

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**William Gallina Viero**

**COMPARAÇÃO TÉCNICA E ECONÔMICA DO USO DE LAJE  
MACIÇA EM CONCRETO ARMADO E LAJE PLANA EM CONCRETO  
PROTENDIDO EM UMA EDIFICAÇÃO MULTIFAMILIAR**

**Santa Maria, RS  
2023**

**William Gallina Viero**

**COMPARAÇÃO TÉCNICA E ECONÔMICA DO USO DE LAJE MACIÇA EM  
CONCRETO ARMADO E LAJE PLANA EM CONCRETO PROTENDIDO EM UMA  
EDIFICAÇÃO MULTIFAMILIAR**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Civil, do Centro de Tecnologia, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito final para obtenção do grau de **Bacharel em Engenharia Civil**.

**Orientador: Prof. Dr. Joaquim César Pizzutti dos Santos**

**Santa Maria, RS  
2023**

**William Gallina Viero**

**COMPARAÇÃO TÉCNICA E ECONÔMICA DO USO DE LAJE MACIÇA EM  
CONCRETO ARMADO E LAJE PLANA EM CONCRETO PROTENDIDO EM UMA  
EDIFICAÇÃO MULTIFAMILIAR**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao  
Curso de Graduação em Engenharia Civil, do  
Centro de Tecnologia, da Universidade Federal  
de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito  
final para obtenção do grau de **Bacharel em  
Engenharia Civil**.

**Aprovado em 09 de fevereiro de 2023:**

---

Prof. Dr. Joaquim César Pizzutti dos Santos  
Presidente/Orientador

---

Prof. Dr. Jaime Freiberger Junior

---

Eng. Civil Fábio Adriano Soares Walter

Santa Maria, RS  
2023

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço principalmente a minha mãe Eliane, ao meu pai Claudinei e a minha companheira Mariana, por todo o suporte que fez possível a conclusão do meu curso de graduação, o qual é uma das grandes conquistas da minha vida.

Agradeço também ao professor Joaquim, pelas ideias e contribuições, que tornaram este trabalho possível e me permitiram ter um grande aprendizado durante o processo.

Por fim, agradeço à Universidade Federal de Santa Maria, que me proporcionou experiências únicas durante este período de graduação, as quais carregarei comigo durante toda minha vida, seja ela profissional ou pessoal.

*“Do not pray for an easy life, pray for the  
strength to endure a difficult one”  
Bruce Lee*

## RESUMO

### COMPARAÇÃO TÉCNICA E ECONÔMICA DO USO DE LAJE MACIÇA EM CONCRETO ARMADO E LAJE PLANA EM CONCRETO PROTENDIDO EM UMA EDIFICAÇÃO MULTIFAMILIAR

**AUTOR: William Gallina Viero**

**ORIENTADOR: Joaquim César Pizzutti dos Santos**

A utilização de diferentes abordagens para a elaboração de um projeto estrutural de uma edificação é um processo muito individual de cada profissional, pois os conceitos utilizados norteados pela técnica, provêm de uma trajetória singular e ao mesmo tempo cadenciada pelos avanços do campo da engenharia. Neste sentido, o estudo tem por objetivo comparar técnica e economicamente uso de dois sistemas construtivos diferentes para uma mesma laje de transição de uma edificação multifamiliar. O projeto inicialmente concebido, considerava a execução de uma laje maciça em concreto armado, sendo posteriormente substituída por uma laje plana em concreto protendido. Com base na tabela SINAPI para o custo de insumos foram levantados os quantitativos de materiais descritos em projeto e feita uma comparação sob o viés econômico entre as duas soluções adotadas. De um modo geral, o sistema que tem por base a utilização de laje plana em concreto protendido se mostrou menos viável economicamente, devido aos custos envolvendo cordoalhas e o concreto em volumes e custo devido ao Fck elevado. Assim sendo, as razões pelas quais optou-se pela mudança de sistema estrutural da laje de transição da edificação em estudo não foram descobertas, porém entende-se que o fato que não terem sido feitas modificações no projeto quanto a otimização da redução do número de pilares incidiu diretamente para que o custo da solução adotada, fosse superior ao custo da primeira, com uma laje maciça e concreto armado convencional.

**Palavras-chave:** estruturas, concreto armado, concreto protendido, custo, lajes.

## ABSTRACT

### TECHNICAL AND ECONOMIC COMPARISON OF THE USE OF SOLID SLAB IN REINFORCED CONCRETE AND FLAT SLAB IN PRESTRESSED CONCRETE IN A MULTI-FAMILY BUILDING

**AUTHOR:** William Gallina Viero  
**ADVISOR:** Joaquim César Pizzutti dos Santos

The use of different approaches for the elaboration of a structural project of a building is a very individual process for each professional, since the concepts used, guided by the technique, come from a unique trajectory and at the same time cadenced by advances in the field of engineering. In this sense, the study aims to compare technically and economically the use of two different construction systems for the same transition slab of a multifamily building. The initially conceived project considered the execution of a massive slab in reinforced concrete, which was later replaced by a flat slab in prestressed concrete. Based on the SINAPI table for the cost of inputs, the quantities of materials described in the project were raised and a comparison was made under the economic bias between the two adopted solutions. Usually, the system based on the use of a flat slab in prestressed concrete proved to be less economically viable, due to the costs involving cables and concrete in volumes and cost due to the high  $F_{ck}$ . Therefore, the reasons why it was decided to change the structural system of the transition slab of the building under study were not discovered, but it is understood that the fact that no changes were made to the project regarding the optimization of the reduction in the number of pillars directly impacted so that the cost of the adopted solution was higher than the cost of the first one, with a massive slab and conventional reinforced concrete.

**Keywords:** structures, reinforced concrete, prestressed concrete, cost, slabs.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Modelos de vinculações de lajes .....	16
Figura 2 – Exemplo de punção em laje plana.....	17
Figura 3 – Gráfico comparativo de consumo de aço CA50 e CA60 nos dois sistemas estruturais .....	24
Figura 4 – Gráfico de porcentagens de custos individuais de cada insumo analisado para o sistema em laje maciça .....	25
Figura 5 - Gráfico de porcentagens de custos individuais de cada insumo analisado para os sistema em laje plana e concreto armado e protendido .....	26
Figura 6 – Planta de fôrmas das armaduras de punção.....	27
Figura 7 – Detalhe da armadura do Pilar 34 na planta de fôrmas .....	28
Figura 8 – Detalhamento do Pilar 34.....	28

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Quantitativos de aço agrupados por finalidade da laje plana em concreto protendido.....	21
Tabela 2 – Quantitativos de aço das vigas da laje maciça em concreto armado .....	22
Tabela 3 – Quantitativos de aço da laje maciça agrupados por finalidade.....	22
Tabela 4 – Descrição dos insumos e respectivos custos unitários do sistema estrutural com laje maciça em concreto armado .....	23
Tabela 5 - Descrição dos insumos e respectivos custos unitários do sistema estrutural com laje plana em concreto armado e protendido.....	23

**LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

% - Porcentagem

a/c – Relação água/cimento ou água/aglomerante

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

F<sub>c</sub> – Resistência do concreto à compressão axial

kg – Quilogramas

m<sup>3</sup> - Metros cúbicos

mm – Milímetros

MPa – Mega pascals

°C – Graus Celsius

R\$ - Reais

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
<b>1.1 JUSTIFICATIVA .....</b>	<b>13</b>
<b>1.2 OBJETIVOS .....</b>	<b>13</b>
1.2.1 Objetivo geral .....	13
1.2.2 Objetivos específicos .....	13
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>14</b>
<b>2.1 SISTEMA ESTRUTURAL EM CONCRETO ARMADO .....</b>	<b>14</b>
2.1.1 Elementos em concreto armado .....	15
<b>2.2 SISTEMA ESTRUTURAL EM CONCRETO PROTENDIDO .....</b>	<b>18</b>
<b>3 METODOLOGIA.....</b>	<b>19</b>
<b>3.1 ESTUDO DE CASO .....</b>	<b>19</b>
<b>3.2 ANÁLISE DO SISTEMA .....</b>	<b>19</b>
<b>3.3 CUSTOS .....</b>	<b>19</b>
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>21</b>
<b>4.1 OS INSUMOS .....</b>	<b>21</b>
<b>5. CONCLUSÃO.....</b>	<b>30</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>32</b>
<b>ANEXO A – PLANTA DE FÔRMAS DO SISTEMA COM LAJE MACICA EM CONCRETO ARMADO.....</b>	<b>33</b>
<b>ANEXO B – PLANTA DE FÔRMAS DO SISTEMA COM LAJE PLANA EM CONCRETO PROTENDIDO .....</b>	<b>34</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Ao longo das décadas o avanço da utilização de diferentes instrumentações no campo tecnológico propiciou um grande enfoque na inserção de novas práticas nos mais diversos segmentos profissionais. No campo da engenharia, é possível identificar que a inovação sempre fez parte da evolução deste segmento, com a premissa de atender as necessidades de um conjunto ou grupo de pessoas.

A premissa básica de atender as necessidades decorrentes do meio ao qual se está inserido continua sendo base da engenharia civil, entretanto, outros aspectos foram sendo inseridos como partes fundamentais no ato da concepção e compatibilização de um projeto.

Além de utilizar técnicas já difundidas ao longo dos anos, é importante que se tenha consciência das diferentes inovações trazidas pelo mercado, contribuindo para que a evolução do meio continue a ser renovada. Neste sentido, a busca por alternativas que tornem o projeto mais competitivo em relação à custos, prazos, facilidade e agilidade na execução, atrelados à qualidade do produto final ganham um enfoque cada vez maior.

Assim sendo, Chust Carvalho & Figueiredo Filho (2015) antes de abordar os processos que possibilitam o cálculo de uma estrutura, é importante entender mesmo que simplificada, o processo de produção da mesma. Neste sentido, além de garantir que a estrutura mantenha as características desejadas que possibilitem a utilização satisfatória da edificação, o método de cálculo utilizado e o sistema estrutural adotado, influenciam e incidem diretamente em um dos segmentos mais preponderantes de uma construção, o custo.

Neste sentido, Rodrigues (2002) afirma que uma estrutura econômica não se resume em uma estrutura com baixo consumo de materiais, com menos utilização aço em sua estrutura, e sim aquela que combine menores custos, alta produtividade e qualidade na construção civil.

Comumente é atribuído ao tempo de projeto um prazo curto, se comparado ao tempo que se utiliza para a execução de uma edificação. Para Brandão (1998), esta cultura deve ser abandonada, pois por mais que pareça dispendioso utilizar-se de um tempo maior para a elaboração e compatibilização de projetos, tal procedimento é plenamente recompensado por meio de reflexos financeiros que a tomada correta de decisões proporcionados pela redução de defeitos, de desperdícios e de prazos, conduz acertadamente a uma solução construtiva mais assertiva e satisfatória.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

A engenharia é uma das profissões mais antigas do planeta, onde até hoje é possível admirar e se encantar com o acervo de obras históricas deixadas por antigas civilizações.

Junto consigo, a profissão traz conceitos de utilização de materiais e de técnicas difundidas e consagradas ao longo dos anos. Sendo um dos setores que mais inova no setor tecnológico devido ao volume de construções e por movimentar uma parcela considerável da economia global, ainda é possível identificar uma grande relutância ao adotar técnicas inovadoras por profissionais mais conservadores.

Neste sentido, o presente trabalho busca identificar, por meio de análise comparativa de custos de materiais e de tempo de execução, a utilização de dois diferentes sistemas estruturais para um mesmo elemento estrutural em um edifício em alvenaria estrutural na cidade de Santa Maria, RS.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo geral

Avaliar e comparar técnica e economicamente o uso de laje convencional em concreto maciço e laje em concreto protendido para a execução da laje do pavimento térreo de uma mesma edificação.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- Analisar o sistema de laje plana com concreto protendido e do sistema usual de laje maciça em um mesmo pavimento de uma edificação;
- Fornecer uma análise dos custos envolvidos com insumos para a utilização de cada um dos sistemas construtivos, baseado na tabela SINAPI.
- Discutir o cronograma de execução para os dois sistemas construtivos envolvidos no estudo

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 SISTEMA ESTRUTURAL EM CONCRETO ARMADO

O concreto de cimento Portland, pode ser definido como o resultado da mistura de cimento, água, agregado miúdo e agregado graúdo, em sua mais simples e objetiva forma original. Após anos de evolução de técnicas empregadas por diferentes civilizações e estudos científicos pioneiros, o cimento Portland, assim denominado por Aspdin em 1824, deu início a popularização do uso do concreto como material de construção (Kaefer, 1998).

Desta forma, com o passar dos anos a evolução do concreto armado deu-se de modo conjunto a evolução de técnicas de refinamento de seus componentes, principalmente por conta da evolução das técnicas de produção do cimento, a fim de se tornar um dos produtos mais consumidos do mundo.

Assim sendo, a popularização do uso do cimento como aglomerante hidráulico fez com que o uso do concreto se disseminasse com maior intensidade, originando outras demandas, como o fato de o concreto possuir uma alta resistência à compressão e baixíssima resistência à tração, dando origem ao que chamamos atualmente de concreto armado.

O concreto armado pode ser definido como o conjunto de barras de aço envolto por concreto, cujo objetivo de tais materiais serem empregados juntos é a alta resistência a compressão do concreto aliada a alta resistência à tração pelo aço (Bastos, 2019). Também é entendido como um material plástico moldado a fim de atingir sua forma antes de seu endurecimento (Kaefer, 1998).

Os primeiros registros que se tem sobre a utilização do termo “concreto armado” são de por volta do ano de 1920, entretanto, Lambot é considerado um dos pioneiros na utilização do “cimento armado”, com a construção do barco de Lambot por volta dos anos do ano de 1855. Outra importante figura, diz respeito ao francês Monier, um fabricante de vasos, que por considera-los muito frágeis, incluía junto à mistura de cimento, uma malha de aço (Kaefer, 1998).

Neste sentido, o concreto armado alia as características positivas do concreto e do aço e assim atua de forma conjunta, devido a aderência e ao módulo de deformação de ambos os materiais se equipararem atuando juntos. (Bastos, 2019). Outra característica a ser destacada, é que a armadura é classificada como passiva, pois não recebem qualquer tipo de alongamento prévio e sua atuação junto ao concreto se inicia ao ser submetida a algum tipo de ação, originando suas tensões e deformações (Bastos, 2019).

### 2.1.1 Elementos em concreto armado

O concreto por si só se destaca como um material que adapta a forma desejada, enquanto em seu estado fresco e adquirindo-a permanentemente pelo seu estado endurecido. Acredita-se que este fator foi determinante para o êxito da popularização das estruturas em concreto armado, que com o passar dos anos passou a ganhar novas formas, curvas e dando liberdade criativa a engenheiros e arquitetos.

Assim, como, ao longo das décadas a associação de demais materiais às estruturas, dando origem a edificações de estruturas mistas, trazem acréscimo às técnicas, resultando em soluções mais racionais, edificações modulares, onde o custo, tempo de execução e disponibilidade de mão-de-obra regem a concepção, desde que haja sempre a soberania das técnicas das técnicas e normas que regem o projeto de estruturas em concreto armado.

