



UNISUL

UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA

LAÉRCIO GUESSER JUNIOR

MARCELO DEBORTOLI FILHO

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE DIFERENTES TIPOS DE LAJES
QUANTO AS CARGAS GERADAS E CONSUMO DE MATERIAIS**

Palhoça

2019

LAÉRCIO GUESSER JUNIOR
MARCELO DEBORTOLI FILHO

ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE DIFERENTES TIPOS DE LAJES
QUANTO AS CARGAS GERADAS E CONSUMO DE MATERIAIS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Engenharia Civil da Universidade
do Sul de Santa Catarina como requisito parcial
à obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Paulo Henrique Wagner

Palhoça

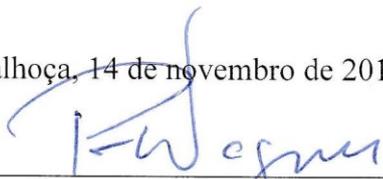
2019

LAÉRCIO GUESSER JUNIOR
MARCELO DEBORTOLI FILHO

ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE DIFERENTES TIPOS DE LAJES
QUANTO AS CARGAS GERADAS E CONSUMO DE MATERIAIS

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado à obtenção do título de Engenheiro Civil e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Civil da Universidade do Sul de Santa Catarina.

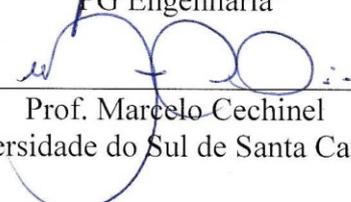
Palhoça, 14 de novembro de 2019.



Professor e orientador Paulo Henrique Wagner
Universidade do Sul de Santa Catarina



Eng. Philippe Petry
PG Engenharia



Prof. Marcelo Cechinel
Universidade do Sul de Santa Catarina

Dedicamos este trabalho a todas as pessoas que sempre estiveram ao nosso lado, pela confiança e incentivo nessa jornada em busca do título de Engenheiro Civil.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente a Deus, por ter nos guiado e iluminado durante toda nossa trajetória até este momento.

Agradecemos aos nossos familiares por todo o carinho, suporte, apoio e confiança dados a nós para podermos ser quem somos hoje. E também pelos conselhos e incentivos sobre as decisões tomadas durante nossas vidas.

Aos nossos amigos, que nos acompanharam durante a vida acadêmica, dentro e fora da universidade. Sem dúvidas, foram essenciais na nossa formação.

Por fim, a todos os professores da UNISUL, em especial ao nosso orientador, Paulo Henrique Wagner por toda paciência e todo conhecimento transmitido durante esses anos de formação.

Laércio Guesser Júnior
Marcelo Debortoli Filho

“A persistência é o caminho do êxito” (Charles Chaplin, 1940).

RESUMO

O desenvolvimento da construção civil brasileira vem sendo impulsionado por um mercado cada vez mais exigente, que passa a exigir dos profissionais que atuam na área, um conhecimento técnico e científico de excelência. Nesse sentido, o planejamento estratégico envolvendo as escolhas dos métodos e as estruturas a serem utilizadas, torna-se essencial com vistas à eficiência, segurança e economicidade da referida opção. O presente estudo visa analisar os diferentes tipos de lajes, a partir da perspectiva estrutural, comparando as pré-moldadas treliçadas, as nervuradas e, por fim, as maciças. Assim, a partir de uma perspectiva técnico-financeira dos diferentes modelos e da adequação do projeto às necessidades apresentadas, pretende-se perquirir a escolha ideal estrutural, identificando as suas características e os fatores determinantes que justificam a sua utilização.

Palavras-chave: Construção Civil. Lajes. Treliçadas. Nervuradas. Maciças.

ABSTRACT

The development of Brazilian civil construction has been driven by an increasingly demanding market, which now demands from professionals working in the area, a technical and scientific knowledge of excellence. In this sense, strategic planning involving the choice of methods and the structures to be used becomes essential to the efficiency, safety and economy of this option. The present paper aims to analyze the different kinds of slabs, from the structural perspective, comparing the lattice precast, the ribbed and, finally, the massive ones. Thus, from a technical-financial perspective of the different models and the adequacy of the project to the needs presented, it is intended to seek the ideal structural choice, identifying its characteristics and the determining factors that justify its use.

Keywords: Construction. Slabs. Lattices. Ribbeds. Massifs.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Esquema do processo de projeto.....	13
Figura 2 - Fluxograma representando o processo iterativo de soluções.....	14
Figura 3 - Laje maciça com pilares e vigas	26
Figura 4 - Escoramento de laje maciça.....	27
Figura 5 - Exemplo de laje maciça antes da concretagem.....	28
Figura 6 - Corte transversal em uma laje nervurada.....	30
Figura 7 - Corte transversal em uma laje nervurada.....	30
Figura 8 - Bloco Cerâmico para uso em lajes nervuradas	31
Figura 9 - Bloco EPS (isopor) para uso em lajes nervuradas	32
Figura 10 - Fôrmas (cubetas) para uso em lajes nervuradas.....	32
Figura 11 - Corte transversal em uma laje treliçada.....	33
Figura 12 - Vigota treliçada, vigota convencional e material de enchimento (lajota/tabela) ...	34
Figura 13 - Armação em forma de treliça espacial.....	34
Figura 14 - Nervura na vigota de laje treliçada	35
Figura 15 - Laje pré-fabricada do tipo treliçada com enchimento de tijolos cerâmicos.....	36
Figura 16 - Laje pré-fabricada treliçada com enchimento de blocos de EPS.....	37
Figura 17 - Modelo tridimensional de uma estrutura	38
Figura 18 - Critérios de projeto adotados para a estrutura	42

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Comparativo acústico entre as diferentes tipologias de lajes.....	27
Gráfico 2 - Área de forma para as vigas da estrutura	45
Gráfico 3 - Volume de Concreto para as vigas da estrutura	45
Gráfico 4 - Peso de aço para as vigas da estrutura	46
Gráfico 5 - Área de forma para os pilares da estrutura.....	47
Gráfico 6 - Volume de concreto para os pilares da estrutura	47
Gráfico 7 - Peso de aço para os pilares da estrutura	48
Gráfico 8 - Área de forma para as lajes da estrutura	49
Gráfico 9 - Volume de concreto para as lajes da estrutura	49
Gráfico 10 - - Peso de aço para as lajes da estrutura	50
Gráfico 11 - Gráfico de distribuição das cargas verticais para lajes treliçadas.....	51
Gráfico 12 - Gráfico de distribuição das cargas verticais para lajes nervuradas.....	52
Gráfico 13 - Gráfico de distribuição das cargas verticais para Lajes Maciças	54
Gráfico 14 - Gráfico comparativo de peso próprio das estruturas.....	55
Gráfico 15 - Comparativo de preços das estruturas.....	62
Gráfico 16 - Variação das porcentagens dos custos da estrutura	62

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Custo de construção das diferentes etapas	18
Quadro 2 - Principais normas para uso na construção civil	20
Quadro 3 - Tabela limite para deslocamentos em elementos estruturais.....	22
Quadro 4 - Tabela limite de fissuração em função da classe de agressividade ambiental	23
Quadro 5 - Frequência crítica para vibrações verticais para alguns casos especiais de estruturas submetidas a vibrações pela ação de pessoas	24
Quadro 6 - Classe de agressividade adotada.....	41
Quadro 7 - Resumo de quantitativos de materiais por material e elemento	43
Quadro 8 - Resumo de quantitativos de materiais por material e elemento	44
Quadro 9 - Resumo de quantitativos de materiais por material e elemento	44
Quadro 10 - Distribuição das cargas verticais em lajes treliçadas.....	51
Quadro 11 - Estabilidade global e deslocamentos para lajes treliçadas	51
Quadro 12 - Distribuição das cargas verticais para lajes nervuradas	52
Quadro 13 - Estabilidade global e deslocamentos para lajes nervuradas	53
Quadro 14 - Distribuição das cargas verticais nas Lajes Maciças.....	53
Quadro 15 - Estabilidade global e deslocamentos nas Lajes Maciças.....	54
Quadro 16 - Custos da estrutura composta por Lajes Treliçadas	56
Quadro 17 - Custos da estrutura composta por Lajes Nervuradas.....	58
Quadro 18 - Custos da estrutura composta por Lajes Maciças.....	60

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
1.1	JUSTIFICATIVA	15
1.2	OBJETIVO PRINCIPAL.....	15
1.3	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
1.4	METODOLOGIA	16
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1	CONTEXTUALIZAÇÃO TEÓRICA	19
2.1.1	Estruturas em concreto armado	19
2.1.2	Ações a considerar.....	21
2.1.3	Flechas limites – Estado Limite de Deformação.....	21
2.1.4	Fissuração	23
2.1.5	Estado-limite de Vibrações Excessivas.....	23
2.1.6	Aberturas em lajes	24
2.1.7	Detalhamento em lajes	24
2.2	LAJES MACIÇAS.....	25
2.3	LAJES NERVURADAS MOLDADAS IN LOCO	29
2.4	LAJES TRELIÇADAS	33
2.5	SOFTWARE UTILIZADO.....	38
3	DESCRIÇÃO DO ESTUDO DE CASO	40
3.1	PROJETO ARQUITETÔNICO	40
3.2	FATORES DE PROJETO	40
4	RESULTADOS E ANÁLISES.....	43
4.1	VOLUMES E QUANTITATIVOS DE MATERIAIS EMPREGADOS	43
4.1.1	Lançamento com Vigotas Treliçadas.....	43
4.1.2	Lançamento para Laje Nervurada	43
4.1.3	Lançamento para Laje Maciça	44
4.1.4	Comparativo de quantitativo de materiais para vigas.....	44
4.1.5	Comparativo de quantitativo de materiais para pilares.....	46
4.1.6	Comparativo de quantitativo de materiais para lajes.....	48
4.2	CARGAS TOTAIS E DESLOCAMENTOS RESULTANTES DAS ESTRUTURAS ..	50
4.2.1	Lajes Treliçadas.....	50
4.2.2	Lajes Nervuradas	52

SUMÁRIO

4.2.4 Comparativo das cargas verticais	54
4.3 ESTIMATIVAS DE CUSTOS	55
4.3.1 Custos com Lajes Treliçadas	55
4.3.2 Custos com Lajes Nervuradas	57
4.3.3 Custos com Lajes Maciças	59
4.3.4 Comparativo de Custos	61
5 CONCLUSÃO	64
5.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	65
REFERÊNCIAS	66
ANEXOS	69
ANEXO A – PLANTA BAIXA DO PAVIMENTO TIPO	70
ANEXO B – PLANTA BAIXA TÉRREO	71

1 INTRODUÇÃO

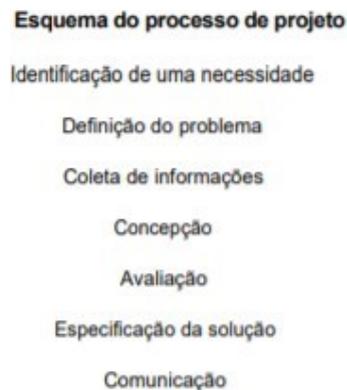
A construção civil brasileira está exigindo cada vez mais de seus profissionais para que sejam completos e que estes evitem problemas futuros, que possam trazer prejuízos a curto ou longo prazo, desde sua concepção em projeto até sua entrega final.

De acordo com BAZZO & PEREIRA (2003), não é fácil definir um projeto, mas de forma rápida e abrangente:

“[...]é o conjunto de atividades que precede a execução de um produto, sistema, processo ou serviço. Projetar é estabelecer um conjunto de procedimentos e especificações que, se postos em prática, resultam em algo concreto ou em um conjunto de informações. Assim, o processo do projeto é a aplicação específica de uma metodologia de trabalho na resolução de problemas.”

Ainda segundo BAZZO & PEREIRA (2003), “O projeto é o produto de um plano de um trabalho deliberadamente realizados para satisfazer alguma necessidade. O seu resultado é algo que nem sempre existiu e, na verdade, constitui uma criação.

Figura 1 - Esquema do processo de projeto



Fonte: BAZZO & PEREIRA (2003)

Desta forma, é importante haver mais de uma possível solução para os elementos que compõem uma determinada estrutura ou obra, levando em consideração as etapas descritas na Figura 1, como por exemplo qual tipo de laje que deverá ser utilizado em determinada situação. Este será o foco deste trabalho.

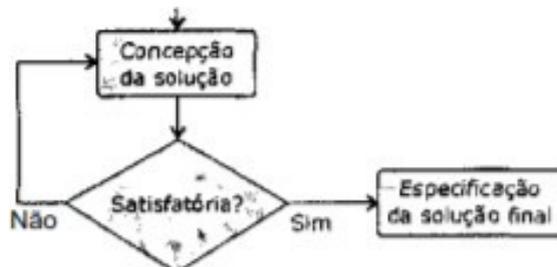
Um tipo de laje muito empregado nos últimos tempos na construção civil é a laje maciça, devido principalmente sua facilidade de cálculo e simplicidade executiva. Outros tipos são as lajes pré-fabricadas ou as lajes treliçadas, geralmente escolhidas pelo seu custo-benefício. Há também as nervuradas, protendidas, alveolares, etc.

Cabe ao engenheiro responsável e ao projetista decidirem qual o tipo mais adequado aquela determinada obra ou empreendimento, analisando suas características particulares, viabilidade de execução, viabilidade econômica e viabilidade estrutural.

BAZZO & PEREIRA (2003) ressaltam:

“São vitais para o bom desempenho desta fase os processos de análise e de síntese. Desmembrar cada possível solução elemento a elemento, e após rearranjá-las apropriadamente, é uma excelente forma de se conseguir ter boas soluções. Mas a solução final só poderá ser concluída após a fase de avaliação, quando esta será otimizada e, posteriormente, detalhada para a especificação final.”

Figura 2 - Fluxograma representando o processo iterativo de soluções



Fonte: BAZZO & PEREIRA (2003)

Adotar um bom processo solucionador (Figura 2) por bons profissionais e professores de engenharia está intimamente ligado ao sucesso do projeto. A adoção deste método por si só não garante tal sucesso, mas será um fator determinante para que tal o alcance (BAZZO & PEREIRA, 2003).

1.1 JUSTIFICATIVA

A construção civil brasileira não passa por um bom momento. Após ter seu ápice na primeira década dos anos 2000, a indústria da construção e o mercado em geral foram muito afetados pela crise que enfim chegou e deixou milhares de brasileiros desempregados. Assim, o mercado imobiliário enfraqueceu e o ritmo de construções das empresas foi diminuído drasticamente.

Tal fato acaba exigindo cada vez mais dos profissionais que projetam, pensam e executam as obras. Estes devem conceber suas estruturas de forma mais eficiente possível e, principalmente, adequando-a a sua realidade econômica trazendo reduções de custo e aumento do lucro no futuro.

Desta forma, quando e como deve-se escolher cada tipo de laje para uma determinada estrutura?

1.2 OBJETIVO PRINCIPAL

Realizar uma análise comparativa entre diferentes tipos de lajes: maciças, nervuradas e pré-moldadas treliçadas, quando ao desempenho e consumo de materiais, verificando qual seria escolhida para um pré-determinado projeto arquitetônico e apresentar brevemente em quais situações cada tipo poderia ser mais adequado.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Levantar influências no desempenho, uso e consumo de cada tipo de laje;
- Realizar análise técnica e financeira (perante consumo e custos) dos casos abordados;
- Escolher o melhor tipo de laje para a estrutura;
- Indicar possíveis tipos de uso para cada tipo de laje;
- Não serão considerados os resultados sobre estabilidade global sobre a estrutura.

1.4 METODOLOGIA

Neste trabalho de conclusão de curso será feita uma análise comparativa entre três tipos diferentes de lajes, desde sua concepção (lançamento estrutural), desempenho e quantitativo de materiais, apresentando conceitos com fundamentação bibliográfica de estruturas de concreto armado e elementos estruturais.

Desta forma, será analisada e lançada uma determinada estrutura (ANEXO A) no programa software Eberick. Para a mesma planta baixa, lançados os três modelos diferentes de laje (maciça, nervurada moldada in loco, pré-moldada treliçada), será realizada uma análise crítica quanto ao desempenho e custo (materiais) para cada um dos lançamentos, apresentando os resultados e conclusões sobre qual o melhor tipo de laje para aquela estrutura e em que situações as outras possibilidades seriam viáveis, melhor aproveitadas e aconselháveis para sua concepção.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Geralmente, nos edifícios de concreto armado os elementos estruturais presentes são as vigas, os pilares e as lajes que formam o sistema estrutural global da edificação. Cada um destes deve ter seu dimensionamento compatível com os esforços solicitantes e deve ter segurança garantida de acordo com os Estados Limites Últimos e de Serviço. A disposição destes elementos na estrutura deve ser compatível com o projeto arquitetônico em questão.

