



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PIAUÍ
CAMPUS TERESINA ZONA SUL
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

MARCOS DANIEL RIBEIRO

ANÁLISE PARAMÉTRICA DE LAJES UTILIZANDO O SOFTWARE COMERCIAL
TQS

TERESINA
2024

MARCOS DANIEL RIBEIRO

ANÁLISE PARAMÉTRICA DE LAJES UTILIZANDO O SOFTWARE COMERCIAL
TQS

Trabalho de Conclusão de Curso (monografia)
apresentado como exigência parcial para obtenção
do diploma do Curso de Bacharelado em
Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação,
Ciência e Tecnologia do Piauí, Campus Teresina
Zona Sul.

Orientador: Prof. Dr. Wallison Medeiros.

TERESINA

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD

Ribeiro, Marcos Daniel

R484a Análise paramétrica de lajes utilizando o software comercial TQS / Marcos
Daniel Ribeiro. - 2024.
71 f.: il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) -
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Campus
Teresina Zona Sul, 2024.

Orientador : Prof Dr. Wallison Angelim Medeiros .

1. Lajes. 2. TQS. 3. Consumo de concreto. 4. Consumo de aço. I.Título.

CDD - 624

Elaborado por Isabel dos Santos Lima CRB 3/1060

MARCOS DANIEL RIBEIRO

ANÁLISE PARAMÉTRICA DE LAJES UTILIZANDO O SOFTWARE COMERCIAL
TQS

Trabalho de Conclusão de Curso (monografia)
apresentado como exigência parcial para obtenção
do diploma do Curso de Bacharelado em
Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação,
Ciência e Tecnologia do Piauí, Campus Teresina
Zona Sul.

Aprovada em: 23 / 01 / 2024.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Wallison Angelim Medeiros
Instituto Federal do Piauí (IFPI)

Prof. Dr. Ailton Soares Freire
Instituto Federal do Piauí (IFPI)

Prof. Dr. Fernando José Guimarães Ferreira
Instituto Federal do Piauí (IFPI)

Dedico este trabalho aos meus pais e ao
meu irmão.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pelo dom da vida e todas as bênçãos alcançadas. À minha mãe Maria Divina, por todos os sacrifícios para que pudesse estar aqui nesse momento, todas as palavras belas do mundo não seriam suficientes para expressar minha gratidão por ela, ao meu pai Mateus Ribeiro por todos os ensinamentos, por todo o apoio para tornar essa jornada possível, ao meu grande irmão Mateus filho, que sempre me apoiou e nunca mediu esforços para ajudar quando foi necessário, esse três são meus pilares principais e com eles eu tenho certeza que onde e quando precisar, sei que poderei contar com eles.

Agradeço, também, aos meus tios Cícero Holanda, Socorro Holanda e Aparecida Holanda por todo apoio nessa jornada, minha vó Inácia Vieira que foi parte fundamental na minha vida. Em especial quero homenagear as memórias dos meus avôs Augusto Ribeiro e Urbano Holanda, minha avó Elizabeth Inezília e da minha tia Conceição Ribeiro que foram parte importante ao longo da minha vida e suas lembranças sempre serão guardadas.

Aos meus melhores amigos Marcos Vinicius, Lucas Nascimento que além de toda amizade, foram companheiros de moradia, tornando dias mais alegres e sem dúvida sendo uma família nessa jornada, também a minha amiga Girleiane Santos que foi fundamental para esse ciclo. Aos todos os amigos que conheci na engenharia que foram primordiais nessa caminhada, em especial, as “panelinhas” do PALMA (Pedro, Angelo, Lysia e Ana), que nasceu como um grupo de trabalho e se tornou uma família e ao CAVALO VAPOR, sem dúvidas a marca mais forte da engenharia do campus zona sul, mais que um grupo de whatsapp, do que um time de futebol, uma família, ambos foram grandes apoios nesse ciclo.

Ao meu orientador Wallison Medeiros por ter aceito embarcar nessa jornada, por todos os ensinamentos, conselho e apoio, tornando possível esse trabalho. Ao professor Fernando Guimarães que iniciou essa jornada, além da paciência para tirar dúvidas sempre que precisei. Ao professor Ailton Freire por toda atenção quando foi preciso. E aos demais professores e servidores que contribuíram nessa caminhada.

Por fim agradeço todos que contribuíram e foram importantes ao longo da minha caminhada.

“Sonho que se sonha só
É só um sonho que se sonha só
Mas sonho que se sonha junto é realidade”.

Raul Seixas

RESUMO

A utilização de lajes treliçadas unidirecionais e nervuradas com cuba plástica é cada vez mais frequente em projetos de construção civil, justificados pelo seus baixo consumos de concreto e aço, além de serem mais leves, em comparação com laje maciça. Este estudo tem como objetivo uma análise paramétrica em relação aos quantitativos de insumos necessários para três tipos de lajes – maciça, treliçada unidirecional e nervurada bidirecional – levando em consideração diferentes dimensões de vãos, com sobrecargas de uso residencial. Para este trabalho, foi feito o dimensionamento com o software TQS® com objetivo de comparar o consumo de insumos para os diferentes vãos e definir qual tipo de laje apresenta o melhor desempenho. Foram gerados pelo software os quantitativos de aço, concreto, fôrmas, além de outros materiais, como os blocos de EPS e as cubetas plásticas. Além disso, foi considerado, por meio de composições orçamentárias do SINAPI, os custos por metro quadrado para fôrmas e escoramento para os três tipos de laje. Ao analisar os resultados, de modo geral, a laje treliçada obteve um melhor desempenho, tendo um menor consumo de concreto, 46,23% mais baixo que a laje maciça e a nervurada, o consumo de aço foi mais baixo que a maciça em todos os vãos analisados e em relação a nervurada de modo geral o consumo foi bem próximo, mas analisando os vãos, a laje treliçada teve um melhor desempenho em 10 dos 15 vãos analisados, além do menor custo por metro quadrado em relação ao escoramento e fôrmas. A laje nervurada teve um desempenho de concreto igual as lajes do tipo maciça, mas teve uma grande vantagem em relação ao consumo de aço, sendo 47% menor, já em comparação com a treliçada, teve um melhor desempenho em vãos com dimensões maiores que 4 metros para o índice de aço. A laje maciça obteve o pior desempenho no consumo de materiais. Este estudo levou em consideração os parâmetros do software, sendo adequados com os parâmetros normativos.

Palavras-chave: lajes; TQS; consumo de concreto; consumo de aço; consumo de fôrma; índices.

ABSTRACT

The use of unidirectional truss slabs and ribbed slabs with plastic molds is increasingly frequent in construction projects, justified by their low consumption of concrete and steel, as well as being lighter compared to solid slabs. This study aims to conduct a parametric analysis regarding the quantities of inputs required for three types of slabs – solid, unidirectional truss, and bidirectional ribbed – taking into account different span dimensions, with residential use overloads. For this work, the design was done using TQS® software to compare the input consumption for different spans and define which type of slab presents the best performance. The software generated quantities of steel, concrete, formwork, as well as other materials, such as EPS blocks and plastic molds. Additionally, using budget compositions from SINAPI, the costs per square meter for formwork and shoring for the three types of slabs were considered. Upon analyzing the results, the truss slab generally showed better performance, with lower concrete consumption, 46.23% lower than the solid and ribbed slabs. The steel consumption was lower than the solid slab in all analyzed spans, and in relation to the ribbed slab, the consumption was generally close. However, when analyzing the spans, the truss slab performed better in 10 out of 15 analyzed spans, along with the lowest cost per square meter for shoring and formwork. The ribbed slab had similar concrete performance to the solid slabs but had a significant advantage in steel consumption, being 47% lower. In comparison to the truss slab, it performed better in spans over 4 meters for steel consumption. The solid slab had the worst performance in material consumption. This study considered the software parameters, being appropriate with normative parameters.

Keywords: slabs; TQS; concrete consumption; steel consumption; formwork consumption; indices.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Classes de agressividade ambiental (CAA).....	21
Figura 2	Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e o cobrimento nominal.....	21
Figura 3	Fluxograma da metodologia do trabalho.....	24
Figura 4	Modelos dos vãos das lajes L1 a L7.....	26
Figura 5	Modelos dos vãos das lajes L8 a L12.....	27
Figura 6	Modelos dos vãos das lajes L13 a L15.....	28
Figura 7	Início da concepção estrutural no TQS	29
Figura 8	Modelo estrutural TQS	30
Figura 9	Criação dos pavimentos no TQS	31
Figura 10	Classe de agressividade ambiental no TQS.....	31
Figura 11	Cobrimentos conforme a NBR 6118 no TQS.....	32
Figura 12	Nomeação e dimensões de pilares.....	33
Figura 13	Dimensões de vigas até 3m.....	34
Figura 14	Dimensões de vigas 4m até 5m.....	34
Figura 15	Dimensões vigas de 6m.....	34
Figura 16	Carregamentos definidos no TQS.....	35
Figura 17	Planta de forma para laje maciça no TQS.....	36
Figura 18	Crítérios para diâmetro da bitola e espaçamento das barras.....	37
Figura 19	Planta de forma para laje treliçada no TQS.....	38
Figura 20	Dados da laje treliçada no TQS.....	38
Figura 21	Dados da laje nervurada no TQS.....	39
Figura 22	Modelo de cuba plástica no TQS.....	39
Figura 23	Planta de forma para laje nervurada no TQS.....	40
Figura 24	Processamento global.....	41
Figura 25	Tela de visualização de erros/avisos.....	41
Figura 26	Composição para montagem e desmontagem de fôrmas laje	44

	maciça.....	
Figura 27	Composição para montagem e desmontagem de fôrmas laje nervurada com cubeta.....	45
Figura 28	Composição para escoramento para lajes treliçadas.....	46
Figura 29	Índice de concreto por área de projeto (m^3/m^2)	49
Figura 30	Índice de aço por área de projeto (kg/m^2)	52
Figura 31	Índice de aço por área de projeto para variação dos vãos (kg/m^2)..	53
Figura 32	Índice de aço por volume de concreto (kg/m^3)	54
Figura 33	Valor ($\text{R}\$/\text{m}^2$) de fôrmas e escoramento para cada tipo de laje.....	57

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1	Consumo de concreto para os três tipos de lajes.....	48
Gráfico 2	Consumo de aço para os três tipos de lajes.....	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Tamanhos dos vãos dimensionados.....	25
Tabela 2	Volume de concreto (m ³)	47
Tabela 3	Peso de aço (kg).....	49
Tabela 4	Área de fôrmas (m ²) laje maciça.....	54
Tabela 5	Quantidade de cubetas Atex 600 para cada vão.....	55
Tabela 6	Quantidade de blocos EPS unidirecional H08/40/120.....	56

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
EPS	Poliestireno Expandido
CAA	Classe de agressividade ambiental
SINAPI	Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
SC	Santa Catarina
f_{ck}	Resistência característica do concreto à compressão
H12	Laje treliçada com altura 12 cm

LISTA DE SÍMBOLOS

m	metro
®	Marca registrada
MPa	MegaPascal
mm	Milímetro
cm	centímetro
Cm ²	Centímetro quadrado
kN/m ²	QuiloNewton por metro quadrado
<i>I_{con}</i>	Relação do volume de concreto pela área do projeto
<i>V_{con}</i>	Volume de concreto
m ³	Metro cúbico
m ²	Metro quadrado
<i>I_{aço}</i>	Relação do peso do aço pela área de projeto
kg	Quilograma
<i>Paço</i>	Peso de aço
<i>I_{for}</i>	Relação entre área de forma pela área de projeto
<i>A_{for}</i>	Área de fôrmas
<i>I_{ac}</i>	Relação entre o peso de aço pelo volume de concreto
%	Porcentagem
R\$	Real

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	JUSTIFICATIVA.....	15
1.2	OBJETIVOS.....	15
1.1.1	Objetivo Geral.....	15
1.1.2	Objetivos Específicos.....	16
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	17
2.1	CONCRETO ARMADO.....	17
2.2	ELEMENTOS ESTRUTURAIS.....	17
2.3	TIPOS DE LAJES.....	18
2.4	DIMENSIONAMENTO.....	19
2.4.1	Método de análise do TQS (analogia a grelha)	19
2.4.2	Ações.....	20
2.5	INDICADORES DE PROJETO.....	21
2.6	ORÇAMENTO ANALÍTICO.....	22
2.7	ESTUDOS SEMELHANTES.....	22
3	METODOLOGIA	24
3.1	CARACTERÍSTICAS DOS MODELOS.....	24
3.1.1	Concepção estrutural no TQS.....	28
3.1.2	Lajes maciças.....	35
3.1.3	Lajes treliçadas.....	37
3.1.3	Lajes nervuradas.....	38
3.2	PROCESSAMENTO NO TQS E COLETA DE QUANTITATIVOS.....	40
3.3	INDICADORES E ORÇAMENTO.....	42
4	RESULTADOS E DISCURSSÕES	47
4.1	QUANTITATIVOS DE VOLUME DE CONCRETO.....	47
4.2	QUANTITATIVOS DE PESO DE AÇO.....	49
4.3	ÍNDICE AÇO POR VOLUME DE CONCRETO.....	53

4.4	QUANTITATIVOS DE FÔRMAS, CUBETAS E EPS.....	54
4.5	COMPARAÇÃO DE CUSTOS PARA FÔRMAS E ESCORAMENTO.	57
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	59
	REFERÊNCIAS.....	61
	APÊNDICE A – PLANTA DAS LAJES MODELADAS.....	66

1 INTRODUÇÃO

As lajes são elementos estruturais fundamentais, responsáveis por suportar diversos tipos de cargas, como o peso de pessoas, móveis, pisos, paredes e outros elementos. Esses componentes servem como piso, apoio e cobertura em uma construção. Segundo Bastos (2015), as lajes são definidas como elementos planos bidimensionais, que recebem a maior parte das ações aplicadas em uma estrutura.

Existem diversos tipos de lajes para compor o sistema estrutural, variando de acordo com o material, a direção da armadura, o uso ou não de vigas, entre outros fatores. "Atualmente, os tipos de laje mais utilizados são: maciças, nervuradas, lisas e pré-moldadas" (Borba, 2020). Assim, o critério de escolha do tipo adequado de laje deve ser bem direcionado, visando uma opção eficiente e econômica.

As dimensões das lajes também variam, sendo as mais comuns para construções de pequeno porte, como residências, de 2 a 6 metros. Moura (2023) ao comparar lajes maciças, nervuradas e treliçadas, destacou que "as dimensões utilizadas foram 3,0 m x 3,0 m, 3,0 m x 4,0 m, 3,0 m x 5,0 m e 3,0 m x 6,0 m... Essas dimensões são próximas das mais usadas nas obras residenciais" (Moura, 2023). Silva (2022), ao analisar 6.245 lajes orçadas, constatou que as dimensões mais comuns variavam entre 1,00 e 5,00 metros.

Na construção civil, para estruturas de concreto armado, são necessários três materiais principais: concreto, aço e formas (Mello, 2018). Como as lajes representam um dos principais elementos estruturais, é essencial levantar os valores de consumo de concreto, aço e formas durante o planejamento de uma obra.

Nesse contexto, é fundamental conhecer os indicadores de projeto. Carneiro (2018) menciona que as taxas de materiais representam o consumo de um material em relação a outro ou em relação à área construída, podendo servir como valores de referência. Esses indicadores estruturais podem auxiliar o projetista no lançamento estrutural ou em orçamentos prévios, considerando parâmetros de projeto, como consumo de aço, concreto, áreas de formas e metragem construída (Jablonski, 2013).

Assim, o presente trabalho aborda um estudo comparativo entre lajes maciças, nervuradas bidirecionais e nervuradas unidirecionais (laje treliçada), a partir do dimensionamento de 15 vãos distintos para os três tipos de lajes, totalizando 45 lajes, com o auxílio do software comercial TQS® para o dimensionamento. O objetivo é obter indicadores relacionados ao consumo de aço, volume de concreto e área de formas,

além de realizar uma análise comparativa entre os três tipos de lajes.

1.1 JUSTIFICATIVA

A escolha do tipo de laje é uma etapa fundamental na elaboração de um projeto de construção civil. Entre os tipos de lajes — maciça, nervurada unidirecional com vigota treliçada e nervurada bidirecional —, cada uma apresenta características específicas que a tornam mais ou menos adequada para diferentes situações de projeto. Guimarães et al. (2017) destacam que as lajes representam uma grande parcela do consumo de concreto em edifícios de múltiplos pavimentos, o que evidencia a importância da escolha do tipo de laje.

As lajes são elementos fundamentais para a edificação, tornando essencial o conhecimento dos parâmetros técnicos para definir o tipo de laje mais eficiente. A escolha correta do tipo de laje é crucial, uma vez que uma seleção inadequada pode comprometer o desempenho do sistema estrutural e gerar custos desnecessários (Silva, 2019).

Este trabalho visa desenvolver parâmetros confiáveis para a quantificação de aço, concreto e formas em projetos estruturais de lajes, variando conforme o tipo e a área da laje. Esses parâmetros servirão como referência e orientação, contribuindo para o estabelecimento de índices que possam facilitar o pré-dimensionamento estrutural. Com isso, busca-se quantificar e qualificar os indicadores de projeto para lajes dos tipos maciça, treliçada e nervurada, apresentando um parâmetro comparativo entre os tipos de lajes.

