UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Comparativo entre os quantitativos e custos de materiais dos sistemas estruturais em um estudo de caso

LETICIA ARJA RIBEIRO

JOÃO PESSOA - PB
2022

LETICIA ARJA RIBEIRO

Comparativo entre os quantitativos e custos dos materiais dos sistemas estruturais em um estudo de caso

Monografia apresentada à Universidade Federal da Paraíba como requisito parcial à obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Enildo Tales Ferreira

JOÃO PESSOA - PB

2022

Catalogação na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

R484c Ribeiro, Leticia Arja.
Comparativo entre os quantitativos e custos de materiais dos sistemas estruturais em um estudo de caso / Leticia Arja Ribeiro. - João Pessoa, 2022.
98 f. : il.

Orientação: Enildo Tales Ferreira.
TCC (Graduação) - UFPB/CT.

1. Sistemas estruturais. 2. Concreto Armado. 3. Custo. 4. TQS. 5. SINAPI. 6. Compatibilização. 7. Arquitetura. I. Ferreira, Enildo Tales. II. Título.

UFPB/CT CDU 624(043.2)

Elaborado por ROSANGELA GONCALVES PALMEIRA - CRB-216

FOLHA DE APROVAÇÃO

LETICIA ARJA RIBEIRO

Comparativo entre os quantitativos e custos dos materiais dos sistemas estruturais em um estudo de caso

Trabalho de Conclusão de Curso em 09/12/2022 perante a seguinte Comissão Julgadora:

Professor Dr. Enildo Tales Ferreira - Orientador Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB	APROVADO
Professor Dr. Carlos Antonio Taurino de Lucena Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB	APROVADO
Professor Dr. José Marcílio Filgueiras Cruz Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB	APROVADO

Profª. Andrea Brasiliano Silva

Matrícula Siape: 1549557

Coordenadora do Curso de Graduação em Engenharia Civil

Dedico este trabalho à minha mãe Elaine (*in memoriam*), a quem gostaria de contar minha história; ao meu irmão, Matheus, que vê em mim algo muito maior do que sou; ao meu pai, Ronaldo, que me criou e guiou para esta direção e ao meu namorado, Radne, que me inspira, me apoia e dá força em todas as minhas decisões.

“Faço o melhor que sou capaz

Só para viver em paz”

(Los Hermanos – O Vencedor)

AGRADECIMENTOS

Em minha longa jornada, agradeço primeiramente a minha família: meu pai Ronaldo; meus irmãos Matheus, Gabriella e Miguel; minhas primas Gabriele e Beatriz; minhas avós, Regina e Lúcia, meus avôs, Wilson e Jorge; minhas tias, Adriana, Monique e Meire, e meus tios, André, Lobato e Marcelo, que me acolheram e orientaram das mais diversas formas, me permitindo chegar onde hoje estou. Agradeço ao meu namorado, Radne, que esteve comigo em todas as dificuldades, e à sua família, que me tem como filha, e eu, a eles, como família. Agradeço também a Débora e Amanda, que me receberam em seu lar como amigas e irmãs, me permitindo avançar em minha história.

Na Universidade Federal de Rondônia, onde comecei o curso de Eng. Civil, agradeço aos meus amigos Gabriela e Eng. Lincoln, que desde o início compartilharam do amor à área de estruturas, apresentada pelos professores Raduan e Lídia.

Na Universidade Federal da Paraíba, agradeço a coordenação, que me ajudou a passar pelo desafio da transferência, e aos professores que participaram da minha jornada em engenharia estrutural: ao Prof. Taurino, que me ensinou com paciência em uma grande época de transição em minha vida e hoje é parte da banca; ao Prof. Ângelo, que me reapresentou ao meu interesse pela área; ao Prof. Enildo, a quem escolhi como orientador, pois, além do amor que demonstra pelo ensino e por seus alunos, me fez entender a prática da engenharia estrutural e amá-la; ao Prof. Marcílio, que, em uma época de grande impacto do isolamento social, demonstrou grande empatia, e hoje também acompanha meu passo final no curso de Engenharia Civil, na banca.

A quem ofertou todo o conhecimento de estruturas aplicadas ao TQS, que me permitiram realizar todo o presente estudo, agradeço à TECNCON, empresa na qual tive a honra de estagiar, e que tem grande peso em minha jornada. Agradeço, então, ao Prof. Nereu, que viveu em primeira mão e comigo compartilhou toda a história da engenharia estrutural, ao Eng. Guilherme, meu chefe, que sempre me orientou, à Eng. Laryssa, que me ensinou até os níveis mais detalhados de todo o trabalho que lá realizei e à, hoje engenheira, Leticia Cândido, que compartilhou da minha jornada enquanto estagiária. Agradeço também aos técnicos Isolda e Cecílio, por quem tenho muito apreço.

Agradeço aos meus amigos de Engenharia Civil, que dividiram e/ou acompanharam os melhores e os mais desesperadores momentos durante o curso e, consequentemente, da vida: Eng. Cleisson, Daniel, Eng. Eduarda, Ingrid, Ítalo, Larissa, Eng. Luan, Macelo e Mirela.

RESUMO

A necessidade de estruturas cada vez mais complexas e esbeltas que ofereçam economia e atendam aos parâmetros arquitetônicos atuais impulsionaram o desenvolvimento de ferramentas mais rebuscadas no ramo do cálculo estrutural, que permitiram a integração de parâmetros cada vez mais próximos da realidade. Desta forma, foi proposto verificar o melhor custo-benefício para um projeto arquitetônico específico através da utilização dos modelos de laje maciça, laje nervurada moldada no local e laje nervurada pré-fabricada com vigotas treliçadas e enchimento em polipropileno expandido. Em primeiro lugar, foi realizado um estudo sobre o Concreto Armado, material utilizado nos três modelos, sendo exposto em seguida as definições necessárias para o projeto estrutural, que envolveram a classe de agressividade ambiental, a ação do vento, as definições de segurança definidas pela NBR 6118/2014 e os requerimentos da norma de desempenho da edificação (NBR 15.755/2013) e da norma de resistência ao fogo (NBR 15.200/2012 e NBR 14.432/2001). Em seguida, foram apontadas as características, vantagens e desvantagens de cada sistema, bem como os parâmetros de projeto necessárias para o lançamento e dimensionamento dos mesmos. A partir disso, foi desenvolvida a metodologia, sendo descrito cada passo executado no *software* TQS, escolhido para dimensionamento estrutural. Após obter os quantitativos de armadura, fôrma e concreto no TQS para cada modelo, foi realizada a estimativa de custo através da tabela de referência de preço do SINAPI. Por fim, se observou que o modelo mais oneroso foi o de lajes nervuradas pré-fabricadas com vigotas treliçadas, enquanto o segundo foi o de lajes maciças convencionais e, por fim, o de lajes nervuradas moldadas no local.

Palavras-Chave: Sistemas estruturais; Concreto Armado; Custo; TQS; SINAPI; Compatibilização; Arquitetura.

ABSTRACT

The need for increasingly complex and slender structures that offer savings and meet current architectural parameters has driven the development of more sophisticated tools in the field of structural calculation, which have allowed the integration of parameters that are increasingly closer to reality. Therefore, it was proposed to verify the best cost-effectiveness for an architectural project through the use of conventional solid slab, ribbed slab molded in place and prefabricated ribbed slab with precast ribs and expanded polypropylene filling. In the first place, a study was carried out on Reinforced Concrete, the material used in the three models, and then the necessary definitions for the structural project were exposed, which involved the class of environmental aggressiveness, the action of the wind, the safety definitions defined by NBR 6118 /2014 and the requirements presented in building performance standart (nbr 15,755/2013) and fire resistance standart (NBR 15.200/2012 and NBR 14.432/2001). Then, the characteristics, advantages and disadvantages of each system were pointed out, as well as the design parameters necessary for launching and sizing them. From this, the methodology was developed, describing each step performed in the TQS software, chosen for structural design. After obtaining the quantities of reinforcement, formwork and concrete in TQS for each model, the cost estimate was performed using the SINAPI price reference table. At last, it was observed that the most expensive model was that of prefabricated ribbed slab with precast ribs, while the second was that of conventional slabs and, at last, that of ribbed slabs casted in place.

Keywords: Structural systems; Reinforced Concrete; Cost; TQS; SINAPI; Compatibility; Architecture.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Ábaco para coeficiente de arrasto em edificações sob baixa turbulência 23
Figura 2 – Isopletas da velocidade básica Vo (m/s) 24
Figura 3 – Montagem de armação para laje maciça convencional 35
Figura 4 – Esquema de laje maciça convencional 35
Figura 5 – Assoalho com cimbramento metálico para laje nervurada 39
Figura 6 – Laje nervurada moldada no local com cubetas plásticas 39
Figura 7 – Esquema de laje pré-fabricada com vigotas treliçadas e enchimento em EPS 41
Figura 8 – Detalhe de vigotas treliçadas com enchimento 42
Figura 9 – Modelo 3D arquitetônico 45
Figura 10 – Planta baixa arquitetônica do subsolo 46
Figura 11 – Planta baixa arquitetônica do térreo 46
Figura 12 – Planta baixa arquitetônica do pavimento tipo 47
Figura 13 – Planta baixa arquitetônica da cobertura 47
Figura 14 – Corte esquemático da arquitetura 48
Figura 15 – Inserção de dados e corte esquemático da estrutura 50
Figura 16 – Cobrimentos adotados 51
Figura 17 – Critérios para análise do vento 52
Figura 18 – Modelo estrutural do Térreo com sobreposição da arquitetura – Modelo 1 56
Figura 19 – Grelha para visualização dos deslocamentos do Térreo – Modelo 1 57
Figura 20 – Perspectiva 3D – Modelo 1 58
Figura 21 – Modelo estrutural do Térreo – Modelo 2 59
Figura 22 – Dados da fôrma plástica – Modelo 2 59
Figura 23 – Grelha para visualização dos deslocamentos do Térreo – Modelo 2 61
Figura 24 – Perspectiva 3D – Modelo 2 61
Figura 25 – Modelo estrutural do Térreo – Modelo 3 63
Figura 26 – Dados da vigota treliça – Modelo 3 64
Figura 27 – Grelha para visualização dos deslocamentos do Térreo – Modelo 3 65
Figura 28 – Perspectiva 3D – Modelo 3 65
Figura 29 – Modelo estrutural do Pav Tipo com sobreposição da arquitetura – Modelo 1 85

Figura 30 – Modelo estrutural da Cobertura com sobreposição da arquitetura – Modelo 1 85
Figura 31 – Modelo estrutural da Coberta com sobreposição da arquitetura – Modelo 1 86
Figura 32 – Modelo estrutural do Pav Tipo – Modelo 2 86
Figura 33 – Modelo estrutural da Cobertura – Modelo 2 87
Figura 34 – Modelo estrutural da Coberta – Modelo 2 87
Figura 35 – Modelo estrutural do Pav Tipo – Modelo 3 88
Figura 36 – Modelo estrutural da Cobertura – Modelo 3 88
Figura 37 – Modelo estrutural da Coberta – Modelo 3 89

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores mínimos do fator estatístico S3 25
Tabela 2 – Comparativo de consumo de pilares 73
Tabela 3 – Comparativo de consumo de vigas 73
Tabela 4 – Comparativo de consumo de lajes 73

LISTA DE QUADROS

Quadro 1– Classes de agressividade ambiental 21
Quadro 2 – Correspondência entre classe de agressividade e qualidade do concreto 22
Quadro 3 – Correspondência entre classe de agressividade e o cobrimento nominal 22
Quadro 4 – Classificação das edificações quanto à sua ocupação..... 28
Quadro 5 – Tempos requeridos de resistência ao fogo (TRRF), em minutos 28
Quadro 6 – Dimensões mínimas para vigas biapoiadas..... 29
Quadro 7 – Dimensões mínimas para vigas contínuas 30
Quadro 8 – Dimensões mínimas para lajes simplesmente apoiadas..... 30
Quadro 9 – Dimensões mínimas para lajes contínuas 31
Quadro 10 – Dimensões mínimas para lajes nervuradas simplesmente apoiadas 31
Quadro 11 – Dimensões mínimas para lajes nervuradas contínuas em pelo menos uma das bordas 32
Quadro 12 – Dimensões mínimas para lajes nervuradas armadas em uma só direção... 32
Quadro 13 – Dimensões mínimas para pilares com uma face exposta ao fogo 33
Quadro 14 – Características Geométricas do Edifício 50
Quadro 15 – Distribuição de cargas do Modelo 1 56
Quadro 16 – Distribuição de cargas do Modelo 2 60
Quadro 17 – Distribuição de cargas do Modelo 3 64
Quadro 18 – Levantamento de materiais por elemento – Modelo 1..... 67
Quadro 19 – Exemplo de composição sintética de custo para armação de 5,0mm 68
Quadro 20 – Composição analítica para armação de 5,00 mm de pilares e vigas..... 68
Quadro 21 – Composição sintética para a concretagem – Modelo 1..... 69
Quadro 22 – Composição sintética para fôrmas – Modelo 1 69
Quadro 20 – Levantamento de materiais por elemento – Modelo 2..... 70
Quadro 21 – Composição sintética para fôrmas – Modelo 2 70
Quadro 25 – Levantamento de materiais por elemento – Modelo 3..... 71
Quadro 26 – Composição sintética para fôrmas – Modelo 3 71
Quadro 27 – Composição analítica de laje – Modelo 3 72
Quadro 28 – Comparativo geral de custos 77
Quadro 26 – Composição de custos da laje maciça convencional 91
Quadro 27 – Composição de custos da laje nervurada moldada *in loco*..... 92
Quadro 28 – Composição de custos da laje nervurada pré-fabricada com treliças 94

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Consumo de aço 74
Gráfico 2 – Consumo de concreto 75
Gráfico 3 – Consumo de fôrma 75
Gráfico 4 – Pesos de custos para o Modelo 1..... 76
Gráfico 5 – Pesos de custos para o Modelo 2..... 76
Gráfico 6 – Pesos de custos para o Modelo 3..... 77
Gráfico 7 – Comparativos de custos para os três sistemas..... 78
Gráfico 8 – Comparativo de custos totais 79

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

CA – Concreto Armado

EPS - Polipropileno Expandido

FCK - *Feature Compression Know*

NBR – Norma Brasileira

ORSE – Sistema de Orçamento de Obras de Sergipe

SINAPI – Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil

SUDECAP – Superintendência de Desenvolvimento da Capital – Belo Horizonte

TR – Treliça

TRRF – Tempo Requerido de Resistência ao Fogo

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 16

1.1 Objetivo geral **17**

1.2 Objetivos específicos **17**

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 18

2.1 Concreto Armado 19

2.1.1 Definições gerais de projeto 20

2.1.2 Ação do Vento 23

2.1.3 Definições de segurança 26

2.1.4 Normas de desempenho e de resistência ao fogo 27

2.2 Sistemas Estruturais 33

2.3 Lajes 34

2.3.1 Lajes Maciças 35

2.3.2 Lajes Nervuradas 37

2.3.2.1 Laje Nervurada Moldada no Local 38

2.3.2.2 Lajes Nervuradas Pré-Fabricadas 40

2.4 Vigas 43

2.5 Pilares 44

3 METODOLOGIA 45

3.1 Projeto arquitetônico 45

3.2 *Software* TQS 48

3.3 Características do modelo estrutural 49

3.4 Concepção Estrutural 53

3.4.1 Modelo 1 55

3.4.2 Modelo 2 58

3.4.3 Modelo 3 62

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES 67

4.1 Quantitativos e custos – Modelo 1 67

4.2 Quantitativos e custos – Modelo 2 70

4.3 Quantitativos e custos – Modelo 3 71

4.4 Comparativo de Consumo pelo *Software* TQS 72

4.5 Comparativos de Custo 75

5 CONCLUSÕES 80

REFERÊNCIAS 82

ANEXO A 85

ANEXO B 90

1 INTRODUÇÃO

Até a década de 70, os cálculos estruturais eram realizados através da utilização da régua de cálculo e consulta de tabelas. Em meados da década de 70, surgiram então calculadoras portáteis e máquinas programáveis. Já na década de 90, era possível o cálculo dos esforços solicitantes e detalhamento de armadura com o auxílio de microcomputadores para análise de pórtico espacial, análise global da estrutura, grelha plana e elementos finitos para análise de pavimentos e, mais tardar ainda nesta década, foi implementado o modelo tridimensional que avaliava a estabilidade global e obtenção de dados mais reais dos esforços atuantes gerados por ações horizontais. Tem-se, a partir das novas ferramentas, a necessidade de estruturas cada vez menos rígidas e com concepções estruturais mais complexas (SILVA, 2002).

Spohr (2008) destaca que, ao passo em que os vãos crescem e as cargas linearmente distribuídas de paredes são depositadas sobre as lajes, o uso de lajes maciças cada vez mais espessas se tornaram necessárias para fins de suporte desses esforços gerados, o que torna o sistema antieconômico. Visando otimizar a estrutura, surgiram então outros tipos de lajes, cujas características permitiram atender às novas demandas do mercado, e não apenas estruturalmente, mas também na condição de manter um preço competitivo e atender aos padrões arquitetônicos, com menor necessidade de pilares e até mesmo não utilizando vigas, a depender do modelo adotado.

Buscar soluções que tanto estejam dentro do limite de orçamento quanto atendam às necessidades técnicas de uma edificação é uma tarefa que só é possível realizar com segurança mediante análise quantitativa e qualitativa para cada caso em questão. Segundo Ferreira (2018), os custos finais da estrutura variam conforme a escolha tanto do modelo arquitetônico quanto do sistema estrutural que será adotado, uma vez que uma existe em função da outra.

Desta forma, diante da atual facilidade e rapidez de análise dos diferentes modelos estruturais que surgiram para suprir as novas demandas do mercado, e considerando a necessidade intrínseca à engenharia da busca de soluções que sejam tanto eficientes quanto econômicas, o estudo de diferentes sistemas estruturais que melhor atenda à necessidade de projeto é tanto justificado quanto imprescindível para a boa prática de engenharia, trazendo benefícios à todas as partes envolvidas.

Diante do exposto, o presente trabalho busca uma solução para o seguinte problema de pesquisa: Para a concepção estrutural de um edifício multifuncional de cinco pavimentos, atendendo aos parâmetros de desempenho estabelecido em normas, qual tipo de laje proporcionará maior economia?

O presente trabalho conceberá, portanto, um estudo comparativo dos quantitativos e custos dos materiais e serviços empregados para a execução de três tipos de lajes: laje maciça convencional, laje nervurada moldada no local e laje nervurada pré-fabricada com vigotas treliçadas e enchimento em polipropileno expandido (EPS).

Foi elaborado, para atender às necessidades expostas, uma revisão bibliográfica, que se deu através de pesquisa em dissertações, teses, monografias, artigos, livros, normas e outras fontes complementares. Após selecionados e expostos os dados mais relevantes que fundamentam este estudo, deu-se início então a apresentação da metodologia utilizada para alcançar o objetivo previamente delimitado e, seguido disto, apresentou-se os resultados e as considerações finais, onde também foram inseridas sugestões para trabalhos futuros.

1.1 Objetivo geral

Verificar o melhor custo-benefício obtido entre diferentes sistemas estruturais (com foco nos tipos de laje) em concreto armado para um projeto arquitetônico de um edifício multifuncional em estudo através do dimensionamento estrutural realizado a partir do *software* TQS Estudante na versão V23, onde foram elaborados três modelos: laje maciça convencional, laje nervurada moldada no local e laje nervurada pré-fabricada com vigotas treliçadas e enchimento em EPS. A avaliação de custo dos insumos e mão de obra foi obtida com o auxílio do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI).

1.2 Objetivos específicos

Realizar o lançamento e dimensionamento da estrutura empregada no projeto arquitetônico, adotando como variáveis três tipos de sistemas estruturais;

Apresentar os quantitativos e os custos de materiais e serviços previstos para cada modelo através da referência do SINAPI;

Verificar o melhor custo-benefício dentre os três modelos dimensionados para uma edificação composta de um estacionamento subterrâneo, térreo comercial, um pavimento residencial, cobertura, coberta e reservatório;

Comparar a viabilidade econômica dentre os modelos estudados e dimensionados em acordo com as Normas NBR 15.575/2013 – Desempenho de edificações habitacionais e as normas de incêndio, NBR 15.200/2012 – Projeto de estruturas de concreto em situações de incêndio e NBR 14.432/2001 – Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações e, por fim, a NBR 6118/2014 - Projeto de estruturas de concreto.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Segundo Alva (2007), o arranjo estrutural tem por objetivo atender, de forma simultânea, aos parâmetros de segurança, aos Estados Limites estruturais, ao custo, à durabilidade e às imposições apresentadas pela arquitetura, de funcionalidade e estética. Para Spohr (2008), a fim de garantir tais requisitos arquitetônicos, é necessário que haja interação entre os projetos arquitetônico, estrutural e também projetos complementares de instalações, desde a fase de concepção dos mesmos.

Deve haver compatibilização entre os diversos projetos que compõem uma edificação a fim de permitir que todos os sistemas envolvidos possam coexistir (ALVA, 2007). Assim, durante a concepção estrutural, deve-se atentar tanto às limitações existentes no projeto arquitetônico e de paisagismo quanto a facilidade de execução, na adequação das interfaces entre a estrutura, nos projetos de instalação (hidrossanitária, elétrica, de gás, climáticos, de combate a incêndio, etc.) e na interação entre a vedação interna e externa com a estrutura (SPOHR, 2008).

São observados por Alva (2007) alguns casos práticos onde as escolhas realizadas na concepção estrutural influenciam diretamente na edificação. Em ambientes molhados, menciona a autora, como banheiro, cozinha e área de serviço, devem ser observados previamente passagens de tubulações para que seja evitado a necessidade de furo em vigas ou, no caso de edifícios multifuncionais, onde as plantas dos pavimentos são distintas, é necessário observar a posição do pilar de forma a não interferir nos ambientes e também com relação ao estacionamento, a fim de não prejudicar as vagas e impossibilitar manobras dos automóveis, por exemplo.

Callegari (2007) verificou, em sua análise de compatibilização, que a incompatibilidade existente entre os diversos projetos que compõem uma edificação se apresenta nos conflitos geométrico e de funcionalidade, bem como falhas de posicionamento dos próprios elementos construtivos. Problemas deste cunho, caso não identificados em fase de projeto, se revelam durante a execução, o que pode gerar diversos problemas em outros sistemas ou mesmo necessidade de demolição parcial, se tornando, portanto, muito mais onerosos do que teriam sido caso notados em fase de projeto.

2.1 Concreto Armado

A NBR 12655 (2006) explica que o concreto é um material composto pela mistura homogênea de água, cimento e agregado miúdo e graúdo, sendo provido ou não de aditivos que enriquecem seu desempenho, onde é possível alterar as propriedades do material a fim de oferecer maior rapidez, ganho de resistência, maior lentidão para início da cura, dentre outros efeitos. A partir do endurecimento do concreto é que ocorre o aumento da resistência mecânica, que se dá de forma progressiva ao longo do tempo.

Bastos (2019) explica que o concreto apresenta excelente resistência aos esforços de compressão, muito presentes em pilares, mas, no caso onde o esforço de tração é predominante, como em vigas e lajes, o concreto está aquém do requerido, pois, além de sua baixa resistência à tração, é um material frágil, que apresenta uma deformação plástica muito pequena até a ruptura.

Ainda segundo o autor, o conceito de concreto armado propõe contornar a limitação do concreto, pois faz o emprego do aço, material dúctil, que representa o nível de deformação plástica antes da ruptura do material, e que trabalha muito bem na resistência às tensões de compressão, além da alta resistência ao esforço de tração, propriedades estas que contornam a fragilidade do material em questão (BASTOS, 2019). Segundo a NBR 6118 (2014), os elementos de concreto armado dependem da aderência entre o concreto e a armadura para que exerçam sua função estrutural, sendo necessário o cuidado durante o projeto e a execução das peças estruturais para garantir esta condição de aderência.

De acordo com a NBR 6118 (2014), os requisitos de qualidade de uma estrutura consistem na capacidade de resistir à ruptura, mantendo-se em condições plenas de uso para a qual foi projetada, condição que compõe o desempenho em serviço, e, além disso, deve apresentar durabilidade, sendo esta a capacidade de resistir às condições ambientais do local onde a obra será implementada, atendendo aos parâmetros previstos e estabelecidos em projeto, que já consideram a particularidade de cada edificação.

Carvalho e Filho (2014) apontam características favoráveis e desfavoráveis do uso do concreto armado na construção civil, dentre os quais, para aquelas vantajosas, é possível destacar:

- Boa resistência à maioria das solicitações;
- Boa trabalhabilidade, sendo muito adaptável à forma desejada;
- Permite a obtenção de estruturas monolíticas, o que não é possível alcançar com estruturas de aço, de madeira ou pré-moldadas, por exemplo. A aderência entre

o concreto endurecido com aquele posteriormente lançado facilita a transmissão de esforços;

- Técnicas de execução amplamente dominadas no Brasil;
- É um material de ótima durabilidade, quando bem executado, além de apresentar boa durabilidade e resistência ao fogo, principalmente em comparação com a madeira e aço, desde que sejam atendidas às definições em Norma;
- Resistente a choques, vibrações, efeitos térmicos, atmosféricos e desgastes mecânicos.

Com relação às desvantagens do concreto armado, ainda segundo Carvalho e Filho (2014), é possível destacar outros aspectos relevantes:

- Resulta em dimensões dos elementos maiores do que o aço, com alto peso específico do material, o que pode limitar seu uso e pode acarretar no aumento do custo;
- Reformas e adaptações são de difícil execução;
- Bom condutor de calor e som, o que torna necessário, em alguns casos, sua associação a elementos de maior isolamento acústico e térmico;
- É necessário um sistema de fôrmas com uso de escoramentos que devem permanecer no local até que o concreto alcance a resistência necessária.

2.1.1 Definições gerais de projeto

Na fase de projeto, são definidos os diversos parâmetros aos quais a estrutura estará submetida, de forma a considerar as condições mais próximas possível da realidade, e tais considerações devem ser observadas tanto durante o dimensionamento estrutural quanto na própria execução. Os aspectos em questão são apresentados pelas Normas de referência das estruturas de concreto armado e abrangem fatores como a agressividade ambiental, o número de pavimentos, a velocidade do vento na região, a zona na qual a edificação estará inserida, a topografia do terreno local e o tipo de ocupação (NBR 6118/2014).

A classe de agressividade ambiental, relacionada às ações físicas e químicas que atuam nas estruturas de concreto, é determinada em função do tipo de ambiente no qual a edificação está inserida, pois, a partir dessa definição, é possível avaliar o risco de deterioração da estrutura de acordo com a agressividade do ambiente, como explica a NBR 6118 (2014).

A avaliação em questão é necessária pois, a partir da mesma, é possível determinar, por exemplo, o cobrimento mínimo necessário da armadura, ou seja, a distância entre a armadura e a face externa do elemento estrutural. A falta de atendimento a estes critérios pode levar a graves problemas estruturais, uma vez que o aço, em contato com o meio, poderá sofrer diversos efeitos, como a despassivação da armadura por carbonatação ou por ação de cloretos, por exemplo, como aponta a NBR 6118 (2014).

Assim, a Norma em questão apresenta um quadro para a classificação da classe de agressividade ambiental de uma estrutura, como exposto no Quadro 1 apresentado adiante:

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

[a] Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

[b] Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) em obras em regiões de clima seco, com umidade média relativa do ar menor ou igual a 65 %, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos ou regiões onde raramente chove.

[c] Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

Quadro 1– Classes de agressividade ambiental

Fonte: NBR 6118 (2014) – Tabela 6.1.

A partir do Quadro 1, é possível definir a correspondência entre a classe de agressividade e a qualidade do concreto mínima necessária para cada uma dessas situações, com relação a relação água/cimento e a classe do concreto, ou seja, sua resistência à compressão, que diz respeito ao *Feature Compression Know*, o fck da edificação, tanto para o concreto armado quanto para o protendido, como é apresentado no Quadro 2 apresentado a seguir:

Concreto [a]	Tipo [b, c]	Classe de agressividade (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	≤ 0,65	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,45
	CP	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,50	≤ 0,45
Classe de concreto (ABNT NBR 8953)	CA	≥ C20	≥ C25	≥ C30	≥ C40
	CP	≥ C25	≥ C30	≥ C35	≥ C40

[a] O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 12655.
[b] CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado.
[c] CP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido.

Quadro 2 – Correspondência entre classe de agressividade e qualidade do concreto

Fonte: NBR 6118 (2014) – Tabela 7.1.

Em posse da classe de agressividade, além das definições dispostas na tabela anterior, é possível também verificar, como mencionado, o valor de cobrimento mínimo necessário para os elementos estruturais. Desta forma, de acordo com o Quadro 3 adiante, teremos as seguintes relações:

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV [c]
		Cobrimento nominal mm			
Concreto armado	Laje [b]	20	25	35	45
	Viga/pilar	25	30	40	50
	Elementos estruturais em contato com o solo [d]	30		40	50
Concreto protendido [a]	Laje	25	30	40	50
	Viga/pilar	30	35	45	55

[a] Cobrimento nominal da bainha ou dos fios, cabos e cordoalhas. O cobrimento da armadura passiva deve respeitar os cobrimentos para concreto armado.
[b] Para a face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contrapiso, com revestimentos finais secos tipo carpete e madeira, com argamassa de revestimento e acabamento, como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros, as exigências desta Tabela podem ser substituídas pelas de 7.4.7.5, respeitado um cobrimento nominal ≥ 15 mm.
[c] Nas superfícies expostas a ambientes agressivos, como reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos, devem ser atendidos os cobrimentos da classe de agressividade IV.
[d] No trecho dos pilares em contato com o solo junto aos elementos de fundação, a armadura deve ter cobrimento nominal ≥ 45 mm.

