



UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
CAMPUS DE PALMAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

MARCO AURÉLIO FACCIO MORAES

**ESTUDO COMPARATIVO DE CUSTOS ENTRE TRÊS TIPOS DE LAJES
(MACIÇA, VIGOTA TRELIÇADA E NERVURADA COM CUBETAS PLÁSTICAS)
DA NOVA REITORIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS (UFT)**

Palmas (TO)
2020

MARCO AURÉLIO FACCIO MORAES

**ESTUDO COMPARATIVO DE CUSTOS DE TRÊS TIPOS DE LAJES (MACIÇA, VIGOTA
TRELIÇADA E NERVURADA COM CUBETAS PLÁSTICAS) DA NOVA REITORIA DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS (UFT)**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Tocantins, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, sob orientação da Profa. Dra. Orieta Soto Izquierdo.

Palmas (TO)
2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins

- M827e Moraes, Marco Aurélio Faccio.
Estudo comparativo de custos de três tipos de lajes (maciça, vigota treliçada e nervurada com cubetas plásticas) da nova Reitoria da Universidade Federal do Tocantins (UFT). / Marco Aurélio Faccio Moraes. – Palmas, TO, 2020.
95 f.
- Monografia Graduação - Universidade Federal do Tocantins – Câmpus Universitário de Palmas - Curso de Engenharia Civil, 2020.
Orientadora : Orieta Soto Izquierdo
1. Comparativo de custos. 2. Lajes. 3. Projetos estruturais. 4. Orçamentação. I. Título

CDD 624

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

MARCO AURÉLIO FACCIÓ MORAES

**ESTUDO COMPARATIVO DE CUSTOS DE TRÊS TIPOS DE LAJES (MACIÇA, VIGOTA
TRELIÇADA E NERVURADA COM CUBETAS PLÁSTICAS) DA NOVA REITORIA DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS (UFT)**

Monografia foi avaliada e apresentada à UFT –
Universidade Federal do Tocantins – Campus
Universitário de Palmas, Curso de Engenharia
Civil para a obtenção do título de Bacharel e
aprovada em sua forma final pela Orientadora e
pela Banca Examinadora.

Data de aprovação _____ / _____ / _____

Banca examinadora:



Prof. Dra. Orieta Soto Izquierdo
Matrícula: 2226645
Eng. Civil / UFT

Prof. Dra. Orieta Soto Izquierdo (Orientadora)
Universidade Federal do Tocantins



Prof. Me. Rafael Alves Amorim (Examinador)
Universidade Federal do Tocantins



Prof. Me. Daniel Iglesias de Carvalho (Examinador)
Universidade Federal do Tocantins

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, aos meus pais que me ensinaram a importância da educação para a vida e pela oportunidade e suporte que me deram para minha formação profissional.

Ao meu irmão que me ensinou a importância de sempre procurar as informações em fontes confiáveis, por ter carregado o fardo das responsabilidades enquanto morávamos fora, de sempre descobrir o novo antes de mim e me ensinar a fazê-lo sem cometer os mesmos erros e por sempre me mostrar seu ponto de vista refinado-melancólico-científico, que quase sempre foge do padrão e que me faz pensar diferente, sempre evitando o senso comum.

Agradeço aos meus amigos pelas monitorias compartilhadas e pelo apoio mútuo que nos permitiu concluir essa difícil jornada de uma maneira suave que não teria sido possível sem a galera do grupo do Estudo Amplificado.

Também gostaria de agradecer à minha orientadora, Orieta Soto Izquierdo, pelo tempo, atenção e principalmente pela agilidade nas respostas às minhas perguntas, que foram muitas, sempre muito mão firme mas cuidadosa, buscando o melhor para minha formação.

Enfim, agradeço a todos que de alguma forma contribuíram para que eu concluísse essa importante etapa da minha vida.

“Se nos limitarmos a estudar a
média, permaneceremos
meramente medianos.”

(Shawn Achor)

RESUMO

As lajes, que quase sempre são os elementos com maior volume e área de qualquer edificação, têm um grande impacto no custo final de uma estrutura. Esse trabalho é um estudo comparativo de custos entre três tipos de lajes (maciça, vigota treliçada e nervurada com cubetas plásticas) usando como referência arquitetônica a nova Reitoria da Universidade Federal do Tocantins (UFT). O trabalho avaliou os impactos no consumo de aço, forma e concreto nos custos finais de uma edificação de cinco pavimentos ao se trocar os tipos de lajes. Os projetos estruturais foram desenvolvidos com o software Eberick e a orçamentação se baseou nas tabelas do SINAPI e ORSE. Os projetos foram lançados segundo o projeto arquitetônico da Reitoria da UFT disponibilizados pela Prefeitura Universitária da UFT e pré-dimensionados baseando-se nos gráficos e tabelas de Rebello (2000). Para a realização da orçamentação foram considerados tanto o preço dos insumos quanto o serviço necessários para realiza-los. Dentre os três tipos de lajes estudadas, a laje em vigota treliçada foi a mais barata pois permitiu a maior redução de materiais e quando comparada à mais cara apresentou uma economia de 15,63%, seguido da laje maciça com uma redução de 9,88% do valor total da mais cara e por fim a laje nervurada com cubetas plásticas, que obteve o maior valor, apresentando o maior consumo de insumos para as lajes, pilares e sapatas, resultando assim em um custo de R\$1.758.461,73.

Palavras-chave: Comparativo de custos; lajes; projetos estruturais; orçamentação.

ABSTRACT

The slabs, which are almost always the elements with the largest volume and area of any building, have a great impact on the final cost of a structure. This work is a comparative study of costs between three types of slabs (massive, latticed joist and ribbed with plastic buckets) using the new Rectory of the Federal University of Tocantins (UFT) as an architectural reference. The work evaluated the impacts on the consumption of steel, form and concrete on the final costs of a five-story building when changing the types of slabs. The projects were developed with the Eberick software and the budget was based on the tables of SINAPI and ORSE. The projects were launched according to the architectural design of the Rectory of UFT made available by the UFT City Hall and pre-dimensioned based on the graphs and tables of Rebello (2000). In order to carry out the budget, both the price of the inputs and the service performed to carry them out were considered. Among the three types of slabs studied, the lattice slab was the cheapest because the greatest reduction in materials and when compared to the most expensive presented savings of 15.63%, followed by the massive slab with a reduction of 9.88% of the total value of the most expensive and finally the ribbed slab with plastic buckets, which obtained the highest value, presenting the highest consumption of inputs for the slabs, pillars and Shallow foundation, resulting in a cost of R\$ 1,758,461.73.

Keywords: Comparison of costs; slabs; structural projects; budgeting.

LISTAS DE ILUSTRAÇÕES

FIGURAS

Figura 1 – Sistema de transmissão de cargas	8
Figura 2 – Detalhamento de uma laje maciça	9
Figura 3 – Detalhamento de uma laje nervurada pré-moldada	9
Figura 4 – Detalhamento de uma laje nervurada em cubetas plásticas (Atex)	10
Figura 5 – Laje nervurada em cubetas com vigas – Biblioteca da UFT	14
Figura 6 – Armação da laje nervurada com treliça e elemento de enchimento	15
Figura 7 – Sistemas de laje em concreto armado	15
Figura 8 – Treliça pré-moldada	16
Figura 9 – Armação treliçada	17
Figura 10 – Preenchimento de laje treliçada da Reitoria	18
Figura 11 – Escoramento da laje da Reitoria	18
Figura 12 – Colocação das caixas de passagem na laje	19
Figura 13 – Detalhamento das dimensões	22
Figura 14 – Ferramenta de pesquisa OrçaFascio	25
Figura 15 – Ferramenta de pesquisa ORSE	25
Figura 16 – Nova Reitoria da UFT	30
Figura 17 – Pavimento térreo	32
Figura 18 – Pavimento tipo	33
Figura 19 – Extremidade inferior esquerda do segundo pavimento do sistema de laje treliçada	34
Figura 20 – Extremidade inferior esquerda do segundo pavimento do sistema de laje nervurada	35
Figura 21 – Características adotadas no projeto para os materiais e durabilidade ...	41
Figura 22 – Isopletas de velocidade básica do vento	41
Figura 23 – Características adotadas no projeto para a ação do vento	42
Figura 24 – Características adotadas do projeto para a carga de parede	43
Figura 25 – Valor desonerado tomado como referência	44
Figura 26 – Modelo 3D do sistema de laje maciça	47
Figura 27 – Modelo 3D do sistema de laje treliçada	50
Figura 28 – Modelo 3D do sistema de laje nervurada	54

GRÁFICOS

Gráfico 1 – Gráfico explicativo	28
Gráfico 2 – Pré-dimensionamento de vigas de concreto	36
Gráfico 3 – Pré-dimensionamento de pilares de concreto	37
Gráfico 4 – Pré-dimensionamento de laje de concreto	38
Gráfico 5 – Pré-dimensionamento de laje nervurada	39
Gráfico 6 – Custo por material mais serviço	49
Gráfico 7 – Custo por elementos	49
Gráfico 8 – Custo por material mais serviço	52
Gráfico 9 – Custo por elementos	53

Gráfico 10 – Custo por material mais serviço.....	56
Gráfico 11 – Custo por elementos.....	56
Gráfico 12 – Comparativo por elementos dos sistemas de lajes.....	58
Gráfico 13 – Comparativo de custos de material mais serviço entre cada sistema de laje.....	59
Gráfico 14 – Custo total.....	60

TABELAS

Tabela 1 – Comparativo de custos totais	59
---	----

QUADROS

Quadro 1 – Limites inferior e superior de acordo com os vãos	36
Quadro 2 – Limites inferior e superior de acordo com o número de andares.....	37
Quadro 3 – Limites inferior e superior de acordo o vão.....	38
Quadro 4 – Limites inferior e superior de acordo com os vãos	39
Quadro 5 – Classe de agressividade ambiental	40
Quadro 6 – Cobrimento nominal para cada classe de agressividade ambiental	40
Quadro 7 – Composições utilizadas para a precificação.....	45
Quadro 8 – Consumo de aço por diâmetro	47
Quadro 9 – Consumo de concreto e formas por elementos	48
Quadro 10 – Custos para o sistema de laje maciça	48
Quadro 11 – Consumo de aço por diâmetro	51
Quadro 12 – Consumo de concreto e formas por elementos	51
Quadro 13 – Custos para o sistema de laje treliçada.....	52
Quadro 14 – Consumo de aço por diâmetro	54
Quadro 15 – Consumo de concreto e formas por elementos	55
Quadro 16 – Custos para o sistema de laje nervurada	55
Quadro 17 – Comparativo de custo por elementos dos sistemas de lajes.....	57
Quadro 18 – Comparativo de custos por materiais mais serviços dos sistemas de lajes.....	57

Sumário

1 INTRODUÇÃO	3
1.1 Objetivos	6
1.1.1 Objetivo geral	6
1.1.2 Objetivos específicos	6
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	7
2.1 Laje	7
2.1.1 Histórico.....	8
2.1.2 Alguns tipos de lajes	11
2.2 Lajes estudadas nesta pesquisa	11
2.2.1 Lajes maciças.....	12
2.2.1.1 Vantagens das lajes maciças	12
2.2.1.2 Desvantagens das lajes maciças.....	13
2.2.2 Lajes nervuradas	13
2.2.2.1 Lajes nervuradas de vigotas treliçadas.....	16
2.2.2.1.1 Vantagens das lajes treliçadas	19
2.2.2.1.2 Desvantagens das lajes treliçada.....	20
2.2.2.2 Lajes lisas nervuradas	20
2.2.2.2.1 Vantagens das lajes lisas nervuradas	22
2.2.2.2.2 Desvantagens das lajes lisas	23
2.3 Tabelas de referências para orçamento de obras públicas	23
2.4 Software Eberick	26
2.5 Concepção estrutural	27
3 METODOLOGIA	30
3.1 Edifício de estudo	30
3.2 Desenvolvimento e especificações das estruturas	34
3.2.1 Pré-dimensionamento do sistema de laje maciça e nervurada	35
3.2.2 Materiais, carregamentos e dados de entrada adotados.....	39
3.3 Composições de custos	43
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	46
4.1 Sistema de laje maciça	46
4.2 Sistema de laje treliçada	50
4.3 Sistema de laje nervurada	53
4.4 Análises comparativas entre os três sistemas estruturais de lajes	57
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	61
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63
APÊNDICE A – COMPOSIÇÕES DE CUSTOS	66

APÊNDICE B – PLANTAS DE FORMA E DETALHAMENTOS DO SISTEMA DE LAJE MACIÇA.....	71
APÊNDICE C – PLANTAS DE FORMA E DETALHAMENTOS DO SISTEMA DE LAJE TRELIÇADA.....	76
APÊNDICE D – PLANTAS DE FORMA E DETALHAMENTOS DO SISTEMA DE LAJE NERVURADA	81

1 INTRODUÇÃO

Segundo o Índice de Confiança da Construção (ICST) da Fundação Getúlio Vargas, que é um indicador que representa a percepção dos empresários quanto ao cenário do mercado da construção civil, a atual situação da construção civil ainda não se recuperou em relação a janeiro de 2020 que apresentava 94,2 pontos. O ICST avançou 3,0 pontos em maio e 9,1 em junho de 2020 atingindo a marca de 77,1 pontos.

Apesar do aumento da Confiança, não é possível afirmar que o pior momento da crise deflagrada pela Covid já passou. Os impactos negativos sobre o setor da construção continuam bastante intensos, atingindo os negócios em andamento em todos os segmentos. Em maio 51% das empresas indicaram diminuição da atividade e 63% que o ambiente de negócios está fraco. A “despiora” do Indicador de Confiança refletiu expectativas menos negativas, mas que se mantiveram em patamar que ainda representa um grande pessimismo com os próximos meses (FGV IBRE, 2020, p. 1).

É nesse cenário de crise, caracterizado pelo excesso de profissionais da área e pela falta de obras, que se faz fundamental o domínio de determinada área. Pois dessa forma, com uma boa qualificação é possível promover um bom serviço e com rapidez e por consequência, ter mais chances de ser o escolhido para o trabalho. Nesse contexto, para um projetista, a excelência na concepção de um projeto estrutural é um diferencial.

O dever do engenheiro projetista é buscar, dentre várias alternativas, o melhor tipo de modelo estrutural para a edificação objeto de estudo. A correta escolha do modelo estrutural é de suma importância para o desenvolvimento de um projeto de baixo custo e com uma boa funcionalidade (CHAVES, 2003).

De acordo com Costa (1997) de 15% a 20% do valor geral de uma edificação é gasto apenas com a estrutura. Dessa forma fica mais evidente ainda o impacto que um bom projeto estrutural pode causar para a economia na construção de um edifício e a importância de um bom engenheiro projetista.

Todos os elementos de um projeto estrutural são fundamentais e projetar bem eles, promove uma redução do custo, mas dentre esses elementos, a laje é o que mais pode afetar essa redução do custo total. Segundo Nervo (2012) em um de seus estudos verificou-se que os custos das lajes, em comparação com outros elementos, como vigas e pilares, apresentaram os maiores índices de materiais em todos os sistemas estruturais propostos.

Dentre os tipos mais comuns de lajes, podem-se citar as lajes maciças, nervuradas e treliçadas, sendo que a última pode ainda ser optada para realizá-la com blocos cerâmicos ou blocos de Expanded PolyStyrene (EPS). Além desses tipos, há também as lajes Steel Deck, BubbleDeck e vigota protendia, que possuem as mesmas características de evitar concreto em zonas de tração.

Dessa forma a laje, é um dos elementos estruturais com o maior número de métodos construtivos e com grande impacto nos custos de uma obra. Ela é determinante para um bom projeto, pois, com ela, se podem promover diversas propostas de soluções. Com essa grande quantidade de alternativas, variando entre seus custos e soluções, há uma que melhor se adequa ao arquitetônico.

Para Faria (2012) as lajes maciças, que são as lajes mais tradicionais no mercado da construção civil, podem oferecer um bom rendimento quando bem adaptadas ao arquitetônico. A laje maciça, apesar de ser um sistema antigo e que não otimiza os gastos com materiais como as mais recentes, ainda podem ser uma boa opção por exigir uma mão de obra não tão especializada, reduzindo assim os custos com os serviços.

Ainda segundo Faria (2012) um dos principais aspectos da laje nervurada é o reuso dos materiais, já que as cubas podem ser utilizadas mais vezes do que as madeiras, material não necessário nesse tipo de sistema. Dessa forma esse sistema permite, além da economia na obra devido à redução de insumos, uma construção mais sustentável com menos impactos ao meio ambiente.

Conforme Droppa Junior (1999), em razão da grande união entre a armadura e o concreto moldado in loco, as lajes treliçadas são consideradas como estruturas monolíticas. Em sua essência, essas lajes têm o mesmo mecanismo estrutural de uma laje maciça, mas os elementos pré-moldados promovem rapidez e economia à obra, em função de racionalização de materiais na execução.

Além dos aspectos econômicos, os novos sistemas de lajes já vêm com a ideia de sustentabilidade embutida neles, ideia a qual passou a se ter grande enfoque nos dias atuais. Assim, cabe ao projetista avaliar e considerar as diversas condicionantes e aspectos, e dentre o leque de possibilidades de lajes, escolher a que melhor se encaixa em determinada situação.

Vale destacar que para Braskem (2015) a busca por engenheiros com responsabilidade ambiental está aumentando. Seguindo essa mesma lógica, a

construção civil também passou a priorizar as lajes nervuradas e treliçadas já que elas promovem uma diminuição de resíduos e do consumo de insumos.

Essas considerações valem tanto para as obras privadas quanto para as públicas e quando elas não são negligenciadas nas obras públicas o dinheiro público é bem utilizado promovendo assim uma boa qualidade de vida às pessoas. Assim, é fundamental se ter conhecimento de como esses recursos estão sendo aplicados, para que dessa forma se possa ter uma maior cobrança por parte da sociedade. Partindo desse princípio, esse trabalho visa promover um maior conhecimento sobre como o dinheiro público está sendo utilizado no Tocantins, mais especificamente para a obra da nova reitoria da UFT no campus de Palmas.

Levantando então, a seguinte pergunta: Para a obra da nova reitoria da UFT do Campus de Palmas, o sistema de laje treliçada, utilizado na construção da nova Reitoria da UFT em Palmas, teve o menor custo de concretagem, armação e forma do que teriam os sistemas de laje maciça e nervurada com cubetas plásticas?

O sistema de laje escolhido para a nova reitoria da Universidade Federal do Tocantins foi projetado por profissionais da área que ponderaram aspectos tanto econômicos quanto de funcionalidade. Dessa forma, este trabalho parte da hipótese de que as lajes treliçadas, utilizadas na reitoria, foram as que promoveriam o menor custo para a obra quando comparadas com os sistemas de lajes maciças ou nervurada com cubetas plásticas.

A concepção estrutural é uma etapa que tem como uma de suas características mais marcantes a possibilidade de redução de custo e tempo gasto para a elaboração de um projeto estrutural. Nessa etapa o conhecimento técnico e experiência profissional permitem que o projetista direcione as análises e comparações mais aprofundadas para um número menor de possibilidades. Com isso a concepção é mais rápida e elaborada, reduzindo custos e promovendo facilidade para a escolha do melhor tipo de laje a ser adotado em determinada situação.

É seguindo essa linha de pensamento, visando-se obter eficácia e eficiência para se realizar com segurança a concepção de um projeto estrutural que este trabalho foi realizado. Pois esse estudo de caso promoverá um aumento do acervo de exemplos das aplicações das lajes. Assim, com esse material, será possível se obter conhecimento de qual é a laje mais eficiente, em relação aos custos, para tipos de construções com características semelhantes à nova reitoria da Universidade Federal do Tocantins.

Dessa forma, espera-se que este trabalho possa ajudar os projetistas a potencializarem o uso do sistema estrutural de lajes treliçadas e de lajes nervuradas de concreto armado e ampliar o acervo de informações técnicas a seu respeito.

Além disso, este trabalho também promove uma noção de como os recursos públicos estão sendo utilizados para a construção de novas edificações, mais especificamente da nova Reitoria de Palmas. Essa análise de custos foi feita a partir dos bancos de dados utilizados pelos órgãos públicos, o SINAPI e ORSE, permitindo uma maior confiança e veracidade aos resultados.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Este trabalho tem como objetivo geral fazer um comparativo de custo entre três tipos de lajes (maciça, vigota treliçada e nervurada com cubetas plásticas) a partir de um modelo arquitetônico pré-definido utilizado na nova reitoria da Universidade Federal do Tocantins (UFT), no campus de Palmas.

1.1.2 Objetivos específicos

Esta pesquisa apresenta os seguintes objetivos específicos:

1. Realizar três projetos estruturais — lançamento e cálculo — para as lajes maciça, vigota treliçada e nervurada com cubetas plásticas;
2. Levantar os quantitativos concreto, aço e forma utilizado em cada projeto;
3. Orçar os quantitativos de cada projeto tanto para os insumos quanto para os serviços necessários para realiza-los, utilizando os bancos de dados do SINAPI e ORSE.
4. Comparar os orçamentos de cada projeto.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo contemplará conceitos e fundamentos que facilitarão o correto entendimento e desenvolvimento desse trabalho, abordando conceitos estruturais e conceitos de orçamentação. Na conceituação estrutural serão detalhadas as principais características dos três tipos de lajes objeto de estudo, além de suas vantagens e desvantagens. Quanto à orçamentação, serão explicitadas algumas das principais tabelas de referência e discriminada a tabela SINAPI – o banco de dados oficial de referência para obras públicas.

Todo esse embasamento é direcionado para o estudo de caso da nova Reitoria da UFT, cuja construção iniciou-se em maio de 2014 e foi finalizada no mês de janeiro de 2020. Nessa edificação foi utilizado predominantemente o sistema de laje treliçada, salvo na laje do elevador, que foi adotada laje maciça.

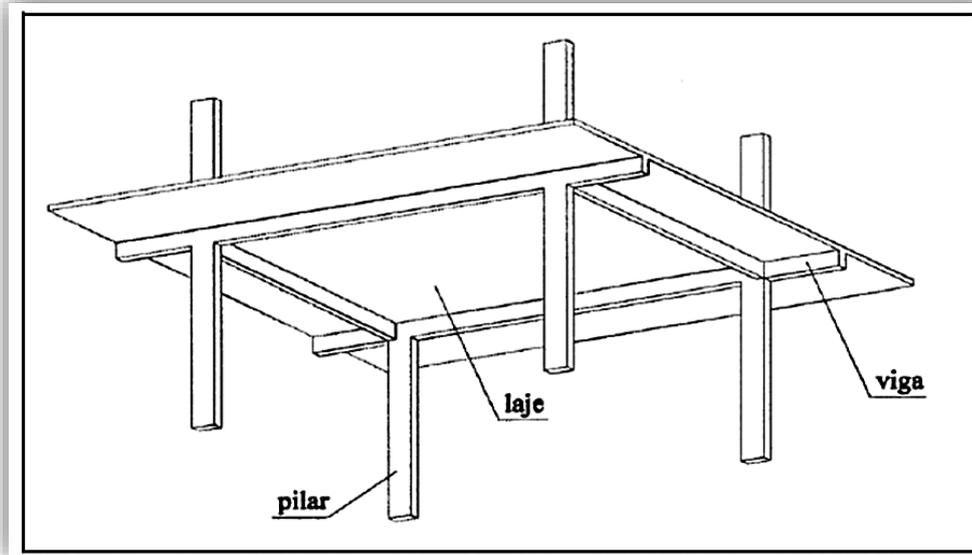
2.1 Laje

As placas de concreto são usualmente denominadas lajes. Segundo a ABNT NBR 61180:2014, no item 14.4.2.1, as placas são elementos de superfície plana, sujeitos principalmente a ações normais a seu plano. Placas com espessura maior que 1/3 do vão devem ser estudadas como placas espessas.

As lajes são componentes da estrutura bidimensionais que têm como função a de resistir aos esforços normais em seu plano principal (FUSCO, 1995). As cargas nas lajes são compostas por: peso próprio, revestimento, paredes, eventuais enchimentos e cargas acidentais (determinadas em função de sua utilização).

As forças que atuam perpendicularmente, promovem à laje um comportamento de placa e são transmitidas para os pilares, diretamente ou pelas vigas, dependendo do sistema estrutural adotado. Os pilares são os responsáveis pela condução das cargas atuantes às fundações, que por fim, transferem todo carregamento para o solo. A Figura 1 demonstra o sistema comum de transmissão de cargas de uma estrutura.

Figura 1 – Sistema de transmissão de cargas



Fonte: SILVA (2005) .

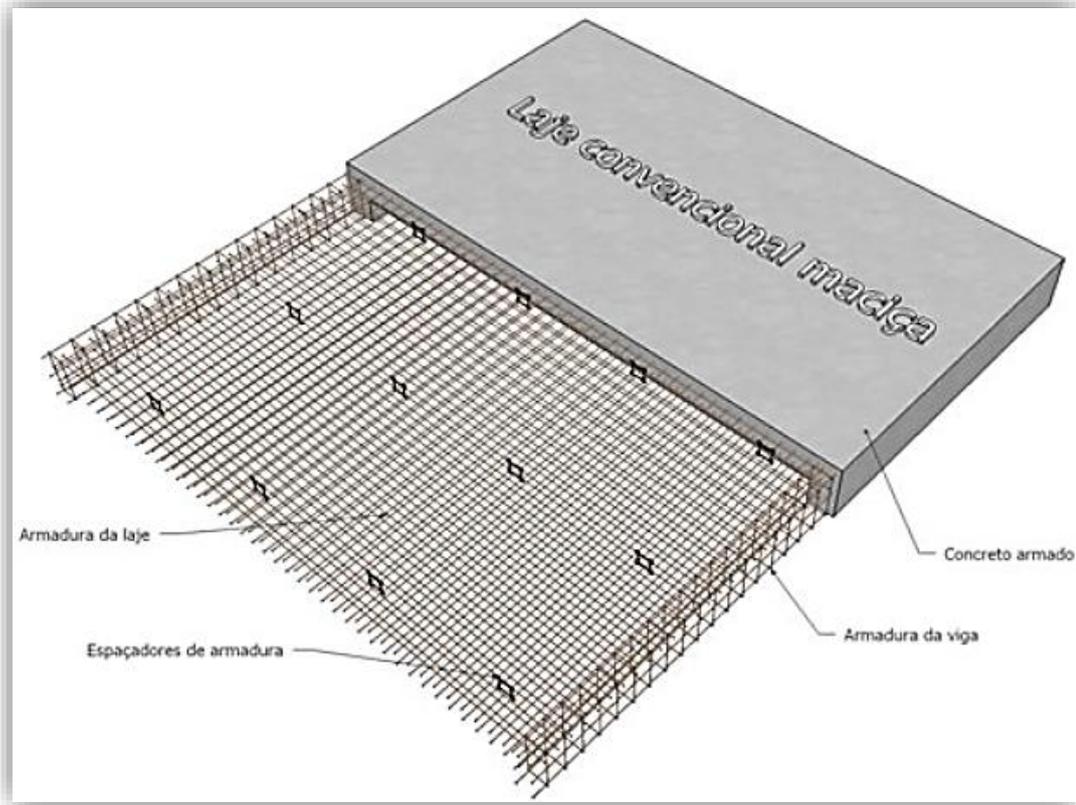
Outra importância das lajes é também desempenhar a função de diafragmas rígidos, quando cargas atuam em seu plano médio, recebendo e resistindo a uma parcela dos esforços horizontais gerados, atuando como chapa. Com isso, os pilares são travados pelas lajes contribuindo com a garantia da integridade global da estrutura (FUSCO, 1995).

2.1.1 Histórico

Nas primeiras edificações de concreto armado utilizou-se das lajes maciças (Figura 2) como sistema estrutural para os pavimentos. Nos edifícios com vários pavimentos, de acordo com França e Fusco (1997), o sistema de lajes maciças resulta em gastos de quase dois terços do volume total da estrutura.