Para o desenvolvimento deste trabalho, foram realizadas modelagem, dimensionamento e análise de quinze tamanhos de lajes para os três tipos de métodos — maciça, nervurada e treliçada. As dimensões variando de 2m até 6m, totalizando 45 lajes. Essas dimensões foram selecionadas por estarem próximas das mais comuns em obras residenciais e comerciais de pequeno porte.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral do trabalho é obter indicadores quantitativos de consumo de aço, volume de concreto e áreas de fôrmas, através do dimensionamento estrutural de três tipos de lajes, considerando vãos comuns em construções residenciais. Para isso, será realizada uma análise estrutural visando a obtenção desses parâmetros.

1.2.2 Objetivos Específicos

a) Determinar índices que relacionem:

- Volume de concreto por área construída;
- Peso de aço por área construída;
- Área de fôrma por área construída;
- Peso de aço por volume de concreto.

b) Apresentar um breve comparativo entre os três tipos de lajes, demonstrando a viabilidade de cada um em relação aos vãos estudados.

c) Analisar os resultados dos dimensionamentos para avaliar a viabilidade de utilização de cada tipo de laje conforme os requisitos de projeto.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 CONCRETO ARMADO

O concreto é uma das mais significativas descobertas da humanidade, comparável ao aço e ao domínio do fogo. Segundo Kaefer (1998), a história do concreto armado não começou no último século, mas remonta à própria civilização humana. Bastos (2006) ressalta que o concreto armado surgiu para combinar a durabilidade da pedra com a resistência do aço. “A primeira teoria realista sobre o dimensionamento de peças de concreto armado foi publicada em 1902 por E. Mörsch, eminente engenheiro alemão e professor da Universidade de Stuttgart (Alemanha)” (Bastos, 2006).

Porto (2015) define concreto como um material utilizado na construção civil composto por agregados graúdos (pedras britadas, seixos rolados), agregados miúdos (areia natural ou artificial), aglomerantes (cimento), água, adições minerais e aditivos. A ABNT NBR 6118: 2023 define que elementos de concreto armado dependem da aderência entre concreto e armadura e não aplicam alongamentos iniciais nas armaduras antes da adesão. As armaduras podem ser passivas ou ativas. A armadura passiva, segundo a ABNT NBR 6118: 2023, é qualquer armadura que não seja usada para produzir forças de protensão. Já a armadura ativa ou de protensão consiste em barras, fios ou cordoalhas, nas quais é aplicado um pré-alongamento inicial.

2.2 ELEMENTOS ESTRUTURAIS

Dentre os elementos estruturais destacam-se as lajes, pilares e vigas. Segundo Bastos (2023), lajes são elementos de superfície, planos e bidimensionais, onde o comprimento e a largura são da mesma ordem de grandeza e muito maiores que a espessura. A ABNT NBR 6118: 2023 define vigas como elementos lineares onde a flexão é preponderante. Pilares, por sua vez, são elementos lineares de eixo reto, geralmente na vertical, onde predominam forças de compressão.

O projeto estrutural é essencial para garantir a segurança da edificação. Como aponta Giongo (2005), o projeto estrutural deve atender a todas as exigências quanto

à transferência de ações e segurança indicadas para edificações específicas. Além da segurança, a eficiência e a eficácia são fundamentais no projeto estrutural, seguindo as normas técnicas vigentes. A ABNT NBR 6118: 2023 descreve o modelo estrutural como a composição de elementos estruturais básicos, classificados e definidos pela forma geométrica e função estrutural, formando sistemas que representam claramente o caminho das ações até os apoios da estrutura.

2.3 TIPOS DE LAJES

Há diversos tipos de lajes usuais para sistemas estruturais, que variam conforme os materiais, direção da armadura e presença ou ausência de vigas. Sua principal função é receber e suportar carregamentos vindos de pavimentos superiores e do uso da edificação, transferindo essas cargas para os apoios (Pinheiro et al., 2007). Segundo Borba (2020), os tipos mais utilizados atualmente são: maciças, nervuradas, lisas e pré-moldadas”.

De acordo com Bastos (2023), laje maciça é aquela cuja espessura é inteiramente composta por concreto, contendo armaduras longitudinais de flexão e, eventualmente, armaduras transversais, apoiada em vigas ou paredes nas bordas. De Abreu (2011) aponta que as lajes maciças têm espessura constante e armaduras em duas direções ortogonais. Usadas em edifícios de múltiplos pavimentos, muros de arrimo, escadas e grandes construções, como hospitais e pontes, as lajes maciças distribuem suas reações nas vigas de contorno (Leite, 2017). No entanto, como observa Lopes (2015), para grandes vãos, podem ser menos econômicas devido à espessura necessária para atender os estados-limites.

A ABNT NBR 6118: 2023 define lajes nervuradas como “lajes moldadas no local ou com nervuras pré-moldadas, com zona de tração para momentos positivos localizada nas nervuras, entre as quais pode haver material inerte”. Esse tipo é indicado para grandes vãos ou altas cargas verticais (Bastos, 2023). As lajes nervuradas apresentam algumas vantagens sobre outros tipos de sistemas, Mello (2018) destaca menor consumo de aço, menor índice de formas, maior distribuição de cargas, maior rigidez da laje, menores deformações e obras mais limpas. Já Silva (2005) fala sobre algumas desvantagens no sistema de nervuras, tais como a necessidade de uma altura maior devido ao fato desse sistema apresentar uma

espessura maior.

As lajes nervuradas unidirecionais, também conhecidas como lajes treliçadas, podem ser pré-moldadas, surgindo na Europa como opção mais econômica em relação às lajes maciças (Bastos, 2023). Essas lajes possibilitam vencer grandes vãos com menor peso próprio. Vieira e Oliveira (2018) observam que lajes treliçadas com EPS apresentam inércia e peso próprio menores em comparação às lajes maciças.

As lajes nervuradas bidirecionais suportam flexão em duas direções, sendo armadas em ambas. Bastos (2023) indica esse tipo de laje para grandes vãos e cargas verticais, reduzindo a quantidade de pilares e vigas. Além disso, o enchimento pode ser feito com blocos cerâmicos, concreto celular ou EPS, e as nervuras podem ser deixadas expostas.

2.4 DIMENSIONAMENTO

Por muitos anos, o dimensionamento de lajes foi feito por cálculos manuais, sendo um processo demorado (Ferreira *et al.*, 2024). Entre os métodos, destacam-se os de Marcus, Bares e Placas. A ABNT NBR 6118: 2023 exige uma análise estrutural que inclua determinação das ações, verificação dos estados-limites e avaliação das distribuições internas de esforços, tensões e deslocamentos. Atualmente, o avanço tecnológico possibilitou o uso de softwares como TQS, Eberick e CypeCAD para cálculos estruturais (Ferreira *et al.*, 2024), aumentando a precisão e eficiência das verificações.

O TQS® é um software nacional desenvolvido pela TQS Informática, amplamente usado para projetos estruturais em concreto armado e protendido. Segundo Nascimento (2023), ele permite a verificação da conformidade com as normas nacionais, incluindo a ABNT NBR 6118 (2023), e conta com uma versão estudantil, acessível para graduandos.

2.4.1 Método de análise do TQS (analogia a grelha)

Em relação a lajes de concreto, uma grelha representa uma armadura de aço dentro do concreto para aumentar a sua resistência e capacidade de carga (Nunes, 2023). Assim, o TQS baseia-se no método da analogia de grelha, sendo uma

alternativa aos elementos finitos. Machado e Moura (2022) destacam que esse método consiste na subdivisão da laje em grelhas planas constituídas por barras igualmente distanciadas, formando uma estrutura reticulada. Na análise linear, a estrutura apresenta um comportamento linear à medida em que o carregamento é aplicado (TQS DOCS, 2024).

A análise da não linearidade mostra, por sua vez, o comportamento da estrutura em relação aos deslocamentos, esforços e tensões (Nunes, 2023) onde a resposta da estrutura é desproporcional à medida que o carregamento é aplicado. Esse modelo, considera a fissuração do concreto, a presença de armaduras e a fluência, sendo essencial na verificação quanto a deformação e aberturas de fissuras no concreto armado (TQS DOCS, 2024).

2.4.2 Ações

As ações a serem consideradas no dimensionamento das estruturas de concreto, são divididas em permanentes e acidentais (Porto, 2015). Para determinação dessas ações, deve-se considerar os parâmetros das normas ABNT NBR 6118: 2023 e a ABNT NBR 6120: 2019 (Nunes, 2023). A ABNT NBR 6118: 2023 define que as ações permanentes são as que ocorrem com valores constantes durante toda a vida da construção, sendo constituídas pelo peso próprio da estrutura, elementos construtivos fixos, empuxo entre outras. As ações variáveis diretas são constituídas pelas cargas previstas para a utilização da edificação e pela ação do vento e da água (ABNT, 2023).

A ABNT NBR 6118: 2023 apresenta a classe de agressividade ambiental, na qual a estrutura está submetida. Pacheco et al. (2024) destaca que essa norma indicou zonas rurais com baixa agressividade (CAA I), zonas urbanas com baixo risco com agressividade moderada (CAA II), edificações localizadas em ambientes marinhos ou industriais com risco forte (CAA III), e ainda a classe muito forte (CAA IV) para ambientes quimicamente agressivos ou respingos de maré sendo de risco elevado. A definição da classe ambiental é necessária para a definição da classe do concreto, relação água/cimento e dos cobrimentos como mostrado na figura 1 e na figura 2.

Figura 1 – Classes de agressividade ambiental (CAA).

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

^a Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) para ambientes internos (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, elementos em contato com solo contaminado ou água subterrânea contaminada.

Fonte: ABNT NBR 6118. (2023).

Figura 2 – Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e o cobrimento nominal.

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 ^b /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.

Fonte: ABNT NBR 6118. (2023).

2.5 INDICADORES DE PROJETO

Indicadores de consumo de materiais e mão de obra são fundamentais para planejamento e orçamento de obras (Mello, 2018). Dessa forma, os indicadores

poderão demonstrar a viabilidade da construção, ajudando na previsão do consumo. Carneiro (2018) aponta que taxas de materiais expressam o consumo relativo de aço, concreto e fôrmas, funcionando como referência para projetos preliminares e orçamentos. Esses indicadores estruturais, como observa Jablonski (2013), são cruciais para projetistas na definição do consumo e do dimensionamento estrutural.

Carneiro (2018) define índice como valor médio de consumo de um determinado material usado na elaboração da estrutura, em função da área da edificação ou em função de outro material de fácil obtenção. Desse modo, nos projetos estruturais destacam os índices de volume de concreto/área construída, peso do aço/área construída, fôrma/área construída e de aço/volume de concreto, onde Souza (2003) destaca que a modulação estrutural, carga resultante de vedação, tipo de estrutura influenciam nos quantitativos desses materiais.

2.6 ORÇAMENTO ANALÍTICO

O orçamento é uma das principais etapas na construção civil, dessa forma, Gonzáles (2008) define orçamento como estimativa de custo ou preço para uma determinada obra, sendo o custo a soma de todos os gastos necessários para execução e com o acréscimo do lucro é definido o preço (Borba, 2020), além dos impostos. Entre os diversos tipos de formas para estimativa de custos ou preços, o orçamento analítico tem destaque. Para Silva (2020) o orçamento analítico é composto por custos diretos, sendo esses mão-de-obra, material, equipamento etc., somado aos custos indiretos, que são lucro, impostos, risco etc.

O SINAPI (Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção) que é de responsabilidade da Caixa econômica Federal e do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) é uma das principais fontes para custos unitários e índices para a construção civil, sendo uma grande ferramenta para elaboração do orçamento analítico, auxiliando na elaboração, análise e avaliação de orçamentos (Silva, 2020).

2.7 ESTUDOS SEMELHANTES

Carneiro (2018) realizou o levantamento dos consumos de aço, concreto e fôrmas de projetos estruturais no município de Balneário Camboriú - SC. Onde foram

analisados 34 projetos de acordo com 4 parâmetros, sendo o índice de esbeltez, número de pavimentos, fck e o tipo de lajes. Em relação aos resultados obtidos, Carneiro (2018) notou que, aumentando o fck até 35 MPa, diminui o consumo de materiais, ao aumentar a altura e esbeltez resultou em aumento do consumo de materiais, em relação aos tipos de lajes não houve diferença estatística em relação ao consumo.

Silva (2019) realizou análise comparativa entre lajes pré-moldadas com vigota protendida e vigota treliçada, em termos estruturais, construtivos e de custos, as vantagens e desvantagens dos dois tipos. O trabalho foi feito de forma experimental, através do ensaio de 6 protótipos de lajes de 2,1 m de comprimento, sendo 3 de cada tipo. Silva (2019) ao final considerou o uso de vigotas protendidas vantajosas em relação as treliçadas em termos estruturais, construtivos e de custo para os casos estudados.

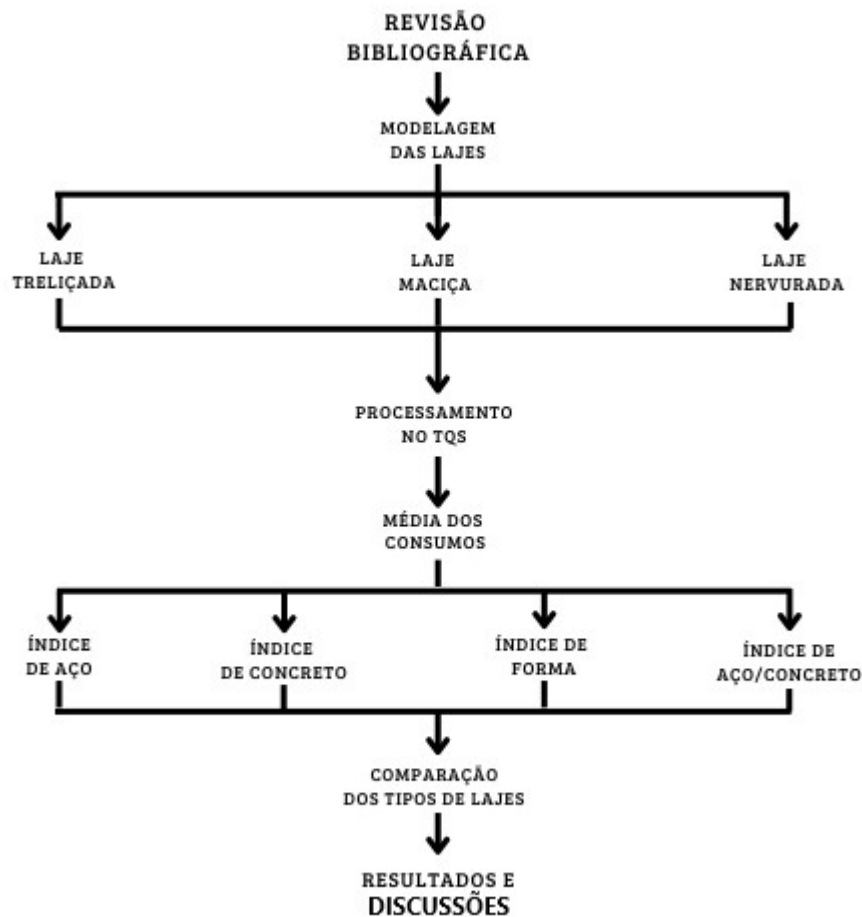
Silva (2022) realizou comparação entre os insumos necessários para implementar modelos estruturais diferentes em um edifício de meio porte. Foram considerados modelos estruturais de laje maciça, laje nervurada com cuba plástica e laje treliçada com os elementos em concreto armado. A análise se deu pelo dimensionamento com o software Cypecad, onde o software forneceu os quantitativos de fôrmas, aço e concreto. Silva (2022) conclui que a laje treliçada é a mais econômica, tendo em vista que obteve menor consumo de aço e concreto em comparação com os demais modelos, a laje nervurada obteve o menor consumo de fôrmas.

Moura (2023) desenvolveu um estudo comparativo entre os tipos de lajes maciça, nervurada e treliçada, no qual foram analisados o peso, a quantidade de aço e a quantidade de concreto em função do tipo de laje e das dimensões mais aproximadas das utilizadas em obras residenciais. Foi feita uma análise estrutural analítica, e ao final feita a comparação dos resultados. Moura (2023) concluiu que a laje treliçada obteve maior vantagem em relação as demais.

3 METODOLOGIA

O trabalho se desenvolveu em caráter qualitativo e quantitativo, por meio dos padrões de dimensionamento do software TQS®, seguindo os critérios normativos, onde foi feita a modelagem das lajes e dimensionamento com o uso do software, levantando os dados de consumo de aço, consumo de concreto de fôrmas e outros materiais, como blocos de EPS e as cubas plásticas. Sendo feita a coleta dos dados com auxílio da ferramenta Microsoft Excel, visando o levantamento dos índices. A figura 3 ilustra o processo metodológico das etapas do presente trabalho.

Figura 3 – Fluxograma da metodologia do trabalho.



