# COMPARATIVO ENTRE LAJES LISAS EM CONCRETO ARMADO E PROTENDIDO COM FCK DE 30,35 E 40MPa



Revista Eletrônica Multidisciplinar
FACEAR
ISSN: 2316-2317

Michael Santos[1]
Stephan Yaguiu Costa[1]
Vilmar Vieira Filho[1]
Kirke Andrew Wrubel Moreira[2]
Patrícia Ribeiro Brandão[3]

*[1] Acadêmicos da Faculdade Educacional Araucária - FACEAR*
*[2] MSc. da Faculdade Educacional Araucária - FACEAR*
*[3] MSc. da Faculdade Educacional Araucária - FACEAR*

## RESUMO

*O desenvolvimento e a utilização de novos processos construtivos na construção civil visam reduzir tempo, custo e mão de obra. Um exemplo de otimização de material e mão de obra pode ser a aplicação de concreto com cordoalhas, pois podem reduzir seções e eliminar pilares e vigas. O sistema protendido com cordoalhas engraxadas em lajes lisas, método abordado nesse trabalho é de fácil aplicação em edificações de pequeno e médio porte, por se tratar de um sistema estrutural que depende de uma mão de obra especializada e utilização de equipamentos especiais para a sua execução, muitos projetistas acreditam ser inviável para projetos de pequena ou média monta. Desta forma, esse trabalho visa realizar um estudo comparativo entre o sistema convencional em concreto armado e o sistema em concreto protendido, utilizando-se de três diferentes Fck's, 30 MPa, 35 MPa e 40 MPa. A finalidade do estudo ora apresentado é comparar consumo de aço e de concreto necessários para a execução de uma laje tipo, em concreto armado e em concreto protendido, verificar qual é a relação entre a resistência característica à compressão (Fck) e o consumo de materiais e ainda apresentar um comparativo entre os sistemas, que possa servir de subsidio para os profissionais da área no momento de optar por um dos métodos construtivos.*

*Palavras chave: concreto protendido, lajes protendidas, protensão, comparativo.*

## ABSTRACT

*The development and use of new construction processes in construction, aimed at reducing time, cost and manpower. An example of optimizing material and workmanship can be a concrete application with ropes as they may reduce sections and delete columns and beams. The prestressed system with greased tendons in flat slabs, method discussed in this work is easy to*

*apply in small and medium-sized buildings, because it is a structural system that depends on a skilled labor and use of special equipment for its implementation many designers believe to be unaffordable for small or medium projects mounts. Thus, this study aims at a comparative study between the conventional system of reinforced concrete and the system in prestressed concrete, using three different Fck's, 30 MPa, 35 MPa and 40 MPa. The purpose of the study presented here is to compare consumption of steel and concrete needed for the execution of a slab type, reinforced concrete and prestressed concrete, find what is the relationship between the compressive strength characteristic (Fck) and consumables and also present a comparison between the systems, which can serve as a subsidy for professionals in the area at the time of opting for one of the construction methods.*

*Keywords: prestressed concrete, prestressed slabs, prestressing, comparative.*

## 1 INTRODUÇÃO

O concreto protendido surgiu da necessidade de suplantar algumas limitações do concreto armado. Nas últimas décadas, a utilização de armaduras protendidas em estrutura de concreto se consagrou como técnica construtiva no Brasil. O estabelecimento de tetos lisos, livres de vigas limitadoras, assim como a possibilidade de ampla escolha das mais variadas formas arquitetônicas, mostram a liberdade e os novos patamares que esta tecnologia permite.

A crescente aplicabilidade da protensão se dá em lajes planas, sobretudo em lajes planas lisas com o emprego de cordoalhas engraxadas, em que não ocorre a aderência entre o concreto e o aço de protensão (MELLO, 2005).

No entanto, a técnica de se protender uma estrutura encontra algumas barreiras, sendo muitas vezes, dita como uma solução economicamente inviável em relação às estruturas convencionais de concreto armado. Questiona-se se as estruturas de concreto protendido apresentam melhor viabilidade (técnica e econômica) em relação às estruturas convencionais de concreto armado.

Dessa forma, este trabalho visa realizar um estudo comparativo entre uma laje de concreto armado e uma laje em concreto protendido, para três diferentes resistências características do concreto (Fck 30 MPa, Fck 35 MPa e Fck 40 MPa), levando-se em consideração as mesmas condições de projeto, calculando e comparando o consumo de concreto e aço para ambos os métodos.

O sistema estrutural que emprega lajes protendidas apresenta grandes vantagens em relação ao sistema convencional em concreto armado (CA). Entre os aspectos construtivos, o sistema apresenta um processo mais racional, que agiliza e simplifica a execução de diversas etapas como a produção e montagem de formas, confecção de armaduras, concretagem e execução das instalações (MELLO, 2005).