Segundo VASCONCELLOS (2004, p.34):

“William Boutland Wilkinson (1819-1902), inglês fabricante de gesso e de argamassa de Newcastle-upon-Tyne, patenteou um “sistema” de lajes em concreto armado (fig. 1.12). Construiu com este esquema uma casa de campo com dois pavimentos de alvenaria em que reforçou os panos de concreto (piso e telhado) com barras de ferro e arames. A patente de Wilkinson foi classificada como “melhorias na construção à prova de fogo em moradias, armazéns e outros edifícios”. Este registro oficial é a descrição mais antiga em termos da efetiva utilização do concreto armado em estruturas de edificações, o que configura Wilkinson como o pioneiro no emprego do material com esta finalidade.”

As lajes são elementos, normalmente horizontais, com duas dimensões bem maiores que a terceira (espessura) que recebem os esforços verticais, sejam estes permanentes ou acidentais oriundos das ações nos pavimentos ou coberturas. Eles atuam recebendo e transmitindo as cargas de utilização para os apoios, que geralmente são as vigas nas bordas, e são fundamentais para a manutenção da estabilidade global dos edifícios quando atuam como diafragmas rígidos e distribuem esforços horizontais do vento para estruturas de contraventamento (Pinheiro, 2010).

Para edifícios convencionais, o custo das estruturas de concreto armado representa cerca de 20% a 25% do valor total da obra. Podemos afirmar isso analisando o Quadro 1 elaborado por Mascaró (1985):

Quadro 1 - Custo de construção das diferentes etapas

ITEM	PORCENTAGEM SOBRE O CUSTO TOTAL (%)	OBSERVAÇÕES
Canteiro de Obras	5,09	Amortização dos equipamentos 0,44%; trabalhos preliminares 0,48%; previdência 1,25%; seguros e vigilância 2,26% e gastos diversos 0,66%.
Fundações	4,48	Considera o caso de fundações diretas, ou seja, por sapatas independentes ou, em alguns casos vinculadas.
Estrutura resistente (sem fundações)	20,13	Compreende: lajes, vigas pilares e paredes de contraventamento.
Contrapisos	2,22	Compreende os contrapisos sobre o terreno natural, ou dos banheiros e outros contrapisos em geral.
Alvenaria e Impermeabilizações	8,72	O gasto em impermeabilização é pequeno e chega aproximadamente, a 0,3% (incluindo a cobertura)
Acabamentos Verticais	14,49	Compreende: rebocos exteriores 3,49%; rebocos interiores 5,2%; revestimentos 1,65%; pintura 3,18% e rodapés 0,93%.
Acabamentos Horizontais	6,99	Compreende: forros 2,06% terraços acessíveis 0,71%; soleiras 0,42% e pisos 3,8%
Esquadrias Internas e Externas	14,14	Compreende: esquadrias internas de madeira 8,2%; externas metálicas 5,32% e vidros 0,61%
Instalação Sanitária e Contra Incêndio	8,22	Compreende os aparelhos das instalações
Instalação de Gás	4,69	Compreende os aparelhos das instalações
Instalação Elétrica	5,45	Compreende bombas de elevação de água.
Elevadores Instalações Contra Incêndio	4,79	Compreende elevadores para 4 pessoas: 45m/min; Portas telescópicas; Comando simples, sem memória
Compactador de Lixo	0,59	

Fonte: Mascaró (1985)

Segundo Giongo, 2007: “Nas estruturas de edifícios usuais, as lajes representam, no conjunto total da edificação, um consumo de concreto da ordem de 50% do volume total.”. Nota-se assim, a importância da análise do elemento estrutural, não só pelo seu desempenho, mas também pela sua influência financeira na obra.

A escolha da forma da estrutura de um edifício depende do projeto arquitetônico proposto, analisando e tentando prever qual alternativa se torna mais viável. É importante realizar desenhos que mostrem as formas das estruturas de cada pavimento, facilitando tanto essa escolha, bem como a definição do pré-dimensionamento e posicionamento de vigas e pilares para a avaliação futura da estabilidade global da estrutura e verificação dos Estados Limites Últimos e de Serviço.

BAZZO & PEREIRA (2003) explicam que na fase de concepção da solução de um projeto:

“[...] são especificados os elementos, os mecanismos, os processos ou as configurações que resultam no produto final, e que satisfazem necessidades identificadas. Talvez seja esta a fase mais atraente do processo do projeto, por permitir que se ponha em prática todo o acervo de conhecimentos técnicos e científicos. Aí também se pode, de maneira mais intensa, dar asas à imaginação criadora.”

Os tipos de laje em análise neste trabalho serão as maciças, as nervuradas e as pré-moldadas treliçadas.

2.1 CONTEXTUALIZAÇÃO TEÓRICA

2.1.1 Estruturas em concreto armado

Concreto armado é um sistema estrutural muito utilizado nas estruturas, principalmente de residências e edifícios. Este sistema consiste em aliar armações feita com barras de aço e concreto usinado buscando usufruir de suas principais características e propriedades (PEREIRA, 2015).

Como é conhecido, o concreto é o principal responsável pela resistência aos esforços de compressão, porém possui baixa resistência a tração (cerca de um décimo da resistência a compressão), sendo assim necessário o emprego do aço, o qual é responsável pela absorção dos esforços de tração.

Além de poder ser moldado de diversas formas, as estruturas de concreto armado possuem um baixo custo de manutenção. Não necessita de mão-de-obra especializada e é mais durável que qualquer outro sistema construtivo tendo elevada resistência ao desgaste mecânico como choque e vibrações.

Em contrapartida, o tempo de execução não é dos mais rápidos e deve-se ter muito cuidado durante esse processo para que erros sejam evitados. Deve-se também planejar o uso de fôrmas e escoras para racionalizar seus usos e evitar desperdícios de materiais e a geração de resíduos e lixos construtivos.

A principal norma que rege as estruturas em concreto armado é a NBR 6118:2014 – Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Entretanto várias outras normas podem e

devem ser utilizadas desde a concepção do projeto, até na execução e finalização da obra, dependendo de suas peculiaridades e características. Algumas destas podemos ver no Quadro 2.

Quadro 2 - Principais normas para uso na construção civil

Normas utilizadas na construção civil		
NB 1	NBR 6118	Projeto e Execução de Obras de Concreto Armado
NB 4	NBR 6119	Cálculo e Execução de Lajes Mistas
NB 5	NBR 6120	Cargas Para o Cálculo de Estruturas de Edificações
NB 16	NBR 7191	Execução de Desenhos para Obras de Concreto Simples ou Armado
NB 51	NBR 6122	Projeto e Execução de Fundações
NB 599	NBR 6123	Forças Devidas ao Vento em Edificações
EB 4	NBR 7211	Agregados para Concreto
EB 3	NBR 7480	Barras e Fios de Aço Destinados a Armaduras para Concreto Armado
MB 2	NBR 5738	Confecção e Cura de Corpos de Prova de Concreto Cilíndricos ou Prismáticos
MB 3	NBR 5739	Ensaio de Compressão de Corpos de Prova Cilíndricos de Concreto
	NBR 8681	Ações e Segurança nas Estruturas
	NBR 9062	Projeto e Execução de Estruturas de Concreto Pré-Moldado
	NBR 8953	Concreto para Fins Estruturais – Classificação por Grupos de Resistência
	NBR 12655	Concreto – Preparo, Controle e Recebimento do Concreto

Fonte: Dos autores, 2019.

Deve-se admitir um prédio convencional de concreto armado com:

- Lajes;
- Vigas;
- Pilares.

A alvenaria não colabora estruturalmente e pode ser colocada tanto durante a subida da estrutura de concreto armado ou quando esta estrutura estiver totalmente pronta (BOTELHO & MARCHETTI).

2.1.2 Ações a considerar

Há vários tipos de carregamentos e ações a serem considerados nas lajes. Estes podem ser classificados como: permanentes, variáveis ou acidentais, e excepcionais.

Pode-se considerar como permanentes o peso próprio da estrutura e dos elementos fixos construtivos, empuxos permanentes, a retração e fluência do concreto ou até imperfeições geométricas e globais. As ações variáveis podem ser cargas acidentais de impacto vertical ou horizontal, a ação do vento ou de água, variações de temperatura e ações dinâmicas devido o uso.

Já as excepcionais envolvem situações de carregamento que não são possíveis de controlar como: incêndios, impactos de veículos, abalos sísmicos, etc.

Seus respectivos valores para cálculo, coeficientes e combinações seguem as recomendações da NBR 6118/2014 e da NBR 6120/1980.

2.1.3 Flechas limites – Estado Limite de Deformação

Segundo o item 6.1 da NBR 6118/2014, as estruturas de concreto devem ser projetadas de modo a manter sua segurança, estabilidade e aptidão perante às solicitações que sofrerá durante o seu período de projeto. Desta forma, é fundamental que os deslocamentos que ocorrem em uma estrutura sejam limitados de forma a garantir a qualidade da obra.

Há uma grande variabilidade de parâmetros que influenciam nos deslocamentos e deformações reais, portanto não se pode esperar grande precisão nas previsões de cálculos. Essas deformações vão depender dos métodos e princípios construtivos e principalmente das características e propriedades dos materiais empregados no momento da solicitação (módulo de elasticidade e resistência à tração).

O texto do item 17.3.2 (Estado-limite de deformação) é o seguinte:

“A verificação dos valores limites estabelecidos na tabela 13.3 para a deformação da estrutura, mais propriamente rotações e deslocamentos em elementos estruturais lineares, analisados isoladamente e submetidos à combinação de ações conforme a Seção 11, deve ser realizada através de modelos que considerem a rigidez efetiva das seções do elemento estrutural, ou seja, que levem em consideração a presença de armadura, a existência de fissuras no concreto ao longo dessa armadura e as deformações diferidas no tempo”.

A avaliação da flecha nas vigas e lajes é feita de maneira aproximada, onde, segundo o item 17.3.2.1:

“ O modelo de comportamento da estrutura pode admitir o concreto e o aço como materiais de comportamento elástico e linear, de modo que as seções ao longo do elemento estrutural possam ter as deformações específicas determinadas no estágio I, desde que os esforços não superem aqueles que dão início à fissuração, e no estágio II, em caso contrário. Deve ser utilizado no cálculo o valor do módulo de elasticidade secante E_{cs} definido na Seção 8, sendo obrigatória a consideração do efeito da fluência.”

A NBR 6118/2014 estabelece os limites de deslocamentos para os elementos estruturais (Quadro 3). Estes limites tem o intuito de evitar que tais deslocamentos causem sensações desagradáveis aos usuários, não impeçam a utilização adequada da construção, nem causem danos em elementos estruturais, ao mesmo tempo que garantam a validade da hipótese de pequenos deslocamentos naturais e admitidos na análise estrutural. Assim, o limite a ser adotado para um deslocamento é função do dano que se quer evitar (ARAÚJO, 2003).

Quadro 3 - Tabela limite para deslocamentos em elementos estruturais

Tabela 13.3 – Limites para deslocamentos				
Tipo de efeito	Razão da limitação	Exemplo	Deslocamento a considerar	Deslocamento-limite
Aceitabilidade sensorial	Visual	Deslocamentos visíveis em elementos estruturais	Total	$l/250$
	Outro	Vibrações sentidas no piso	Devido a cargas acidentais	$l/350$

Fonte: NBR 6118/2014 – Projeto e Execução de Obras de Concreto Armado

Araújo conclui que:

“No caso de edifícios residenciais e comerciais, basta limitar a flecha provocada pela totalidade das cargas. Isto se deve ao fato de que a carga acidental é pequena em relação à carga permanente. Além disto, a fluência do concreto só é introduzida no cálculo da flecha quando são consideradas as cargas permanentes. Assim, as flechas das lajes não devem ultrapassar o limite $l/250$, onde l é o menor vão da laje. Para as lajes em balanço, como as marquises, a flecha na extremidade livre deve ser limitada em $l/125$ onde l é o comprimento do balanço.”

2.1.4 Fissuração

Segundo a NBR 6118/2014, “A fissuração em elementos estruturais de concreto armado é inevitável, devido à grande variabilidade e à baixa resistência do concreto à tração; mesmo sob as ações de serviço (utilização), valores críticos de tensões de tração são atingidos.”.

Mesmo sendo inevitável a ocorrência de fissuras, é imprescindível o controle destas para que a estrutura tenha a maior vida útil possível. Os valores limites de fissuração nos elementos de concreto armado se dão no Quadro 4 a seguir da norma NBR 6118-2014:

Quadro 4 - Tabela limite de fissuração em função da classe de agressividade ambiental

Tipo de concreto estrutural	Classe de agressividade ambiental (CAA) e tipo de protensão	Exigências relativas à fissuração	Combinação de ações em serviço a utilizar
Concreto simples	CAA I a CAA IV	Não há	–
Concreto armado	CAA I	ELS-W $w_k \leq 0,4$ mm	Combinação frequente
	CAA II e CAA III	ELS-W $w_k \leq 0,3$ mm	
	CAA IV	ELS-W $w_k \leq 0,2$ mm	

Fonte: NBR 6118/2014 – Projeto e Execução de Obras de Concreto Armado

2.1.5 Estado-limite de Vibrações Excessivas

No caso das estruturas usuais, a análise das vibrações pode ser realizada em regime linear.

Para assegurar comportamento satisfatório das estruturas a NBR 6118:2014 diz que deve-se:

“[...] afastar o máximo possível a frequência própria da estrutura (f) da frequência crítica (f_{crit}), que depende da destinação da respectiva edificação. A condição deve ser satisfeita:

$$f > 1,2 f_{crit} ”$$

Na falta de valores determinados experimentalmente, adota-se os valores indicados no Quadro 5, retirada da NBR 6118/2014.

Quadro 5 - Frequência crítica para vibrações verticais para alguns casos especiais de estruturas submetidas a vibrações pela ação de pessoas

Caso	f_{crit} Hz
Ginásio de esportes e academias de ginástica	8,0
Salas de dança ou de concerto sem cadeiras fixas	7,0
Passarelas de pedestres ou ciclistas	4,5
Escritórios	4,0
Salas de concerto com cadeiras fixas	3,5

Fonte: NBR 6118/2014 – Projeto e Execução de Obras de Concreto Armado

2.1.6 Aberturas em lajes

De acordo com a NBR 6118:2014, deve-se ter alguns cuidados e precauções para o caso de haverem aberturas ou furos nas lajes:

- a) A seção do concreto remanescente da parte central ou sobre o apoio da laje deve ser capaz de equilibrar os esforços no estado limite último, correspondentes a essa seção sem aberturas;
- b) As seções das armaduras interrompidas devem ser substituídas por seções equivalentes de reforço, devidamente ancoradas;
- c) No caso de aberturas em regiões próximas a pilares, nas lajes lisas ou cogumelo, o modelo de cálculo deve prever o equilíbrio das forças cortantes atuantes nessas regiões.

2.1.7 Detalhamento em lajes

Segundo a NBR 6118:2014 (item 20.1, pag. 169), há algumas prescrições e detalhes que devem ser seguidos no detalhamento das lajes:

“As armaduras devem ser detalhadas no projeto de forma que, durante a execução, seja garantido o seu posicionamento durante a concretagem.

Qualquer barra da armadura de flexão deve ter diâmetro no máximo igual a $h/8$.

As barras da armadura de flexão devem apresentar espaçamento no máximo igual a $2h$ ou 20 cm, prevalecendo o menor desses dois valores na região dos maiores momentos fletores.”

Ela (NBR 6118:2014) ainda recomenda que nas lajes maciças armadas em uma ou mais direções:

“[...] em que seja dispensada a armadura transversal de acordo com 19.4.1, e quando não houver avaliação explícita dos acréscimos das armaduras decorrentes da presença dos momentos volventes nas lajes, toda a armadura positiva deve ser levada até os apoios, não se permitindo escalonamento desta armadura. A armadura deve ser prolongada no mínimo 4 cm além do eixo teórico no apoio.”

A armadura secundária de flexão deve, segundo a NBR 6118:2014:

“[...] ser igual ou superior a 20% da armadura principal, mantendo-se, ainda, um espaçamento entre barras de no máximo 33 cm. A emenda dessas barras deve respeitar os mesmos critérios de emenda das barras da armadura principal.

Os estribos em lajes nervuradas, quando necessários, não podem ter espaçamento superior a 20 cm”.

2.2 LAJES MACIÇAS

Lajes maciças são aquelas que possuem espessura de concreto constante ao longo de sua extensão (geralmente de 7 a 15 cm), contendo armaduras longitudinais para flexão, e eventualmente armaduras transversais. São muito comuns em construções de grande porte, pontes e edifícios de múltiplos pavimentos (BASTOS, 2005)

De acordo com a NBR 6118/2014, as espessuras das lajes devem respeitar os seguintes limites mínimos:

- 7 cm para cobertura não em balanço;
- 8 cm para lajes de piso não em balanço;

- 10 cm para lajes em balanço;
- 10 cm para lajes que suportem veículos de peso total menor ou igual a 30 kN;
- 12 cm para lajes que suportem veículos de peso total maior que 10 kN;
- 15 cm para lajes com proteção apoiadas em vigas, com o mínimo de $\frac{l}{42}$ para lajes de piso biapoiadas e $\frac{l}{50}$ para lajes de piso contínuas;
- 16 cm para lajes lisas e 14 cm para lajes-cogumelo, fora do capitel.

Devido ao peso específico do concreto ser aproximadamente 25 kN/cm², essas estruturas e elementos em geral possuem elevado peso próprio, levando muitas vezes ao aumento da seção das vigas e pilares da mesma, como pode-se ver na Figura 3.