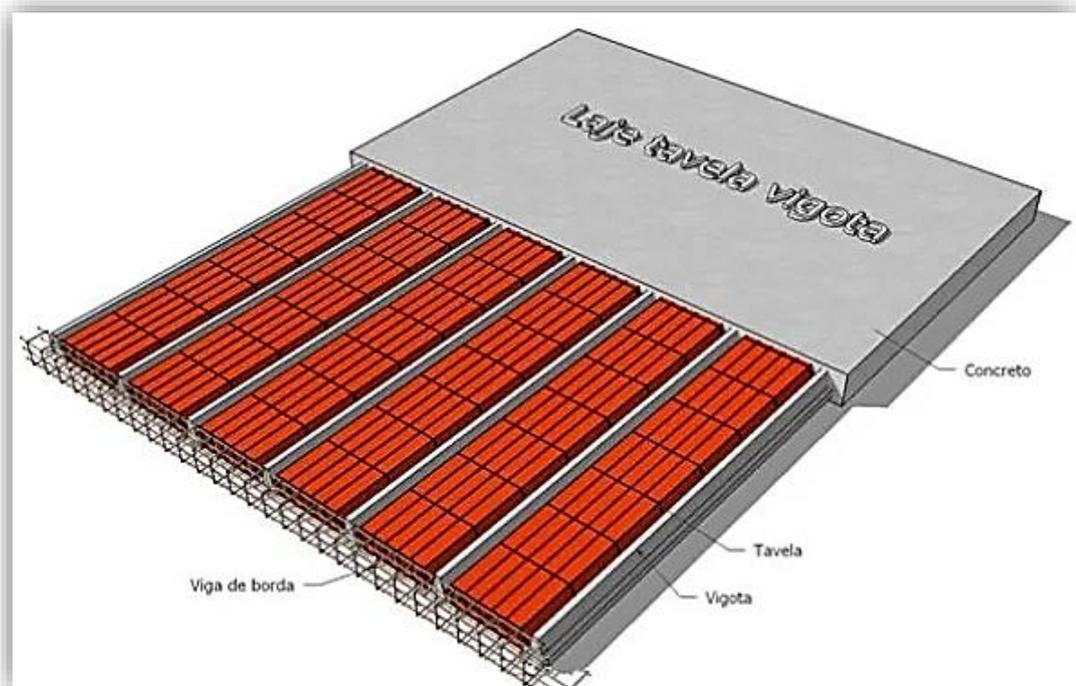
Já as lajes treliçadas (Figura 3), um pré-fabricado muito utilizado na construção civil, apesar de ter ganhado espaço no Brasil em meados do ano 2000, existia há quase 100 anos. Conforme Ferreira (2003), os sistemas pré-fabricados surgiram na Europa em 1906, com o intuito de uma pré-fabricação de componentes padronizados, que poderiam ser associados com produtos de outros fabricantes agilizando e barateando as obras.

Figura 2 – Detalhamento de uma laje maciça



Fonte: Catálogo Digital de Detalhamento da Construção (2012).

Figura 3 – Detalhamento de uma laje nervurada pré-moldada

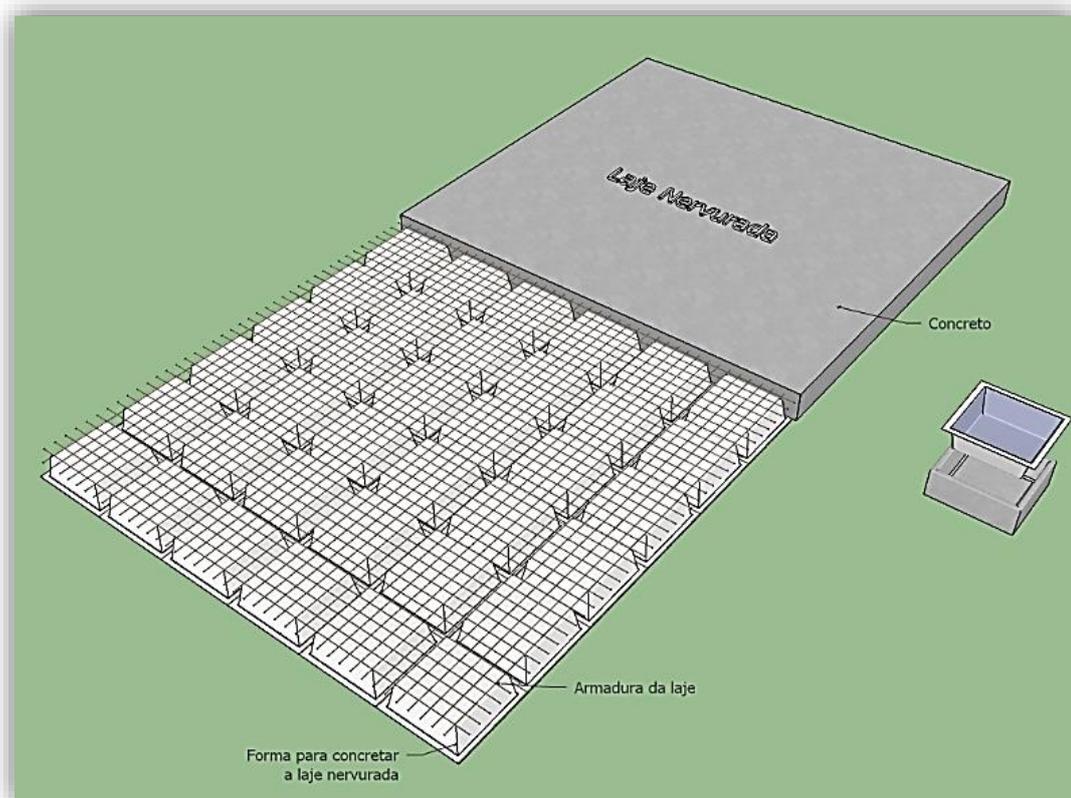


Fonte: Catálogo Digital de Detalhamento da Construção (2012).

Segundo Salas (1988), os pré-fabricados de concreto tiveram três importantes etapas começando em 1950. Entre 1950 a 1970 que foi marcado por um período com falta de edificação, devido à guerra, trouxe a necessidade de uma construção mais rápida e os pré-moldados se encaixavam perfeitamente nesse cenário. De 1970 a 1980 que após o uso descontrolado dos pré-fabricados alguns edifícios construídos com eles caíram gerando desconfiança dele e perdendo mercado. E de 1980 até hoje caracterizado pela volta e consolidação do pré-fabricado na construção civil mundial.

Nappi (1993) diz que a utilização de nervuras nas lajes veio com a intenção de eliminar o concreto onde ele não é solicitado, barateando assim o custo de execução. Entre as nervuras não há a necessidade de existir qualquer material, em razão de não existir esforço algum sobre ele. Denominando assim, esse tipo de laje, como laje nervurada (Figura 4).

Figura 4 – Detalhamento de uma laje nervurada em cubetas plásticas (Atex)



Fonte: Catálogo Digital de Detalhamento da Construção (2012).

A primeira laje nervurada foi feita em 1854, por William Boutland Wilkinson, que também patenteou um sistema em concreto armado. Esse sistema era constituído por

pequenas vigas espaçadas de forma constante, com barras de aço nas regiões tracionadas e ocupando os vazios com moldes de gesso (KAEFER, 1998).

2.1.2 Alguns tipos de lajes

Pela busca por conforto e economia nas construções a engenharia está sempre inovando, com essas constantes inovações foi gerada uma grande gama de possibilidades de sistemas estruturais diferentes das convencionais. Atualmente é possível uma maior flexibilidade da arquitetura, bastando apenas ao engenheiro escolher a laje que melhor se encaixa ao seu projeto estrutural dentre algumas listadas abaixo:

- Laje maciça
- Laje protendida
- Laje nervurada com cubetas plásticas
- Laje pré-fabricada treliçada

É importante ressaltar que as lajes em concreto armado são classificadas segundo diferentes critérios. De acordo com Cunha (1998), essa classificação se dá em 4 categorias, quanto à seção transversal (maciça, nervurada); quanto à execução (moldada in loco, pré-moldada); quanto ao apoio (em vigas/alvenaria estrutural, em pilares) e quanto à armação (aramada em uma direção, em duas direções).

2.2 Lajes estudadas nesta pesquisa

As lajes estudadas nesse trabalho são de três tipos: laje maciça bidirecional moldada in loco (apoiada em vigas) e duas lajes nervuradas, sendo uma a pré-moldada treliçada unidirecional apoiada nas vigas e a outra moldada in loco bidirecional apoiada em algumas partes diretamente nos pilares e em outras nas vigas.

2.2.1 Lajes maciças

As lajes maciças ou convencionais têm como função primordial a absorção das cargas atuantes sob o piso. Normalmente apoiam-se sobre vigas arranjadas em seu perímetro, que transmitem os esforços aos que, em geral, são os pilares. E por fim, os pilares transferem essas cargas às fundações (ARAÚJO, 2008).

Executado sobre fôrmas, as lajes maciças permitem determinar mais facilmente sua geometria, sustentados por escoras até que adquiram a resistência necessária. É ainda um dos sistemas mais empregados atualmente, em razão de sua grande utilização oferece uma mão de obra bem capacitada. Segundo Spohr (2008), essa laje não é apropriada para grandes vãos. Dessa forma ela é geralmente utilizada para vãos entre 3,5 m e 5 m.

A ABNT NBR 6118:2014 no item 13.2.4.1 impõe os limites mínimos para a espessura das lajes maciças:

- a) 7 cm para cobertura não em balanço;
- b) 8 cm para lajes de piso não em balanço;
- c) 10 cm para lajes em balanço;
- d) 10 cm para lajes que suportem veículos de peso total menor ou igual a 30 kN;
- e) 12 cm para lajes que suportem veículos de peso total maior que 30 kN;
- f) 15 cm para lajes com protensão apoiadas em vigas, com o mínimo de $\frac{l}{42}$ para lajes de piso biapoiadas e $\frac{l}{50}$ para lajes de piso contínuas;
- g) 16 cm para lajes lisas e 14 cm para lajes-cogumelo, fora do capitel.

l é a distância entre os eixos dos elementos estruturais aos quais o pilar está vinculado.

2.2.1.1 Vantagens das lajes maciças

Lopes (2012) expõe os seguintes itens das vantagens que as lajes maciças possuem:

- Oferece funções de placa e membrana (chapa);

- Bom desempenho em relação à capacidade de redistribuição dos esforços;
- Apropriada a situações de singularidade estrutural (por exemplo: Um, dois ou três bordos livres);
- A existência de muitas vigas, por outro lado, forma muitos pórticos, que garantem uma boa rigidez à estrutura de contraventamento;
- Foi durante anos o sistema estrutural mais utilizado nas construções de concreto, por isso a mão de obra já é bastante treinada;
- Menos suscetível a fissuras e trincas, uma vez que, depois de seco, o concreto torna-se um monobloco que dilata e contrai de maneira uniforme.

2.2.1.2 Desvantagens das lajes maciças

Ainda de acordo com Lopes (2012) as lajes maciças possuem as seguintes desvantagens:

- Elevado consumo de fôrmas, escoras, concreto e aço;
- Elevado peso próprio implicando em maiores reações nos apoios (vigas, pilares e fundações);
- Elevado consumo de mão de obra referente às atividades dos profissionais: carpinteiro, armador, pedreiro e servente;
- Grande capacidade de propagação de ruídos entre pavimentos;
- Limitação quanto a sua aplicação a grandes vãos por conta da demanda de espessura média de concreto exigida para esta situação;
- Custo relativamente elevado;
- Tempo muito elevado para execução das fôrmas e da desforma.

2.2.2 Lajes nervuradas

As nervuras das lajes podem ser obtidas pela utilização de cubetas plásticas, blocos de isopor, blocos cerâmicos ou blocos de concreto leve. As lajes lisas nervuradas são comumente usadas quando há a necessidade de se produzir lajes

com distribuição de esforços bidirecionais, com um formato próximo de um quadrado. Também na mesma modalidade de laje nervurada, as lajes treliçadas ou pré-moldadas, diferem principalmente em razão de que a distribuição dos esforços se dá primordialmente em uma direção. Dessa forma, as nervuras são alocadas na direção do menor vão, e por serem elementos pré-moldados há uma considerável redução de formas em comparação ao sistema de laje maciça.

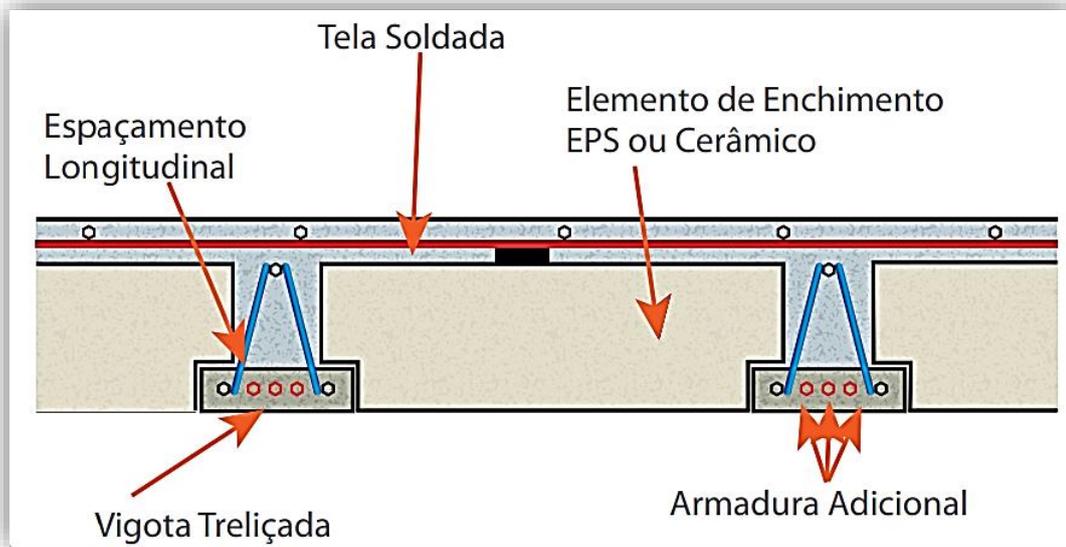
A Figura 5 mostra uma laje nervurada bidimensional apoiada em vigas as lajes pertencentes à biblioteca da UFT. A Figura 6 apresenta a seção transversal de uma laje nervurada treliçada.

Figura 5 – Laje nervurada em cubetas com vigas – Biblioteca da UFT



Fonte: Autoria própria (2019).

Figura 6 – Armação da laje nervurada com treliça e elemento de enchimento

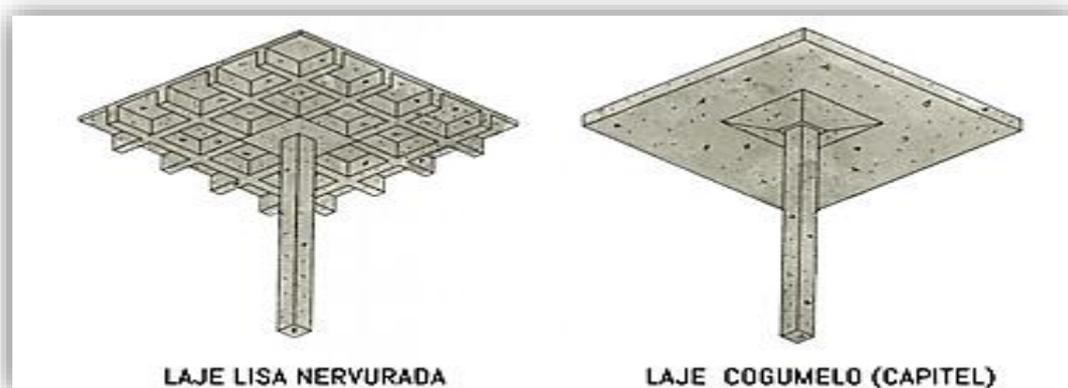


Fonte: Catálogo Técnico ArcelorMittal (2017).

A ABNT NBR 6118:2014 no item 14.7.7 diz que as lajes nervuradas são as lajes moldadas no local ou com nervuras pré-moldadas, cuja zona de tração para momentos positivos esteja localizada nas nervuras entre as quais pode ser colocado material inerte, como é possível observar na Figura 6.

As lajes nervuradas podem ser apoiadas em vigas ou diretamente nos pilares. Quando apoiadas nos pilares elas podem ser lajes-cogumelo ou lajes lisas. A ABNT NBR 6118:2014 no item 14.7.8 descreve que as lajes-cogumelo são lajes apoiadas diretamente em pilares com capitéis, enquanto lajes lisas são apoiadas nos pilares sem capitéis, como pode ser visto representado na Figura 7.

Figura 7 – Sistemas de laje em concreto armado

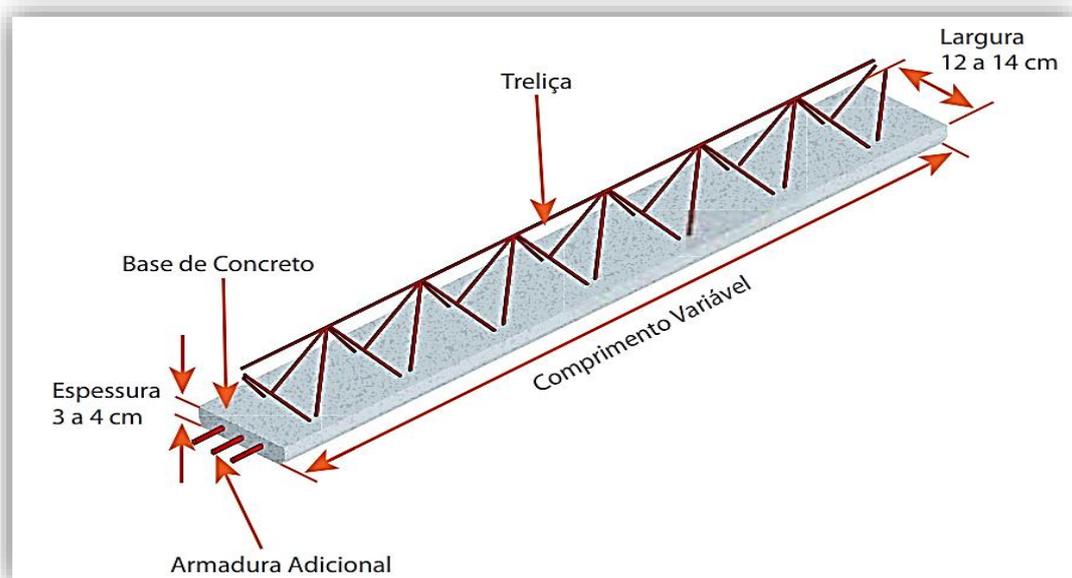


Fonte: Arquitetapage (2015).

2.2.2.1 Lajes nervuradas de vigotas treliçadas

As vigotas treliçadas (Figura 8) são elementos pré-moldados que por meio da solda duas treliças são unidas pelo vértice superior, formando assim a sua armação. Após isso sua base é concretada, mas sempre deixando uma parte da armadura exposta, sendo essa parte a responsável pela boa aderência da futura capa de concreto para a laje. Dessa forma são elementos de fácil transporte e manuseio, agilizando muito o tempo das construções.

Figura 8 – Treliça pré-moldada



Fonte: Catálogo Técnico ArcelorMittal (2017).

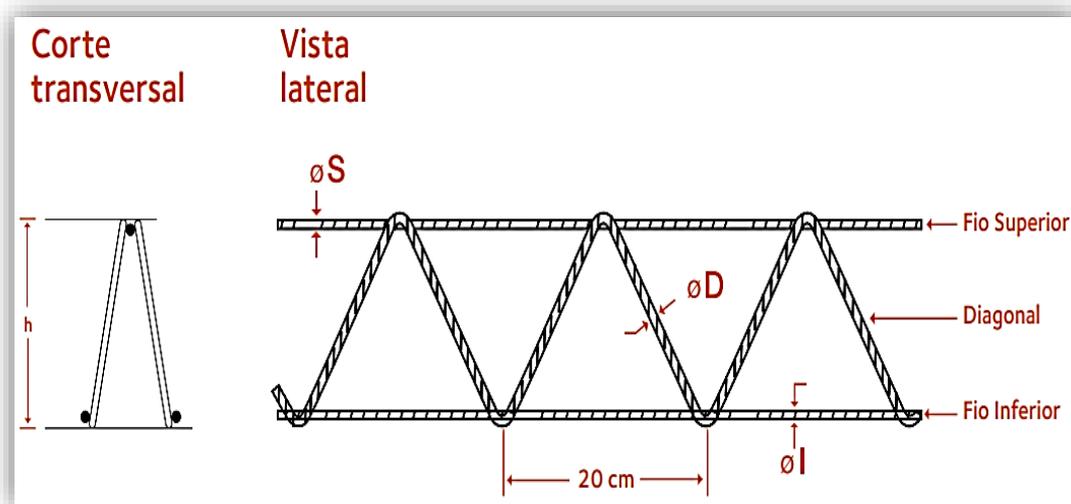
Essas vigotas permitem diferentes quantidades de aço em sua fabricação, devendo sempre ser detalhada pelo engenheiro projetista. Essa armação adicional pode ser tanto de aço CA-60 como de aço CA-50.

- O Catálogo Técnico da ArcelorMittal (2017) descreve que o funcionamento das treliças em uma laje se da seguinte maneira:
- Os fios longitudinais superiores ($\varnothing S$), além de garantirem rigidez ao conjunto, podem colaborar como armadura resistente ao momento fletor negativo após a retirada dos escoramentos e também como armadura de compressão durante a montagem e a concretagem da estrutura treliçada.

- As diagonais ($\varnothing D$), além de colaborarem como armadura resistente à força cortante, servem para promover uma perfeita coesão entre o concreto do elemento pré-moldado e o concreto de capeamento.
- Os fios longitudinais inferiores ($\varnothing I$) colaboram como armadura resistente ao momento fletor positivo.

A Figura 9 mostra o posicionamento das armaduras das lajes treliçadas.

Figura 9 – Armação treliçada



Fonte: Catálogo Técnico ArcelorMittal (2017).

As lajes treliçadas podem distribuir os esforços em uma ou em duas direções. A ABNT NBR 14859-2: 2016, diz que as lajes pré-fabricadas bidirecionais, são constituídas por nervuras principais nas duas direções com espaçamentos regulares formando vazios entre si, sendo colocado um material inerte para o preenchimento dos mesmos.

Segundo a ABNT NBR 14859-1: 2016, as lajes pré-fabricadas unidirecionais são constituídas por nervuras principais longitudinais dispostas em uma única direção. Em situações onde há paredes paralela às nervuras é recomendado que sejam adotadas nervuras transversais perpendiculares as nervuras principais. Isso se dá para promover um travamento lateral além de distribuir essa sobrecarga para as demais vigotas treliçadas, evitando deslocamentos excessivos em apenas um ponto.

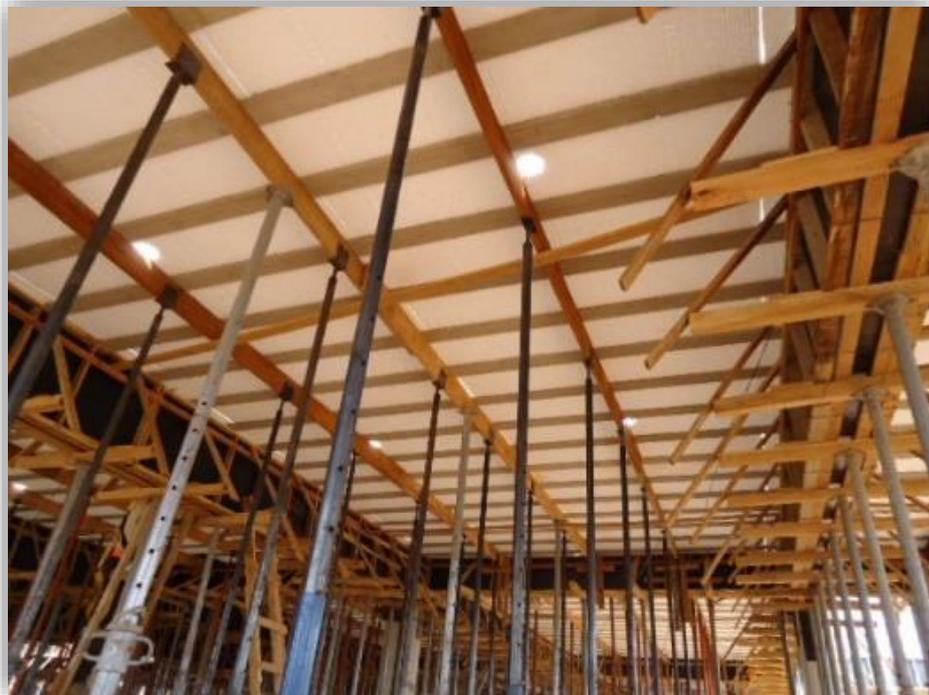
Como exemplo de lajes pré-fabricadas unidirecionais pode-se ter a nova reitoria da UFT que adotou esse sistema como ilustram as Figuras 10, 11 e 12.

Figura 10 – Preenchimento de laje treliçada da Reitoria



Fonte: Prefeitura universitária (2016).

Figura 11 – Escoramento da laje da Reitoria



Fonte: Prefeitura universitária (2016).

Figura 12 – Colocação das caixas de passagem na laje



Fonte: Prefeitura universitária (2016).

2.2.2.1.1 Vantagens das lajes treliçadas

As principais vantagens das lajes treliçadas segundo Muniz (1991) são:

- Diminuição do peso da laje e conseqüentemente alívio sobre as fundações;
- Redução significativa de formas acarretando economia de madeiramento e evitando desperdícios;
- Sensível redução do escoramento das lajes, já que se recomenda apenas a colocação de escoras com travessas entre 1,05 m e 1,90 m, dependendo do tipo de escoramento (metálico ou madeira), durante a fase de cura do concreto;
- Reduz a quantidade de estoque e movimentação de materiais no canteiro de obras;
- Diminuem custos de mão de obra de ferreiros e carpinteiros;
- Reduzem-se os prazos de execução de obras;

- A fôrma possui poucas vigas, ou seja, é pouco recortada, facilitando a execução;
- O fato de ter poucas vigas, faz com que a estrutura não interfira muito na arquitetura.

2.2.2.1.2 Desvantagens das lajes treliçada

Ainda segundo Muniz (1991) algumas desvantagens são:

- O transporte, se a obra for longe da fábrica;
- Os equipamentos necessários para o içamento das peças;
- Normalmente aumentam a altura total da edificação;
- Dificuldade em projetar uma modulação única para o pavimento todo, de maneira que o espaçamento entre as nervuras seja sempre o mesmo;
- Dificuldade na fixação dos elementos de enchimento, com a possibilidade de movimentação dos mesmos durante a concretagem.

2.2.2.2 Lajes lisas nervuradas

As lajes lisas nervuradas são constituídas por nervuras em duas direções e a partir de elementos de enchimento são formados vazios para se reduzir o peso próprio, pois nessas zonas vazias não é necessário se ter qualquer material. Após dado o tempo de cura do concreto as fôrmas no formato de cubas são removidas e reaproveitadas nos demais pavimentos ou futuras construções.

Segundo a ABNT NBR 6118:2014 no item 13.2.4.2 lajes nervuradas 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 (l_0) e não menor que 4 cm.

O valor mínimo absoluto da espessura da mesa deve ser 5 cm, quando existirem tubulações embutidas de diâmetro menor ou igual a 10 mm. Para tubulações com diâmetro Φ maior que 10 mm, a mesa deve ter a espessura mínima de $4\text{ cm} + \Phi$, ou $4\text{ cm} + 2\Phi$ no caso de haver cruzamento destas tubulações.