Esse trabalho tem como objetivo geral, comparar o dimensionamento entre uma laje em concreto armado e uma laje em concreto protendido, para as resistências características de 30 MPa, 35 MPa e 40 MPa.

A técnica de se empregar o aço de protensão para o melhoramento das propriedades resistentes do concreto utilizadas em estruturas pré-fabricadas mostra-se uma excelente alternativa entre os sistemas estruturais disponíveis atualmente no mercado da construção civil. Porém, quando o engenheiro não possui o total conhecimento sobre o sistema empregado, a técnica adotada deixa de ser algo viável e torna-se algo não tão benéfico como esperado. Prezando sempre pela escolha do melhor sistema construtivo para cada obra, busca-se identificar o limite em que um sistema estrutural protendido deixa de se tornar mais viável economicamente que o convencional (BUCHAIM, 2007).

Da comparação entre o sistema convencional com o protendido, se comprovada a redução das seções de concreto e taxas de armadura, de um sistema para outro em determinado caso é incontestável que haverá uma menor necessidade da utilização de matéria-prima colaborando significativamente para combater os problemas ambientais, gerando menos desperdícios e prezando pela sustentabilidade das construções. Outro fator relevante quando se trabalha com peças mais leves, é que os gastos com transportes são minimizados, gerando menos lançamento de gases poluentes na atmosfera causados pelos veículos de transporte (INFORSATO, 2009).

## 2 METODOLOGIA

A partir do projeto de laje de pavimento tipo, será realizado o dimensionamento para concreto protendido e para concreto armado para as resistências características (Fck) de 30, 35 e 40 MPa respectivamente através de programas computacionais. Em seguida, faz-se a discussão dos resultados, com as devidas inferências inerentes ao estudo, e apresenta as considerações finais do trabalho, avaliando-se os pontos positivos e negativos.

A laje escolhida para os cálculos como mostra a Figura 1, é uma laje de pavimento tipo de um empreendimento residencial, localizado na Rua Bruno Pilato dos Santos, Nº362, bairro Fazenda Velha, município de Araucária/PR.A laje contém 243,57m², dividida em quatro apartamentos e o vão da escada de acesso.