Fonte: Autor. (2024).

3.1 CARACTERÍSTICAS DOS MODELOS

As características dos modelos de lajes foram feitas de acordo com os vãos mais usuais em projetos residenciais. Levando em consideração todos os requisitos mínimos da ABNT NBR 6118: 2023 na modelagem dos elementos estruturais.

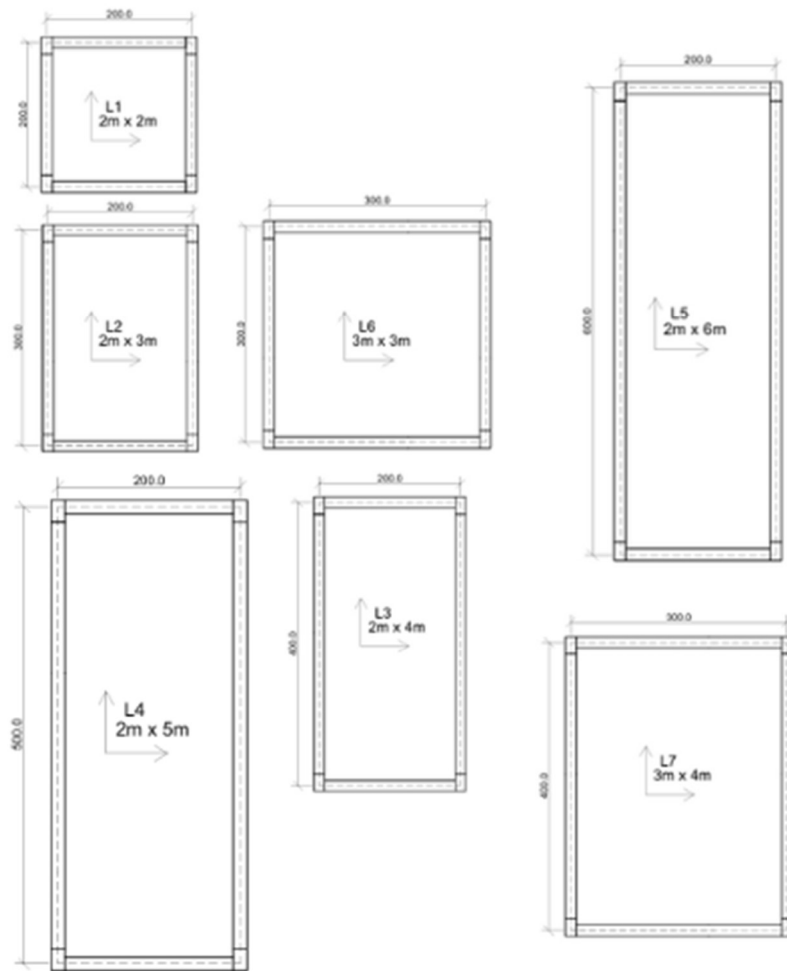
Para o presente trabalho foram modeladas o total de 45 lajes, sendo 15 para cada um dos três modelos - maciça, treliçada e nervurada bidirecional. A tabela abaixo detalha os vãos modelados de acordo com o tipo de laje e as figuras 4, 5 e 6 mostram os modelos de cada vão.

Tabela 1 – Tamanhos dos vãos dimensionados.

Laje	Vãos				
Maciça	2m x 2m	2m x 3m	2m x 4m	2m x 5m	2m x 6m
	3m x 3m	3m x 4m	3m x 5m	3m x 6m	4m x 4m
	4m x 5m	4m x 6m	5m x 5m	5m x 6m	6m x 6m
Trelaçada	2m x 2m	2m x 3m	2m x 4m	2m x 5m	2m x 6m
	3m x 3m	3m x 4m	3m x 5m	3m x 6m	4m x 4m
	4m x 5m	4m x 6m	5m x 5m	5m x 6m	6m x 6m
Nervurada	2m x 2m	2m x 3m	2m x 4m	2m x 5m	2m x 6m
	3m x 3m	3m x 4m	3m x 5m	3m x 6m	4m x 4m
	4m x 5m	4m x 6m	5m x 5m	5m x 6m	6m x 6m

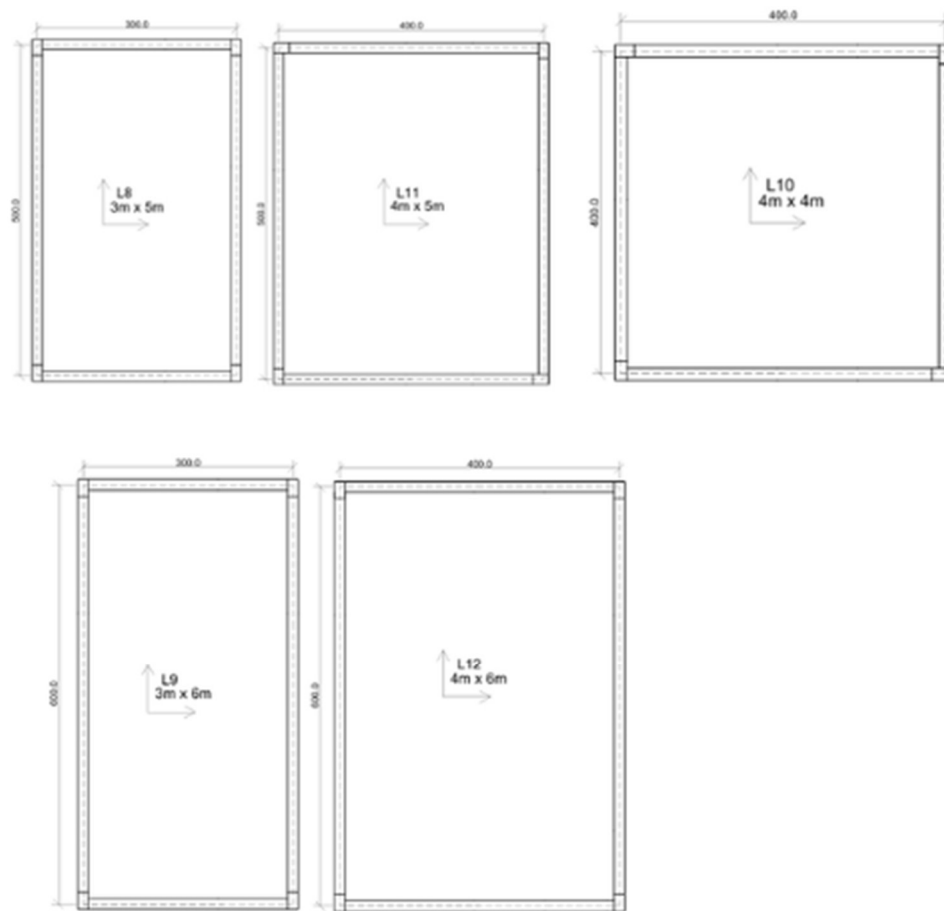
Fonte: Autor (2024).

Figura 4 – Modelos dos vãos das lajes L1 a L7.



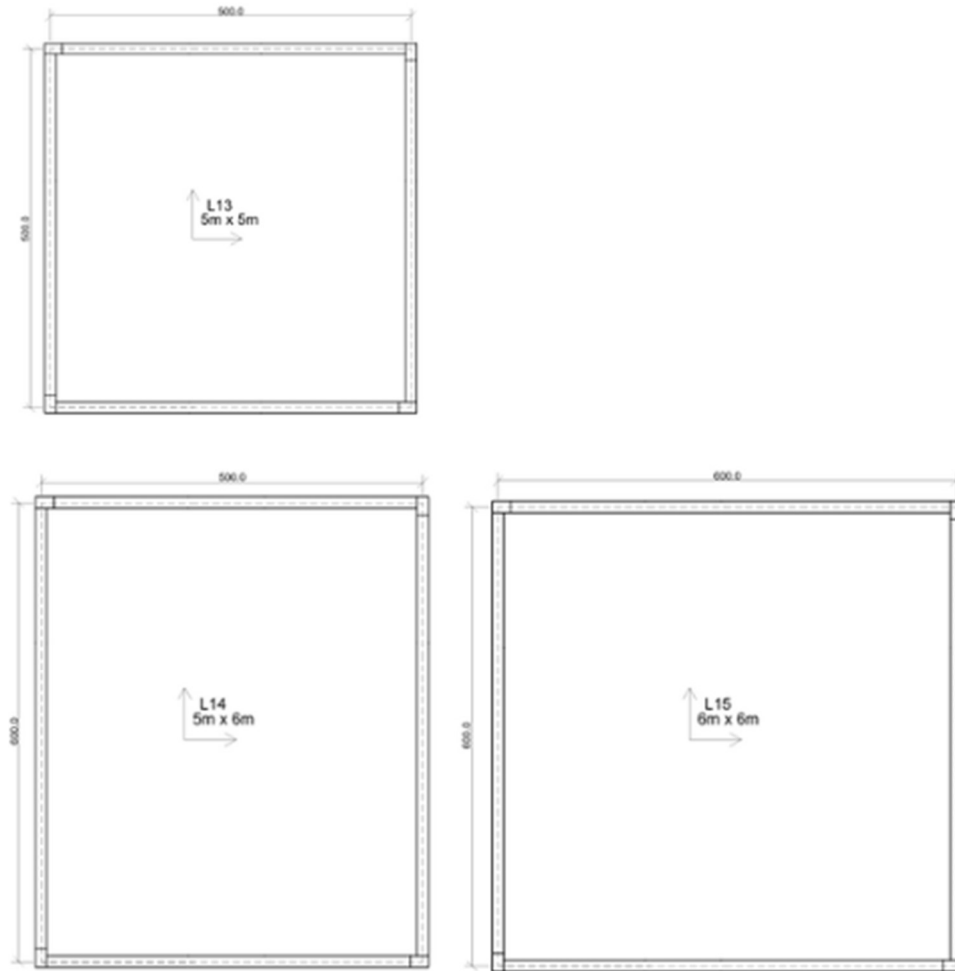
Fonte: Autor. (2024).

Figura 5 – Modelos dos vãos das lajes L8 a L12.



Fonte: Autor. (2024).

Figura 6 – Modelos dos vãos das lajes L13 a L15.



Fonte: Autor. (2024).

3.1.1 Concepção estrutural no TQS

A concepção estrutural foi feita inicialmente, definindo a ABNT NBR 6118: 2023 como norma de uso no projeto, além de ser definido o tipo de estrutura como concreto armado/protendido, como demonstra a figura 7.

Figura 7 – Início da concepção estrutural no TQS.

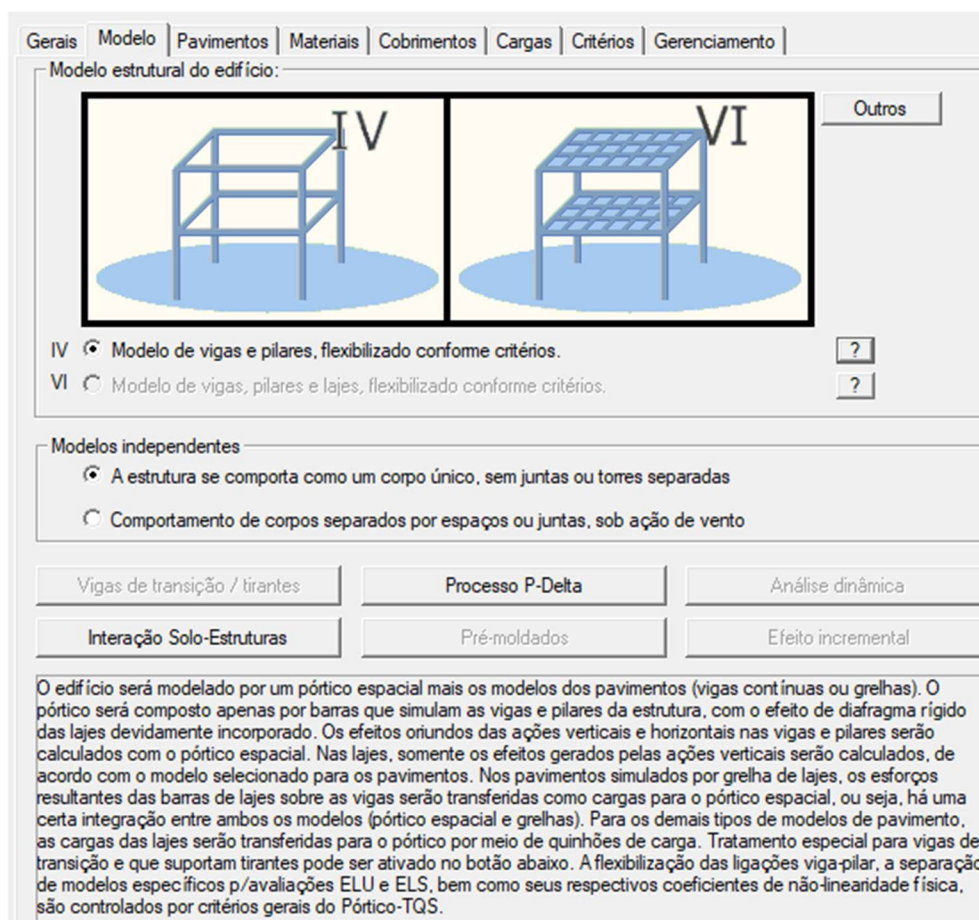
The image shows a software interface for structural design, specifically the 'Identificação' (Identification) tab. The interface is organized into several sections:

- Identificação:** Contains input fields for 'Título do edifício' (LAJES TCC), 'Título do cliente' (MARCOS RIBEIRO), 'Endereço da obra' (RUA NOVA 001), 'Número do projeto' (1), 'Prefixo de plantas' (empty), 'Classe de utilização' (TQS01 - - - Indefinido), and 'Indefinido'.
- Descrição do projeto:** A large empty text area for project description.
- Tipo de estrutura:** A section with radio buttons for 'Concreto Armado/Protendido' (selected), 'Concreto Pré-moldado', 'Alvenaria Estrutural', and 'Paredes de concreto'. There is also a checkbox for 'Projeto de formas de madeira'.
- Norma em uso:** A dropdown menu showing 'NBR-6118:2023' and a checked checkbox for 'Forçar critérios de norma'.
- Avançado...:** A button to access advanced settings.

Fonte: TQS adaptada pelo autor. (2024).

Após foi definido o modelo estrutural do edifício, sendo o modelo IV o utilizado para esse presente trabalho, no qual consiste na modelagem estrutural de um pórtico espacial (vigas e pilares) ligado a modelos dos pavimentos como grelha (lajes e vigas) (Garcia, 2024). Como apresentado na figura 8.

Figura 8 – Modelo estrutural TQS.



Fonte: TQS adaptada pelo autor. (2024).

Os pavimentos para o modelo de edifício foram criados de modo a atender a necessidade do presente estudo. E assim, não foram modeladas fundações, pois não é o foco de análise desse projeto, utilizando fato de o software permitir a vinculação dos pilares diretamente na fundação, sendo criados os pavimentos fundação, térreo e o primeiro, onde esse último é o pavimento das lajes estudadas. A figura 9 apresenta os pavimentos criados.

Figura 9 – Criação dos pavimentos no TQS.

Fonte: TQS adaptada pelo autor. (2024).

A ABNT NBR 6118: 2023 define em função do local da obra a classe de agressividade ambiental (CAA). Tendo em vista o foco do trabalho em edificações residenciais localizada local urbano, a classe adotada nesse estudo é CAA-II, sendo definido na concepção estrutural, como apresenta a figura 10.

Figura 10 – Classe de agressividade ambiental no TQS.

Classe de agressividade	Tipo de ambiente	Riscos de deterioração	Concreto armado	Concreto protendido
☐ I - Fraca	Rural ou submerso	Insignificante	$\geq C20$	$\geq C25$
☒ II - Moderada	Urbano	Pequeno	$\geq C25$	$\geq C30$
☐ III - Forte	Marinho	Grande	$\geq C30$	$\geq C35$
☐ IV - Muito forte	Industrial ou sob ação de respingos de água salgada	Elevado	$\geq C40$	$\geq C40$

Fonte: TQS adaptada pelo autor. (2024).

Em função da classe CAA-II, a ABNT NBR 6118: 2023 estabelece que a classe mínima do concreto seja maior que C25, com resistência característica à compressão (f_{ck}) de 25 Mpa.

A classe de agressividade ambiental também determina o cobrimento mínimo para o aço. De acordo com a tabela 7.2 da ABNT NBR 6118: 2023, o cobrimento mínimo para a classe CAA-II é de 25 mm (2,5 cm) para lajes em concreto armado, como mostra a figura 11.

Figura 11 – Cobrimentos conforme a NBR 6118 no TQS.