A espessura das nervuras não pode ser inferior a 5 cm.

Nervuras com espessura menor que 8 cm não podem conter armadura de compressão.

Para o projeto das lajes nervuradas, devem ser obedecidas as seguintes condições:

a) para lajes com espaçamento entre eixos de nervuras menor ou igual a 65 cm, pode ser dispensada a verificação da flexão da mesa, e para a verificação do cisalhamento da região das nervuras, permite-se a consideração dos critérios de laje;

b) para lajes com espaçamento entre eixos de nervuras entre 65 cm e 110 cm, exige-se a verificação da flexão da mesa, e as nervuras devem ser verificação ao cisalhamento como vigas; permite-se essa verificação como lajes se o espaçamento entre eixos de nervuras for até 90 cm e a largura média das nervuras for maior que 12 cm;

c) para lajes nervuradas com espaçamento entre eixos de nervuras maior que 110 cm, a mesa deve ser projetada como laje maciça, apoiada na grelha de vigas, respeitando-se os seus limites mínimos de espessura.

Ainda segundo a ABNT NBR 6118:2014 no item 13.2.5.2 em lajes lisas ou lajes-cogumelo, a verificação de resistência e deformação previstas em 13.2.5 deve sempre ser realizada.

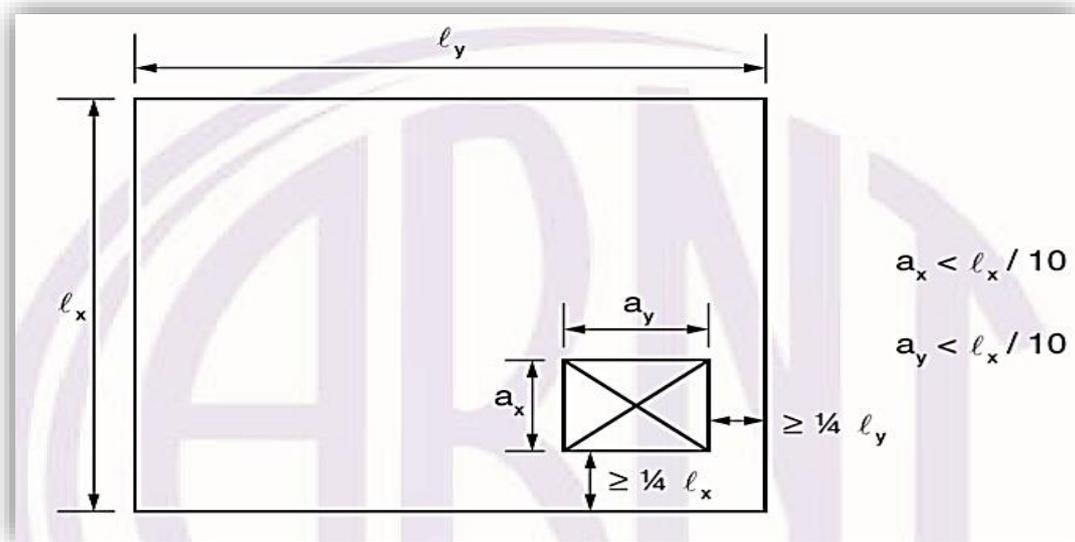
Lajes de outros tipos podem ser dispensadas dessa verificação, quando armadas em duas direções e sendo verificadas, simultaneamente, as seguintes condições:

a) as dimensões da abertura devem corresponder no máximo a 1/10 do vão menor (l_x) (Figura 13);

b) a distância entre a face de uma abertura e o eixo teórico de apoio da laje deve ser igual ou maior que 1/4 do vão, na direção considerada; e

c) a distância entre faces de aberturas adjacentes deve ser maior que a metade do menor vão.

Figura 13 – Detalhamento das dimensões



Fonte: ABNT NBR 6118:2014.

Conforme Spohr (2008), esse sistema de laje nervurada se adapta a praticamente todos os tipos de estrutura, como: edifícios residenciais; edifícios comerciais; garagens; escolas; indústrias; hospitais; hotéis; shopping centers e etc.

2.2.2.2.1 Vantagens das lajes lisas nervuradas

As principais vantagens das lajes nervuradas lisas segundo Albuquerque (1999) e Spohr (2008) destacam-se:

- Fôrmas com formatos mais simples, facilitando sua instalação e agilidade;
- Menos gastos com madeira e mão de obra;
- Se comparado com os demais sistemas, há uma maior taxa de reaproveitamento das fôrmas e facilidade na concretagem;
- Maior facilidade de compatibilização do projeto estrutural com o arquitetônico, já que não há a necessidade de alinhamento dos pilares;
- Em razão de não possuir vigas as paredes não ficam condicionadas por elas, proporcionando uma maior liberdade ao projeto arquitetônico;
- Barateamento nos demais projetos complementares, em razão da não existência de vigas eliminando a necessidade de perfuração.

2.2.2.2 Desvantagens das lajes lisas

Nas palavras de Araújo (2010), as lajes lisas não podem ser adotadas sem uma análise minuciosa. Em construções residenciais, geralmente não há uma locação regular dos pilares e a laje lisa pode ser uma solução antieconômica. A falta de amarração devido à ausência de vigas faz com que a estrutura se torne muito deformável pelas ações do vento, o que são preocupantes em edifícios altos. Devido a isso, é necessário se pensar em elementos de contraventamento, podendo ser adotado núcleos rígidos nos setores da escada ou dos elevadores.

Dessa forma, as desvantagens mais relevantes de acordo com Albuquerque (1999) e Henrichs (2003):

- Rigidez inferior da estrutura às ações do vento, se comparado aos outros sistemas, em razão da menor quantidade de pórticos;
- Risco de punção da laje pelos pilares é um dos principais problemas desse tipo de laje;
- Geralmente há um maior consumo de aço;
- O deslocamento desse tipo de laje, para uma mesma rigidez, é maior quando comparado com os sistemas de lajes sobre vigas.

2.3 Tabelas de referências para orçamento de obras públicas

Para Losso (1995), a parte de orçamentação de uma obra é composta essencialmente por insumos e serviços, é com esses itens que a quantificação, tanto de material como de mão de obra, é feita, e a partir da precificação desses itens é que se pode gerar uma perspectiva do custo total da obra. O orçamento é a discriminação do montante de insumos e serviços, para realizar uma obra, convertidos em custos.

Para Limmer (1997) orçamento é “A determinação dos gastos necessários para a realização de um projeto, de acordo com um plano de execução previamente estabelecido, gastos esses traduzidos em termos quantitativos”.

Vale ressaltar que a produção de um orçamento vai além da estimativa de custos e fatores atrelados diretamente a obra. Para um bom orçamento deve-se considerar também outros fatores como a administração da empresa, taxas e juros do mercado. Mas para esse trabalho esses outros fatores serão desconsiderados, a

comparação de custos se dará somente pelo preço bruto dos materiais mais relevantes da obra e a mão de obra necessária para fazê-los, pois os demais fatores são particulares de cada empresa e não podem ser mensurados com precisão.

Para a realização de um orçamento de uma construção pode-se fazer cotação de item por item e descobrir o preço dos serviços de cada profissional da região ou consultar tabelas como SINAPI, SICRO, TCPO ou ORSE. Para essas tabelas os materiais são chamados de insumos e o conjunto de materiais com a mão de obra e serviços são chamados de composições.

De acordo com Almeida (2009) entre os sistemas à disposição, o Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil - SINAPI, da Caixa Econômica Federal e o Sistema de Orçamento de Obras de Sergipe - ORSE são os mais utilizados por órgãos públicos e por profissionais que atuam em obras desse setor. Como a Reitoria é uma obra de um órgão público federal as tabelas de referência que serão usadas são a SINAPI e ORSE.

O SINAPI é um banco de dados criado em 1969 que deve ser tomado como referência para a produção de orçamentos de obras públicas segundo o Decreto 7983/2013 (critérios para orçamento de referência) e pela Lei 13.303/2016 (Lei das Estatais).

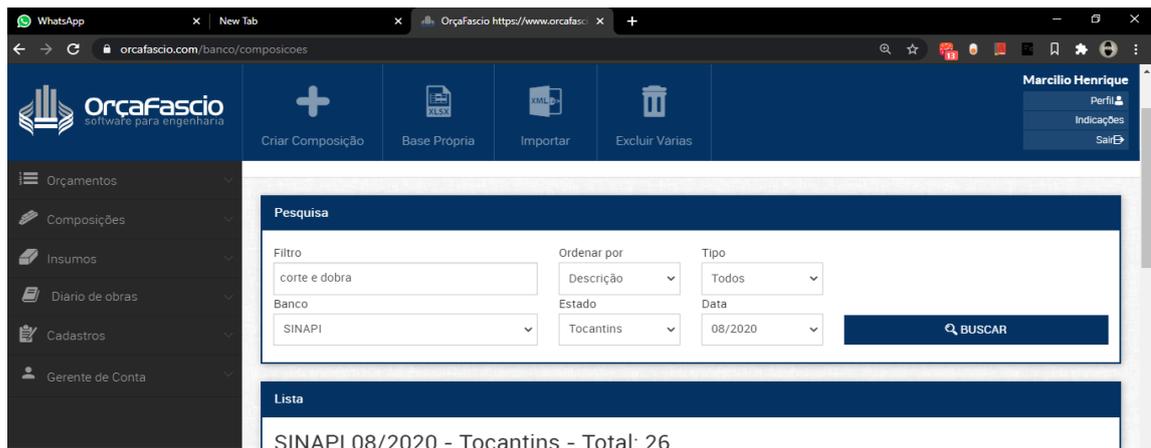
O SINAPI, segundo a CAIXA (2019), é um sistema que disponibiliza índice e custos de insumos e serviços da construção civil. Os dados que o SINAPI informa advêm de um trabalho em conjunto entre a CAIXA e o IBGE, que recolhem mensalmente os preços de insumos, mão de obra e maquinário de construção das capitais de cada estado. É possível encontrar nele também custos de projetos residenciais, comerciais e de obras de infraestrutura.

Os insumos do SINAPI estão em permanente manutenção pela Caixa e IBGE, possibilitando descrições atualizadas, excluindo insumos obsoletos e criando insumos novos como resultado da evolução dos processos construtivos, permitindo a atualização ou criação de composições de serviços com maior representatividade nos custos de orçamentos de projetos relevantes em programas indicados pelo Governo Federal (CAIXA, 2019a, p. 1).

Por estar sempre atualizando o SINAPI também é utilizado como tabela de referência para orçamentação de obras privadas. Apesar de ser uma tabela disponibilizada gratuitamente pela CAIXA há softwares como o OrçaFascio que auxiliam na busca com ferramentas intuitivas e de rápido acesso.

O software OrçaFascio (Figura 14) foi criado em 2015 e desenvolvido dentro dos padrões e normas do Tribunal de Contas da União. Segundo o OrçaFascio (2020) o software possui 19 bases de composições sendo o acesso ao banco de dados da SINAPI gratuito.

Figura 14 – Ferramenta de pesquisa OrçaFascio



Fonte: Autoria própria (2020).

Já o ORSE (Figura 15), que também é gratuito, foi desenvolvido pela CEHOP - Companhia Estadual de Habitação e Obras Públicas de Sergipe, ele é um software que contém um banco de dados próprio que conta com 9360 insumos e 9410 composições. Segundo a CEHOP (2020) o ORSE foi criado há mais de 10 anos com o intuito de obedecer a Lei Estadual nº 4.189 de 28.12.1999 que criou o Sistema Estadual de Registro de Preços para Obras e Serviços de Engenharia.

Figura 15 – Ferramenta de pesquisa ORSE



Fonte: Autoria própria (2020).

De acordo com a CEHOP (2020) os encargos sociais adotados são os mesmos praticados pelo SINAPI. Em 2014 devido ao Decreto Presidencial 7.983/2013 e para adequação ao Manual de Metodologias e Conceitos do SINAPI o ORSE foi ajustado e atualizado, passando a se tornar um sistema de pesquisa permitido pela CAIXA para a orçamentação de obras públicas.

2.4 Software Eberick

A AltoQi, empresa criadora do software Eberick, é uma empresa brasileira fundada em 1989 por Rui Luiz Gonçalves, José Carlos Pereira, Jano d'Araujo Coelho e Ricardo Eberhardt. O Eberick é um software de cálculo para estruturas de edificações, reservatórios, muros de arrimo entre outros e tem esse nome como uma homenagem à Ricardo Eberhardt que morreu dois meses antes de seu lançamento em 1996.

Segundo a AltoQi:

O Eberick possui um ambiente de CAD próprio, com recursos específicos para modelagem de pilares, vigas, lajes, escadas, fundações, reservatórios, muros e elementos de outros materiais. O modelo criado pode ser visualizado no pântico 3D, facilitando o entendimento da geometria proposta. O sistema verifica os elementos para o Estado Limite Último e de Serviço (ELU e ELS), de acordo com as normas brasileiras. (AltoQi, 2019, p. 1).

Os softwares são ferramentas que auxiliam os engenheiros projetistas a dar agilidade e exatidão nos cálculos mecânicos assim como as calculadoras já serviram para isso. Apesar do Eberick estar cada vez mais avançado ele ainda não dispensa a necessidade de um engenheiro, pois diversos fatores e resultados ainda devem ser avaliados por um profissional para se garantir a segurança e desempenho da estrutura.

O Eberick gera o detalhamento dos elementos estruturais com suas armaduras com elevada qualidade e oferece uma série de opções para adequar os desenhos às suas necessidades. Além disso, gera a planta de formas de acordo com a geometria da estrutura, incluindo informações como: cotagem, hachuras, eixos para locação e tabelas de sobrecargas. Ele também gera um relatório com o resumo dos materiais da edificação. Na tabela do resumo você poderá verificar o volume de concreto, peso de aço, área de forma, quantitativo de blocos de enchimento, consumo de aço e tabela de custos de materiais, forma e execução de cada peça estrutural (AltoQi, 2019, p. 2).

Além dos cálculos o Eberick promove uma maior rapidez principalmente na parte dos detalhamentos, pois como as estruturas já são modeladas em 3D ele pode gerar todas as plantas de formas, detalhamento de todos os elementos e o resumo de materiais em apenas alguns minutos, enquanto que no passado isso poderia levar dias. Dessa forma pode-se concluir que saber manusear os softwares da AltoQi, ou outros semelhantes disponíveis no mercado, são habilidades essenciais para os novos engenheiros que buscam alta produtividade.

2.5 Concepção estrutural

Segundo Rebello (2000) não existe a melhor estrutura, a melhor solução estrutural é aquela que busca a maneira mais efetiva de resolver os requisitos impostos. Dessa forma para se saber a melhor solução estrutural é necessário antes responder à pergunta, melhor em relação a que?

Para Rebello (2000) sempre há uma boa alternativa que obedece bem a alguns pré-requisitos, mas nunca se pode esperar resolver todos os requisitos com o mesmo nível de qualidade. Como ilustração, uma alternativa pode ser barata no consumo de insumos, mas pode ser feia e ter uma execução demorada, outra solução pode ser linda, entretanto pode ser cara e de difícil execução.

Dessa forma Rebello (2000) diz que é indispensável a escolha de uma hierarquia ao qual o projeto irá obedecer, estabelecendo categorias de importância, para que a alternativa realizada seja aquela que melhor atenda os mais importantes em detrimento dos menos importantes. Mas apesar da hierarquia, o engenheiro responsável pelo projeto deve sempre procurar atender os requisitos de forma eficaz e eficiente possível.

Levando isso em consideração, a hierarquia adotada para os projetos foi em primeiro lugar a funcionalidade do edifício, ou seja, o projeto arquitetônico não poderá ser afetado ou remodelado pela estrutura, em segundo lugar a economia de materiais, em terceiro lugar a facilidade da construção e por fim a beleza do edifício.

De acordo com Rebello (2000) o lançamento da estrutura é a locação, sobre a arquitetura, das vigas e pilares resultantes da concepção estrutural escolhida. Não há regras definitivas e exatas para o lançamento da estrutura, mas é possível seguir alguns critérios que auxiliam a iniciar a montagem dos componentes da estrutura.

Ainda segundo Rebello (2000) diversas vezes a primeira solução proposta não é a melhor e por isso se recomenda que outras sejam testadas e que a partir de uma ordenação de requisitos predefinidos se escolha o que melhor os obedeça.

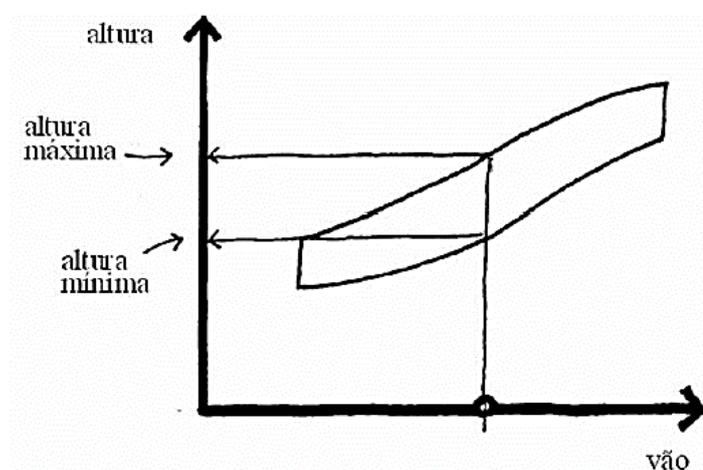
Os sistemas de laje maciça e treliçada seguiram um padrão semelhante ao projeto real construído no Campus Universitário de Palmas, enquanto o sistema de laje nervurada foi realizado seguindo os princípios e boas práticas de Rebello (2000) em seu livro “A concepção estrutural e a arquitetura”.

Rebello (2000) diz que, por experiência, para obras de médio porte, os arranjos de pilares mais econômicos estão situados entre 4 e 6 metros de distância. É baseado nessa constatação que os pilares do projeto do sistema de laje nervurada foram locados, mas sempre levando em consideração o arquitetônico como fator limitante.

Para Rebello (2000) é recomendado que os pilares sejam posicionados sem descontinuidade, para que seja evitado o uso de vigas de transição que promovem um maior custo para a estrutura. Além disso, o ideal é que os pilares sejam sempre colocados nos encontros das vigas, pois assim evita-se o apoio de vigas em vigas o que também pode encarecer o projeto. Por fim, para se facilitar a locação de pilares em obras, ele recomenda que eles sejam locados sobre os mesmos eixos, evitando erros e retrabalhos que encarecem o custo da obra.

Os gráficos de pré-dimensionamento utilizados, são de autoria do Professor Philip A. Corkill, formado na Universidade de Nebraska, mas traduzidos e adaptados pelo Professor Yopanan C.P. Rebello, Walter Luiz Junc e Luciane Amante. O Gráfico 1 explica como deve-se ler os gráficos que são apresentados na metodologia.

Gráfico 1 – Gráfico explicativo



Fonte: A Concepção Estrutural e a Arquitetura (2000).

No Gráfico 1 nas abscissas estão os valores de uma das variáveis, como vãos, para as vigas e treliças, ou altura não travada ou número de pavimentos quando referente aos pilares. Já as ordenadas correspondem ao valor do pré-dimensionamento, como a altura das vigas e treliças ou a dimensão da seção do pilar. O Gráfico 1 é apresentado em forma de superfície entre duas linhas, não de linha única, pois a parte superior representa os valores máximos do pré-dimensionamento, enquanto que a inferior apresenta os valores mínimos. Quanto a qual valor usar entre o limite superior e inferior Rebello (2000) diz que depende da circunstância, caso a estrutura seja muito carregada usa-se o limite superior, caso contrário, usa-se o inferior.

3 METODOLOGIA

Neste capítulo é explicado o que foi feito, assim como o passo a passo para a realização dos objetivos traçados. Nele foi explanado como se deu o lançamento e pré-dimensionamento dos projetos e a realização dos orçamentos dos elementos estruturais.

Como já foi citado nos objetivos, esse trabalho teve como premissa desenvolver uma análise comparativa de custos entre três sistemas estruturais de lajes: maciças, treliçadas e nervuradas com cubetas. Tendo em vista sua aplicação a um projeto específico, o presente trabalho caracteriza-se como um estudo de caso.

Dessa forma os sistemas construtivos analisados foram chamados de sistema de laje maciça para as lajes do tipo maciça, sistema de laje treliçada para as lajes de vigota treliçada e por fim sistema de laje nervurada para as lajes nervurada com cubetas plásticas.

3.1 Edifício de estudo

O edifício de estudo foi concebido pela prefeitura universitária da UFT (Figura 14). É um edifício administrativo de um pavimento térreo e 3 pavimentos tipos, localizado no campus de Palmas.

Figura 16 – Nova Reitoria da UFT

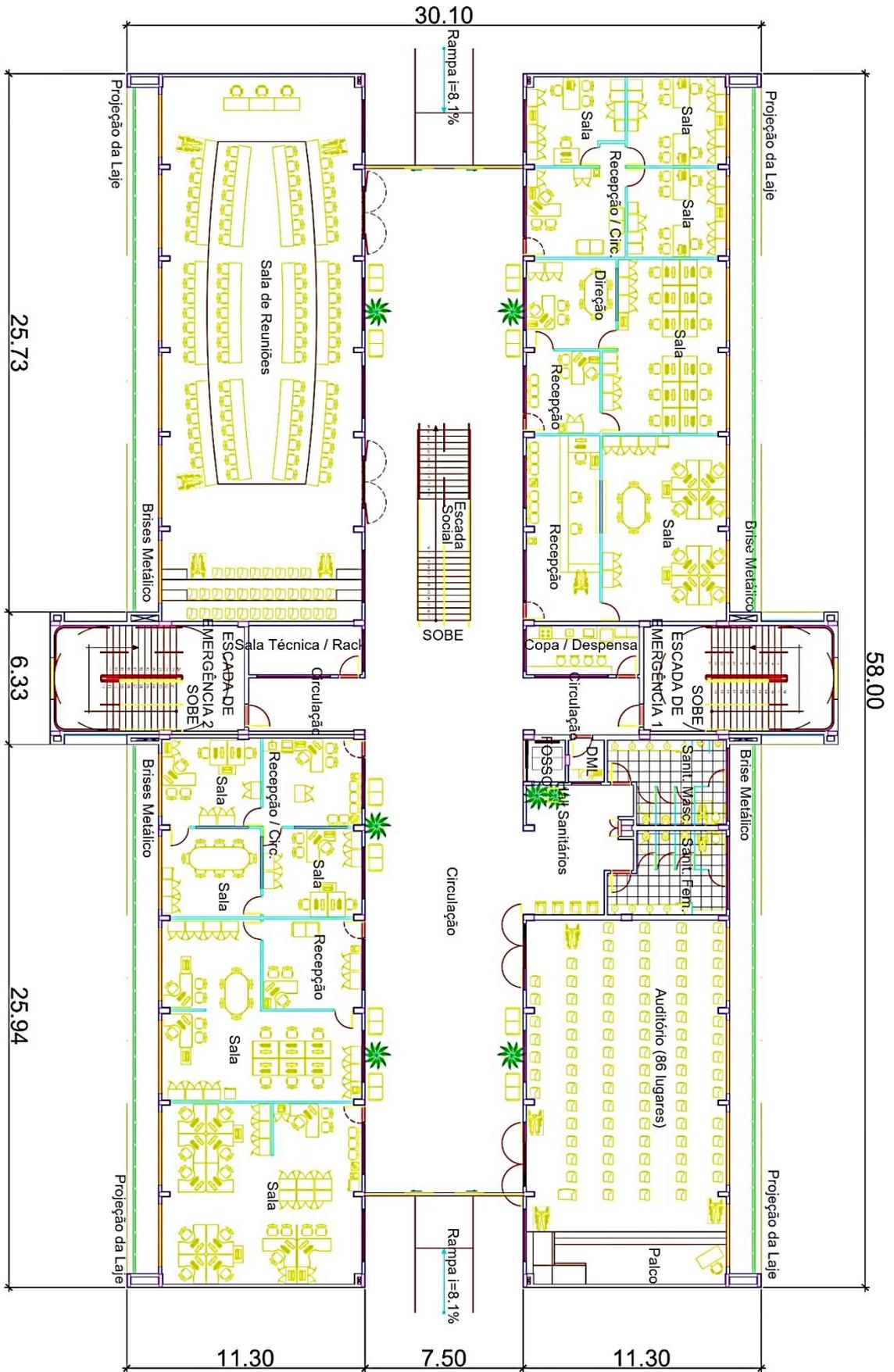


Fonte: Autoria própria (2020).

Em todos os projetos se procurou obedecer ao máximo o modelo arquitetônico para que fosse simulado estruturas próximas à realidade e que não prejudicassem as questões de conforto e funcionalidade do edifício planejado pelos arquitetos. A edificação foi orçada e contratada por um preço de R\$ 8.550.000,00, mas devido a atrasos na obra e alterações no projeto o preço final dela ficou por R\$ 11.379.079,81.

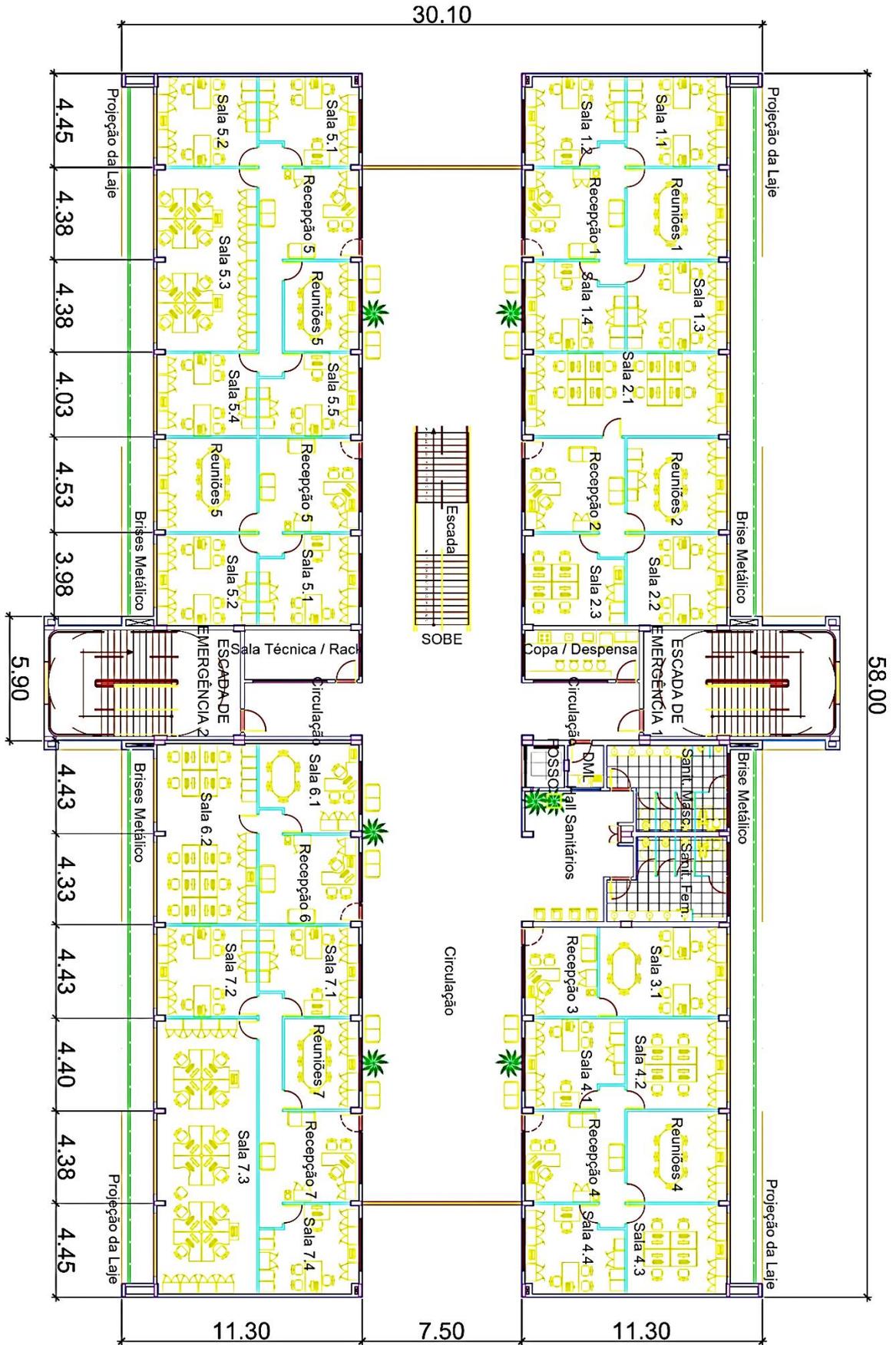
A Figura 17 e 18 apresentam os modelos arquitetônicos do pavimento térreo e dos pavimentos tipo respectivamente. Nesse edifício há duas escadas de emergência nas laterais e uma escadaria no centro, além das escadas há também um elevador com capacidade para seis pessoas. Há sanitários masculinos, femininos e para deficientes em cada pavimento.