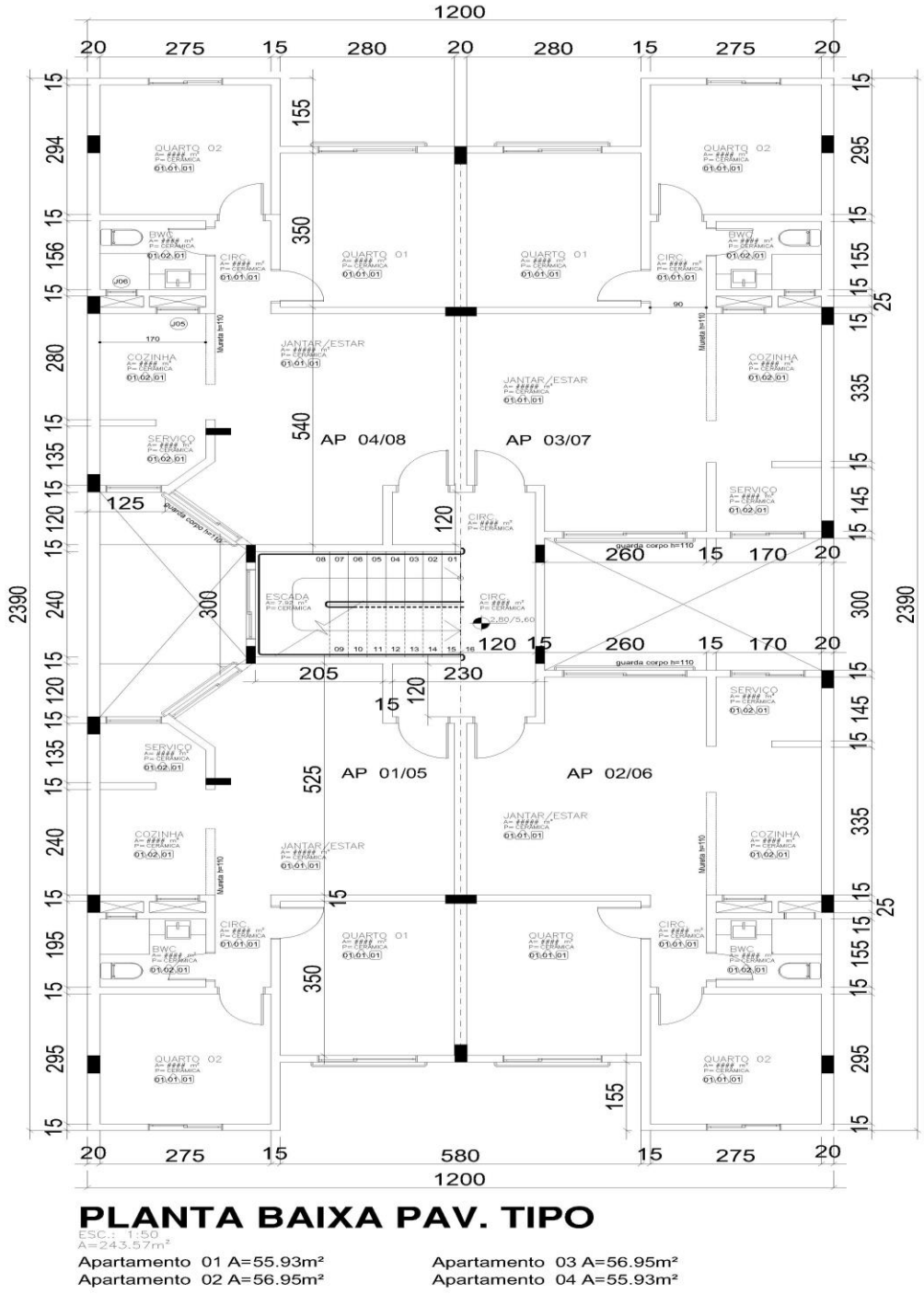


FIGURA 1: PLANTA DA LAJE – PAVIMENTO TIPO
FONTE: CROQUI A3 ARQUITETURA, 2013

## 2.1 Concreto para estruturas armadas

O concreto utilizado em estrutura com armadura passiva, caso de pilares, vigas e lajes, segundo a NBR 6118/2014, deve pertencer, no mínimo a classe C20, ou seja,

uma resistência mínima de 20 MPa, preservando, assim, a durabilidade e desempenho da estrutura.

### 2.1.2 Aços para concreto armado

Nos projetos de estruturas de concreto armado devem ser utilizados aços classificados conforme o valor característico da resistência de escoamento nas categorias CA-25, CA-50 e CA-60 (NBR 6118/2014).

### 2.1.3 Lajes convencionais em Concreto Armado (lajes maciças)

Lajes convencionais em CA (lajes maciças) são aquelas em que as lajes se apoiam em vigas que, por sua vez, descarregam em pilares (ALBUQUERQUE e PINHEIRO, 2002).

A esbeltez das lajes maciças costuma variar na ordem de 1/40 a 1/60 (relação entre a espessura e o menor vão da laje), não sendo adequada para vencer grandes vãos, e, portanto, de prática usual é adotado como vão médio econômico um valor entre 3,5 e 5 metros (CARVALHO E FIGUEIREDO FILHO, 2012; ALBUQUERQUE e PINHEIRO, 2002).

### 2.1.4 Critérios para o dimensionamento de lajes maciças

No sistema convencional em que as lajes apoiam-se sobre vigas, a ligação entre os elementos é, quase sempre, monolítica. No entanto, por se tratar de elementos distintos, com métodos de cálculos próprios, por simplicidade faz-se a separação virtual, considerando-se no esquema estrutural as vinculações impostas por esses elementos (FUSCO, 1976).

As lajes são essencialmente solicitadas à flexão, sujeitas também a esforços cortantes. A determinação dos momentos fletores atuantes nos elementos de placa podem ser feitos através de duas formas: o método elástico e o método plástico (CARVALHO E FIGUEIREDO FILHO,2012).

## 2.2 CONCRETO PROTENDIDO

### 2.2.1 Definições básicas

Armadura de protensão ou armadura ativa ou, ainda, cabo de protensão, é o elemento que será tracionado e, quando devidamente ancorado, transmitirá a força de protensão ao concreto. Pode ser constituída por fios, barras, cordoalhas ou feixes (de fios ou de cordoalhas) (NBR 6118/2014).

Armadura passiva é qualquer armadura que não seja utilizada para produzir forças de protensão, e são normalmente constituídas por barras ou fios de aço para concreto armado (NBR 6118/2014).

### 2.2.2 Concreto para estruturas protendidas

Em peças protendidas, em geral são utilizados concretos de resistência à compressão superior aos utilizados em peças de CA por apresentar maiores valores de resistência e módulo de elasticidade que viabilizem a aplicação da protensão e retirada de escoramentos (EMERICK, 2005).

### 2.2.3 Aços para concreto protendido

Conforme Pfeil (1980) os aços utilizados para protensão caracterizam-se pela sua elevada resistência e ausência de um patamar de escoamento. Esses aços caracterizam-se por serem mais econômicos, quando comparada a relação entre o custo e o valor da força desenvolvida em cada tipo de aço (comparação entre aços utilizados para CA e CP), devido a sua alta resistência, que pode ser, aproximadamente, três vezes superior aos aços comumente utilizados nas estruturas em CA (CARVALHO, 2012; VERÍSSIMO E CÉSAR JR, 1998).

### 2.2.4 Concreto protendido pré- tracionado

É aquele em que o estiramento da armadura ativa é feito através de apoios independentes da peça, antes do lançamento do concreto (CARVALHO, 2012). A Figura 2 mostra uma pista de protensão na qual macacos hidráulicos fazem o estiramento da armadura para posterior lançamento do concreto.