Quadro 3 – Correspondência entre classe de agressividade e o cobrimento nominal

Fonte: NBR 6118 (2014) – Tabela 7.2.

2.1.2 Ação do Vento

A NBR 6123 (1988) estuda os efeitos do vento nas edificações, que são definidos de acordo com diversos fatores, como a velocidade básica do vento, o fator topográfico, a rugosidade do terreno, a classe da edificação e fator estatístico, além do coeficiente de arrasto.

Com relação ao coeficiente de arrasto, a NBR 6123 (1988) explica que sua verificação se dá primeiramente a partir da identificação da turbulência do vento no local da obra, onde, no caso de dúvidas, dado que os valores do coeficiente de arrasto para baixa turbulência são maiores, ou seja, a força do vento é maior, considera-se então baixa turbulência, para trabalhar em favor da segurança.

O cálculo do coeficiente de atrito, segundo a NBR 6123 (1988), para edificações paralelepipédicas em vento de baixa turbulência, é feito com os dados da altura (H) e da largura das duas faces do edifício (L1 e L2), e é feito com o auxílio do ábaco disposto em norma, apresentado na Figura 1 adiante, onde no eixo das abscissas tem-se o valor de L1/L2 e, no eixo das ordenadas, H/L1. É necessário a análise para os ventos na horizontal e vertical, em 0°, 90°, 180° e 360°. É importante observar que o valor de L1 sempre se refere à face do edifício perpendicular a incidência do vento, e a L2 àquela paralela e, portanto, esses valores variam de acordo com a direção do vento em análise.

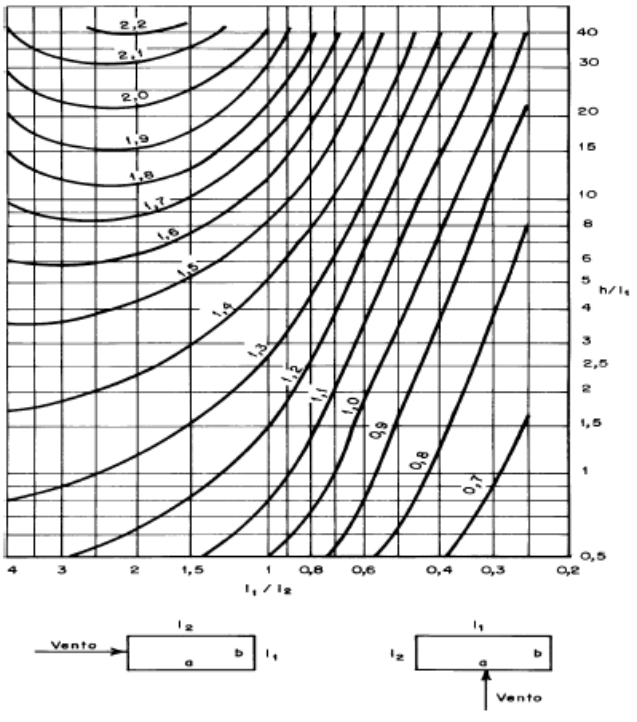


Figura 1 – Ábaco para coeficiente de arrasto em edificações sob baixa turbulência

Fonte: NBR 6123 (1988).

A velocidade básica do vento, V_0, é determinada de acordo com a região onde a construção está inserida, e se refere à velocidade uma rajada de 3s excedida em média uma vez em 50 anos, a 10 m acima do terreno, consideração situação de campo aberto e plano. Para auxílio na definição da velocidade V_0, a NBR 6123 (1988) ilustra regiões no mapa do Brasil onde são verificadas diferentes velocidades, tal como exposto na Figura 2 a seguir:

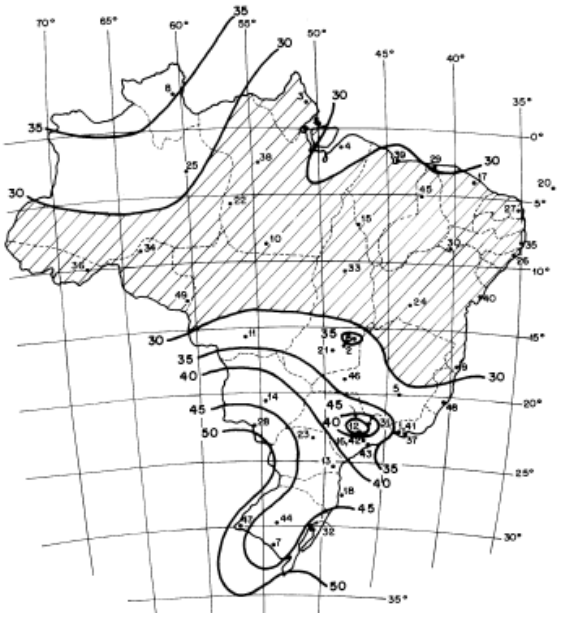


Figura 2 – Isopletas da velocidade básica V_0 (m/s)

Fonte: NBR 6123 (1988).

O fator topográfico (S_1) diz respeito às variações do relevo do terreno, e pode ser igual a 1,0 para terrenos planos ou francamente acidentados, variando para o caso de taludes e morros, sendo necessário a análise de cada caso para maiores definições, como aponta a NBR 6123 (1988).

O fator S_2, como explica a NBR 6123 (1988), considera o efeito da combinação entre a rugosidade do terreno, a variação da velocidade do vento com altura acima do terreno e as dimensões da edificação. São definidas cinco categorias para determinação deste fator:

I. Superfícies lisas de grandes dimensões, com mais de 5 km de extensão, medida na direção e sentido do vento incidente.
II. Terrenos abertos em nível ou aproximadamente em nível, com poucos obstáculos isolados, tais como árvores e edificações baixas.
III. Terrenos planos ou ondulados com obstáculos, tais como sebes e muros, poucos quebra-ventos de árvores, edificações baixas e esparsas.

IV. Terrenos cobertos por obstáculos numerosos e pouco espaçados, em zona florestal, industrial ou urbanizada.

V. Terrenos cobertos por obstáculos numerosos, grandes, altos e pouco espaçados.

Ainda como definição quanto ao fator S_2, para a altura acima do terreno, tem-se três categorias distintas, de acordo com a NBR 6123 (1988), onde o cálculo da velocidade média é de 3s, 5s e 10s, respectivamente:

- Classe A: Todas as unidades de vedação, seus elementos de fixação e peças individuais de estruturas sem vedação. Toda edificação na qual a maior dimensão horizontal ou vertical não exceda 20 m.
- Classe B: Toda edificação ou parte desta para a qual a maior dimensão horizontal ou vertical da superfície frontal esteja entre 20m e 50m.
- Classe C: Toda edificação ou parte de edificação para a qual a maior dimensão horizontal ou vertical da superfície frontal exceda 50 m.

O fator S_3 é baseado em conceitos estatístico, como aponta a NBR 6123 (1998), e considera o grau de segurança requerido em conjunto com a vida útil da edificação. A norma observa que, como mencionado com relação a velocidade do vento, o período de recorrência média é de 50 anos, e, neste momento, é considerado que existe uma probabilidade de 63% de que V_0 seja igualada ou excedida neste período. Assim, existem as seguintes determinações normativas:

Grupo	Descrição	S_3
1	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 comunicação, etc.)	1,10
2	Edificações para hotéis e residências. Edificações para comércio e indústria com alto fator de ocupação	1,00
3	Edificações e instalações industriais com baixo fator de ocupação (depósitos, silos, construções rurais, etc.)	0,95
4	Vedações (telhas, vidros, painéis de vedação, etc.)	0,88
5	Edificações temporárias. Estruturas dos grupos 1 a 3 durante a construção	0,83

Tabela 1 – Valores mínimos do fator estatístico S_3

Fonte: NBR 6123 (1988)

2.1.3 Definições de segurança

A fim de garantir a plena segurança da estrutura e dos usuários, a NBR 6118 (2014) estabelece que, no dimensionamento e verificação das lajes, devem ser considerados os Estados de Limite Último (ELU) e Estados Limites de Serviço (ELS). Bastos (2019) define ELU como a segurança da estrutura, ou seja, o limite para que não haja um colapso da mesma, ao passo que os ELS dizem respeito a segurança e conforto do usuário.

Os ELU, como aponta NBR 6118 (2014), abrangem os estados limites da perda de equilibro da estrutura, do esgotamento da capacidade resistente parcial ou total causado por solicitações normais e tangenciais ou por exposição ao fogo, além do estado limite de esgotamento pelos efeitos de segunda ordem, dos estados limites provocados por solicitações dinâmicas, por colapso progressivo, por ações sísmicas ou outros casos especiais.

Ainda segundo a NBR 6118 (2014), os ELS dizem respeito à durabilidade da estrutura, ao conforto, a aparência da mesma e sua boa utilização funcional, tanto para os usuários quanto para as máquinas e demais equipamentos presentes na edificação. Existem, portanto, os estados limite de formação de fissura, de abertura de fissuras, de deformações excessivas, de descompressão, de compressão e vibrações excessivas (NBR 6118/2014).

Bastos (2019) destaca que, mesmo que os limites de resistência às ações e carregamentos dos elementos estruturais sejam alcançados, a estrutura ainda deve ter capacidade de resistir ao colapso, ou seja, deve ter uma margem de segurança, atuando de forma a permitir que, em estado de serviço, a estrutura trabalhe em segurança e com certa folga. Tal margem é denominada coeficiente de ponderação, onde as ações nos ELU e ELS são minoradas quando estão a favor da segurança e, caso contrário, majoradas (NBR 6118/2014).

A verificação de segurança da estrutura com relação aos ELS e ELU deve ser analisada em função de combinações de serviço e combinações últimas, abordadas na NBR 6118 (2014), que são concebidas de forma a abordar os casos mais desfavoráveis sob os quais o sistema estará submetido.

Segundo a NBR 6118 (2014), as combinações de serviço se dividem em combinação quase permanente, que pode aturar durante a maior parte do período de vida da estrutura; a frequente que, como o próprio nome aponta, pode ocorrer muitas vezes ao longo do período de vida da estrutura e, por fim, a rara, menos frequente que as demais.

A combinação quase-permanente é necessária para avaliação do estado-limite de deformações excessivas. Já com relação às combinações frequentes, é observado sua necessidade de consideração para avaliar o estado-limite de formação de fissuras, de abertura

de fissuras e de vibrações excessivas, além do próprio estado-limite de deformações excessivas geradas pelo vento ou temperaturas que possam prejudicar vedações. Por fim, as raras são consideradas para verificar o estado-limite de formação de fissuras (NBR 6118/2014).

A verificação com relação a deformação, segundo a NBR 6118 (2014), considera os deslocamentos-limites, que são valores práticos utilizados para a verificação do estado-limite de deformação excessiva, ou seja, utilizando a combinação quase-permanente. A norma define os deslocamentos em quatro grupos: aceitabilidade sensorial, específica, em elementos não estruturais e em elementos estruturais.

Foi adotado no presente trabalho a verificação com relação à aceitabilidade sensorial visual, que é o limite dos efeitos visuais desagradáveis, sendo o deslocamento limitado a $l/250$, onde l se refere ao comprimento do vão, sendo este o menor vão para elementos de superfície. Para o caso de balanços, o vão equivalente deve ser considerado como o dobro do comprimento do balanço. A norma aponta, complementarmente, que é possível compensar parcialmente os deslocamentos excessivos com a aplicação de contraflecha, executado em obra, sendo observado que sua atuação isolada não deve ocasionar um desvio plano superior a $l/350$.

2.1.4 Normas de desempenho e de resistência ao fogo

A NBR 15.575/2013, que diz respeito ao desempenho de edificações habitacionais, é dividida em seis partes, onde a primeira aborda tópicos referentes a estanqueidade da água, ao desempenho térmico, acústico e lumínico, além da saúde, higiene, qualidade do ar e da funcionalidade e acessibilidade da edificação, bem como o conforto tátil e antropodinâmico. A segunda parte da norma tem relação direta com o presente trabalho, fornecendo informações relevantes quanto aos sistemas estruturais, e as demais partes tratam dos sistemas de piso, de vedações, cobertas e de instalações hidrossanitárias, respectivamente.

As normas de incêndio são a NBR 15.200/2012, que se refere aos projetos de estruturas de concreto em situações de incêndio e a NBR 14.432/2001, que descreve as exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações.

São estabelecidos, de acordo com a NBR 14432 (2001), diversas condições às quais os elementos estruturais devem atender para enfrentamento de situações de incêndio, onde o principal objetivo é o de evitar o colapso da estrutura, garantindo a segurança do usuário e da própria vizinhança. Com este objetivo, é definido pela norma o tempo requerido de resistência ao fogo (TRRF), que é o tempo mínimo de resistência de um elemento construtivo quando

submetido a um incêndio-padrão. Este tempo é necessário, portanto, para o próprio dimensionamento da estrutura.

A NBR 14432 (2001) traz as devidas classificações das edificações com relação a sua ocupação, definindo então dez grupos diferentes, que se dividem em residencial, serviços de hospedagem, comercial varejista, dentre outros. Para fins de objetividade do estudo, será destacado apenas o primeiro grupo, o residencial, que é subdivido tal como exposto no Quadro 4 adiante:

Grupo	Ocupação/uso	Divisão	Descrição	Exemplos
A	Residencial	A-1	Habitações unifamiliares	Casas térreas ou assobradadas, isoladas ou não
		A-2	Habitações multifamiliares	Edifícios de apartamento em geral
		A-3	Habitações coletivas	Pensionatos, internatos, mosteiros, conventos, residenciais geriátricos

Quadro 4 – Classificação das edificações quanto à sua ocupação

Fonte: NBR 14432 (2001) – Recorte da Tabela B.1

Em posse do grupo onde a edificação de interesse se insere, é possível então definir o valor de tempo requerido de resistência ao fogo, que pode variar então de 30 a 120 minutos, a depender da profundidade do subsolo e/ou altura da edificação, como demonstrado no Quadro 5 exposto a seguir:

Grupo	Ocupação/uso	Divisão	Profundidade do subsolo		Altura da edificação				
			Classe S_2 $h_s > 10$ m	Classe S_1 $h_s \leq 10$ m	Classe P_1 $h \leq 6$ m	Classe P_2 $6 \text{ m} < h \leq 12$ m	Classe P_3 $12 \text{ m} < h \leq 23$ m	Classe P_4 $23 \text{ m} < h \leq 30$ m	Classe P_5 $h > 30$ m
A	Residencial	A-1 a A-3	90	60 (30)	30	30	60	90	120
B	Serviços de hospedagem	B-1 e B-2	90	60	30	60 (30)	60	90	120
C	Comercial varejista	C-1 a C-3	90	60	60 (30)	60 (30)	60	90	120
D	Serviços profissionais, pessoais e técnicos	D-1 a D-3	90	60 (30)	30	60 (30)	60	90	120
E	Educacional e cultura física	E-1 a E-6	90	60 (30)	30	30	60	90	120
F	Locais de reunião de público	F-1, F-2, F-5, F-6 e F-8	90	60	60 (30)	60	60	90	120
G	Serviços automotivos	G-1 e G-2 não abertos lateralmente e G-3 a G-5	90	60 (30)	30	60 (30)	60	90	120
		G-1 e G-2 abertos lateralmente	90	60 (30)	30	30	30	30	60
H	Serviços de saúde e institucionais	H-1 a H-5	90	60	30	60	60	90	120
I	Industrial	I-1	90	60 (30)	30	30	60	90	120
		I-2	120	90	60 (30)	60 (30)	90 (60)	120 (90)	120
J	Depósitos	J-1	90	60 (30)	30	30	30	30	60
		J-2	120	90	60	60	90 (60)	120 (90)	120

Quadro 5 – Tempos requeridos de resistência ao fogo (TRRF), em minutos

Fonte: NBR 14432 (2001) –Tabela A.1

Após a devida classificação do TRRF, é possível avaliar a adequação de cada elemento estrutural através da NBR 15200 (2012), que se refere a projetos de estrutura de concreto em situação de incêndio. São definidos pela norma em questão alguns critérios de verificação da estrutura, sendo o método tabular um dos mais práticos, pois avalia as dimensões mínimas do elemento em função do tipo de elemento e do TRRF.

A NBR 15200 (2012) define alguns parâmetros para avaliação do elemento, como c_1, que se refere à distância entre o eixo da armadura longitudinal e a face do concreto exposta ao fogo, *b* como a dimensão ou largura da seção transversal de um elemento e *h* como a dimensão ou altura da seção transversal de um elemento.

Para as vigas, segundo orientações da NBR 15200 (2012), foi aplicado a hipótese de que existe aquecimento em três lados, sob a laje, e são avaliados parâmetros de largura *b* da peça e a distância c_1 das armaduras inferiores. Essa avaliação foi dividida em dois grupos, que variam em função da quantidade de apoios, onde o primeiro grupo se refere às vigas biapoiadas e o segundo às contínuas, tal como apresentado no Quadro 6 e Quadro 7 a seguir:

TRRF min	Combinações de b_{min}/c_1 mm/mm				$b_{wmín}$ mm
	1	2	3	4	
30	80/25	120/20	160/15	190/15	80
60	120/40	160/35	190/30	300/25	100
90	140/60	190/45	300/40	400/35	100
120	190/68	240/60	300/55	500/50	120
180	240/80	300/70	400/65	600/60	140

[a] Os valores de c_1 indicados nesta tabela são válidos para armadura passiva. No caso de elementos protendidos, os valores de c_1 para as armaduras ativas são determinados acrescendo-se 10 mm para barras e 15 mm para fios e cordoalhas.

Quadro 6 – Dimensões mínimas para vigas biapoiadas

Fonte: NBR 15200 (2012) –Tabela 4

TRRF min	Combinações de b_{min}/c_1 mm/mm				$b_{wmín}$ mm
	1	2	3	4	
30	80/15	160/12	–	–	80
60	120/25	190/12	–	–	100
90	140/37	250/25	–	–	100
120	190/45	300/35	450/35	500/30	120
180	240/60	400/50	550/50	600/40	140

[a] Os valores de c_1 indicados nesta tabela são válidos para armadura passiva. No caso de elementos protendidos, os valores de c_1 para as armaduras ativas são determinados acrescendo-se 10 mm para barras e 15 mm para fios e cordoalhas.

Quadro 7 – Dimensões mínimas para vigas contínuas

Fonte: NBR 15200 (2012) –Tabela 5

Da mesma forma que nas vigas, as lajes foram divididas, além dos tipos de laje, em dois grupos com relação aos apoios: lajes simplesmente apoiadas e lajes contínuas. Para este tipo de elemento, foi assumido que o aquecimento se dá na face inferior, sendo utilizado como parâmetro de avaliação a altura *h* e a distância c_1 das armaduras inferiores. Assim, os Quadros 8 e 9 apresentados adiante se referem a esses limites, segundo a NBR 15200 (2012).

TRRF min	h [a] mm	c_1 mm		
		Laje armada em duas direções [b]		Laje armada em uma direção $\ell_y/\ell_x > 2$
		$\ell_y / \ell_x \leq 1{,}5$	$1{,}5 < \ell_y / \ell_x \leq 2$	
30	60	10	10	10
60	80	10	15	20
90	100	15	20	30
120	120	20	25	40
180	150	30	40	55

[a] Dimensões mínimas para garantir a função corta-fogo.

[b] Lajes apoiadas nas quatro bordas; caso contrário, a laje deve ser considerada armada em uma direção.

[c] Os valores de c_1 indicados nesta tabela são válidos para armadura passiva. No caso de elementos protendidos, os valores de c_1 para as armaduras ativas são determinados acrescendo-se 10 mm para barras e 15 mm para fios e cordoalhas.

Quadro 8 – Dimensões mínimas para lajes simplesmente apoiadas

Fonte: NBR 15200 (2012) –Tabela 6

TRRF min	h [a] mm	c_1 mm		
		Laje armada em duas direções [b]		Laje armada em uma direção $\ell_y/\ell_x > 2$
		$\ell_y / \ell_x \leq 1,5$	$1,5 < \ell_y / \ell_x \leq 2$	
30	60	10	10	10
60	80	10	15	20
90	100	15	20	30
120	120	20	25	40
180	150	30	40	55

[a] Dimensões mínimas para garantir a função corta-fogo.
[b] Lajes apoiadas nas quatro bordas; caso contrário, a laje deve ser considerada armada em uma direção.
[c] Os valores de c_1 indicados nesta tabela são válidos para armadura passiva. No caso de elementos protendidos, os valores de c_1 para as armaduras ativas são determinados acrescendo-se 10 mm para barras e 15 mm para fios e cordoalhas.

Quadro 9 – Dimensões mínimas para lajes contínuas

Fonte: NBR 15200 (2012) –Tabela 7

Com relação às lajes nervuradas, aquelas armadas em duas direções devem seguir os parâmetros expostos no Quadro 10 e 11, ao passo em que, para lajes armadas em uma só direção, a orientação com relação às nervuras segue os parâmetros do Quadro 12 e com relação a capa segue o Quadro 8 na coluna de lajes armadas em uma só direção, como explica a NBR 15200 (2012).

TRRF min	Nervuras Combinações de b_{min}/c_1 a mm/mm			Capa [b] h/c_1 mm/mm
	1	2	3	
30	80/15			60/10
60	100/35	120/25	190/15	80/10
90	120/45	160/40	250/30	100/15
120	160/60	190/55	300/40	120/20
180	220/75	260/70	410/60	150/30

[a] b_{min} corresponde à largura mínima da nervura ao nível do centro geométrico das armaduras.
[b] h é a altura mínima da laje para garantir a função corta-fogo.
[c] Os valores de c_1 indicados nesta tabela são válidos para armadura passiva. No caso de elementos protendidos, os valores de c_1 para as armaduras ativas são determinados acrescendo-se 10 mm para barras e 15 mm para fios e cordoalhas.

Quadro 10 – Dimensões mínimas para lajes nervuradas simplesmente apoiadas

Fonte: NBR 15200 (2012) –Tabela 9

TRRF min	Nervuras Combinações de $b_{mín}/c_1$ [a] mm/mm			Capa [b] h/c_1 mm/mm
	1	2	3	
30	80/10			60/10
60	100/25	120/15	190/10	80/10
90	120/35	160/25	250/15	100/15
120	160/45	190/40	300/30	120/20
180	310/60	600/50		150/30

[a] $b_{mín}$ corresponde à largura mínima da nervura ao nível do centro geométrico das armaduras.
[b] h é a altura mínima da laje para garantir a função corta-fogo.
[c] Os valores de c_1 indicados nesta tabela são válidos para armadura passiva. No caso de elementos protendidos, os valores de c_1 para as armaduras ativas são determinados acrescendo-se 10 mm para barras e 15 mm para fios e cordoalhas.

Quadro 11 – Dimensões mínimas para lajes nervuradas contínuas em pelo menos uma das bordas

Fonte: NBR 15200 (2012) –Tabela 10

TRRF min	Nervuras Combinações de $b_{mín}/c_1$ mm/mm	
	1	2
30	80/25	100/20
60	100/45	120/40
90	130/60	150/50
120	160/65	220/50
180	220/80	

[a] Os valores de c_1 indicados nesta tabela são válidos para armadura passiva. No caso de elementos protendidos, os valores de c_1 para as armaduras ativas são determinados acrescendo-se 10 mm para barras e 15 mm para fios e cordoalhas.

Quadro 12 – Dimensões mínimas para lajes nervuradas armadas em uma só direção

Fonte: NBR 15200 (2012) –Tabela 11

No que diz respeito aos pilares, a NBR 15200 (2012) apresenta o Quadro 13 adiante para a hipótese de que apenas uma das faces será exposta ao fogo, sendo necessário aplicar um método analítico explicado na Norma para casos onde há mais faces expostas. Os parâmetros de avaliação para os pilares são com relação a largura b da peça e a distância c_1 das armaduras para pilares.

TRRF min	Combinações de b_{min} /c_1 mm/mm
30	155/25
60	155/25
90	155/25
120	175/35
180	230/55

Quadro 13 – Dimensões mínimas para pilares com uma face exposta ao fogo

Fonte: NBR 15200 (2012) –Tabela 12

2.2 Sistemas Estruturais

Quanto a concepção de projeto, como observa Alva (2007), é definido que os sistemas estruturais são essencialmente uma disposição racional dos elementos estruturais de tal modo que, trabalhando de forma conjunta, são capazes de resistir às diversas solicitações que atuam no sistema.

Giongo (2006) aponta que os arranjos estruturais atuam de forma que os subsistemas horizontais bidimensionais recebem as ações verticais, permanentes e acidentais, transferindo tais esforços para os subsistemas verticais. Os pilares trabalham como subsistema vertical, transmitindo as cargas coletadas até a fundação e, por fim, da fundação ao solo.

Os subsistemas horizontais, segundo Giongo (2006) consistem em uma placa, usualmente uma laje de concreto, que tem por função receber ações verticais gravitacionais. Estas placas podem necessitar de maior concentração de material na ligação entre estas e os elementos verticais, o que gera maior resistência, como no caso do engrossamento da laje ao redor do pilar no emprego do capitel.

As lajes que se utilizam de vigas e nervuras em sua concepção são, essencialmente, uma combinação de placas e barras horizontais, onde, por exemplo, as nervuras são barras em grande quantidade e menor sessão transversal e as vigas, por sua vez, são barras de maior sessão transversal e em menor densidade (GIONGO, 2006).

Os subsistemas verticais, como explica Giongo (2006), suportam e recebem os esforços dos subsistemas horizontais, transmitindo-os para as fundações e, em conjunto com os subsistemas horizontais, compõem painéis que resistem às ações laterais. Tais arranjos são, por exemplo, os próprios pilares (barras verticais contínuas), os pórticos (conjunto de barras horizontais e verticais), as paredes, que atuam como folhas planas, e os núcleos, um conjunto de folhas que envolvem elementos como escadas e elevadores.

Albuquerque (1999) observa que a laje recebe as ações permanentes, que podem ser permanentes diretas e indiretas. A direta representa elementos como seu peso próprio, o revestimento, jardins e piscina, ou ainda cargas linearmente distribuídas, geradas por paredes, abas e esquadrias de carga significativa, por exemplo. As ações permanentes indiretas são as deformações impostas pela retração e fluência do concreto, pelo deslocamento do apoio ou as imperfeições geométricas, por exemplo. O autor aponta que as ações permanentes são consideradas, em seus valores representativos, da forma mais desfavorável para a segurança.

A estrutura recebe, além das ações permanentes, as ações varáveis diretas, geradas pelo acesso ao público e que variam de acordo com o uso definido em arquitetura, como doméstico, comercial, de estacionamento, academia e outros. Além disso, as ações variáveis dizem também respeito às ações do vento e da própria chuva, como explica Albuquerque (1999).

2.3 Lajes

Botelho e Marchetti (2015) apontam que as lajes podem ser classificadas segundo sua geometria, classificação esta que determina diversos limites, posteriormente explicado. O primeiro tipo compõe as lajes armadas em duas direções, que apresentam o comprimento e largura de valores aproximados e, para o segundo tipo, tem-se as lajes armadas em uma direção, que possuem o comprimento de uma das direções ultrapassando o dobro da medida da outra.

Para as lajes armadas em duas direções, a armação dos momentos positivos ocorre em ambas direções no meio do vão, ao passo que, para aquelas só em uma, a armadura se dá apenas na direção do menor vão, que se torna então a direção principal de armação. É importante observar que, mesmo para estes casos, é necessário a armadura transversal de distribuição ou a mínima necessária na região (BOTELHO e MARCHETTI, 2015).

A armação nas lajes se distribui de diversas formas, para diferentes fins, como a armadura para vencer o momento positivo nas lajes, na parte inferior da laje; a armadura negativa, que fica nos apoios e na parte superior da laje e normalmente é mais espessa que a positiva; a armadura de contorno, que tem a função de evitar trincas nas ligações das vigas às lajes e a armadura construtiva, que auxilia na armação das demais, a exemplo do caranguejo, que existe para sustentar a armadura negativa no topo da laje e com o espaçamento correto exigido em projeto (BOTELHO e MARCHETTI, 2015).

2.3.1 Lajes Maciças

Spohr (2008) explica que as lajes maciças são placas horizontais apoiadas ao longo de seu perímetro e cujos esforços gerados pelo uso e cargas permanentes são recebidos em toda sua área e transferidos para as vigas dispostas em seu contorno. Bastos (2019) complementa que toda sua espessura é preenchida com concreto, cobrindo assim as armaduras previamente montadas em seu interior. O tipo de laje em questão pode ser apoiado em suas quatro bordas ou apresentar bordas livres, como no caso de marquises, onde apenas uma de suas bordas é engastada a uma viga, ou em uma laje vizinha o que compõe uma laje em balanço.