Figura 17 – Pavimento térreo



Fonte: Prefeitura Universitária (UFT)

Figura 18 – Pavimento tipo



Fonte: Prefeitura Universitária (UFT)

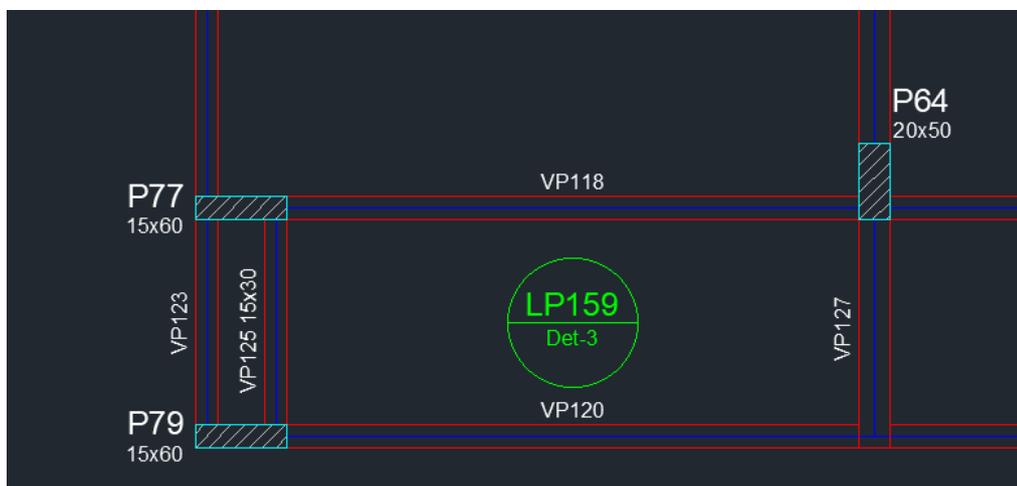
3.2 Desenvolvimento e especificações das estruturas

Todos os pilares foram lançados sem descontinuidades, dessa forma não há nenhuma viga de transição em nenhum dos projetos. A recomendação para os pilares ficarem nos encontros das vigas proposto por (Rebello, 2000) não foi obedecido apenas nos pontos de shafts, mas em todo o resto da estrutura essa recomendação foi respeitada. Todos os pilares foram locados em grupos de eixos semelhantes.

Já em relação às vigas do sistema de laje nervurada, elas foram usadas apenas quando indispensáveis como por exemplo na sustentação de paredes, que é o caso das vigas baldrames do primeiro pavimento, como apoio para as escadas e reservatório e para gerar maior estabilidade global a estrutura. Dessa forma o que predominou no arranjo estrutural do sistema de laje nervurada foi a combinação pilar, capitel e laje nervurada com cubetas plásticas.

Outra concepção adotada de relativa importância que difere do projeto estrutural original é em relação à retirada dos pilares das quatro extremidades que serviam como suporte para as vigas do shaft. Com o novo sistema estrutural adotado os pilares dessas extremidades passaram a agir como tirantes devido aos momentos negativos gerados pelas cargas horizontais do vento. Dessa forma observou-se que era mais viável a retirada desses pilares e aumentar a espessura das vigas para sustentar a alvenaria que seria apoiada nelas o que pode ser observado nas Figuras 19 e 20.

Figura 19 – Extremidade inferior esquerda do segundo pavimento do sistema de laje treliçada



Fonte: Autoria própria (2020).

Figura 20 – Extremidade inferior esquerda do segundo pavimento do sistema de laje nervurada



Fonte: Autoria própria (2020).

As fundações, escadas e reservatórios foram reproduzidos na íntegra baseadas no projeto original.

3.2.1 Pré-dimensionamento do sistema de laje maciça e nervurada

Segundo Rebello (2000) a etapa que sucede à concepção e lançamento estrutural é o pré-dimensionamento da estrutura. Para Rebello (2000) essa fase é importante pois é nela que se passa a ter noção das dimensões e de como a estrutura se relaciona com as áreas do arquitetônico.

Vale observar que apenas os sistemas de laje maciça e nervurada foram pré-dimensionados baseados em tabelas e gráficos disponibilizados por Rebello (2000) em seu livro *A Concepção Estrutural e a Arquitetura*. Quanto ao sistema de laje treliçada, as medidas adotadas nos pilares, vigas e lajes, para o lançamento da estrutura, foram as mesmas utilizadas na construção da Reitoria, tornando prescindível a realização de seu pré-dimensionamento.

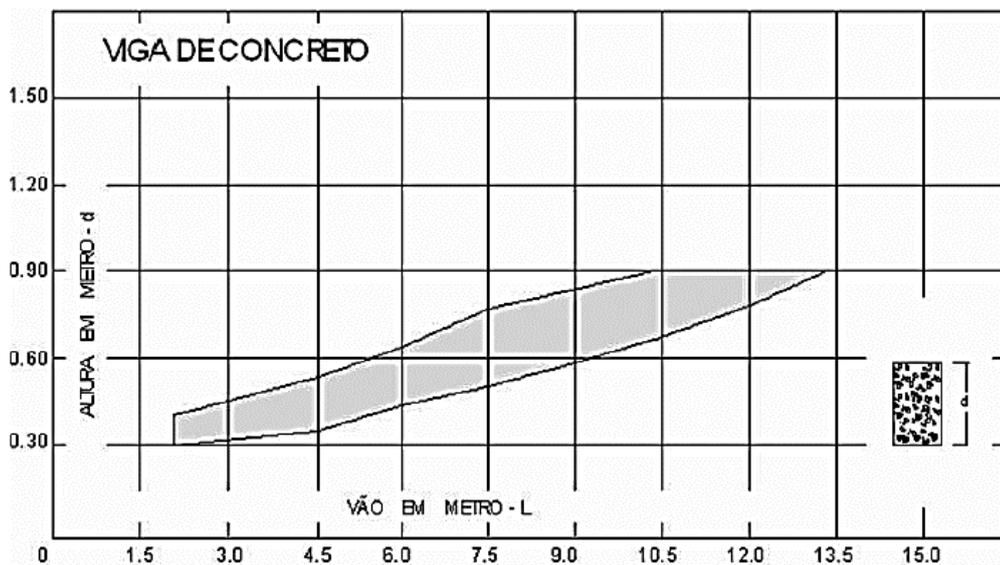
Ainda de acordo com Rebello (2000) deve-se evitar grandes variedades nas dimensões dos elementos para facilitar a execução, recomendando em torno de três dimensões diferentes para as vigas e pilares. Assim, para ambos os projetos procurou-se seguir essas orientações, mas não com tanto afinco, pois a facilidade da

construção foi pré-definida como terceiro grau na hierarquia de importância para o projeto.

Para as vigas de concreto foram pré-dimensionadas três alturas diferentes e a partir delas foram realizados os dimensionamentos, tendo, a maior parte delas, permanecidas de acordo com o pré-dimensionado. Vale ressaltar que em todo o projeto foi trabalhado com múltiplos de cinco centímetros para uma maior padronização das formas.

Para o levantamento de dados do Gráfico 2, utilizado para o pré-dimensionamento das vigas de concreto, foi levado em consideração os vãos de 4,5, 6 e 9 metros.

Gráfico 2 – Pré-dimensionamento de vigas de concreto



Fonte: A Concepção Estrutural e a Arquitetura (2000).

Dessa forma, os resultados encontrados no Quadro 1 apresentam os valores das alturas das vigas quanto aos seus limites inferiores e superiores. O limite superior foi utilizado para os pavimentos tipos, quanto as vigas baldrame e vigas de cobertura, o limite utilizado foi o inferior, por apresentarem cargas de ocupação mais baixas.

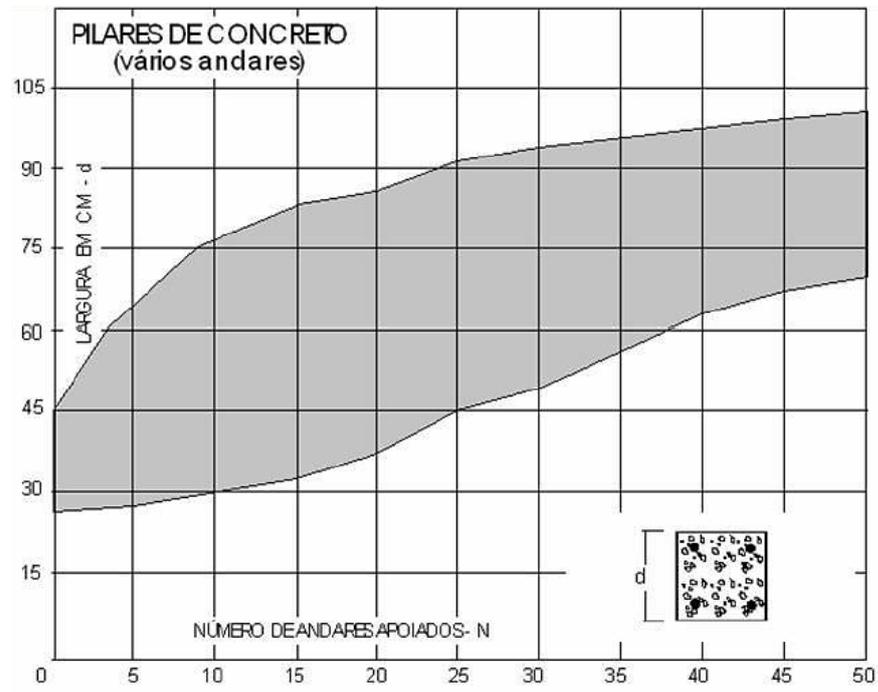
Quadro 1 – Limites inferior e superior de acordo com os vãos

Vão(m)	Altura da viga(cm)	
	Limite inferior	Limite superior
4.5	35	50
6	45	65
9	60	80

Fonte: Autoria própria (2020).

Para os pilares de concreto o pré-dimensionamento foi mais genérico e seguiu o Gráfico 3, mas se percebeu que apesar de ter sido considerado apenas o fator: número de andares apoiados, todos os pilares ficaram dentro dos limites das dimensões apontadas pelo gráfico.

Gráfico 3 – Pré-dimensionamento de pilares de concreto



Fonte: A Concepção Estrutural e a Arquitetura (2000).

Com o número de andares apoiados sendo 4, os resultados estão apresentados no Quadro 2. O limite superior foi usado em todos os pilares, já que os carregamentos em todos eles são relativamente alto.

Quadro 2 – Limites inferior e superior de acordo com o número de andares

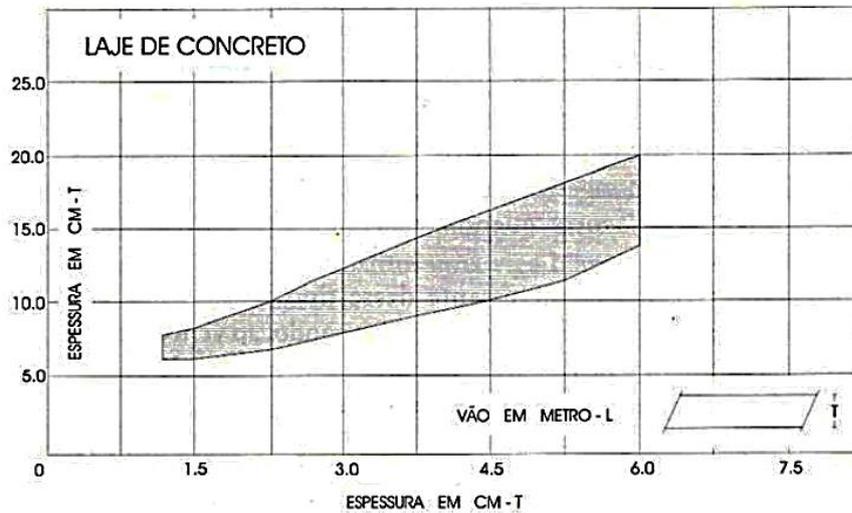
Número de andares apoiados	Largura dos pilares (cm)	
	Limite inferior	Limite superior
4	25	65

Fonte: Autoria própria (2020).

O Gráfico 4 foi utilizado para o pré-dimensionamento das lajes de concreto maciça com uma exceção. Para a laje de suporte do elevador as dimensões utilizadas

não foram baseadas no gráfico por se tratar de um caso especial onde as cargas são bem mais elevadas do que o normal.

Gráfico 4 – Pré-dimensionamento de laje de concreto



Fonte: A Concepção Estrutural e a Arquitetura (2000).

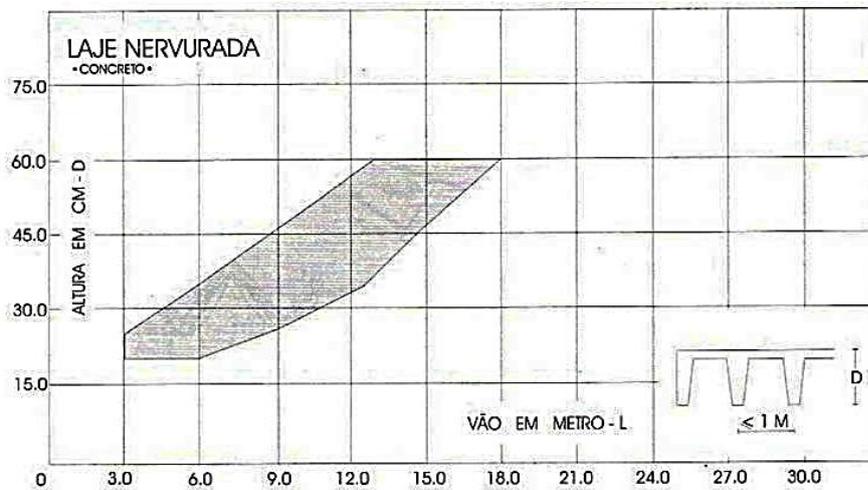
O Quadro 3 apresenta os limites inferiores e superiores da espessura de uma laje de concreto para os vãos de 1,5, 4,5 e 6 metros, de acordo com o Gráfico 4. O limite superior foi utilizado para os pavimentos tipos, quanto as lajes de cobertura, o limite utilizado foi o inferior, por apresentarem cargas de ocupação mais baixas.

Quadro 3 – Limites inferior e superior de acordo o vão

Vão(m)	Espessura da laje(cm)	
	Limite inferior	Limite superior
1.5	6	8
4.5	10	16
6	14	20

Fonte: Autoria própria (2020).

Para o levantamento de dados do Gráfico 5, utilizado para o pré-dimensionamento de lajes nervuradas, foi levado em consideração vãos de 6 e 9 metros.

Gráfico 5 – Pré-dimensionamento de laje nervurada

Fonte: A Concepção Estrutural e a Arquitetura (2000).

Assim, os resultados encontrados no Quadro 4 apresentam os valores das espessuras das lajes nervuradas quanto aos seus limites inferiores e superiores. O limite superior foi utilizado para os pavimentos tipos, quanto as lajes de cobertura, o limite utilizado foi o inferior, por apresentarem cargas de ocupação mais baixas.

Quadro 4 – Limites inferior e superior de acordo com os vãos

Vão(m)	Espessura da laje(cm)	
	Limite inferior	Limite superior
6	20	35
9	25	45

Fonte: Autoria própria (2020).

3.2.2 Materiais, carregamentos e dados de entrada adotados

Para a definição das características do projeto foi seguido a antiga norma ABNT NBR 6118:2003, com o intuito de que a comparação seja mais próxima da realidade, pois essa foi a norma utilizada no projeto real da Reitoria.

Dessa forma, para a cidade de Palmas a classe de agressividade ambiental de acordo com a Quadro 5 da ABNT NBR 6118:2003 se enquadra como classe II de agressividade moderada.

Quadro 5 – Classe de agressividade ambiental

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana ^{1), 2)}	Pequeno
		Marinha ¹⁾	
III	Forte	Industrial ^{1), 2)}	Grande
		Industrial ^{1), 2)}	
IV	Muito Forte	Respingos de maré	Elevado

Fonte: ABNT NBR 6118:2003

Ainda de acordo com ABNT NBR 6118:2003, no Quadro 6, determina que o cobrimento nominal para a classe II de agressividade ambiental deve ser de 25 mm para as lajes e 30 mm para as vigas, sapatas e pilares.

Quadro 6 – Cobrimento nominal para cada classe de agressividade ambiental

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental			
		I	II	III	IV
		Cobrimento nominal mm			
Concreto armado	Laje ²⁾	20	25	35	45
	Viga/Pilar	25	30	40	50
Concreto protendido ¹⁾	Todos	30	35	45	55

Fonte: ABNT NBR 6118:2003

Para o concreto das lajes, vigas e pilares foi adotado um f_{ck} de 30 MPa, já para as sapatas o f_{ck} foi de 25 MPa e considerado um peso específico do concreto de 2500 kgf/m³, os mesmos parâmetros adotados para a obra da reitoria.

Em relação ao agregado graúdo foi adotado brita 1 com dimensões máximas de 19 mm e nas armaduras se utilizou aço CA-50 e CA-60.

Assim, os dados foram lançados no Eberick de acordo como mostra a Figura 21.

Figura 21 – Características adotadas no projeto para os materiais e durabilidade

Materiais e durabilidade

Aplicação
 Projeto inteiro
 Por pavimento

Pavimento
 Área Reservatórios
 1 Pav
 2 Pav
 3 Pav
 4 Pav

Avisos
 Todas as informações estão definidas corretamente
 Detalhes...

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

Geral
 Classe de agressividade: II (moderada)
 Dimensão do agregado: 19 mm
 Controle rigoroso nas dimensões dos elementos

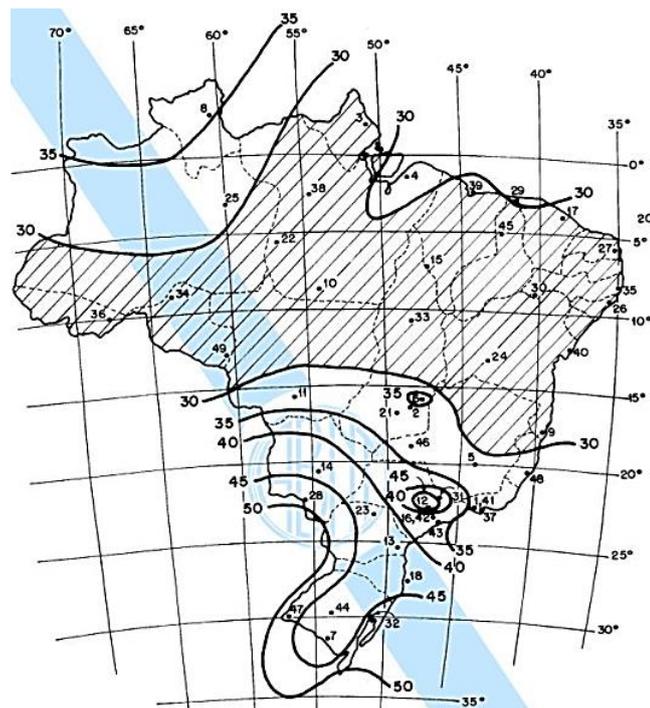
Abertura máxima das fissuras
 Contato com o solo: 0.2 mm
 Contato com a água: 0.1 mm
 Demais peças: 0.3 mm

Elementos	Concreto	Cobrimento (peças externas)	Cobrimento (peças internas)	Bitolas...
Vigas	C-30	3 cm	3 cm	Bitolas...
Pilares	C-30	3 cm	3 cm	Bitolas...
Lajes	C-30	2.5 cm		Bitolas...
Reservatórios	C-30	3 cm		Bitolas...
Blocos	C-30	3 cm		Bitolas...
Sapatas	C-25	3 cm		Bitolas...
Tubulões	C-20	3 cm		Bitolas...
Muros	C-25	3 cm		Bitolas...
Radier	C-25	3 cm		Bitolas...

Fonte: Autoria própria (2020).

Para a velocidade do vento foi adotado 33 m/s de acordo com a Figura 22 da ABNT NBR 6123:1988.

Figura 22 – Isopletas de velocidade básica do vento



Fonte: ABNT NBR 6123:1988

Ainda de acordo com a ABNT NBR 6123:1988, levando em consideração a região em que a nova Reitoria se encontra para o fator de ponderação S_1 , que diz respeito a topografia, foi considerado 1, já em relação ao S_2 , que se trata da rugosidade do terreno, foi considerado de categoria 2 e por fim, o fator S_3 , um fator estatístico que leva em consideração o grau de segurança requerido para a edificação, foi considerado 1.

Na Figura 23 encontram-se esses dados configurados no Eberick.

Figura 23 – Características adotadas no projeto para a ação do vento

Configurações de Vento

Velocidade m/s

Aplicação do Vento

Direção X

Direção Y

Ângulo °

Topografia

Encostas e cristas de morros em que ocorre aceleração do vento. Vales com efeito de afunilamento ($S_1 = 1.1$)

Vales profundos, protegidos de todos os ventos ($S_1 = 0.9$)

Demais casos ($S_1 = 1.0$)

Edificação

Nível do solo cm

Maior dimensão horizontal ou vertical

Rugosidade do terreno

Fator Estatístico S_3

Edificações cuja ruína total ou parcial pode afetar a segurança ou possibilidade de socorro a pessoas após uma tempestade destrutiva (hospitais, quartéis de bombeiros e de forças de segurança, centrais de comunicações, etc.): 1.10

Edificações para hotéis e residências. Edificações para comércio e indústria com alto fator de ocupação: 1.00

Edificações e instalações industriais com baixo fator de ocupação (depósitos, silos, construções rurais, etc.): 0.95

Fonte: Autoria própria (2020).

Segundo a ABNT NBR 6120:2019 as cargas permanentes são constituídas pelas cargas do peso próprio da estrutura somado com os demais elementos construtivos fixos e instalações permanentes como forro, piso cerâmico entre outros. Ainda de acordo com essa norma, as cargas acidentais são as cargas que atuam sobre a edificação em função de seu uso como: pessoas, móveis, materiais diversos, veículos entre outros.

Como a Reitoria é um bloco administrativo que tem como função atender ao público, sediar reuniões, guardar documentos entre outras atividades, as cargas acidentais consideradas foram de 300 kgf/m² para os pavimentos tipos e 200 kgf/m²

para a cobertura. Já para as cargas permanentes, por ter sido utilizado forro de placa mineral e piso em granito, foi considerado 120 kgf/m² para os pavimentos tipos e 60 kgf/m² para a cobertura, que foi apenas revestida com manta asfáltica.

E para as cargas da alvenaria foi considerado um peso específico de 1300 Kgf/m³ com espessuras de 15 cm e pé direito de 3,20 metros, que pode ser observado na Figura 24.

Figura 24 – Características adotadas do projeto para a carga de parede

Parede

Dimensões

Altura 320 cm

Espessura 15 cm

Peso 1300 kgf/m³

Carga total 624.00 kgf/m

Aberturas

Inserir

Editar

Excluir

OK Cancelar Ajuda

Fonte: Autoria própria (2020).

Depois que todos os parâmetros foram definidos e que as estruturas pré-dimensionadas foram lançadas no software se iniciou o processamento delas. Nessa etapa foram ajustadas as direções dos pilares, dimensões dos elementos entre outros fatores, com o intuito de obedecer a hierarquia já pré-estabelecida. Foram feitas as análises do Estado Limites Último (ELU) e Estado Limites de Serviço (ELS) por meio da grelha não linear. Uma vez sendo processada as estruturas e não apresentando erros passou-se para a próxima etapa que foi a análise de custos.

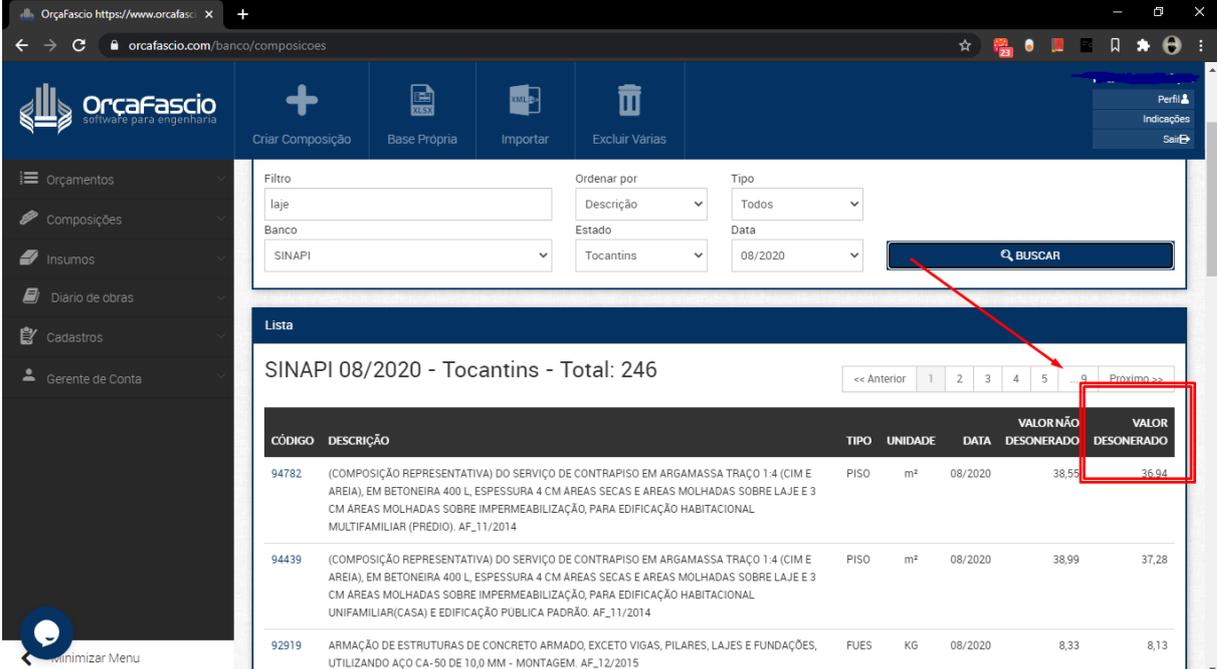
3.3 Composições de custos

Para a parte de orçamentação foram utilizados dois softwares online gratuitos como recurso de pesquisa, o OrçaFascio e o ORSE. Os bancos de dados consultados neles são banco de dados reconhecidos e utilizados por instituições federais e estaduais para a orçamentação de obras públicas.

Com o intuito de se comparar os três sistemas estruturais, foram realizados somente os orçamentos da parte estrutural, levando em consideração os insumos e serviços para cada elemento de estudo. Algumas composições sofreram alterações pois as disponibilizadas pelo SINAPI e ORSE não correspondiam completamente com as utilizadas no projeto, dessa forma elas foram adaptadas para o que realmente foi utilizado em projeto. As composições alteradas foram detalhadas e se encontram disponíveis para consulta no Apêndice A.