FIGURA 2: PISTA DE PROTENSÃO
FONTE: OLMETITALY (2014)

### 2.2.5 Concreto protendido pós-tracionado

É aquele em que o estiramento da armadura ativa é feito após o endurecimento do concreto, através de apoios na própria peça, criando-se ou não aderência da armadura com o concreto (CARVALHO, 2012). A Figura 3 ilustra o feixe de cordoalhas posicionado na forma antes da concretagem.



FIGURA 3: CORDOALHAS ENGRAXADAS NÃO ADERENTE
FONTE: CONCREFATO (2014)

### 2.2.6 Concreto protendido com aderência inicial

A armadura ativa é posicionada, ancorada e tracionada em blocos nas cabeceiras do berço. Após a montagem das armaduras passivas, concretagem e cura do concreto, as armaduras ativas são liberadas das cabeceiras. Com a tendência do aço retornar à sua posição original antes do tracionamento, mas, restringido por aderência ao

concreto endurecido da peça pré-moldada, o esforço de tração se transfere ao concreto na forma de compressão (CARVALHO, 2012).

### 2.2.7 Concreto protendido com aderência posterior

Aquele em que o pré-alongamento da armadura (ativa de protensão) é realizado após o endurecimento do concreto, utilizando-se, como apoios, partes da própria peça, criando-se posteriormente aderência com o concreto de modo permanente, através da injeção das bainhas (ISHITANI; LEOPOLDO; FRANÇA, 2002).

### 2.2.8 Concreto protendido sem aderência

Concreto protendido não aderente é aquele que após o estiramento da armadura de protensão, não existe a criação de aderência entre a armadura e o concreto.

O Sistema de protensão sem aderência entre o aço de protensão e a estrutura de concreto é demonstrado na Figura 4.

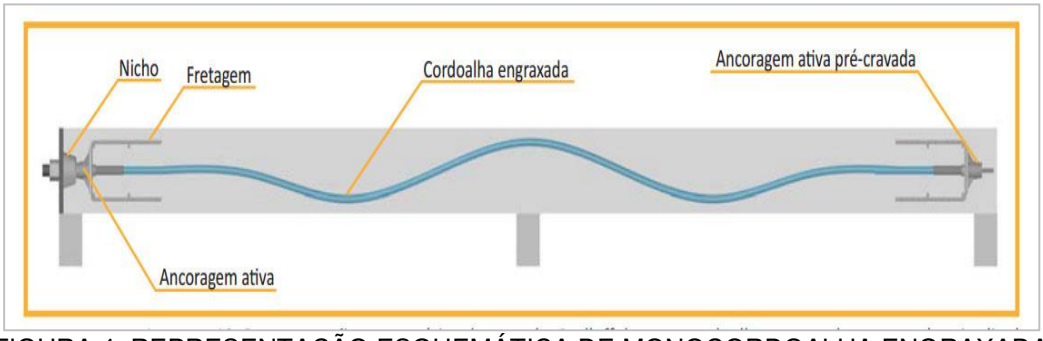


FIGURA 4: REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DE MONOCORDOALHA ENGRAXADA EM CORTE LONGITUDINAL
FONTE: RUDLOFF (2012).

Neste caso a armadura que é tracionada após a execução da peça de concreto é chamada de ativa (VERÍSSIMO, CÉSAR JÚNIOR,1998).

### 2.2.9 Perdas de força de protensão

As diminuições do esforço e protensão que ocorrem ao longo dos cabos são normalmente chamadas de perdas e podem ser classificadas de imediatas, devidas principalmente à forma como se procede a protensão e às propriedades elásticas do aço e do concreto, e diferidas ou ao longo do tempo, que se deve às propriedades viscoelásticas tanto do concreto quanto do aço (CARVALHO, 2012).

## 2.3 Estados limites

De acordo com a NBR 8681/2003 os estados limites de uma estrutura marcam os estágios a partir dos quais a estrutura apresenta desempenho inadequado às finalidades da construção. Os estados limites são subdivididos em: Estado Limite Último (ELU) e Estado Limite de Serviço (ELS).

O ELU é definido como aquele em que, pela sua simples ocorrência, determinam a paralisação, no todo ou em parte, do uso da construção. Já o ELS é aquele em que, por sua ocorrência, repetição ou duração, causam efeitos estruturais que não respeitam as condições especificadas para o uso normal da construção, ou que são indícios de comprometimento da durabilidade da estrutura (NBR 8681/2003).

## 2.4 LAJES PLANAS LISAS PROTENDIDAS SEM ADERÊNCIA

As LPLPs são aquelas em que não se admite capitéis, nem tampouco engrossamentos da laje. Para a opção desse tipo de laje, deve-se haver primordialmente viabilidade técnica e econômica, assim como conveniências arquitetônicas, tantos funcionais como de execução (RUDLOFF, 2009).