Figura 3 - Laje maciça com pilares e vigas



Fonte: <http://decorandocasas.com.br/2018/08/08/laje-macica-vantagens-e-desvantagens/>

O consumo de fôrmas e escoras também é bastante elevado, gerando muitos resíduos construtivos ao longo de sua execução e conseqüentemente há um aumento nos custos (Figura 4).

Por serem totalmente assoalhadas, é mais fácil realizar o travamento das vigas e a execução das armaduras ali presentes.

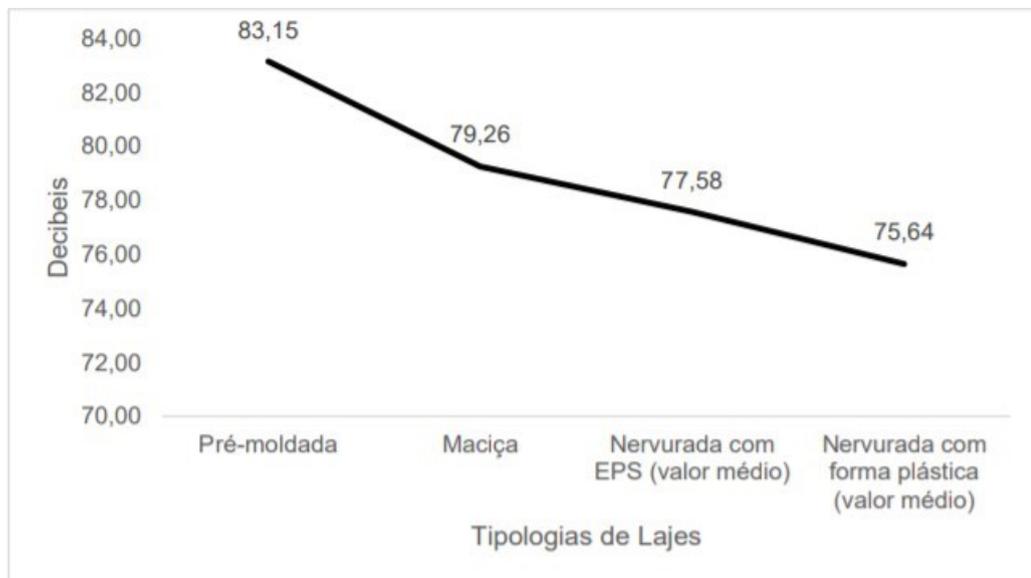
Figura 4 - Escoramento de laje maciça



Fonte: <http://www.alugotuboeequipamento.com.br/escoramento-para-laje/escoramento-para-laje-macica/onde-encontro-escoramento-de-laje-macica-guarulhos>

Uma vantagem das lajes maciças é que não necessitam, na maioria dos casos de mão-de-obra muito especializada por se tratar de um método bastante conhecido. Além disso é notório o conforto acústico que essas lajes proporcionam em relação a lajes pré-moldadas, como evidenciado no Gráfico 1.

Gráfico 1 - Comparativo acústico entre as diferentes tipologias de lajes



Fonte: (Silvano, 2016)

Conforme Spohr (2008 apud FARIA, 2010 p. 19) a laje maciça convencional não é a mais adequada para vencer grandes vãos. Ele recomenda como prática usual adotar-se como vão médio econômico um valor entre 3,5 e 5m. O autor descreve como sendo um sistema convencional:

“[...] aquele que pode ser constituído basicamente por lajes convencionais, vigas e pilares, sendo que as lajes recebem os carregamentos oriundos da utilização, ou seja, das pessoas, móveis, acrescidos de seu peso próprio, os quais são transmitidos às vigas, que por sua vez descarregam seus esforços aos pilares e esses às fundações. ”

Por outro lado, a grande quantidade de vigas que existem sob uma laje maciça acaba formando pórticos que ajudam na rigidez e na estrutura de contraventamento (ALBUQUERQUE, 1999, p.21).

Figura 5 - Exemplo de laje maciça antes da concretagem



Fonte: <http://casaruadascamelias.blogspot.com/2012/09/concretagem-da-laje-coberturaficou-um.html>

2.3 LAJES NERVURADAS MOLDADAS IN LOCO

ARAÚJO (2003) introduz que:

“Os pisos dos edifícios de concreto armado, usualmente, são projetados em lajes maciças. Entretanto, quando os vãos são grandes, essa solução pode ser antieconômica, em virtude da elevada espessura da laje. Nesses casos, a solução em laje maciça pode exigir espessuras tão grandes que a maior parte do carregamento passa a ser constituída por seu peso próprio.”

De acordo com a NBR 6118/14, estas se definem como “as lajes moldadas no local ou com nervuras pré-moldadas, cuja zona de tração para momentos positivos está localizada nas nervuras entre as quais pode ser material inerte”.

Ainda segundo a norma, “a espessura da mesa, quando não existirem tubulações horizontais embutidas, deve ser maior ou igual a $1/15$ da distância entre as faces das nervuras (lo) não menor que 4 cm.”. Quando houverem embutimentos de tubos com máximo de 10 mm e diâmetro, o valor mínimo da mesa deve ser 5 cm.

A espessura das nervuras não pode ser inferior a 5 cm, sendo que se houverem armaduras de compressão, o mínimo deverá ser de 8 cm.

Como visto anteriormente, o concreto é o principal responsável por receber e absorver os esforços de compressão atuantes na estrutura. Já as resistências aos esforços de tração são atribuídas ao aço pois consideramos que o concreto possui baixa capacidade e resistência a tração. Desta forma, há uma região de concreto que não contribui para resistir aos esforços solicitantes, porém é de extrema importância para garantir aderência entre os materiais. É considerada inerte na resistência, podendo ser reduzida diminuindo o peso próprio da laje e da estrutura como um todo.

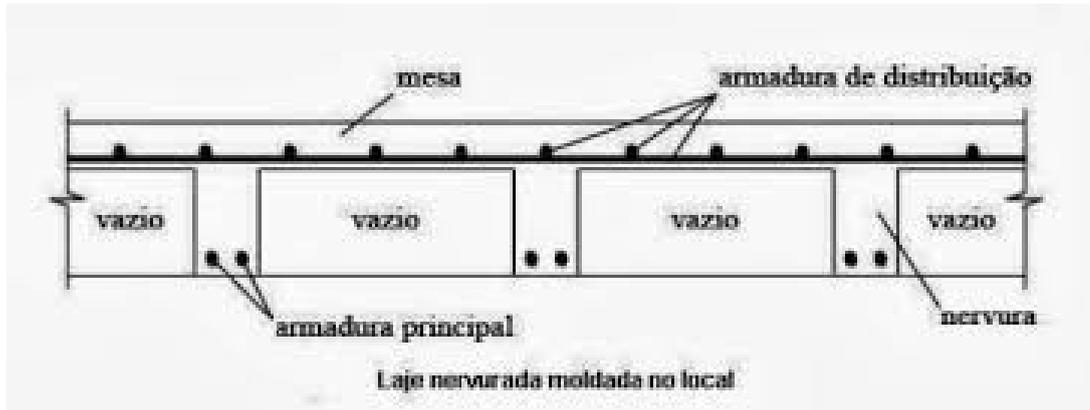
Em outras palavras, elimina-se o concreto abaixo da linha neutra, substituindo-os por materiais de enchimento com peso específico muito mais baixo que este, reduzindo o peso da estrutura e propiciando um melhor aproveitamento do aço e do concreto.

Estes materiais de enchimento não contribuem para o ganho de resistência da laje. São as nervuras, que unidas com a mesa, que proporcionarão a rigidez e resistência necessários.

Como pode ser visto na Figura 6, as lajes nervuradas são formadas por duas partes principais: a mesa (capa), que é a camada de concreto; e os nervos, que são as regiões tracionadas, onde são colocadas as armaduras principais. Elas podem ser armadas em uma

direção (unidimensional), ou em duas direções (em cruz/bidimensional), dependendo se há nervuras em uma ou duas direções.

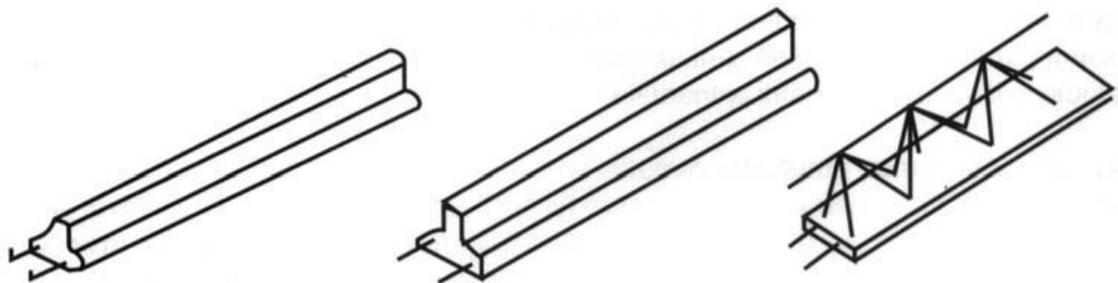
Figura 6 - Corte transversal em uma laje nervurada



Fonte: <http://www.rotomixbrasil.com.br/forma-para-laje-nervurada-saiba-mais-sobre-o-processo-construtivo/>

Para PINHEIRO (2003) as lajes nervuradas podem ser moldadas in loco ou podem ser executadas com nervuras pré-moldadas. Para as moldadas no local são necessários o uso de fôrmas especiais e escoramentos, além do material de enchimento. Geralmente são utilizadas formas de metal ou polipropileno para substituir o material inerte. Nas pré-moldadas (Figura 7), são utilizadas vigotas (nervuras) que dispensam o uso do tabuleiro da fôrma convencional. Essas vigotas suportam o seu peso próprio e as ações de construção, necessitando apenas de cimbramentos intermediários.

Figura 7 - Corte transversal em uma laje nervurada



Fonte: (FRANCA & FUSCO, 1997)

A principal característica das lajes nervuradas é a redução do volume de concreto na região tracionada, substituindo-o por um material de enchimento, reduzindo o consumo de materiais e o peso próprio. Portanto, o material de enchimento deve ser o mais leve possível, desde que tenha certa resistência para suprir as condições e operações de execução. Os materiais mais utilizados são os blocos cerâmicos (Figura 8), os blocos de EPS (isopor; Figura 9), blocos vazados de concreto, ou até caixotes reaproveitáveis (metálicos ou de polipropileno; Figura 10) (PINHEIRO, 2003).

Segundo ARAÚJO (2003, p. 144) as

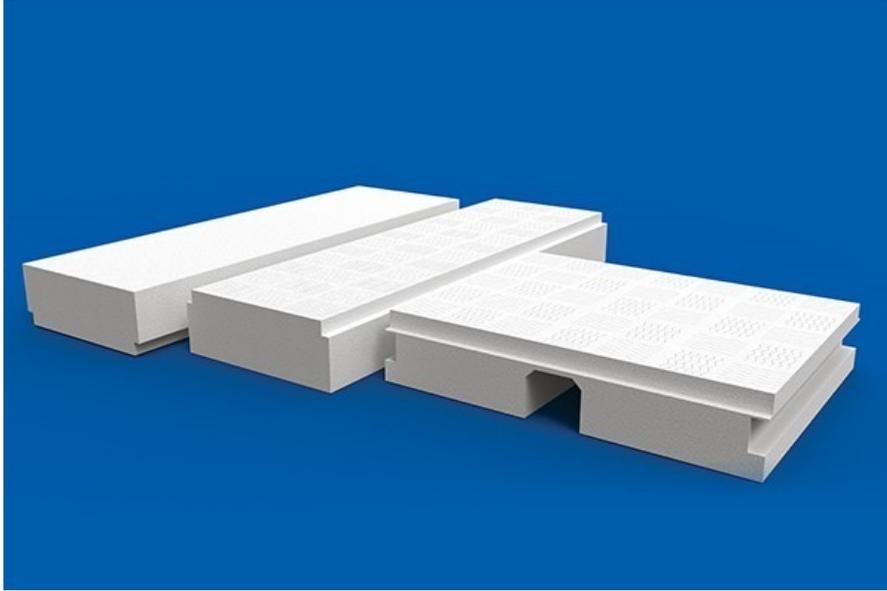
“[...] lajes nervuradas exigem uma altura h_t cerca de 50% superior à que seria necessária para as lajes maciças. Entretanto, o peso próprio da laje nervurada (e o consumo de concreto) é inferior ao da laje maciça, resultando em uma solução mais econômica para vãos acima de 8 metros, aproximadamente. ”

Figura 8 - Bloco Cerâmico para uso em lajes nervuradas



Fonte: <http://www.ceramicasalema.com.br/blocos-para-laje/>

Figura 9 - Bloco EPS (isopor) para uso em lajes nervuradas



Fonte: <http://www.isorecort.com.br/produtos/lajotas-ou-blocos-de-eps-para-lajes/#gallery-1>

Figura 10 - Fôrmas (cubetas) para uso em lajes nervuradas



Fonte: <https://www.escolaengenharia.com.br/laje-nervurada/>

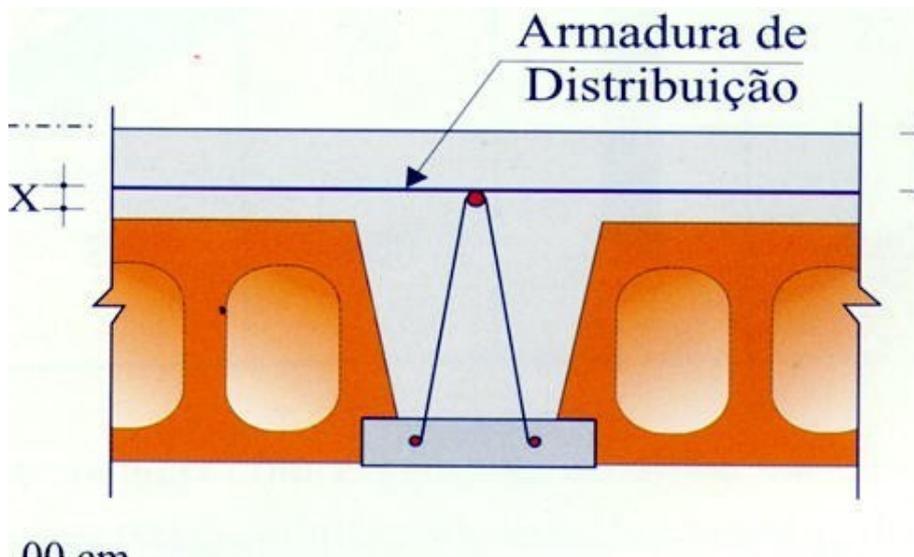
Essas reduções resultam numa economia de materiais, mão-de-obra e de fôrmas de madeira, simplificando a execução, reduzindo perdas, aumentando a produtividade e aumentando a viabilidade do sistema construtivo. Em geral, possuem mais vantagens que as lajes maciças pelos motivos já descritos e por serem capaz de vencerem grandes vãos, resultando em maiores planos lisos e estruturas com menos vigas e pilares.

2.4 LAJES TRELIÇADAS

De acordo com BASTOS (2005) pode-se chamar de laje pré-fabricada ou laje pré-moldada, aquela que é constituída e tem seus elementos fabricados em grande escala no canteiro de uma fábrica. Podem ser de concreto armado ou de concreto protendido e tem aplicação tanto em construções de pequeno porte como também nas de grande porte.

Estas lajes são constituídas por nervuras (vigotas ou trilhos) de concreto e aço (armadura) aliadas á uma capa de concreto colocada na obra pelo construtor durante a execução. Hoje em dia é comum encontrá-las segundo dois tipos diferentes: treliça e convencional, principalmente em função da armadura e da forma da vigota (BASTOS, 2005).

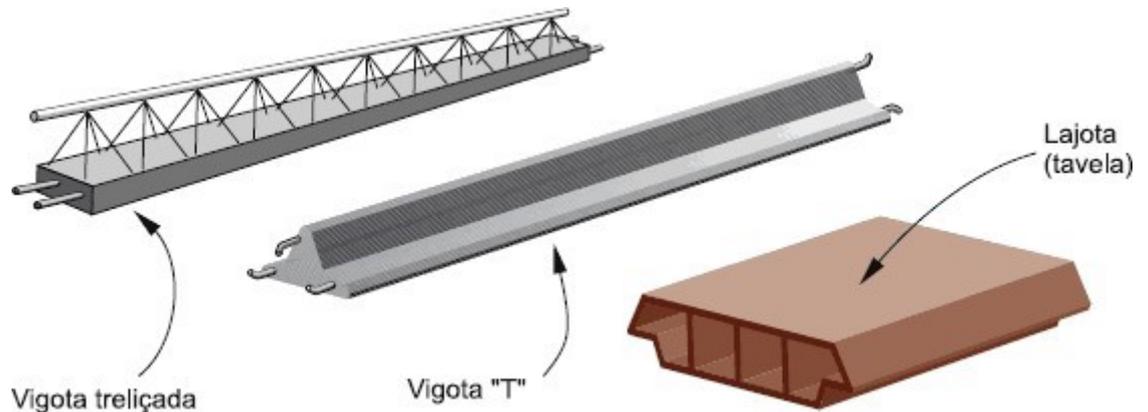
Figura 11 - Corte transversal em uma laje treliçada



Fonte: (FAULIM, 1998).