É demonstrado na Figura 3 exposta adiante a montagem da armação de uma laje maciça de fundo de um reservatório inferior, onde, após esse processo, é feito a montagem das fôrmas e então concretagem. Na Figura 4, também exposta adiante, é apresentado um esquema de laje maciça convencional, com elementos como pilar, viga, a laje e as armaduras.

Figura 3 – Montagem de armação para laje maciça convencional

Fonte: (AUTORA, 2022).

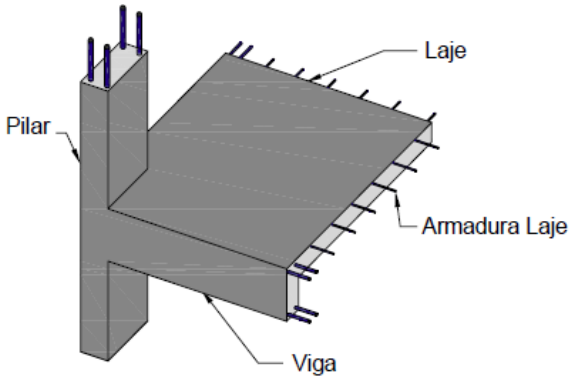


Figura 4 – Esquema de laje maciça convencional

Fonte: Spohr, 2008.

Com relação às prescrições normativas que abrangem a laje maciça, a NBR 6118 (2014) define espessuras mínimas a serem utilizadas para diferentes situações de apoio e de suporte de carga, tal como exposto adiante:

- 7 cm para lajes de cobertura não em balanço;
- 8 cm para piso não em balanço;
- 10 cm para lajes em balanço ou para aquelas de suporte de veículos de peso total menor ou igual a 30 kN;
- 12 cm para lajes de suporte de veículos de peso total maior que 30 kN.

Com relação às vantagens da utilização de lajes maciças convencionais, pode-se apontar alguns pontos de destaque:

- Devido à distribuição das reações recebidas pelas lajes para todas as vigas de contorno, é possível verificar um melhor aproveitamento das vigas do pavimento, como apontam Carvalho e Filho (2014), pois se obtém resultados de cargas da mesma ordem de grandeza, sem muitas concentrações excessivas;
- Bom desempenho com relação a capacidade de redistribuição de esforços (VIZOTTO e SARTOTI, 2010);
- Facilidade de montagem prévia à concretagem de elementos como tubulações elétricas, hidráulicas e outras (CARVALHO e FILHO, 2014);
- Apropriada para situações singulares necessárias à arquitetura, sendo possível a utilização de um, dois ou três bordos livres, como apontam Vizotto e Sartoti (2010).

No que diz respeito às desvantagens do uso da laje maciça convencional, temos alguns pontos a serem destacados, como apontam os autores:

- Consumo elevado de fôrmas, escoras, concreto e aço, como mencionado por Vizotto e Sartoti (2010), mas sendo necessário destacar que o uso de fôrmas e escoras, no caso de maior repetição de pavimentos, é reduzido por sua reutilização Carvalho e Filho (2014);
- Elevado peso próprio, que gera maiores reações nos elementos de apoio ligados a mesma e maior custo em sua confecção, como apontam Vizotto e Sartoti (2010);
- Elevado consumo de mão-de-obra gerado pelas atividades dos profissionais envolvidos nos processos *in-loco*, como armadores, carpinteiros, pedreiros e serventes (VIZOTTO e SARTOTI, 2010).

- Limitação para uso quando se almeja vãos maiores, devido a necessidade de aumento da espessura média de concreto para combater a flexão nas lajes, o que gera maior custo em comparação com outros sistemas, a depender da arquitetura (VIZOTTO e SARTOTI, 2010).

2.3.2 Lajes Nervuradas

O uso das lajes nervuradas foi disseminado na busca da construção civil em reduzir o peso próprio das estruturas, o que acarreta no alívio de carregamentos permanentes dos elementos até a fundação (LOPES e SOUZA, 2016). A NBR 6118 (2014) define as lajes nervuradas em dois grupos, sendo estes aquelas moldadas no local e aquelas com nervuras pré-moldadas, cuja zona de tração para momentos positivos está localizada entre as nervuras, dentre as quais se aplica o material inerte, ou seja, o concreto.

As lajes nervuradas pré-moldadas têm como característica a confecção da nervura prévia a sua locação, como no emprego de vigotas unidirecionais pré-fabricadas com armadura em treliça ou trilhos, juntamente com enchimento sem função estrutural que servirá de fôrma para a mesa em concreto, como o EPS (poliestireno expandido) ou bloco cerâmico, amplamente utilizados, ou também pode-se optar pelo próprio vazio entre nervuras, o que reduz o peso próprio da laje, mas requer o uso de fôrmas plásticas, por exemplo (SILVA, 2005).

As lajes nervuradas no local são executadas em sua posição definitiva, sendo possível o uso de nervuras duplas, invertidas e normais, com nervuras inferiores e mesa superior de concreto. As lajes em questão permitem vãos muito maiores em comparação com as lajes nervuradas com vigotas pré-moldadas ou com as próprias lajes maciças, uma vez que estas apresentam valores elevados de deslocamento transversal, o que as torna antieconômicas, sendo necessários espessuras maiores para atender aos limites mínimos estabelecidos em Norma (SILVA, 2005).

No que diz respeito às definições normativas, a laje em questão é também contemplada pela NBR 6118 (2014), que aponta certas exigências a serem observadas na adoção do sistema:

- A espessura da mesa, em caso de ausência de tubulações embutidas, deve ser igual ou superior a 1/15 da distância entre as faces da nervura e não menor do que 4 cm;
- O valor mínimo absoluto da espessura da mesa deve ser 5 cm quando há tubulações embutidas de diâmetro (ϕ) menor ou igual a 1 cm e, para aquelas superiores a 1 cm,

a espessura da mesa deverá ser de, no mínimo, 4 cm + ϕ ou, em caso de cruzamento destas, 4 cm + 2 ϕ;

- A espessura das nervuras não deve ser inferior a 5 cm e, para espessuras inferiores a 8 cm, não deve haver armadura de compressão.

A NBR 6118 (2014) delimita também características para projeto, principalmente com relação ao espaçamento entre os eixos das nervuras:

- Para lajes com espaçamento entre eixos igual ou inferior a 65 cm, não é necessário a verificação da flexão da mesa, e é permitido a consideração dos critérios de laje para a verificação do cisalhamento da região das nervuras;
- Para espaçamentos entre 65 cm e 110 cm, torna-se necessário a análise da flexão da mesa, sendo as nervuras verificadas com relação ao cisalhamento tal como são as vigas, exceto quando esse espaçamento é de até 90 cm e a largura média das nervuras maior que 12 cm, situação em que esta análise é feita tal como laje;
- Para espaçamento maior que 110 cm, a mesa deve ser projetada tal como laje maciça convencional, ou seja, apoiada na grelha de vigas e sendo verificado os mesmos limites mínimos de espessura estabelecidos para tal caso.

2.3.2.1 Laje Nervurada Moldada no Local

As lajes nervuradas moldadas no local utilizadas no presente trabalho são aquelas onde há vazios entre as nervuras, ou seja, não foi utilizado enchimento, e sua concretagem é executada com o uso de fôrmas plásticas removíveis, também conhecidas como cubetas. Este tipo de laje pode necessitar do uso de placas de fôrmas apenas na face inferior das nervuras, o assoalho, elemento normalmente constituído de madeira e sustentado por cimbramento de estrutura de madeira ou metálica (SILVA, 2005), tal como exposto na Figura 5 a seguir:

Figura 5 – Assoalho com cimbramento metálico para laje nervurada

Fonte: (AUTORA, 2022).

A Figura 6 exposta adiante apresenta o sistema de lajes nervuradas com vigas de borda e capitéis na região dos pilares, sendo a imagem referente a conclusão da montagem da armadura, onde é possível observar, além das esperas dos pilares e dos espaçadores feitos na própria obra, as armaduras negativas, as positivas entre as nervuras, a ancoragem das armaduras da laje na viga de borda e a tela soldada de distribuição, dentre outros detalhes.

Figura 6 – Laje nervurada moldada no local com cubetas plásticas

Fonte: (AUTORA, 2022).

As fôrmas plásticas em polipropileno, demonstradas na Figura 6 acima, são normalmente locadas para o período de execução da laje, e estão disponíveis no mercado em diversas dimensões, variando sua geometria de forma a atender as exigências impostas em arquitetura, de acordo com a necessidade do projetista. Como características, observa-se que as cubetas em fôrma plástica são reaproveitáveis, reforçadas internamente e apresentam ótima precisão em suas dimensões, além de serem leves e de fácil manuseio, não sendo necessário o uso de ar comprimido para desforma (SILVA, 2005).

Diversas são as características que oferecem vantagem ao sistema de lajes nervuradas moldadas no local, como menciona Silva (2005):

- Por apresentarem um braço de alavanca maior do que as maciças, possuem maior rigidez e resistem a maiores esforços, com um aproveitamento eficiente de aço e concreto, o que a torna uma opção viável para grandes vãos;
- Vantajoso em locais como garagem, pois, permitindo vão maiores, aliviam no vão entre os pilares que limitam as vagas de automóveis;
- Podem ser executadas com uso da mesma tecnologia empregada em lajes maciças, de amplo acesso no mercado brasileiro;
- Permitem racionalização, como no uso das telas soldadas como armadura de distribuição e na possibilidade de embutir tubulações elétricas, de gás e outras.

Como destaque para suas características limitantes, Silva (2005) apresenta certos fatores:

- Podem aumentar a altura total da edificação devido sua maior espessura total, que pode comprometer o pé esquerdo definido na arquitetura;
- Aumenta as dificuldades de compatibilização com subsistemas;
- Exige maior número de operações no processo de montagem;
- Dificuldade de projetar uma modulação única para o pavimento todo, tal que o espaçamento entre as nervuras se mantenha igual;
- Exige maior cuidado para preenchimento de vazios no concreto, pois possui dimensões pequenas.

2.3.2.2 Lajes Nervuradas Pré-Fabricadas

As lajes nervuradas pré-fabricadas utilizadas no presente trabalho são do tipo unidirecionais com vigotas treliçadas e enchimento em poliestireno expandido, mais comumente conhecido como EPS. Segundo Carvalho e Filho (2014), as lajes pré-moldadas unidirecionais têm como uma das principais características a disposição das vigotas no sentido do menor vão, que normalmente são simplesmente apoiados nas vigas perpendiculares ao sentido deste vão.

É importante observar, como aponta Silva (2005), que a laje em questão é armada em uma direção e, desta forma, a distribuição de ações atua, em sua maioria, apenas nesse sentido. Na Figura 7 adiante é apresentado um esquema que ilustra os diversos elementos envolvidos neste sistema de laje, como as vigotas treliçadas, o enchimento em EPS, a tela de distribuição, as armaduras superiores de tração, as armaduras transversais inferiores de tração, a nervura transversal, o início do processo capeamento e, por fim, o conjunto de escoras, neste caso, metálicas.

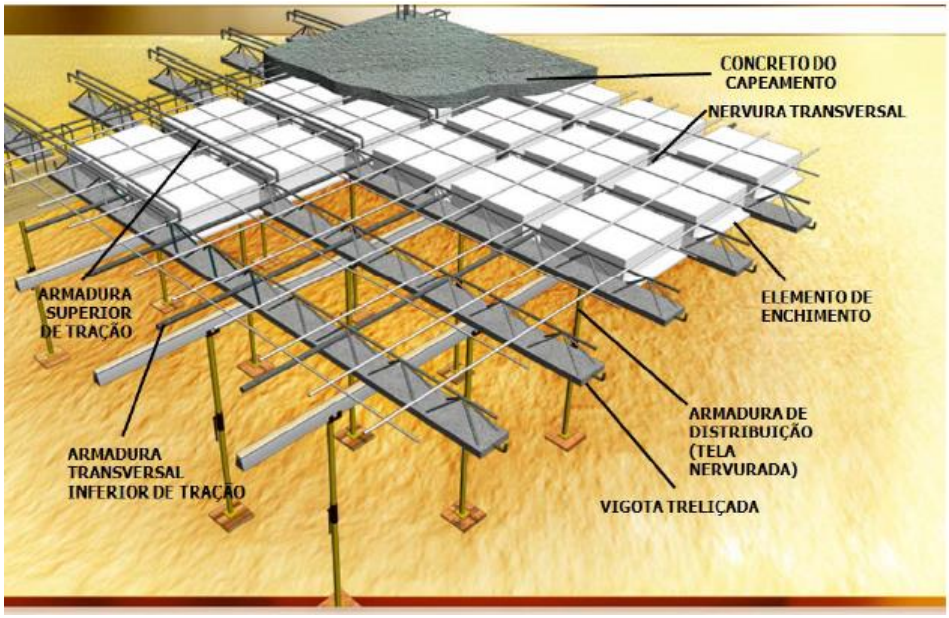


Figura 7 – Esquema de laje pré-fabricada com vigotas treliçadas e enchimento em EPS

Fonte: Vizotto e Sartoti, 2010.

A vigota treliçada, como aponta a empresa GERDAU, é fabricada com aço CA-60 nervurado, que tem boa aderência com o concreto. Seu uso pode proporcionar, segundo a empresa, a redução do uso de fôrmas, escoramento e da mão-de-obra, bem como a racionalização na execução e organização em canteiro de obra, além da maior rapidez na montagem, se comparado com sistemas moldados no local.

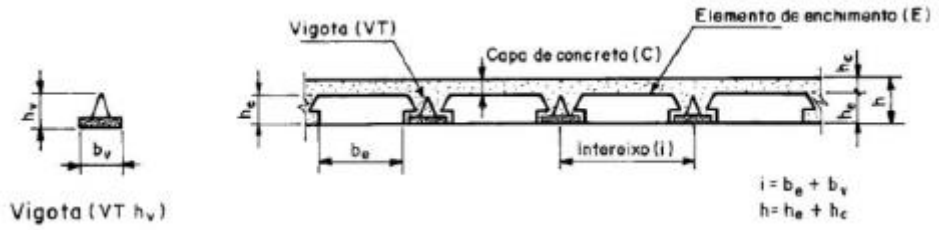


Figura 8 – Detalhe de vigotas treliçadas com enchimento

Fonte: ABNT NBR 14589-1, 2002.

Observa-se, na Figura 8, que a vigota treliçada é distribuída em forma triangular, onde o fio superior, conhecido como banzo superior confere resistência ao momento fletor negativo, funcionando também como armadura de compressão durante a montagem e concretagem da mesma. Os banzos inferiores, por outro lado, contribuem com o momento fletor positivo, sendo estes unidos ao superior através de barras em formato triangular, que conferem maior rigidez ao conjunto, além de auxiliar no transporte e manuseio e melhorar a resistência aos esforços cortantes, segundo as explicações presentes no Manual Técnico da Arcelormittal (2010).

Como todos os tipos de lajes, existem características que favorecem e também que desfavorecem o uso desta. Observa-se, como fatores positivos, alguns pontos de destaque, segundo Silva (2005):

- Segundo o autor, a laje em questão não necessita do emprego de fôrmas para concretagem da capa e de parte da nervura, uma vez que as vigotas e os próprios elementos de enchimento já suprem essa função;
- Tal como na laje nervurada moldada no local, nesta é também possível a implementação de racionalizações como o uso de tela soldadas para armadura de distribuição e embutir tubulações elétricas de forma direta, muitas vezes dispensando a necessidade de laje rebaixada ou forro falso, por exemplo.
- Existe uma redução no custo sob os pontos de vista do uso de materiais industrializados, onde é possível alcançar baixa perda de materiais durante sua execução, além de ser o tipo de laje que apresenta menor volume de concreto e armaduras necessárias e, por fim, requer uma quantidade de mão-de-obra substancialmente reduzido.

Como pontos que acarretam em limitações, a depender da situação de aplicação, podem ser descritas diferentes considerações:

- Seu uso para edifícios de muitos pavimentos deve ser ponderado, uma vez que acarreta em alto custo de transporte interno dos elementos pré-fabricados através de elevadores na obra, além de aumentar problemas com relação a própria segurança dos colaboradores (SILVA, 2005);
- De forma geral, as vigas que recebem as cargas unidirecionais provindas da laje apresentam maior esforço de flexão em comparação com aquelas vinculadas às maciças, por exemplo, já que nesta é possível a melhor distribuição das cargas (CARVALHO e FILHO, 2014);
- Como aponta Silva (2005), os valores de deslocamento transversal são relativamente superiores em relação á lajes maciças ou àquelas nervuradas moldadas no local, por exemplo;
- Silva (2005) aponta que este tipo de laje é desvantajoso para grandes vãos ou quando é necessário suportar ações de valores elevados, pois gera um elevado aumento na taxa de armadura e na altura final da mesma.
- Silva (2005) aponta que, para paredes perpendiculares às vigotas, faz-se necessária a implementação de nervuras transversais para melhor distribuição da ação relativa ao peso da parede, e, caso paralelo às mesmas, pode ser utilizado uma ou mais vigotas pré-fabricadas sob este elemento, uma vez que a resistência se dá por ele, e não pelos enchimentos;
- Para casos onde se almeja continuidade entre lajes contíguas e também para lajes em balanço, é necessário a disposição de armadura negativa para resistir aos momentos negativos gerados nos apoios, dentre outras soluções (SILVA, 2005).

2.4 Vigas

Segundo a NBR 6118 (2014), as vigas são elementos lineares nos quais o esforço de flexão é preponderante em comparação com os demais. A Norma define também que as vigas não devem apresentar largura da seção transversal inferior a 12 cm e, para o caso de vigas-parede, essa largura não deve ser inferior a 15 cm. Em casos especiais, onde é necessário atender a certas restrições descritas em norma, é possível assumir uma largura de 10 cm.

Rebello (2000) faz algumas recomendações com relação ao lançamento de vigas, observando que, sempre que possível, é ideal que a distância entre as vigas mantenha uma ordem de grandeza, pois lajes de tamanho muito distintos usualmente requerem espessuras diferentes, o que dificulta o processo construtivo, além de atrapalhar o próprio comportamento

das lajes, gerando problemas como o aumento no momento fletor de uma laje menor vinculada à maior, por exemplo.

É recomendado pelo autor que as vigas sejam idealmente locadas sob as alvenarias, uma vez que a viga apresenta maior rigidez do que a laje, e, portanto, a locação da parede sobre a viga causará menor deformação do que causaria sobre uma laje. De outra forma, é também recomendado que as vigas sejam locadas sobre as alvenarias, evitando que a laje descarregue no elemento de vedação vertical, situação não recomendada (RABELO, 2000).

2.5 Pilares

De acordo com a NBR 6118 (2014), os pilares são elementos lineares, assim como as vigas, mas usualmente são dispostos na vertical, e, portanto, as forças normais de compressão são preponderantes neste elemento. A Norma define que a seção transversal de pilares, qualquer que seja sua forma, não deve apresentar dimensão inferior a 19 cm e a área da seção transversal não deve ser inferior a 360 cm². Para casos especiais, é possível utilizar dimensões entre 14 cm e 19 cm, desde que seja acrescido um coeficiente adicional disposto em Norma.

Segundo Rabelo (2000), em princípio, é possível que uma edificação seja construída com o uso de apenas um pilar, mas essa solução acarretaria em uma estrutura extremamente ineficiente e antieconômica. Desta forma, o autor observa que, para prédios de médio e pequeno porte, a depender do tipo de laje utilizada, vãos econômicos assumem de 4 a 6 metros de distância um do outro. É recomendado, assim como na observação referente às vigas, a manutenção de vãos da mesma ordem de grandeza.

É também aconselhável, segundo o autor, que os pilares sejam contínuos, da fundação ao topo, evitando o uso de vigas de transição, que tornam a estrutura mais onerosa. Além disso, é ideal que os pilares sejam locados no encontro de vigas, no caso de lajes que façam o uso das mesmas, para que seja evitado cargas concentradas nas vigas, situação em que há aumento na solicitação do momento fletor, o que pode gerar a necessidade de aumento de seção da mesma (RABELO, 2000).

3 METODOLOGIA

O presente trabalho tem como proposta apresentar um comparativo entre os quantitativos e custos dos materiais de três sistemas estruturais em um estudo de caso, cujo modelo arquitetônico adotado foi nomeado de Atlantic Residence, constituído por um subsolo, um térreo comercial, três pavimentos residenciais (cada um com quatro apartamentos), uma cobertura com acesso ao público, uma coberta, um reservatório e casa de máquina do elevador.

Para obtenção desse comparativo, foi utilizado o projeto arquitetônico mencionado em conjunto com o *software* de cálculo estrutural TQS, na versão Estudante, sendo a posterior análise de custo desenvolvida com base nos valores e dados de referência disponibilizados pelo Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI), aplicados na Paraíba e na presente data.

3.1 Projeto arquitetônico

O projeto arquitetônico utilizado foi disponibilizado para estudo acadêmico por um grupo de alunos da turma de arquitetura da Universidade Federal da Paraíba em 2020, onde foi criado tanto o modelo arquitetônico quanto o estrutural, feito com verificação do pré-dimensionamento dos elementos estruturais através da utilização dos métodos gráficos propostos para essa finalidade por Rabello (2007), sendo então definidas as dimensões dos pilares, de vigas e das lajes, neste caso a maciça convencional.

Foi disponibilizado todo o detalhamento do projeto arquitetônico, que inclui plantas baixas, cortes esquemáticos e modelos 3D, com suas caracterizações, tal como apresentado:

Figura 9 – Modelo 3D arquitetônico

Fonte: UFPB (2020).

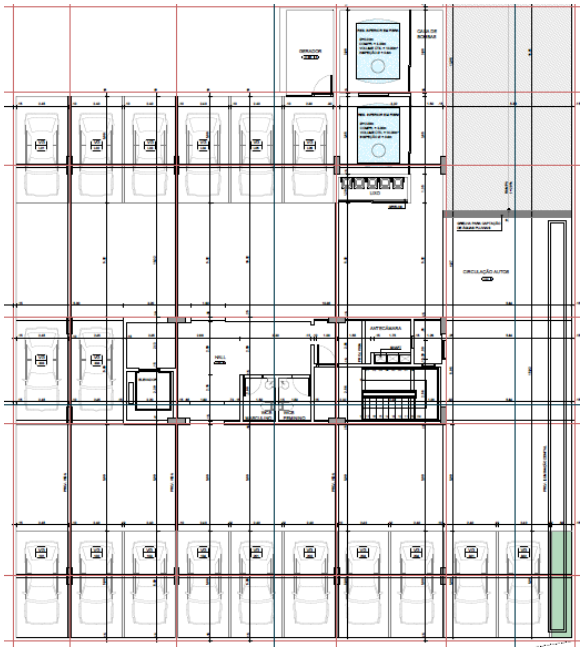


Figura 10 – Planta baixa arquitetônica do subsolo

Fonte: UFPB (2020).

Figura 11 – Planta baixa arquitetônica do térreo

Fonte: UFPB (2020).

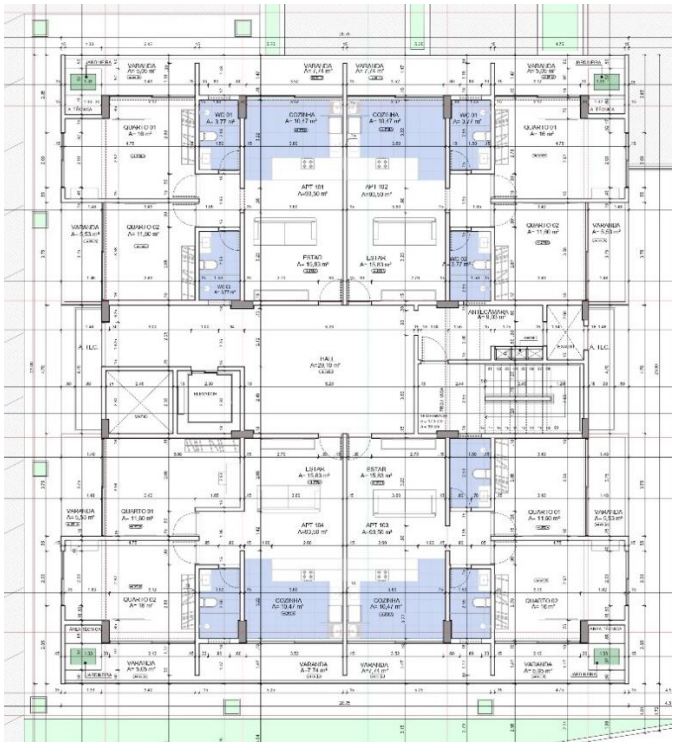


Figura 12 – Planta baixa arquitetônica do pavimento tipo

Fonte: UFPB (2020).

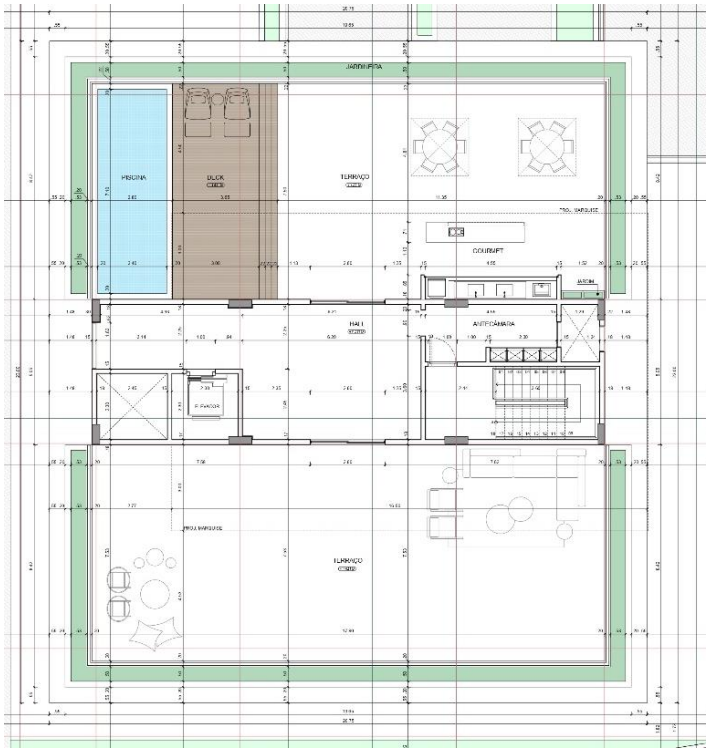


Figura 13 – Planta baixa arquitetônica da cobertura

Fonte: UFPB (2020).

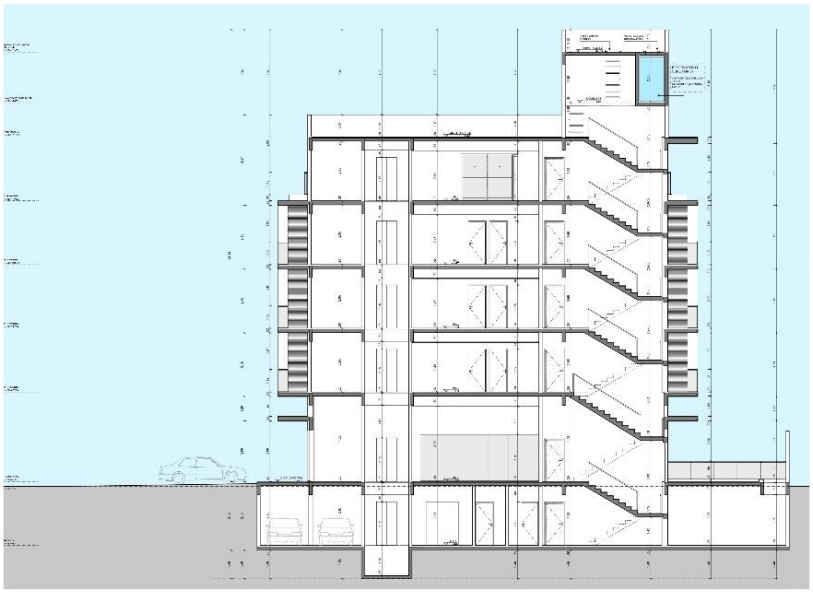


Figura 14 – Corte esquemático da arquitetura

Fonte: UFPB (2020).

3.2 *Software* TQS

Para obtenção dos dados necessários para o estudo dos sistemas estruturais empregados, foi utilizado o *software* TQS versão 23.2, desenvolvido pela empresa nacional TQS Informática LTDA., sendo este composto por um conjunto de ferramentas de cálculo, dimensionamento e detalhamento dedicados à projetos estruturais de concreto armado, protendido e de alvenaria estrutural (TQS, 2017).

O funcionamento do sistema TQS, segundo a empresa, se dá de acordo com as seguintes etapas:

1. O usuário cria a estrutura, definindo, além das posições e dimensões dos elementos estruturais, as ações que atuarão sobre estes elementos;
2. O sistema gera e calcula os modelos matemáticos com base no lançamento, sendo estes representados através de grelhas e pórticos espaciais, que simulam o comportamento do conjunto estrutural;
3. O usuário analisa e interpreta os resultados do processamento, que são disponibilizados através de visualizadores gráficos que mostram os diagramas de esforços e deslocamentos;
4. O sistema dimensiona e detalha automaticamente as armaduras necessárias para vencer os esforços presentes no conjunto;

5. O usuário tem a possibilidade de otimizar e refinar o dimensionamento e detalhamento das armaduras de acordo com suas necessidades.