A NBR 6118:2014 (ABNT:2014) define que elementos de concreto armado são aqueles cujo comportamento estrutural depende da aderência entre concreto e armadura, e nos quais não se aplicam alongamentos iniciais nas armaduras antes da materialização da aderência.

Assim sendo, uma edificação é constituída de elementos estruturais, sujeitos a diferentes ações, de acordo com a sua função estrutural e com a finalidade sob a qual a edificação foi projetada. As lajes são elementos planos, onde uma das dimensões é muito menor que as outras três, sendo seus esforços descarregados em vigas.

As vigas são elementos horizontais, que recebem carga das lajes, onde usualmente as fibras que se localizam acima da linha neutra estão sob compressão e as fibras inferiores à linha neutra, estão tracionadas. Por conseguinte, as vigas objetivamente descarregam seus esforços nos pilares, que são elementos situados na vertical que sofrem diferentes tipo de ações, como flexão, torção e que descarregam a carga para as fundações.

As fundações são elementos de infinita importância, considerando que se encontram em contato com um dos materiais de construção mais singulares que a engenharia civil possui, o solo. Elas são responsáveis por transferir ao solo as cargas provenientes de toda a estrutura e garantir a sua estabilidade perante o mesmo.

#### 2.1.1.1 Elementos bidimensionais

De acordo com Giongo (2007), os elementos bidimensionais são elementos estruturais que tem as suas dimensões em planta ( $l_1$  e  $l_2$ ) muito similares e sua terceira dimensão, a

espessura, ( $l_3$ ) muito menor que as duas anteriores. São elementos de superfície, planos, armados em uma ou duas direções e onde se classificam e se destacam as lajes de edifícios.

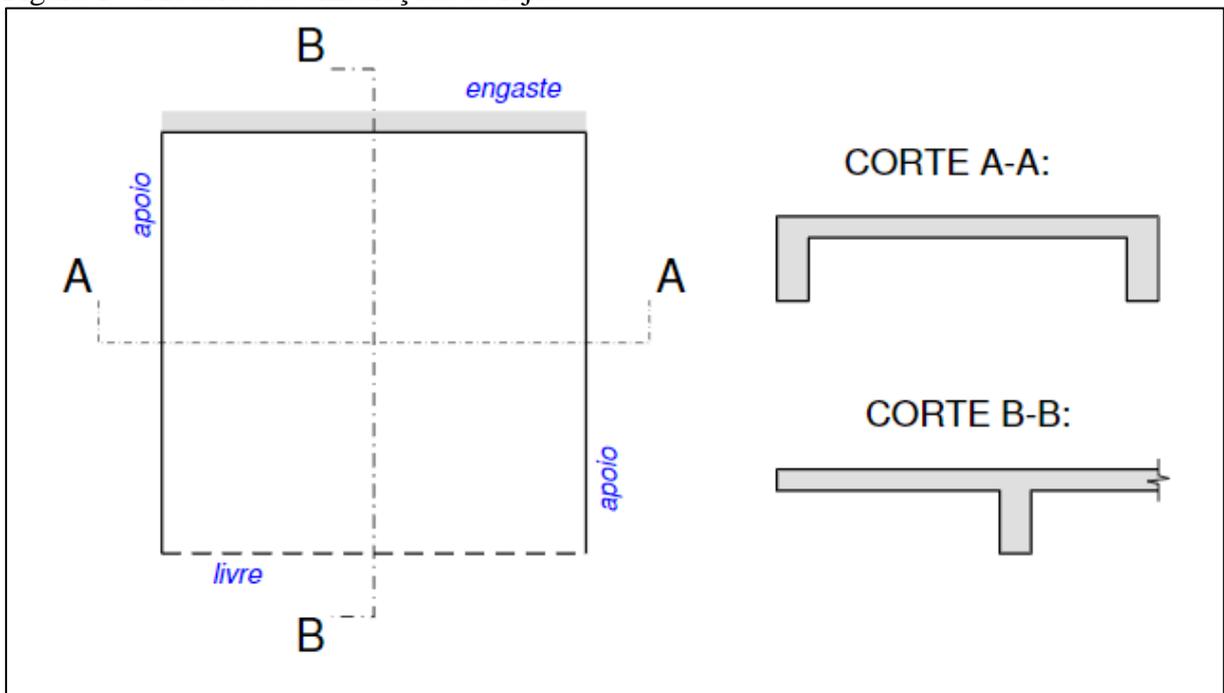
As lajes são elementos horizontais, e nos edifícios são responsáveis por receber cargas normais ao seu plano médio, sendo estas ações permanentes ou acidentais, atuantes nas superfícies das edificações.

O carregamento em lajes é considerado como uniformemente distribuído, por metro quadrado, somando-se as cargas permanentes, como peso próprio, revestimento, regularização, e cargas acidentais, ou variáveis, de acordo com o uso, atuantes na mesma (Campos Filho, 2014).

Assim como a NBR 6118:2014 (ABNT, 2014) rege os requisitos e procedimentos quanto ao projeto de estruturas de concreto armado, a mesma cita demais normas suplementares, como a NBR 6120:2019 (ABNT, 2019) que define as ações para o cálculo de estruturas de edificações.

A vinculação das lajes pode ser variável, como mostra a Figura 1, apresentando os seguintes tipos: apoiadas, quando sua carga é suportada por vigas, paredes de alvenaria, entre outros; livre, quando não há vinculação com nenhum elemento estrutural e engastadas, quando há uma continuidade além do apoio correspondente ao lado em destaque (Campos Filho, 2014).

Figura 1 – Modelos de vinculações de lajes



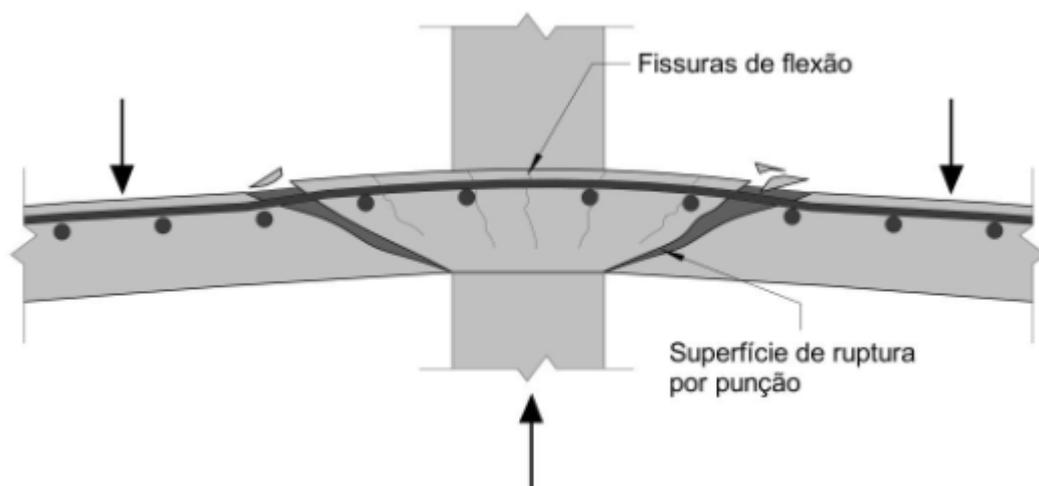
Fonte: Campos Filho (2014)

Segundo Werneck (2017), um dos modelos estruturais que houve um grande crescimento em sua utilização em projetos foi o de lajes lisas, onde a ausência de vigas causa menos interferências no projeto arquitetônico, sendo muito procurado em edifícios de alto padrão. Também se destaca por ser um modelo que gera menos custos quanto a fôrmas, armadura mais simples, podendo gerar menos custos de mão-de-obra e podendo gerar reduções no tempo de execução da mesma.

