôrmas, que segundo estudos de Linck (2013), na obra em concreto protendido obteve-se uma redução na equipe devido à agilidade que o sistema fornece.

As monocordoalhas trouxeram eficiência e facilidade, sendo leves e maleáveis, permitindo uma fácil instalação. A escolha do sistema não aderente se deu justamente pela facilidade de protensão, permitindo macacos hidráulicos de menor porte que favoreceram a protensão mesmo em elevadas alturas.

Durante as concretagens das lajes foi perceptível a facilidade de vibrar e lançar o concreto devido possuir apenas algumas vigas, de bordo e transição, e assim evitando problemas com o adensamento, que visa a eliminar as bolhas de ar, espaços vazios e o excesso de água em seu interior.

Conclusões

O presente artigo traz a comparação de sistemas estruturais com lajes planas lisas protendidas e lajes maciças de concreto armado baseado em um estudo de caso no município de Erechim/RS. Com o estudo, pode-se concluir que:

- a) o sistema em Concreto Protendido apresentou um menor consumo de fôrmas, por dispor de grandes áreas planas, quando comparado com o Concreto Armado.
- b) o sistema em Concreto Protendido obteve um maior consumo de aço, considerando a armadura passiva e ativa, e também concreto quando comparado com o Concreto Armado.
- c) a economia da estrutura em Concreto Armado em relação à estrutura de Concreto Protendido foi de aproximadamente 20%.

Considera-se também, que é necessário investigar outros aspectos quanto à comparação dos dois sistemas, sendo esses: prazo

de execução, materiais utilizados na infraestrutura, número de pilares e concepção estrutural.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: **Concreto Armado – Projeto de estruturas de concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2014.
- BASTOS, P. S. dos S. **Histórico e principais elementos estruturais de concreto armado**. Notas de Aula na disciplina de Sistemas Estruturais I da Universidade Estadual Paulista – Bauru/SP, 2006.
- BASTOS, P. S. dos S. **Lajes de Concreto**. Notas de Aula na disciplina de Estruturas de Concreto I da Universidade Estadual Paulista – Bauru/SP, 2015. Disponível em: <http://www.feb.unesp.br/pbastos/concreto1/Lajes.pdf>. Acesso em: 4 mar. 2020.
- CARVALHO, R. C. **Estruturas em Concreto Protendido: Cálculo e Detalhamento**. São Paulo: Pini, 2012.
- CARVALHO, R. C.; FIGUEIREDO F. J. R. de. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado: segundo a NBR 6118: 2014**. São Carlos: EdUFSCar, 2014.
- COUTO, J. A. S. et al. **O concreto como material de construção**. Caderno de Graduação-Ciências Exatas e Tecnológicas-UNIT, 2013. Disponível em: <https://periodicos.set.edu.br/index.php/cadernoexatas/article/view/552>. Acesso em: 20 mar. 2020.
- DAL PRÁ, A. A. **Análise de alternativas de projeto para pavimentos sem vigas em concreto armado**. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/100577>. Acesso em: 30 Mar. 2020.
- DE ALMEIDA FILHO, F. M.; CORRÊA, M. R. S. A. **Estruturas de pisos de edifícios com a utilização de cordoalhas engraxadas**. Tese de Doutorado-Universidade de São Paulo, 2002. Disponível em: http://web.set.eesc.usp.br/static/data/producao/2002ME_FernandoMenezesdeAlmeidaFilho.pdf. Acesso em: 15 Abr. 2020.
- DOS SANTOS, R. E. **A Armação do Concreto no Brasil: História da difusão da tecnologia do concreto armado e da construção de sua hegemonia**. Universidade Federal de Minas Gerais, 2008. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/FAEC-84KQ4X>. Acesso em: 4 Mar. 2020.
- EMERICK, A. A. **Projeto e execução de lajes protendidas**. Brasília, 2003.
- GIROLDO, L. C. **Edifício residencial de múltiplos pisos: análise comparativa de custos de sistemas estruturais em concreto para o pavimento tipo**. Universidade Federal do Paraná, 2007. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/11014/DISSERTA%c3%87%c3%83O%20LCGIROLDO%202007.PDF?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 10 nov. 2020
- LEITE, M. B., PEREIRA JÚNIOR, W. M. Utilização de técnicas de otimização no dimensionamento de vigas de concreto armado. **Holos**, ano 35, v. 3, e6282, 2019.
- LINCK, B. R. **Lajes lisas protendidas por cordoalhas engraxadas: avaliação do processo executivo em comparação ao do concreto armado convencional em edificações residenciais**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2013. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/96230>. Acesso em: 10 mar. 2020.

PFEIL, W. **Concreto protendido - Processos construtivos, perdas de protensão, sistemas estruturais**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1980.

PFEIL, W. **Concreto Protendido: Introdução**. Rio de Janeiro: S.A., 1984.

REBELLO, Y. **Bases para Projeto Estrutural na Arquitetura**. Rio de Janeiro: Zigurate, 2007.

RUDLOFF INDUSTRIAL LTDA. **Catálogo de Concreto Protendido**. 2015.

SCHMID, M. T. **Lajes Planas Protendidas**. 3. ed. Rudloff. São Paulo, 2009.

VERÍSSIMO, G. de S.; CÉSAR JR, K. M. L. **Concreto Protendido-Fundamentos Básicos**.

Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Civil, Viçosa, Minas Gerais, 1998.

Disponível em: <http://www.feb.unesp.br/lutt/Concreto%20Protendido/CP-vol1.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2020.