Essa tecnologia surgiu na Europa com o intuito de reduzir os custos de consumo que haviam com as lajes maciças de concreto, possibilitando também vencer grandes vãos com menor peso próprio, menos mão-de-obra, menos gastos com fôrmas e escoramentos e melhor dinâmica e velocidade de execução (BASTOS, 2005).

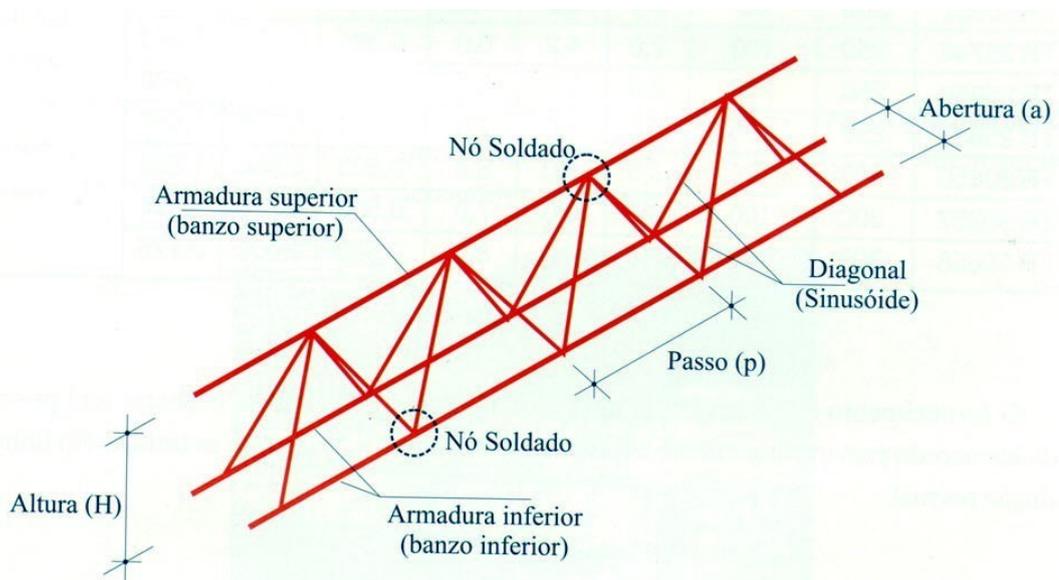
Figura 12 - Vigota treliçada, vigota convencional e material de enchimento (lajota/tabela)



Fonte: <https://axionconstrucoes.wordpress.com/2012/08/21/tipos-de-lajes-pre-fabricadas/>

Nas lajes treliçadas a armadura das nervuras (vigotas) tem forma de uma treliça espacial, como visto na Figura 11, Figura 12, Figura 13 e Figura 14. No seu banzo inferior, há duas barras e no banzo superior uma barra. Eles são ligados por barras diagonais inclinadas soldadas. Estas dão rigidez ao conjunto, facilitam o manuseio, o transporte e aumentam a resistência aos esforços cortantes (BASTOS, 2005).

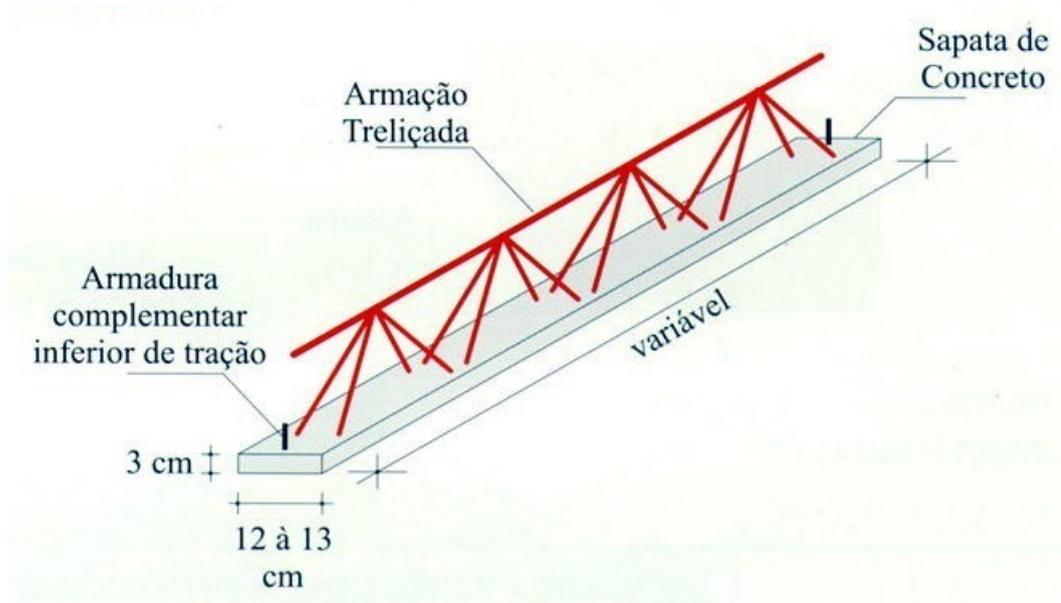
Figura 13 - Armação em forma de treliça espacial



Fonte: (FAULIM, 1998).

As vigotas treliçadas tem suas barras do banzo inferior cobertas por concreto, formando uma placa fina.

Figura 14 - Nervura na vigota de laje treliçada



Fonte: (FAULIM, 1998).

Na execução, posicionam-se as vigotas, coloca-se o material de enchimento (bloco cerâmico, EPS, etc.) e então é realizada a concretagem da estrutura. Esse conjunto fornecerá a resistência necessária à laje, atuando para resistir aos momentos fletores e às forças cortantes. As vigotas podem conter barras longitudinais adicionais, que ajudarão a combater a flexão e possibilitarão vencer vãos maiores (BASTOS).

Os materiais de enchimento geralmente são os já vistos nas lajes nervuradas, exceto as cubetas (Figura 15 e Figura 16).

Figura 15 - Laje pré-fabricada do tipo treliçada com enchimento de tijolos cerâmicos



Fonte: (FAULIM, 1998).

Tem-se como principal vantagem do uso de lajes treliçadas uma significativa redução e economia de fôrmas para vigas, exigindo somente para os pilares e lajes. Devido a isso, deve-se ter atenção sobre as ações do vento na estrutura quanto a estabilidade global, pelo fato de não haver vigas que participem dos pórticos que ajudam a enrijecer a estrutura (GIONGO, 2007).

A principal desvantagem é que há uma maior propensão a atingir o estado limite por deformações excessivas comparado às lajes maciças. Na maioria dos casos a verificação da flecha é mais importante que a verificação sobre o estado limite último de ruína da laje, seja pelas ações do momento fletor ou do esforço cortante.

Deve-se fazer uma série de análises estruturais e arquitetônicas para tomar a decisão de se usar as lajes pré-fabricadas em edifícios. Por exemplo: em prédios de múltiplos andares (mais que cinco) há de se planejar como será o transporte dos elementos. Isso pode acarretar em acréscimo de custos (com elevadores especiais, por exemplo), e principalmente de segurança na obra.

BOTELHO & MARCHETTI (2003) atentam que além do

“[...] correto dimensionamento, a laje deve ser executada com um escoramento adequado, bem intervalado e totalmente apoiado no chão. Parte significativa dos problemas das lajes decorre:

- Da falta de escoramento;
- Da deficiência do travamento e escoramento;
- Do deficiente apoio do escoramento no chão.
- As consequências da deficiência do escoramento podem ser:
- Flechas exageradas;
- Fissuras ao longo da nervura. ”

Figura 16 - Laje pré-fabricada treliçada com enchimento de blocos de EPS



Fonte: <http://www.planoconcreto.com.br/site/produtos/lajes-trelicadas/>

Esse tipo de laje costuma reduzir o número de trincas e fissuras pela total aderência gerada entre as vigotas e o capeamento, com a formação de um bloco monolítico estruturalmente. Assim, em geral reduz-se o gasto da estrutura considerando o gasto com concreto, aço, madeira, escoramentos, mão-de-obra e ainda há um ganho significativo com relação ao tempo de execução.

2.5 SOFTWARE UTILIZADO

Para o lançamento dos diferentes tipos de laje estudados neste trabalho e consequente análise dos mesmos será utilizado o software Eberick desenvolvido pela empresa AltoQi. Suas funcionalidades e praticidades fazem com que este seja o software mais utilizado nos escritórios de engenharia para dimensionamento estrutural.

É um software para projeto estrutural em concreto armado moldado in loco e concreto pré-moldado, englobando as etapas de lançamento e modelagem, análise da estrutura, dimensionamento e detalhamento final dos elementos. O modelo criado pode ser visto no pórtico 3D (Figura 17), facilitando o entendimento da geometria do elemento proposto.

Figura 17 - Modelo tridimensional de uma estrutura



Fonte: <https://www.altoqi.com.br/eberick/>

Os dimensionamentos estão de acordo com as normas técnicas brasileiras em vigência. O sistema verifica, assim, os elementos para os Estados Limites Último e de Serviço (ELU e ELS). Os esforços e resultados de armadura são apresentados bem como o dimensionamento do elemento.

O programa permite a criar um documento único com o memorial de cálculo da edificação, com relatórios referentes à análise global, esforços e dimensionamento dos elementos e cargas nas fundações. Também é possível gerar um relatório com os critérios

adotados no projeto, como dados da obra e normas utilizadas para análise e dimensionamento dos elementos estruturais (<https://www.altoqi.com.br/eberick/>).

Pode-se também gerar as pranchas finais dos detalhamentos dos elementos com suas armaduras e as plantas de fôrmas com suas geometrias, cotagem, hachuras, tabelas de eixos e sobrecargas.

Alem disso ainda gera um relatório básico sobre o resumo de materiais que serão utilizados, bem como o volume de concreto, peso de aço, área de fôrma, volume de materiais de enchimento, consumo de aço, etc.

3 DESCRIÇÃO DO ESTUDO DE CASO

Para a realização deste estudo de caso utilizou-se o software Eberick para a realização do projeto estrutural com três tipos de lajes, baseados no mesmo projeto arquitetônico (ANEXO A). No primeiro projeto utilizar-se na estrutura lajes treliçadas. No segundo, lajes nervuradas moldadas in loco. E no terceiro lajes pré-moldadas maciças.

3.1 PROJETO ARQUITETÔNICO

O projeto arquitetônico utilizado refere-se a uma residência multifamiliar, composta de quatro pavimentos tipos com quatro apartamentos por pavimento de aproximadamente 82m² e um pavimento garagem. A distância de piso a piso é de 2,88m. Os apartamentos são compostos por sala de estar/jantar, cozinha, área de serviço, um dormitório, uma suíte e sacada conforme apresentado no ANEXO A. A área total do empreendimento é de aproximadamente 2.205,63m².

3.2 FATORES DE PROJETO

A concepção da estrutura foi feita no intuito de obter vãos maiores, para possibilitar a diminuição da quantidade de pilares e de vigas. No início do lançamento adotou-se como a dimensão inicial das vigas 12x40cm, e para os pilares 14x40cm. Assim que foram lançados todos os elementos estruturais e suas respectivas áreas, foi realizado o primeiro cálculo da estrutura onde analisou-se o Coeficiente Gama-z.

O coeficiente γz (Gama-z) tem por principal objetivo classificar a estrutura quanto à “deslocabilidade” dos nós, a fim de destacar os quão significativos são os esforços de 2ª ordem globais para efeitos de cálculo. O coeficiente γz é determinado a partir dos resultados de uma análise linear de 1ª ordem, para cada caso de carregamento considerado na estrutura. Seu valor é calculado e comparado com os valores limite a partir dos quais a estrutura deve ser considerada como de nós móveis. Além disso, o coeficiente γz é obtido por meio de uma análise elástica, considerando a não linearidade física dos elementos estruturais por meio dos seus valores de rigidez, através da configuração dos valores de rigidez destes.

Na primeira análise os valores de deslocamentos foram altos, então para conseguir um valor de rigidez maior verificou-se que o valor de deslocamento na direção Y era maior que na direção X então alguns pilares tiveram sua direção invertida para resistirem mais na direção Y. Após isso, calculou-se a estrutura novamente e foi verificado que houve uma melhora na rigidez na direção Y, mas os deslocamentos ainda estavam altos. Para conseguirmos melhorar a rigidez, foram aumentadas as seções de alguns pilares, assim chegando em um valor do coeficiente gama-z mais próximo do limite. Após atingir uma boa rigidez, foram analisados os pilares e vigas, adequando suas seções para que todos os elementos pudessem ser calculados.

Por se tratar de uma estrutura em concreto armado, deve-se definir sua classe de agressividade. A adotada em projeto está indicada no Quadro 6:

Quadro 6 - Classe de agressividade adotada

Tabela 6.1 – Classes de agressividade ambiental (CAA)

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural Submersa	Insignificante
II	Moderada	Urbana ^{a, b}	Pequeno
III	Forte	Marinha ^a Industrial ^{a, b}	Grande
IV	Muito forte	Industrial ^{a, c} Respingos de maré	Elevado

Fonte: NBR 6118/2014 – Projeto e Execução de Obras de Concreto Armado

Pelo fato de a estrutura se localizar em uma região mais afastada do mar, utilizou-se a Classe de agressividade II.

Os demais fatores de projeto que foram inseridos no software estão descritos na Figura 18.

Figura 18 - Critérios de projeto adotados para a estrutura

Materiais e durabilidade

Aplicação
 Projeto inteiro
 Por pavimento

Pavimento
 Pav. 04
 Pav. 02
 Pav. 03
 Pav. 01
 Carregador
 Outros

Avisos
 Todas as informações estão definidas corretamente
 Detalhes...

Geral
 Classe de agressividade: II (moderada) ...
 Dimensão do agregado: 19 mm
 Controle rigoroso nas dimensões dos elementos
 Considerar redução no cobrimento para peças com fck acima do requerido para a classe de agressividade

Abertura máxima das fissuras
 Contato com o solo: 0.2 mm
 Contato com a água: 0.1 mm
 Demais peças: 0.3 mm
 Combinações: Frequentes

Elementos	Concreto	Cobrimento (peças externas)	Cobrimento (peças internas)	Cobrimento (contato com o solo)	
Vigas	C-30	2.5 cm	2.5 cm	2.5 cm	Bitolas...
Pilares	C-30	2.5 cm	2.5 cm	3.5 cm	Bitolas...
Lajes	C-30	2 cm		3 cm	Bitolas...
Reservatórios	C-30	3 cm			Bitolas...
Blocos	C-30			4.5 cm	Bitolas...
Sapatas	C-30			4.5 cm	Bitolas...
Tubulões	C-30			4.5 cm	Bitolas...
Muros	C-30			3 cm	Bitolas...
Radier	C-30			4.5 cm	Bitolas...

Fluência... Barras... Classes... OK Cancelar Ajuda

Fonte: Dos autores, 2019

4 RESULTADOS E ANÁLISES

4.1 VOLUMES E QUANTITATIVOS DE MATERIAIS EMPREGADOS

4.1.1 Lançamento com Vigotas Treliçadas

Para a obtenção dos dados sobre a estrutura e os quantitativos de materiais a serem empregados caso a laje seja constituída por vigotas treliçadas, foi utilizado o software Eberick que apresentou os seguintes resultados no Quadro 7:

Quadro 7 - Resumo de quantitativos de materiais por material e elemento

		Vigas	Pilares	Lajes	Total
Peso total + 10% (kg)	CA50	7.993,6	4.397,2	2.057,1	14.447,9
	CA60	1.219,2	1.106,1	3.455,9	5.781,2
	Total	9.212,8	5.503,3	5.513,0	20.229,1
Volume concreto (m ³)	C-30	73,0	35,0	166,5	274,5
Área de forma (m ²)		1.328,4	586,3	1,8	1.916,5
Consumo de aço (kg/m ³)		126,3	157,1	33,1	73,7

Fonte: Dos autores, 2019

4.1.2 Lançamento para Laje Nervurada

Com o auxílio do software Eberick e adotando a concepção da estrutura com lajes nervuradas moldadas in loco obtiveram-se os seguintes valores no Quadro 8. Foi considerado o uso de blocos de EPS (isopor) como material de enchimento.