Segundo a publicação técnica da Rudloff (2009), a viabilidade econômica desse tipo de laje 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.

# 3 CRITÉRIOS PARA DIMENSIONAMENTO

Para início dos estudos numéricos, criaram-se dois modelos estruturais didáticos referentes à laje de pavimento tipo do edifício residencial em estudo, um para concreto armado e outro para concreto protendido.

As cargas horizontais neste estudo foram desconsideradas, levando em consideração no cálculo apenas cargas verticais como o peso próprio dos elementos estruturais adotados além dos eventuais revestimentos sobre o piso e a sobrecarga acidental.

Foi arbitrado que a altura da laje em concreto armado será de 10cm conforme especificado em projeto, e para a laje em concreto protendido a altura será de 16cm, a altura mínima recomendada pela NBR 6118/2014 no seu item 13.2.4.1, para lajes lisas.

As propriedades do concreto adotadas são de 30, 35 e 40 MPa para resistência característica tanto para o concreto armado quanto para o concreto protendido. A Figura 5 mostra a representação do plano de lajes para CA e para CP.

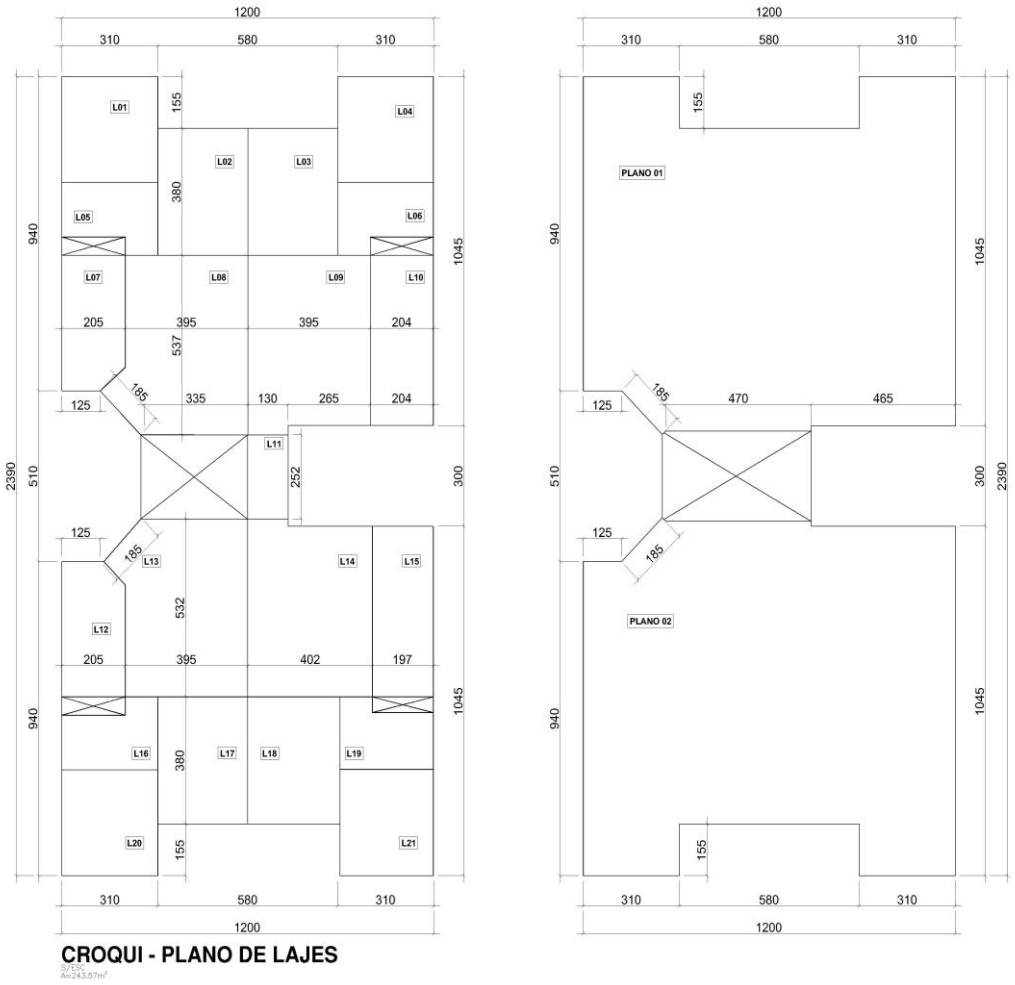


FIGURA 5: REPRESENTAÇÃO DO PLANO DE LAJES EM CONCRETO ARMADO E PROTENDIDO
FONTE: OS AUTORES

Portanto, o estudo comparativo será feito entre 10 (dez) planos de laje em concreto armado e 1 (um) plano de laje em concreto protendido, sendo desconsiderado o vão da escada em ambos os cálculos.