Os preços utilizados como base do banco de dados da SINAPI são do mês 08 de 2020 assim como os do ORSE, que também são da mesma data. Já os preços levados em conta foram os valores desonerados como mostra a Figura 25, pois de acordo com o Tribunal de Contas da União (2014) na orçamentação de edificações públicas desoneradas, assim como foi a da Reitoria, é obrigatório a utilização do percentual de encargos sociais considerando a desoneração da folha de pagamento.

Figura 25 – Valor desonerado tomado como referência



The screenshot shows the OrcaFascio web application interface. The search filters are set to 'laje' (slab), 'SINAPI' bank, 'Tocantins' state, and '08/2020' date. The search results show a total of 246 items. The table below displays the search results for 'SINAPI 08/2020 - Tocantins'.

CÓDIGO	DESCRIÇÃO	TIPO	UNIDADE	DATA	VALOR NÃO DESONERADO	VALOR DESONERADO
94782	(COMPOSIÇÃO REPRESENTATIVA) DO SERVIÇO DE CONTRAPISO EM ARGAMASSA TRAÇO 1:4 (CIM E AREIA), EM BETONEIRA 400 L, ESPESSURA 4 CM ÁREAS SECAS E ÁREAS MOLHADAS SOBRE LAJE E 3 CM ÁREAS MOLHADAS SOBRE IMPERMEABILIZAÇÃO, PARA EDIFICAÇÃO HABITACIONAL MULTIFAMILIAR (PRÉDIO). AF_11/2014	PISO	m²	08/2020	38,55	36,94
94439	(COMPOSIÇÃO REPRESENTATIVA) DO SERVIÇO DE CONTRAPISO EM ARGAMASSA TRAÇO 1:4 (CIM E AREIA), EM BETONEIRA 400 L, ESPESSURA 4 CM ÁREAS SECAS E ÁREAS MOLHADAS SOBRE LAJE E 3 CM ÁREAS MOLHADAS SOBRE IMPERMEABILIZAÇÃO, PARA EDIFICAÇÃO HABITACIONAL UNIFAMILIAR(CASA) E EDIFICAÇÃO PÚBLICA PADRÃO. AF_11/2014	PISO	m²	08/2020	38,99	37,28
92919	ARMAÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO, EXCETO VIGAS, PILARES, LAJES E FUNDAÇÕES, UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 10,0 MM - MONTAGEM. AF_12/2015	FUES	KG	08/2020	8,33	8,13

Fonte: Autoria própria (2020).

O resultado final se encontra no Quadro 7.

Quadro 7 – Composições utilizadas para a precificação

CÓDIGO	DESCRIÇÃO	UNID	DATA	CUSTO TOTAL
Concreto				
Composição 1	92720/SINAPI (alterada) CONCRETAGEM DE PILARES, FCK = 30 MPA, COM USO DE BOMBA EM EDIFICAÇÃO COM SEÇÃO MÉDIA DE PILARES MENOR OU IGUAL A 0,25 M ² - LANÇAMENTO, ADENSAMENTO E ACABAMENTO. AF_12/2015	m ³	08/2020	385,90
Composição 2	92724/SINAPI (alterada) CONCRETAGEM DE VIGAS E LAJES, FCK=30 MPA, PARA LAJES PREMOLDADAS COM USO DE BOMBA EM EDIFICAÇÃO COM ÁREA MÉDIA DE LAJES MAIOR QUE 20 M ² - LANÇAMENTO, ADENSAMENTO E ACABAMENTO. AF_12/2015	m ³	08/2020	384,30
Composição 3	92726/SINAPI (alterada) CONCRETAGEM DE VIGAS E LAJES, FCK=30 MPA, PARA LAJES MACIÇAS OU NERVURADAS COM USO DE BOMBA EM EDIFICAÇÃO COM ÁREA MÉDIA DE LAJES MAIOR QUE 20 M ² - LANÇAMENTO, ADENSAMENTO E ACABAMENTO. AF_12/2015	m ³	08/2020	381,51
Composição 4	96558/SINAPI (alterada) CONCRETAGEM DE SAPATAS, FCK 25 MPA, COM USO DE BOMBA -LANÇAMENTO, ADENSAMENTO E ACABAMENTO. AF_11/2016	m ³	08/2020	386,02
Aço				
92791/SINAPI	CORTE E DOBRA DE AÇO CA-60, DIÂMETRO DE 5,0 MM, UTILIZADO EM ESTRUTURAS DIVERSAS . AF_12/2015	KG	08/2020	7,00
92792/SINAPI	CORTE E DOBRA DE AÇO CA-50, DIÂMETRO DE 6,3 MM, UTILIZADO EM ESTRUTURAS DIVERSAS. AF_12/2015	KG	08/2020	6,96
92793/SINAPI	CORTE E DOBRA DE AÇO CA-50, DIÂMETRO DE 8,0 MM, UTILIZADO EM ESTRUTURAS DIVERSAS. AF_12/2015	KG	08/2020	6,88
92794/SINAPI	CORTE E DOBRA DE AÇO CA-50, DIÂMETRO DE 10,0 MM, UTILIZADO EM ESTRUTURAS DIVERSAS. AF_12/2015	KG	08/2020	6,31
92795/SINAPI	CORTE E DOBRA DE AÇO CA-50, DIÂMETRO DE 12,5 MM, UTILIZADO EM ESTRUTURAS DIVERSAS. AF_12/2015	KG	08/2020	5,39
92796/SINAPI	CORTE E DOBRA DE AÇO CA-50, DIÂMETRO DE 16,0 MM, UTILIZADO EM ESTRUTURAS DIVERSAS. AF_12/2015	KG	08/2020	5,33
92797/SINAPI	CORTE E DOBRA DE AÇO CA-50, DIÂMETRO DE 20,0 MM, UTILIZADO EM ESTRUTURAS DIVERSAS. AF_12/2015	KG	08/2020	6,26
92798/SINAPI	CORTE E DOBRA DE AÇO CA-50, DIÂMETRO DE 25,0 MM, UTILIZADO EM ESTRUTURAS DIVERSAS. AF_12/2015	KG	08/2020	6,24
Forma Geral				
92430/SINAPI	MONTAGEM E DESMONTAGEM DE FÔRMA DE PILARES RETANGULARES E ESTRUTURAS SIMILARES COM ÁREA MÉDIA DAS SEÇÕES MENOR OU IGUAL A 0,25 M ² , PÉ-DIREITO SIMPLES, EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA PLASTIFICADA, 10 UTILIZAÇÕES. AF_12/2015	m ²	08/2020	38,50
92467/SINAPI	MONTAGEM E DESMONTAGEM DE FÔRMA DE VIGA, ESCORAMENTO COM GARFO DE MADEIRA, PÉ-DIREITO SIMPLES, EM CHAPA DE MADEIRA PLASTIFICADA, 10 UTILIZAÇÕES. AF_12/2015	m ²	08/2020	57,54
96541/SINAPI	FABRICAÇÃO, MONTAGEM E DESMONTAGEM DE FÔRMA PARA SAPATA, EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA RESINADA, E=17 MM, 4 UTILIZAÇÕES. AF_06/2017	m ²	08/2020	126,78
Forma Maciça				
Composição 5	92526/SINAPI (alterada): MONTAGEM E DESMONTAGEM DE FÔRMA DE LAJE MACIÇA COM ÁREA MÉDIA MAIOR QUE 20 M ² , PÉ-DIREITO SIMPLES, EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA PLASTIFICADA, 10 UTILIZAÇÕES. AF_12/2015	m ²	08/2020	18,07
Forma Trelaçada				
Composição 6	LAJE PRÉ-FABRICADA TRELIÇADA PARA PISO OU COBERTURA, H=16CM, EL. ENCHIMENTO EM BLOCO EPS, H=12CM	m ²	08/2020	68,09
Forma Nervurada				
Composição 7	92494/SINAPI (alterada): MONTAGEM E DESMONTAGEM DE FÔRMA DE LAJE NERVURADA COM CUBETA E ASSOALHO COM ÁREA MÉDIA MAIOR QUE 20 M ² , PÉ-DIREITO SIMPLES, EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA RESINADA, 10 UTILIZAÇÕES. AF_12/2015	m ²	08/2020	38,26

Fonte: SINAPI e ORSE (adaptado pelo autor).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo contempla os resultados retirados dos projetos realizados de acordo com os procedimentos descritos no capítulo anterior. Os resultados alcançados foram dispostos primeiramente em relação ao quantitativo dos materiais e em seguida suas comparações quanto ao preço. Devido ao fato de que os três projetos possuem vários elementos estruturais e que o objetivo desse trabalho é o comparativo de custos resultante de três sistemas estruturais variando o tipo de lajes, foram apresentados apenas o detalhamento de alguns elementos estruturais. No Apêndice B, C e D se encontram as plantas de forma do térreo e do pavimento tipo dos três sistemas estruturais além do detalhamento de vigas e pilares de cada sistema estrutural.

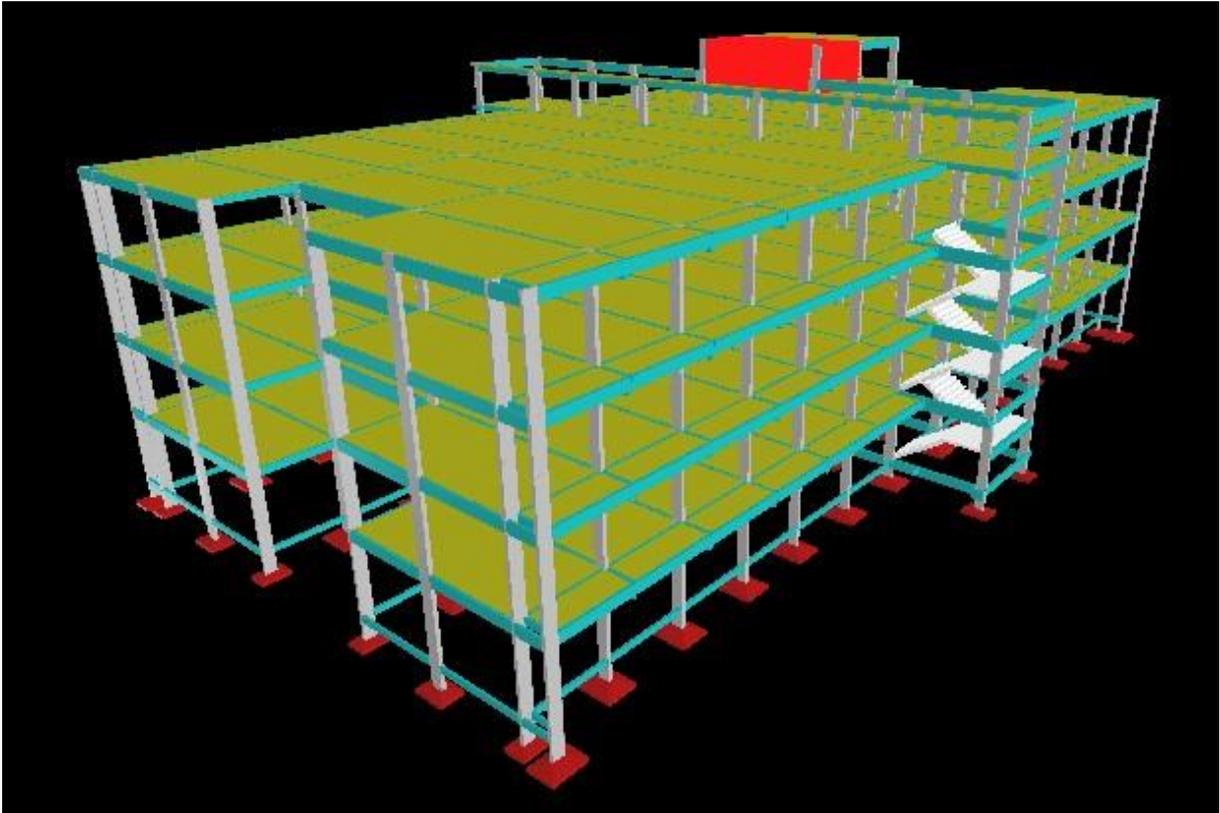
Vale destacar que dentre os três modelos estruturais, os quantitativos das escadas e reservatórios foram muito semelhantes, apresentando uma variação inferior a 1% entre os modelos. Dessa forma, para um melhor foco na análise das vigas, pilares, lajes e fundações, os quantitativos das escadas e reservatórios não foram inclusos no quantitativo geral para comparação.

Os valores utilizados para os quantitativos de materiais foram gerados pelo Eberick após a finalização de cada projeto. Neles são discriminados os quantitativos de aço, forma e concreto para cada um dos elementos estudados nesse projeto.

4.1 Sistema de laje maciça

Os resultados obtidos pelo dimensionamento do projeto estrutural com lajes maciças estão dispostos a seguir. A Figura 26 é o modelo 3D gerado pelo Eberick que permite uma visão geral da estrutura.

Figura 26 – Modelo 3D do sistema de laje maciça



Fonte: Autoria própria (2020).

O Quadro 8 apresenta o consumo de aço por diâmetro, demonstrando que a estrutura teve um consumo de aço de 33.112,4 kg para as vigas, 13.384,4 kg para os pilares, 52.580,3 kg para as lajes e 3.691,7 kg para as fundações.

Quadro 8 – Consumo de aço por diâmetro

Aço	Diâmetro	Peso + 10 % (kg)			
		Vigas	Pilares	Lajes	Fundações
CA50	6,3	4417,6	0	12813,1	3,9
CA50	8	4749,9	0	12075	140,7
CA50	10	4619,4	7774	25897,5	330,9
CA50	12,5	4304,5	1077,1	873,9	2799,2
CA50	16	4247,7	527,2	0	417
CA50	20	5048,8	216,6	0	0
CA50	22,2	1405,5	0	0	0
CA60	5	4319	3789,5	920,8	0
Total:		33112,4	13384,4	52580,3	3691,7

Fonte: Autoria própria (2020)

Já no Quadro 9 estão dispostos os volumes de concreto e formas utilizados em cada elemento. Pode-se observar que as lajes apresentaram o maior consumo de concreto (531,3 m³) e forma (6126,8 m²) enquanto as fundações foram as que tiveram o menor consumo de concreto (62,2 m³) e forma (98,8 m²).

Quadro 9 – Consumo de concreto e formas por elementos

		Vigas	Pilares	Lajes	Fundações
Volume concreto (m ³)	C-25				62,2
	C-30	373	161,7	531,3	
	Total	373	161,7	531,3	62,2
Área de forma (m ²)		4930,8	2198,2	6126,8	98,8

Fonte: Autoria própria (2020)

Dessa forma o Quadro 10 apresenta os dados processados que foram calculados pela multiplicação do consumo de cada material com seus respectivos valores, antes apresentados no Quadro 7.

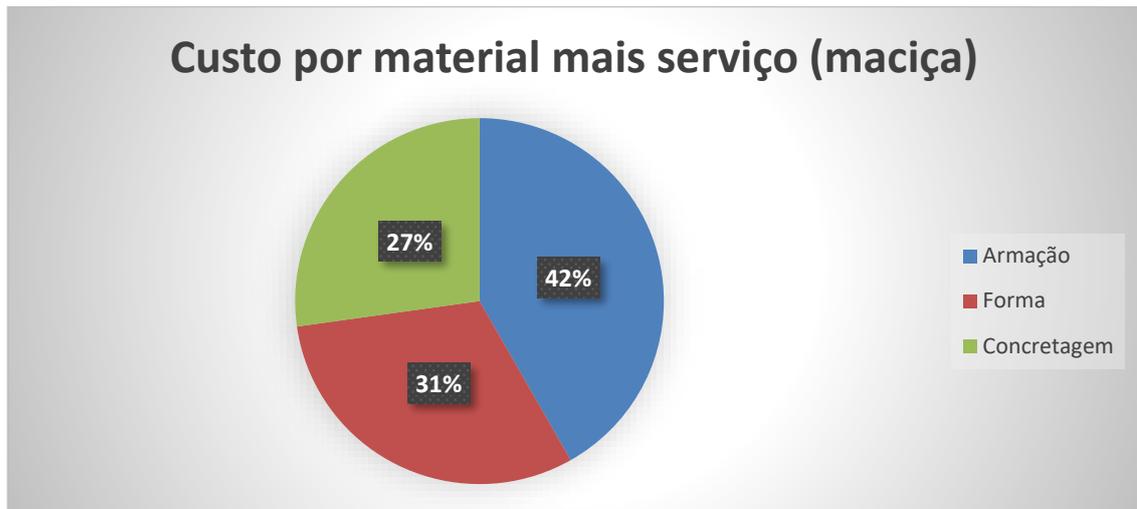
Quadro 10 – Custos para o sistema de laje maciça

Maciça				
Serviços	Vigas	Pilares	Lajes	Sapatas
Armação	R\$ 209.024,53	R\$ 85.551,90	R\$ 346.824,32	R\$ 20.393,44
Forma	R\$ 283.718,23	R\$ 84.630,70	R\$ 110.698,72	R\$ 12.525,86
Concretagem	R\$ 142.302,51	R\$ 62.400,73	R\$ 202.695,24	R\$ 24.010,63
Total	R\$ 635.045,27	R\$ 232.583,33	R\$ 660.218,28	R\$ 56.929,93

Fonte: Autoria própria (2020)

Ao se analisar os custos, que é o principal objetivo desse trabalho, o Gráfico 6 apresenta a participação em porcentagem dos custos por material e seus serviços necessários para realiza-los. Enquanto o Gráfico 7 demonstra os custos por elementos para a laje maciça. Ao se somar os custos totais de cada elemento do Quadro 10 é revelado que o custo total final do sistema de laje maciça foi de R\$ 1.584.776,81.

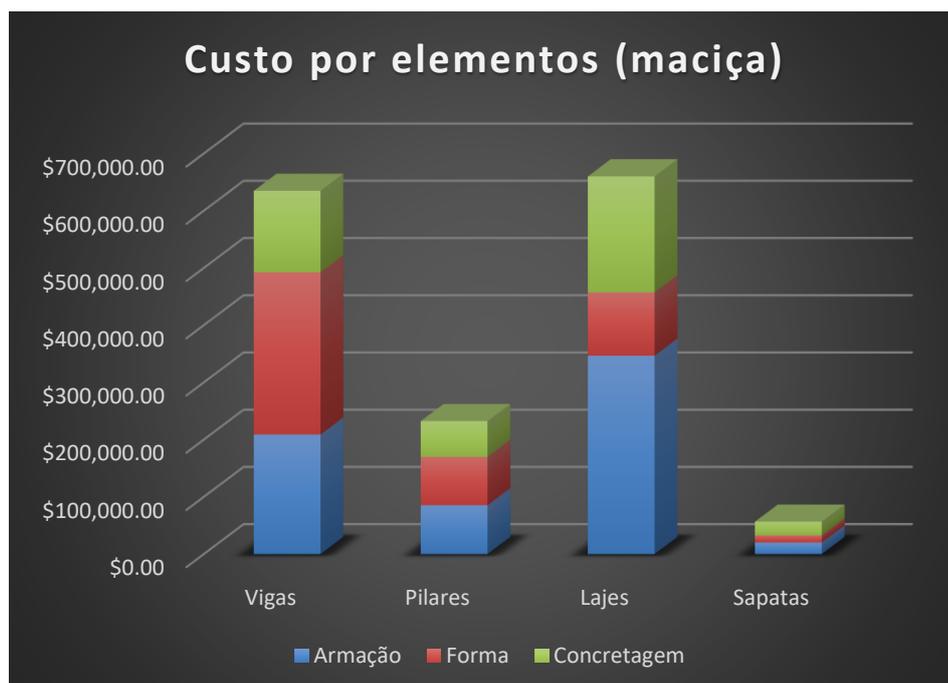
Gráfico 6 – Custo por material mais serviço



Fonte: Autoria própria (2020)

Nota-se no Gráfico 6 que para o sistema de laje maciça a armação, que contabiliza os insumos mais os serviços para realiza-la, obteve o maior custo com 42% do preço total seguido da forma com 31% e por fim a concretagem com 27% de participação do preço final. Esse resultado já era esperado pois, de acordo com a literatura de Lopes (2012), uma das desvantagens das lajes maciças é o elevado consumo de aço, forma e escoras, que coincide com os resultados apresentados nos Gráficos 6 e 7.

Gráfico 7 – Custo por elementos



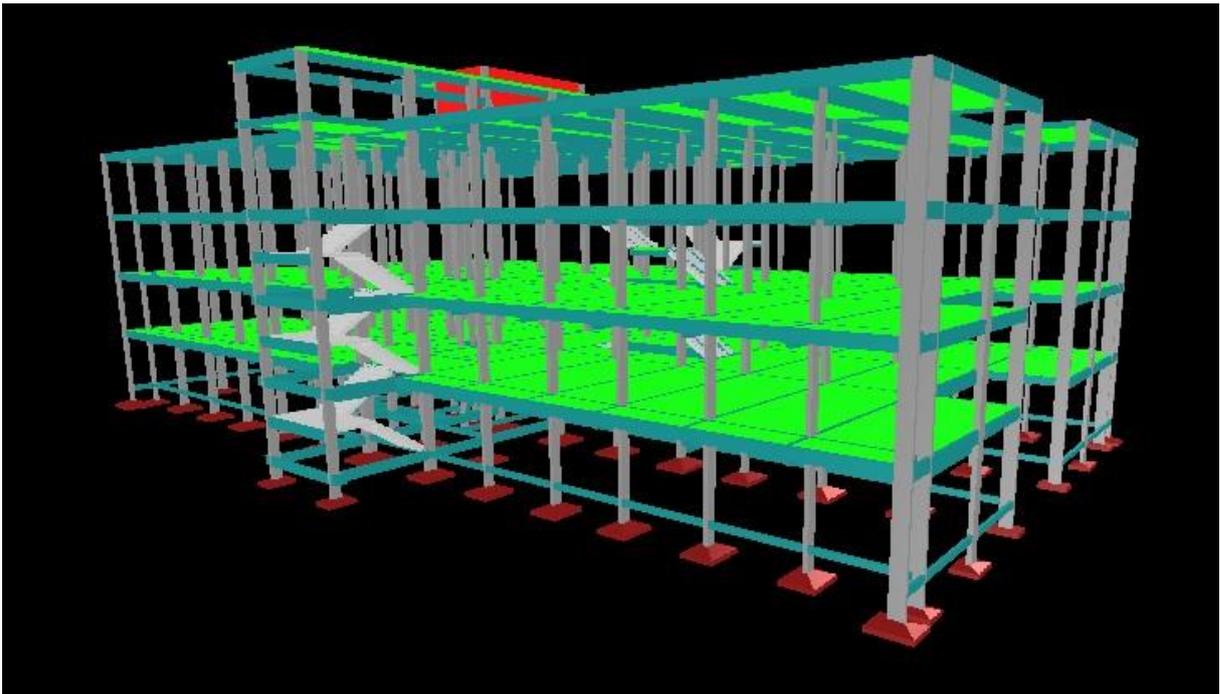
Fonte: Autoria própria (2020)

Já o Gráfico 7 demonstra que os dois maiores custos por elementos são a as lajes e as vigas respectivamente, e os que menos interferiram nos custos foram os pilares e sapatas. Esses dados estão semelhantes aos estudos de Nervo (2012) que apontou as lajes, para o sistema de lajes maciças, como o elemento de maior custo, com 37% de participação do custo total.

4.2 Sistema de laje treliçada

Os resultados obtidos pelo dimensionamento do projeto estrutural com lajes de vigotas treliçadas estão dispostos a seguir, a Figura 27 é o modelo 3D gerado pelo Eberick que permite uma visão geral da estrutura.

Figura 27 – Modelo 3D do sistema de laje treliçada



Fonte: Autoria própria (2020).

O Quadro 11 apresenta o consumo de aço por diâmetro, demonstrando que a estrutura teve um consumo de aço de 29.855,3 kg para as vigas, 12.591,3 kg para os pilares, 3.592,4 kg para as lajes e 3.428,6 kg para as fundações. Vale destacar que o sistema de laje treliçada possuem uma característica única que são as vigotas treliçadas, que são elementos de concreto armado pré-fabricados que quando em

conjunto com blocos cerâmicos, ou no caso desse projeto os EPS, eles servem como formas. Esses elementos pré-fabricados apesar de possuírem em sua constituição aço e concreto, eles não foram considerados nos quantitativos de aço e concreto, mas sim nos quantitativos de forma e por consequência sua precificação também foi avaliada juntamente com as formas.

Quadro 11 – Consumo de aço por diâmetro

Aço	Diâmetro	Peso + 10 % (kg)			
		Vigas	Pilares	Lajes	Fundações
CA50	6,3	4414,1	0	2071,7	3,4
CA50	8	5336,6	0	898,8	138,4
CA50	10	5490,2	7960,3	470,5	793,3
CA50	12,5	4963,9	814,6	36,9	2187,7
CA50	16	2004,9	0	41,6	305,8
CA50	20	2892,6	0	0	0
CA50	22,2	578,5	0	0	0
CA60	5	4174,5	3816,4	72,9	0
Total:		29855,3	12591,3	3592,4	3428,6

Fonte: Autoria própria (2020)

Já no Quadro 12 estão dispostos os volumes de concreto e formas utilizados em cada elemento. Pode-se observar que as lajes apresentaram o maior consumo de concreto (531,3 m³) e forma (6096,8 m²) enquanto as fundações foram as que tiveram o menor consumo de concreto (62,2 m³) e forma (98,8 m²).

Quadro 12 – Consumo de concreto e formas por elementos

		Vigas	Pilares	Lajes	Fundações
Volume concreto (m ³)	C-25				62,2
	C-30	373	161,7	531,3	
	Total	373	161,7	531,3	62,2
Área de forma (m ²)		4930,8	2198,2	6096,8	98,8

Fonte: Autoria própria (2020)

Dessa forma o Quadro 13 apresenta os dados processados que foram calculados pela multiplicação do consumo de cada material com seus respectivos valores, antes apresentados no Quadro 7.

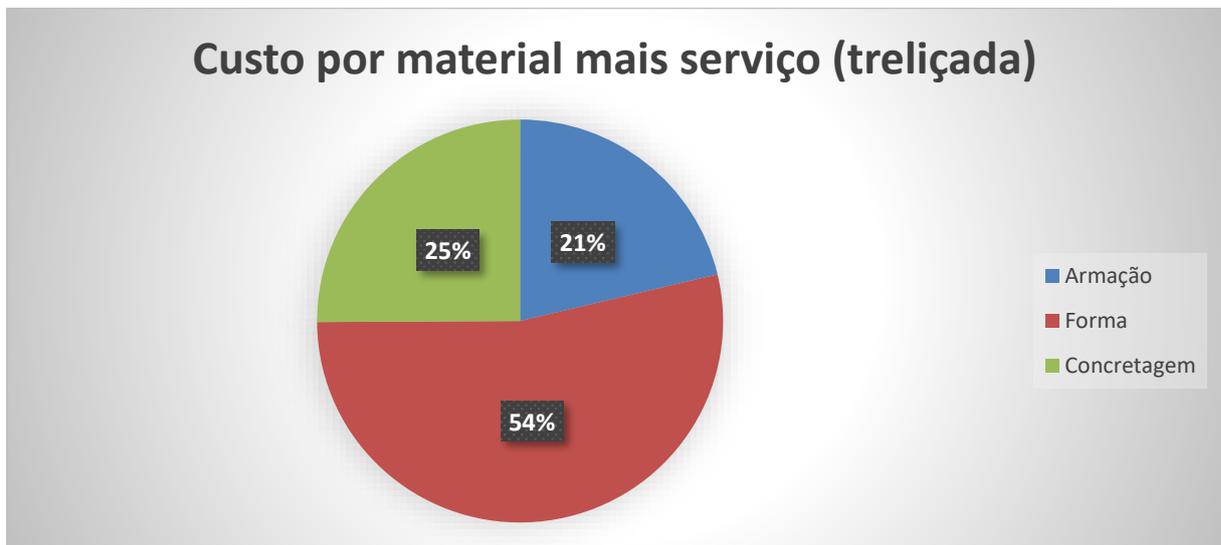
Quadro 13 – Custos para o sistema de laje treliçada

Treliçada				
Serviços	Vigas	Pilares	Lajes	Sapatas
Armação	R\$ 190.461,66	R\$ 81.334,99	R\$ 24.502,55	R\$ 19.403,20
Forma	R\$ 283.718,23	R\$ 84.630,70	R\$ 415.134,34	R\$ 12.361,05
Concretagem	R\$ 143.344,44	R\$ 62.400,73	R\$ 143.421,30	R\$ 22.968,37
Total	R\$ 617.524,33	R\$ 228.366,42	R\$ 583.058,19	R\$ 54.732,61

Fonte: Autoria própria (2020)

Ao se analisar os custos, que é o principal objetivo desse trabalho, se tem os seguintes resultados representados nos Gráficos 8 e 9 que mostram a participação que cada material apresenta em porcentagem e o custo por elemento. Ao se somar os custos totais de cada elemento do Quadro 13 é revelado que o custo total final do sistema de laje treliçada foi de R\$ 1.483.681,56.