Quadro 8 - Resumo de quantitativos de materiais por material e elemento

		Vigas	Pilares	Lajes	Total
Peso total + 10% (kg)	CA50	8.304,3	4.607,7	14.907,8	27.819,8
	CA60	1.249,7	823,0	4.948,6	7.021,3
	Total	9.554,0	5.430,7	19.856,4	34.841,1
Volume concreto (m ³)	C-30	77,6	34,7	201,9	314,2
Área de forma (m ²)		1.410,9	584,6	2.101,6	4.097,1
Consumo de aço (kg/m ³)		123,2	156,5	98,4	110,9

Fonte: Dos autores, 2019

4.1.3 Lançamento para Laje Maciça

Para as lajes maciças, da mesma forma, foi utilizado o software Eberick obtendo-se as seguintes estimativas (Quadro 9) de volumes e quantitativos de materiais a serem empregados:

Quadro 9 - Resumo de quantitativos de materiais por material e elemento

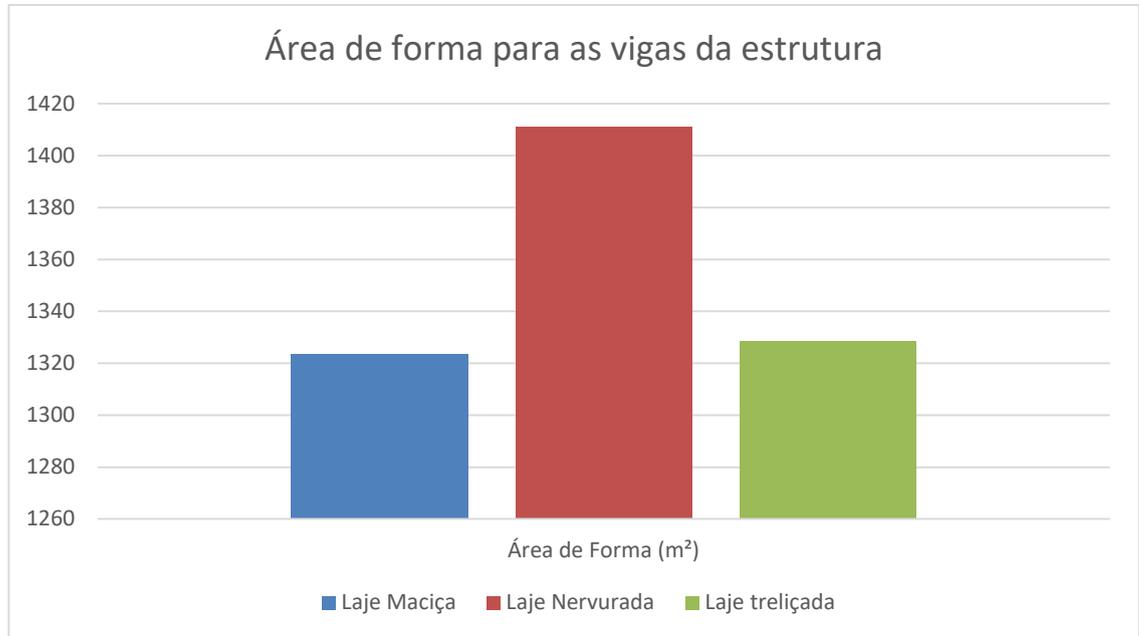
		Vigas	Pilares	Lajes	Total
Peso total + 10% (kg)	CA50	8.442,3	5.087,2	23.096,2	36.625,7
	CA60	1.259,2	1.134,6	571,3	2.965,1
	Total	9.701,5	6.221,8	23.667,5	39.590,8
Volume concreto (m ³)	C-30	72,4	34,9	296,6	403,9
Área de forma (m ²)		1.323,5	584,1	2.102,0	4.009,6
Consumo de aço (kg/m ³)		134,0	178,3	79,8	98,0

Fonte: Dos autores, 2019

4.1.4 Comparativo de quantitativo de materiais para vigas

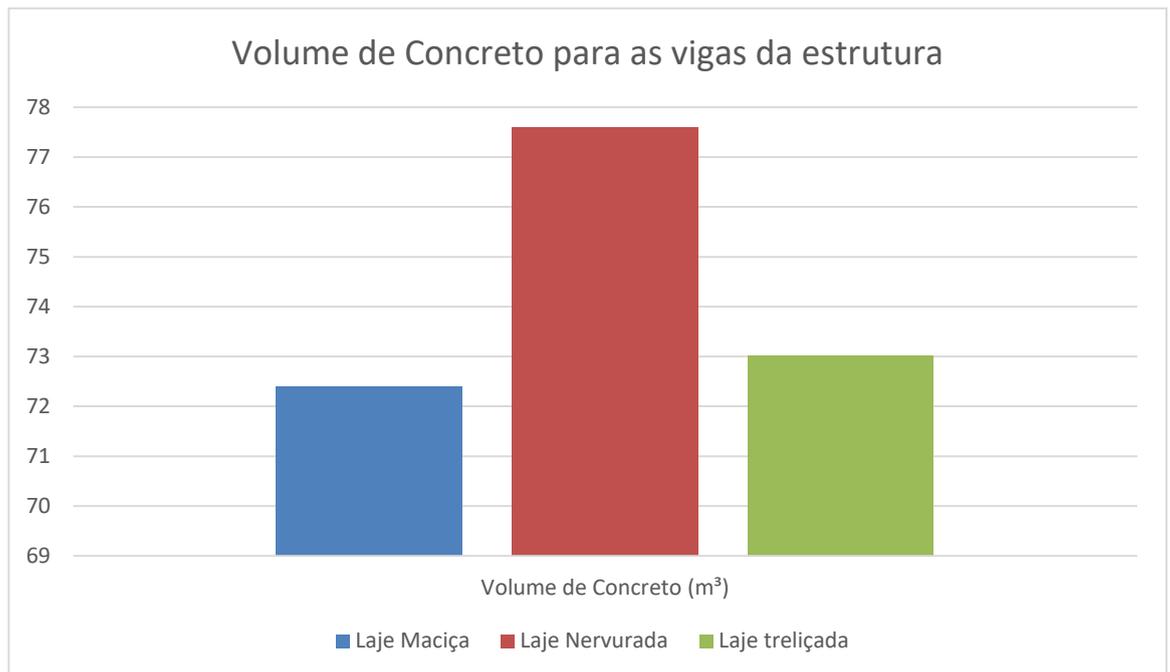
Com base nos valores evidenciados, no Gráfico 2, Gráfico 3 e Gráfico 4 seguem os comparativos dos quantitativos de materiais a serem empregados nas vigas da estrutura:

Gráfico 2 - Área de forma para as vigas da estrutura



Fonte: Dos autores, 2019

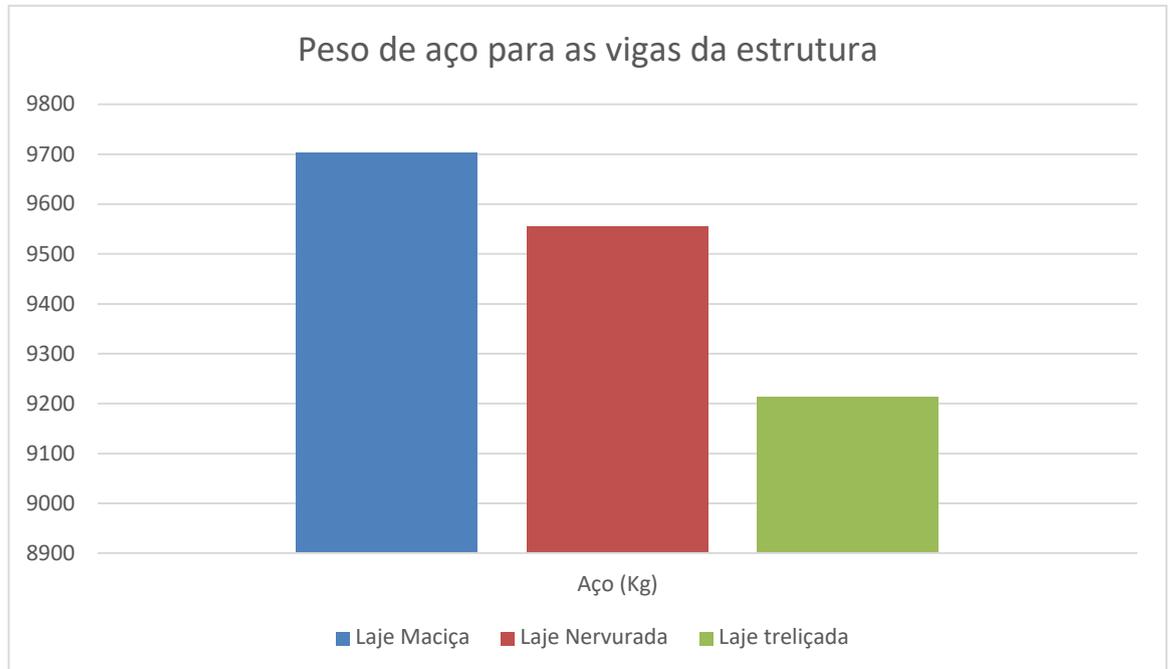
Gráfico 3 - Volume de Concreto para as vigas da estrutura



Fonte: Dos autores, 2019

Como vimos nos dois gráficos anteriores para a estrutura de laje nervurada foi necessário adotar seções maiores para as vigas, necessitando de maior área de forma e mais concreto para a execução.

Gráfico 4 - Peso de aço para as vigas da estrutura



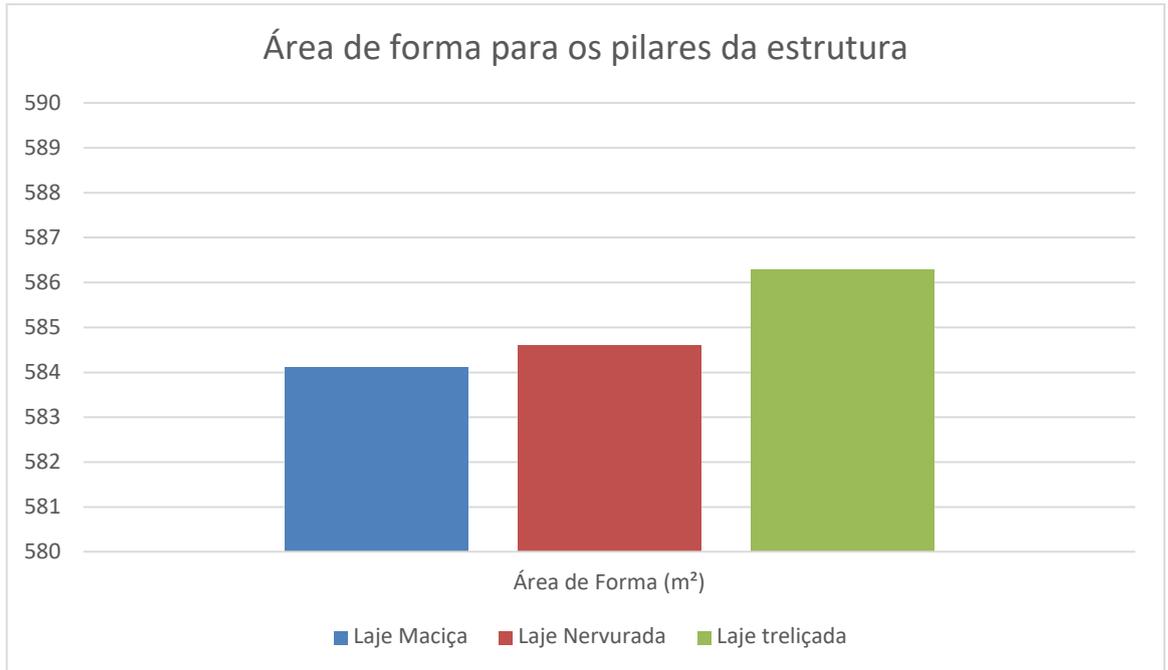
Fonte: Dos autores, 2019

Com um maior peso próprio a laje maciça faz com que as cargas nas vigas sejam maiores, tendo assim que adotar uma área de aço maior para suportar os esforços.

4.1.5 Comparativo de quantitativo de materiais para pilares

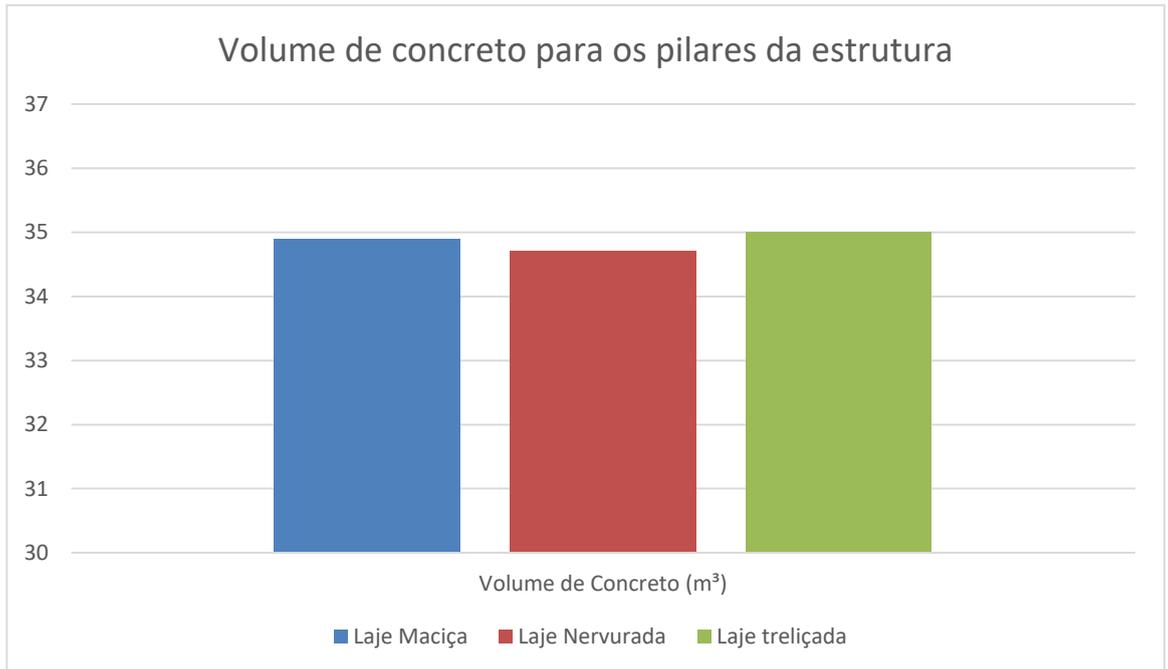
Tendo como base os valores obtidos, no Gráfico 5, Gráfico 6 e Gráfico 7 seguem os comparativos dos quantitativos de materiais a serem empregados nos pilares da estrutura:

Gráfico 5 - Área de forma para os pilares da estrutura



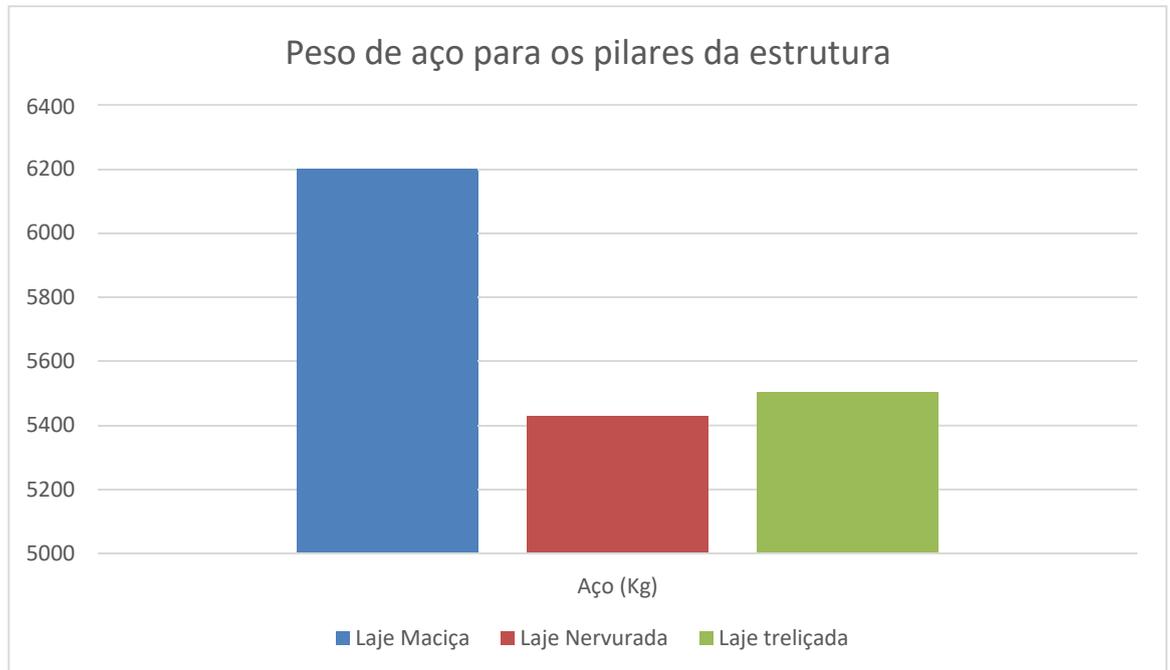
Fonte: Dos autores, 2019

Gráfico 6 - Volume de concreto para os pilares da estrutura



Fonte: Dos autores, 2019

Gráfico 7 - Peso de aço para os pilares da estrutura

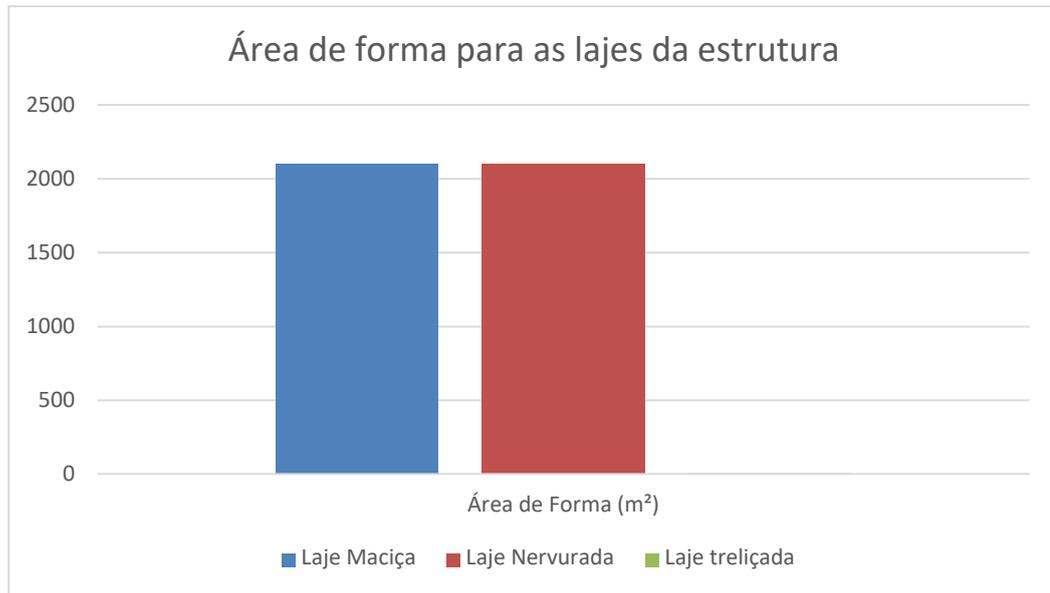


Fonte: Dos autores, 2019

4.1.6 Comparativo de quantitativo de materiais para lajes

Baseando-se nos valores obtidos, no Gráfico 8, Gráfico 9 e Gráfico 10 apresentam-se os seguintes comparativos dos quantitativos de materiais a serem empregados nas lajes da estrutura:

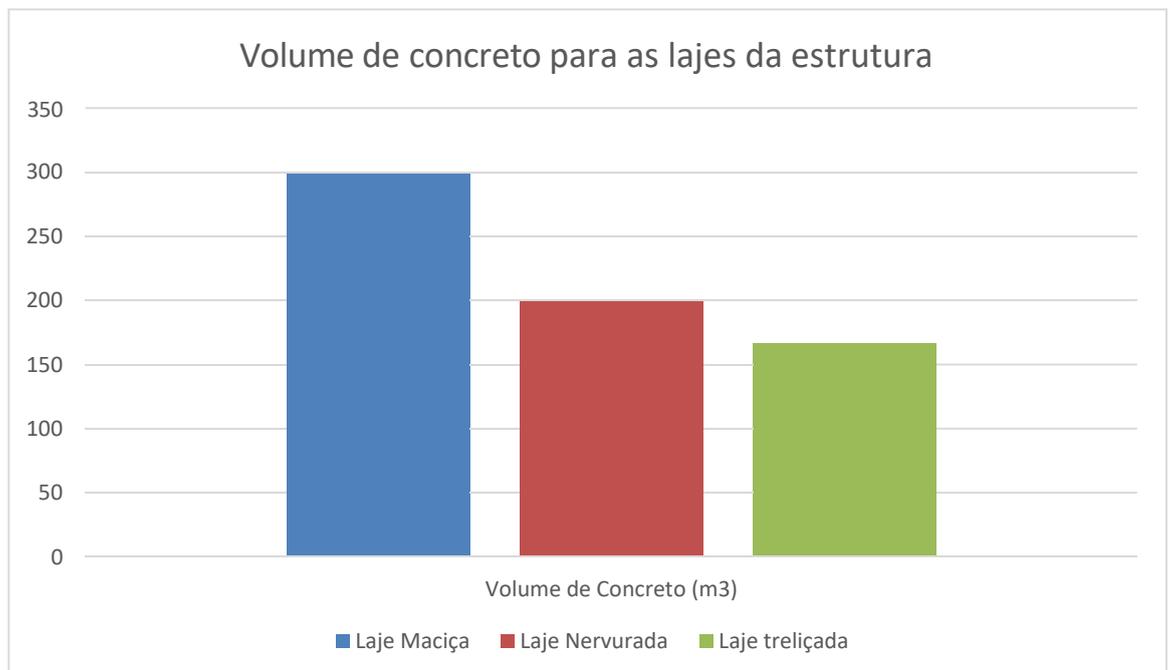
Gráfico 8 - Área de forma para as lajes da estrutura



Fonte: Dos autores, 2019

No gráfico acima, nota-se uma grande vantagem da laje treliçada: não necessitar de forma para a execução, pois ela própria adequa-se como forma, agilizando a execução e montagem.

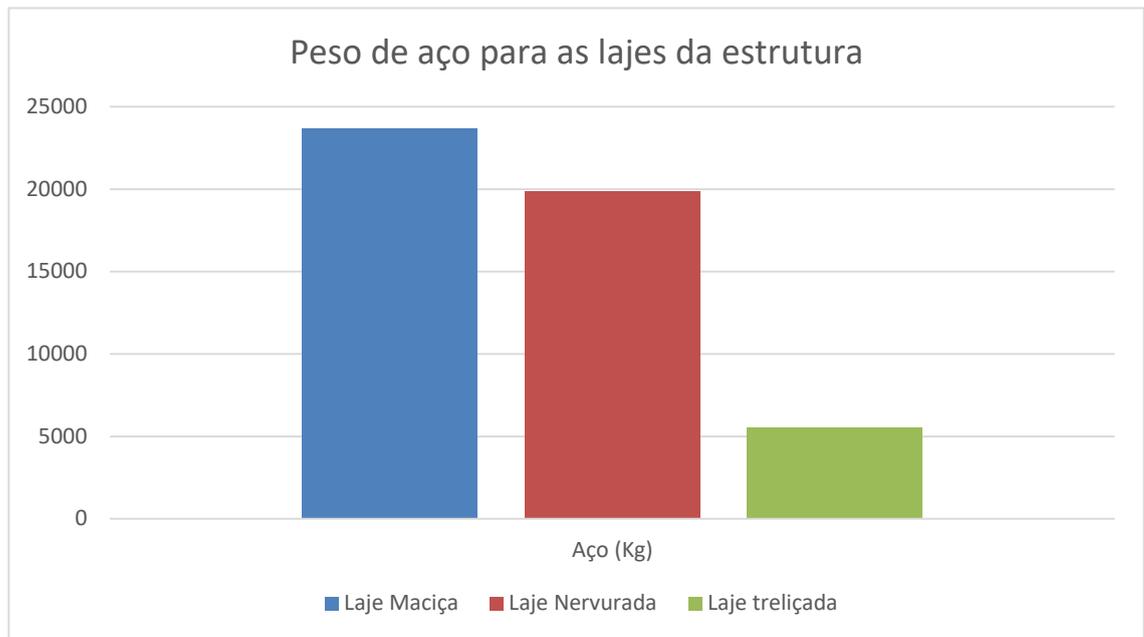
Gráfico 9 - Volume de concreto para as lajes da estrutura



Fonte: Dos autores, 2019

Nota-se o maior consumo de concreto para as lajes maciças, em comparação às outras.

Gráfico 10 - - Peso de aço para as lajes da estrutura



Fonte: Dos autores, 2019

A laje treliçada foi a que requisitou menor quantidade e peso de aço para sua composição.

4.2 CARGAS TOTAIS E DESLOCAMENTOS RESULTANTES DAS ESTRUTURAS

4.2.1 Lajes Treliçadas

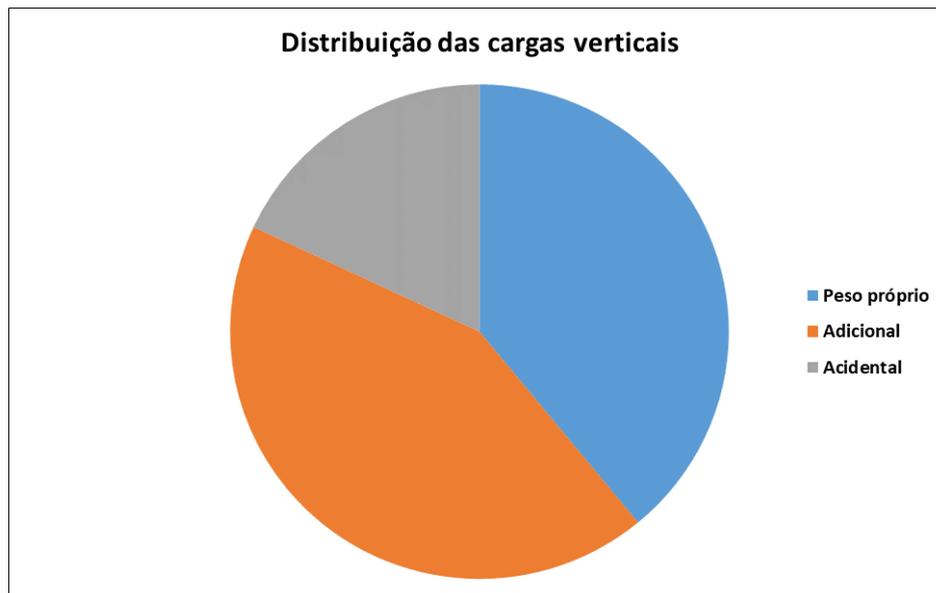
Para a laje treliçada, obtiveram-se os seguintes resultados para as cargas verticais e deslocamentos (Quadro 10, Gráfico 11 e Quadro 11). Estes gerados e calculados com o auxílio do software Eberick.

Quadro 10 - Distribuição das cargas verticais em lajes treliçadas

Ação	Carregamentos (tf)	Percentual (%)
Peso próprio	746,70	39,0%
Adicional	821,22	42,9%
Acidental	345,21	18,0%
TOTAL	1.913,13	100,0%

Fonte: Dos autores, 2019

Gráfico 11 - Gráfico de distribuição das cargas verticais para lajes treliçadas



Fonte: Dos autores, 2019

Quadro 11 - Estabilidade global e deslocamentos para lajes treliçadas

Parâmetro	x	y
Gama-Z	1.18 (lim 1.10)	1.28 (lim 1.10)
Deslocamento horizontal (cm)	0.26 (lim 1.02)	1.50 (lim 1.02)
Deslocamento máximo dos pilares (cm)*	0,39	2,18
Deslocamento médio dos pilares (cm)*	0,38	2,12
Deslocamento máximo dos pilares* / Htotal	1/4447	1/791
Deslocamento médio dos pilares* / Htotal	1/4541	1/817

Fonte: Dos autores, 2019

4.2.2 Lajes Nervuradas

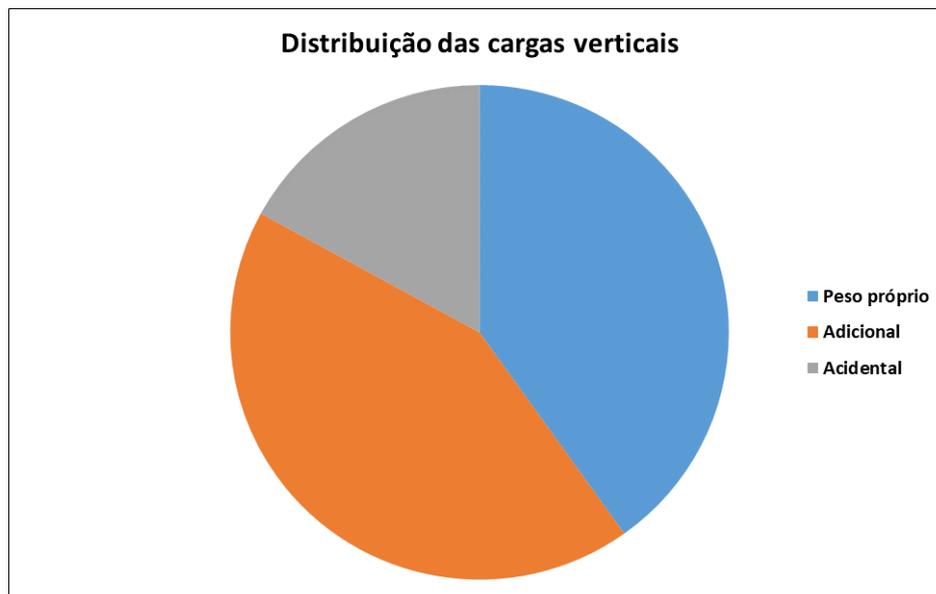
Com o auxílio do software Eberick, calculou-se os seguintes resultados para cargas verticais e deslocamentos para as lajes nervuradas da estrutura (Quadro 12, Gráfico 12 e Quadro 13):

Quadro 12 - Distribuição das cargas verticais para lajes nervuradas

Ação	Carregamentos (tf)	Percentual (%)
Peso próprio	813,97	40,1%
Adicional	869,03	42,8%
Acidental	345,21	17,0%
TOTAL	2.028,21	100,0%

Fonte: Dos autores, 2019

Gráfico 12 - Gráfico de distribuição das cargas verticais para lajes nervuradas



Fonte: Dos autores, 2019

Quadro 13 - Estabilidade global e deslocamentos para lajes nervuradas

Parâmetro	x	y
Gama-Z	1.18 (lim 1.10)	1.32 (lim 1.10)
Deslocamento horizontal (cm)	0.25 (lim 1.02)	1.51 (lim 1.02)
Deslocamento máximo dos pilares (cm)*	0,40	2,09
Deslocamento médio dos pilares (cm)*	0,39	2,08
Deslocamento máximo dos pilares* / Htotal	1/4291	1/826
Deslocamento médio dos pilares* / Htotal	1/4463	1/832

Fonte: Dos autores, 2019

4.2.3 Lajes Maciças

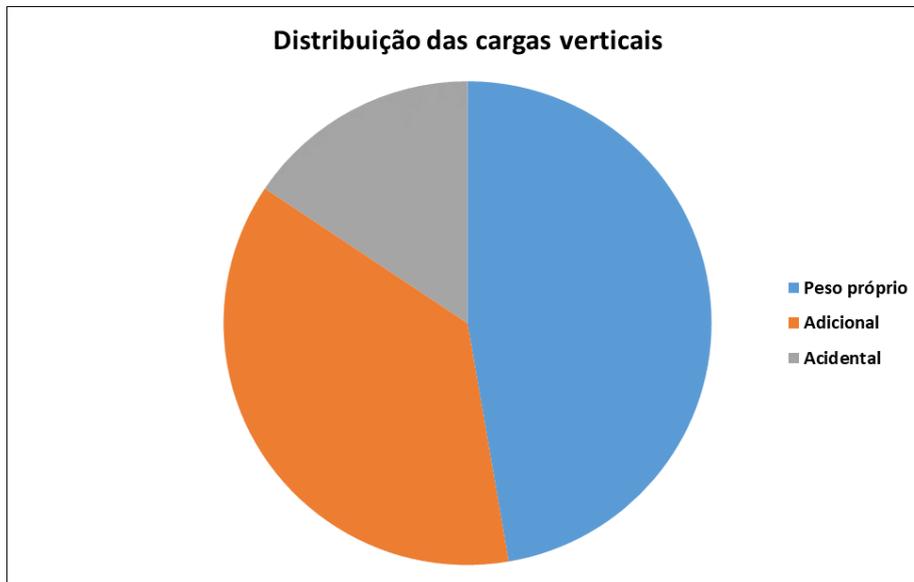
Para as lajes maciças, foram calculadas com o auxílio do software Eberick os seguintes deslocamentos e cargas (Quadro 14, Gráfico 13 e Quadro 15):

Quadro 14 - Distribuição das cargas verticais nas Lajes Maciças

Ação	Carregamentos (tf)	Percentual (%)
Peso próprio	1.046,90	47,3%
Adicional	821,26	37,1%
Acidental	345,21	15,6%
TOTAL	2.213,37	100,0%

Fonte: Dos autores, 2019

Gráfico 13 - Gráfico de distribuição das cargas verticais para Lajes Maciças



Fonte: Dos autores, 2019

Quadro 15 - Estabilidade global e deslocamentos nas Lajes Maciças

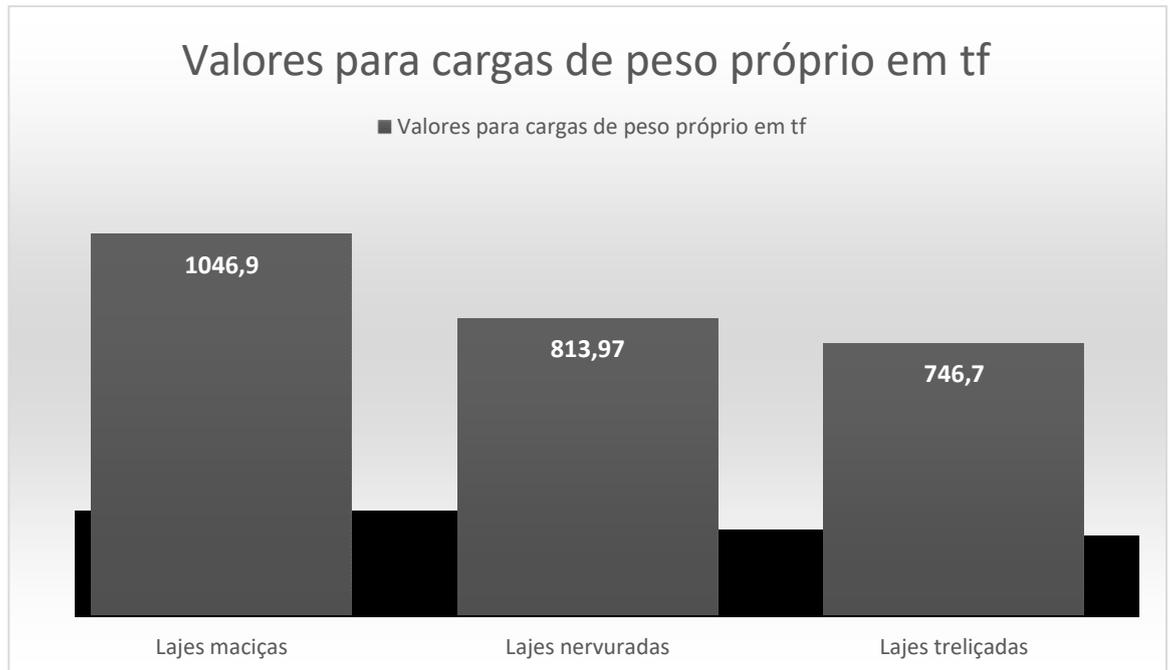
Parâmetro	x	y
Gama-Z	1.20 (lim 1.10)	1.35 (lim 1.10)
Deslocamento horizontal (cm)	0.27 (lim 1.02)	1.54 (lim 1.02)
Deslocamento máximo dos pilares (cm)*	0,43	2,24
Deslocamento médio dos pilares (cm)*	0,41	2,19
Deslocamento máximo dos pilares* / Htotal	1/4062	1/772
Deslocamento médio dos pilares* / Htotal	1/4165	1/788

Fonte: Dos autores, 2019

4.2.4 Comparativo das cargas verticais

Como pode-se notar no Gráfico 14, a estrutura composta por lajes maciças foram as que apresentaram um maior peso próprio de estrutura em comparação com os outros tipos. As estruturas de lajes treliçadas se mostraram as mais leves dentre as três opções.