O modelo é constituído, basicamente, de uma laje plana, sem a presença de vigas. Apesar de todas as atribuições positivas, o modelo apresenta um ponto de fragilidade, nas proximidades entre os pilares, onde o principal efeito negativo é a ocorrência da punção. Palhares (2018) define que a punção é um modo de ruptura por cisalhamento, frágil, que pode ocorrer em lajes lisas de concreto. A ruptura tem por característica a formação de um “tronco de cone” ao redor do pilar, desligando o mesmo da laje, ocasionada pela associação de esforços cortantes e de flexão na região.

De acordo com Werneck (2017) a ruptura por punção caracteriza um estado limite último (ELU) onde há a grande concentração de carga em uma pequena área, onde as tensões cisalhantes ocasionam o surgimento de pequenas fissuras, que evoluem para rachaduras radiais até atingirem a ruptura.

Figura 2 – Exemplo de punção em laje plana



Fonte: Palhares (2018)

Além do rompimento pontual por punção em um dos apoios, o mesmo pode desencadear uma reação em cadeia, devido à sobrecarga ocasionada em um pilar adjacente ou

até mesmo o colapso progressivo ao longo da verticalidade de uma edificação (Damasceno, 2007; Palhares, 2018).

Neste sentido, são vários os fatores que influenciam a resistência da punção em lajes, como altura útil, dimensões, resistência do concreto, posição do pilar na laje, esforço cortante e flexão presentes na laje, taxa de armadura e a presença de armadura de punção (Werneck, 2017). Devido às inúmeras variáveis e apesar da evolução técnico-científica, ainda não há um modelo aceito pelo meio técnico que analise com precisão o fenômeno e todas as suas variáveis, neste sentido, as verificações da ligação entre laje e pilar é feita por meio de recomendações normativas que se baseiam e fundamentações empíricas (Palhares, 2018).

Por meio de análises de diferentes normativas e pesquisas quanto ao tema, Damasceno (2007) conclui que as recomendações destacam que a resistência última à punção é diretamente proporcional à tensão resistente no cisalhamento, altura útil da laje e perímetro da seção crítica adotada como referência. A mesma autora ainda destaca que algumas pesquisas apresentam técnicas para aumento da resistência última, como colocação de estribos, utilização de cabos de protensão, estudos da retangularização dos pilares e sua influência, entre outros.

Para Palhares (2018) a forma mais eficiente de se combater o puncionamento de lajes é pela utilização de armadura de cisalhamento, distribuídas ao longo da área que rodeia o pilar, de forma radial. Já Damasceno, (2007) afirma que a presença de cabos protendidos aumenta a resistência ao puncionamento, desde que devidamente posicionados.

## 2.2 SISTEMA ESTRUTURAL EM CONCRETO PROTENDIDO

O concreto protendido pode ser definido onde parte de um conjunto de barras de aço submetidas a algum tipo de alongamento prévio, sendo que a atuação das mesmas se inicia no exato momento em que são tracionadas, cujo objetivo é de que as forças de tração na peça sejam diminuídas pela tensão de compressão pré-aplicada na peça (Bastos, 2019).

O aço utilizado no concreto protendido possui resistência a tração superior ao utilizado no concreto armado e recebe a denominação de fio ou de cordoalhas (que é um conjunto de 3 ou 7 fios). Além disso, o concreto protendido possui diferentes formas de aplicação da proteção, sendo a pré-tensão e a pós-tensão.

### **3 METODOLOGIA**

O presente trabalho se desenvolveu por meio de um estudo de caso tendo como objeto uma edificação residencial de 6 pavimentos localizada no município de Santa Maria, estado do Rio Grande do Sul.

Nos tópicos seguintes, serão abordados aspectos construtivos e específicos da edificação, bem como a forma sob a qual será realizado o estudo de caso da edificação.

#### **3.1 ESTUDO DE CASO**

O projeto da edificação residencial objeto do presente estudo de caso foi concebido tomando por base um projeto que englobava um pavimento térreo destinado às garagens sob a forma de pilotis, e pavimentos tipo, construídos em alvenaria estrutural.

A laje do pavimento térreo, onde há a transição entre os dois sistemas construtivos foi inicialmente concebida como um sistema convencional com pilares, vigas e lajes maciças.

Entretanto, após análise dos responsáveis e por motivos que não convém a este estudo, decidiu-se que seria concebido um novo projeto para esta laje de transição, eliminando as vigas, utilizando assim uma laje plana em concreto armado e protendido.

Neste sentido, o presente projeto consiste em uma análise dos sistemas escolhidos, se delimitando ao levantamento dos materiais utilizados para os dois sistemas construtivos escolhidos e uma análise de custos tendo por base a tabela SINAPI.

#### **3.2 ANÁLISE DO SISTEMA**

Os dois sistemas foram analisados de forma a delimitar o estudo, objetivando analisar o centro de custos dos insumos utilizados para cada sistema construtivo. Sendo assim, não foram analisados os custos das composições resultantes para cada sistema construtivo.

#### **3.3 CUSTOS**

O Sistema Nacional de Pesquisas de Custos e Índices da Construção Civil – SINAPI é um conjunto de dados mantido pela Caixa Econômica Federal juntamente com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE

A tabela SINAPI, como é conhecida, é uma importante ferramenta quanto a análise de custo e elaboração de orçamentos, pois a mesma possui dados atualizados referentes aos custos de insumos e serviços necessários às obras de engenharia.

Os dados são agrupados por estados, sendo composta pelos seguintes itens:

- Catálogo de composições analíticas;
- Custo de composições analíticas;
- Custo de composições sintética;
- Preço dos insumos;
- Notas SINAPI.

Para o presente estudo, foi tomado por base a tabela de preço de insumos relativo ao mês de dezembro de 2022, no estado do Rio Grande do Sul. Os materiais estão descritos e agrupados de acordo com o que a tabela apresenta. Entretanto, com relação ao insumo cordoalha engraxada 7 fios CP190 RB não há nenhuma descrição similar ou que se equivalha na planilha supracitada. Sendo assim, foi considerado o custo do insumo baseado no estudo de (Passamani, 2019).

Na tabela ainda há a possibilidade em se analisar os valores desonerados e não-desonerados. Basicamente, a tabela com os valores desonerados não leva em consideração a contribuição de 20% do INSS sobre a folha de pagamento da empresa, enquanto que os valores não-desonerados englobam esse percentual junto aos custos.

A tabela SINAPI é um importante instrumento que serve de referência no campo da engenharia no que diz respeito aos centros de custos e referentes à orçamentação de empreendimentos. Entretanto, assim como demais ferramentas, é necessário que se tenha compreensão e entendimento quanto ao seu uso, para que este seja efetivo.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

No decorrer do presente tópico serão explanadas, em forma de tabelas e gráficos, a análise comparativa de custos decorrentes da utilização de dois sistemas estruturais, para uma mesma laje da edificação em estudo.

### 4.1 OS INSUMOS

Com o intuito de delimitar a presente pesquisa e tonar a análise mais pontual, estabeleceu-se que seriam analisados somente os insumos utilizados para cada uma das soluções, portanto, não se tomou por base os custos de mão-de-obra, equipamentos e insumos não quantificados diretamente em projeto.

Os insumos considerados foram concreto e aço CA50, aço CA60 e cordoalhas. As quantidades especificadas em projeto podem ser visualizadas por meio da Tabela 1, Tabela 2 e Tabela 3 abaixo, onde estão descritos.