Gráfico 8 – Custo por material mais serviço

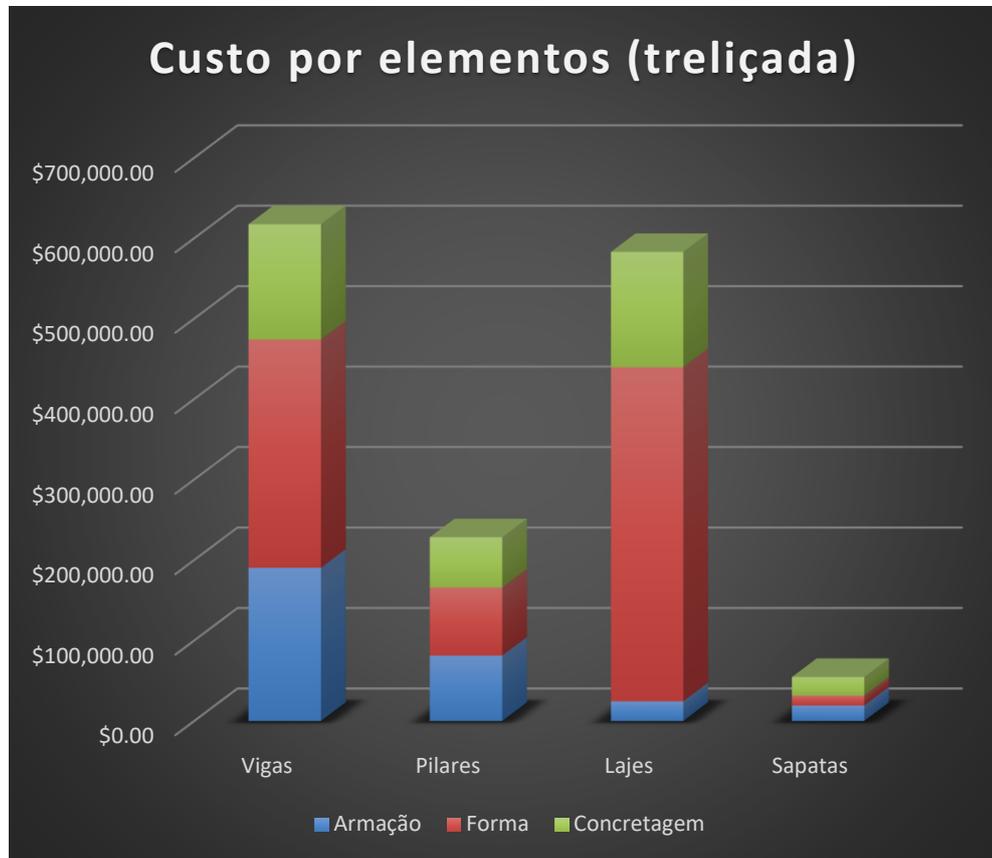


Fonte: Autoria própria (2020)

Nota-se no Gráfico 8 que para o sistema de laje treliçada o material mais o serviço necessário para realiza-lo, com maior custo foi a forma com 54% do preço

total seguido da concretagem com 25% e por fim a armação com 21% de participação do preço final.

Gráfico 9 – Custo por elementos



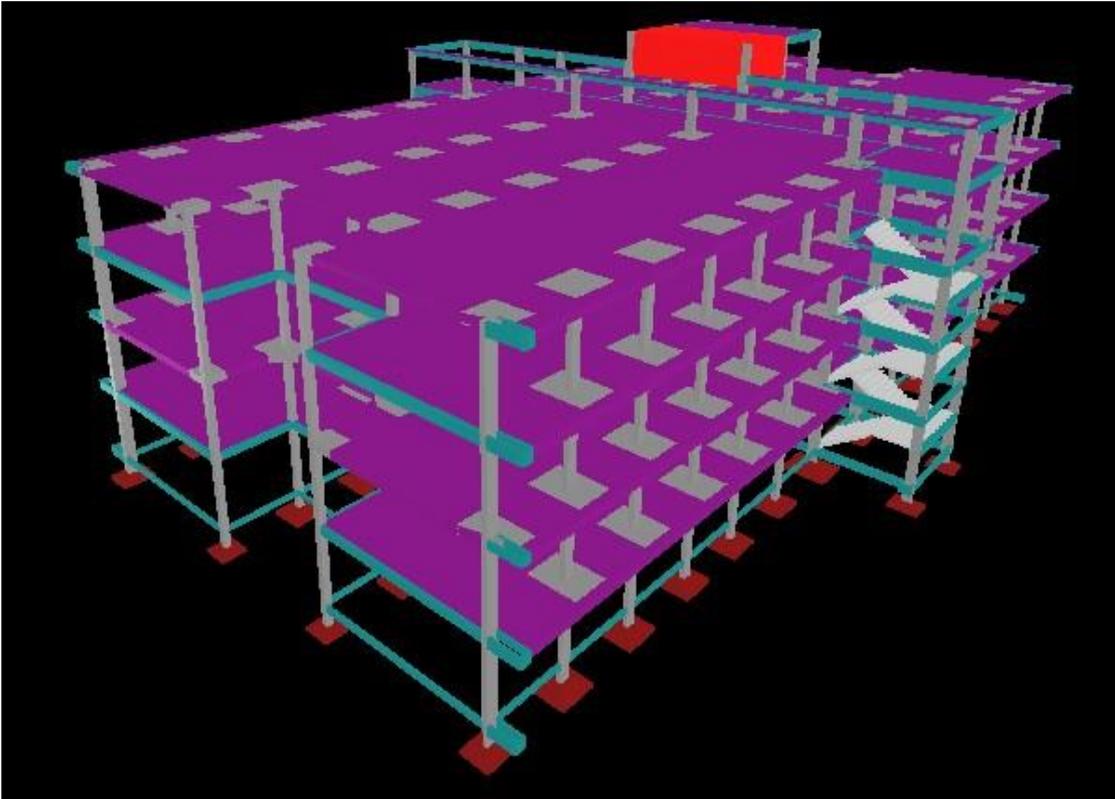
Fonte: Autoria própria (2020)

Já o Gráfico 9 demonstra que os dois maiores custos por elementos são as vigas e as lajes respectivamente, diferentemente do sistema de laje maciça que as lajes foram as mais caras, e os que menos interferiram nos custos foram os pilares e sapatas. Essa diferença para o sistema de laje maciça se deu, possivelmente, pelo fato da grande economia de materiais que as lajes de vigotas treliçadas promovem além de ser um sistema já bem utilizado na construção civil o que causa um barateamento nos custos com mão de obra.

4.3 Sistema de laje nervurada

Os resultados obtidos pelo dimensionamento do projeto estrutural com lajes nervuradas com cubetas plásticas estão dispostos a seguir. A Figura 28 apresenta o modelo 3D gerado pelo Eberick que permite uma visão geral da estrutura.

Figura 28 – Modelo 3D do sistema de laje nervurada



Fonte: Autoria própria (2020).

O Quadro 14 apresenta o consumo de aço por diâmetro, demonstrando que a estrutura teve um consumo de aço de 10.217,5 kg para as vigas, 16.373,7 kg para os pilares, 89.694,7 kg para as lajes e 5.543,5 kg para as fundações.

Quadro 14 – Consumo de aço por diâmetro

Aço	Diâmetro	Peso + 10 % (kg)			
		Vigas	Pilares	Lajes	Fundações
CA50	6,3	1018,4	55,9	2022	0
CA50	8	2328,7	0	17956,1	0
CA50	10	2004,7	7000,9	18938,7	278,7
CA50	12,5	1457,6	2052,7	22530,8	2065,6
CA50	16	1133,8	1135,4	16000,4	3199,2
CA50	20	842,6	1493,8	3549	0
CA50	22,2	702,1	600,8	3617,9	0
CA50	25	0	165,3	0	0
CA60	5	1748	3924,8	7101,8	0
Total:		10217,5	16373,7	89694,7	5543,5

Fonte: Autoria própria (2020)

Já no Quadro 15 estão dispostos os volumes de concreto e formas utilizados em cada elemento. Pode-se observar que as lajes apresentaram o maior consumo de concreto (1306 m³) e forma (6096,8 m²) enquanto as fundações foram as que tiveram o menor consumo de concreto (82,3 m³) e forma (102,3 m²).

Quadro 15 – Consumo de concreto e formas por elementos

		Vigas	Pilares	Lajes	Fundações
Volume concreto (m ³)	C-25				82,3
	C-30	142,1	176,5	1306	
	Total	142,1	176,5	1306	82,3
Área de forma (m ²)		1846,6	2046,4	6096,8	102,3

Fonte: Autoria própria (2020)

Dessa forma o Quadro 16 apresenta os dados processados que foram calculados pela multiplicação do consumo de cada material com seus respectivos valores, antes apresentados no Quadro 7.

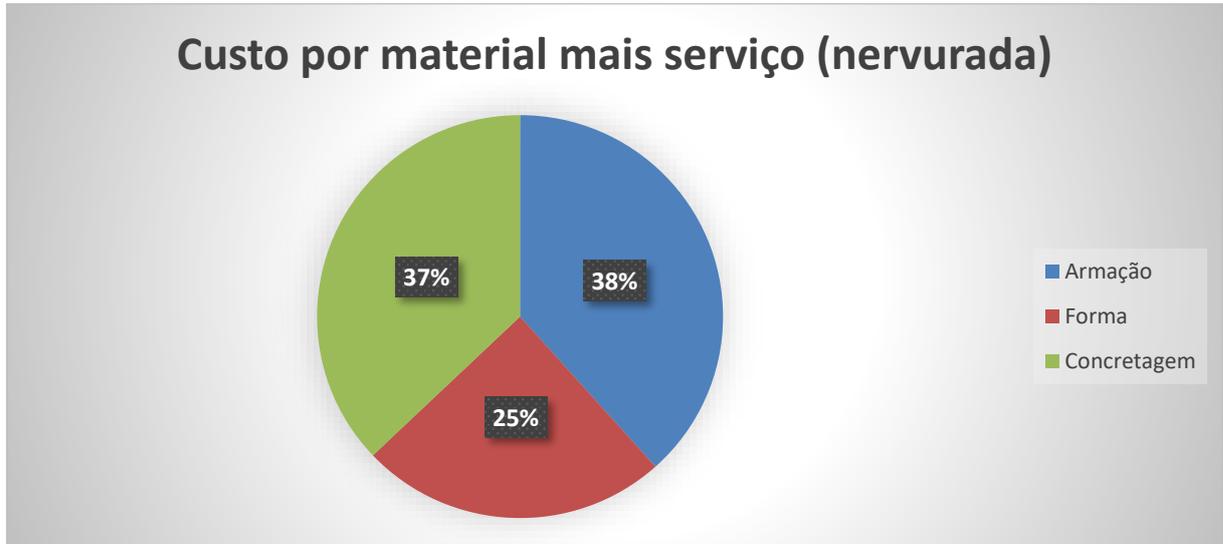
Quadro 16 – Custos para o sistema de laje nervurada

Nervurada					
Serviços	Vigas	Pilares	Lajes	Sapatas	
Armação	R\$ 59.314,58	R\$ 76.969,23	R\$ 508.629,87	R\$ 29.943,92	
Forma	R\$ 106.253,36	R\$ 78.786,40	R\$ 233.251,13	R\$ 12.969,59	
Concretagem	R\$ 54.212,30	R\$ 68.112,11	R\$ 498.249,55	R\$ 31.769,69	
Total	R\$ 219.780,24	R\$ 223.867,74	R\$ 1.240.130,55	R\$ 74.683,20	

Fonte: Autoria própria (2020)

Ao se analisar os custos, que é o principal objetivo desse trabalho, se tem os seguintes resultados representados nos Gráficos 10 e 11 que mostram a participação que cada material apresenta em porcentagem e o custo por elemento. Ao se somar os custos totais de cada elemento do Quadro 16 é revelado que o custo total final do sistema de laje nervurada foi de R\$ 1.758.461,73.

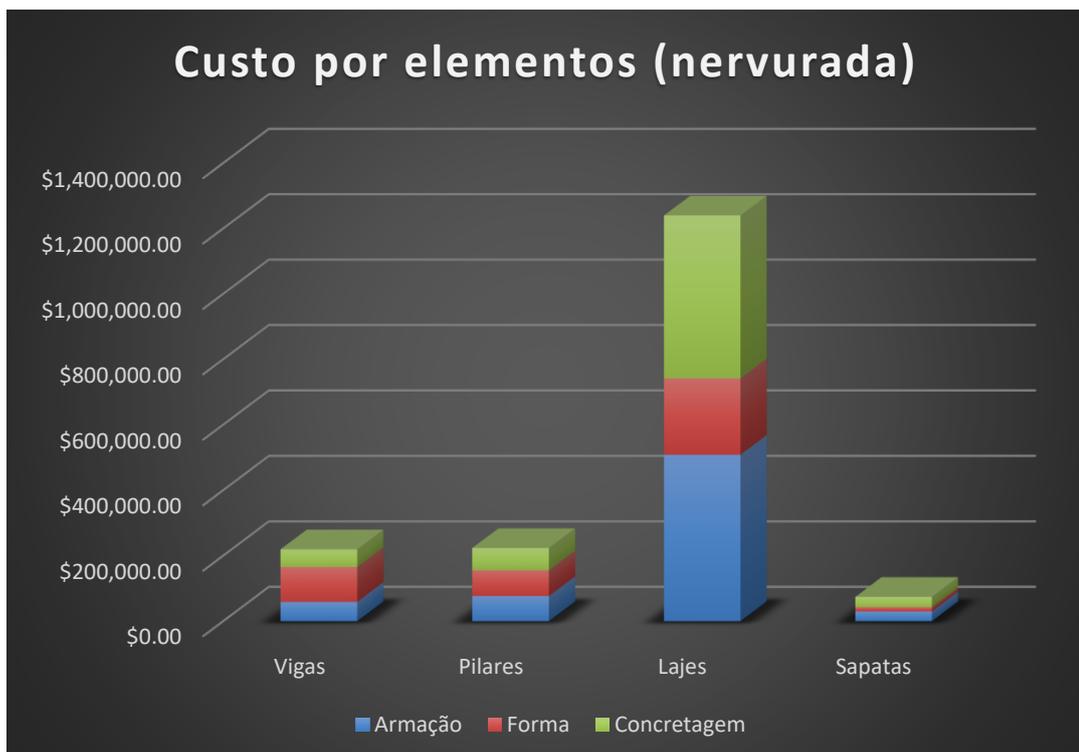
Gráfico 10 – Custo por material mais serviço



Fonte: Autoria própria (2020)

Nota-se no Gráfico 10 que para o sistema de laje nervurada o material, mais os serviços necessários para realiza-los, com maior custo foi a armação com 38% do preço total seguido da concretagem com 37% e por fim a forma com 25% de participação do preço final.

Gráfico 11 – Custo por elementos



Fonte: Autoria própria (2020)

Já o Gráfico 11 demonstra que o maior custo por elementos são as lajes. As vigas e pilares apresentaram custos semelhantes e os que menos interferiram nos custos foram as sapatas. Esse valor expressivo das lajes já era esperado, pois os capiteis, que fazem os papeis das vigas nesse sistema, o de suportar as lajes, são considerados como parte da laje, assim seus materiais são contabilizados nos quantitativos da laje, aumentando ainda mais o preço delas.

4.4 Análises comparativas entre os três sistemas estruturais de lajes

O Quadro 17 apresenta os custos por elementos e os custos totais de cada sistema de lajes, enquanto o Quadro 18 aponta o custo por consumo de materiais mais serviços dentro dos sistemas estruturais.

Quadro 17 – Comparativo de custo por elementos dos sistemas de lajes

	Maciça	Treliçada	Nervurada
Vigas	R\$ 635.045,27	R\$ 617.524,33	R\$ 219.780,24
Pilares	R\$ 232.583,33	R\$ 228.366,42	R\$ 223.867,74
Lajes	R\$ 660.218,28	R\$ 583.058,19	R\$ 1.240.130,55
Sapatas	R\$ 56.929,93	R\$ 54.732,61	R\$ 74.683,20
Total	R\$ 1.584.776,81	R\$ 1.483.681,56	R\$ 1.758.461,73

Fonte: Autoria própria (2020).

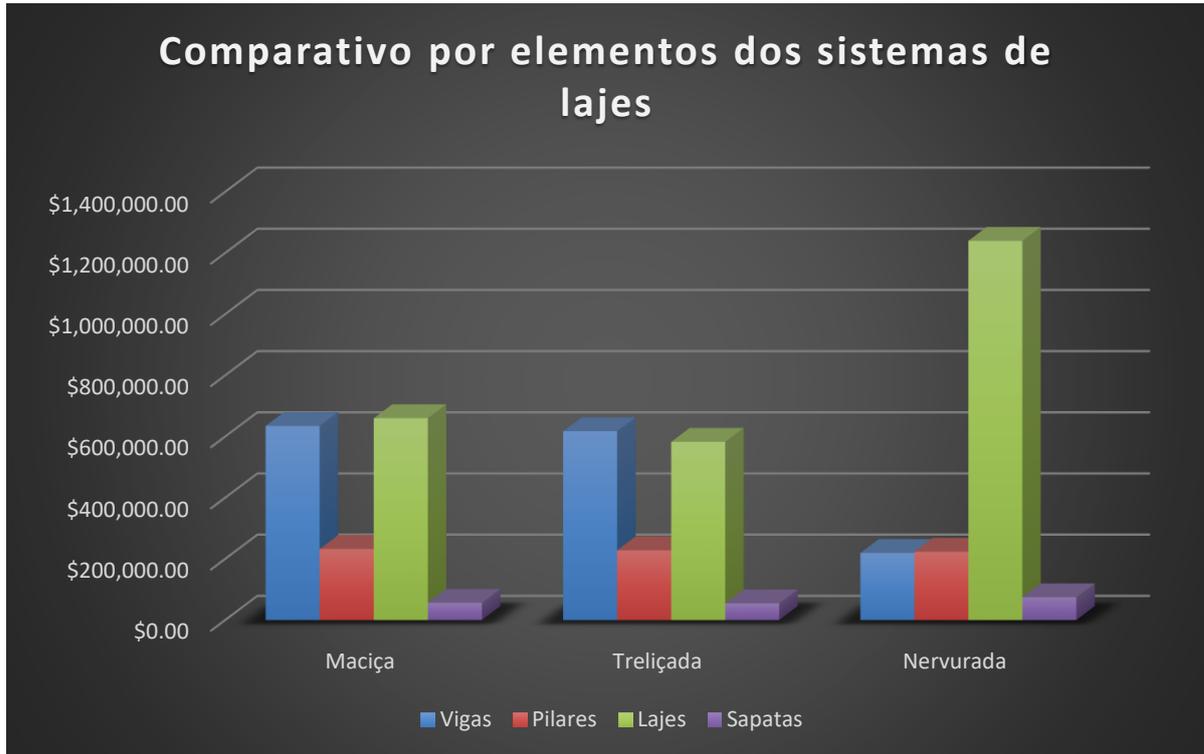
Quadro 18 – Comparativo de custos por materiais mais serviços dos sistemas de lajes

	Armação	Forma	Concretagem
Maciça	\$ 661.794,19	\$ 491.573,51	\$ 431.409,12
Treliçada	\$ 315.702,39	\$ 795.844,33	\$ 372.134,84
Nervurada	\$ 674.857,59	\$ 431.260,49	\$ 652.343,66
Total	\$ 1.652.354,17	\$ 1.718.678,33	\$ 1.455.887,61

Fonte: Autoria própria (2020).

Para uma melhor visualização do que o Quadro 17 apresenta, o Gráfico 12 demonstra que os sistemas de lajes maciça e treliçada tiveram um comportamento semelhante em relação aos custos de seus elementos, enquanto o sistema de laje nervurada apresenta um custo reduzido das vigas e um elevado custo para as lajes quando comparado com os anteriores.

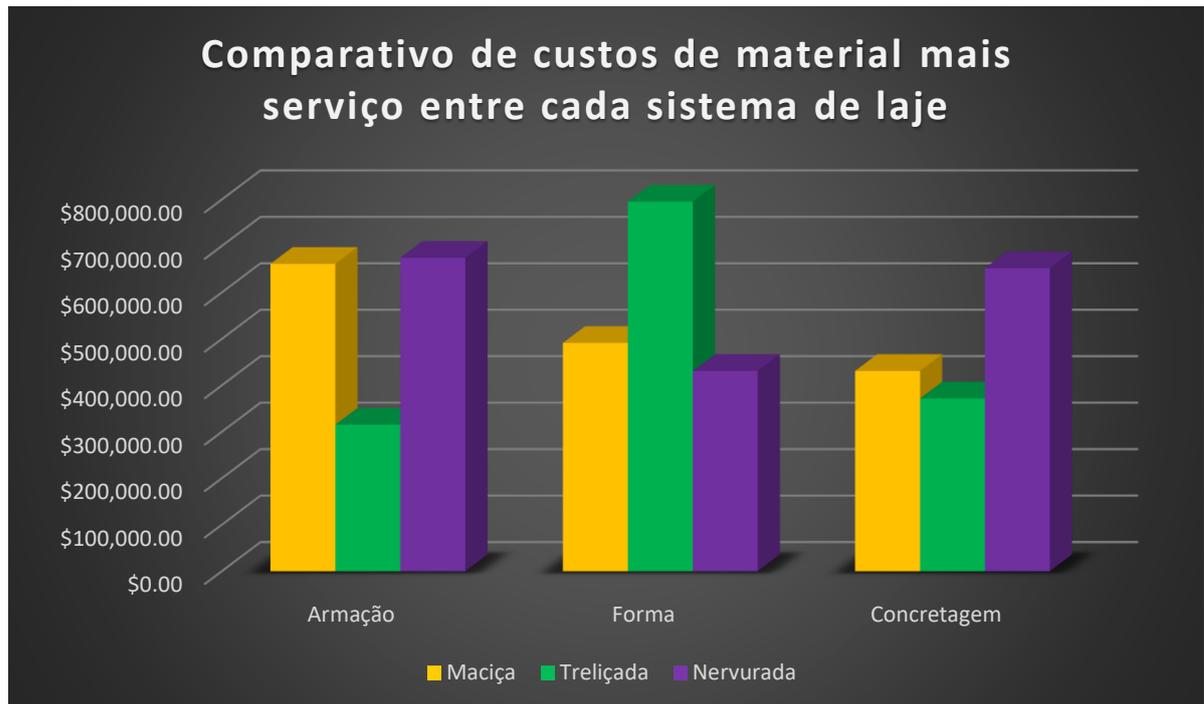
Gráfico 12 – Comparativo por elementos dos sistemas de lajes



Fonte: Autoria própria (2020).

Em relação aos dados do Quadro 18, o Gráfico 13 revela que quanto ao quesito custo de aço os sistemas de lajes nervurada e maciça apresentaram os maiores custos respectivamente e o sistema de laje trelaçada o que menos apresentou gastos. Já quanto aos custos em formas o sistema de laje trelaçada foi o mais caro, apresentando valores na casa dos R\$ 300.000,00 a mais do que os demais sistemas de lajes. Valor este já esperado, pois como explicado anteriormente, essas lajes, do sistema de laje trelaçada, tem uma característica única que são as de vigotas trelaçadas, que são elementos pré-moldados de concreto armado, que servem para ajudar na resistência estrutural, e além disso, já servem como forma. Por fim, em relação ao concreto, o sistema de laje nervurada apresentou os maiores custos na faixa dos R\$ 600.000,00 e o que teve menos gastos envolvidos com esse material foi o sistema de laje trelaçada.

Gráfico 13 – Comparativo de custos de material mais serviço entre cada sistema de laje



Fonte: Autoria própria (2020).

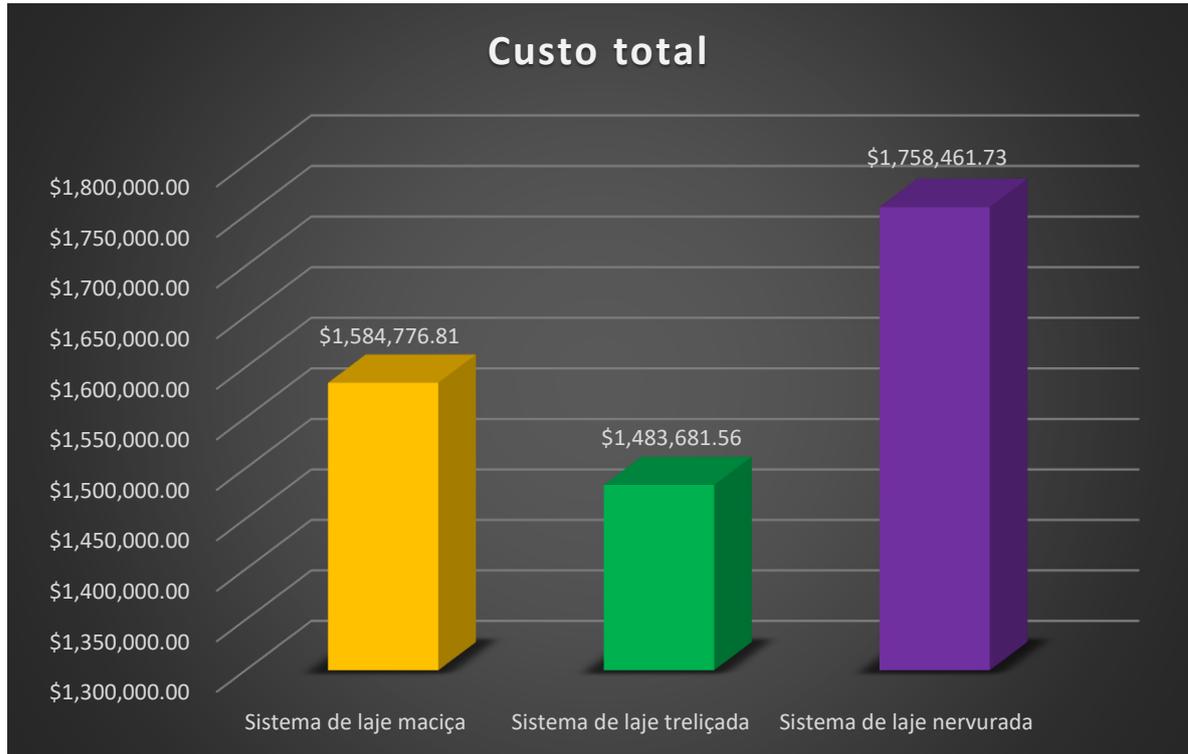
A seguir, na Tabela 1 é apresentado a diferença de custos em reais e em percentual dos sistemas de lajes em relação ao sistema de laje nervurada e o Gráfico 14 apresenta os custos totais por sistemas de lajes.