## 4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

O dimensionamento das lajes em concreto protendido foi realizado através de planilhas eletrônicas programadas no software Excel, conforme a metodologia descrita

em Carvalho (2012), para os cálculos das lajes em CA, além das planilhas eletrônicas, também foi utilizando o software para projeto estrutural Eberick V8.

Para fim de análise comparativa os diferentes resultados obtidos para que tenham as mesmas condições para as lajes armadas e protendidas, foi definido o preço dos materiais de acordo com o mercado atual na região de Curitiba. Deste modo, o preço dos materiais utilizados apresenta-se na Tabela 1.

TABELA 1 – PREÇO MÉDIO DOS MATERIAIS

| Fornecedor | Concreto R$/m³ | | | Aço CA-50 R$/kg | Aço CA-60 R$/kg | Cordoalha CP 190 R$/kg |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 30 MPa | 35 MPa | 40 MPa | | | |
| 1 | R$ 250,00 | R$ 262,00 | R$ 272,00 | R$ 3,90 | R$ 4,90 | R$ 6,30 |
| 2 | R$ 258,00 | R$ 270,00 | R$ 285,00 | R$ 4,20 | R$ 5,80 | R$ 6,10 |
| 3 | R$ 265,00 | R$ 285,00 | R$ 310,00 | R$ 3,30 | R$ 5,20 | R$ 5,95 |
| Média | R$ 257,67 | R$ 272,33 | R$ 289,00 | R$ 3,80 | R$ 5,30 | R$ 6,12 |

Comparativo entre as lajes em CA com h= 10cm e em CP com h=16cm:

CONSUMO DE AÇO (kg)

| Sistema estrutural | Fck 30MPa | Fck 35MPa | Fck 40 MPa |
|---|---|---|---|
| Concreto Armado | 546 | 574 | 634 |
| Concreto Protendido | 439 | 400 | 397 |
| Diferença % | 24,4 | 43,5 | 59,7 |

Na Tabela 2 são apresentados os valores de consumo de concreto para CA e CP.

CONSUMO DE CONCRETO (m³)

| | | |
|---|---|---|
| Área total da laje | | 115,6m² |
| Concreto Armado | Vol. | 11,56 |
| Concreto Protendido | Vol. | 18,50 |
| Diferença % | | - 38 |

O Gráfico 1 mostra que o custo total da laje do estudo de caso, em CA é ascendente em função do Fck, justificado pela diferença de preço dos concretos e pelo incremento da armadura. O custo em CP sofre uma redução quando o Fck varia de 30 MPa para 35 MPa, e se eleva um pouco quando o Fck é de 40 Mpa, o que se deve principalmente à diminuição da armadura.

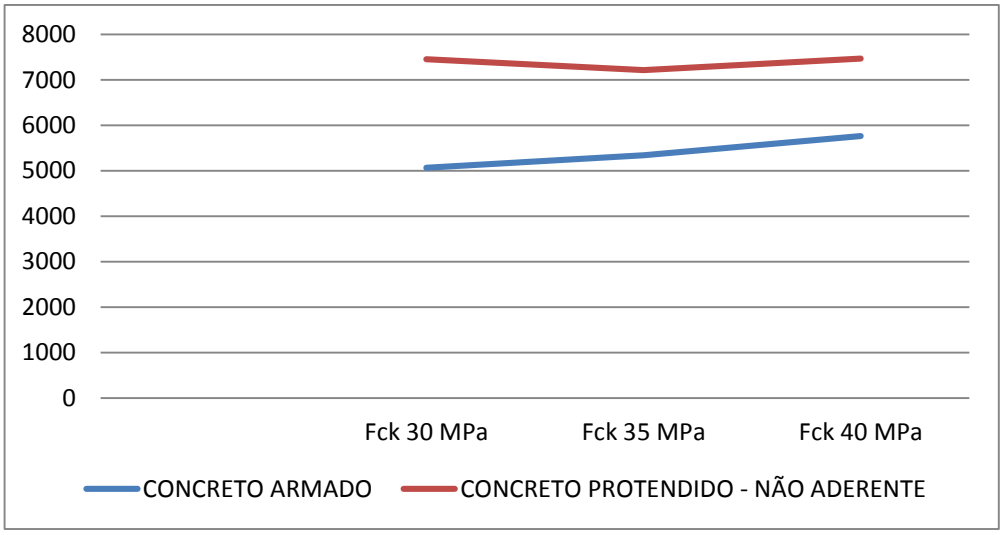


GRÁFICO 1: CUSTO TOTAL (R$)

Comparando os custos das lajes armadas e protendidas para o pavimento tipo em estudo, percebe-se que o sistema em CP sempre apresenta um custo maior de materiais do que o sistema em CA para as três situações analisadas, Fck 30, 35 e 40 MPA, devido ao maior custo das armaduras ativas ou cordoalhas.