Tabela 1 – Quantitativos de aço agrupados por finalidade da laje plana em concreto protendido

	<b>Protensão</b>	<b>Armadura positiva</b>	<b>Armadura negativa</b>	<b>Armadura de punção</b>
<i>Bitola</i>	<i>Peso (kg)</i>	<i>Peso (kg)</i>	<i>Peso (kg)</i>	<i>Peso (kg)</i>
Ø5.0mm		3	87	
Ø6.3mm		7		
Ø8.0mm		1600	1423	1044
Ø10.0mm		1420	332	917
Ø12.5mm				788
Ø16.0mm				407
Ø20.0mm		175		1706
Ø12.7mm	4434			

Fonte: o Autor, 2023.

Tabela 2 – Quantitativos de aço das vigas da laje maciça em concreto armado

	<b>V101 à V114</b>	<b>V115 à V127</b>	<b>V128 à V139</b>	<b>V140 à V156</b>	<b>V151 à V166</b>	<b>V167 à V172</b>	<b>V170 à V180</b>
<i>Bitola</i>	<i>Peso (kg)</i>						
Ø5.0mm	18	21	10	13	8	9	18
Ø6.3mm	55	34	57	97	36	107	5
Ø8.0mm	454	428	416	404	719	505	42
Ø10.0mm	85	52	81	68	49	47	60
Ø12.5mm	170	150	182	196	177	184	
Ø16.0mm	99	417	347	111	105	107	
Ø20.0mm	983	741	447	787	1238	1069	

Tabela 3 – Quantitativos de aço da laje maciça agrupados por finalidade

	<b>Armadura positiva H</b>	<b>Armadura positiva V</b>	<b>Armadura negativa H</b>	<b>Armadura negativa V</b>
<i>Bitola</i>	<i>Peso (kg)</i>	<i>Peso (kg)</i>	<i>Peso (kg)</i>	<i>Peso (kg)</i>
Ø6.3mm	478	458	328	327
Ø8.0mm	75	188	36	67
Ø10.0mm	70	47	2	69

De acordo com o projeto, cujas plantas de fôrmas podem ser visualizadas por meio do Anexo A e Anexo B, os insumos necessários e os custos individual se encontram na Tabela 4 e Tabela 5 abaixo.

Tabela 4 – Descrição dos insumos e respectivos custos unitários do sistema estrutural com laje maciça em concreto armado

<b>Descrição do insumo</b>	<b>Un.</b>	<b>Quant.</b>	<b>Custo</b>	<b>Total</b>
<i>Concreto usinado bombeável, classe de resistência C25, com brita 0 e 1, slump = 100 +/- 20 mm, inclui serviço de bombeamento (NBR 8953)</i>	m <sup>3</sup>	103,3	R\$ 517,95	R\$ 53.504,24
<i>Aço CA-50, 20,0 mm ou 25,0 mm, vergalhão</i>	Kg	5265	R\$ 9,15	R\$ 48.174,75
<i>Aço CA-50, 12,5 mm OU 16,0 mm, vergalhão</i>	Kg	2245	R\$ 7,94	R\$ 17.825,30
<i>Aço CA-50, 10,0 mm, vergalhão</i>	Kg	630	R\$ 9,17	R\$ 5.777,10
<i>Aço CA-50, 8,0 mm, vergalhão</i>	Kg	3334	R\$ 9,72	R\$ 32.406,48
<i>Aço CA-50, 6,3 mm, vergalhão</i>	Kg	1982	R\$ 9,67	R\$ 19.165,94
<i>Aço CA-60, 4,2 mm, ou 5,0 mm, ou 6,0 mm, ou 7,0 mm, vergalhão</i>	Kg	97	R\$ 8,67	R\$ 840,99
<b>Total geral</b>				R\$ 177.694,80

Fonte: o Autor

Tabela 5 - Descrição dos insumos e respectivos custos unitários do sistema estrutural com laje plana em concreto armado e protendido

<b>Descrição do insumo</b>	<b>Un.</b>	<b>Quant.</b>	<b>Custo</b>	<b>Total</b>
<i>Concreto usinado bombeável, classe de resistência C35, com brita 0 e 1, slump = 100 +/- 20 mm, inclui serviço de bombeamento (NBR 8953)</i>	m <sup>3</sup>	140,2	R\$ 549,82	R\$ 77.084,76
<i>Aço CA-50, 20,0 mm ou 25,0 mm, vergalhão</i>	Kg	1881	R\$ 9,15	R\$ 17.211,15
<i>Aço CA-50, 12,5 mm OU 16,0 mm, vergalhão</i>	Kg	1195	R\$ 7,94	R\$ 9.488,30
<i>Aço CA-50, 10,0 mm, vergalhão</i>	Kg	2901	R\$ 9,17	R\$ 26.602,17
<i>Aço CA-50, 8,0 mm, vergalhão</i>	Kg	4159	R\$ 9,72	R\$ 40.425,48
<i>Aço CA-50, 6,3 mm, vergalhão</i>	Kg	7	R\$ 9,67	R\$ 67,69
<i>Aço CA-60, 4,2 mm, ou 5,0 mm, ou 6,0 mm, ou 7,0 mm, vergalhão</i>	Kg	90	R\$ 8,67	R\$ 780,30
<i>Cordoalha engraxada 7 fios CP 190 RB 12,7*</i>	Kg	4434	R\$ 6,95	R\$ 30.816,30
<b>Total geral</b>				R\$ 202.476,15

Fonte: o Autor

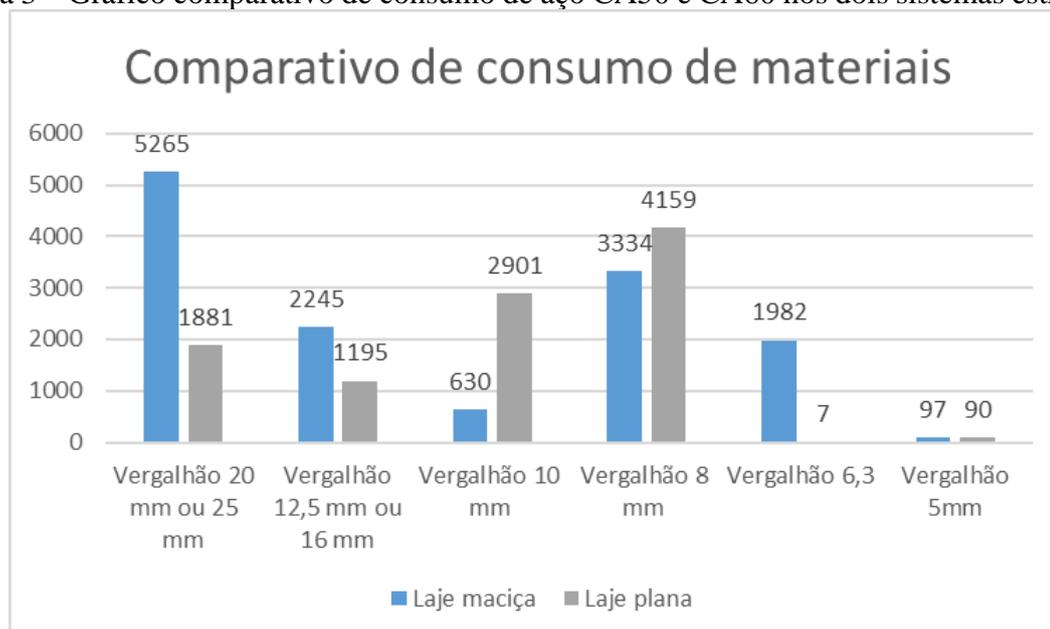
Por meio da observação dos dados apresentados nas tabelas, se pode observar que, com relação aos insumos utilizados e descritos na tabela, há um aumento no custo de aproximadamente R\$ 24.000,00 do sistema de laje plana com concreto armado e protendido em relação ao sistema de lajes maciça em concreto armado.