Escolha de cobrimentos conforme a NBR6118

Cobrimentos	
Lajes	2.5 cm
Vigas	3 cm
Pilares	3 cm
Peças protendidas	3 cm

Cobrimentos de pré-moldados	
Vigas	2.5 cm
Pilares	2.5 cm

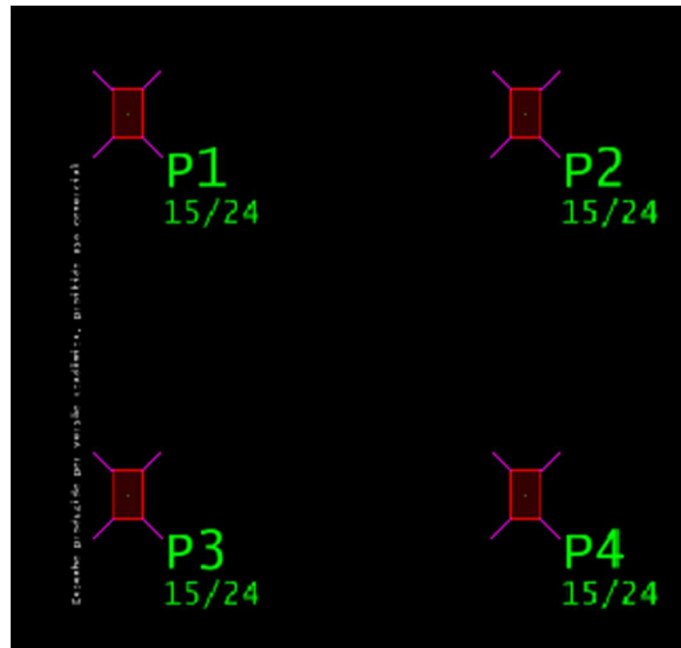
Cobrimento de elementos em contato com o solo	
Vigas e lajes	3 cm
Pilares	4.5 cm

Os cobrimentos acima são os definidos pela norma, em função da classe de agressividade e outros fatores atenuantes

Fonte: TQS adaptada pelo autor. (2024).

Para o dimensionamento no TQS, foi necessário estabelecer os parâmetros para os demais elementos estruturais. Para os pilares, atendendo o critério de área mínima de 360 cm² para seção da ABNT NBR 6118: 2023, adotada dimensões de 15cm x 24cm, como apresentado na figura 12.

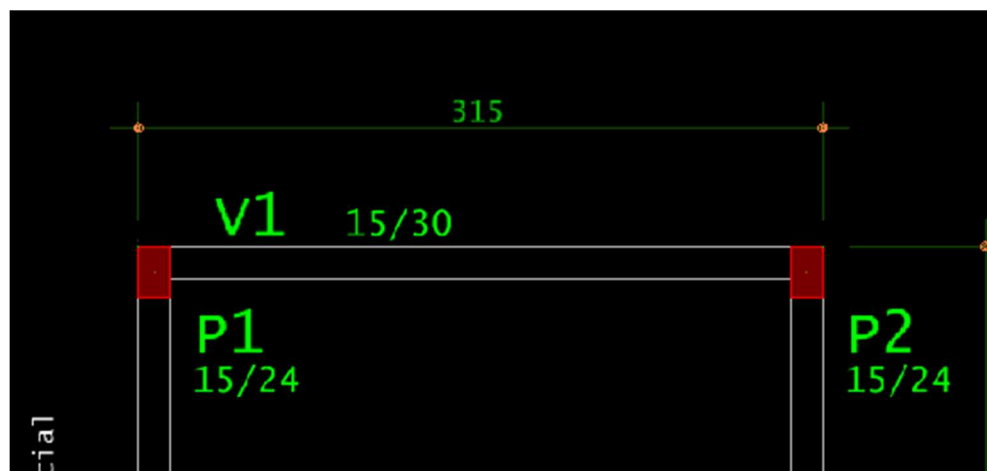
Figura 12 – Nomeação e dimensões de pilares.



Fonte: Autor. (2024).

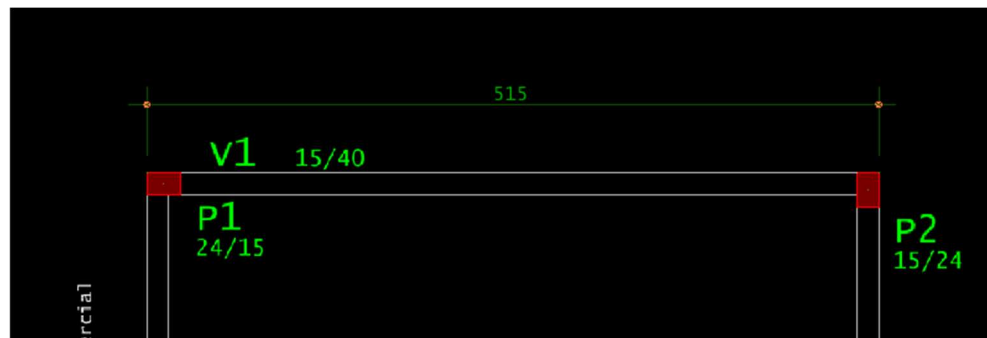
Para as vigas, foi adotado o pré-dimensionamento, usando o critério da divisão do vão efetivo por 10 apontado por Bastos (2024), definindo a altura h da viga, para a base da viga, ABNT NBR 6118: 2023 estabelece 12 cm com a dimensão mínima, sendo adotado 15 cm para adequação com os pilares, logo, as dimensões de base e altura, respectivamente, para as vigas de 2m até 3m, 15cm x 30cm, de 4m até 5m, 15cm x 40cm, e as vigas de 6m, 15cm x 50, como mostrados nas figuras 13, 14 e 15. Todos os critérios de cobrimento e classe do concreto foram adotados de acordo com a ABNT NBR 6118: 2023.

Figura 13 – Dimensões de vigas até 3m.



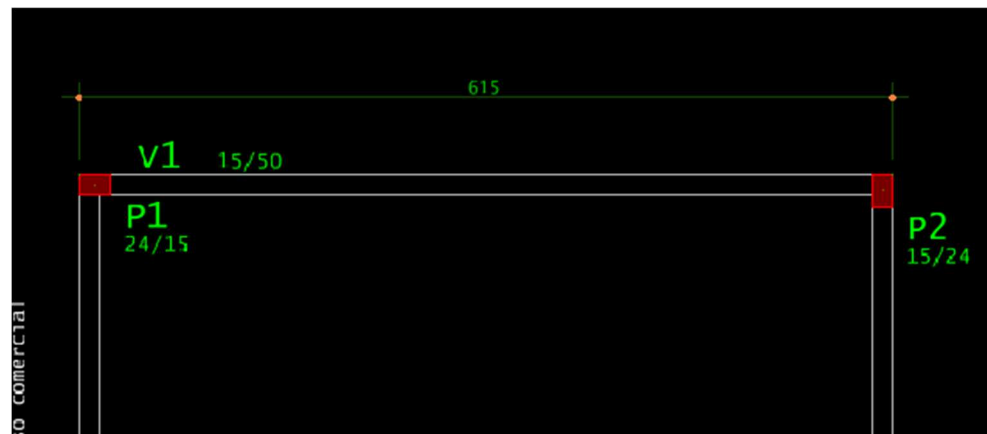
Fonte: Autor. (2024).

Figura 14 – Dimensões de vigas 4m até 5m.



Fonte: Autor. (2024).

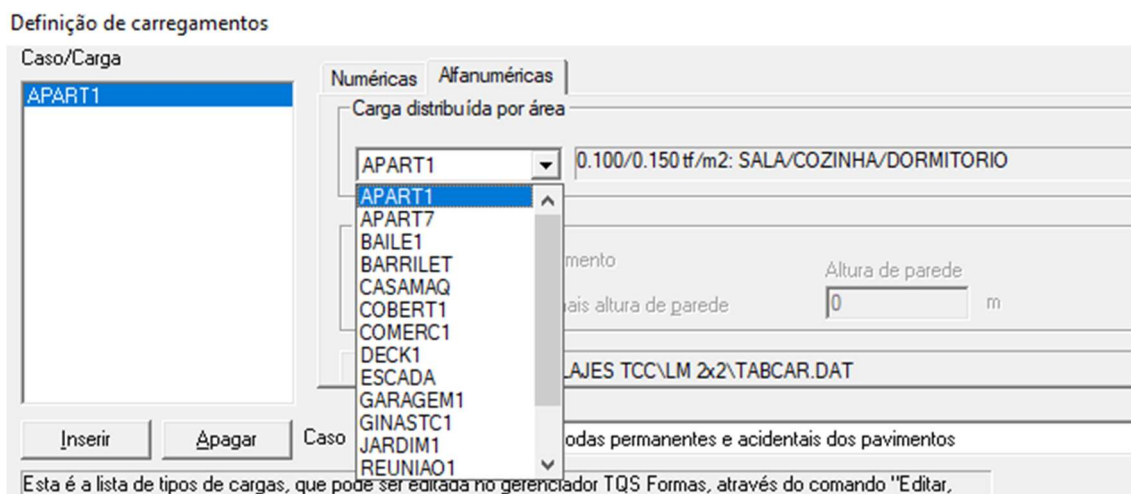
Figura 15 – Dimensões vigas de 6m.



Fonte: Autor. (2024).

Os critérios de cargas foram adotados de acordo com a ABNT NBR 6120: 2019 considerando cargas para edifícios de uso residenciais. Para carregamento permanente, foi adotado o valor de $1,0 \text{ kN/m}^2$, o carregamento variável no valor de $1,5 \text{ kN/m}^2$ (Dormitórios, sala, cozinha, sanitários). O Software TQS® apresenta a opção com os valores das cargas pré-definidos, seguindo os critérios normativos, como mostrado na figura 16, sendo adotado no presente projeto as de APART1, compatíveis com valores definidos de acordo com ABNT NBR 6120:2019.

Figura 16 – Carregamentos definidos no TQS.

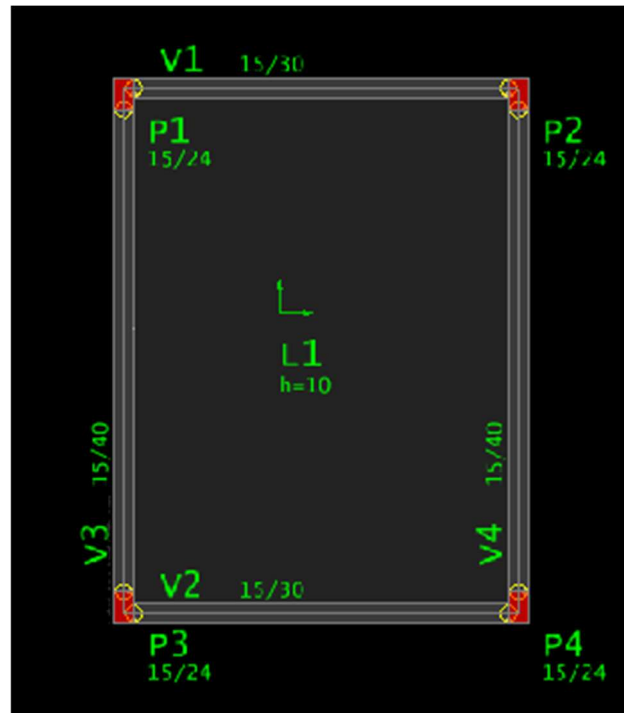


Fonte: TQS adaptada pelo autor. (2024).

3.1.2 Lajes maciças

Para a modelagem das lajes maciças, tem-se o item 13.2.4.1 da ABNT NBR 6118 (2023), no qual define espessura mínima de 8 cm para lajes de piso não em balanço e 10 cm para lajes em balanço. Para todas as lajes do presente trabalho, além dos critérios da referida norma, foi levado em consideração a ABNT NBR 15575: 2021, a fim de atender os critérios normativos, contemplando tanto as lajes não em balanço quanto as em balanço e mantendo uma padronização, para o dimensionamento das lajes, foi adotada a espessura de 10 cm, como apresentado na figura 17.

Figura 17 – Planta de forma para laje maciça no TQS.



Fonte: Autor. (2024).

Foram também definidos na modelagem pelo software TQS®, os critérios para diâmetro da bitola e o espaçamento entre as barras de armadura, levando em consideração o sistema de dimensionamento do referido software, como mostrado na figura 18.

Figura 18 – Critérios para diâmetro da bitola e espaçamento das barras.

Bitola (mm)	Espaç. (cm)	Área (cm ²)
5	20	0.98
5	15	1.30
6.3	20	1.55
5	12.5	1.57
5	10	1.96
6.3	15	2.07
6.3	12.5	2.49
8	20	2.51
6.3	10	3.11
8	15	3.35
10	20	3.92
8	12.5	4.02
8	10	5.02
10	15	5.23
10	12.5	6.28
10	10	7.85

Adicionar Remover

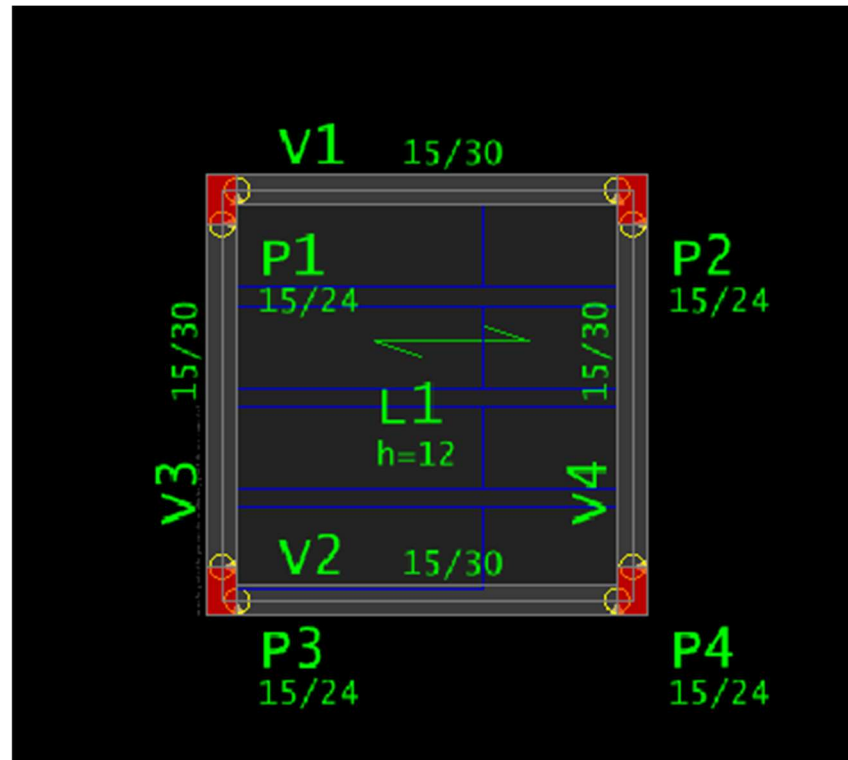
Fonte: TQS adaptada pelo autor. (2024).

Dessa forma, a menor bitola utilizada nas lajes maciças foi com o diâmetro de 5 mm, variando até a de 10 mm. Em relação ao espaçamento das barras, 20 cm foi definido com espaçamento máximo e 10 cm sendo o mínimo.

3.1.3 Lajes treliçadas

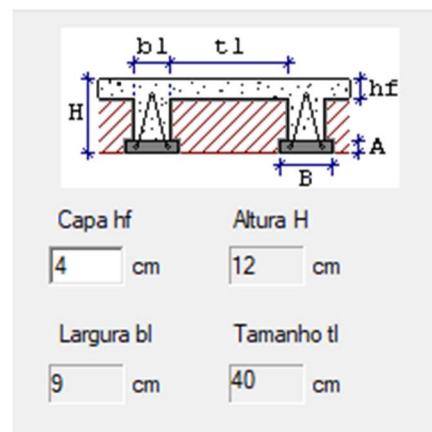
O modelo estrutural das lajes treliçadas foi adotada uma laje H12, no qual possui altura total de 12 cm, sendo 4 cm da capa de concreto e 8 cm do enchimento de EPS. Destaca-se, ainda, que as vigotas têm largura de 9 cm e uma distância entre eixos de 40 cm. A figura 19 e a figura 20 apresentam os dados das lajes treliçadas modeladas no TQS.

Figura 19 – Planta de forma para laje treliçada no TQS.



Fonte: Autor. (2024).

Figura 20 – Dados da laje treliçada no TQS.



Fonte: TQS adaptada pelo autor. (2024).

3.1.4 Lajes nervuradas

Já para as lajes nervuradas, o modelo estrutural adotado foi laje nervurada com cuba plástica, sendo adotada o modelo da Atex, que é uma fabricante especializada em fôrmas para esse tipo de laje que possui sedes em todas as regiões do Brasil (Bussolo, 2015), sendo a Atex 600 bidirecional, com altura total de 20 cm, com capa

de concreto de concreto de 5cm e 15cm correspondente à cubeta plástica, como mostrado na figura 21 e na figura 22. Destacando ainda que esse modelo as nervuras possuem espaçamento superior de 9,8cm e inferior de 6cm, e tamanho médio de 52,1cm. A figura 23 mostra a planta de forma desse modelo.

Figura 21 – Dados da laje nervurada no TQS.

Laje nervurada de seção trapezoidal

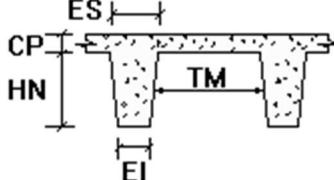
Capa	Altura da nervura	Enchimento
cm	cm	tf/m3
5	15	0

Fomas:

	Horizontal	Vertical	
Tamanho médio	52.1	52.1	cm
Espaçamento superior	9.8	9.8	cm
Espaçamento inferior	6	6	cm
Inércia	10290	10290	cm4
Volume de forma	41000		cm3

Fonte: TQS adaptada pelo autor. (2024).