3.3 Características do modelo estrutural

Em primeiro lugar, foi criado no *software* de cálculo utilizado o arquivo com o título do nome do edifício, onde em seguida são inseridos dados complementares como o tipo de estrutura, a Norma utilizada, a quantidade e pé-direito dos pavimentos, as especificações do material com seus devidos cobrimentos, as definições com relação ao vento e outras informações.

A versão do TQS utilizada no presente trabalho, por ser a versão Estudante, possui diversas limitações, que acarretaram na necessidade de alterações da própria arquitetura, como na necessidade de redução da quantidade de pavimentos, dado que o limite é de cinco níveis. Para esta restrição, foi escolhido então uma adaptação para um edifício com o subsolo, onde se situa a garagem com vigas baldrame (não foi levado em conta para o cálculo e a análise a fundação, optou-se por selecionar mais pavimentos com lajes, que são o foco deste projeto), o térreo comercial, um pavimento residencial, a cobertura com acesso ao público, a coberta com casa de máquina e o reservatório, como é possível visualizar na Figura 15 exposta mais adiante.

Além da adaptação quanto ao número de pavimentos, foi necessário também a retirada das lajes em balanço ao redor dos pavimentos, sendo as cargas das alvenarias ali presentes movidas para o novo limite, sobre vigas. Tal necessidade se deu por conta da limitação do número de nós na grelha, que é de 6000 nós na versão educacional, onde a solução adotada foi justamente a redução da área do pavimento para que o *software* pudesse realizar o processamento da estrutura.

Os dados do edifício inseridos no programa foram os mesmos para os três tipos de lajes, uma vez que os critérios utilizados não se alteram neste momento. Assim, a Figura 15 apresentada a seguir demonstra a divisão de pavimentos dos modelos e o Quadro 14 descreve os pés-direitos obtidos pela arquitetura, bem como as áreas de cada pavimento, onde são desconsiderados pelo TQS as áreas onde se encontram os vazios, como no furo para inserção do elevador, por exemplo.

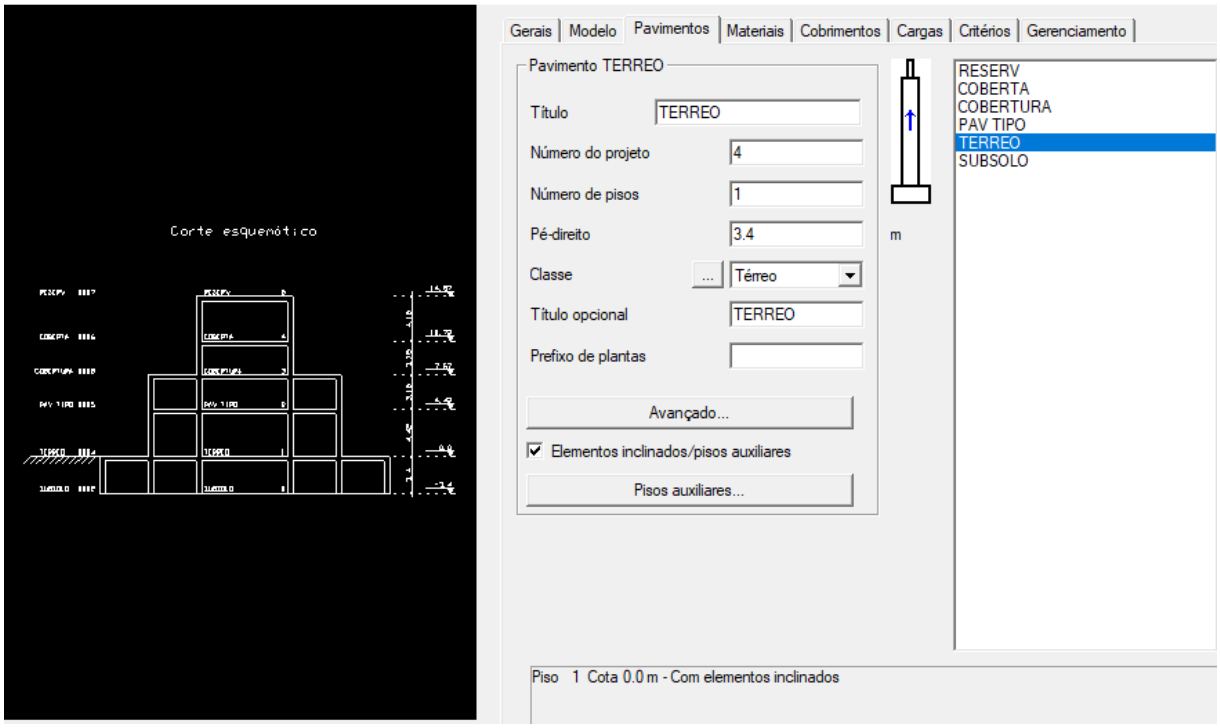


Figura 15 – Inserção de dados e corte esquemático da estrutura

Fonte: (AUTORA, 2022).

Pavimento	Piso	Piso a piso (m)	Cota (m)	Área (m²)
RESERV	5	4.15	14.87	25.42
COBERTA	4	3.15	10.72	80.11
COBERTURA	3	3.15	7.57	333.69
PAV TIPO	2	4.42	4.42	333.72
TERREO	1	3.4	0.0	337.20
SUBSOLO	0	0.0	-3.4	31.39
				TOTAL = 1141.53

Quadro 14 – Características Geométricas do Edifício

Fonte: (AUTORA, 2022)

Com relação aos dados de materiais, foi definido primeiramente a classe de agressividade ambiental como sendo a Classe II, moderada urbana, com pequeno risco de deterioração, como apontado no Quadro 01. Para a Classe em questão, foi definido o concreto C25, ou seja, de Fck 25 MPa, que é o valor mínimo para a classe de agressividade ambiental utilizada, como observado no Quadro 2. Para os cobrimentos de cada tipo de elemento, foi observado o Quadro 3, que define esses valores com relação à classe de agressividade ambiental. Assim, temos o resumo desses dados na Figura 16 adiante:

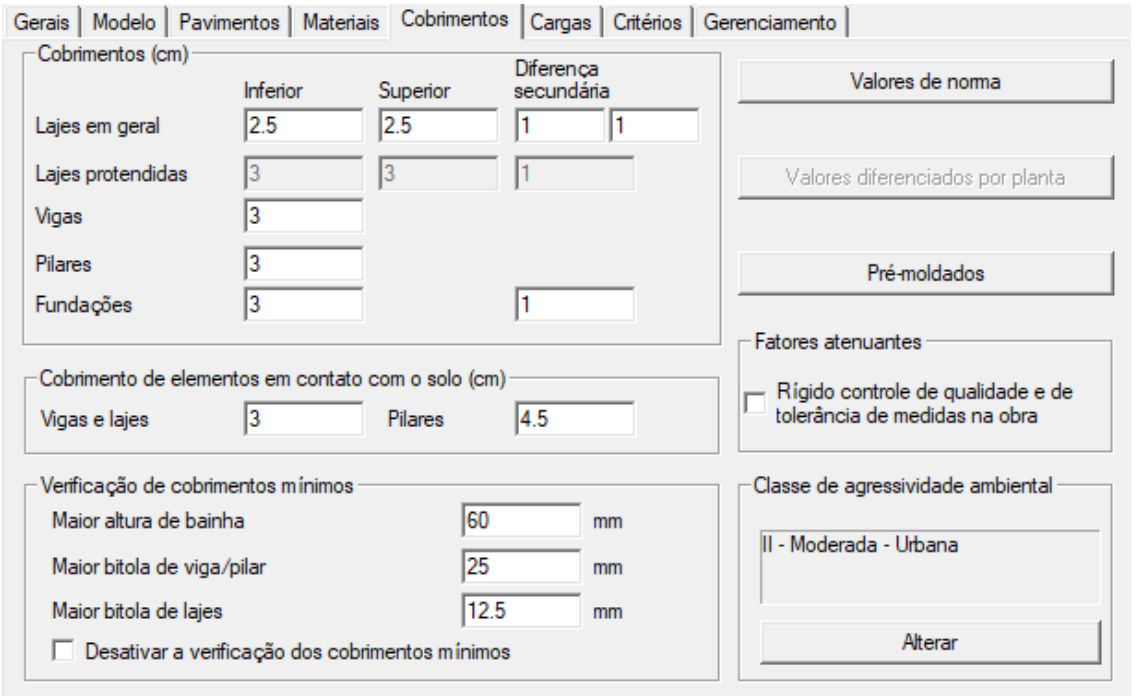


Figura 16 – Cobrimentos adotados

Fonte: (AUTORA, 2022)

Com relação ao vento, primeiramente foram definidos os fatores V_0, S_1, S_2 e S_3, conforme definido na NBR 6123 (1998), sendo estes apresentados na Figura 17 mais adiante. Posteriormente a essas determinações, foi calculado o Coeficiente de Arrasto para as quatro direções do vento, em 0, 90, 180 e 270 graus, sob a hipótese do vento em baixa turbulência.

Foi considerado a faixa de 30 m/s como velocidade básica (V_0), uma vez que o edifício está hipoteticamente inserido na região da Paraíba, como demonstrado na Figura 2. Para o fator S_2, com relação a rugosidade do terreno, foi considerado a classe II, de terrenos abertos com poucos obstáculos e, já para o fator S_2 de altura da edificação acima do terreno, foi definido a Classe A, uma vez que sua maior dimensão não excede 20 m. Para o fator S_3, fator estatístico, foi observada a Tabela 1 e definido como 1,00, valor que enquadra edificações em geral, como hotéis e residências com alta taxa de ocupação.

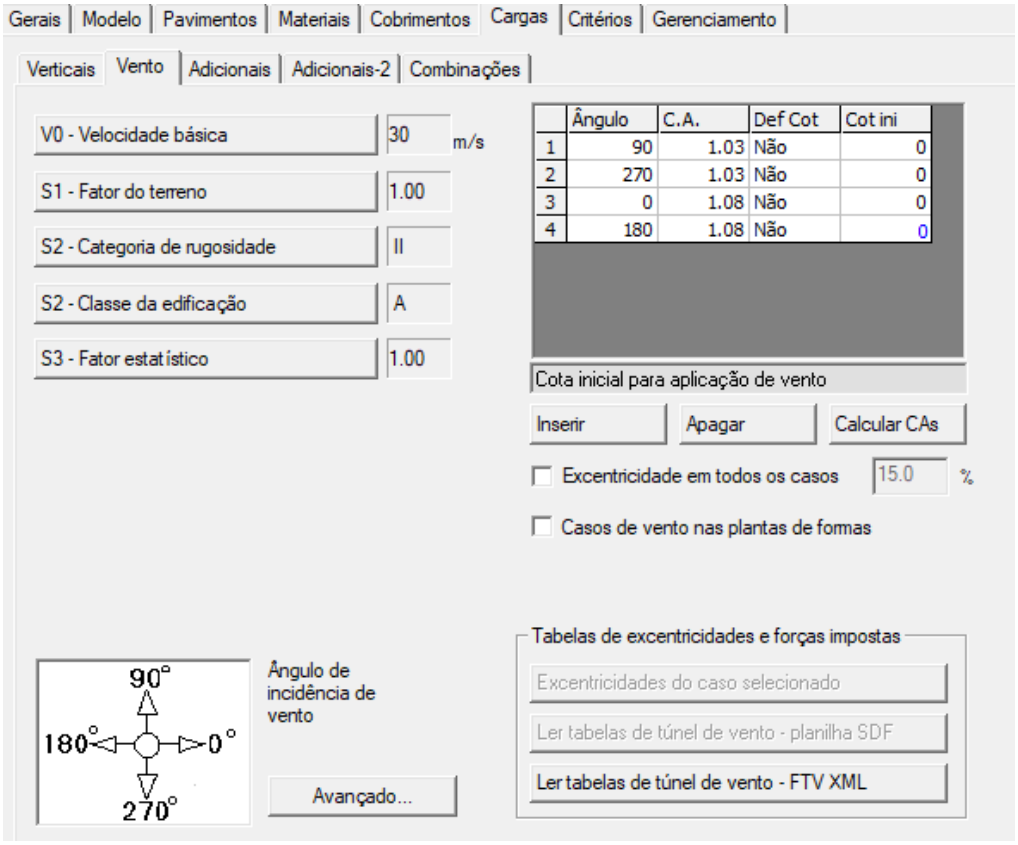


Figura 17 – Critérios para análise do vento

Fonte: (AUTORA, 2022).

O cálculo do coeficiente de arrasto se deu com base nas orientações da NBR 6123 (1988), como explicado anteriormente e esquematizado na Figura 1. O TQS estimou, para o ângulo de 90° e 270°, a largura de 17,75 m e, para 0° e 180°, a largura de 20,01 m, sendo a altura com vento de 14,87 m. Desta forma, o *software* calculou os valores para L1/L2 e H/L1 nas quatro direções e, a partir da análise do ábaco, obteve-se um coeficiente de arrasto de 1,06 para 90° e 270° e de 1,11 para 0° e 180°.

Com relação à NBR 14432 (2001), foi observado que a edificação se encaixa no grupo A-2, de habitações multifamiliares, e, como a altura está entre 12 m e 23 m, o tempo requerido de resistência ao fogo (TRRF) é de 60min.

O modelo estrutural utilizado para modelagem no TQS foi o Modelo IV, de vigas e lajes, onde o edifício é modelado por um único pórtico espacial mais os modelos do pavimento, de vigas contínuas ou grelhas. O *software* aponta que, para este Modelo, os efeitos oriundos das ações verticais e horizontais nas vigas e pilares são calculados com o pórtico e na laje são considerados somente os efeitos gerados pelas ações verticais. Além disso, os esforços resultantes das barras de lajes sobre as vigas são transferidos como cargas para o pórtico especial. O programa conta com seis opções de Modelos estruturais, porém é recomendado a

seleção apenas do Modelo IV empregado e do Modelo VI, onde as lajes são utilizadas nas análises globais do edifício, sendo útil para casos onde a rigidez das lajes tem um valor alto em comparação com a rigidez das vigas. Por fim, foi considerado, como método para análise dos efeitos de segunda ordem, o GamaZ.

3.4 Concepção Estrutural

Com as devidas considerações da estrutura, foi possível então dar prosseguimento à etapa de lançamento estrutural. Para os três tipos de laje, o modelo estrutural foi desenvolvido com sobreposição do projeto arquitetônico, a partir de onde foi possível realizar a compatibilização entre a arquitetura e estrutura, além dos locais para lançamento tanto das cargas lineares quanto daquelas inerentes ao uso.

O cálculo das cargas lineares se dá através do produto entre o peso específico aparente do material (kN/m³) por sua espessura (m) e altura (m). Para fins de lançamento das cargas, é necessário avaliar a altura do elemento, que, no caso da vedação vertical, se dá através do pé-direito do pavimento subtraído da altura do elemento imediatamente acima, como viga ou laje.

Para o cálculo das cargas lineares de alvenaria, foi utilizado, segundo a NBR 6120 (2019), para uma parede acabada de 15 cm, a carga para bloco cerâmico vazado de 11,5 cm com revestimento de 2 cm em cada face, o que gera um peso específico aparente de 1,7 kN/m². De forma análoga, para uma parede acabada de 17 cm, foi adotada a carga para o bloco cerâmico de 14 cm com revestimento em cada face de 2 cm, com densidade de aproximadamente 1,9 kN/m².

Para as divisórias em vidro, por falta de especificação do projeto arquitetônico, foi assumido que o tipo utilizado foi o vidro temperado, pois este é, segundo o Westphal (2016), de 4 a 5 vezes mais resistente do que o vidro comum, sendo então aconselhável para painéis onde há risco de impacto humano. A massa específica do vidro é de 2500 ± 50 kg/m³, como aponta a NBR 7199 (1989) e, portanto, foi considerado o maior valor para fins de segurança. Assim, temos o peso específico aparente de 25,5 kN/m³, que foi multiplicado pela altura e espessura para obtenção do valor da carga linear.

Com relação às cargas acidentais e permanentes incidentes nas lajes, foram adotadas aquelas sugeridas pelo *software*, que estão de acordo com a NBR 6120 (2019). Para todos os pavimentos, foi considerado uma carga permanente de 1,0 kN/m², que indica Revestimentos de pisos de edifícios residenciais e comerciais na espessura de 5 cm, exceto na coberta, onde foi

utilizado o valor de 1,8 kN/m² para Impermeabilizações em coberturas com manta asfáltica e proteção mecânica, sem revestimento, na espessura de 10 cm.

Para o reservatório, foi considerado a lâmina de água disponibilizada na arquitetura para o cálculo da carga na laje de fundo. Na piscina, da mesma forma, foi considerado a carga gerada pela altura da lâmina de água, distribuída em área, tal como no *deck*, onde os valores adotados foram de 2,0 kN/m² para a permanente e 1,5 kN/m² acidental, distribuídos na região do *deck*.

Com relação às cargas acidentais, foram adotadas também as orientações da NBR 6120 (2019). Para o térreo, foi utilizada a carga para salas de uso geral em edifícios comerciais, no valor de 2,5 kN/m². Para o pavimento residencial e os demais, considerou-se os valores para edifícios comerciais. Assim, foi considerado nos apartamentos a carga de 1,5 kN/m² e, nas áreas de uso comum entre os apartamentos, 3,0 kN/m². Na cobertura, foi adotado o valor de 3,0 kN/m² para áreas de uso comum e, por fim, na coberta, que não tem acesso ao público, foi considerado apenas a carga para manutenção, de 1,0 kN/m².

A modelagem da estrutura se deu primeiramente de acordo com as dimensões obtidas no pré-dimensionamento da estrutura e compatíveis com o projeto arquitetônico, com vigas de 15/60cm e pilares de 25/80 cm, valores alterados de acordo com a análise do programa com a consideração dos efeitos das cargas sobre os deslocamentos.

O Modelo 1 se refere àquele com laje maciça convencional, enquanto o modelo 2 ao de laje nervurada moldada no local e, por fim, o Modelo 3 ao de laje nervurada pré-fabricada com vigotas treliçadas. É importante observar que a comparação de custo e quantitativos entre os modelos não levou em consideração a fundação e reservatório, pois esses pavimentos foram modelados da mesma forma nos três tipos de estrutura.

Na análise dos deslocamentos-limite da estrutura foi adotado, segundo a NBR 6118 (2014), o limite estabelecido para as flechas em razão da limitação visual, no valor de $l/250$, para combinação quase permanente de carga. Foi considerado, para compensar parcialmente os deslocamentos em alguns casos, o uso da contraflecha que, segundo a norma em questão, não pode ocasionar um desvio plano maior do que $l/350$, como observado anteriormente.

Para os pilares, foi possível adotar a mesma solução para os três modelos, onde a largura foi padronizada em 20 cm e houve variação com relação ao comprimento de 60 cm e 70 cm, exceto por um mais carregado, em que foi empregado 80 cm. Desta forma, as maiores dimensões foram utilizadas em regiões de maior carregamento, como nas caixas de escada e elevador, sendo possível reduzir todas as dimensões com relação àquelas adotadas inicialmente, visto que os carregamentos foram abatidos com a redução do número de pavimentos e também das áreas de balanço previamente existentes.

As dimensões adotadas para vigas e lajes foram assim definidas em função da flecha verificada pelo *software*, o que criou a necessidade de diversas modificações para esses elementos. Por fim, todos os elementos foram verificados também com relação aos limites das normas de incêndio, apontados anteriormente, o que acarretou em maiores mudanças.

Para a análise das flechas, foi necessário a verificação das grelhas geradas pelo programa, onde é possível visualizar os deslocamentos para cada tipo de caso e seus pontos de deslocamento mais acentuado. Foi utilizado como parâmetro para os deslocamentos o ELS em combinação quase permanente, onde é considerado o peso próprio, carga permanente e 0,6 de acidental. O TQS aponta que os deslocamentos verticais são multiplicados por 2,50 para consideração simplificada de deformação lenta.

3.4.1 Modelo 1

O primeiro modelo criado foi o de lajes maciças convencionais, onde, para as lajes menores, foi utilizado uma espessura de 12 cm, para as intermediárias de 15 cm ou 17 cm e, para as maiores, com 7,50 m de vão, foi adotado uma laje de 20 cm, valores adotados a depender tanto do comprimento do vão quanto do carregamento em sua área. Para as vigas, foram adotadas as larguras de 15 cm e 20 cm com variações de 50 cm até 80 cm para as alturas, definidas com base na análise da flecha, sendo necessário maior dimensão para as flechas que apresentaram valores além daquele definido para deformação-limite.

Na Figura 18 adiante foi exposto o modelo estrutural do térreo, sendo os demais pavimentos disponibilizados no Anexo A.

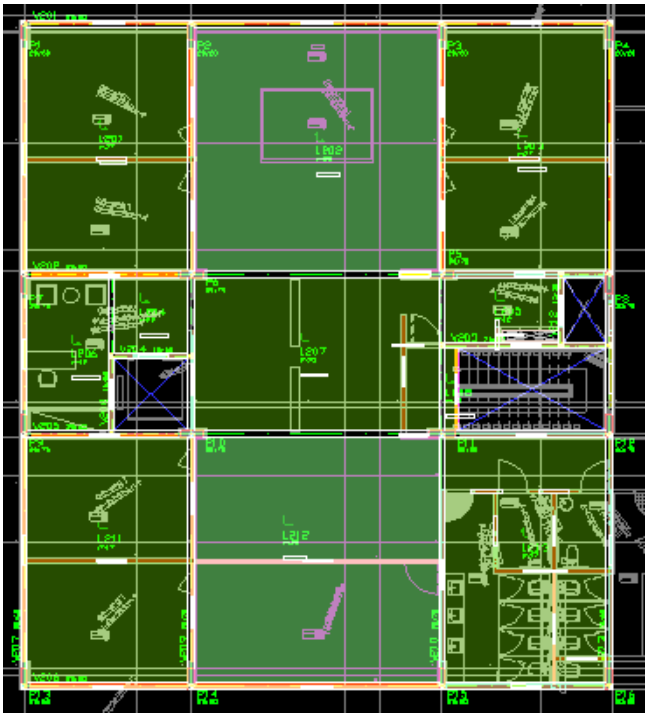


Figura 18 – Modelo estrutural do Térreo com sobreposição da arquitetura – Modelo 1

Fonte: (AUTORA, 2022).

Com relação aos parâmetros de instabilidade, o valor máximo do parâmetro GamaZ foi de 1,083, enquanto FAVt (fator de amplificação de esforços horizontais, que pode considerar os deslocamentos horizontais gerados pelas cargas verticais) foi de 1,092. O parâmetro adotado para análise do edifício foi o FAVt, cujo valor de referência é de 1,2 e, portanto, está dentro do limite. Já com relação aos carregamentos, foi observado no programa que o somatório de reações do pórtico espacial calculado para as lajes maciças foi de 14225,86kN, como exposto no Quadro 15 adiante da distribuição de cargas:

Soma de reações do pórtico espacial (kN) 14225.86

Pavimento	Piso	Carga aplicada (kN)	Área (m2)	Carga média (kN/m2)	Soma de reações (kN)
RESERV	5	565.60 -60.17 =505.42	25.42	22.247	479.87
COBERTA	4	877.69 -89.77 =787.92	80.11	10.956	747.65
COBERTURA	3	4232.48 -165.38 =4067.11	333.69	12.684	3866.92
PAV TIPO	2	4125.93 -232.05 =3893.88	333.72	12.364	3699.31
TERREO	1	4621.39 -178.50 =4442.89	337.20	13.705	4225.53
SUBSOLO	0	482.74 -0.00 =482.74	46.43	10.397	480.83
		14905.83 -725.88 =14179.96	**1156.57**	**12.888**	**13500.11**

A carga aplicada é estimada e exclusiva para o processo simplificado. O valor subtraído corresponde ao peso-próprio dos pilares.
A soma de reações é obtida no modelo da grelha (não inclui o peso-próprio dos pilares).
Todos os valores incluem 100% das cargas variáveis (caso 1).
Todos os valores são característicos (não majorados).

Quadro 15 – Distribuição de cargas do Modelo 1

Fonte: (AUTORA, 2022)

Na Figura 19 posteriormente apresentada, é possível verificar a grelha gerada para o pavimento Térreo, onde se verifica que, via de regra, as maiores deformações se situam centralizadas em cada laje. Os elementos como laje e vigas foram modificados até que esses deslocamentos estivessem nos valores normativos limitantes.

Visto que o vão que sofre o maior deslocamento é de aproximadamente 7,00 m, tem-se que o deslocamento limite é de 2,80 cm (para combinação de carga quase permanente – *l*/250) e, portanto, após análise da Figura adiante, tem-se que o deslocamento de 2,27 cm está dentro do limite de aceitabilidade sensorial estabelecido pela NBR 6118 (2014).

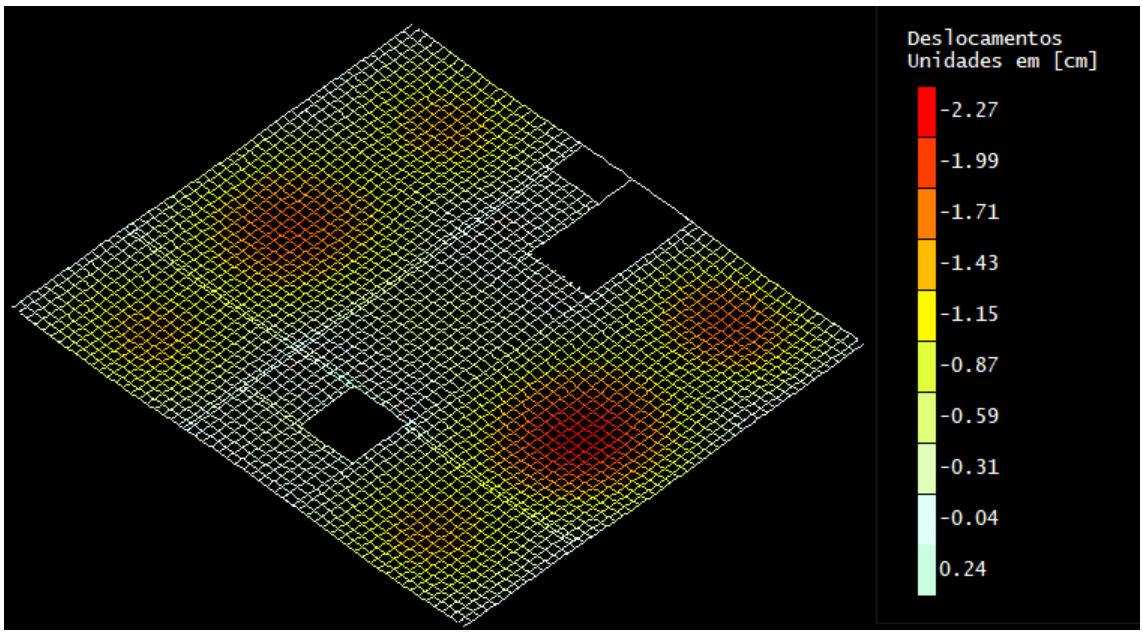


Figura 19 – Grelha para visualização dos deslocamentos do Térreo – Modelo 1

Fonte: (AUTORA, 2022).

A Figura 20 a seguir expõe uma perspectiva 3D do Modelo 1, gerada pelo programa Revit, uma vez que não foi possível utilizar o visualizador 3D do TQS.

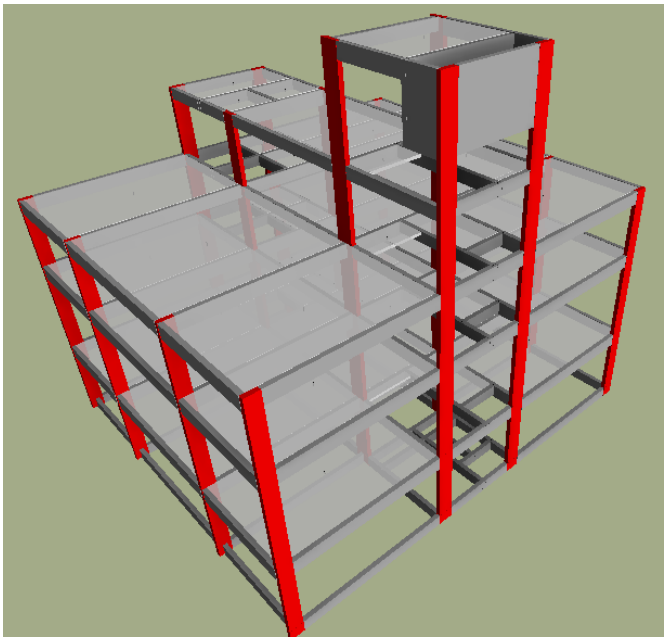


Figura 20 – Perspectiva 3D – Modelo 1

Fonte: (AUTORA, 2022).

3.4.2 Modelo 2

O segundo modelo desenvolvido foi o de lajes nervuradas, onde foi utilizado também lajes maciças nas áreas menores, dado que esse tipo de laje, as nervuradas, é indicado para grandes vãos e a utilização nessas lajes menores seria antieconômica e pouco eficiente. À princípio, a altura das nervuras utilizada foi de 16 cm com 5 cm de capa. Como não foi atendido o deslocamento-limite, foi necessário aumentar a altura das nervuras para 21 cm. Para as vigas, foram adotadas as larguras de 15 cm e 20 cm com variações de 50 cm até 80 cm.