Assim sendo, os principais fatores que geram essa diferença entre valores de custo de um sistema com o outro é referente ao consumo dos materiais analisados, aço e concreto. Neste sentido, para o sistema de laje plana, houve um aumento de em torno de 37 metros cúbicos de concreto, comparado ao sistema de laje maciça, os fatores que levaram esse aumento no consumo se devem principalmente pelo aumento da espessura da laje, que neste era de 10 cm enquanto que naquele é de 35 cm. Somente neste quesito a quantidade de concreto correspondente à laje, passa de 27,9 metros cúbicos para 139 metros cúbicos, um aumento na ordem de 111 metros cúbicos.

Assim como deve ser salientado que pela não existência de vigas, neste quesito á uma diminuição considerável no consumo de concreto, na ordem de 74,2 metros cúbicos. Entretanto, tal diminuição, não foi suficiente a ponto de que houvesse uma equivalência ou diminuição no consumo de concreto, ocorrendo o contrário, um aumento no consumo de concreto pelo sistema de laje plana em comparação ao consumo de concreto pelo sistema de laje maciça.

Em se tratando do consumo unitário de materiais, mais especificamente do aço CA 50 e aço CA60, sem as cordoalhas, na Figura 3 são apresentados os dados referentes aos dois sistemas, com seus aumentos ou diminuições, comparando os mesmos.

Figura 3 – Gráfico comparativo de consumo de aço CA50 e CA60 nos dois sistemas estruturais



Fonte: o Autor.

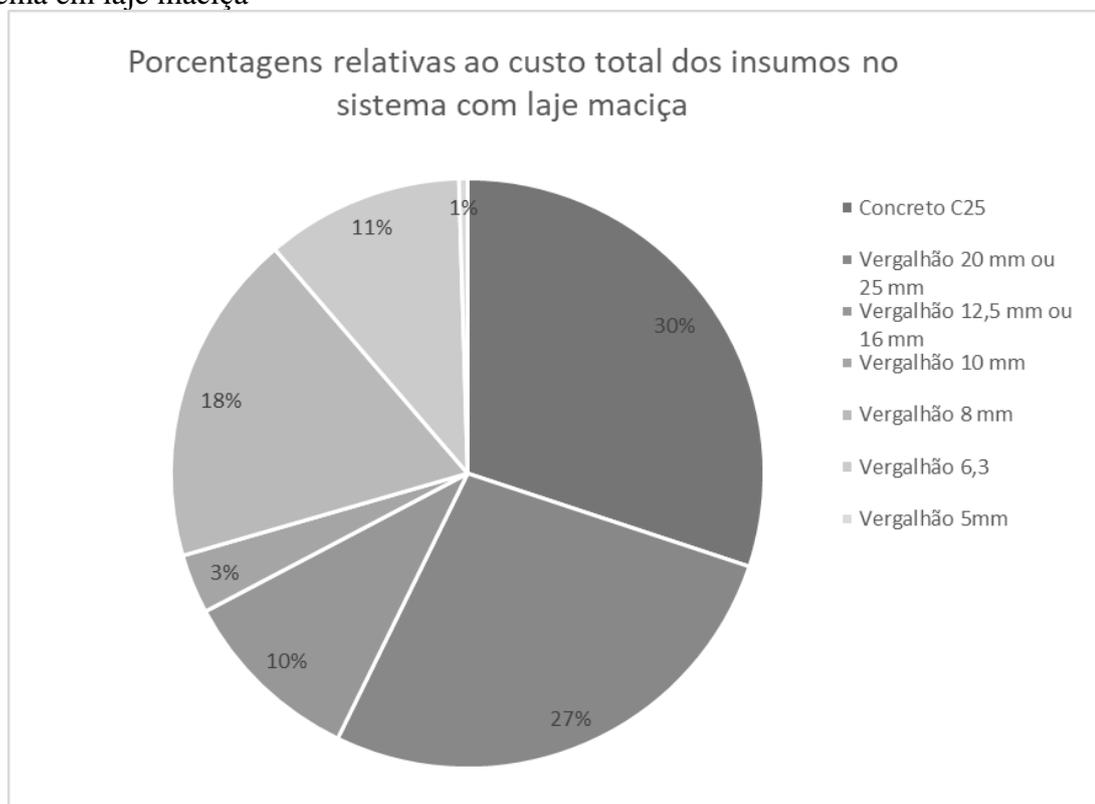
De um modo geral, o sistema de laje plana teve um consumo de 10,233 toneladas de aço CA50 e CA60 e o sistema de laje maciça consumiria 13,553 toneladas. Observa-se também que no primeiro sistema o consumo de bitolas maiores é mais evidente, enquanto que no segundo o consumo maior se dá nas bitolas de 10mm e 8mm.

Presumidamente, entende-se que esta característica se dá devido a presença de vigas, visto que são elementos lineares e que são responsáveis por suportar as cargas provindas da laje maciça. Acompanhando o detalhamento das peças é possível corroborar tal característica, pois apesar de no sistema de laje plana haver o consumo de bitolas 20mm e 12,5mm para a armadura de punção, as barras são menores e em menor quantidade, diminuindo assim o consumo destes insumos.

A justificativa de que há um maior consumo de bitolas menores no sistema de lajes plana possui o mesmo princípio da justificativa anterior, o fator decisivo, diz respeito á armadura de punção, onde há uma maior utilização de bitolas menores, mais concentradas naquelas regiões.

Na sequência, por meio das Figura 4 Figura 5, são apresentados gráficos que mostram a porcentagem de custo relativa a cada insumo analisado para os dois sistemas.

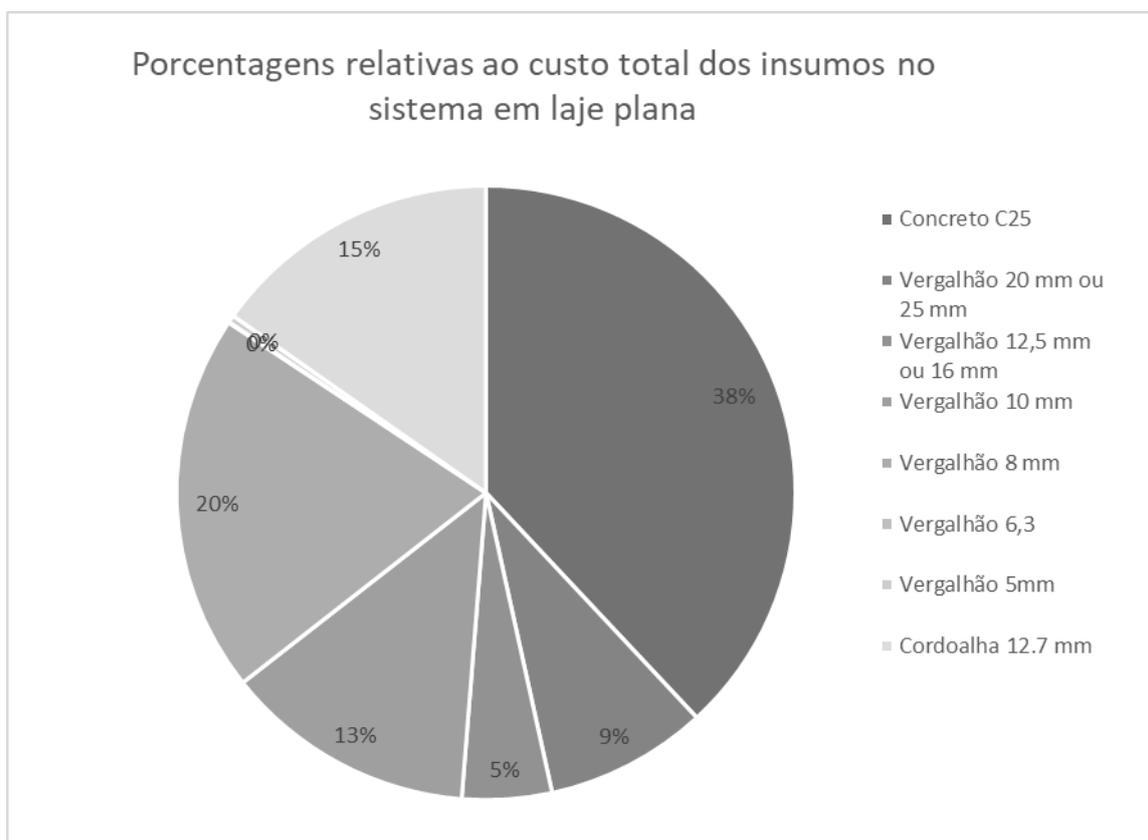
Figura 4 – Gráfico de porcentagens de custos individuais de cada insumo analisado para o sistema em laje maciça