Tabela 1 – Comparativo de custos totais

	Sistema de laje maciça	Sistema de laje trelaçada	Sistema de laje nervurada
Total	\$ 1.584.776,81	\$ 1.483.681,56	\$ 1.758.461,73
Diferença de custos em reais	-\$173.684,92	-\$274.780,17	\$0,00
Diferença de custos em %	-9,88%	-15,63%	0,00%

Fonte: Autoria própria (2020).

Gráfico 14 – Custo total



Fonte: Autoria própria (2020).

Com os dados apresentados pelo Gráfico 14, conclui-se que o sistema de laje treliçada, que é o sistema estrutural de laje com vigotas treliçadas, foi o que demonstrou o menor custo de construção levando em consideração apenas os materiais e os serviços necessários para sua realização. O sistema de laje treliçada apresentou uma redução de 15,63% nos custos quando comparado com o sistema de laje nervurada e uma diferença de mais de cem mil reais quando comparado com o sistema estrutural convencional do sistema de laje maciça. Ao se comparar o sistema mais barato com o segundo mais barato percebe-se que o custo das vigas, pilares e sapatas foram muito semelhantes e quase não influenciaram na diferença de preço. Quanto as lajes, essas sim que foram o fator mais impactante na diferença de preço, devido a uma maior economia de matérias e a não necessidade de utilizar formas de madeira trouxeram uma economia só nesse elemento de R\$ 77,133.09.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse projeto abordou dois dos principais temas da engenharia civil, que são os projetos estruturais e orçamentação, mas o que foi estudado é só uma parte do que esses dois temas envolvem. A orçamentação engloba diversos outros fatores como o tempo de execução e a disponibilidade da região que também são aspectos importantes a serem analisados antes de se definir o modelo estrutural. Já em relação aos projetos estruturais outro fator que não se pode negligenciar é a compatibilidade da estrutura com os projetos complementares, que pode influenciar diretamente no aspecto econômico e de viabilidade do tipo de estrutura. Mas, apesar disso, ainda assim esse projeto foi bem sucedido em mostrar alguns elementos-chave para uma decisão mais coerente e econômica no que diz respeito ao tipo de laje que se deve adotar para estruturas semelhantes a nova Reitoria da UFT localizada em Palmas no estado do Tocantins.

Os resultados apontaram que a laje de vigota treliçada, nos pontos estudados, foi a laje mais econômica, apresentando uma economia de 15,63% em relação à mais cara (laje nervurada com cubetas plásticas). Embora o fator impacto ambiental não tenha sido objeto de estudo desse trabalho, não se pode deixá-lo de lado, pois o custo, apesar de ser um fator importante, não deve ser absoluto. A laje treliçada além de ser a mais barata, apresentou o melhor desempenho quanto ao consumo de materiais, pois apresentou a maior economia em concreto devido ao sistema de nervuras e devido as vigotas pré-moldadas, não teve uso de formas de madeiras para as lajes. Dessa forma, os resultados corroboram a hipótese inicial e demonstram que os recursos públicos utilizados na construção desse edifício foram bem manejados.

A laje maciça, que é o sistema tradicional de lajes, apresentou uma economia de 9,88% quando comparado com o sistema de laje nervurada com cubetas plásticas, a colocando como a segunda mais econômica. Isso provavelmente se deu em razão da mão de obra para esse tipo de laje que é fácil de encontrar, o que desencarece os custos dos serviços. Entretanto o fator quantidade de materiais, como observado no projeto, foi um fator decisivo para o maior custo final quando comparado com o sistema de laje de vigota treliçada. O sistema de laje nervurada com cubetas plásticas, que apresentou o maior custo, teve um péssimo desempenho em relação à economia de matérias. Isso pode ter se dado pelo tipo de edificação que o arquiteto previa, podendo ser uma edificação que não comportava bem esse tipo de laje nela.

Vale destacar que, para escolher o melhor tipo de sistema estrutural, é fundamental estudar cada caso mais profundamente, verificando fatores como disponibilidade de material e de mão de obra qualificada para o serviço, prazos para a entrega do edifício e também possíveis interferências entre os projetos, além, é claro dos impactos ambientais que ele pode oferecer.

Em suma, esse trabalho atingiu todos os objetivos e promoveu uma visão geral de como as lajes podem gerar um grande impacto no custo final da estrutura, as tornando assim, um dos fatores mais relevantes em um projeto estrutural.

Como forma de se continuar esse tipo de pesquisa, são sugeridos alguns tópicos:

- Comparar a quantidade de insumos utilizados em uma edificação ao se usar lajes de vigotas treliçadas e lajes nervuradas com cubetas, mas todas apoiadas somente sobre vigas, sem o uso de capiteis.
- Comparar a quantidade de material utilizado em lajes nervuradas com cubetas quanto apoiadas somente em vigas e quando apoiadas somente em capiteis.
- Fazer a orçamentação de uma edificação já construída utilizando como base a tabela SINAPI e comparar com o real custo que a obra teve para avaliar a precisão que esse banco de dados oferece.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, A. T. **Análise de alternativas estruturais para edifícios em concreto armado**. São Carlos, 1999. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1999.

ALBUQUERQUE, A. T.; PINHEIRO L. M. **Viabilidade econômica de alternativas de estruturas de concreto armado para edifícios**. São Carlos. Cadernos de Engenharia e Estruturas, n. 19, p. 1-20, 2002.

ALMEIDA, C.M. **Análise comparativa entre o Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil e o sistema adotado pelo Governo do Estado de Sergipe**. 2009. Artigo (Especialização em Auditoria Interna e Controle Governamental) – Instituto Serzedelo Corrêa do Tribunal de Contas da União, Brasília.

ALTOQI. **O que o Eberick faz**. 2019. Disponível em <<https://www.altoqi.com.br/eberick/>>. Acesso em: 25 de setembro de 2019.

ARAÚJO, A. R. **Estudo Técnico Comparativo entre Pavimentos Executados com Lajes Nervuradas e Lajes Convencionais**. 2008, Trabalho de Conclusão de Curso – Departamento de Engenharia Civil da Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo.

ARAUJO, J. M. **Curso de Concreto Armado**. Rio Grande: Dunas, 2010.

ARCELORMITTAL. **Treliças Nervuradas**. 2017. Disponível em: <<https://brasil.arcelormittal.com/produtos-solucoes/construcao-civil/trelicas-nervuradas?asCatalogo=pdf>>. Acesso em: 21 de setembro de 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14859-1: laje pré-fabricada – requisitos – parte 1: lajes unidirecionais**. Rio de Janeiro, 2016.

_____. **NBR 14859-2: laje pré-fabricada – requisitos – parte 2: lajes bidirecionais**. Rio de Janeiro, 2016.

_____. **NBR 6118: projeto de estrutura de concreto - procedimento**. Rio de Janeiro, 2014.

_____. **NBR 6120: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações**. Rio de Janeiro, 1980.

_____. **NBR 6123: Forças devidas ao vento em edificações**. Rio de Janeiro, 1988.

BRASKEM. **Catálogo de produtos Braskem: Soluções em plástico para a construção**. São Paulo, 2015.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **Insumos e composições**. 2019a. Disponível em <<http://www.caixa.gov.br/poder-publico/apoio-poder-publico/sinapi/insumos-composicoes/Paginas/default.aspx>>. Acesso em: 28 de setembro de 2019.

_____. **Downloads de arquivos - SINAPI**. Disponível em <https://www.caixa.gov.br/site/Paginas/downloads.aspx#categoria_661>. Acesso em: 18 de setembro de 2020.

_____. **O que é SINAPI**. 2019b. Disponível em <http://www1.caixa.gov.br/gov/gov_social/municipal/assistencia_tecnica/produtos/financiamento/pro_mob/pre_contratual/eng_sinapi_web.asp>. Acesso em: 28 de setembro de 2019.

CATÁLOGO DIGITAL DE DETALHAMENTO DA CONSTRUÇÃO. **Detalhamento da construção**. 2012. Disponível em <<https://cddcarqfeevale.wordpress.com/>>. Acesso em: 10 de setembro de 2019.

CEHOP. **ORSE – Orçamento de obras de Sergipe**. Disponível em <<http://orse.cehop.se.gov.br/default.asp>>. Acesso em: 18 de setembro de 2020.

CHAVES, C. et al. **Manual Estruturas de Concreto Armado**. 1ed. São Paulo: ABCP, 2003.

COSTA, O. V. **Estudo de alternativas de projetos estruturais em concreto armado para uma mesma edificação**. 1997. Dissertação - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 1997.

CUNHA, A. J. P.; SOUZA, V. C. M. **Lajes em concreto armado e protendido**. 2. ed. Niterói: EDUFF, 1998. 580 p.

DROPPA JÚNIOR, A. **Análise estrutural de lajes formadas por elementos pré-moldados tipo vigota com armação treliçada**. 1999. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1999.

FARIA, R. **Molde ideal: Soluções convencionais dividem mercado com novas tecnologias de fôrmas para lajes**. Revista Técnica, São Paulo: Pini, nº 183, p.48-53, 2012.

FERREIRA, M.A. (2003). **A importância dos sistemas flexibilizados**, 2003. 8p. (Apostila).

FGV IBRE. **Sondagem da construção**. Disponível em <<https://portalibre.fgv.br/>>. Acesso em: 14 de junho de 2020.

FRANCA, A. B. M.; FUSCO, P. B. **As lajes nervuradas na moderna construção de edifícios**. São Paulo: AFALA & ABRAPEX, 1997.

FUSCO, P. B. **Técnicas de armar as estruturas de concreto**. São Paulo: Pini, 1997.

KAEFER, L. F. **Concepção, Projeto e Realização das Estruturas: Aspectos Históricos – A Evolução do Concreto Armado**. 1998, 43 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.

LIMMER, C. V. **Planejamento, Orçamentação e Controle de Projetos e Obras**. Editora LTC. 225 pág. Rio de Janeiro: 1997.

LOPES, André F. O. **Estudo técnico comparativo entre lajes maciças e nervuradas com diferentes tipos de materiais de enchimento**. Tese de TCC. Universidade Federal de Pernambuco. Caruaru, 2012.

LOSSO, Iseu Reichmann. **Utilização das Características Geométricas da Edificação na Elaboração de Estimativas Preliminares de Custos: Estudo de Caso em uma Empresa de Construção**. Dissertação de mestrado. Florianópolis (SC), Universidade Federal de Santa Catarina, ago. 1995.

MUNIZ, C. E. **Mais competitivas: lajes treliçadas**. Revista IBRACON, v.1, n.1, p.19- 21, jul./ago. 1991.

NAPPI, S.C.B. **Análise comparativa entre lajes maciças, com vigotes pré-moldados e nervuradas**. Dissertação – Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC, Florianópolis, 1993.

NERVO, R. **Análise comparativa dos sistemas estruturais de lajes convencionais e lajes nervuradas**. Monografia – Universidade de Santa Cruz do Sul, UNISC, Santa Cruz do Sul, 2012.

ORÇAFASCIO. **Sobre**. Disponível em <https://www.orcafascio.com/login/quem_somos>. Acesso em: 20 de outubro de 2020.

REBELLO, Y.C.P. **A concepção estrutural e a arquitetura**. 1. ed. São Paulo: Zigurante Editora, 2000. 271p.

SALAS, S. J. **Construção Industrializada: pré-fabricação**. 1988. São Paulo: Instituto de pesquisas tecnológicas.

SILVA, M. A. F. **Projeto e construção de lajes nervuradas de concreto armado**. 2005. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2002.

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.

TCU. **Orientações para elaboração de planilhas orçamentárias de obras públicas**. Brasília, 2014.

APÊNDICE A – COMPOSIÇÕES DE CUSTOS

Composição 1		92720/SINAPI (alterada) CONCRETAGEM DE PILARES, FCK = 30 MPA, COM USO DE BOMBA EM EDIFICAÇÃO COM SEÇÃO MÉDIA DE PILARES MENOR OU IGUAL A 0,25 M ² - LANÇAMENTO, ADENSAMENTO E ACABAMENTO. AF_12/2015			
Código	Descrição da Composição	Unid.	Coef.	Custo Unit.	Custo Total
88262/SINAPI	CARPINTEIRO DE FORMAS COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,2	17,02	3,387
88309/SINAPI	PEDREIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,2	17,15	3,41
88316/SINAPI	SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	1,19	12,84	15,31
90586/SINAPI	VIBRADOR DE IMERSÃO, DIÂMETRO DE PONTEIRA 45MM, MOTOR ELÉTRICO TRIFÁSICO POTÊNCIA DE 2 CV - CHP DIURNO. AF_06/2015	CHP	0,07	1,73	0,12
90587/SINAPI	VIBRADOR DE IMERSÃO, DIÂMETRO DE PONTEIRA 45MM, MOTOR ELÉTRICO TRIFÁSICO POTÊNCIA DE 2 CV - CHI DIURNO. AF_06/2015	CHI	0,13	0,34	0,04
1527/SINAPI	CONCRETO USINADO BOMBEAVEL, CLASSE DE RESISTENCIA C25, COM BRITA 0 E 1, SLUMP = 100 +/- 20 MM, INCLUI SERVICO DE BOMBEAMENTO (NBR 8953)	m ³	1,1	329,7	363,64
				Total:	385,90

Composição 2		92724/SINAPI (alterada) CONCRETAGEM DE VIGAS E LAJES, FCK=30 MPA, PARA LAJES PREMOLDADAS COM USO DE BOMBA EM EDIFICAÇÃO COM ÁREA MÉDIA DE LAJES MAIOR QUE 20 M ² - LANÇAMENTO, ADENSAMENTO E ACABAMENTO. AF_12/2015			
Código	Descrição da Composição	Unid.	Coef.	Custo Unit.	Custo Total
88262/SINAPI	CARPINTEIRO DE FORMAS COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,1	17,02	1,685
88309/SINAPI	PEDREIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,6	17,15	10,22
88316/SINAPI	SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,67	12,84	8,60
90586/SINAPI	VIBRADOR DE IMERSÃO, DIÂMETRO DE PONTEIRA 45MM, MOTOR ELÉTRICO TRIFÁSICO POTÊNCIA DE 2 CV - CHP DIURNO. AF_06/2015	CHP	0,06	1,73	0,11
90587/SINAPI	VIBRADOR DE IMERSÃO, DIÂMETRO DE PONTEIRA 45MM, MOTOR ELÉTRICO TRIFÁSICO POTÊNCIA DE 2 CV - CHI DIURNO. AF_06/2015	CHI	0,14	0,34	0,05
1524/SINAPI	CONCRETO USINADO BOMBEAVEL, CLASSE DE RESISTENCIA C20, COM BRITA 0 E 1, SLUMP = 100 +/- 20 MM, INCLUI SERVICO DE BOMBEAMENTO (NBR 8953)	m ³	1,1	329,7	363,64
				Total:	384,30

Composição 3		92726/SINAPI (alterada) CONCRETAGEM DE VIGAS E LAJES, FCK=30 MPA, PARA LAJES MACIÇAS OU NERVURADAS COM USO DE BOMBA EM EDIFICAÇÃO COM ÁREA MÉDIA DE LAJES MAIOR QUE 20 M ² - LANÇAMENTO, ADENSAMENTO E ACABAMENTO. AF_12/2015			
Código	Descrição da Composição	Unid.	Coef.	Custo Unit.	Custo Total
88262/SINAPI	CARPINTEIRO DE FORMAS COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,09	17,02	1,4467
88309/SINAPI	PEDREIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,51	17,15	8,78
88316/SINAPI	SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,59	12,84	7,52
90586/SINAPI	VIBRADOR DE IMERSÃO, DIÂMETRO DE PONTEIRA 45MM, MOTOR ELÉTRICO TRIFÁSICO POTÊNCIA DE 2 CV - CHP DIURNO. AF_06/2015	CHP	0,04	1,73	0,08
90587/SINAPI	VIBRADOR DE IMERSÃO, DIÂMETRO DE PONTEIRA 45MM, MOTOR ELÉTRICO TRIFÁSICO POTÊNCIA DE 2 CV - CHI DIURNO. AF_06/2015	CHI	0,13	0,34	0,04
1524/SINAPI	CONCRETO USINADO BOMBEAVEL, CLASSE DE RESISTENCIA C20, COM BRITA 0 E 1, SLUMP = 100 +/- 20 MM, INCLUI SERVICO DE BOMBEAMENTO (NBR 8953)	m ³	1,1	329,7	363,64
				Total:	381,51

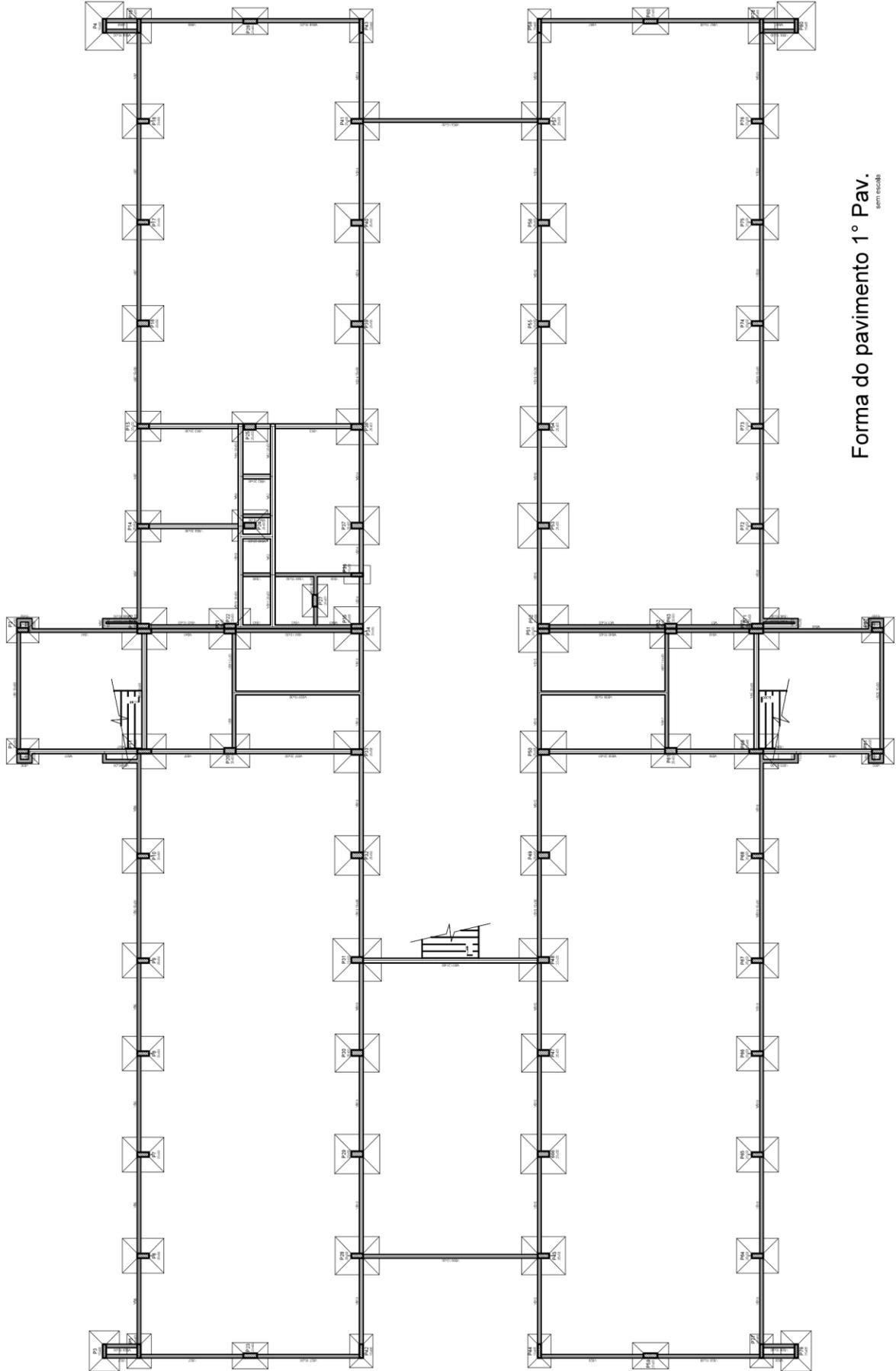
Composição 4		96558/SINAPI (alterada) CONCRETAGEM DE SAPATAS, FCK 25 MPA, COM USO DE BOMBA LANÇAMENTO, ADENSAMENTO E ACABAMENTO. AF_11/2016			
Código	Descrição da Composição	Unid.	Coef.	Custo Unit.	Custo Total
88309/SINAPI	PEDREIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,49	17,15	8,455
88316/SINAPI	SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,74	12,84	9,50
90586/SINAPI	VIBRADOR DE IMERSÃO, DIÂMETRO DE PONTEIRA 45MM, MOTOR ELÉTRICO TRIFÁSICO POTÊNCIA DE 2 CV - CHP DIURNO. AF_06/2015	CHP	0,12	1,73	0,21
90587/SINAPI	VIBRADOR DE IMERSÃO, DIÂMETRO DE PONTEIRA 45MM, MOTOR ELÉTRICO TRIFÁSICO POTÊNCIA DE 2 CV - CHI DIURNO. AF_06/2015	CHI	0,13	0,34	0,04
1525/SINAPI	CONCRETO USINADO BOMBEAVEL, CLASSE DE RESISTENCIA C30, COM BRITA 0 E 1, SLUMP = 100 +/- 20 MM, INCLUI SERVICO DE BOMBEAMENTO (NBR 8953)	m ³	1,15	319,8	367,82
				Total:	386,02

Composição 5		92526/SINAPI (alterada): MONTAGEM E DESMONTAGEM DE FÔRMA DE LAJE MACIÇA COM ÁREA MÉDIA MAIOR QUE 20 M ² , PÉ-DIREITO SIMPLES, EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA PLASTIFICADA, 10 UTILIZAÇÕES. AF_12/2015			
Código	Descrição da Composição	Unid.	Coef.	Custo Unit.	Custo Total
88239/SINAPI	AJUDANTE DE CARPINTEIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,074	14,22	1,05
88262/SINAPI	CARPINTEIRO DE FORMAS COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,403	17,02	6,86
92268/SINAPI	FABRICAÇÃO DE FÔRMA PARA LAJES, EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA PLASTIFICADA, E = 18 MM. AF_12/2015	m ²	0,136	45,63	6,21
2692/SINAPI	DESMOLDANTE PROTETOR PARA FORMAS DE MADEIRA, DE BASE OLEOSA EMULSIONADA EM AGUA	L	0,004	6,35	0,03
10749/SINAPI	LOCACAO DE ESCORA METALICA TELESCOPICA, COM ALTURA REGULAVEL DE *1,80* A *3,20* M, COM CAPACIDADE DE CARGA DE NO MINIMO 1000 KGF (10 KN), INCLUSO TRIPE E FORCADO	MES	0,397	5,49	2,18
40270/SINAPI	VIGA DE ESCORAMENTO H20, DE MADEIRA, PESO DE 5,00 A 5,20 KG/M, COM EXTREMIDADES PLASTICAS	M	0,03	58,20	1,75
				Total:	18,07

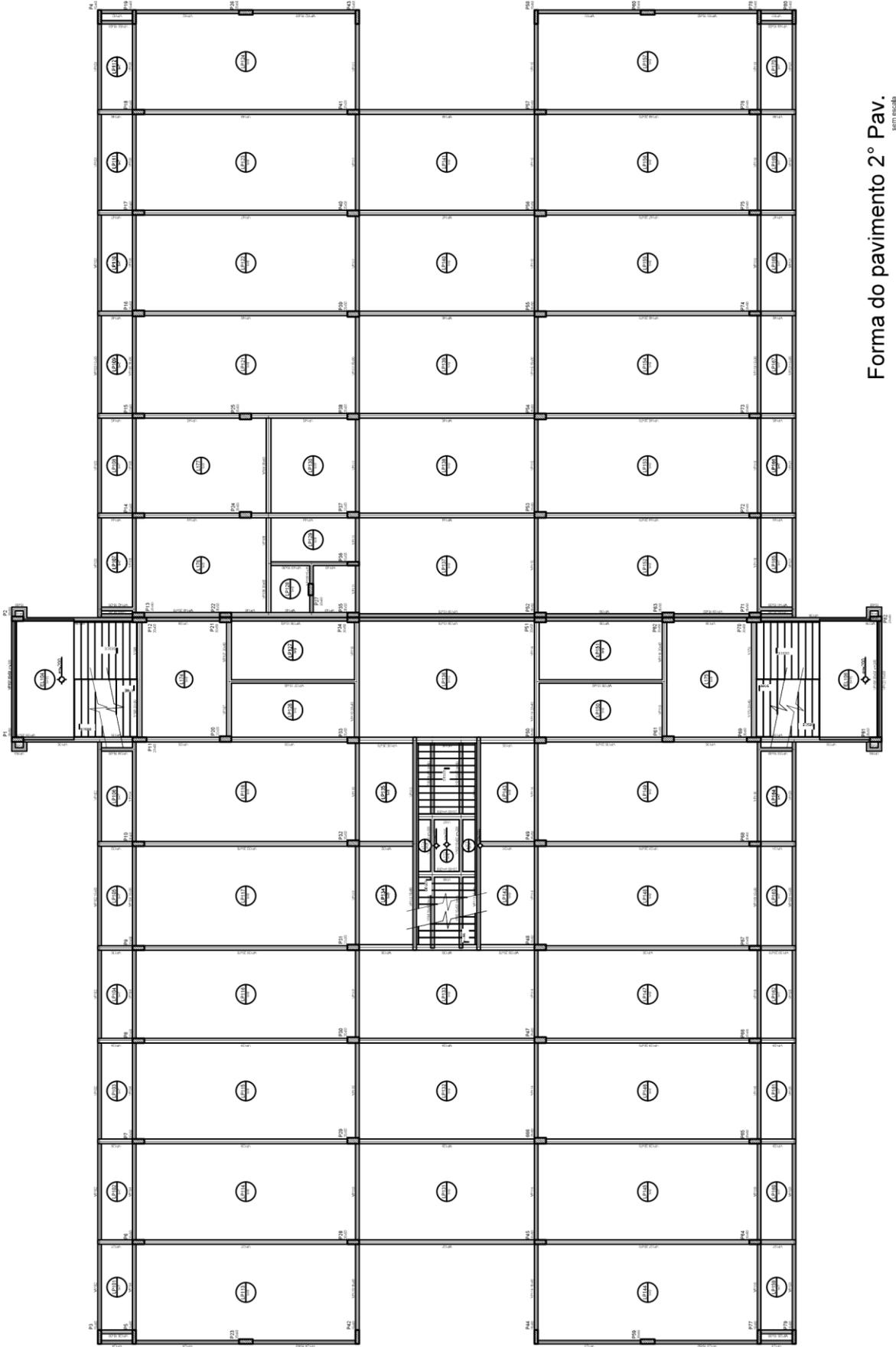
Composição 6		LAJE PRÉ-FABRICADA TRELIÇADA PARA PISO OU COBERTURA, H=16CM, EL. ENCHIMENTO EM BLOCO EPS, H=12CM			
Código	Descrição da Composição	Unid.	Coef.	Custo Unit.	Custo Total
07534/ORSE	LAJE PRÉ-FABRICADA TRELIÇADA PARA PISO OU COBERTURA, H=16CM, EL. ENCHIMENTO EM BLOCO EPS, H=12CM	m ²	1	50,85	50,85
10749/SINAPI	LOCACAO DE ESCORA METALICA TELESCOPICA, COM ALTURA REGULAVEL DE *1,80* A *3,20* M, COM CAPACIDADE DE CARGA DE NO MINIMO 1000 KGF (10 KN), INCLUSO TRIPE E FORCADO	MES	0,2	5,49	1,08
00378/SINAPI	ARMADOR	h	0,1	6,63	0,66
01213/SINAPI	CARPINTEIRO DE FORMAS	h	0,47	6,63	3,12
06111/SINAPI	SERVEENTE DE OBRAS	h	1,4	4,75	6,65
10549/ORSE	ENCARGOS COMPLEMENTARES - SERVENTE	h	1,4	2,93	4,10
10551/ORSE	ENCARGOS COMPLEMENTARES - CARPINTEIRO	h	0,47	2,87	1,35
10555/ORSE	ENCARGOS COMPLEMENTARES - ARMADOR	h	0,1	2,79	0,28
				Total:	68,09