A capa de concreto, que incialmente foi definida com altura de 5 cm, foi para 8 cm devido à restrição da norma de incêndio NBR 15200 (2012), que define os parâmetros dos elementos estruturais, neste caso com relação ao parâmetro de altura da capa, como apontado no Quadro 10 do presente documento. Tem-se, portanto, uma altura total de 29 cm para as lajes nervuradas no local e lajes maciças de 12 cm nas regiões menores.

A modelagem estrutural adotada para o Modelo 2 é apresentada na Figura 21 a seguir, referente ao térreo. Os demais pavimentos foram dispostos no Anexo A.

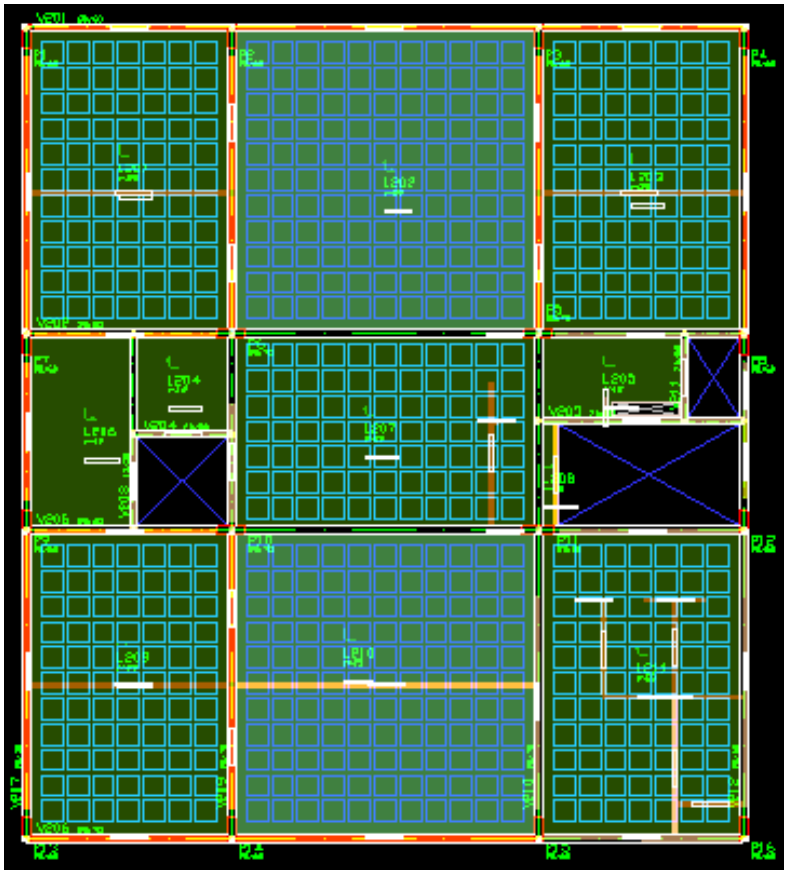


Figura 21 – Modelo estrutural do Térreo – Modelo 2

Fonte: (AUTORA, 2022).

Para a modelagem da nervura, foi utilizado o modelo em T, fornecido pelo próprio TQS, da fabricante Atex, como é possível verificar na Figura 22 a seguir, que aponta dados relevantes da fôrma plástica, da nervura e de sua distribuição.

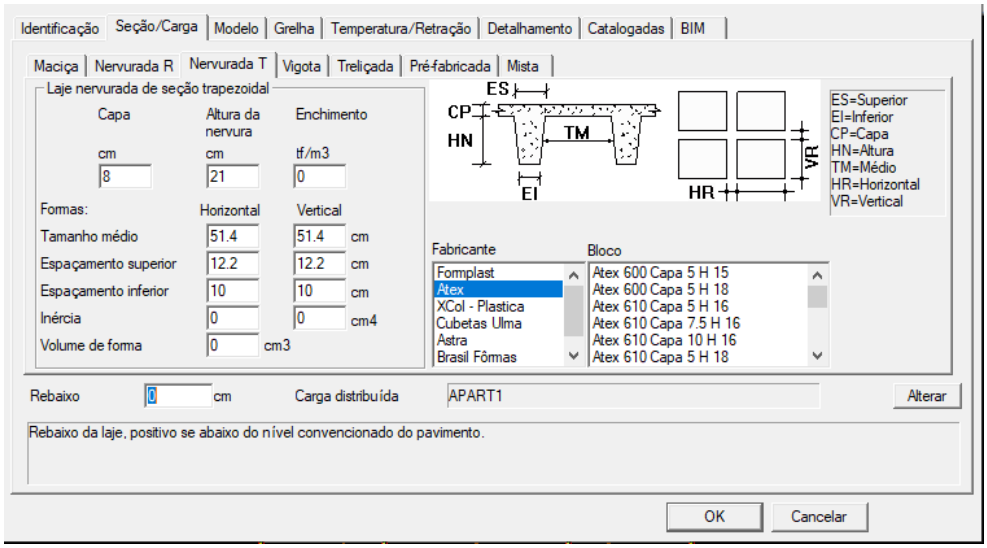


Figura 22 – Dados da fôrma plástica – Modelo 2

Fonte: (AUTORA, 2022).

Com relação aos parâmetros de instabilidade para o Modelo 2, observa-se o valor máximo do parâmetro GamaZ em 1,084, enquanto para FAVt foi de 1,09. O parâmetro adotado para análise do edifício foi o 1,09, cujo valor de referência, tal como no Modelo 1, é de 1,2 e, portanto, está também dentro do limite. Com relação aos carregamentos, tem-se que o somatório de reações do pórtico espacial calculado para o sistema em questão foi de 13769,91kN, como disposto adiante.

Soma de reações do pórtico espacial (kN) 13769.906

Pavimento	Piso	Carga aplicada (kN)	Área (m2)	Carga média (kN/m2)	Soma de reações (kN)
RESERV	5	561.527 -56.025 =505.502	25.42	22.1	481.198
COBERTA	4	853.853 -83.475 =770.378	80.05	10.7	745.786
COBERTURA	3	3985.279 -159.075 =3826.204	333.66	11.9	3772.855
PAV TIPO	2	3851.307 -223.210 =3628.097	333.47	11.5	3603.910
TERREO	1	4359.523 -171.700 =4187.823	337.57	12.9	4144.481
Fundacao	0	328.161 -0.000 =328.161	31.47	10.4	328.165
		13939.651 -693.485 =13246.166	**1141.64**	**12.2**	**13076.394**

A carga aplicada é estimada e exclusiva para o processo simplificado. O valor subtraído corresponde ao peso-próprio dos pilares.
A soma de reações é obtida no modelo da grelha (não inclui o peso-próprio dos pilares).
Todos os valores incluem 100% das cargas variáveis (caso 1).
Todos os valores são característicos (não majorados).

Quadro 16 – Distribuição de cargas do Modelo 2

Fonte: (AUTORA, 2022)

A grelha gerada pelo programa para o térreo do modelo de lajes nervuradas moldadas no local com uso de fôrmas plásticas é demonstrada na Figura 23, com observações análogas àquelas da maciça, sendo esta análise necessária para a determinação das alturas e larguras principalmente dos elementos laje e viga.

Dado que o vão na região com maior deslocamento, de 1,55 cm, é de aproximadamente 7 metros, tem-se que o deslocamento máximo permitido é de 2,8 cm, o que atende, portanto, ao limite em questão, tal como o da laje maciça convencional.

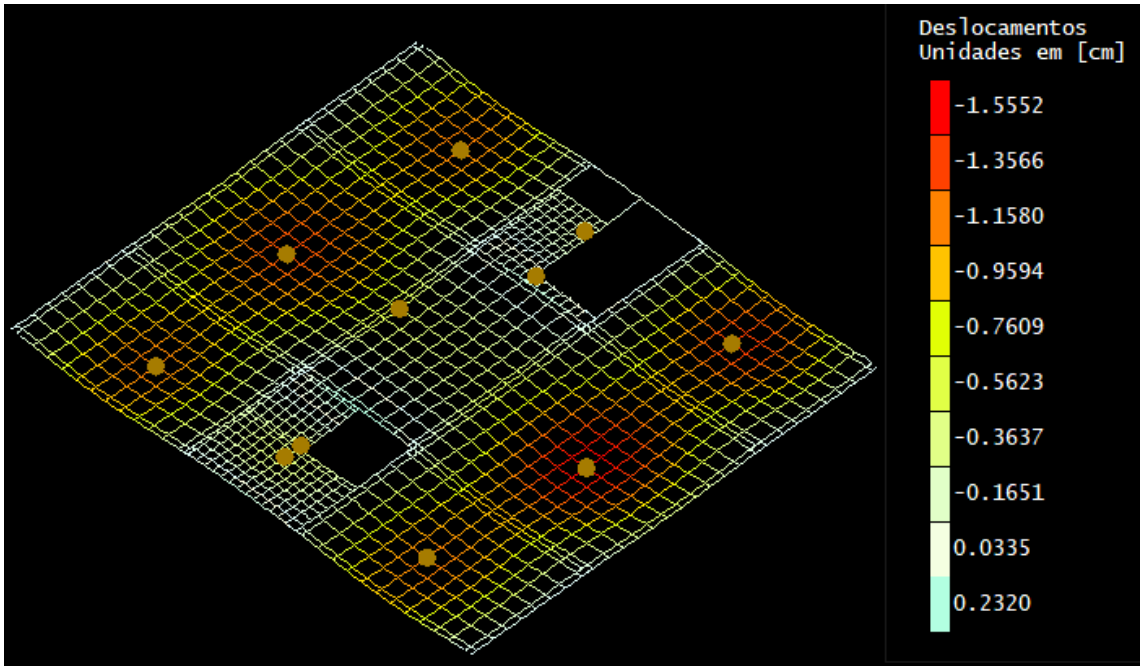


Figura 23 – Grelha para visualização dos deslocamentos do Térreo – Modelo 2

Fonte: (AUTORA, 2022).

A Figura 24 a seguir expõe uma perspectiva 3D do Modelo 2, gerada pelo programa Revit.

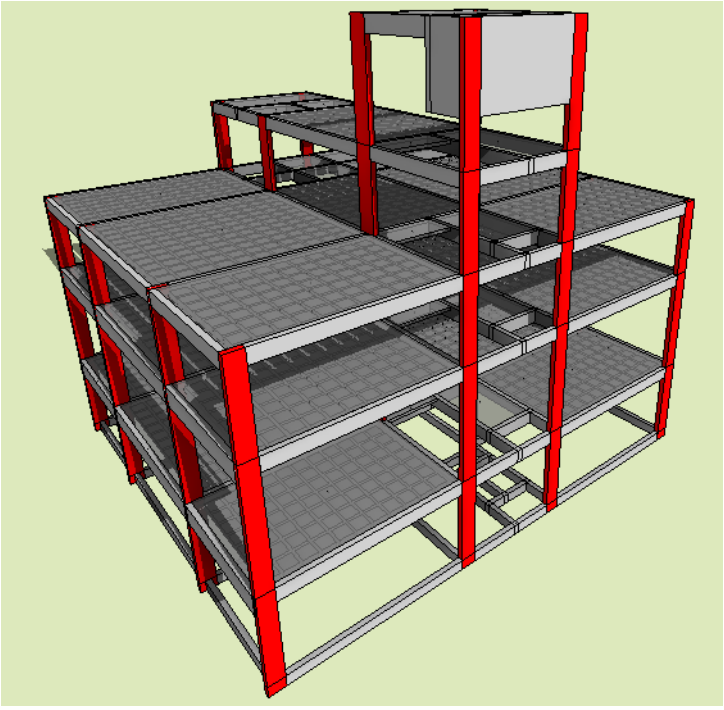


Figura 24 – Perspectiva 3D – Modelo 2

Fonte: (AUTORA, 2022).

3.4.3 Modelo 3

Com relação ao modelo de lajes nervuradas pré-fabricadas com vigotas treliçadas, é importante observar que, em comparação com outros modelos, foram necessárias maiores modificações para atendimento aos deslocamento-limites, como é possível observar na Figura 25 posteriormente apresentada, que expõe modelo estrutural para a laje do térreo. Os demais pavimentos foram apresentados no Anexo A, tal como dos Modelos 1 e 2.

Para esse tipo de laje, o cuidado com as cargas das paredes é redobrado, sendo preferível dispor as nervuras no sentido perpendicular a essas cargas. Não é possível, no entanto, sempre evitar que as paredes estejam perpendiculares às nervuras, sendo então adotado soluções como vigota treliçada dupla. Apesar de muitas vezes satisfazer o problema, a treliça dupla ainda não é capaz de suportar cargas muito grandes de parede, onde é necessário partir para o acréscimo de viga, por exemplo.

Além do cuidado com as cargas lineares, o Modelo 3 exigiu também a redução dos vãos para a redução do deslocamento. Mesmo assim, como as cargas da laje não são distribuídas para todas as vigas ao redor, houve grande deslocamento das vigas que recebiam as treliças, o que gerou a necessidade do aumento dessas vigas. No caso onde as vigas com 80 cm ainda não satisfizeram o deslocamento-limite, foi decidido aumentar a largura para 25 cm, visto que a altura, apesar de ter grande influência no aumento da rigidez, afeta também diretamente a arquitetura. A largura mínima utilizada foi de 15 cm e a altura mínima de 40 cm, o que foi possível devido ao alívio de cargas das vigas paralelas à nervura.

Com relação às exigências da NBR 15200 (2012), para lajes nervuras armadas em uma direção tem-se que as nervuras devem atender, para o TRRF de 60min, uma largura de, no mínimo, 10 cm, como aponta o Quadro 12. Para a capa, é necessário a verificação do Quadro 9, que estabelece uma altura de 8 cm, tal como para o Modelo 2. Desta forma, a altura total das lajes nervuradas pré-fabricadas foi padronizada para 20 cm, onde 8 cm se refere à capa e 12 cm a altura da nervura.

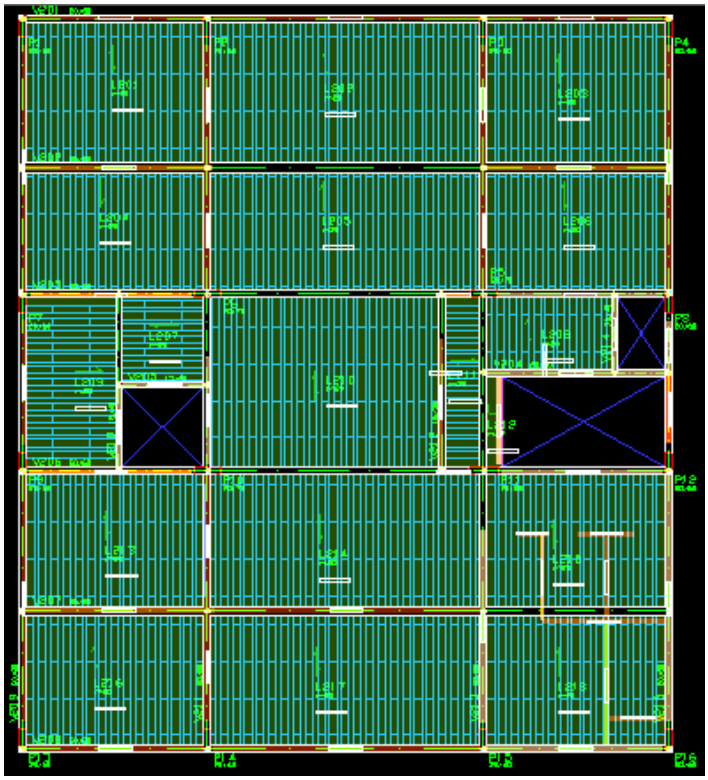


Figura 25 – Modelo estrutural do Térreo – Modelo 3

Fonte: (AUTORA, 2022).

Com relação às vigotas treliçadas, foi adotado o modelo disponibilizado pelo TQS de EPS Tuper Unidirecional que, para as lajes de EPS Unidirecional, era a única que apresentava uma largura de treliça igual ou superior a 10 cm, neste caso de 13 cm, como é possível observar na Figura 26 adiante. As treliças utilizadas e geradas desta forma pelo *software* foram as TR16645 e TR12645 da GERDAU, compostas por aço CA-60.

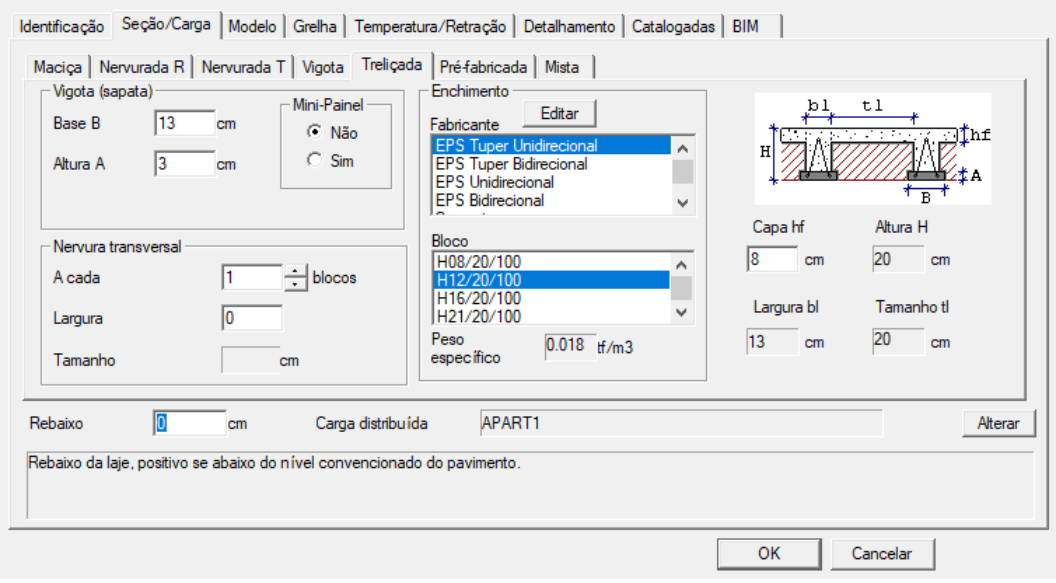


Figura 26 – Dados da vigota treliça – Modelo 3

Fonte: (AUTORA, 2022).

No que diz respeito aos parâmetros de instabilidade do Modelo 3, obteve-se um valor máximo do parâmetro GamaZ de 1,09, enquanto que, para FAVt, foi de 1,099. O parâmetro adotado para análise do edifício foi o FAVt, cujo valor de referência, tal como no Modelo 1 e 2, é de 1,2 e, deste modo, o parâmetro está dentro do limite. No que diz respeito aos carregamentos, tem-se que o somatório de reações do pórtico espacial calculado para o sistema em questão foi de 13741,42kN, tal como disposto a seguir.

Soma de reações do pórtico espacial (kN) 13741.419

Pavimento	Piso	Carga aplicada (kN)	Área (m2)	Carga média (kN/m2)	Soma de reações (kN)
RESERV	5	566.094 -56.025 =510.069	25.55	22.2	485.372
COBERTA	4	840.600 -83.475 =757.125	80.11	10.5	729.245
COBERTURA	3	4135.799 -159.075 =3976.724	333.53	12.4	3797.037
PAV TIPO	2	3979.158 -223.210 =3755.948	333.54	11.9	3612.693
TERREO	1	4404.712 -171.700 =4233.012	337.41	13.1	4095.340
Fundacao	0	328.161 -0.000 =328.161	31.47	10.4	328.165
		14254.524 -693.485 =13561.039	**1141.61**	**12.5**	**13047.852**

A carga aplicada é estimada e exclusiva para o processo simplificado. O valor subtraído corresponde ao peso-próprio dos pilares.
A soma de reações é obtida no modelo da grelha (não inclui o peso-próprio dos pilares).
Todos os valores incluem 100% das cargas variáveis (caso 1).
Todos os valores são característicos (não majorados).

Quadro 17 – Distribuição de cargas do Modelo 3

Fonte: (AUTORA, 2022)

Com relação ao deslocamento-limite, a análise se deu tal como nos casos anteriores, como apresentado na Figura 27 adiante, referente à grelha gerada pelo *software*, onde se observa grande redução no número de nós, quando em comparação com os modelos anteriores, armados em duas direções. O deslocamento mais acentuado foi de 2,0867 cm, onde o vão é de aproximadamente 3,8m, o que resulta no deslocamento máximo de 1,52 cm, dado por *l*/250. Visto que a viga na região mais solicitada já estava com grandes dimensões, de 25/80, optou-se pela consideração da contraflecha no valor de 1,08 cm, dado por *l*/350, o que gerou um deslocamento máximo total de 2,6 cm, sendo este a soma entre 1,52 cm do permitido com 1,08 cm da contraflecha. Deste modo, 2,6 cm é menor do que o deslocamento encontrado, de 2,0867cm e, portanto, o resultado foi favorável.

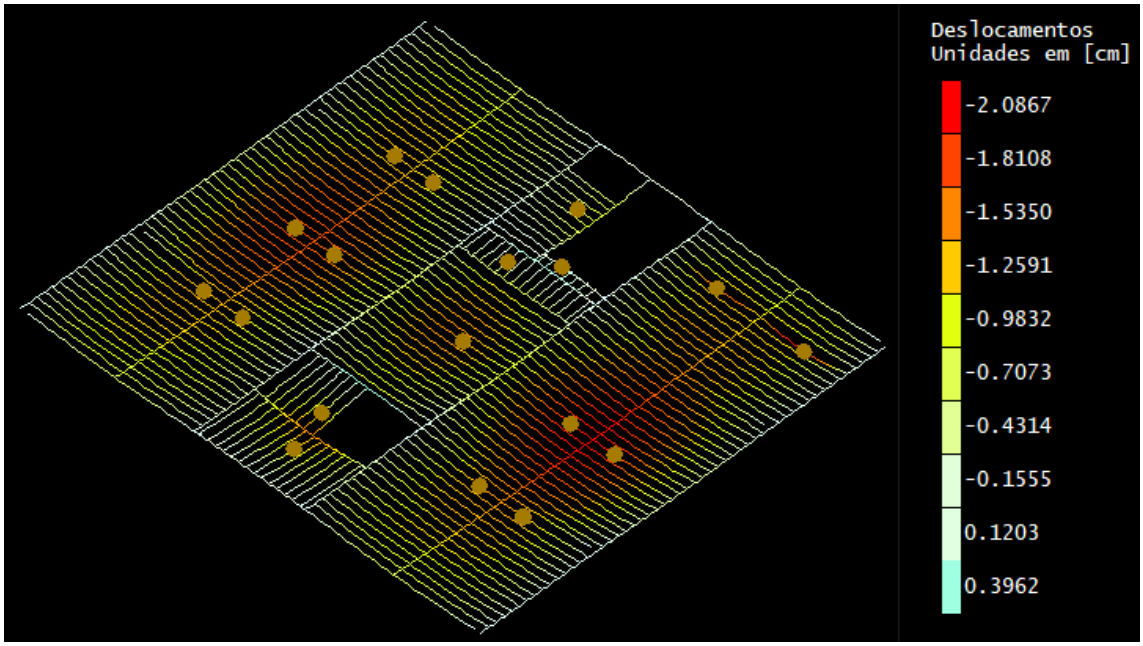


Figura 27 – Grelha para visualização dos deslocamentos do Térreo – Modelo 3

Fonte: (AUTORA, 2022).

Foi gerada, tal como para os demais modelos, uma perspectiva 3D a partir da utilização do *software* Revit, como demonstrado na Figura 28 a seguir.

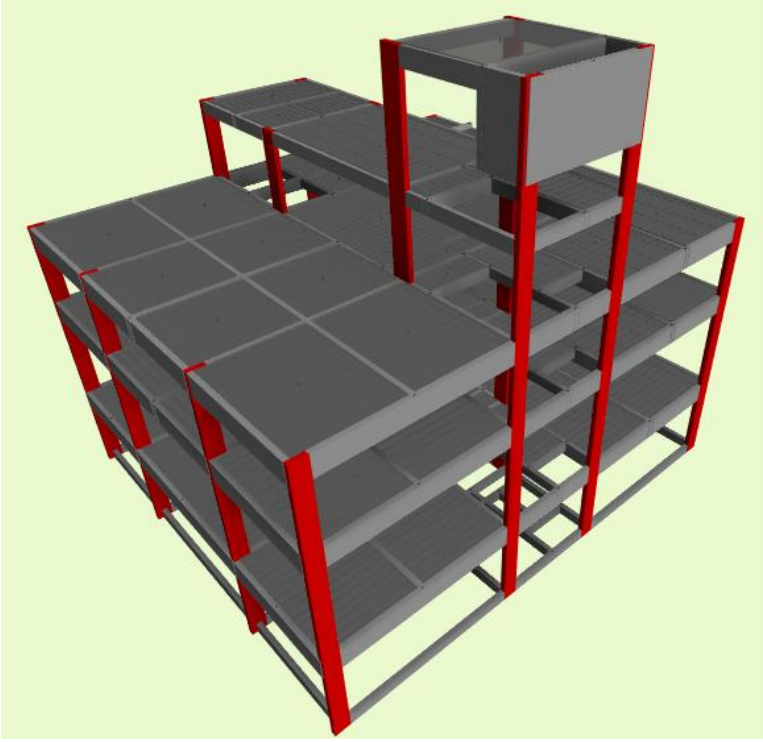


Figura 28 – Perspectiva 3D – Modelo 3

Fonte: (AUTORA, 2022).

Usualmente, é necessário o desenho das telas soldadas para a laje treliçada, que é encaminhado ao fabricante juntamente com os desenhos e especificações de treliças. Não foi possível, no entanto, a geração do desenho de telas, por conta da limitação da versão estudante do *software* TQS. Desta forma, foi estimado, para composição do custo, o uso da tela soldada Q92 em toda a área de laje, utilizando um coeficiente de 1,2 para cada metro quadrado, uma vez que é necessário a consideração do transpasse entre as telas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Finalizadas as modelagens, sem apresentação de erros pelo programa TQS e com atendimento aos limites normativos estabelecidos, é possível então avançar para o objetivo da verificação do melhor custo-benefício obtido entre os diferentes sistemas estruturais em estudo. Desta maneira, o capítulo em questão se propõe a apresentar os quantitativos e os custos de materiais e serviços previstos para cada modelo através da referência do SINAPI.

Após o processamento, o programa TQS gerou, além dos dados relativos ao consumo de concreto e de fôrma, os desenhos de armadura de todos os elementos da edificação. Quando os desenhos detalhados são inseridos em planta, é possível extrair tabelas de ferro, que apontam cada bitola e comprimentos utilizados. Os dados quantitativos de material foram obtidos desta forma, sendo então vinculados aos custos determinados pelo SINAPI, utilizando os valores não desonerados.

Foram levantados então os dados de cada elemento e cada pavimento, sintetizando os mesmos em planilhas no *software* Excel, a partir de onde também foi gerado a análise comparativa.

4.1 Quantitativos e custos – Modelo 1

Para a laje maciça convencional, os quantitativos dos materiais obtidos pelo *software* foram inseridos no Quadro 18 adiante.

Bitola (mm)	**5**	**6.3**	**8**	**10**	**12.5**	**16**	**20**	**25**	**Concreto (m³)**	**Fôrma (m²)**
Elem. / Qnt.	**kgf**	**kgf**	**kgf**	**kgf**	**kgf**	**kgf**	**kgf**	**kgf**		
PILAR	441	223	0	805	249	389	545	0	26,63	346,57
VIGA	624	302	389	926	595	1394	1349	214	62,58	612,57
LAJE	369	4421	2036	2053	136	0	0	0	166,66	972,33
PILAR/VIGA	1065	525	389	1731	844	1783	1894	214	89,21	959,14

Quadro 18 – Levantamento de materiais por elemento – Modelo 1

Fonte: (AUTORA, 2022)

Os custos foram então levantados segundo esses quantitativos demonstrados no Quadro 18, de forma a gerar a alimentar a planilha de valores disponibilizada pelo SINAPI. A exemplo das armaduras, o SINAPI faz a separação em grupos para pilares e vigas e outro diferente para a laje. O Quadro 19 a seguir representa um recorte para exemplificar o custo referente à

armadura de 5,0 mm do modelo de lajes maciças. As planilhas completas foram inseridas no Anexo B do presente documento.

CODIGO DA COMPOSICAO	DESCRICAO DA COMPOSICAO	UNIDADE	CUSTO UNITÁRIO	QNT	COEF	CUSTO TOTAL
92759	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-60 DE 5,0 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	R$ 14,87	1065	1	R$ 15.836,55
92768	ARMAÇÃO DE LAJE DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-60 DE 5,0 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	R$ 14,49	369	1	R$ 5.346,81

Quadro 19 – Exemplo de composição sintética de custo para armação de 5,0mm

Fonte: (AUTORA, 2022)

Tal como apresentado no Quadro 18, a quantidade de armadura de 5,0 mm é de 1065kg para pilar/viga e de 369kg para as lajes. O custo total é feito pelo produto do custo unitário do elemento pela quantidade e o coeficiente, onde neste caso é de 1. Os valores do custo unitário foram desta forma definidos através de uma junção de itens necessários para a execução da atividade e do próprio material, como apresentado no Quadro 20, que apresenta o exemplo da composição analítica do item de código 92759, referente a armação para pilares e vigas de 5,0 mm.