Fonte: o Autor

Por meio do gráfico representado na Figura 4 é possível entender que o maior centro de custo deste sistema se refere ao concreto, representando 30% do custo total dos insumos analisados. Na sequência, o custo relativo ao aço de bitolas 20 mm e 25 mm, na ordem de 27%, onde tal fato se deve as armaduras presentes nas vigas que são sustentação à laje maciça e por consequência, transferem o esforço aos pilares. Juntos os dois insumos correspondem a cerca de 57% do total do custo considerado.

Figura 5 - Gráfico de porcentagens de custos individuais de cada insumo analisado para os sistema em laje plana e concreto armado e protendido



Fonte: o Autor

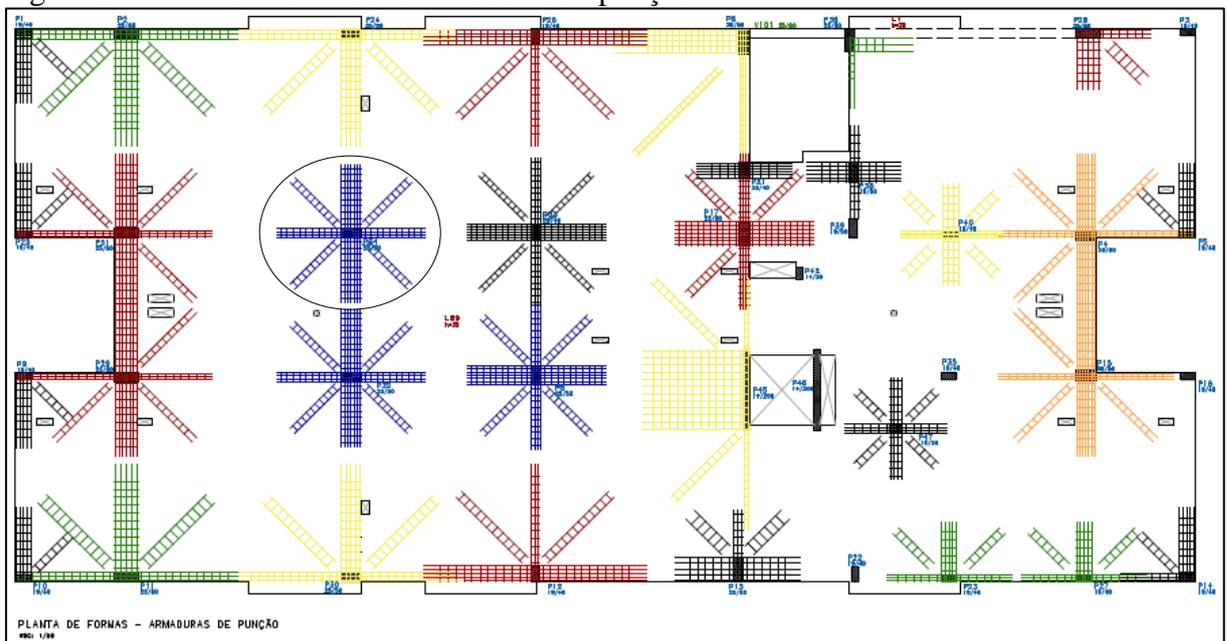
O gráfico representado acima na Figura 5, corresponde à análise de custo relacionada ao segundo sistema e sob o qual foi executado a edificação. Assim sendo, como no gráfico da Figura 4 a maior porcentagem de custo do sistema é correspondente ao concreto usinado, que agora é na ordem de 38%, que com relação ao outro sistema, houve um aumento de 8% em função do custo total.

Tal aumento se dá em função de algumas diferenças entre os sistemas como o aumento da espessura da laje, que anteriormente era de apesar de não existirem vigas, mas

principalmente pelo fato de pertencerem a classes de resistência diferentes. Enquanto que para o sistema de laje maciça a resistência requerida em projeto era C25, que diz respeito á um Fck de 25 Mpa na idade de 28 dias, para o sistema de laje plana a classe de resistência é a C35, ou seja, Fck de 35 Mpa na idade de 28 dias.

A mudança de classe de resistência, assim como, uma notável concentração de aço na região dos pilares é devido à necessidade de se combaterem a punção junto aos pilares, como pode ser observado, na Figura 6, em detalhe na planta de fôrmas da armadura de punção.

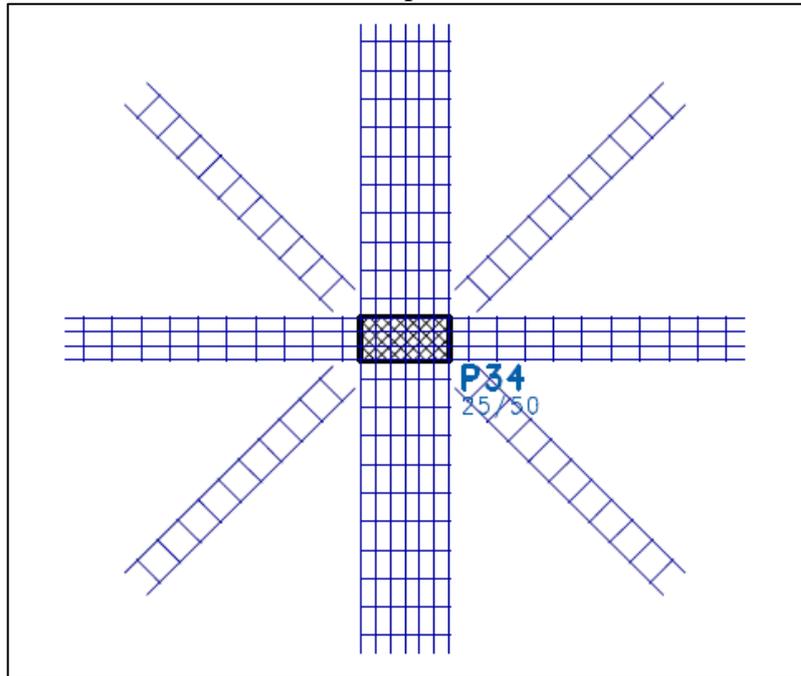
Figura 6 – Planta de fôrmas das armaduras de punção



Fonte: o Autor.