Porém, não foram considerados nos cálculos os valores de consumo de materiais para a execução dos pilares e vigas, que no sistema em CA utiliza um maior número destes elementos quando comparados ao sistema em CP. Desta forma, foi realizado o dimensionamento das vigas e pilares necessários para cada sistema estrutural, a Figura 6 mostra a disposição de pilares e vigas para CP e para CA, de acordo com o projeto estrutural.

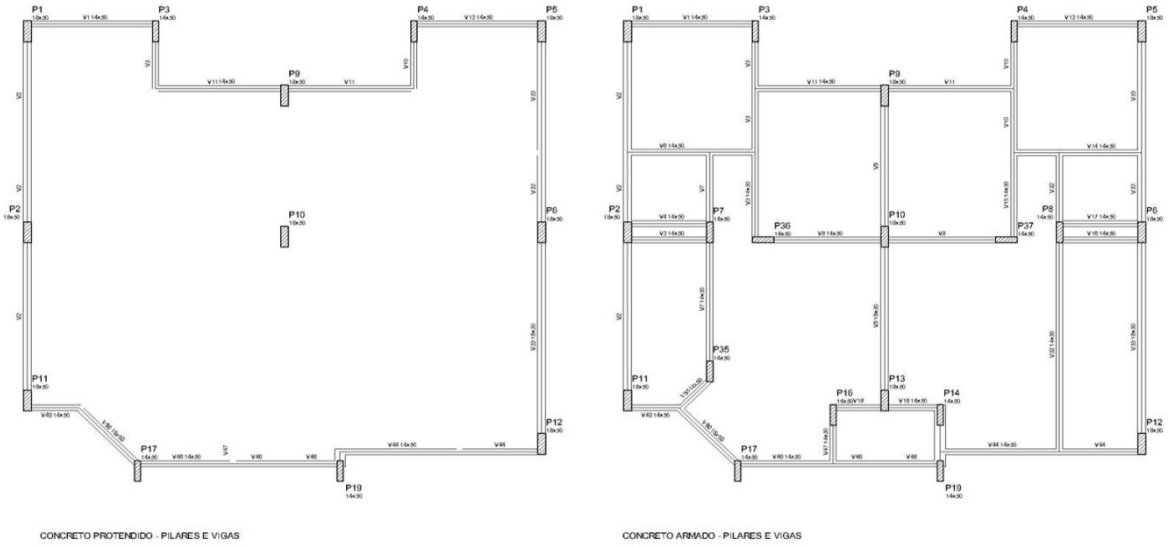


FIGURA 6: DISPOSIÇÃO DE PILARES E VIGAS PARA CP E CA
FONTE: OS AUTORES, 2015

Na figura 6 é possível perceber que para o sistema em CP o número de elementos estruturais é menor do que o para CA. Ressalta-se que para o CP foi optado por manter as vigas de borda da laje, mas, estas poderiam ser retiradas sem afetar a estabilidade da estrutura. Foram realizados os dimensionamentos das vigas e pilares através do software EBERICK.

Foi realizado um comparativo de custos totais envolvendo os elementos estruturais e a laje de estudo de caso em CA, com altura de 10 cm e em CP, com altura de 16cm para as resistências características de 30 MPa, 35 MPa e 40 MPa, o Gráfico 2 abaixo apresenta os valores encontrados.

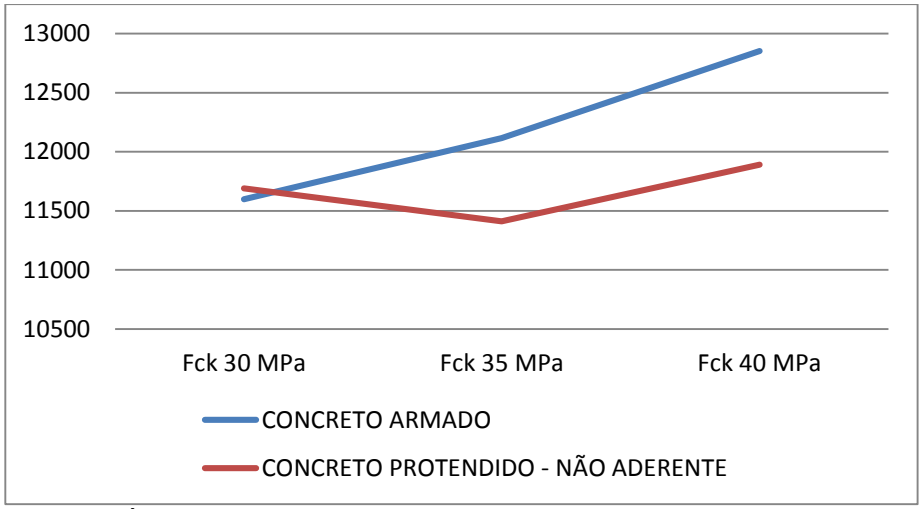


GRÁFICO 2: CUSTOS TOTAIS LAJES, PILARES E VIGAS (R$)