TIPO	CODIGO	DESCRIÇÃO DA COMPOSIÇÃO			UN.	CUSTO TOTAL
COMP.	92759	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-60 DE 5,0 MM - MONTAGEM. AF_06/2022			KG	14,87
TIPO ITEM	**CODIGO ITEM**	**DESCRIÇÃO ITEM**	**UNIDADE ITEM**	**COEF.**	**PRECO UNITARIO**	**CUSTO TOTAL**
INSUMO	39017	ESPACADOR / DISTANCIADOR CIRCULAR COM ENTRADA LATERAL, EM PLASTICO, PARA VERGALHAO *4,2 A 12,5* MM, COBRIMENTO 20 MM	UN	1,1900000	0,22	0,26
INSUMO	43132	ARAME RECOZIDO 16 BWG, D = 1,65 MM (0,016 KG/M) OU 18 BWG, D = 1,25 MM (0,01 KG/M)	KG	0,0250000	30,00	0,75
COMP.	88238	AJUDANTE DE ARMADOR COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,0175000	17,36	0,30
COMP.	88245	ARMADOR COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,1069000	21,91	2,34
COMP.	92800	CORTE E DOBRA DE AÇO CA-60, DIÂMETRO DE 5,0 MM. AF_06/2022	KG	1,0000000	11,22	11,22

Quadro 20 – Composição analítica para armação de 5,00 mm de pilares e vigas

Fonte: (AUTORA, 2022)

A soma dos custos dos insumos, como os espaçadores e arame, e de outras composições, como a mão de obra do ajudante, do armador e da atividade de corta e dobra, definiu então o valor de R$14,87 para a composição de código 92759, sendo todas as demais composições apresentadas definidas de forma análoga, com base no consumo de material e mão-de-obra para suas respectivas demandas.

Para a concretagem, a divisão é similar, sendo um custo para a concretagem de pilares e outro para lajes com vigas, onde foi necessário a soma do consumo dos dois elementos para esta composição, como exposto no Quadro 21 adiante.

CODIGO DA COMPOSICAO	DESCRICAO DA COMPOSICAO	UNIDADE	CUSTO UNITÁRIO	QNT	COEF	CUSTO TOTAL
103672	CONCRETAGEM DE PILARES, FCK = 25 MPA, COM USO DE BOMBA - LANÇAMENTO, ADENSAMENTO E ACABAMENTO. AF_02/2022	M3	R$ 549,34	26,63	1	R$ 14.628,92
103675	CONCRETAGEM DE VIGAS E LAJES, FCK=25 MPA, PARA LAJES MACIÇAS OU NERVURADAS COM USO DE BOMBA - LANÇAMENTO, ADENSAMENTO E ACABAMENTO. AF_02/2022	M3	R$ 549,86	229,24	1	R$ 126.049,91

Quadro 21 – Composição sintética para a concretagem – Modelo 1

Fonte: (AUTORA, 2022)

Tal como anteriormente demonstrado, as composições levantadas no Quadro 21 têm suas respectivas considerações de serviço e material, que, somadas, geraram o custo unitário. Por fim, o Quadro 22 apresenta as considerações com relação ao custo de fôrma, que considera a montagem e desmontagem de cada elemento.

CODIGO DA COMPOSICAO	DESCRICAO DA COMPOSICAO	UNIDADE	CUSTO UNITÁRIO	QNT	COEF	CUSTO TOTAL
92423	MONTAGEM E DESMONTAGEM DE FÔRMA DE PILARES RETANGULARES E ESTRUTURAS SIMILARES, PÉ-DIREITO SIMPLES, EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA RESINADA, 6 UTILIZAÇÕES. AF_09/2020	M2	R$ 163,93	346,57	0,17	R$ 9.468,87
92460	MONTAGEM E DESMONTAGEM DE FÔRMA DE VIGA, ESCORAMENTO METÁLICO, PÉ-DIREITO SIMPLES, EM CHAPA DE MADEIRA RESINADA, 6 UTILIZAÇÕES. AF_09/2020	M2	R$ 154,13	612,57	0,17	R$ 15.735,90
92514	MONTAGEM E DESMONTAGEM DE FÔRMA DE LAJE MACIÇA, PÉ-DIREITO SIMPLES, EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA RESINADA. AF_09/2020	M2	R$ 46,85	1084,52	1	R$ 50.809,76
92267	FABRICAÇÃO DE FÔRMA PARA LAJES, EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA RESINADA, E = 17 MM. AF_09/2020	M2	R$ 29,65	972,33	1	R$ 28.829,58

Quadro 22 – Composição sintética para fôrmas – Modelo 1

Fonte: (AUTORA, 2022)

Como apontado no Quadro 22, foi utilizado, para as vigas e pilares, a quantidade de fôrmas calculadas pelo programa e, como o SINAPI considera a utilização de 6 vezes para esses elementos, o coeficiente utilizado foi de 1/6, no lugar de 1 por m². No caso da montagem de laje maciça, para padronizar com os demais modelos, apesar de torna-la mais onerosa, foi desconsiderado a reutilização, sendo utilizado a área total da cobertura até o térreo e o coeficiente de 1, separando também a fabricação de fôrmas para a devida consideração, uma vez que, dentro da composição, o coeficiente da fabricação não seria de 1 por m², ou seja, considerava a reutilização das fôrmas.

4.2 Quantitativos e custos – Modelo 2

Os quantitativos levantados pelo *software* TQS para o Modelo 2, de lajes nervuradas moldadas *in loco*, são apresentados no Quadro 20 a seguir.

Bitola (mm)	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	Concreto (m^3)	Fôrma (m^2)
Elem. \ Qnt.	kgf	kgf	kgf	kgf	kgf	kgf	kgf	kgf		
PILAR	441	205	0	820	484	183	0	0	25,5	335,27
VIGA	779	267	489	1002	609	1629	1110	83	60,06	530,01
LAJE	444	2174	885	1342	1323	337	59	0	155,92	130,36
PILAR/VIGA	1220	472	489	1822	1093	1812	1110	83	85,56	865,28

Quadro 23 – Levantamento de materiais por elemento – Modelo 2

Fonte: (AUTORA, 2022)

O custo referente às armaduras, concretagem e fôrmas dos pilares e vigas se deu da mesma forma que o Modelo 1. A consideração da montagem e desmontagem de lajes, tal como no Modelo anterior, não considerou reutilizações, sendo considerado a área de lajes maciças e de laje nervurada proporcionalmente às áreas verificadas para esses elementos.

CODIGO DA COMPOSICAO	DESCRICAO DA COMPOSICAO	UNIDADE	CUSTO UNITÁRIO	QNT	COEF	CUSTO TOTAL
92514	MONTAGEM E DESMONTAGEM DE FÔRMA DE LAJE MACIÇA, PÉ-DIREITO SIMPLES, EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA RESINADA. AF_09/2020	M2	R$ 46,85	121,15	1,00	R$ 5.675,88
92488	MONTAGEM E DESMONTAGEM DE FÔRMA DE LAJE NERVURADA COM CUBETA E ASSOALHO, PÉ-DIREITO SIMPLES, EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA RESINADA. AF_09/2020	M2	R$ 45,51	963,37	1,00	R$ 43.846,70
I9070 - SEINFRA	LOCAÇÃO DE CUBETAS (61X61)CM H=21CM, PARA LAJE NERVURADA - FORNECIMENTO	M2XMÊS	R$ 7,86	963,37	1,00	R$ 7.572,09
3637 - ORSE	Fornecimento e instalação de tela aço soldada nervurada CA-60, Q-92, malha 15x15cm, ferro 4.2mm (1.48 kg/m2), painel 2,45x6,0m, Telcon ou similar	M2	R$ 31,45	963,37	1,17	R$ 35.448,64
92267	FABRICAÇÃO DE FÔRMA PARA LAJES, EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA RESINADA, E = 17 MM. AF_09/2020	M2	R$ 29,65	130,36	1,00	R$ 3.865,17

Quadro 24 – Composição sintética para fôrmas – Modelo 2

Fonte: (AUTORA, 2022)

A fabricação de fôrmas considerou a área calculada pelo programa e, com relação ao aluguel de cubetas e fornecimento/instalação das telas soldadas, foi necessária consulta ao banco de referências da SEINFRA (Secretaria da Infraestrutura do Ceará) e ORSE (Sistema de Orçamento de Obras de Sergipe), visto que tais elementos não se encontravam na SINAPI com as considerações feitas em projeto. Foi utilizado a área da laje nervurada para cubetas e tela soldada, sendo adotado o coeficiente de 1,17 para a tela devido a necessidade de transpasse, tal como apontado anteriormente.

4.3 Quantitativos e custos – Modelo 3

O Modelo 3, de lajes nervuradas pré-fabricadas, gerou um quantitativo de materiais tal como exposto no Quadro 25 adiante, que por sua vez possibilitou o levantamento de custo, exposto em sua totalidade no Anexo B.

Bitola (mm)	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	Concreto (m^3)	Fôrma (m^2)
Elem. / Qnt.	kgf	kgf	kgf	kgf	kgf	kgf	kgf	kgf		
PILAR	431	199	0	795	327	189	365	0	25,5	335,27
VIGA	273	836	1620	877	1131	1958	1993	157	96,81	875,77
LAJE	212	1052	106	222	10	0	0	0	118,66	0,98
PILAR/VIGA	704	1035	1620	1672	1458	2147	2358	157	122,31	1211,04

Quadro 25 – Levantamento de materiais por elemento – Modelo 3

Fonte: (AUTORA, 2022)

Tal como o Modelo 1 e 2, o custo referente às armaduras, concretagem e fôrmas dos pilares e vigas se deu de forma análoga. Com relação às lajes, o *software* considerou dois tipos de treliça, TR12 para lajes menores e TR16 para as maiores, como comentado anteriormente, que foram então vinculados proporcionalmente em área, tal como demonstrado no Quadro 26 a seguir.

CODIGO DA COMPOSICAO	DESCRICAO DA COMPOSICAO	UNIDADE	CUSTO UNITÁRIO	QNT	COEF	CUSTO TOTAL
101963*	LAJE PRÉ-MOLDADA TRELIÇADA, UNIDIRECIONAL, BI-APOIADA, C/TRELIÇA METÁLICA TR12 E ENCHIMENTO EM EPS	M2	R$ 200,75	121,15	1	R$ 24.320,99
101963*	LAJE PRÉ-MOLDADA TRELIÇADA, UNIDIRECIONAL, BI-APOIADA, C/TRELIÇA METÁLICA TR16 E ENCHIMENTO EM EPS	M2	R$ 226,43	963,37	1	R$ 218.136,86

Quadro 26 – Composição sintética para fôrmas – Modelo 3

Fonte: (AUTORA, 2022)

A composição das lajes treliçadas já incluiu o enchimento em EPS e a tela soldada, tal como exemplificado no Quadro 27, que apresenta a composição analítica para unidade de metro quadrado de laje com treliça TR16. Foi necessária consulta externa ao banco de referências da SUDECAP (Superintendência de Desenvolvimento da Capital – Belo Horizonte) e ORSE para obtenção dos valores referentes à laje treliçada e tela soldada, dado a ausência das especificações adotadas em projeto pelo banco de dados da SINAPI.

CODIGO ITEM	DESCRIÇÃO ITEM	UNIDADE ITEM	COEF	CUSTO UN.	CUSTO TOTAL
76.08.23 - SUDECAP	LAJE PRÉ-MOLDADA TRELIÇADA, UNIDIRECIONAL, BI-APOIADA, C/TRELIÇA METÁLICA TR16 E ENCHIMENTO EM EPS, SC=300Kgf/m², VÃO ATÉ 6 METROS, SEM COLOCAÇÃO	M2	1	R$ 122,78	R$ 122,78
6193	TABUA NAO APARELHADA *2,5 X 20* CM, EM MACARANDUBA, ANGELIM OU EQUIVALENTE DA REGIAO - BRUTA	M	1,87	R$ 14,83	R$ 27,73
40304	PREGO DE ACO POLIDO COM CABECA DUPLA 17 X 27 (2 1/2 X 11)	KG	0,04	R$ 30,13	R$ 1,21
88262	CARPINTEIRO DE FORMAS COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,501	R$ 21,79	R$ 10,92
88316	SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,354	R$ 17,36	R$ 6,15
92273	FABRICAÇÃO DE ESCORAS DO TIPO PONTALETE, EM MADEIRA, PARA PÉ-DIREITO SIMPLES. AF_09/2020	M	0,97	R$ 21,50	R$ 20,86
3637 - ORSE	Fornecimento e instalação de tela aço soldada nervurada CA-60, Q-92, malha 15x15cm, ferro 4.2mm (1.48 kg/m2), painel 2,45x6,0m, Telcon ou similar	M2	1,17	R$ 31,45	R$ 36,80

Quadro 27 – Composição analítica de laje – Modelo 3

Fonte: (AUTORA, 2022)

É essencial destacar que o item da laje nervurada pré-fabricada com as treliças TR12, TR16 e enchimento em EPS possuem valores muito superior àquele encontrado no item disponibilizado pelo SINAPI, de *LAJE PRE-MOLDADA CONVENCIONAL (LAJOTAS + VIGOTAS) PARA PISO, UNIDIRECIONAL, SOBRECARGA DE 200 KG/M2, VAO ATE 3,50 M (SEM COLOCACAO)*, que é orçado em RS 48,82 pelo sistema, em contraposição aos valores de R$ 122,78 para as lajes com treliça TR16 e R$ 97,10 para aquelas com uso da treliça TR12, dispostos pela SUDECAP, de Belo Horizonte, que são as únicas treliças utilizadas no TQS, o que acarretou no crescimento de custo exacerbado do item, quando em comparação com o modelo exposto no SINAPI.

Vieira e Oliveira (2018) fizeram, em 2018 na cidade de Brasília, um levantamento de preços para lajes nervuradas pré-fabricadas com treliça, devido ao mesmo problema da falta de referência no SINAPI, e encontraram um valor médio de R$ 40,00/m², sendo este um valor bem distante daquele obtido no ano de 2022, em Belo Horizonte, de R$ 122,78 para aquelas que utilizaram treliça TR16 e R$97,10 para as de treliça TR12. Mesmo com o valor bastante reduzido em comparação com o presente trabalho, o documento dos autores resultou no custo de fôrma (que também incluiu as treliças, cubetas e outros serviços para execução de lajes) da laje treliçada superior ao modelo com nervuras moldadas no local e as de laje maciças convencionais.

4.4 Comparativo de Consumo pelo *Software* TQS

Para comparação do consumo por elemento estrutural, as Tabelas 2, 3 e 4 adiante apresentam, respectivamente, os quantitativos dos materiais para os pilares, vigas e lajes, o que tornou possível avaliar o consumo desses elementos para cada tipo de laje.

ELEMENTO	PILAR		
	AÇO (Kg)	CONCRETO (m³)	FÔRMA (m²)
MACIÇA	2652,00	26,63	346,57
NERVURADA	2133,00	25,50	335,27
TRELIÇADA	2306,00	25,50	335,27

Tabela 2 – Comparativo dos quantitativos para os pilares

Fonte: (AUTORA, 2022)

Para os pilares, observa-se o consumo maior de todos os grupos estudados na laje maciça, o que aponta que, além de seções maiores (volume maior de concreto), houve também maior taxa de armação, indicando os maiores carregamentos que são justificados pela soma de reações do pórtico espacial calculado pelo TQS, no valor de 14225,86kN, como exposto anteriormente no Quadro 15, na página 57, sendo este o maior carregamento dentre os três modelos.

ELEMENTO	VIGA		
	AÇO (Kg)	CONCRETO (m³)	FÔRMA (m²)
MACIÇA	5793,00	62,58	612,57
NERVURADA	5968,00	60,06	530,01
TRELIÇADA	8845,00	96,81	875,77

Tabela 3 – Comparativo dos quantitativos para as vigas

Fonte: (AUTORA, 2022)

Com relação ao consumo de vigas, percebe-se, para os três grupos, um consumo bastante superior para as lajes treliçadas, o que é justificado pela necessidade de aumento tanto das seções quanto das taxas de armadura para as vigas que recebem as vigotas, visto que os esforços não são distribuídos bidirecionalmente. O modelo mais econômico, no sentido de aço, foi o de laje maciça e, para concreto e fôrmas, o de laje nervurada foi o modelo mais econômico.

ELEMENTO	LAJE		
	AÇO (Kg)	CONCRETO (m³)	FÔRMA (m²)
MACIÇA	9015,00	166,66	972,33
NERVURADA	6564,00	155,92	130,36
TRELIÇADA	1602,00	118,66	0,98

Tabela 4 – Comparativo dos quantitativos para as lajes

Fonte: (AUTORA, 2022)

No que diz respeito ao consumo das lajes, é importante observar que o uso de fôrmas considerado no TQS diz respeito apenas às lajes maciças, que no caso da laje treliçada foi exclusivamente a laje que recebe a escada no térreo, e por isso este valor é bastante reduzido em comparação com os outros dois modelos, que possuem maior área de lajes maciças. O volume de concreto do modelo de lajes maciças foi naturalmente maior, dado a necessidade de concreto em toda a região da laje. O modelo a consumir menos material para os três grupos foi o de laje treliçada.

É importante apontar, no entanto, que, com relação ao consumo de aço, o modelo de laje treliçadas desconsidera o consumo das treliças, que serão contabilizadas na composição apresentada em custos, mais adiante no presente trabalho. É importante destacar também que o consumo de concreto para os modelos de laje nervurada e maciça foram relativamente altos devido a necessidade de aumento da altura da capa para 8 cm, o que reduziu a vantagem que os modelos poderiam apresentar na proposta de redução de consumo de concreto para lajes.

A partir da soma do consumo dos grupos para todos os elementos, foram elaborados os Gráficos 1, 2 e 3 adiante para análise visual.

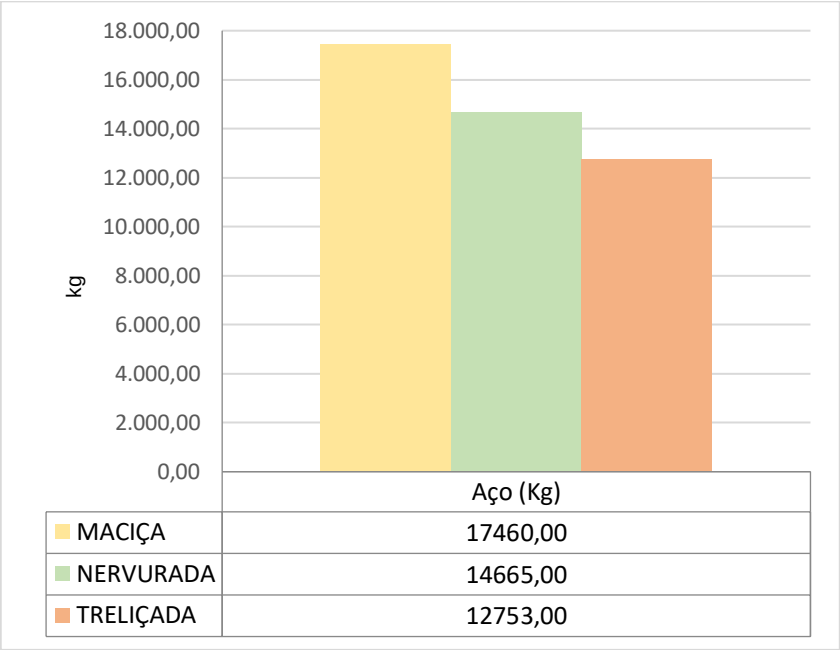
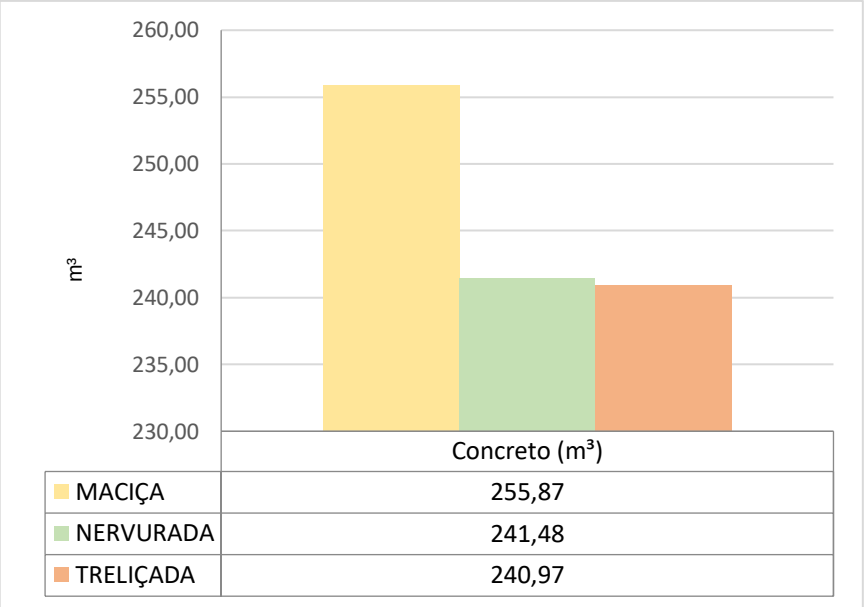


Gráfico 1 – Consumo de aço (pilar, viga e lajes)

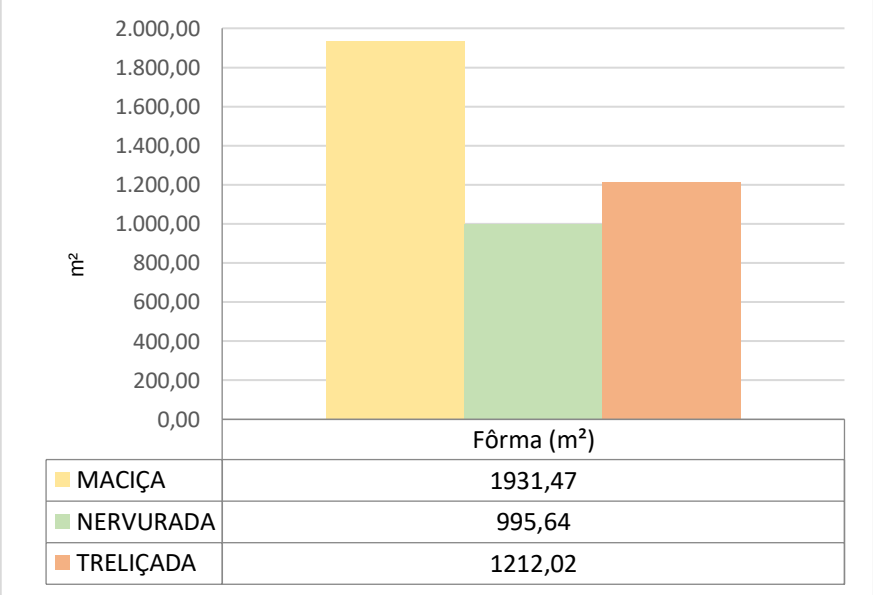
Fonte: (AUTORA, 2022)



	Concreto (m³)
MACIÇA	255,87
NERVURADA	241,48
TRELIÇADA	240,97

Gráfico 2 – Consumo de concreto (pilar, viga e lajes)

Fonte: (AUTORA, 2022)



	Fôrma (m²)
MACIÇA	1931,47
NERVURADA	995,64
TRELIÇADA	1212,02

Gráfico 3 – Consumo de fôrma (pilar, viga e lajes)

Fonte: (AUTORA, 2022)

4.5 Comparativos de Custo

A análise de custos foi dividida nos grupos de armação, concreto e fôrmas, onde a fôrma inclui, além da montagem e fabricação das fôrmas de pilares e vigas, todos os custos referentes à montagem e materiais que envolvem as lajes, como o aluguel/compra/montagem de cubetas, tela soldada, treliças e enchimentos. Assim, a partir dos custos elaborados, apresentados no

Anexo B, é possível verificar seus valores percentuais em comparação com o custo total dos respectivos sistemas, tal como exposto nos Gráficos 4, 5 e 6 adiante.

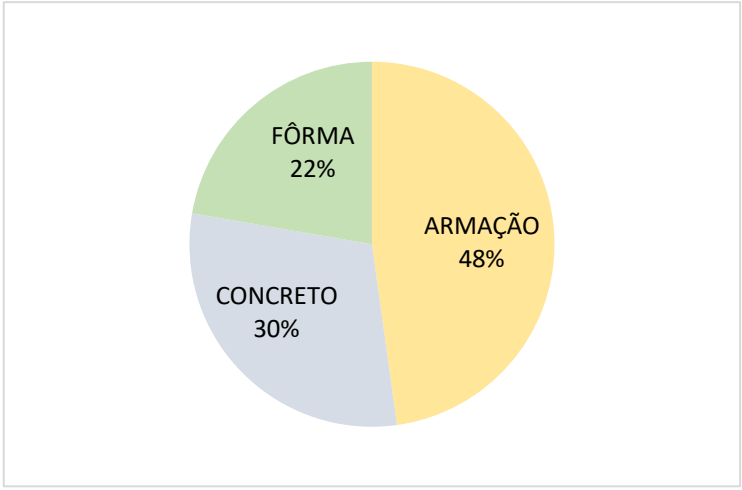


Gráfico 4 – Percentual de custo de cada grupo (pilar, viga e laje) referente ao Modelo 1- (laje maciça)

Fonte: (AUTORA, 2022)

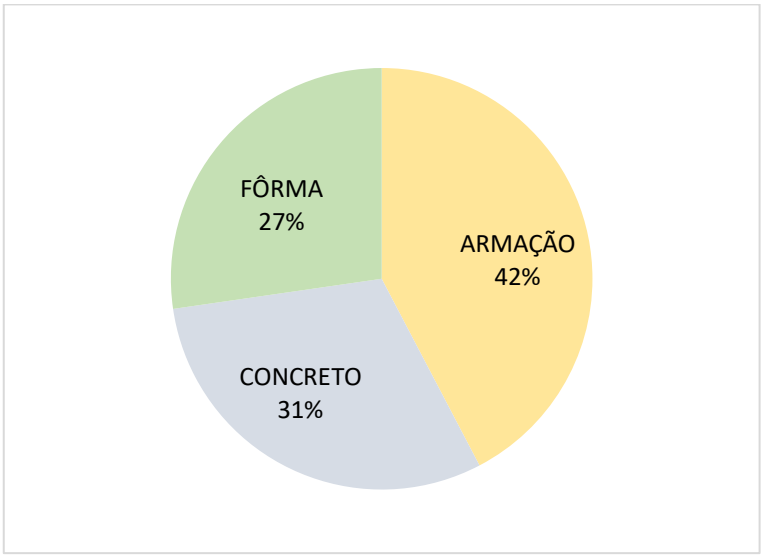


Gráfico 5 – Percentual de custo de cada grupo (pilar, viga e laje) referente ao Modelo 2- (laje nervurada)

Fonte: (AUTORA, 2022)

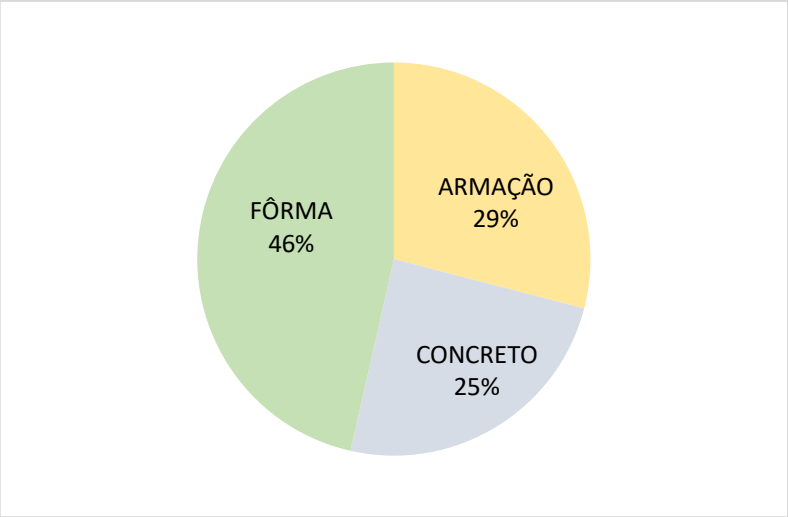


Gráfico 6 – Percentual de custo de cada grupo (pilar, viga e laje) referente ao modelo 3- (laje treliçada)

Fonte: (AUTORA, 2022)

O Quadro 28 adiante apresenta todos os custos envolvidos para as atividades de armação, concretagem e execução da fôrma de pilares, vigas e lajes. É importante salientar, como comentado anteriormente, que o custo de fôrmas para as lajes envolve não apenas a madeira (cujo consumo foi exposto na Tabela 4, na página 74), mas também aos custos envolvidos no aluguel/compra/montagem de elementos como as treliças, cubetas, escoras e todos aqueles necessários à execução de cada tipo de laje.