Gráfico 14 - Gráfico comparativo de peso próprio das estruturas



Fonte: Dos autores, 2019

A laje maciça neste comparativo apresentou o maior peso próprio, acarretando em um aumento do custo principalmente das fundações. As lajes treliçadas e nervuradas tem um peso próprio menor pois contam com enchimento de EPS. Tornando-se mais atrativas nesse ponto.

4.3 ESTIMATIVAS DE CUSTOS

Para os lançamentos estruturais realizados, o próprio software fornece um orçamento baseado em valores próximos aos vistos no mercado da região da grande Florianópolis. Apenas foi realizada uma alteração no valor das lajes pré-fabricadas treliçadas para uma melhor adequação à realidade local. Desta forma, obtiveram-se os respectivos valores parciais e totais para as estruturas:

4.3.1 Custos com Lajes Treliçadas

Seguem no Quadro 16, os custos parciais por pavimento e por elementos e ao final, o custo total da estrutura composta por lajes treliçadas:

Quadro 16 - Custos da estrutura composta por Lajes Trelaçadas

Pavimento	Elemento	Aço	Concreto	Forma	Laje pré-fabricada	Bloco de enchimento	Total
Této Pav 04	Vigas	8.051,14	4.349,92	21.177,08	0,00	0,00	33.578,14
	Vigas PM	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Pilares	4.605,77	2.400,63	13.691,73	0,00	0,00	20.698,13
	Pilares PM	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Lajes	7.284,81	9.337,46	0,00	26.399,62	10.451,20	53.473,09
	Escadas	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Fundações	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Reservatórios	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Muros	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Total	19.941,72	16.088,01	34.868,81	26.399,62	10.451,20	107.749,36
Této Pav 03	Vigas	10.465,64	4.509,30	21.769,04	0,00	0,00	36.743,98
	Vigas PM	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Pilares	4.933,44	2.400,63	13.691,73	0,00	0,00	21.025,80
	Pilares PM	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Lajes	8.079,33	11.399,97	0,00	25.630,04	13.970,57	59.079,91
	Escadas	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Fundações	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Reservatórios	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Muros	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Total	23.478,41	18.309,90	35.460,77	25.630,04	13.970,57	116.849,69
Této Pav 02	Vigas	11.278,75	4.681,88	22.286,48	0,00	0,00	38.247,11
	Vigas PM	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Pilares	6.002,47	2.417,60	13.714,25	0,00	0,00	22.134,32
	Pilares PM	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Lajes	7.467,62	11.399,48	107,68	25.597,54	13.943,13	58.515,45
	Escadas	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Fundações	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Reservatórios	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Muros	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Total	24.748,84	18.498,96	36.108,41	25.597,54	13.943,13	118.896,88

Této Pav 01	Vigas	11.341,07	4.659,38	22.417,95	0,00	0,00	38.418,40
	Vigas PM	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Pilares	8.092,71	2.460,57	13.781,81	0,00	0,00	24.335,09
	Pilares PM	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Lajes	8.090,30	11.409,44	107,68	25.616,00	13.943,13	59.166,55
	Escadas	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Fundações	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Reservatórios	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Muros	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Total	27.524,08	18.529,39	36.307,44	25.616,00	13.943,13	121.920,04
Této Garagem	Vigas	11.930,90	4.440,16	20.936,85	0,00	0,00	37.307,91
	Vigas PM	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Pilares	10.602,57	2.632,44	14.082,07	0,00	0,00	27.317,08
	Pilares PM	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Lajes	7.732,28	11.375,20	0,00	25.580,90	13.970,57	58.658,95
	Escadas	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Fundações	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Reservatórios	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Muros	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Total	30.265,75	18.447,80	35.018,92	25.580,90	13.970,57	123.283,94
Baldrame	Vigas	14.713,02	6.002,93	27.750,90	0,00	0,00	48.466,85
	Vigas PM	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Pilares	6.880,82	1.442,33	7.447,79	0,00	0,00	15.770,94
	Pilares PM	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Lajes	5.386,58	10.460,58	0,00	25.580,90	10.884,69	52.312,75
	Escadas	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Fundações	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Reservatórios	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Muros	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Total	26.980,42	17.905,84	35.198,69	25.580,90	10.884,69	116.550,54
Custo total do projeto							705.250,44

Fonte: Dos autores, 2019

4.3.2 Custos com Lajes Nervuradas

No Quadro 17, estão apresentados os custos parciais por pavimento e por elementos e ao final, o custo total da estrutura composta por lajes treliçadas:

Quadro 17 - Custos da estrutura composta por Lajes Nervuradas

Pavimento	Elemento	Aço	Concreto	Forma	Bloco de enchimento	Total
Této Pav 04	Vigas	9.102,95	4.016,38	20.520,85	0,00	33.640,18
	Vigas PM	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Pilares	4.193,39	2.322,94	13.639,19	0,00	20.155,52
	Pilares PM	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Lajes	22.526,34	14.244,18	44.026,36	7.432,38	88.229,26
	Escadas	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Fundações	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Reservatórios	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Muros	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Total	35.822,68	20.583,50	78.186,40	7.432,38	142.024,96
Této Pav 03	Vigas	9.853,94	4.241,79	20.965,40	0,00	35.061,13
	Vigas PM	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Pilares	4.339,42	2.322,94	13.639,19	0,00	20.301,55
	Pilares PM	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Lajes	27.807,88	13.217,09	40.851,79	6.829,50	88.706,26
	Escadas	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Fundações	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Reservatórios	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Muros	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Total	42.001,24	19.781,82	75.456,38	6.829,50	144.068,94
Této Pav 02	Vigas	11.657,24	5.837,14	27.661,23	0,00	45.155,61
	Vigas PM	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Pilares	5.557,16	2.339,57	13.661,71	0,00	21.558,44
	Pilares PM	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Lajes	28.358,17	12.300,09	40.830,20	5.698,50	87.186,96
	Escadas	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Fundações	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Reservatórios	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Muros	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Total	45.572,57	20.476,80	82.153,14	5.698,50	153.901,01
Této Pav 01	Vigas	11.841,47	5.703,14	27.457,52	0,00	45.002,13
	Vigas PM	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Pilares	8.445,63	2.395,01	13.751,78	0,00	24.592,42
	Pilares PM	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Lajes	28.994,39	12.132,91	40.872,18	5.698,50	87.697,98
	Escadas	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Fundações	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Reservatórios	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Muros	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Total	49.281,49	20.231,06	82.081,48	5.698,50	157.292,53

Této Garagem	Vigas	11.760,25	4.496,53	22.047,49	0,00	38.304,27
	Vigas PM	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Pilares	10.262,22	2.555,78	14.037,03	0,00	26.855,03
	Pilares PM	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Lajes	29.466,05	12.284,37	40.888,13	5.848,26	88.486,81
	Escadas	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Fundações	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Reservatórios	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Muros	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Total	51.488,52	19.336,68	76.972,65	5.848,26	153.646,11
Baldrame	Vigas	13.818,37	5.571,73	26.144,70	0,00	45.534,80
	Vigas PM	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Pilares	6.720,66	1.419,49	7.455,61	0,00	15.595,76
	Pilares PM	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Lajes	20.540,97	13.549,13	40.102,26	9.815,64	84.008,00
	Escadas	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Fundações	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Reservatórios	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Muros	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Total	41.080,00	20.540,35	73.702,57	9.815,64	145.138,56
Custo total do projeto						896.072,11

Fonte: Dos autores, 2019

4.3.3 Custos com Lajes Maciças

No Quadro 18, estão descritos os custos parciais por pavimento e por elementos e ao final, o custo total da estrutura composta por lajes maciças:

Quadro 18 - Custos da estrutura composta por Lajes Maciças

Pavimento	Elemento	Aço	Concreto	Forma	Total
Této Pav 04	Vigas	9.108,71	4.349,92	21.177,08	34.635,71
	Vigas PM	0,00	0,00	0,00	0,00
	Pilares	4.546,02	2.378,02	13.616,67	20.540,71
	Pilares PM	0,00	0,00	0,00	0,00
	Lajes	25.842,57	14.651,39	43.958,28	84.452,24
	Escadas	0,00	0,00	0,00	0,00
	Fundações	0,00	0,00	0,00	0,00
	Reservatórios	0,00	0,00	0,00	0,00
	Muros	0,00	0,00	0,00	0,00
	Total	39.497,30	21.379,33	78.752,03	139.628,66
Této Pav 03	Vigas	10.647,49	4.509,30	21.769,04	36.925,83
	Vigas PM	0,00	0,00	0,00	0,00
	Pilares	5.101,72	2.378,02	13.616,67	21.096,41
	Pilares PM	0,00	0,00	0,00	0,00
	Lajes	30.959,38	20.441,51	40.886,84	92.287,73
	Escadas	0,00	0,00	0,00	0,00
	Fundações	0,00	0,00	0,00	0,00
	Reservatórios	0,00	0,00	0,00	0,00
	Muros	0,00	0,00	0,00	0,00
	Total	46.708,59	27.328,83	76.272,55	150.309,97
Této Pav 02	Vigas	11.278,38	4.609,04	21.917,93	37.805,35
	Vigas PM	0,00	0,00	0,00	0,00
	Pilares	6.659,99	2.394,98	13.639,19	22.694,16
	Pilares PM	0,00	0,00	0,00	0,00
	Lajes	31.271,27	20.427,25	40.858,32	92.556,84
	Escadas	0,00	0,00	0,00	0,00
	Fundações	0,00	0,00	0,00	0,00
	Reservatórios	0,00	0,00	0,00	0,00
	Muros	0,00	0,00	0,00	0,00
	Total	49.209,64	27.431,27	76.415,44	153.056,35
Této Pav 01	Vigas	11.826,55	4.501,76	21.731,27	38.059,58
	Vigas PM	0,00	0,00	0,00	0,00
	Pilares	9.815,80	2.451,52	13.729,26	25.996,58
	Pilares PM	0,00	0,00	0,00	0,00
	Lajes	31.532,31	20.441,58	40.886,99	92.860,88
	Escadas	0,00	0,00	0,00	0,00
	Fundações	0,00	0,00	0,00	0,00
	Reservatórios	0,00	0,00	0,00	0,00
	Muros	0,00	0,00	0,00	0,00
	Total	53.174,66	27.394,86	76.347,52	156.917,04

Této Garagem	Vigas	12.722,59	4.586,21	22.050,33	39.359,13
	Vigas PM	0,00	0,00	0,00	0,00
	Pilares	11.893,36	2.642,62	14.059,55	28.595,53
	Pilares PM	0,00	0,00	0,00	0,00
	Lajes	31.517,24	20.441,93	40.887,67	92.846,84
	Escadas	0,00	0,00	0,00	0,00
	Fundações	0,00	0,00	0,00	0,00
	Reservatórios	0,00	0,00	0,00	0,00
	Muros	0,00	0,00	0,00	0,00
	Total	56.133,19	27.670,76	76.997,55	160.801,50
Baldrame	Vigas	14.898,58	5.871,96	27.181,17	47.951,71
	Vigas PM	0,00	0,00	0,00	0,00
	Pilares	7.917,10	1.459,41	7.455,61	16.832,12
	Pilares PM	0,00	0,00	0,00	0,00
	Lajes	23.948,87	20.066,36	40.136,48	84.151,71
	Escadas	0,00	0,00	0,00	0,00
	Fundações	0,00	0,00	0,00	0,00
	Reservatórios	0,00	0,00	0,00	0,00
	Muros	0,00	0,00	0,00	0,00
	Total	46.764,55	27.397,73	74.773,26	148.935,54
Custo total do projeto					909.649,06

Fonte: Dos autores, 2019

4.3.4 Comparativo de Custos

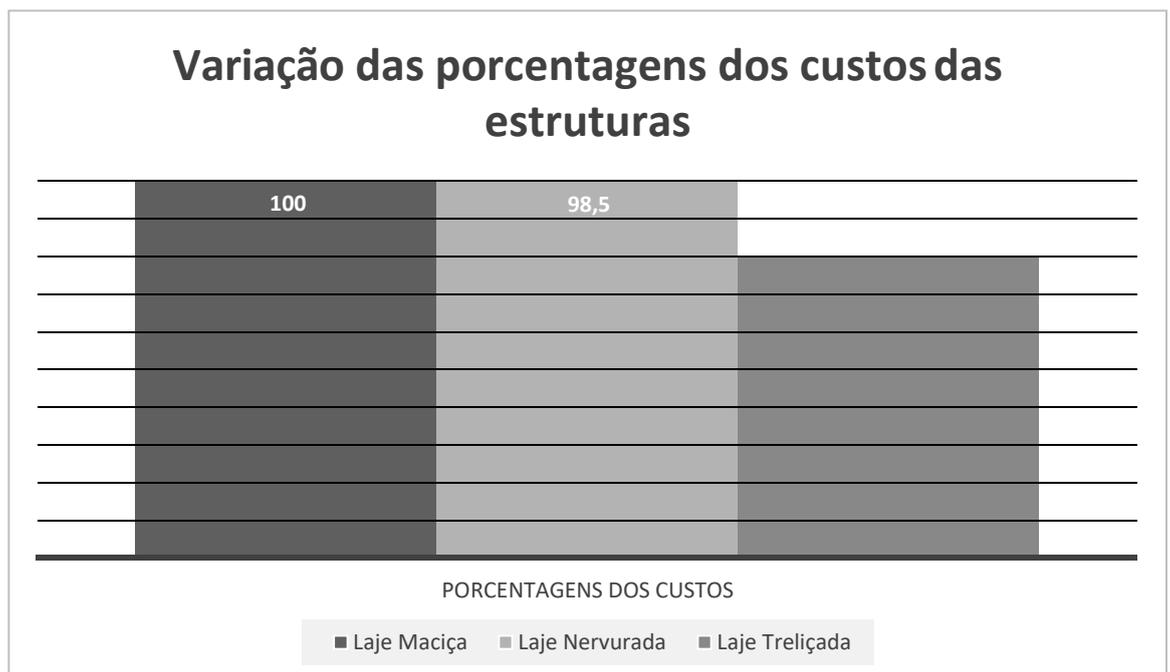
Como observado no Gráfico 15, a estrutura que obteve um maior custo para sua estrutura foi a constituída de lajes maciças, custando aproximadamente 909.649,06 reais. Em seguida, tem-se a formada por lajes nervuradas, cerca de 1,5% mais barata. E por fim, a estrutura mais barata foi a constituída de lajes pré-moldadas treliçadas, cerca de 22,3% mais barata que a primeira.

Gráfico 15 - Comparativo de preços das estruturas



Fonte: Dos autores, 2019

Gráfico 16 - Variação das porcentagens dos custos da estrutura



Fonte: Dos autores, 2019

No Gráfico 16 torna-se mais fácil a visualização da diferença de custo das 3 estruturas. Onde comparamos a estrutura de laje maciça (100%) com as demais e vemos a variação de 2,5% na estrutura com laje nervurada e a maior diferença na estrutura com laje treliçada: 22,3%.