Figura 22 – Modelo de cuba plástica no TQS.

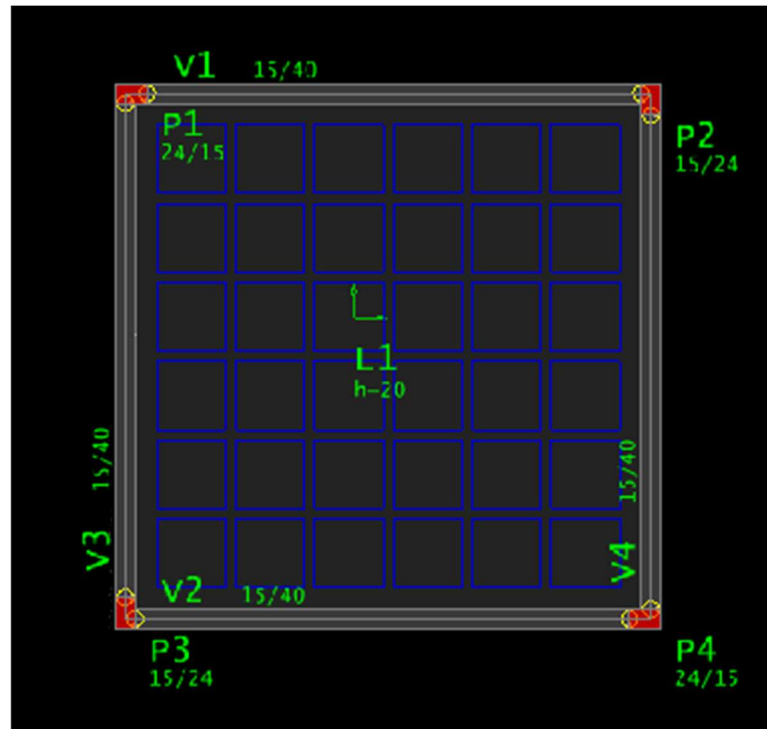


ES=Superior
EI=Inferior
CP=Capa
HN=Altura
TM=Médio
HR=Horizontal
VR=Vertical

Fabricante	Bloco
Fomplast	Atex 600 Capa 5 H 15
Atex	Atex 600 Capa 5 H 18
XCol - Plastica	Atex 610 Capa 5 H 16
Cubetas Ulma	Atex 610 Capa 7.5 H 16
Astra	Atex 610 Capa 10 H 16
Brasil Fômas	Atex 610 Capa 5 H 18

Fonte: TQS adaptada pelo autor. (2024).

Figura 23 – Planta de forma para laje nervurada no TQS.

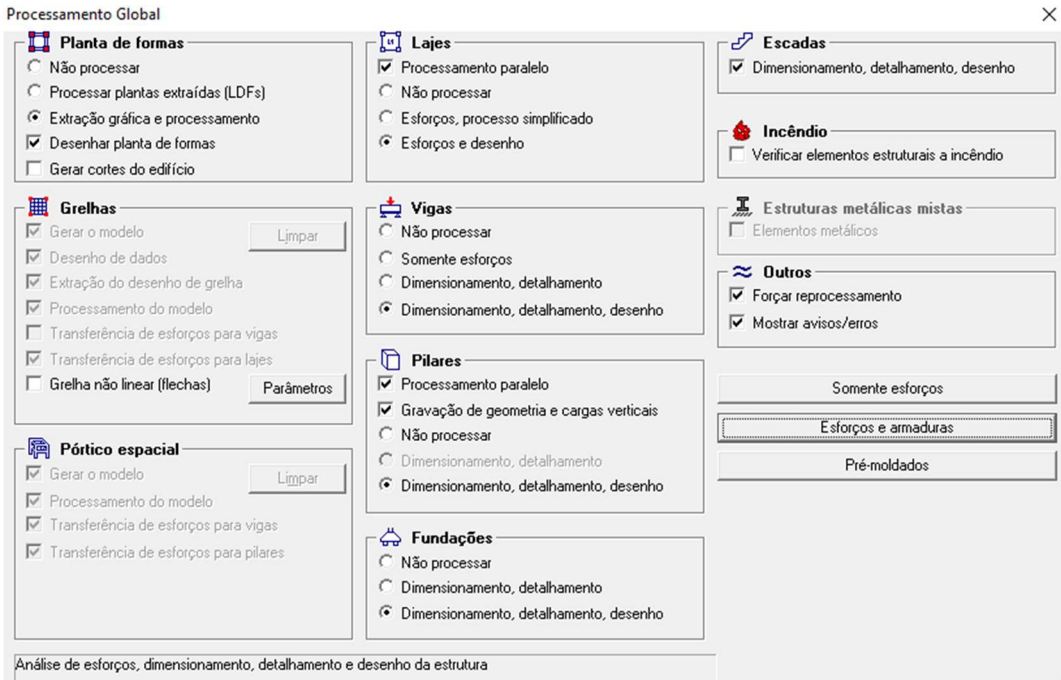


Fonte: Autor. (2024).

3.2 PROCESSAMENTO NO TQS E COLETA DE QUANTITATIVOS

Após a modelagem dos 45 modelos de lajes, foi realizado o processamento global para cada um dos edifícios criados, destacando que para cada uma das lajes foi criado um projeto de edifício, como descrito no tópico anterior. No processamento global da estrutura é feita a análise dos esforços, dimensionamento, detalhamento e desenho da estrutura, como mostra a figura 24.

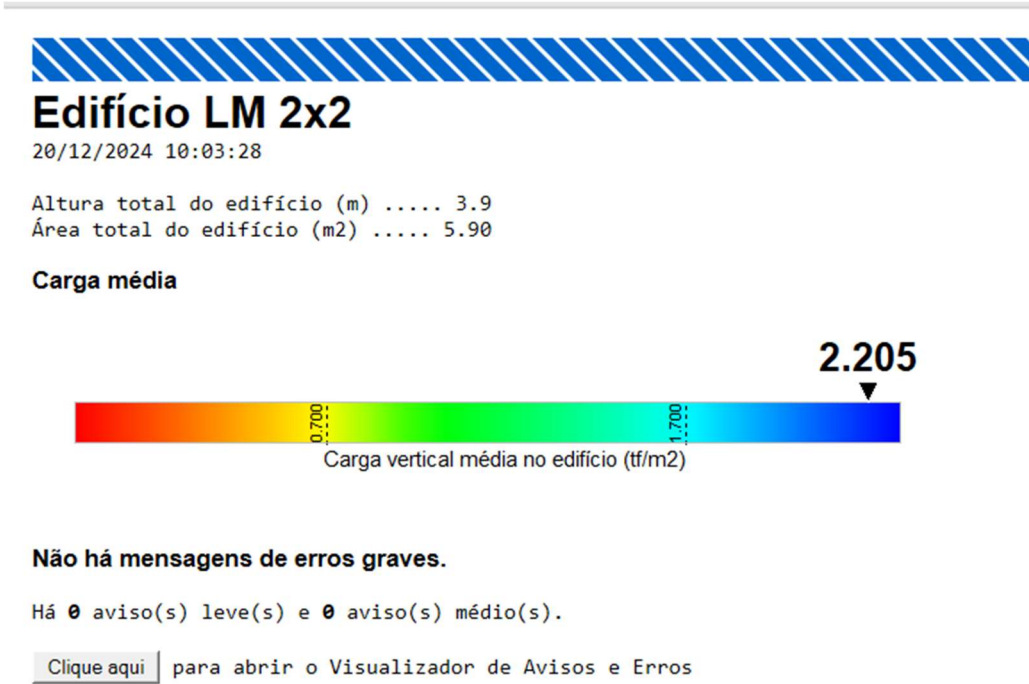
Figura 24 – Processamento global.



Fonte: TQS adaptada pelo autor. (2024).

Sendo feito o processamento de esforços e armaduras, o software apresenta os possíveis erros/aviso da estrutura, classificados como erros graves, avisos médios e avisos leves, sendo a primeira verificação a ser feita pós processamento, a figura 25 mostra a tela do visualizador de erros/aviso.

Figura 25 – Tela de visualização de erros/aviso.



Fonte: TQS adaptada pelo autor. (2024).

Em sequência da análise dos erros/avisos do dimensionamento, são verificados os resultados gerados, tanto de esforços quanto de armadura. Para o presente trabalho, a análise foi focada nas lajes, que é objeto do estudo. Sendo verificadas as armaduras calculadas, de modo a analisar suas compatibilidades. O resumo estrutural é outra ferramenta do software TQS, que permite a verificação de todos os parâmetros da estrutura e permite a coleta dos quantitativos gerados no dimensionamento.

Em sequência a todas as verificações, os quantitativos de aço, concreto para todas as lajes foram coletados. Além disso, os quantitativos de fôrmas, cubetas e EPS para as lajes maciça, nervuradas e treliçada, respectivamente, foram obtidos. Todos os dados necessários para o presente trabalho foram armazenados em planilhas no software Microsoft Excel, onde foram realizadas as análises comparativas e gerados os índices de projeto.

3.3 INDICADORES E ORÇAMENTO

A determinação do índice de volume de concreto por área construída foi determinada pela soma dos volumes obtidos no dimensionamento das lajes dividido pela área de projeto como mostrado na equação (1):

$$Icon = \frac{Vcon}{Área} \quad (1)$$

Na qual:

Icon : é a relação do volume de concreto pela área do projeto (m³/m²);

Vcon : o volume de concreto (m³); e

Área : é a área de projeto (m²).

A determinação do índice de peso de aço por área construída foi feita pela soma dos pesos de aço obtidos no dimensionamento das lajes dividido pela área de projeto como apresentado na equação (2):

$$Iaço = \frac{Paço}{Área} \quad (2)$$

Na qual:

Iaço : é a relação do peso do aço pela área de projeto (kg/m²);

Paço : é o peso do aço (kg); e

Área : é a área de projeto (m²).

A área de forma por área construída teve o índice determinado pela soma das áreas de forma obtidos no dimensionamento das lajes dividido pela área de projeto como mostrado pela equação (3):

$$I_{for} = \frac{A_{for}}{\bar{A}rea} \quad (3)$$

Na qual:

I_{for} : é a relação entre área de forma pela área de projeto (m^2/m^2);

A_{for} : área de formas das lajes (m^2); e

$\bar{A}rea$: é a área de projeto (m^2).

O índice de peso de aço por volume de concreto foi obtido pelo peso de aço obtido no dimensionamento das lajes dividido pelo volume de concreto desse dimensionamento, como apresenta a equação (4):

$$I_{ac} = \frac{P_{aço}}{V_{con}} \quad (4)$$

Na qual:

I_{ac} : é a relação entre o peso de aço pelo volume de concreto (kg/m^3);

$P_{aço}$: peso de aço (kg); e

V_{con} : é o volume de concreto (m^3).

Para a ter uma melhor precisão na análise comparativa dos três modelos de lajes, foi obtido as composições orçamentarias para comparação de custos por metro quadrado de fôrmas e escoramento em relação aos tipos de lajes maciça, nervurada e treliçada. Para esse comparativo, foi utilizado a tabela SINAPI 2024/10, com dados recolhidos no Excel, obtidos os valores por metro quadrado em relação aos serviços, materiais e mão-de-obra para os três tipos de lajes estudadas.

A composição para montagem e desmontagem de fôrmas para lajes maciça, extraída do SINAPI, mostrada na figura 26, foi utilizada como base para a estimativa de custo.

Figura 26 – Composição para montagem e desmontagem de fôrmas laje maciça.

9. 103761 MONTAGEM E DESMONTAGEM DE FÔRMA DE LAJE MACIÇA, PÉ-DIREITO SIMPLES, EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA RESINADA E CIMBRAMENTO DE MADEIRA, 4 UTILIZAÇÕES. AF_03/2022 (M2)					
Material	FONTE	UNID	COEFICIENTE	PREÇO UNITÁRIO	TOTAL
00004433 CAIBRO NAO APARELHADO "6 X 6" CM, EM MACARANDUBA/MASSARANDUBA, ANGELIM OU EQUIVALENTE DA REGIAO - BRUTA	SINAPI	M	0,36700000	R\$ 13,66	R\$ 5,29
00002692 DESMOLDANTE PROTETOR PARA FORMAS DE MADEIRA, DE BASE OLEOSA EMULSIONADA EM AGUA	SINAPI	L	0,01000000	R\$ 11,63	R\$ 0,12
00040304 PREGO DE ACO POLIDO COM CABECA DUPLA 17 X 27 (2 1/2 X 11)	SINAPI	KG	0,07600000	R\$ 25,74	R\$ 2,01
00006193 TABUA NAO APARELHADA "2,5 X 20" CM, EM MACARANDUBA/MASSARANDUBA, ANGELIM OU EQUIVALENTE DA REGIAO - BRUTA	SINAPI	M	0,33700000	R\$ 9,69	R\$ 3,33
TOTAL Material:					R\$ 10,73
Mão de Obra com Encargos Complementares	FONTE	UNID	COEFICIENTE	PREÇO UNITÁRIO	TOTAL
66239 AJUDANTE DE CARPINTEIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	SINAPI	H	0,17100000	R\$ 16,91	R\$ 3,23
66262 CARPINTEIRO DE FORMAS COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	SINAPI	H	0,93500000	R\$ 22,93	R\$ 21,44
TOTAL Mão de Obra com Encargos Complementares:					R\$ 24,66
Serviço	FONTE	UNID	COEFICIENTE	PREÇO UNITÁRIO	TOTAL
92273 FABRICAÇÃO DE ESCORAS DO TIPO PONTALETE, EM MADEIRA, PARA PÉ-DIREITO SIMPLES. AF_09/2020	SINAPI	M	0,66700000	R\$ 16,33	R\$ 14,16
92267 FABRICAÇÃO DE FÔRMA PARA LAJES, EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA RESINADA, E = 17 MM. AF_09/2020	SINAPI	M2	0,34100000	R\$ 67,08	R\$ 22,87
TOTAL Serviço:					R\$ 37,02
VALOR:					R\$ 72,41

Fonte: SINAPI adaptada pelo autor. (2024).

A composição para montagem e desmontagem de fôrmas para lajes nervurada com cubeta, extraída do SINAPI, mostrada na figura 27, foi utilizada como base para a estimativa de custo.

Figura 27 – Composição para montagem e desmontagem de fôrmas laje nervurada com cubeta.

8. 92494 MONTAGEM E DESMONTAGEM DE FÔRMA DE LAJE NERVURADA COM CUBETA E ASSOALHO, PÉ-DIREITO SIMPLES, EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA RESINADA, 10 UTILIZAÇÕES. AF_09/2020 (M2)

Equipamento		Fonte	Unid	Coeficiente	Preço Unitário	Total
00010749	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	SINAPI	UNXME	0,39700000	R\$ 17,75	R\$ 7,04
00040290	LOCACAO DE FORMA PLASTICA PARA LAJE NERVURADA, DIMENSOES "60" X "60" X "16" CM	SINAPI	UNXME	1,03000000	R\$ 9,60	R\$ 9,66
TOTAL Equipamento:						R\$ 16,92
Material		Fonte	Unid	Coeficiente	Preço Unitário	Total
00002692	DESMOLDANTE PROTETOR PARA FORMAS DE MADEIRA, DE BASE OLEOSA EMULSIONADA EM AGUA	SINAPI	L	0,00600000	R\$ 11,63	R\$ 0,09
00040270	VIGA DE ESCORAMENTO H20, DE MADEIRA, PESO DE 5,00 A 5,20 KG/M, COM EXTREMIDADES PLASTICAS	SINAPI	M	0,03600000	R\$ 128,05	R\$ 4,76
TOTAL Material:						R\$ 4,87
Mão de Obra com Encargos Complementares		Fonte	Unid	Coeficiente	Preço Unitário	Total
66239	AJUDANTE DE CARPINTEIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	SINAPI	H	0,16700000	R\$ 16,91	R\$ 3,53
66262	CARPINTEIRO DE FORMAS COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	SINAPI	H	1,01600000	R\$ 22,93	R\$ 23,34
TOTAL Mão de Obra com Encargos Complementares:						R\$ 26,87
Serviço		Fonte	Unid	Coeficiente	Preço Unitário	Total
92267	FABRICAÇÃO DE FÔRMA PARA LAJES, EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA RESINADA, E = 17 MM. AF_09/2020	SINAPI	M2	0,14700000	R\$ 67,06	R\$ 9,66
TOTAL Serviço:						R\$ 9,66
VALOR:						R\$ 58,52

Fonte: SINAPI adaptada pelo autor. (2024).

Em relação a laje do tipo treliçada do tipo vigota pré-moldada com enchimento com EPS, a composição no SINAPI, o insumo para EPS inativo, para o presente trabalho, foi adaptada a composição para escoramento da laje, utilizando como base as composições do SINAPI para esse serviço, mostrado na figura 28.