ELEMENTO	**TRELIÇADA**			**MACIÇA**			**NERVURADA**		
	CUSTO		PESO	CUSTO		PESO	CUSTO		PESO
ARMAÇÃO	R$	161.149,32	29%	R$	224.873,95	48%	R$	184.862,63	42%
CONCRETO	R$	135.910,32	24%	R$	140.678,83	30%	R$	132.766,93	30%
FÔRMA	R$	257.765,25	46%	R$	104.844,12	22%	R$	119.183,69	27%
TOTAL	**R$**	**554.824,90**	100%	**R$**	**470.396,90**	100%	**R$**	**436.813,25**	100%

Quadro 28 – Comparativo geral de custos

Fonte: (AUTORA, 2022)

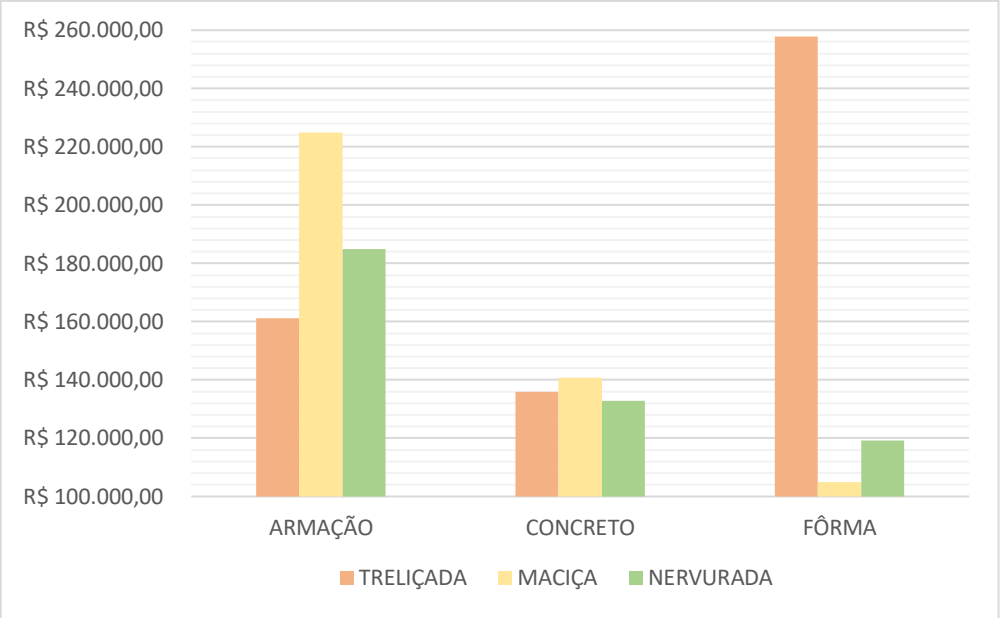


Gráfico 7 – Comparativos de custos para os três sistemas

Fonte: (AUTORA, 2022)

O modelo de laje maciça obteve o maior custo em armação, representando 48% do valor total desta laje, ao passo que o menor custo foi para a laje treliçada, que já conta com a armação nas próprias vigotas treliçadas, cujo valor não está incluso no grupo “armação”. No entanto, como não é considerada a armação das treliças no grupo de armação, percebe-se uma migração do custo para o grupo de fôrmas no modelo de laje treliçada, o que gera uma discrepância de distribuição de custos muito grande em comparação com os outros dois sistemas, dado o alto custo das treliças. Devido a este fator e ao alto custo das fôrmas de viga, o maior custo de fôrmas incide justamente no Modelo 3, apesar deste sistema ter apresentado o segundo maior consumo de fôrmas (somando pilar, vigas e lajes), como observado no Gráfico 3, na página 76.

O custo do concreto é relativamente próximo para os três modelos, sendo o menor aquele obtido pelo sistema de lajes pré-fabricadas e o maior para lajes maciças convencionais, como esperado, já que os valores do concreto não se alteram para os sistemas, tal como os de armação, e o consumo destes dois grupos seguiu, então, a ordem de consumo.

Desta forma, a laje nervurada pré-fabricada com treliças foi o modelo mais oneroso dentre os sistemas adotados, no valor total de R$ 554.824,90, valor aproximadamente 15% superior ao sistema de lajes maciças convencionais, de R$ 470.396,90, e 21% acima do mais econômico, de lajes nervuradas moldadas no local, que apresentou um valor estimado de R$ 436.813,25.

Para fins comparativos, Vieira e Oliveira (2018) obtiveram, na comparação dos três modelos também utilizados no presente trabalho, que o custo de armação da laje maciça foi superior ao da laje nervurada e treliçada, tal como obtido nesta pesquisa. Com relação à concretagem, os autores tiveram o custo da laje nervurada mais elevado, seguido pela maciça e treliçada, fato que ocorreu, segundo o autor, devido a maior altura total da laje nervurada moldada no local, resultado incompatível com os modelos aqui utilizados, onde a laje maciça obteve o maior consumo de concreto, mesmo que tenha sido necessário o aumento da altura da laje nervurada e treliçada para atendimento às normas de incêndio.

Por fim, o custo de fôrmas da laje treliçada de Vieira e Oliveira (2018) foi também o mais elevado devido ao uso de treliças, como no presente trabalho, mas, de forma inversa, este custo foi, em segundo lugar, para a laje nervurada moldada no local, que necessitou de alto custo com cubetas e, por fim, a maciça.

Para análise visual, foi montado o Gráfico 8 adiante, que apresenta o comparativo entre os totais do custo, apresentados no Quadro 28, na página 78.

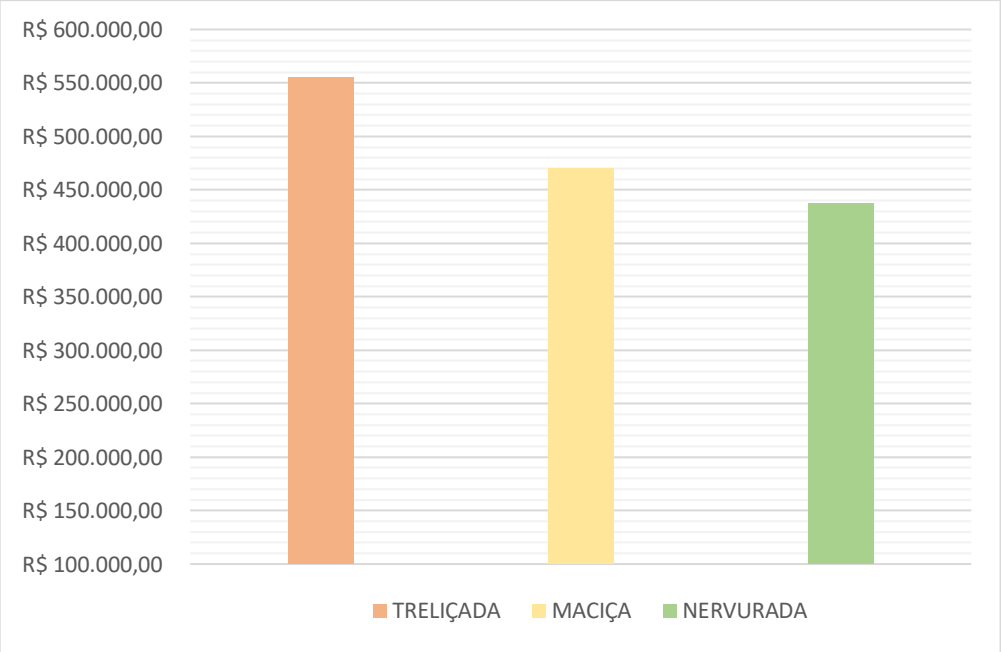


Gráfico 8 – Comparativo de custos totais

Fonte: (AUTORA, 2022)

5 CONCLUSÕES

Observa-se que, em razão da necessidade de atendimento aos parâmetros estabelecidos em projeto, houve uma discrepância de resultados em comparação com os índices praticados por outros autores, como Vieira e Oliveira (2018), (sem adaptações àqueles expostos pela SINAPI), sendo observado um aumento significativo dos custos que se esperava obter referente à laje nervurada pré-fabricada com uso de treliças, estranhamento gerado principalmente devido ao maior consumo da laje maciça para todos os três grupos de materiais analisados. A laje nervurada moldada no local, apesar da necessidade de aumento da altura da capa em virtude da norma de incêndio, apresentou o menor custo, e tal resultado pode ser previsto mediante análise de consumo.

Apesar da análise do consumo de materiais ter gerado resultados diferente daqueles esperados, devido ao projeto arquitetônico com grandes vãos das lajes, de até 7,5m, é de se esperar que a laje nervurada moldada no local atenderia ao projeto de forma mais eficiente, visto que uma de suas vantagens é justamente a possibilidade de atendimento a maiores vãos. A laje treliçada, que é o sistema (dentre os três estudados) com menor capacidade de atender aos vãos maiores, gerou um custo maior, mesmo que tenha sido inserido vigas no meio dos maiores vãos, o que consequentemente gerou também maior consumo e custo referente às vigas. Por fim, a laje maciça também não apresenta tanta adaptabilidade a grandes vãos, o que gerou a necessidade de aumento da espessura das lajes, tornando o sistema mais oneroso do que o de lajes nervuradas moldada no local, entretanto ainda mais econômico do que o de lajes treliçadas.

O presente trabalho se propôs a verificar o melhor custo-benefício para um determinado projeto arquitetônico executado com três sistemas de laje (laje maciça convencional, laje nervurada moldada no local e laje nervurada pré-fabricada com vigotas treliçadas e enchimento em EPS), diante dos resultados é possível afirmar que ele atendeu ao objetivo através da elaboração dos modelos estruturais, considerando as normas vigentes das NBR 15.575/2013, de desempenho de edificações habitacionais e as normas de incêndio, NBR 15.200/2012 de projeto de estruturas de concreto em situações de incêndio, NBR 14.432/2001 de exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações e, por fim, da NBR 6118/2014 de projeto de estruturas de concreto. Foi realizada então a vinculação dos consumos levantados às referências de preço do mercado, o que tornou possível, por fim, comparar a viabilidade econômica de cada um dos modelos.

Afirma-se, portanto, que, para a concepção estrutural utilizada no edifício multifuncional de cinco pavimentos com a arquitetura que compôs o estudo de caso, que o

modelo de laje nervurada moldada no local se mostrou o mais econômico na Paraíba e no ano de 2022.

Como sugestão para trabalhos futuros, sugere-se a solicitação de orçamento a pelo menos três empresas do ramo para as treliças utilizadas pelo TQS, a TR16 e TR12, a fim de gerar uma média de preço mais próxima da realidade atual e local, tal como realizado por Vieira e Oliveira (2018) em Brasília. Sugere-se também, na possibilidade de utilizar todos os pavimentos, ou seja, sem a limitação do número de pavimentos imposto pelo TQS Estudante, que seja explorado mais detalhadamente a estabilidade global dos três modelos desenvolvidos, avaliando a influência e comportamento de cada tipo de laje sob esta perspectiva.

REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 12655:2006**. Concreto de cimento Portland –. Preparo, controle e recebimento. Rio de Janeiro, 2006.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 14432:2001.** Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações – Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 14859-1**. Laje pré-fabricada – Requisitos. Parte 1: Lajes unidirecionais. Rio de Janeiro, 2002.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15200:2012.** Projeto de estruturas de concreto em situações de incêndio. Rio de Janeiro, 2014.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15575:2013.** Desempenho de edificações habitacionais. Rio de Janeiro, 2013.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6118:2014.** Projeto e Execução de Estruturas de Concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6120:2019.** Cargas para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro, 2018.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6123:1988.** Forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro, 1988.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7199:1989.** Projeto, execução e aplicações de vidros na construção civil. Rio de Janeiro, 1980.

ALBUQUERQUE, Augusto Teixeira. **Análise de alternativas para edifícios em concreto armado.** 1998. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1999.

ALVA, Gerson Moacyr Sisniegas. **Concepção estrutural de edifícios em concreto armado**. Santa Maria: 2007. Disponível em: < https://www.academia.edu/download/54708711/Lancamento_da_estrutura_baixado_da_net.pdf>. Acesso em: 10 mai. 2022.

ARCELORMITTAL. **Manual técnico de lajes treliçadas**. [S.I.], 2010. Disponível em: <http://longos.arcelormittal.com.br/pdf/produtos/construcao-civil/outros/manualtecnico-trelicas.pdf>. Acesso em: 22 out. 2022.

BASTOS, Paulo Sérgio. **FUNDAMENTOS DO CONCRETO ARMADO**. Notas de aula, Disciplina Estruturas de Concreto I, Bauru/SP, Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia. São Paulo: UNESP, 2019. Disponível em: < wwwp.feb.unesp.br/pbastos>. Acesso em: 10 mai. 2022.

BOTELHO, Manoel Henrique Campos; MARCHETTI, Osvaldemar. **CONCRETO ARMADO EU TE AMO -** Volume 1. 8ª ed. Revista segundo a nova norma de concreto armado NBR 6118:2004. São Paulo: Blucher, 2015.

CALLEGARI, Simara et al. **Análise da compatibilização de projetos em três edifícios residenciais multifamiliares**. Santa Catarina: 2007. Disponível em: < https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/89863/248377.pdf?sequence=1>. Acesso em: 10 mai. 2022.

CARVALHO, Roberto Chust; FILHO, Jasson Rodrigues de Figueiredo. **Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado: segundo a NBR 6118: 2014**. EdUFSCar. 4ª ed. São Carlos, SP: 2014.

DA SILVA, Andréia Rodrigues. **Análise comparativa de custos de sistemas estruturais para pavimentos de concreto armado**. Minas Gerais: 2002. Disponível em: < https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/FACO-5JVQDC/1/an_lise_comparativa_de_custos_de_sistemas..._andr_ia_rodrigues_da_silva.pdf>. Acesso em: 14 out. 2022.

FERREIRA, Gracielly Karine dos Santos. **Estudo Comparativo entre Sistemas Estruturais.** Paraíba: Universidade Federal da Paraíba, 2018.

GIONGO, José Samuel. **Concreto armado: projeto estrutural de edifícios**. EESC/SET, 2005. Disponível em: <https://www.academia.edu/download/51790191/CONCRETO_ARMADO_-_PROJETO_ESTRUTURAL_-_USP.pdf>. Acesso em: 10 mai. 2022.

REBELO, Yopanan Conrado Pereira. **A CONCEPÇÃO ESTRUTURAL E A ARQUITETURA**. 1 ed. São Paulo: Zigurate Editora, 2000.

SILVA, Marcos Alberto Ferreira. **Projeto e Construção de lajes nervuradas de concreto armado**. São Paulo, São Carlos: 2005. Disponível em:

<https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/4711/DissMAFS.pdf>. Acesso em: 14 out. 2022.

SISTEMA NACIONAL DE PESQUISA DE CUSTOS E ÍNDICES DA CONSTRUÇÃO CIVIL. **Relatório de Insumos e Composições – SET/22 - SEM DESONERAÇÃO**. Paraíba, 2022. Disponível em: < https://www.caixa.gov.br/site/Paginas/downloads.aspx#categoria_556>. Acesso em: Acesso em: 14 out. 2022.

SOUZA, Caroline Golçalves Silva; LOPES, Rayane Campos. **Estudo Comparativo entre Laje Maciça Convencional e Lajes Nervuradas**. Goiânia: Universidade Federal de Goiás, 2016. Disponível em: <https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/140/o/ESTUDO_COMPARATIVO_ENTRE_LAJE_MACI%C3%87A_CONVENCIONAL_E_LAJES_NERVURADAS.pdf>. Acesso em: 14 out. 2022.

SPOHR, Valdi Henrique. **Análise Comparativa: Sistemas Estruturais Convencionais E Estruturas De Lajes Nervuradas**. Santa Maria: 2008. Disponível em: < http://repositorio.ufsm.br/handle/1/7700>. Acesso em: 20 jul. 2022.

TQS Informática LTDA. **FLUXOGRAMA GERAL** São Paulo: 2017. Disponível em: < https://docs.tqs.com.br/Docs/Details?id=3222&language=pt-BR>. Acesso em: 9 out. 2022.

VIEIRA, Jorge Rocha; OLIVEIRA, Gerran Silva. **Comparação técnica-financeira entre lajes maciças, treliçadas e nervuradas**. Brasília: 2018. Disponível em: < https://repositorio.ucb.br:9443/jspui/handle/123456789/11625>. Acesso em: 14 out. 2022.

VIZOTTO, Itamar; SARTORTI, Artur Lenz. **Soluções de lajes maciças, nervuradas com cuba plástica e nervuradas com vigotas treliçadas pré-moldadas: análise comparativa**. Teoria e Prática na Engenharia Civil. n.15, p.19-28, Abril, 2010. Disponível em: <www.editoradunas.com.br/revistatpec/Art3_N15.pdf>. Acesso em: 15 ago. 2022.

WESTPHAL, Fernando Simon. **Manual Técnico do Vidro Plano para Edificações**. Santa Catarina: 2016. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/313693214_Manual_Tecnico_do_Vidro_Plano_para_Edificacoes>. Acesso em: 20 jul. 2022.

ANEXO A

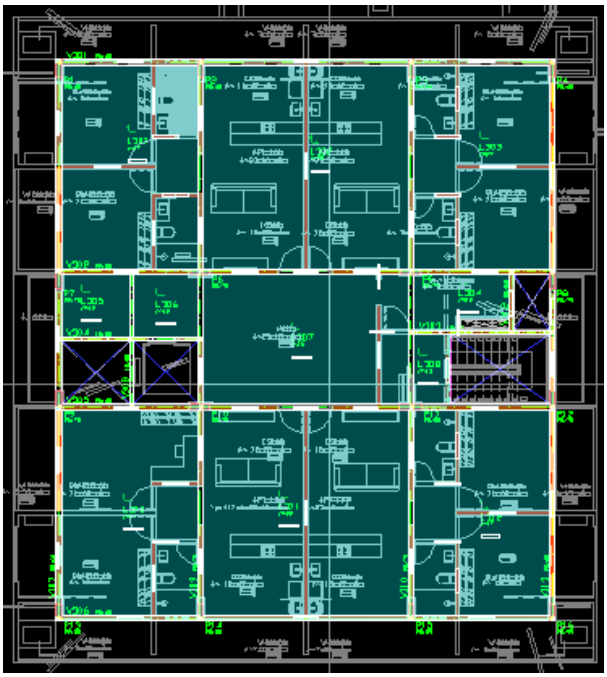


Figura 29 – Modelo estrutural do Pav Tipo com sobreposição da arquitetura – Modelo 1

Fonte: (AUTORA, 2022).

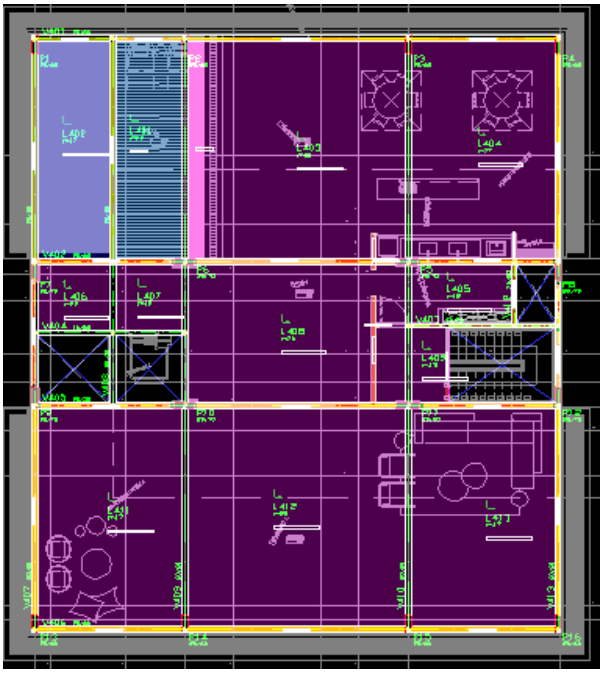


Figura 30 – Modelo estrutural da Cobertura com sobreposição da arquitetura – Modelo 1

Fonte: (AUTORA, 2022).

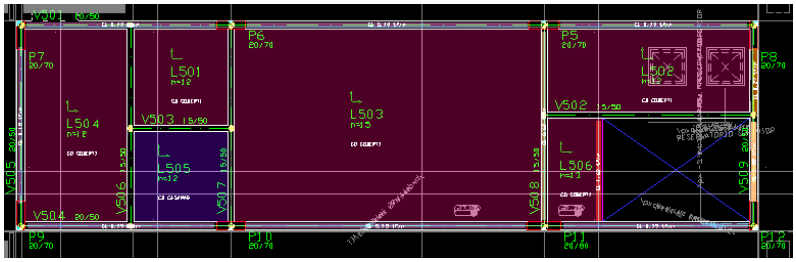


Figura 31 – Modelo estrutural da Coberta com sobreposição da arquitetura – Modelo 1

Fonte: (AUTORA, 2022).

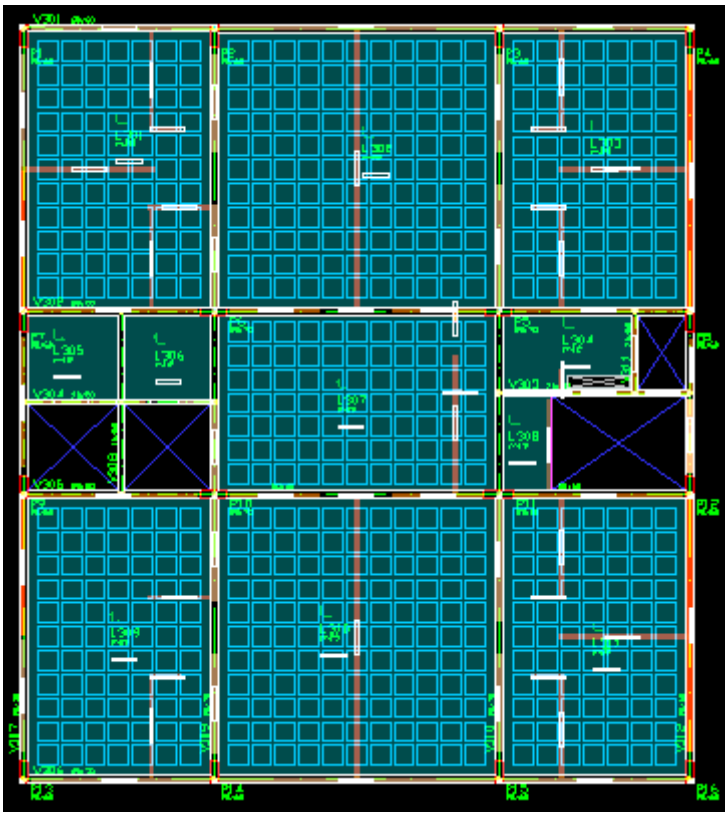


Figura 32 – Modelo estrutural do Pav Tipo – Modelo 2

Fonte: (AUTORA, 2022).

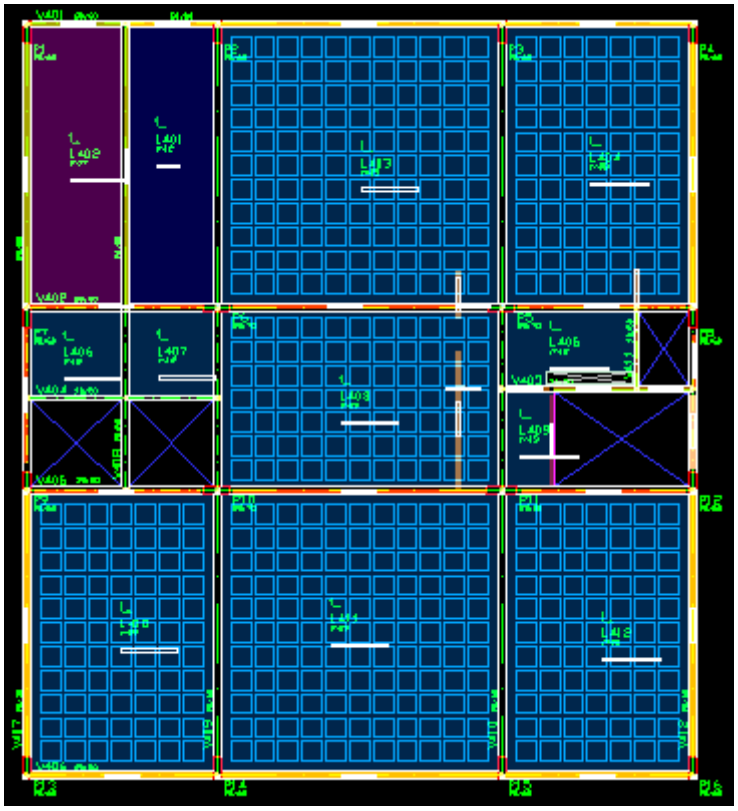


Figura 33 – Modelo estrutural da Cobertura – Modelo 2

Fonte: (AUTORA, 2022).

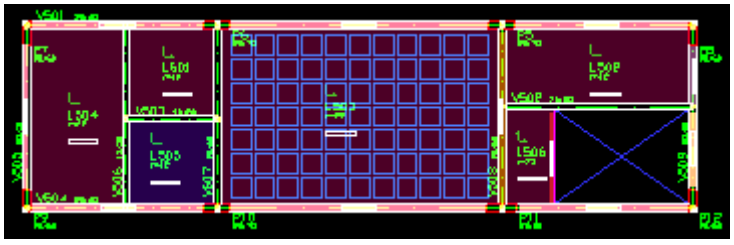


Figura 34 – Modelo estrutural da Coberta – Modelo 2

Fonte: (AUTORA, 2022).

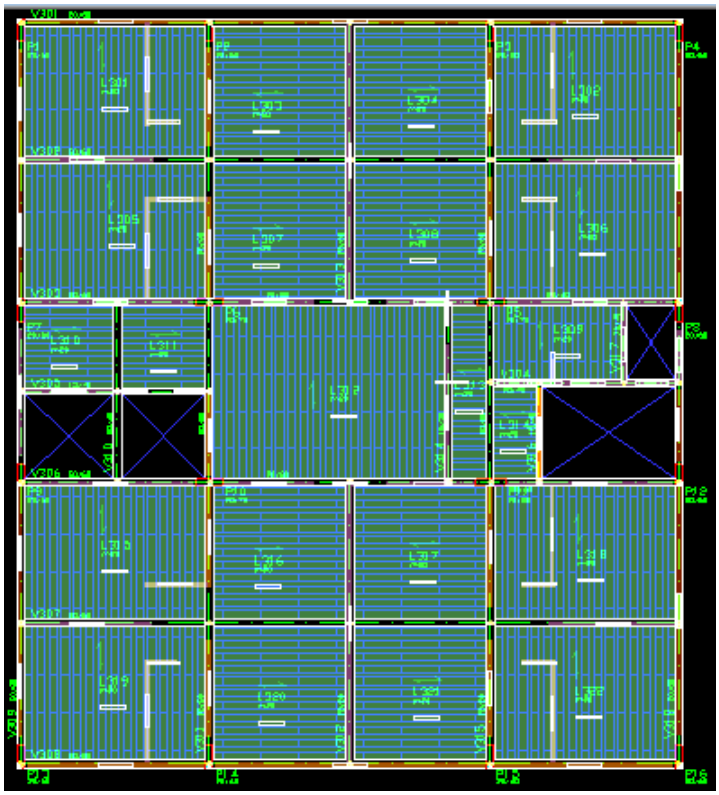


Figura 35 – Modelo estrutural do Pav Tipo – Modelo 3

Fonte: (AUTORA, 2022).

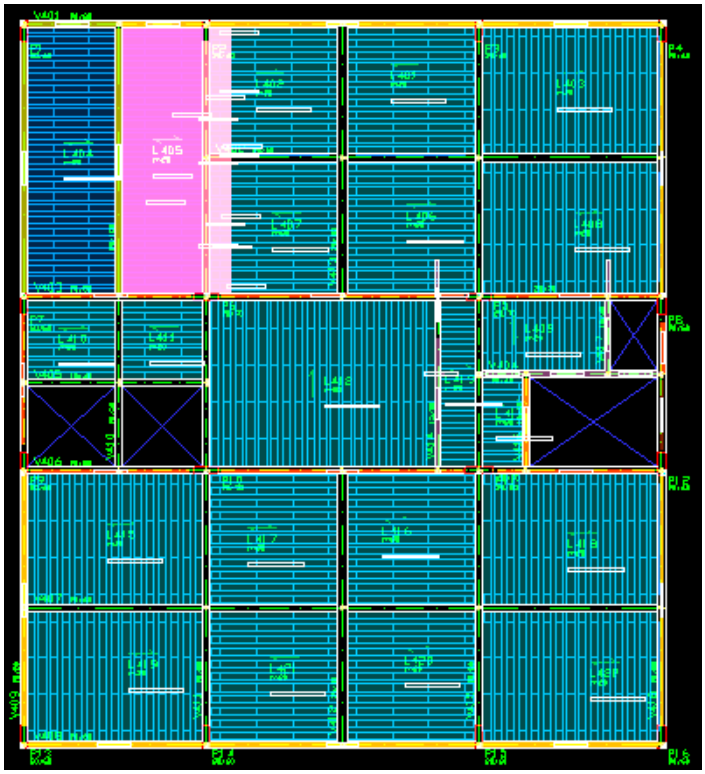


Figura 36 – Modelo estrutural da Cobertura – Modelo 3

Fonte: (AUTORA, 2022).