5 CONCLUSÃO

Como é apresentado, o atual mercado da construção oferece uma vasta variedade de produtos, serviços e métodos construtivos, com destaque neste trabalho para as lajes pré-fabricadas treliçadas, as lajes nervuradas e as lajes maciças.

Pela análise dos resultados obtidos neste, percebe-se a vantagem do uso das lajes constituídas por vigotas treliçadas, tanto pela questão quantitativa de materiais a serem empregados, quanto ao peso próprio da estrutura em si, e refletindo diretamente no custo final total da estrutura, como pôde ser observado nos gráficos apresentados neste. A vantagem econômica é a mais significativa na hora da escolha.

Obteve-se um custo aproximadamente 22% mais barato para as lajes treliçadas em comparação às maciças. Isto se deve principalmente a menor quantidade de área de forma necessária para sua execução e ao considerável inferior peso de aço empregado na mesma. Considerando isso e aliando ao menor peso próprio do sistema, também haverá redução dos custos nas fundações da estrutura.

Porém, há de se destacar que não é sempre que as lajes treliçadas serão mais aconselháveis. Se houverem vãos ainda maiores, por exemplo, estas provavelmente não atenderão aos estados limites, sendo recomendável o uso de lajes nervuradas.

Se a estrutura necessitar de um porte mais robusto para suportar cargas mais elevadas, ou necessitarem de uma maior estabilidade e rigidez, aconselha-se o uso e dimensionamento para lajes maciças.

Importante ressaltar que o custo não é o único fator que deve ser observado no momento da escolha, deve-se analisar o todo. Isso é muito recorrente na hora da entrevista com o cliente, que na maioria das vezes sem conhecimento técnico, optará pela opção mais vantajosa e viável financeiramente.

Conclui-se que cabe ao profissional de Engenharia observar e estar sempre atento à todas as variáveis inclusas desde o processo de concepção até a entrega do produto final, orientando o cliente para a visualização e entendimento do todo, e sempre que possível permitindo o emprego de novos métodos e tecnologias que venham a agregar, qualificar e engrandecer o meio da construção civil brasileira.

5.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Realizar análises comparativas envolvendo outros tipos de lajes, como as protendidas;
- Realizar análises comparativas utilizando estruturas com vão ainda maiores;
- Realizar análises comparativas quanto ao impacto destes sistemas no dimensionamento das fundações da estrutura.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, A.T. **Análise de alternativas estruturais para edifícios em concreto armado**. 1999.100f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 1999.
- ALTOQI. **Solução para seus projetos estruturais**. Brasil, [2019]. Disponível em: <https://www.altoqi.com.br/eberick/regimento.aspx>. Acesso em 12 abr. 2019
- AM LOCAÇÕES. **Onde encontro escoramento de laje maciça**. Jundiaí, [2019]. Disponível em: <http://www.alugotuboequipamento.com.br/escoramento-para-laje/escoramento-para-laje-macica/onde-encontro-escoramento-de-laje-macica-guarulhos-regimento.aspx>. Acesso em 07 jun. 2019
- ARAÚJO, José Milton de. **Curso de Concreto Armado – Volume 2**. Rio Grande: Dunas, 2003. v.2, 2.ed
- ARAÚJO, José Milton de. **Curso de Concreto Armado – Volume 4**. Rio Grande: Dunas, 2003. v.4, 2. ed.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: projeto de estruturas de concreto: procedimento. Rio de Janeiro, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120**: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro, 1980.
- AXION CONSTRUÇÕES. **Tipos de lajes pré-fabricadas**. Brasil, [2012]. Disponível em: <https://axionconstrucoes.wordpress.com/2012/08/21/tipos-de-lajes-pre-fabricadas/regimento.aspx>. Acesso em 21 abr. 2019
- BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. **Lajes de concreto**. São Paulo: Bauru, 2005, disponível em: <http://www.feb.unesp.br/pbastos/concreto1/Lajes.pdf>
- BAZZO, Walter Antonio; PEREIRA, Luiz Teixeira do Vale. **Introdução à Engenharia**. Florianópolis: Ed. da UFSC, 2002. v. 1, 6. ed.
- BOTELHO, Manoel Henrique Campos; MARCHETTI, Osvaldemar. **Concreto Armado Eu Te Amo – Volume II**. São Paulo: Edgard Blücher, 2004. v.2.
- DECORANDO CASAS. **Lajes maciças vantagens e desvantagens**. Brasil, [2018]. Disponível em: <http://decorandocasas.com.br/2018/08/08/laje-macica-vantagens-e-desvantagens/regimento.aspx>. Acesso em 23 mai. 2019
- FRANCA, A.B.M.; FUSCO, P.B. **As lajes nervuradas na moderna construção de edifícios**, São Paulo, AFALA & ABRAPEX, 1997.

FERNANDES, Júlio. **Casa Rua das Camélias**. Brasil, [2013]. Disponível em: <http://casaruadascamelias.blogspot.com/2012/09/concretagem-da-laje-coberturaficou-um.html> regimento.aspx. Acesso em 07 jun. 2019

GIONGO, J. S. **Concreto armado: projeto estrutural de edifícios**. Apostila, São Carlos, Escola de Engenharia de São Carlos – USP, Departamento de Engenharia de Estruturas, 2007.

ISORECORT. **Lajotas ou Blocos de EPS para lajes**. São Paulo, [2017]. Disponível em: <http://www.isorecort.com.br/produtos/lajotas-ou-blocos-de-eps-para-lajes/> regimento.aspx. Acesso em 21 abr. 2019

LAJES FAULIM (1998). Manual.

MASCARÓ, J.L. O custo das decisões arquitetônicas. São Paulo, Nobel, 1985.

PEREIRA, Caio. **O que é Concreto Armado?**. Escola Engenharia, 2015. Disponível em: <https://www.escolaengenharia.com.br/concreto-armado/> regimento.aspx. Acesso em: 11 de abril de 2019.

PEREIRA, Caio. **Laje Nervurada: O que é, vantagens e desvantagens**. Escola Engenharia, 2018. Disponível em: <https://www.escolaengenharia.com.br/laje-nervurada/> regimento.aspx. Acesso em: 15 de maio de 2019.

PINHEIRO, Libânio M.; MUZARDO, Cassiane D.; SANTOS, Sandro P. Lajes Maciças – Capítulo 11, 2010.

PINHEIRO, Libânio M.; Razente, Julio A. Estruturas de Concreto – Capítulo 17, 2003

PLANO CONCRETO. **Lajes treliçadas**. Arroio do Meio – RS, [2019]. Disponível em: <http://www.planoconcreto.com.br/site/produtos/lajes-trelicadas/> regimento.aspx. Acesso em 05 jun. 2019

ROTOMIX. **Forma para laje nervurada – Saiba mais sobre o processo construtivo**. Brasil, [2013]. Disponível em: <https://www.rotomixbrasil.com.br/forma-para-laje-nervurada-saiba-mais-sobre-o-processo-construtivo/> regimento.aspx. Acesso em 21 abr. 2019

SALEMA. **Blocos para laje**. Paraíba, [2019]. Disponível em: <http://www.ceramicasalema.com.br/blocos-para-laje/> regimento.aspx. Acesso em 21 abr. 2019

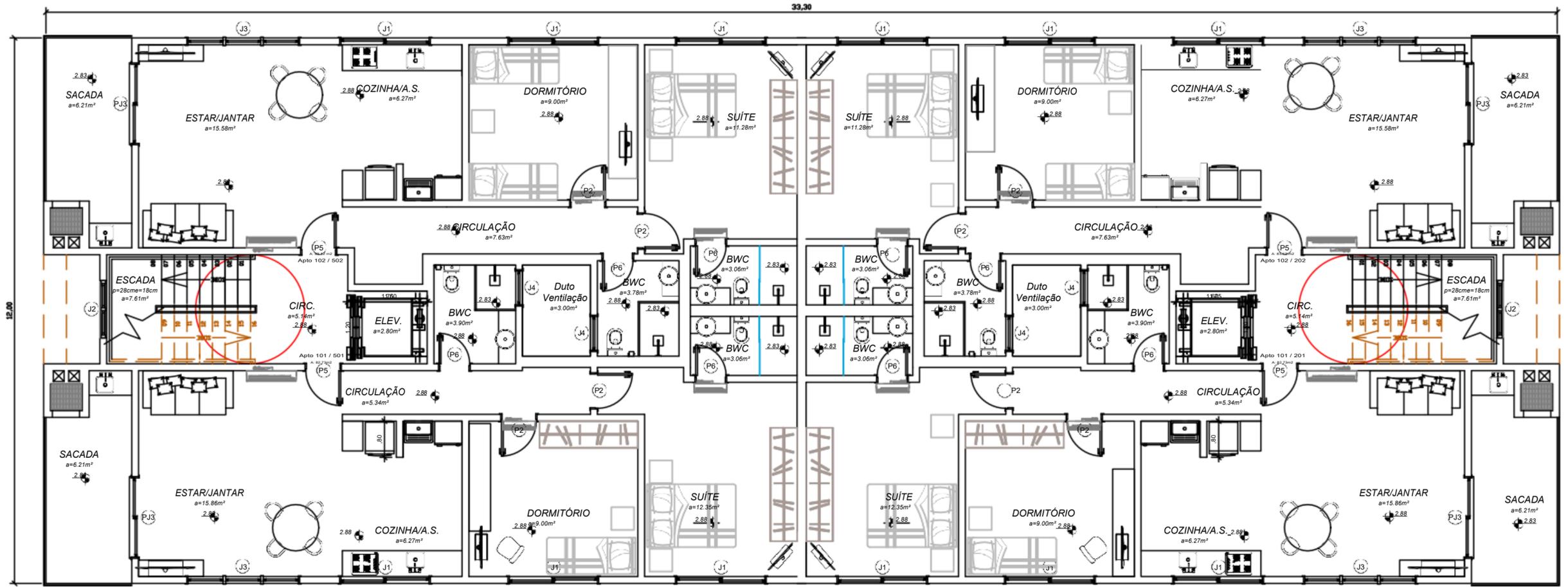
SILVANO, Mariane Raichaski; VARGAS, Alexandre; ALLEM, Patrícia. et al. **Análise do desempenho acústico de ruído de impacto em diferentes tipologias de lajes**. Criciúma, 2016. Disponível em: <http://repositorio.unesc.net/bitstream/1/4249/1/Mariane%20Raichaski%20Silvano.pdf>

SPOHR, V. H. Análise comparativa: sistemas estruturais convencionais e estruturas de lajes nervuradas. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós – Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

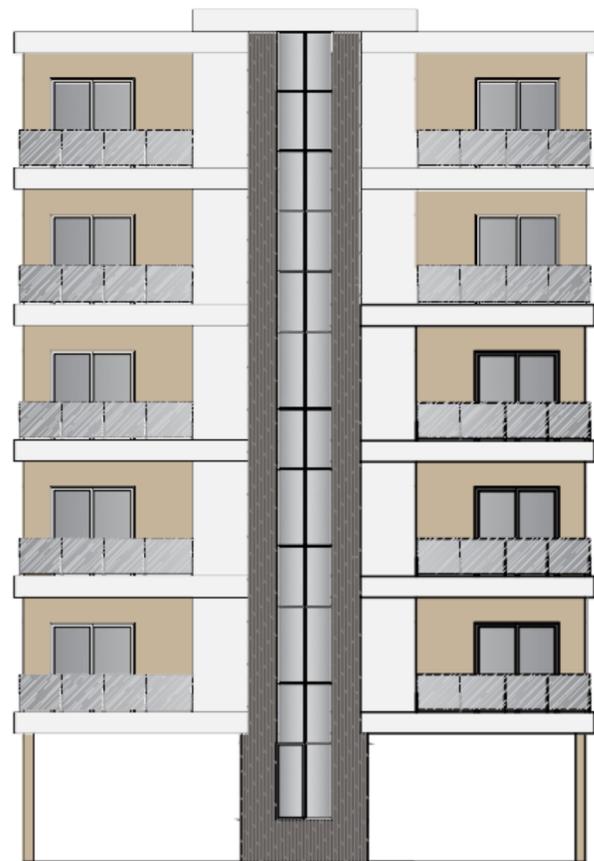
VASCONCELLOS, J. C. Concreto Armado, Arquitetura Moderna, Escola Carioca – Levantamento e Notas. 2004.313f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Universidade de Estado do Rio de Janeiro, Porto Alegre, 2004.

ANEXOS

ANEXO A – PLANTA BAIXA DO PAVIMENTO TIPO



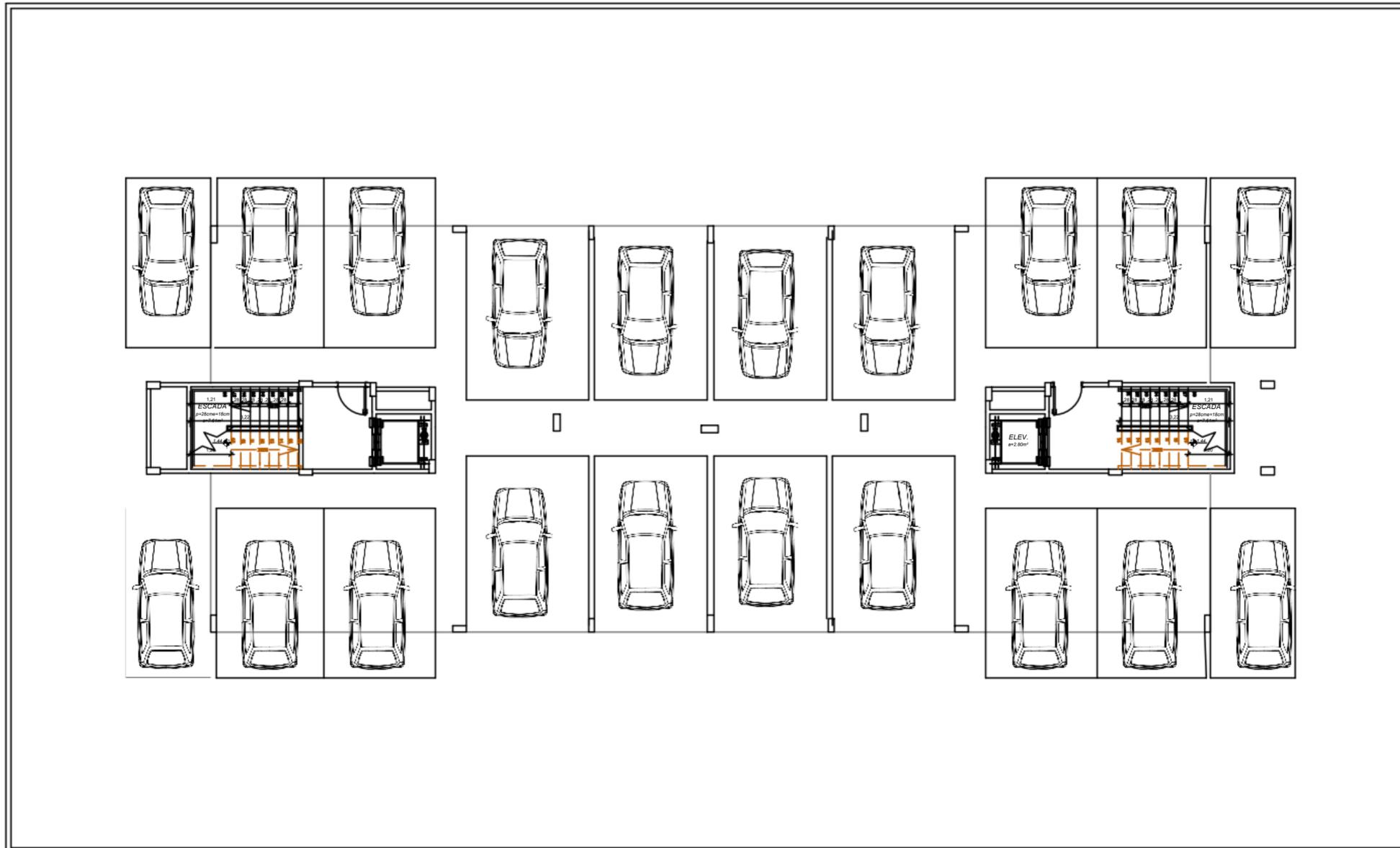
Planta Baixa Ap. tipo
Escala 1:50



Elevação Frontal
Escala 1:75

	Trabalho de Conclusão de Curso
	OBRA: EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL MULTIFAMILIAR
	PROJETO: PROJETO ARQUITETÔNICO <small>Edificação Residencial Multifamiliar</small>
TÍTULO: PLANTA BAIXA APARTAMENTO TIPO 5X	
ESCALA: 1:50	02/02

ANEXO B – PLANTA BAIXA TÉRREO



	Trabalho de Conclusão de Curso
	<small>OBRA:</small> EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL MULTIFAMILIAR
	<small>PROJETO:</small> PROJETO ARQUITETÔNICO <small>Edificação Residencial Multifamiliar</small>
<small>CONTEÚDO:</small> PLANTA BAIXA GARAGEM	
<small>ESCALA:</small> 1:75	<small>FRANQUIA:</small> 01/02