Figura 28 – Composição para escoramento para lajes treliçadas.

7. 101951 LAJE PRÉ-MOLDADA UNIDIRECIONAL, BIAPOIADA, ENCHIMENTO EM EPS, VIGOTA TRELIÇADA, ALTURA TOTAL DA LAJE (ENCHIMENTO+CAPA) = (8+4). AF_11/2020_PA (M2)					
Material	Fonte	Unid	Coeficiente	Preço Unitário	Total
00043357 LAJE PRÉ-MOLDADA TRELIÇADA (LAJOTAS + VIGOTAS) COM LAJOTA EM POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS), H8, 33 X 100 X 8 CM (L X C X A) E VIGOTA VTR 12 X 8 CM (L X A), PARA PISO, UNIDIRECIONAL, SOBRECARGA DE 350 KGf/M2, VAO ATÉ 6,00	SINAPI	M2	1,00000000	R\$ 0,00	R\$ 0,00
00040304 PREGO DE AÇO POLIDO COM CABECA DUPLA 17 X 27 (2 1/2 X 11)	SINAPI	KG	0,04000000	R\$ 25,74	R\$ 1,02
00008193 TABUA NÃO APARELHADA "2,5 X 20" CM, EM MACARANDUBA/MASSARANDUBA, ANGELIM OU EQUIVALENTE	SINAPI	M	1,87000000	R\$ 9,89	R\$ 18,49
TOTAL Material:					R\$ 19,51
Mão de Obra com Encargos Complementares	Fonte	Unid	Coeficiente	Preço Unitário	Total
66262 CARPINTEIRO DE FORMAS COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	SINAPI	H	0,45600000	R\$ 22,93	R\$ 10,45
66316 SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	SINAPI	H	0,32200000	R\$ 16,44	R\$ 5,93
TOTAL Mão de Obra com Encargos Complementares:					R\$ 16,38
Serviço	Fonte	Unid	Coeficiente	Preço Unitário	Total
92767 ARMAÇÃO DE LAJE DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-60 DE 4,2 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	SINAPI	KG	1,21100000	R\$ 14,63	R\$ 17,95
103674 CONCRETAGEM DE VIGAS E LAJES, FCK=25 MPA, PARA LAJES PRÉ-MOLDADAS COM USO DE BOMBA - LANÇAMENTO, ADENSAMENTO E ACABAMENTO. AF_02/2022 PS	SINAPI	M3	0,04800000	R\$ 642,34	R\$ 30,83
92273 FABRICAÇÃO DE ESCORAS DO TIPO PONTALETE, EM MADEIRA, PARA PÉ-DIREITO SIMPLES. AF_09/2020	SINAPI	M	0,97000000	R\$ 16,33	R\$ 15,84
TOTAL Serviço:					R\$ 64,62
VALOR:					R\$ 51,73

Fonte: SINAPI adaptada pelo autor. (2024).

O foco da análise de custos em relação as fôrmas e escoramento é obter um parâmetro para comparação de custo por metro quadrado, em relação aos três tipos de lajes. É fundamental ressaltar, que a composição para o escoramento das lajes treliçadas é uma adaptação feita para esse trabalho, devendo ser levado em consideração esse fato.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com base nos dados levantados por meio do dimensionamento estrutural de cada uma das 45 lajes feito no software comercial TQS®, na sua versão estudantil, foram levantados os quantitativos para cada sistema estrutural.

4.1 QUANTITATIVOS DE VOLUME DE CONCRETO

O volume de concreto apresentou variação de acordo com o tipo de laje e para cada vão dimensionado, demonstrados os valores na tabela 2.

Tabela 2 – Volume de concreto (m³)

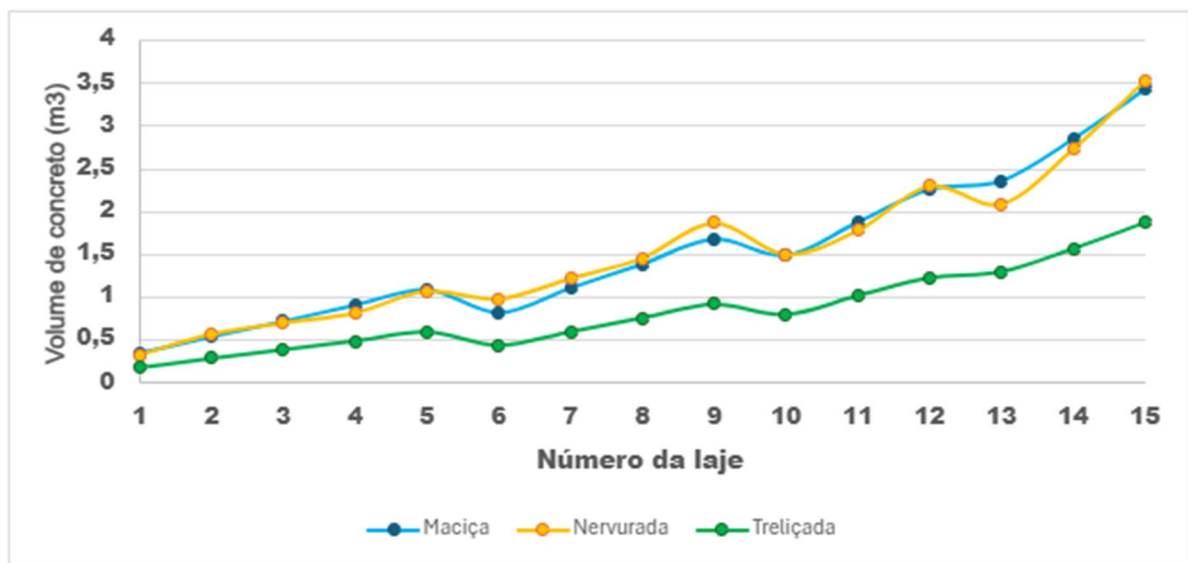
Número da laje	Dimensão (m x m)	Maciça	Nervurada	Treliçada
1	2,0 x 2,0	0,34	0,32	0,17
2	2,0 x 3,0	0,53	0,56	0,28
3	2,0 x 4,0	0,71	0,69	0,38
4	2,0 x 5,0	0,90	0,81	0,48
5	2,0 x 6,0	1,08	1,06	0,59
6	3,0 x 3,0	0,81	0,97	0,43
7	3,0 x 4,0	1,10	1,21	0,59
8	3,0 x 5,0	1,38	1,45	0,75
9	3,0 x 6,0	1,67	1,86	0,91
10	4,0 x 4,0	1,48	1,49	0,79
11	4,0 x 5,0	1,87	1,77	1,01
12	4,0 x 6,0	2,25	2,29	1,22
13	5,0 x 5,0	2,35	2,08	1,29
14	5,0 x 6,0	2,84	2,72	1,56
15	6,0 x 6,0	3,42	3,52	1,86

Fonte: Autor (2024).

A tabela 2 mostra o volume de concreto calculado para cada uma das lajes, considerando cada tipo de laje, destacando que em relação a laje do tipo maciça e do tipo nervurada, o desempenho foi bastante semelhante em relação ao consumo de

concreto, o gráfico 1 mostra essa relação. A laje do tipo treliçada, por sua vez, apresentou um menor consumo de concreto em relação as demais, sendo notório esse baixo consumo nos dados da tabela 1 e ainda destacado no gráfico 1 que demonstra o consumo de cada um dos tipos de lajes em relação aos vãos dimensionados.

Gráfico 1 – Consumo de concreto para os três tipos de lajes.

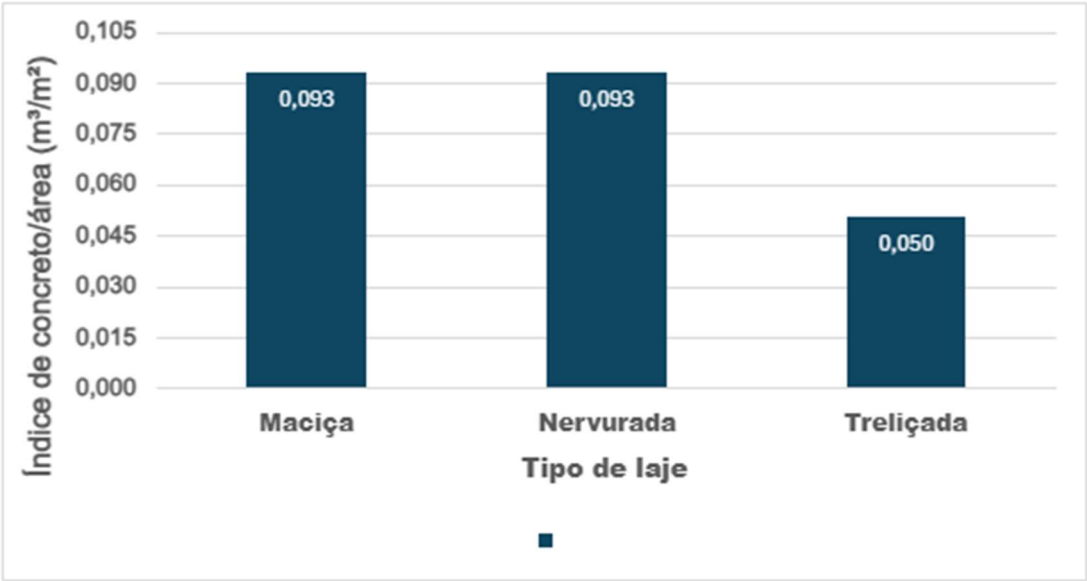


Fonte: Autor (2024).

Diante dos dados expostos, é notório o melhor desempenho da laje treliçada em relação aos outros dois tipos, para todos os vãos calculados. Em relação a laje maciça e a laje nervurada, esse desempenho semelhante pode ser explicado por suas espessuras, onde a maciça que tem uma espessura de 10 cm, enquanto o modelo de laje nervurada tem 20 cm espessura, mas é descontado os vazios das cubetas e assim, tem-se uma compensação.

Com base nos quantitativos de concreto acima, foram obtidos os índices de volume de concreto por área de projeto, obtidos por meio da equação 1, que relaciona o volume total de concreto do tipo de laje pela área total, sendo obtido índice para os três tipos de lajes, como mostrado na figura 29.

Figura 29 – Índice de concreto por área de projeto (m^3/m^2).



Fonte: Autor. (2024).

Com a análise dos índices acima, concluir-se que a laje treliçada necessita apenas de 53,77% do volume de concreto usado para as lajes do tipo maciça e nervurada, isso ocorre pelo fato da laje treliçada ter o material de enchimento, no caso em específico, os blocos de EPS. A figura 29 ressalta que o volume de concreto usado nas lajes do tipo maciça e nervurada é praticamente o mesmo, justificado pelo fato da laje nervurada em questão ter o dobro da espessura da laje maciça, mesmo com os vazios da cubeta ainda consome basicamente o mesmo volume de concreto.

4.2 QUANTITATIVOS DE PESO DE AÇO

O consumo de aço, mostrado na tabela 3, teve variação de acordo com o tipo de laje e para cada vão dimensionado, sendo considerado no levantamento todas as armaduras usadas em cada laje, destacando que nas lajes treliçadas foram levados em consideração as treliças e as armaduras adicionais para os vão que tiveram essa necessidade.

Tabela 3 – Peso de aço (kg)

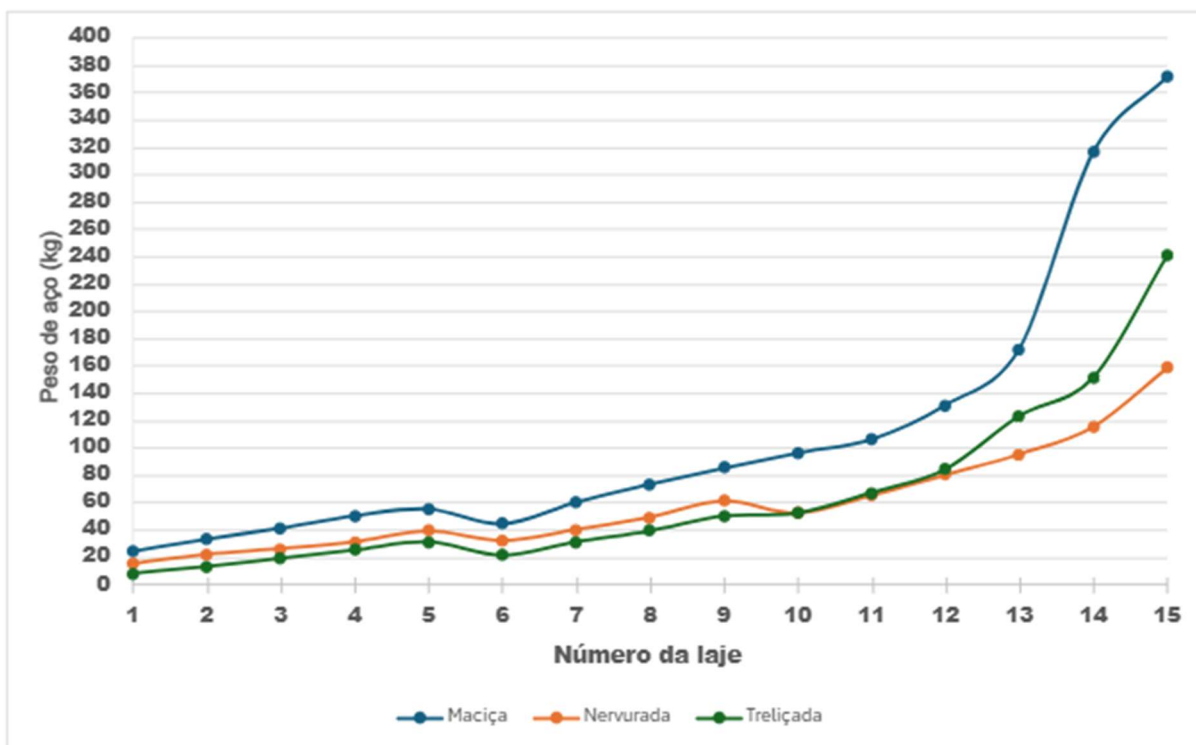
Número da laje	Dimensão (m x m)	Maciça	Nervurada	Treliçada
1	2,0 x 2,0	24	15	8

2	2,0 x 3,0	33	22	13
3	2,0 x 4,0	41	26	19
4	2,0 x 5,0	50	31	25
5	2,0 x 6,0	55	39	31
6	3,0 x 3,0	44	32	21
7	3,0 x 4,0	60	40	31
8	3,0 x 5,0	73	49	39
9	3,0 x 6,0	85	61	50
10	4,0 x 4,0	96	52	52
11	4,0 x 5,0	106	65	67
12	4,0 x 6,0	131	80	84
13	5,0 x 5,0	172	95	123
14	5,0 x 6,0	316	115	151
15	6,0 x 6,0	371	158	240

Fonte: Autor (2024).

Os quantitativos de aço obtiveram variações consideráveis em relação aos tipos de vãos, principalmente na comparação entre o tipo treliçada e nervurada, destacado no gráfico 2.

Gráfico 2 – Consumo de aço para os três tipos de lajes.

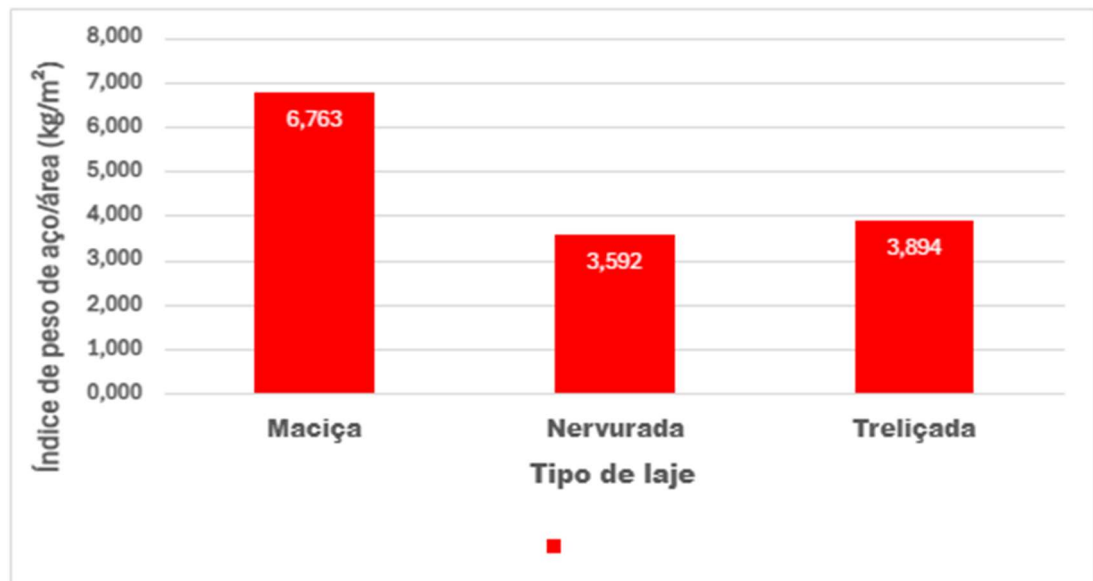


Fonte: Autor (2024).