Observa-se no gráfico 2 que o custo de aço e concreto para a estrutura em CA apresenta uma curva ascendente, em função do aumento do Fck, enquanto que para a estrutura em CP o custo apresenta uma curva descendente quando o valor de Fck varia 30 MPa para 35 MPa e ascendente de 35 MPa para 40 MPa, porém, com valores menores que para CA, valores explicados pelo menor consumo de materiais utilizados no sistema em CP. Para o Fck de 35 MPa e 40 MPa o CP mostrou-se mais viável economicamente do que o CA, explica-se, pelo consumo menor de materiais para este sistema estrutural.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo comparativo entre lajes de CA e CP mostrou que o sistema em CA é mais viável para as três resistências características (Fck's) estudadas, para situações usuais, ou seja, lajes em CA com h=10cm e em CP com h=16cm.

Mas, considerando todos os elementos usualmente utilizados para a execução dos dois sistemas e adequados aos requisitos mínimos da NBR 6118/2014, o sistema em CP (h=16cm) apresentou-se viável em função de utilizar um número menor de elementos estruturais. No Fck de 30 Mpa as viabilidades de ambos os sistemas são praticamente semelhantes, enquanto nas resistências de 35 MPa e 40 MPa existe uma vantagem na utilização do CP, porque utiliza-se menor quantidade de aço e concreto em relação ao CA.

Para projetos que buscam o melhor aproveitamento da altura (pé direito), maiores vãos livres, ou ainda, que precisem de um menor peso próprio, estruturas em CP podem ser utilizadas, pois, quando considerados todos os elementos necessários para a execução da estrutura, o CP apresenta vantagens técnicas e econômicas conforme comparadas nesse artigo.

## 6 REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, A. T.; PINHEIRO, L. M. **Viabilidade econômica de alternativas estruturais de concreto armado para edifícios.** Cadernos de Engenharia de Estruturas, 19, 2002, São Carlos. Escola de Engenharia de São Carlos, USP .

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **ABNT. NBR 6118 - Informação e documentação – Referências – Elaboração**. Rio de Janeiro: ABNT, 2014 .

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **ABNT. NBR 8681 - Ações e segurança na estrutura.** Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

BUCHAIM, R. **Concreto protendido: Tração axial, flexão simples e força cortante**. 1. ed. Londrina: Eduel, v.1. 2007 .

CARVALHO, R. C.; FIGUEIREDO FILHO, J. R. D. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado**. 3. ed. 4. reimpressão. São Carlos: Ed. UFCar, 2012 .

CARVALHO, R. C. **Estruturas em concreto protendido: cálculo e detalhamento.** 1 ed. São Paulo: PINI, 2012 .

CONCREFATO. **Industria de artefato de cimento.** Disponível em <www.concrefato.com.br > Acesso em 21-nov-2014 .

EMERICK, A. A. **Projeto e execução de lajes protendidas.** Rio de Janeiro: Interciência, 2005 .

FUSCO,P.B **Estruturas de Concreto.** São Paulo: Mcgraw-Hill do Brasil, v. 1, 1976 .

INFORSATO, T. B. **Considerações sobre o projeto, cálculo e detalhamento de vigas pré- fabricadas protendidas com aderência inicial em pavimentos de edificações**. Dissertação de mestrado do Programa de Pós-graduação em Construção Civil da Universidade Federal de São Carlos, São Carlos – SP, 2009 .

ISHITANI; LEOPOLDO; FRANÇA. **Concreto Protendido – Fundamentos Iniciais**, São Paulo: USP, 2002 .

MELLO, A. L. V. **Cálculo de lajes lisas com protensão parcial e limitada**. Dissertação de pós-graduação em Construção Civil da Universidade Federal de São Carlos – SP, 2005 .

OLMETITALY. **Concrete machinery to build the future.** Disponível em < www.olmetitaly.com > Acesso em 21-nov-2014 .

PFEIL, W. **Concreto protendido**. Brasília: Livros Técnicos e Científicos, 1980 .

RUDLOFF. Rudloff editora. **Catálogo de concreto protendido.** São Paulo:[s.n.], 2012. 32p. Catálogo .

RUDLOFF. Rudloff editora. **Lajes Planas Protendidas.** 3 ed. São Paulo:[s.n.], 2009 .

VERÍSSIMO, G.S.; CÉSAR JR., K.M.L. **Concreto protendido – Fundamentos básicos.** Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Civil, 1998 .

VERÍSSIMO, G. S.; PAES, J. L. R.; SILVA, R. C. da; CÉSAR JR, K. M. L. **Concreto Protendido**: Estados Limites. Notas de Aula na disciplina de Concreto Protendido do curso de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Viçosa. 4. ed. Viçosa, 1999. Disponível em:<http://pessoal.utfpr.edu.br/amacinrm/protendido/ arquivos/CP3.pdf>. Acesso em: 10-nov-2014 .