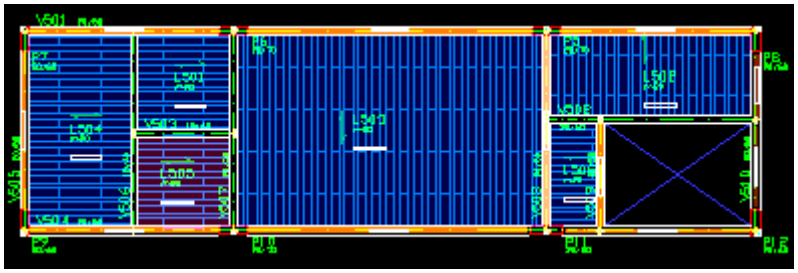


Figura 37 – Modelo estrutural da Coberta – Modelo 3

Fonte: (AUTORA, 2022).

ANEXO B

COD.	DESCRICAO DA COMPOSICAO	UN.	CUSTO UN.	TIPO ITEM	COD. ITEM	DESCRIÇÃO ITEM	UN. ITEM	QNT	COEF	CUSTO TOTAL
92759	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-60 DE 5,0 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	R$ 14,87					1065	1	R$ 15.836,55
92760	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 6,3 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	R$ 14,57					525	1	R$ 7.649,25
92761	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 8,0 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	R$ 14,05					389	1	R$ 5.465,45
92762	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 10,0 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	R$ 12,76					1731	1	R$ 22.087,56
92763	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 12,5 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	R$ 10,87					844	1	R$ 9.174,28
92764	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 16,0 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	R$ 10,61					1783	1	R$ 18.917,63
92765	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 20,0 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	R$ 12,17					1894	1	R$ 23.049,98
92768	ARMAÇÃO DE LAJE DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-60 DE 5,0 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	R$ 14,49					369	1	R$ 5.346,81
92769	ARMAÇÃO DE LAJE DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 6,3 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	R$ 14,17					4421	1	R$ 62.645,57
92770	ARMAÇÃO DE LAJE DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 8,0 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	R$ 13,67					2036	1	R$ 27.832,12
92771	ARMAÇÃO DE LAJE DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 10,0 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	R$ 12,39					2053	1	R$ 25.436,67
92772	ARMAÇÃO DE LAJE DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 12,5 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	R$ 10,53					136	1	R$ 1.432,08
103672	CONCRETAGEM DE PILARES, FCK = 25 MPA, COM USO DE BOMBA - LANÇAMENTO, ADENSAMENTO E ACABAMENTO. AF_02/2022	M3	R$ 549,34					26,63	1	R$ 14.628,92
103675	CONCRETAGEM DE VIGAS E LAJES, FCK=25 MPA, PARA LAJES MACIÇAS OU NERVURADAS COM USO DE BOMBA - LANÇAMENTO, ADENSAMENTO E ACABAMENTO. AF_02/2022	M3	R$ 549,86					229,24	1	R$ 126.049,91
92423	MONTAGEM E DESMONTAGEM DE FÔRMA DE PILARES RETANGULARES E ESTRUTURAS SIMILARES, PÉ-DIREITO SIMPLES, EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA RESINADA, 6 UTILIZAÇÕES. AF_09/2020	M2	R$ 163,93					346,57	0,17	R$ 9.468,87
92460	MONTAGEM E DESMONTAGEM DE FÔRMA DE VIGA, ESCORAMENTO METÁLICO, PÉ-DIREITO SIMPLES, EM CHAPA DE MADEIRA RESINADA, 6 UTILIZAÇÕES. AF_09/2020	M2	R$ 154,13					612,57	0,17	R$ 15.735,90
92514	MONTAGEM E DESMONTAGEM DE FÔRMA DE LAJE MACIÇA, PÉ-DIREITO SIMPLES, EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA RESINADA. AF_09/2020	M2	R$ 46,85					1084,52	1	R$ 50.809,76
				INSUMO	2692	DESMOLDANTE PROTETOR PARA FORMAS DE MADEIRA, DE BASE OLEOSA EMULSIONADA EM AGUA	L	8,67	0,01	R$ 0,08
				INSUMO	10749	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	4,44	0,397	R$ 1,76
				INSUMO	40270	VIGA DE ESCORAMAENTO H20, DE MADEIRA, PESO DE 5,00 A 5,20 KG/M, COM EXTREMIDADES PLASTICAS	M	113,5	0,095	R$ 10,78
				COMPOS.	88239	AJUDANTE DE CARPINTEIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	17,27	0,116	R$ 2,00

				COMPO.	88262	CARPINTEIRO DE FORMAS COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	21,79	0,635	R$ 13,83
92267	FABRICAÇÃO DE FÔRMA PARA LAJES, EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA RESINADA, E = 17 MM. AF_09/2020	M2	29,65					972,33	1	R$ 28.829,58
									TOTAL	**R$ 470.396,90**

Quadro 29 – Composição de custos da laje maciça convencional

Fonte: (AUTORA, 2022)

COD.	DESCRICAO DA COMPOSICAO	UN.	CUSTO UN.	TIPO ITEM	COD. ITEM	DESCRIÇÃO ITEM	UN. ITEM	QNT	COEF	CUSTO TOTAL
92759	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-60 DE 5,0 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	R$ 14,87					1220	1	R$ 18.141,40
92760	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 6,3 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	R$ 14,57					472	1	R$ 6.877,04
92761	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 8,0 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	R$ 14,05					489	1	R$ 6.870,45
92762	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 10,0 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	R$ 12,76					1822	1	R$ 23.248,72
92763	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 12,5 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	R$ 10,87					1093	1	R$ 11.880,91
92764	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 16,0 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	R$ 10,61					1812	1	R$ 19.225,32
92765	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 20,0 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	R$ 12,17					1110	1	R$ 13.508,70
92766	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 25,0 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	R$ 12,08					83	1	R$ 1.002,64
92768	ARMAÇÃO DE LAJE DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-60 DE 5,0 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	R$ 14,49					444	1	R$ 6.433,56
92769	ARMAÇÃO DE LAJE DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 6,3 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	R$ 14,17					2174	1	R$ 30.805,58
92770	ARMAÇÃO DE LAJE DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 8,0 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	R$ 13,67					885	1	R$ 12.097,95
92771	ARMAÇÃO DE LAJE DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 10,0 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	R$ 12,39					1342	1	R$ 16.627,38
92772	ARMAÇÃO DE LAJE DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 12,5 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	R$ 10,53					1323	1	R$ 13.931,19
92773	ARMAÇÃO DE LAJE DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 16,0 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	R$ 10,39					337	1	R$ 3.501,43
92774	ARMAÇÃO DE LAJE DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 20,0 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	R$ 12,04					59	1	R$ 710,36
103672	CONCRETAGEM DE PILARES, FCK = 25 MPA, COM USO DE BOMBA - LANÇAMENTO, ADENSAMENTO E ACABAMENTO. AF_02/2022	M3	R$ 549,34					25,5	1	R$ 14.008,17
103675	CONCRETAGEM DE VIGAS E LAJES, FCK=25 MPA, PARA LAJES MACIÇAS OU NERVURADAS COM USO DE BOMBA - LANÇAMENTO, ADENSAMENTO E ACABAMENTO. AF_02/2022	M3	R$ 549,86					215,98	1	R$ 118.758,76
92423	MONTAGEM E DESMONTAGEM DE FÔRMA DE PILARES RETANGULARES E ESTRUTURAS SIMILARES, PÉ-DIREITO SIMPLES, EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA RESINADA, 6 UTILIZAÇÕES. AF_09/2020	M2	R$ 163,93					335,27	0,17	R$ 9.160,14

92460	MONTAGEM E DESMONTAGEM DE FÔRMA DE VIGA, ESCORAMENTO METÁLICO, PÉ-DIREITO SIMPLES, EM CHAPA DE MADEIRA RESINADA, 6 UTILIZAÇÕES. AF_09/2020	M2	R$ 154,13					530,01	0,17	R$ 13.615,07
92514	MONTAGEM E DESMONTAGEM DE FÔRMA DE LAJE MACIÇA, PÉ-DIREITO SIMPLES, EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA RESINADA. AF_09/2020	M2	R$ 46,85					121,15	1,00	R$ 5.675,88
92509				INSUMO	2692	DESMOLDANTE PROTETOR PARA FORMAS DE MADEIRA, DE BASE OLEOSA EMULSIONADA EM AGUA	L	0,010	8,67	R$ 0,09
92510				INSUMO	10749	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	4,44	R$ 1,76
92511				INSUMO	40270	VIGA DE ESCORAMAENTO H20, DE MADEIRA, PESO DE 5,00 A 5,20 KG/M, COM EXTREMIDADES PLASTICAS	M	0,095	113,50	R$ 10,78
92512				COMP.	88239	AJUDANTE DE CARPINTEIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,116	17,27	R$ 2,00
92513				COMP.	88262	CARPINTEIRO DE FORMAS COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,635	21,79	R$ 13,84
92488	MONTAGEM E DESMONTAGEM DE FÔRMA DE LAJE NERVURADA COM CUBETA E ASSOALHO, PÉ-DIREITO SIMPLES, EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA RESINADA. AF_09/2020	M2	R$ 45,51					963,37	1,00	R$ 43.846,70
				INSUMO	2692	DESMOLDANTE PROTETOR PARA FORMAS DE MADEIRA, DE BASE OLEOSA EMULSIONADA EM AGUA	L	0,008	8,67	R$ 0,07
				INSUMO	10749	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	4,44	R$ 1,76
				INSUMO	40270	VIGA DE ESCORAMAENTO H20, DE MADEIRA, PESO DE 5,00 A 5,20 KG/M, COM EXTREMIDADES PLASTICAS	M	0,095	113,50	R$ 10,78
				COMP.	88239	AJUDANTE DE CARPINTEIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,202	17,27	R$ 3,49
				COMP.	88262	CARPINTEIRO DE FORMAS COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	1,101	21,79	R$ 23,99
				COMP.	92267	FABRICAÇÃO DE FÔRMA PARA LAJES, EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA RESINADA, E = 17 MM. AF_09/2020	M2	0,183	29,65	R$ 5,42
I9070 - SEINFRA	LOCAÇÃO DE CUBETAS (61X61) CM H=21 CM, PARA LAJE NERVURADA - FORNECIMENTO	M2XMÊS	R$ 7,86					963,37	1,00	R$ 7.572,09
3637 - ORSE	Fornecimento e instalação de tela aço soldada nervurada CA-60, Q-92, malha 15x15 cm, ferro 4.2mm (1.48 kg/m2), painel 2,45x6,0m, Telcon ou similar	M2	R$ 31,45					963,37	1,17	R$ 35.448,64
92267	FABRICAÇÃO DE FÔRMA PARA LAJES, EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA RESINADA, E = 17 MM. AF_09/2020	M2	R$ 29,65					130,36	1,00	R$ 3.865,17
										R$ 436.813,25

Quadro 30 – Composição de custos da laje nervurada moldada *in loco*

Fonte: (AUTORA, 2022)

COD.	DESCRICAO DA COMPOSICAO	UN.	CUSTO UN.	TIPO ITEM	COD. ITEM	DESCRIÇÃO ITEM	UN. ITEM	QNT	COEF	CUSTO TOTAL
92759	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-60 DE 5,0 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	R$ 14,87					704	1	R$ 10.468,48
92760	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 6,3 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	R$ 14,57					1035	1	R$ 15.079,95
92761	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 8,0 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	R$ 14,05					1620	1	R$ 22.761,00

92762	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 10,0 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	R$ 12,76					1672	1	R$ 21.334,72
92763	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 12,5 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	R$ 10,87					1458	1	R$ 15.848,46
92764	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 16,0 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	R$ 10,61					2147	1	R$ 22.779,67
92765	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 20,0 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	R$ 12,17					2358	1	R$ 28.696,86
92766	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 25,0 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	R$ 12,08					157	1	R$ 1.896,56
92768	ARMAÇÃO DE LAJE DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-60 DE 5,0 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	R$ 14,49					212	1	R$ 3.071,88
92769	ARMAÇÃO DE LAJE DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 6,3 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	R$ 14,17					1052	1	R$ 14.906,84
92770	ARMAÇÃO DE LAJE DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 8,0 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	R$ 13,67					106	1	R$ 1.449,02
92771	ARMAÇÃO DE LAJE DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 10,0 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	R$ 12,39					222	1	R$ 2.750,58
92772	ARMAÇÃO DE LAJE DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 12,5 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	R$ 10,53					10	1	R$ 105,30
103674	CONCRETAGEM DE VIGAS E LAJES, FCK=25 MPA, PARA LAJES PREMOLDADAS COM USO DE BOMBA - LANÇAMENTO, ADENSAMENTO E ACABAMENTO. AF_02/2022	M3	R$ 565,75					215,47	1	R$ 121.902,15
103672	CONCRETAGEM DE PILARES, FCK = 25 MPA, COM USO DE BOMBA - LANÇAMENTO, ADENSAMENTO E ACABAMENTO. AF_02/2022	M3	R$ 549,34					25,5	1	R$ 14.008,17
92423	MONTAGEM E DESMONTAGEM DE FÔRMA DE PILARES RETANGULARES E ESTRUTURAS SIMILARES, PÉ-DIREITO SIMPLES, EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA RESINADA, 6 UTILIZAÇÕES. AF_09/2020	M2	R$ 55,28					335,27	0,1667	R$ 3.088,95
92460	MONTAGEM E DESMONTAGEM DE FÔRMA DE VIGA, ESCORAMENTO METÁLICO, PÉ-DIREITO SIMPLES, EM CHAPA DE MADEIRA RESINADA, 6 UTILIZAÇÕES. AF_09/2020	M2	R$ 83,71					875,77	0,1667	R$ 12.218,45
101963*	LAJE PRÉ-MOLDADA TRELIÇADA, UNIDIRECIONAL, BI-APOIADA, C/TRELIÇA METÁLICA TR12 E ENCHIMENTO EM EPS	M2	R$ 200,75					121,15	1	R$ 24.320,99
				SUDECAP	76.08.13	LAJE PRÉ-MOLDADA TRELIÇADA, UNIDIRECIONAL, BI-APOIADA, C/TRELIÇA METÁLICA TR12 E ENCHIMENTO EM EPS, SC=300Kgf/m², VÃO ATÉ 5 METROS, SEM COLOCAÇÃO	m²	1	R$ 97,10	R$ 97,10
				INSUMO	6193	TABUA NAO APARELHADA *2,5 X 20*cm, EM MACARANDUBA, ANGELIM OU EQUIVALENTE DA REGIAO - BRUTA	M	1,87	R$ 14,83	R$ 27,73
				INSUMO	40304	PREGO DE ACO POLIDO COM CABECA DUPLA 17 X 27 (2 1/2 X 11)	KG	0,04	R$ 30,13	R$ 1,21
				COMP.	88262	CARPINTEIRO DE FORMAS COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,501	R$ 21,79	R$ 10,92
				COMP.	88316	SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,354	R$ 17,36	R$ 6,15
				COMP.	92273	FABRICAÇÃO DE ESCORAS DO TIPO PONTALETE, EM MADEIRA, PARA PÉ-DIREITO SIMPLES. AF_09/2020	M	0,97	R$ 21,50	R$ 20,86
				ORSE	3637	Fornecimento e instalação de tela aço soldada nervurada CA-60, Q-92, malha 15x15 cm, ferro 4.2mm (1.48 kg/m2), painel 2,45x6,0m, Telcon ou similar	m²	1,17	R$ 31,45	R$ 36,80
101963*	LAJE PRÉ-MOLDADA TRELIÇADA, UNIDIRECIONAL, BI-APOIADA, C/TRELIÇA METÁLICA TR16 E ENCHIMENTO EM EPS	M2	R$ 226,43					963,37	1	R$ 218.136,86
				SUDECAP	76.08.23	LAJE PRÉ-MOLDADA TRELIÇADA, UNIDIRECIONAL, BI-APOIADA, C/TRELIÇA METÁLICA TR16 E ENCHIMENTO EM EPS, SC=300Kgf/m², VÃO ATÉ 6 METROS, SEM COLOCAÇÃO	m²	1	R$ 122,78	R$ 122,78

	INSUMO	6193	TABUA NAO APARELHADA *2,5 X 20*cm, EM MACARANDUBA, ANGELIM OU EQUIVALENTE DA REGIAO - BRUTA	M	1,87	R$ 14,83	R$ 27,73
	INSUMO	40304	PREGO DE ACO POLIDO COM CABECA DUPLA 17 X 27 (2 1/2 X 11)	KG	0,04	R$ 30,13	R$ 1,21
	COMP.	88262	CARPINTEIRO DE FORMAS COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,501	R$ 21,79	R$ 10,92
	COMP.	88316	SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,354	R$ 17,36	R$ 6,15
	COMP.	92273	FABRICAÇÃO DE ESCORAS DO TIPO PONTALETE, EM MADEIRA, PARA PÉ-DIREITO SIMPLES. AF_09/2020	M	0,97	R$ 21,50	R$ 20,86
	ORSE	3637	Fornecimento e instalação de tela aço soldada nervurada CA-60, Q-92, malha 15x15 cm, ferro 4.2mm (1.48 kg/m2), painel 2,45x6,0m, Telcon ou similar	m²	1,17	R$ 31,45	R$ 36,80
							R$ 554.824,90

Quadro 31 – Composição de custos da laje nervurada pré-fabricada com treliças

Fonte: (AUTORA, 2022)

COD.	DESCRICAO DA COMPOSICAO	UN.	CUSTO UN.	TIPO ITEM	COD. ITEM	DESCRIÇÃO ITEM	UN. ITEM	QNT	COEF	CUSTO TOTAL
92759	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-60 DE 5,0 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	R$ 14,87					1204	1	R$ 17.903,48
92760	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 6,3 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	R$ 14,57					475	1	R$ 6.920,75
92761	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 8,0 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	R$ 14,05					412	1	R$ 5.788,60
92762	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 10,0 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	R$ 12,76					1807	1	R$ 23.057,32
92763	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 12,5 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	R$ 10,87					1021	1	R$ 11.098,27
92764	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 16,0 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	R$ 10,61					1769	1	R$ 18.769,09
92765	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 20,0 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	R$ 12,17					822	1	R$ 10.003,74
92766	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 25,0 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	R$ 12,08					66	1	R$ 797,28
92768	ARMAÇÃO DE LAJE DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-60 DE 5,0 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	R$ 14,49					448	1	R$ 6.491,52
92769	ARMAÇÃO DE LAJE DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 6,3 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	R$ 14,17					2284	1	R$ 32.364,28
92770	ARMAÇÃO DE LAJE DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 8,0 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	R$ 13,67					885	1	R$ 12.097,95
92771	ARMAÇÃO DE LAJE DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 10,0 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	R$ 12,39					1173	1	R$ 14.533,47
92772	ARMAÇÃO DE LAJE DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 12,5 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	R$ 10,53					1222	1	R$ 12.867,66
92773	ARMAÇÃO DE LAJE DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 16,0 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	R$ 10,39					249	1	R$ 2.587,11
92774	ARMAÇÃO DE LAJE DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 20,0 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	R$ 12,04					32	1	R$ 385,28
103672	CONCRETAGEM DE PILARES, FCK = 25 MPA, COM USO DE BOMBA - LANÇAMENTO, ADENSAMENTO E ACABAMENTO. AF_02/2022	M3	R$ 549,34					25,5	1	R$ 14.008,17
103675	CONCRETAGEM DE VIGAS E LAJES, FCK=25 MPA, PARA LAJES MACIÇAS OU NERVURADAS COM USO DE BOMBA - LANÇAMENTO, ADENSAMENTO E ACABAMENTO. AF_02/2022	M3	R$ 549,86					215,98	1	R$ 118.758,76
92423	MONTAGEM E DESMONTAGEM DE FÔRMA DE PILARES RETANGULARES E ESTRUTURAS SIMILARES, PÉ-DIREITO SIMPLES, EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA RESINADA, 6 UTILIZAÇÕES. AF_09/2020	M2	R$ 163,93					335,27	0,17	R$ 9.160,14
92460	MONTAGEM E DESMONTAGEM DE FÔRMA DE VIGA, ESCORAMENTO METÁLICO, PÉ-DIREITO SIMPLES, EM CHAPA DE MADEIRA RESINADA, 6 UTILIZAÇÕES. AF_09/2020	M2	R$ 154,13					530,01	0,17	R$ 13.615,07
92514	MONTAGEM E DESMONTAGEM DE FÔRMA DE LAJE MACIÇA, PÉ-DIREITO SIMPLES, EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA RESINADA. AF_09/2020	M2	R$ 46,85					121,15	1,00	R$ 5.675,88
				INSUMO	2692	DESMOLDANTE PROTETOR PARA FORMAS DE MADEIRA, DE BASE OLEOSA EMULSIONADA EM AGUA	L	0,010	8,67	0,08
				INSUMO	10749	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	4,44	1,76
				INSUMO	40270	VIGA DE ESCORAMAENTO H20, DE MADEIRA, PESO DE 5,00 A 5,20 KG/M, COM EXTREMIDADES PLASTICAS	M	0,095	113,50	10,78
				COMP.	88239	AJUDANTE DE CARPINTEIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,116	17,27	2,00
				COMP.	88262	CARPINTEIRO DE FORMAS COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,635	21,79	13,83
92488	MONTAGEM E DESMONTAGEM DE FÔRMA DE LAJE NERVURADA COM CUBETA E ASSOALHO, PÉ-DIREITO SIMPLES, EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA RESINADA. AF_09/2020	M2	R$ 45,51					963,37	1,00	R$ 43.846,70
				INSUMO	2692	DESMOLDANTE PROTETOR PARA FORMAS DE MADEIRA, DE BASE	L	0,008	8,67	R$ 0,07

				INSUMO	10749	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	4,44	R$	1,76
				INSUMO	40270	VIGA DE ESCORAMAENTO H20, DE MADEIRA, PESO DE 5,00 A 5,20 KG/M, COM EXTREMIDADES PLASTICAS	M	0,095	113,50	R$	10,78
				COMP.	88239	AJUDANTE DE CARPINTEIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,202	17,27	R$	3,49
				COMP.	88262	CARPINTEIRO DE FORMAS COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	1,101	21,79	R$	23,99
				COMP.	92267	FABRICAÇÃO DE FÔRMA PARA LAJES, EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA RESINADA, E = 17 MM. AF_09/2020	M2	0,183	29,65		5,42
I9070 - SEINFRA	LOCAÇAO DE CUBETAS (61X61)CM H=21CM, PARA LAJE NERVURADA - FORNECIMENTO	M2XMÊS	R$ 7,86					963,37	1,00	R$	7.572,09
3637 - ORSE	Fornecimento e instalação de tela aço soldada nervurada CA-60, Q-92, malha 15x15cm, ferro 4.2mm (1.48 kg/m2), painel 2,45x6,0m, Telcon ou similar	M2	R$ 31,45					963,37	1,17	R$	35.448,64
92267	FABRICAÇÃO DE FÔRMA PARA LAJES, EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA RESINADA, E = 17 MM. AF_09/2020	M2	R$ 29,65					130,36	1,00	R$	3.865,17
										R$	119.183,69
									TOTAL	R$	427.616,42

COD.	DESCRICAO DA COMPOSICAO	UN.	CUSTO UN.	TIPO ITEM	COD. ITEM	DESCRIÇÃO ITEM	UN. ITEM	QNT	COEF	CUSTO TOTAL
92759	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-60 DE 5,0 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	R$ 14,87					705	1	R$ 10.483,35
92760	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 6,3 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	R$ 14,57					991	1	R$ 14.438,87
92761	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 8,0 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	R$ 14,05					1619	1	R$ 22.746,95
92762	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 10,0 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	R$ 12,76					1678	1	R$ 21.411,28
92763	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 12,5 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	R$ 10,87					1299	1	R$ 14.120,13
92764	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 16,0 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	R$ 10,61					2525	1	R$ 26.790,25
92765	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 20,0 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	R$ 12,17					1795	1	R$ 21.845,15
92766	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 25,0 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	R$ 12,08					157	1	R$ 1.896,56
92768	ARMAÇÃO DE LAJE DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-60 DE 5,0 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	R$ 14,49					212	1	R$ 3.071,88
92769	ARMAÇÃO DE LAJE DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 6,3 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	R$ 14,17					1182	1	R$ 16.748,94
92770	ARMAÇÃO DE LAJE DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 8,0 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	R$ 13,67					120	1	R$ 1.640,40
92771	ARMAÇÃO DE LAJE DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 10,0 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	R$ 12,39					37	1	R$ 458,43
92772	ARMAÇÃO DE LAJE DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 12,5 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	R$ 10,53					10	1	R$ 105,30
103674	CONCRETAGEM DE VIGAS E LAJES, FCK=25 MPA, PARA LAJES PREMOLDADAS COM USO DE BOMBA - LANÇAMENTO, ADENSAMENTO E ACABAMENTO. AF_02/2022	M3	R$ 565,75					215,47	1	R$ 121.902,15
103672	CONCRETAGEM DE PILARES, FCK = 25 MPA, COM USO DE BOMBA - LANÇAMENTO, ADENSAMENTO E ACABAMENTO. AF_02/2022	M3	R$ 549,34					25,5	1	R$ 14.008,17
92423	MONTAGEM E DESMONTAGEM DE FÔRMA DE PILARES RETANGULARES E ESTRUTURAS SIMILARES, PÉ-DIREITO SIMPLES, EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA RESINADA, 6 UTILIZAÇÕES. AF_09/2020	M2	R$ 55,28					335,27	0,1667	R$ 3.088,95
92460	MONTAGEM E DESMONTAGEM DE FÔRMA DE VIGA, ESCORAMENTO METÁLICO, PÉ-DIREITO SIMPLES, EM CHAPA DE MADEIRA RESINADA, 6 UTILIZAÇÕES. AF_09/2020	M2	R$ 83,71					875,77	0,1667	R$ 12.218,45
101963*	LAJE PRÉ-MOLDADA TRELIÇADA, UNIDIRECIONAL, BI-APOIADA, C/TRELIÇA METÁLICA TR12 E ENCHIMENTO EM EPS	M2	R$ 200,75					121,15	1	R$ 24.320,99
				SUDECAP	76.08.13	LAJE PRÉ-MOLDADA TRELIÇADA, UNIDIRECIONAL, BI-APOIADA, C/TRELIÇA METÁLICA TR12 E ENCHIMENTO EM EPS, SC=300Kgf/m², VÃO ATÉ 5 METROS, SEM COLOCAÇÃO	m²	1	R$ 97,10	R$ 97,10
				INSUMO	6193	TABUA NAO APARELHADA "2,5 X 20" CM, EM MACARANDUBA, ANGELIM OU EQUIVALENTE DA REGIAO - BRUTA	M	1,87	R$ 14,83	R$ 27,73
				INSUMO	40304	PREGO DE ACO POLIDO COM CABECA DUPLA 17 X 27 (2 1/2 X 11)	KG	0,04	R$ 30,13	R$ 1,21
				COMPOSICAO	88262	CARPINTEIRO DE FORMAS COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,501	R$ 21,79	R$ 10,92
				COMPOSICAO	88316	SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,354	R$ 17,36	R$ 6,15
				COMPOSICAO	92273	FABRICAÇÃO DE ESCORAS DO TIPO PONTALETE, EM MADEIRA, PARA PÉ-DIREITO SIMPLES. AF_09/2020	M	0,97	R$ 21,50	R$ 20,86
				ORSE	3637	Fornecimento e instalação de tela aço soldada nervurada CA-60, Q-92, malha 15x15cm, ferro 4.2mm (1.48 kg/m2), painel 2,45x6,0m, Telcon ou similar	m²	1,17	R$ 31,45	R$ 36,80
101963*	LAJE PRÉ-MOLDADA TRELIÇADA, UNIDIRECIONAL, BI-APOIADA, C/TRELIÇA METÁLICA TR16 E ENCHIMENTO EM EPS	M2	R$ 226,43					963,37	1	R$ 218.136,86
				SUDECAP	76.08.23	LAJE PRÉ-MOLDADA TRELIÇADA, UNIDIRECIONAL, BI-APOIADA, C/TRELIÇA METÁLICA TR16 E ENCHIMENTO EM EPS, SC=300Kgf/m², VÃO ATÉ 6 METROS, SEM COLOCAÇÃO	m²	1	R$ 122,78	R$ 122,78
				INSUMO	6193	TABUA NAO APARELHADA "2,5 X 20" CM, EM MACARANDUBA, ANGELIM OU EQUIVALENTE DA REGIAO - BRUTA	M	1,87	R$ 14,83	R$ 27,73
				INSUMO	40304	PREGO DE ACO POLIDO COM CABECA DUPLA 17 X 27 (2 1/2 X 11)	KG	0,04	R$ 30,13	R$ 1,21

	COMPOSICAO	88262	CARPINTEIRO DE FORMAS COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,501	R$ 21,79	R$	10,92
	COMPOSICAO	88316	SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,354	R$ 17,36	R$	6,15
	COMPOSICAO	92273	FABRICAÇÃO DE ESCORAS DO TIPO PONTALETE, EM MADEIRA, PARA PÉ-DIREITO SIMPLES. AF_09/2020	M	0,97	R$ 21,50	R$	20,86
	ORSE	3637	Fornecimento e instalação de tela aço soldada nervurada CA-60, Q-92, malha 15x15cm, ferro 4.2mm (1.48 kg/m2), painel 2,45x6,0m, Telcon ou similar	m²	1,17	R$ 31,45	R$	36,80
						TOTAL	R$	549.433,07