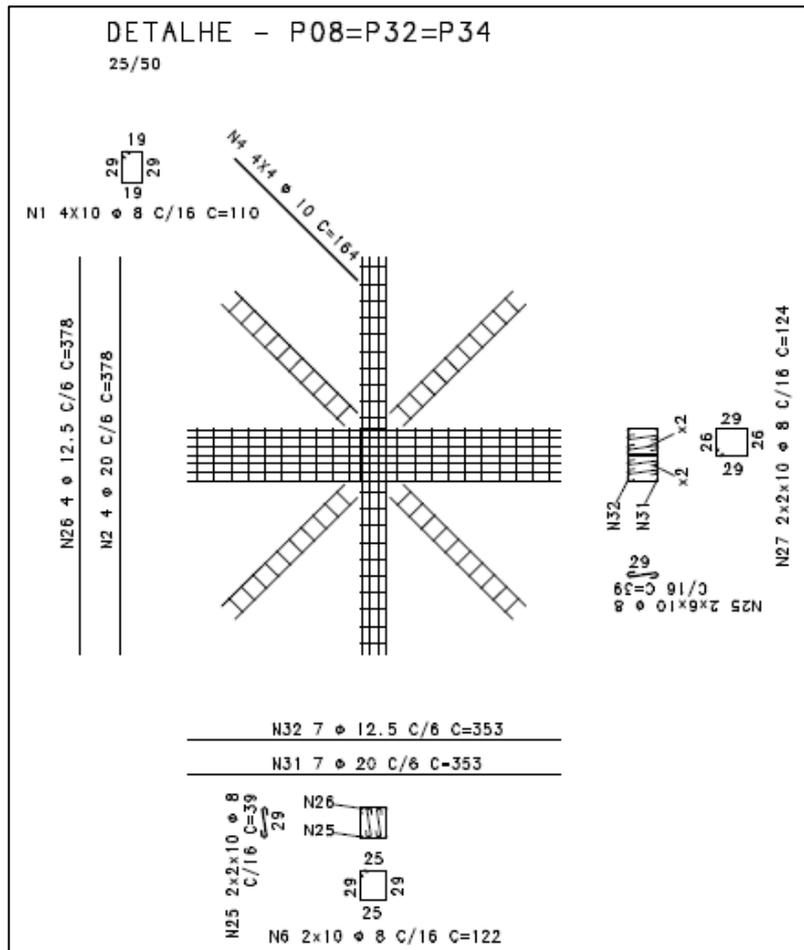
É destacado na Figura 6 um dos pilares centrais, mais especificamente o pilar 34, onde nas Figura 7 é possível ver em detalhe a armadura de punção utilizada naquela região, sendo semelhante nos demais pilares. Na Figura 8 é trazido o detalhamento da armadura a ser utilizada, no pilar supracitado.

Figura 7 – Detalhe da armadura do Pilar 34 na planta de fôrmas



Fonte: o Autor.

Figura 8 – Detalhamento do Pilar 34



Fonte: o Autor.

Assim como fora discutido anteriormente, a armadura de punção possui algumas singularidades, que fazem com que haja diferenças notáveis nos dois sistemas. Neste sentido, é cabível salientar, que apesar de serem feitas comparações de consumo e custos entre os dois sistemas, o grande detalhe que os difere diz respeito aos esforços atuantes em cada peça, principalmente, com relação às vigas no sistema de laje maciça, e à região próxima aos pilares, no sistema de laje plana.

## 5. CONCLUSÃO

A utilização de diferentes sistemas construtivos varia muito de acordo com a necessidade, as características e a abordagem dada a determinada situação ao ser desenvolvido um projeto estrutural. Após os estudos iniciais e dadas as primeiras delimitações do objeto, cabe também ao projetista ter o discernimento de quais opções estão a sua disposição e qual a melhor escolha dependendo da situação.

Por meio do estudo de caso desenvolvido, foram feitas algumas observações técnicas e questionamentos vieram a tona de quais os motivos levaram à alteração do projeto original, em laje maciça, para um sistema de laje plana e protendida.

Um dos detalhes mais notáveis e destacável foi a não alteração de número de pilares na obra ao ser alterado o sistema estrutural da laje de transição. Por se tratar de um projeto que foi dimensionado como uma laje maciça, se compreende a utilização de vãos menores, há a situação de haver carga de paredes incidindo sobre a mesma, sendo completamente aceitável. Entretanto, após a alteração do sistema para uma laje plana e em concreto protendido, ficou evidenciado que não houve alteração na disposição dos pilares, tendo em mente que a laje possui uma espessura considerável, de 35 cm, e se faz uso de concreto protendido, a escolha lógica seria a alteração do número de pilares para que a solução adotada se fizesse mais economicamente viável.

Algumas hipóteses foram levantadas de o porquê a solução adotada fora escolhida, visto que a mesma não se mostrou economicamente mais vantajosa com base nos estudos e análises realizadas. Dessa forma, as razões pelas quais optou-se pela mudança de sistema estrutural da laje de transição da edificação provavelmente estão associadas à simplificação das formas, onde a ausência de vigas causa menos interferências no projeto arquitetônico, e a liberdade de execução de alvenaria sobre a laje.

Uma das hipóteses é que o projeto foi alterado após a concretagem das fundações, o que justificaria a não alteração. Outra hipótese é a de que a altura da edificação excedia algum requisito imposto pelo código de obras da cidade, porém essa justificativa é um tanto que vaga, considerando que a maior viga possuía uma altura de 70 cm e a laje 35 cm, só se ganharam 35 cm.

Outra possibilidade seria o tempo de execução, considerando que é uma alternativa mais rápida e prática de ser executada. Porém, deve-se destacar que a mão-de-obra necessária a execução de um sistema que envolve a utilização de armadura de punção e de concreto protendido deve ser mais qualificada, e por consequência mais cara, do que a mão-de-obra

necessária a execução de um projeto convencional e popularmente difundido com lajes maciças e vigas.

Neste sentido, por meio das análises realizadas quanto ao custo dos insumos, o sistema executado na laje de transição da edificação em estudo, com uma laje plana em concreto protendido, possui um custo superior ao sistema inicialmente concebido, em laje maciça.

Assim sendo, o presente estudo se delimitou a avaliação e comparação dos custos de insumos que envolviam a utilização de dois diferentes sistemas construtivos para a laje de transição de uma edificação. Entretanto, nota-se que existe um potencial estudo que poderia ser desenvolvido em projetos futuros avaliando estruturalmente os dois sistemas, sob a ótica da interpretação do projeto e trazendo novas possibilidades de arranjo estrutural.

## REFERÊNCIAS

- BASTOS, P. SÉRGIO. Fundamentos do concreto armado, 2019.
- BRANDÃO, A. M. DA SILVA. Qualidade e durabilidade das estruturas de concreto armado – aspectos relativos ao projeto. **Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo**, 1998.
- CAMPOS FILHO, AMÉRICO. Projeto de lajes maciças de concreto armado, 2014.
- CHUST CARVALHO, R., & FIGUEIREDO FILHO, J. R. Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado: segundo a NBR 6118:20214 (4th ed.). **EdUFSCar**, 2015.
- DAMASCENO, L. S. R. Análise experimental de lajes lisas unidirecionais de concreto armado com pilares retangulares ao punctionamento. **Universidade Federal do Pará**, 2007.
- GIONGO, J. SAMUEL. Concreto armado: projeto estrutural de edifícios (p. 185). **Universidade Federal de São Carlos**, 2007.
- KAEFER, L. FERNANDO. A Evolução do Concreto Armado, 1998.
- PALHARES, R. DE AZEVEDO. Análise experimental da punção em lajes lisas de concreto armado com variação da ancoragem da armadura de cisalhamento. **Universidade Federal de Brasília**, 2018.
- PASSAMANI, VINICIUS. Análise comparativa de custo direto de sistemas estruturais de lajes de concreto armado e concreto protendido para pavimentos tipo de edifícios. **Universidade Federal de Santa Catarina**, 2019.
- RODRIGUES, A. DA S. Análise comparativa de custos de sistemas estruturais para pavimentos de concreto armado, 2002.
- WERNECK, P. P. DE TOLEDO. Avaliação da punção em lajes lisas de concreto armado. **Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro**, 2017

# ANEXO A – PLANTA DE FÔRMAS DO SISTEMA COM LAJE MACICA EM CONCRETO ARMADO

PLANTA DE FORMAS - LAJE DE TRANSIÇÃO  
ESC: 1/50