Composição 7		92494/SINAPI (alterada): MONTAGEM E DESMONTAGEM DE FÔRMA DE LAJE NERVURADA COM CUBETA E ASSOALHO COM ÁREA MÉDIA MAIOR QUE 20 M ² , PÉ-DIREITO SIMPLES, EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA RESINADA, 10 UTILIZAÇÕES. AF_12/2015			
Código	Descrição da Composição	Unid.	Coef.	Custo Unit.	Custo Total
88239/SINAPI	AJUDANTE DE CARPINTEIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,15	14,22	2,133
88262/SINAPI	CARPINTEIRO DE FORMAS COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,818	17,02	13,92
92267/SINAPI	FABRICAÇÃO DE FÔRMA PARA LAJES, EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA RESINADA, E = 17 MM. AF_12/2015	m ²	0,147	43,41	6,38
2692/SINAPI	DESMOLDANTE PROTETOR PARA FORMAS DE MADEIRA, DE BASE OLEOSA EMULSIONADA EM AGUA	L	0,008	6,35	0,05
10749/SINAPI	LOCACAO DE ESCORA METALICA TELESCOPICA, COM ALTURA REGULAVEL DE *1,80* A *3,20* M, COM CAPACIDADE DE CARGA DE NO MINIMO 1000 KGF (10 KN), INCLUSO TRIPE E FORCADO	MES	0,397	5,49	2,18
40270/SINAPI	VIGA DE ESCORAMAENTO H20, DE MADEIRA, PESO DE 5,00 A 5,20 KG/M, COM EXTREMIDADES PLASTICAS	M	0,03	58,20	1,75
Cotação Atex 08/2020	LOCACAO DE FORMA PLASTICA PARA LAJE NERVURADA, DIMENSOES *80* X *80* X *35* CM	MES	1,03	11,5	11,85
				Total:	38,26

APÊNDICE B – PLANTAS DE FORMA E DETALHAMENTOS DO SISTEMA DE LAJE MACIÇA

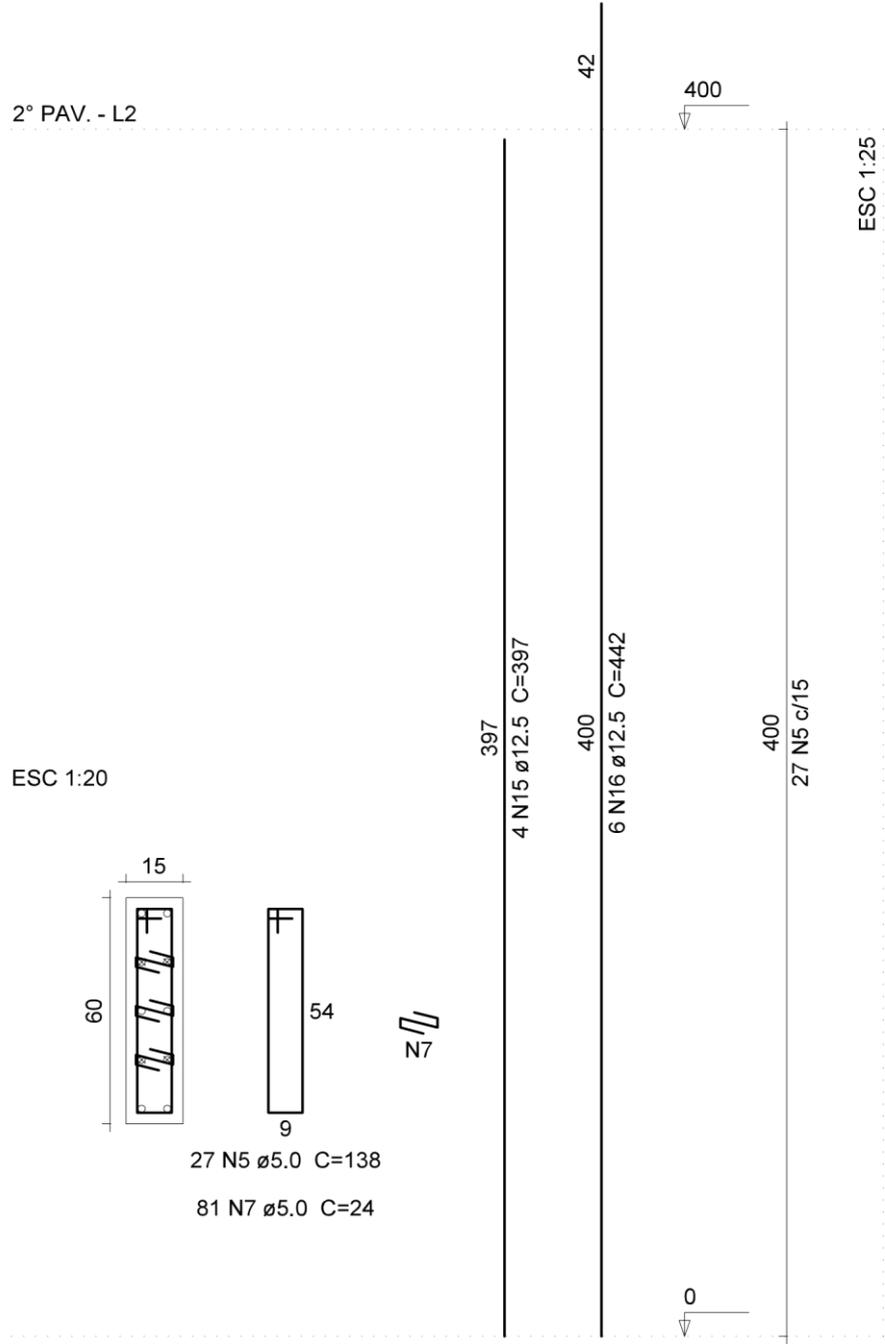


Forma do pavimento 1° Pav.
em escala

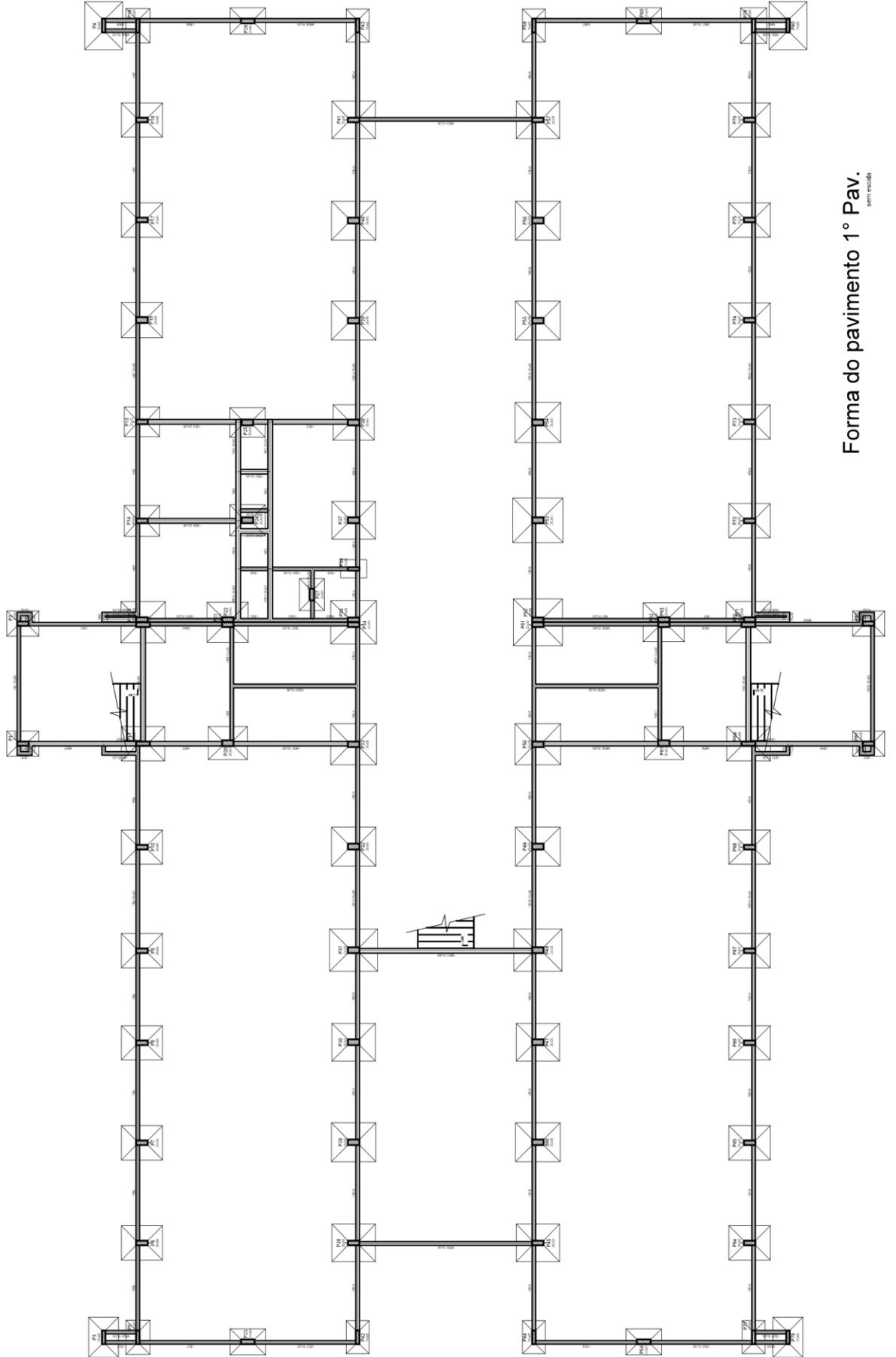


Forma do pavimento 2° Pav.
sem escala

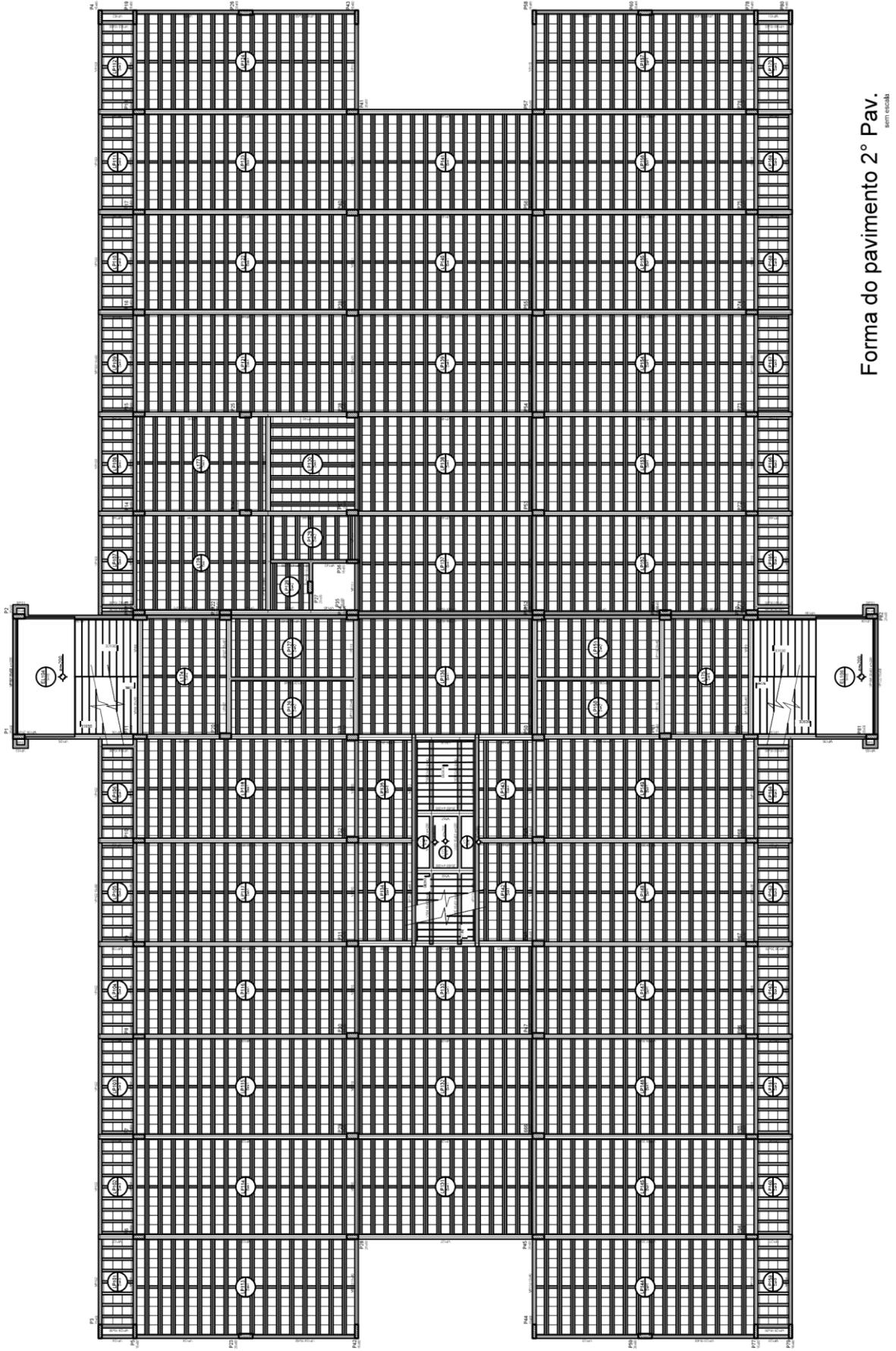
P5=P77



APÊNDICE C – PLANTAS DE FORMA E DETALHAMENTOS DO SISTEMA DE LAJE TRELIÇADA



Forma do pavimento 1° Pav.
semi escala

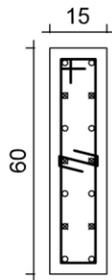


Forma do pavimento 2° Pav.
sem escada

P5=P77

2° PAV. - L2

ESC 1:20



34 N5 ø5.0 C=138

34 N6 ø5.0 C=24

N6

397

6 N12 ø10.0 C=397

400

8 N11 ø10.0 C=433

400

34 N5 c/12

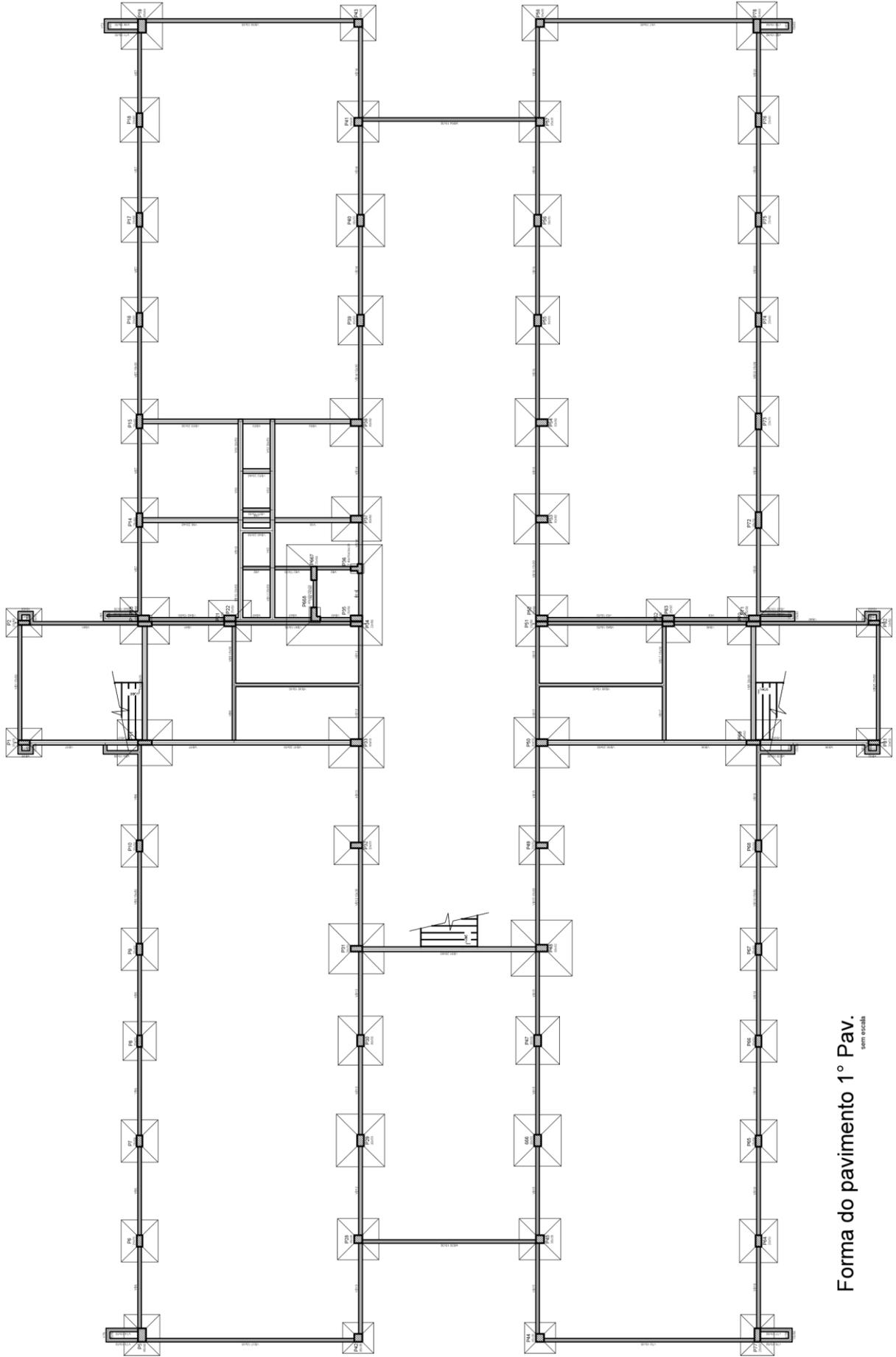
33

400

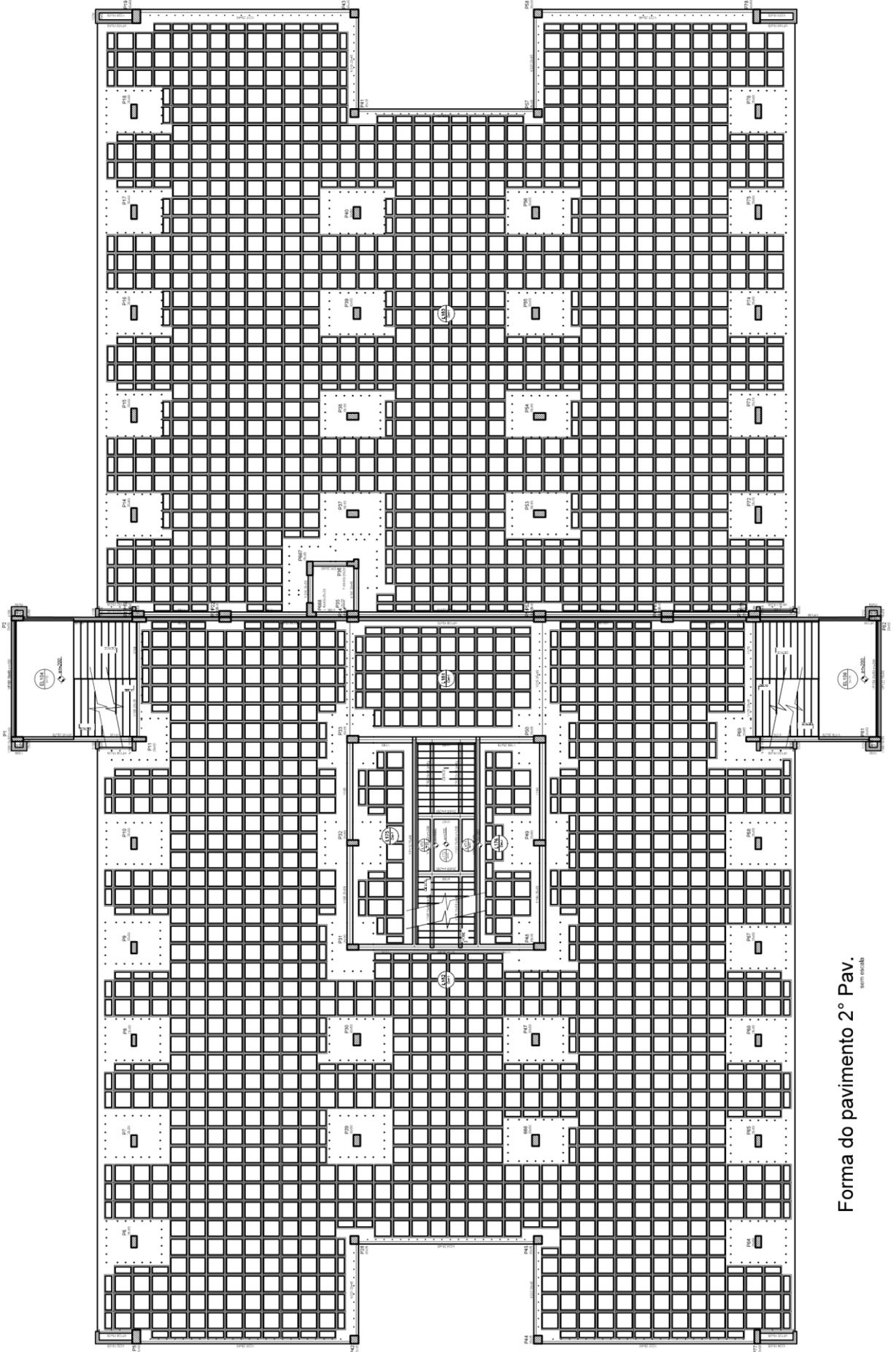
0

ESC 1:25

APÊNDICE D – PLANTAS DE FORMA E DETALHAMENTOS DO SISTEMA DE LAJE NERVURADA

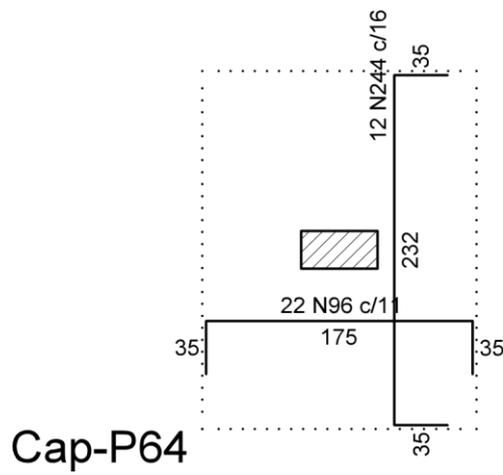
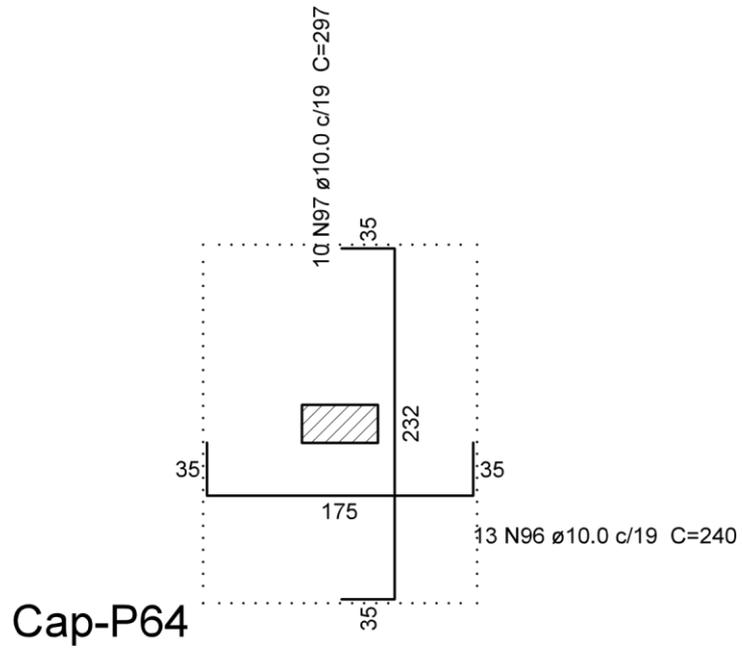
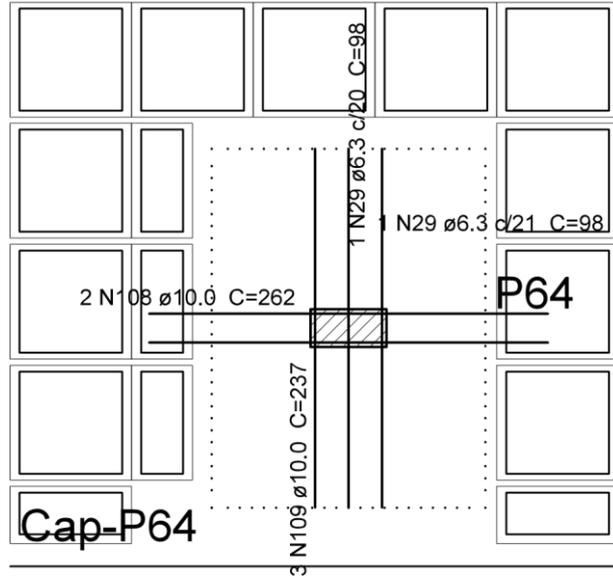


Forma do pavimento 1° Pav.
sem escada



Forma do pavimento 2° Pav.

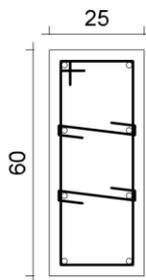
10/11/2018



P77

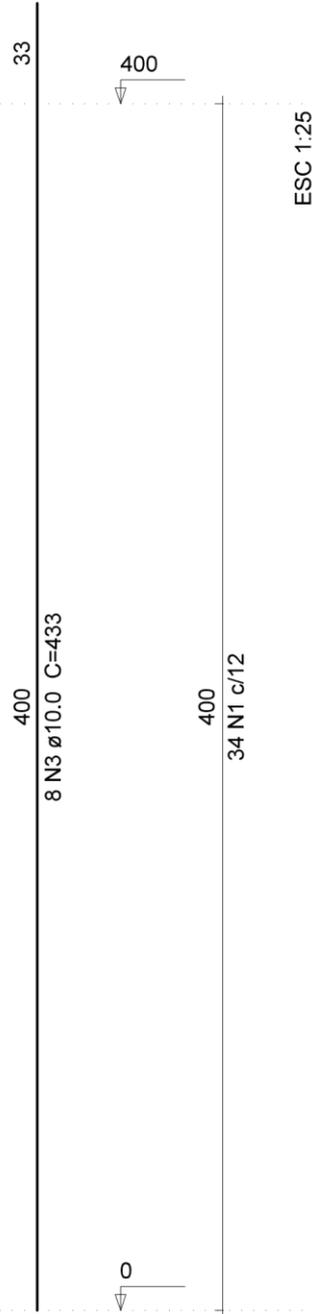
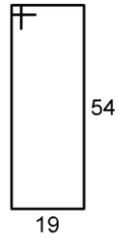
2° PAV. - L2

ESC 1:20



34 N1 \varnothing 5.0 C=158

68 N2 \varnothing 5.0 C=34



V222

sem escala