Ao analisar os valores do gráfico acima, inicialmente, tem-se que laje maciça apresenta um maior consumo de aço para todos os vãos dimensionados. Já em relação as lajes do tipo trelaçada e nervurada, é importante destacar que do vão de 2m x 2m até o vão de 4m x 4m, as lajes do tipo trelaçada apresentam um desempenho melhor para o consumo de aço, os vão de 4m x 4m tem o mesmo consumo de aço para os dois tipos de lajes, já a partir do vão de 4m x 5m, as lajes do tipo nervuradas apresentam um menor consumo de aço e assim obtendo um melhor desempenho.

Com base nos quantitativos de aço acima, foram obtidos, por meio da equação 2, os índices de peso de aço por área de projeto, para cada um dos tipos de laje dimensionadas, mostrados os índices na figura 30.

Figura 30 – Índice de aço por área de projeto (kg/m^2).

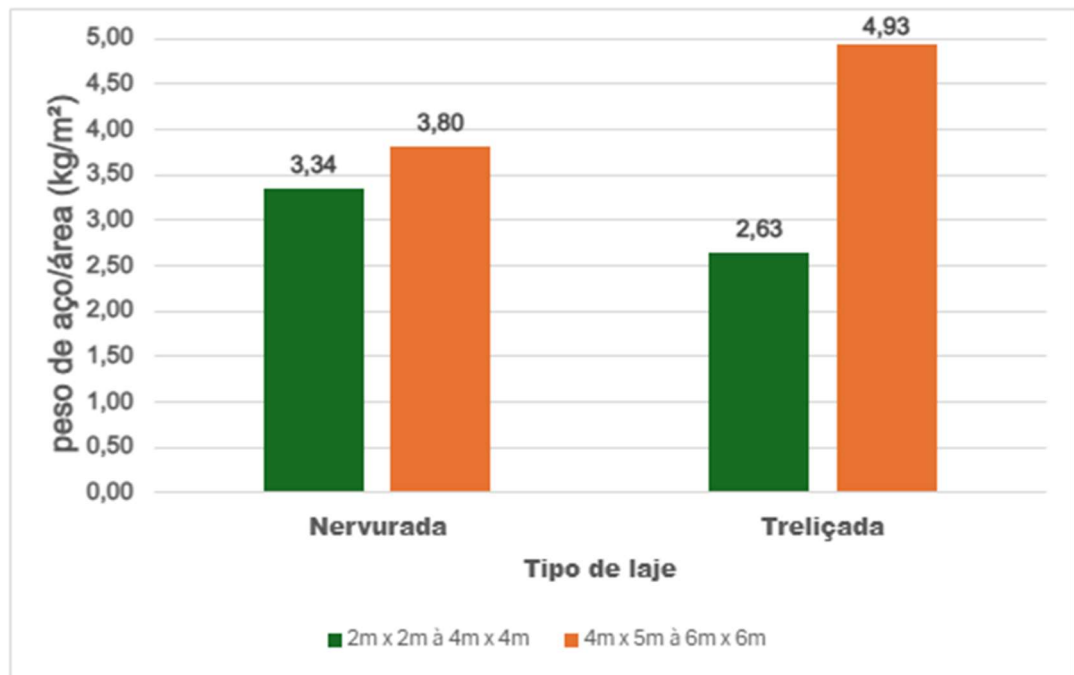


Fonte: Autor. (2024).

Por meio da análise dos dados acima, pode-se notar que a laje do tipo nervurada teve o menor índice, com um consumo 47,00% menor que em comparação com a laje maciça. A laje treliçada obteve índice bem próximo ao da nervurada, sendo apenas 7,75% maior, se comparada com a maciça, o desempenho da treliçada foi 42,40% menor. Esses valores apontam que a laje do tipo maciça apresenta um alto consumo de aço em comparação com as demais.

Ao analisar a laje treliçada e nervurada, levando em consideração a variação de vão, sendo observados de 2m x 2m até 4m x 4m e entre 4m x 5m até 6m x 6m, obtém-se uma variação nos indicadores, como mostrado na figura 31 abaixo.

Figura 31 – Índice de aço por área de projeto para variação dos vãos (kg/m²).



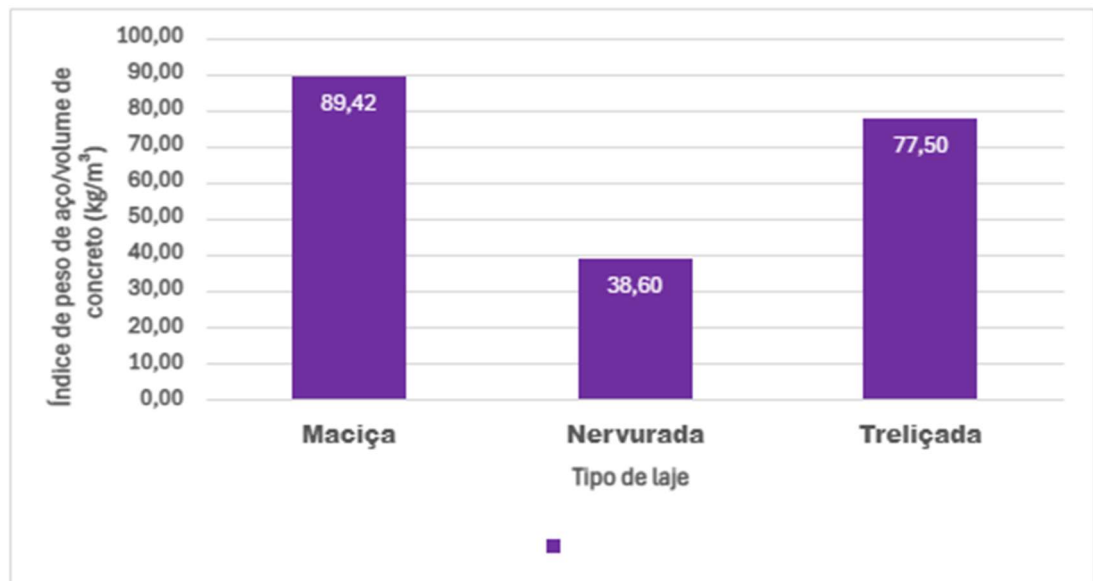
Fonte: Autor. (2024).

Com base nos índices acima, conclui-se que a laje treliçada apresenta um melhor desempenho para vãos menores que 4m, além disso, tem um bom desempenho em lajes com a dimensão maior com dobro ou mais em relação a menor dimensão, como exemplo os vãos 2m x 4m, 2m x 5m, 2m x 6m, 3m x 6m. A laje nervurada tem um menor consumo para lajes com dimensões maiores que 4m, sendo 46,66% menor em comparação com a treliçada para essa variação de vão.

4.3 ÍNDICE AÇO POR VOLUME DE CONCRETO

Com o peso total de aço e o volume de concreto para cada tipo de laje, usando a equação 4, foram obtidos os índices de peso de aço por volume de concreto, mostrado na figura 32.

Figura 32 – Índice de aço por volume de concreto (kg/m³).



Fonte: Autor. (2024).

Por meio dos índices acima, tem-se a laje do tipo nervurada com a menor relação entre aço/concreto, justificada pelo baixo consumo de aço e alto consumo de concreto mostrados anteriormente. A laje maciça teve a maior índice de aço por concreto, fato explicado por essa laje ter um alto consumo de aço, em comparação com as demais desse estudo. A laje trelaçada, também obteve alta taxa de aço por volume de concreto, no qual se dar pelo fato desse tipo de laje ter um baixo consumo de concreto em comparação com as outros dois tipos analisados.

4.4 QUANTITATIVOS DE FÔRMAS, CUBETAS E EPS

Com o dimensionamento no software TQS®, são obtidos quantitativos para área de fôrmas, no caso em questão, foram levantadas as áreas de fôrmas para os vãos dimensionados das lajes do tipo maciça, como mostrado na tabela 4.

Tabela 4 – Área de fôrmas (m²) laje maciça

Número da laje	Dimensão (m x m)	Área de forma (m²)
1	2,0 x 2,0	3,42
2	2,0 x 3,0	5,27
3	2,0 x 4,0	7,12

4	2,0 x 5,0	8,97
5	2,0 x 6,0	10,82
6	3,0 x 3,0	8,12
7	3,0 x 4,0	10,97
8	3,0 x 5,0	13,82
9	3,0 x 6,0	16,67
10	4,0 x 4,0	14,82
11	4,0 x 5,0	18,67
12	4,0 x 6,0	22,52
13	5,0 x 5,0	23,52
14	5,0 x 6,0	28,37
15	6,0 x 6,0	34,22

Fonte: Autor (2024).

Por meio dos valores acima, foi calculado, com a equação 3, o índice de fôrma por área de projeto, para laje do tipo maciça, sendo o esse índice de 0,93 (m²/m²).

Para as lajes do tipo nervurada, foi obtido o consumo de cubetas, que são as fôrmas usadas na construção da laje nervurada dimensionada. Com base nesses valores foi calculado o consumo de cubetas por área de projeto, a tabela 5 mostra as quantidades de cubetas para cada vão dimensionado.

Tabela 5 – Quantidade de cubetas Atex 600 para cada vão

Número da laje	Dimensão (m x m)	Quantidade de cubeta
1	2,0 x 2,0	9
2	2,0 x 3,0	12
3	2,0 x 4,0	18
4	2,0 x 5,0	24
5	2,0 x 6,0	27
6	3,0 x 3,0	16
7	3,0 x 4,0	24
8	3,0 x 5,0	32
9	3,0 x 6,0	36

10	4,0 x 4,0	36
11	4,0 x 5,0	48
12	4,0 x 6,0	54
13	5,0 x 5,0	64
14	5,0 x 6,0	72
15	6,0 x 6,0	81

Fonte: Autor (2024).

Com base nos quantitativos da tabela acima, foi calculado, a quantidade de cubetas por área de projeto para laje do tipo nervurada, sendo o esse índice de 2,26 cubetas para cada metro quadrado de laje.

Em relação as lajes treliçadas, que no caso específico foram utilizados blocos de EPS para o enchimento, com dimensionamento do software TQS®, foram levantados os quantitativos de blocos de EPS para cada vão calculado, mostrado na tabela 6.

Tabela 6 – Quantidade de blocos EPS unidirecional H08/40/120

Número da laje	Dimensão (m x m)	Quantidade de blocos
1	2,0 x 2,0	8
2	2,0 x 3,0	12
3	2,0 x 4,0	16
4	2,0 x 5,0	20
5	2,0 x 6,0	24
6	3,0 x 3,0	18
7	3,0 x 4,0	24
8	3,0 x 5,0	30
9	3,0 x 6,0	36
10	4,0 x 4,0	32
11	4,0 x 5,0	40
12	4,0 x 6,0	48
13	5,0 x 5,0	40
14	5,0 x 6,0	48

15	6,0 x 6,0	60
----	-----------	----

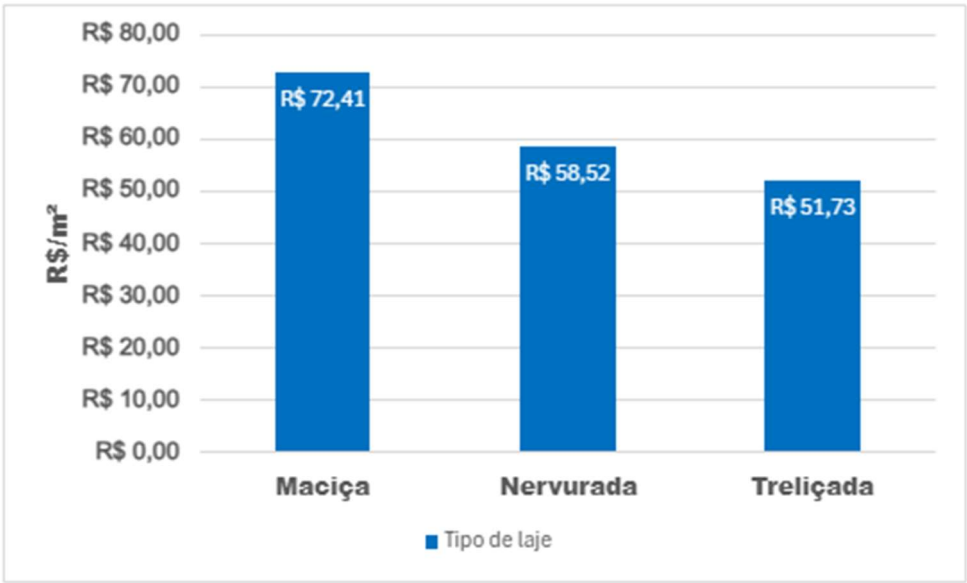
Fonte: Autor (2024).

Através dos quantitativos de EPS levantados, levando em consideração a área de projeto para cada laje, foi calculado o índice de bloco de EPS por área de projeto, obtendo 1,86 blocos/m², destacando que o bloco usado nesse projeto foi de dimensões 40cm x 120cm, destacando que o índice foi obtido por meio do consumo total de EPS em relação à área total considerando todas as lajes desse estudo.

4.5 COMPARAÇÃO DE CUSTOS PARA FÔRMAS E ESCORAMENTO

Com base nas características dos três tipos de lajes, maciça, nervurada e treliçada, com o objetivo de obter mais um parâmetro comparativo para esses tipos de lajes, foi levantada a composição de custos para a montagem e desmontagem de fôrmas e escoramentos, levando em consideração equipamentos, materiais, mão-de-obra com encargos e serviço, tendo como base o SINAPI. Dessa forma, foram levantados os valores por metro quadrado (R\$/m²), mostrado na figura 32 esse comparativo.

Figura 33 – Valor (R\$/m²) de fôrmas e escoramento para cada tipo de laje.



Fonte: Autor. (2024).

Por meio dos valores acima, nota-se a laje do tipo treliçada apresenta o menor valor por área, tendo um melhor desempenho nesse aspecto, porém, vale destacar que a composição para essa laje em questão foi adaptada, sendo quantificados os serviços, materiais e mão-de-obra para o escoramento. A laje nervurada tem leve desvantagem na análise desses custos em comparação com a treliçada, sendo apenas 11,6%, destacando que a composição para essa laje nervurada leva em consideração o aluguel da fôrma plástica (cubeta). O valor para laje maciça teve o pior desempenho, sendo mais elevado 13,9% comparado a nervurada e 28,5% em relação a treliçada.

Vale destacar as limitações dessas comparações, necessitando sempre a atualização dos valores levantados no SINAPI, podendo ser orientado também por outras bases orçamentárias que venha ser mais adequada de acordo com a região do projeto. Outro fator a ser levado em consideração é a disponibilidade dos materiais, de mão-de-obra para cada um dos serviços.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse estudo teve o objetivo de analisar o desempenho de lajes do tipo maciça, treliçada e nervurada, sendo desenvolvido por meio da modelagem, dimensionamento, análise de resultados, levantamento dos quantitativos, utilizando como ferramenta principal o software TQS®, na sua versão estudantil, além do uso do Microsoft Excel para coleta de dados e elaboração de gráficos e tabelas, também foi utilizado o SINAPI para o levantamento das composições de custos para fôrmas e escoramento.

O foco desse trabalho foi a comparação do desempenho dos três diferentes tipos de lajes para 15 diferentes vãos, tendo como elementos principais os quantitativos de materiais, buscando demonstrar a diferença de consumo de acordo com as dimensões do projeto e o tipo de estrutural adotado. Além disso, outro fator nesse estudo são os parâmetros de dimensionamento do software TQS®, em relação a modelagem e processamento e geração de quantitativos, além de seguir os parâmetros da ABNT NBR 6118: 2023.

Com esse estudo, de modo geral, na comparação entre os três tipos de lajes, foi concluído que a laje do tipo treliçada obteve um melhor desempenho, tendo um menor consumo de concreto para todos os vãos dimensionados, teve um menor consumo de aço em 10 vãos dos 15 dimensionados e no comparativo do custo para fôrmas e escoramentos, também obteve vantagem. Para laje do tipo nervurada, conclui-se que, para o modelo desse estudo, de modo geral, apresenta o mesmo consumo de concreto em comparação com a laje do tipo maciça, em relação ao consumo de aço, a laje nervurada obteve vantagem para vão com dimensões maiores que 4 metros.

Contudo, é preciso reconhecer que esse estudo apresenta limitações, devendo reconhecer que o objeto desse estudo foram lajes isoladas, não foi analisado o desempenho dos demais elementos estruturais como as vigas e pilares, também não foram analisados os deslocamentos, tais como flechas. Outra limitação é o software TQS® em sua versão estudantil, no qual tem limitações de uso. Outro fator importante não considerado são as diferenças regionais, tais como disponibilidade de materiais, mão-de-obra entre outros.

Futuros estudos nessa perspectiva, podem focar na análise de pilares e vigas, mostrando o desempenho desses elementos em relação ao tipo de laje adotada, outra análise possível é em relação as flechas geradas nas lajes. Além disso, o foco poderá

ser a comparação de outros tipos de lajes, tais como as com vigota protendida e steel deck, outros tipos de estruturas, como metálicas, concreto protendido e alvenaria estrutural. Diversas possibilidades poderão ser estudadas para a complementação do presente trabalho.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Informação e documentação: referências: elaboração. Rio de Janeiro, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120**: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro, 2019.

BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. **Histórico e principais elementos estruturais de concreto armado**. São Paulo, 2006.

BASTOS, P. S. dos S. **Lajes de concreto**. Bauru - SP: Universidade Estadual Paulista, 2015. 115 p.

BASTOS, P. S. **Lajes de concreto armado**. Bauru – SP: Universidade Estadual Paulista – UNESP, 2023.

BASTOS, P. S. **Vigas em concreto armado: dimensionamento, flecha e fissuração**. Bauru – SP: Universidade Estadual Paulista – UNESP, 2024.

BORBA, Natalia Marques de Freitas. **Estudo de caso: comparativo de custos entre projetos estruturais e análise do seu impacto no orçamento final da obra**. 2020. 43 p. Monografia (Curso de Bacharelado em Engenharia Civil). Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, Rio Verde, GO, 2020.

BUSSOLO, Welinton Mendes. **Análise comparativa entre lajes nervuradas com diferentes moldes de fôrmas plásticas**. 2015.

CARNEIRO, Amanda Cunico. **Indicadores de projeto para estruturas em concreto armado do município de Balneário Camboriú - SC**. 2018. 85 pág. Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Civil – Departamento Acadêmico de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR. Pato Branco, 2018.

CARVALHO, R.C.; PINHEIRO, L. M. **Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado**. Volume 2, Ed. Pini, São Paulo, 2009.

DE ABREU, Vera Lúcia Moreira. **Estudo da deformabilidade de alvenarias de fachada executadas no bordo de zonas em consola de lajes maciças**. 2011. Dissertação de Mestrado. Universidade do Porto (Portugal).

FERREIRA, Amanda Ferraz Assis et al. ANÁLISE COMPARATIVA DO DIMENSIONAMENTO DE LAJES MACIÇAS ENTRE O SOFTWARE EBERICK E O MÉTODO ANALÍTICO. **Gears n'bricks**, v. 5, n. 1, 2024.

GARCIA, Thales Vicente. **Dimensionamento estrutural de uma edificação residencial de 20 pavimentos com junta de dilatação utilizando a ferramenta TQS**. 2024.

GIONGO, José Samuel. **Concreto armado: projeto estrutural de edifícios**. São Paulo, Brazil: EESC/SET, 2005.

GONZÁLEZ, M. A. S., **Noções de orçamento e planejamento de obras**. Universidade do Vale do Rio dos Sinos. São Leopoldo, 2008. 49p

GUIMARÃES, MARIANNE SILVA et al. COMPARATIVO DA UTILIZAÇÃO DE DIFERENTES TIPOS DE LAJES EM EDIFÍCIO DE CONCRETO ARMADO. **Revista Mirante (ISSN 1981-4089)**, v. 10, n. 1, p. 226-245, 2017.

JABLONSKI, Luana. **Índices e taxas de consumo de materiais em função da tipologia estrutural**. 2013. 72f. Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Civil – Universidade Federal do Pampa – Alegrete, 2013.

KAEFER, Luís Fernando. **A evolução do concreto armado**. São Paulo, v. 43, 1998.

LEITE, Gabriela Borim et al. **Estudo dos critérios de parametrização do modelo de grelha para o cálculo de lajes maciças de concreto armado**. 2017.

LOPES, André Felipe de Oliveira. **Estudo comparativo entre lajes nervuradas moldadas no local com fôrmas de polipropileno e lajes pré-fabricadas treliçadas**. 2015.

MACHADO, Gabriel Martinez; MOURA, Márcio Wrague. Método de analogia de grelha: análise numérica de lajes maciças de concreto armado. **Revista Interdisciplinar de Pesquisa em Engenharia**, v. 8, n. 2, p. 43-51, 2022.

MELLO, Lucas Masciel de. **Indicadores de consumos de materiais e mão de obra dos sistemas estruturais: análise comparativa de lajes planas maciças, convencionais e nervuradas com preenchimento de blocos EPS**. Trabalho de conclusão do curso de engenharia civil – Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS - São Leopoldo, 2018.

MOURA, T. R. C.. **Lajes maciças treliçadas e nervuradas - Análise comparativa**. REEC - Revista Eletrônica de Engenharia Civil, v. 19, p. 194-209, 2023.

NASCIMENTO, Júlio César Monteiro. **Análise e projeto estrutural de um edifício padrão PP-B em concreto armado utilizando o software TQS®**. 2023. 78 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, 2023.

NUNES, Pedro Afonso da Costa. **Análise comparativa entre as lajes maciças, nervuradas e treliçadas**. 2023.

PACHECO, Fernanda et al. Proposição de variação do cobrimento nominal das armaduras baseada na classe de agressividade ambiental (CAA) de exposição de concretos. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, v. 17, p. e17609, 2024.

PINHEIRO, L.M., MUZARDO, C.D., SANTOS, S.P., “Lajes Maciças”, In: Pinheiro, L. M. (ed), **Fundamentos do Concreto e Projeto de Edifícios**, 1 ed., São Carlos, Universidade de São Paulo, 2007.

PORTO, Thiago Bomjardim. **Curso básico de concreto armado: conforme NBR 6118/2014** - São Paulo: oficina de textos, 2015.

SILVA, Leonardo Berta da. **Análise comparativa entre lajes com vigotas treliçadas e protendidas**. 2019.

SILVA, Matheus Oliveira da. **Análise comparativa entre os métodos orçamentários de custo unitário básico e orçamento analítico**. 2020.

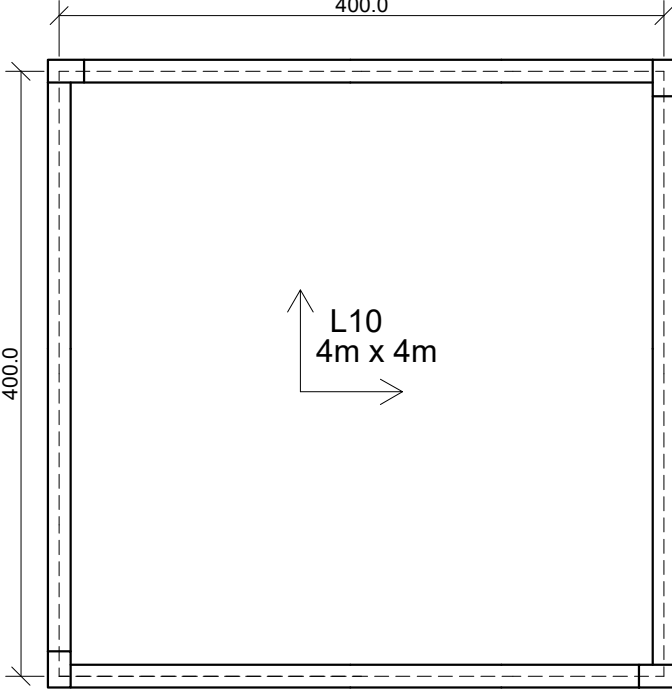
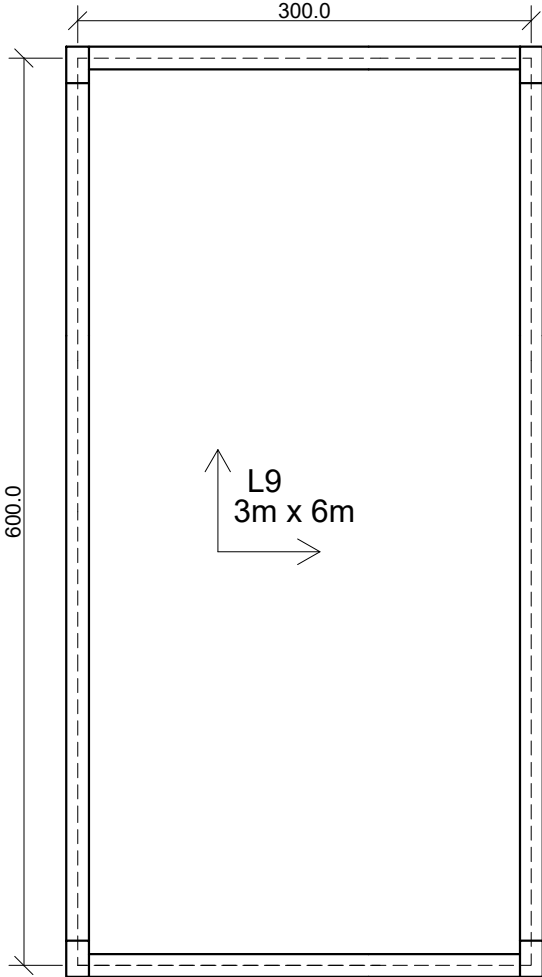
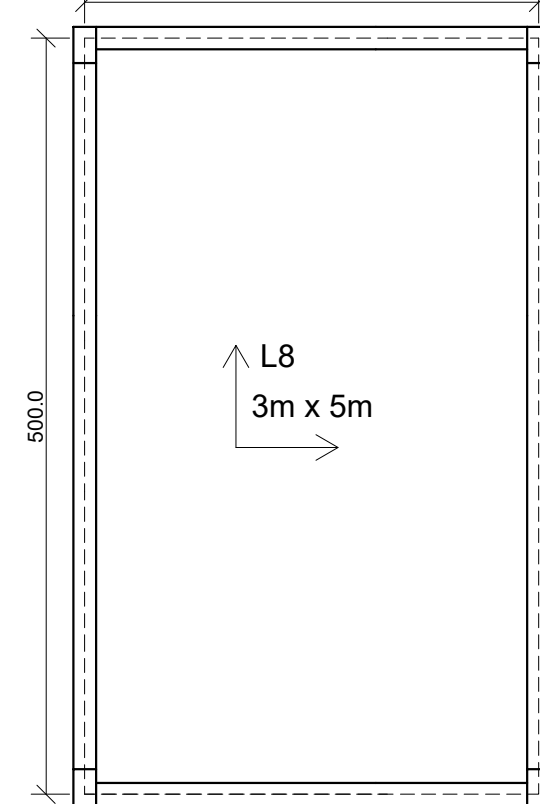
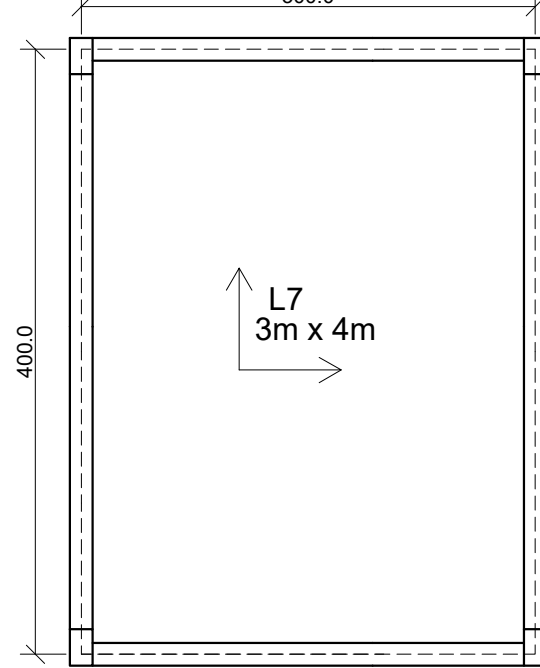
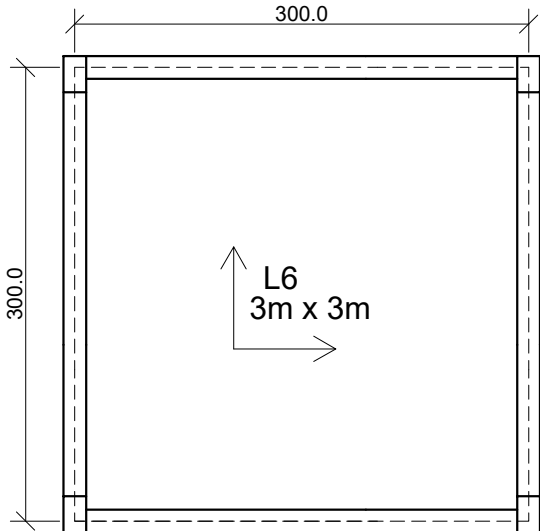
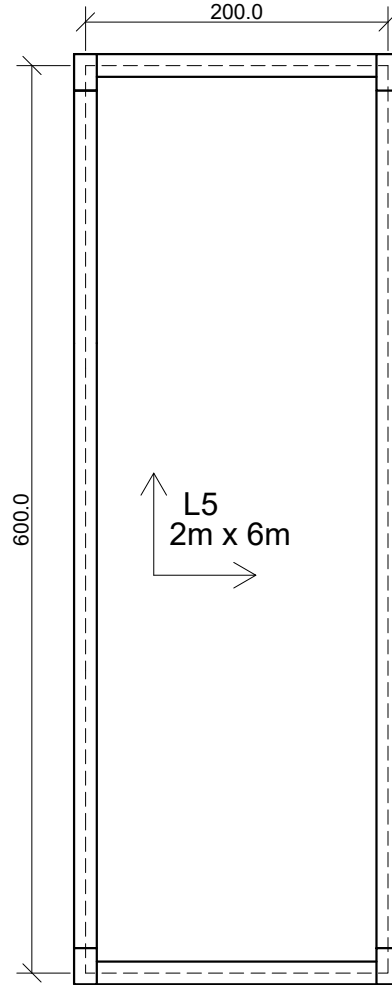
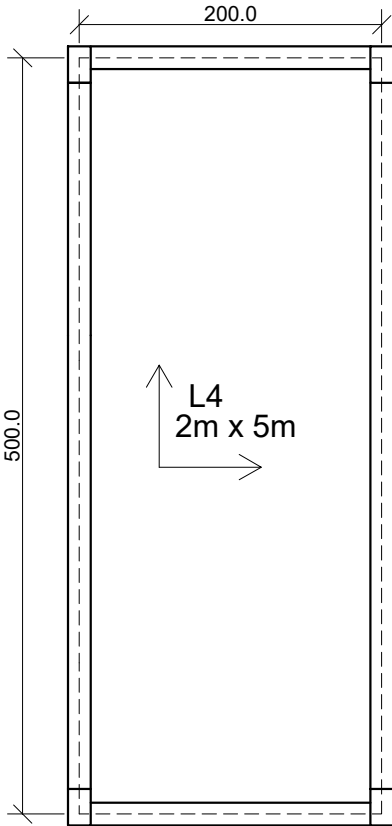
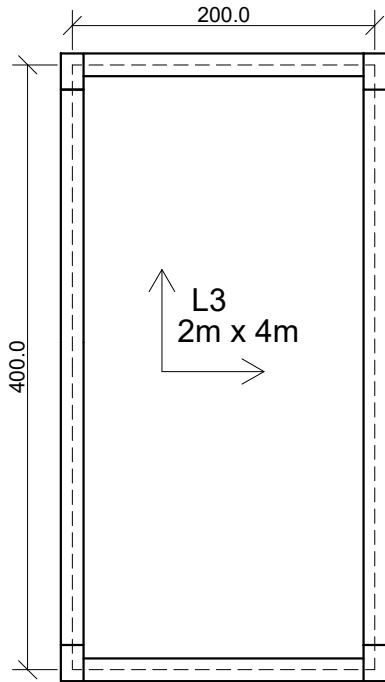
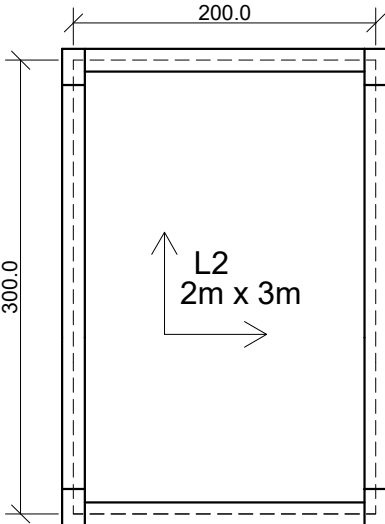
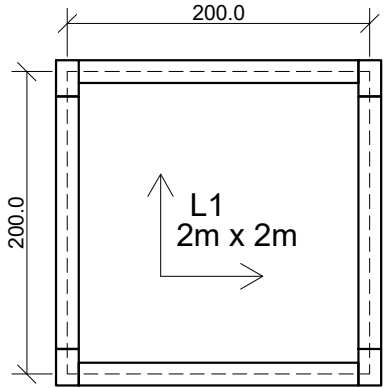
SILVA, Taniel Nunes da. **Comparativo do quantitativo de insumo em uma edificação residencial de médio porte utilizando laje maciça, laje nervurada com cuba plástica e laje treliçada**. 2022. 75 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal do Piauí, Bacharelado em Engenharia Civil, Teresina, 2022.

SOUZA, E. **Índices médios para consumo para a elaboração de projetos em concreto armado**. Londrina, 2003. 36p. Monografia (Disciplina TCC) – Universidade Estadual de Londrina – UEL.

TQS, Docs. **Análise Não-Linear**. Brasil. Disponível em: <https://docs.tqs.com.br/Docs/Details?id=3158> . Acesso em 12 de nov. de 2024.

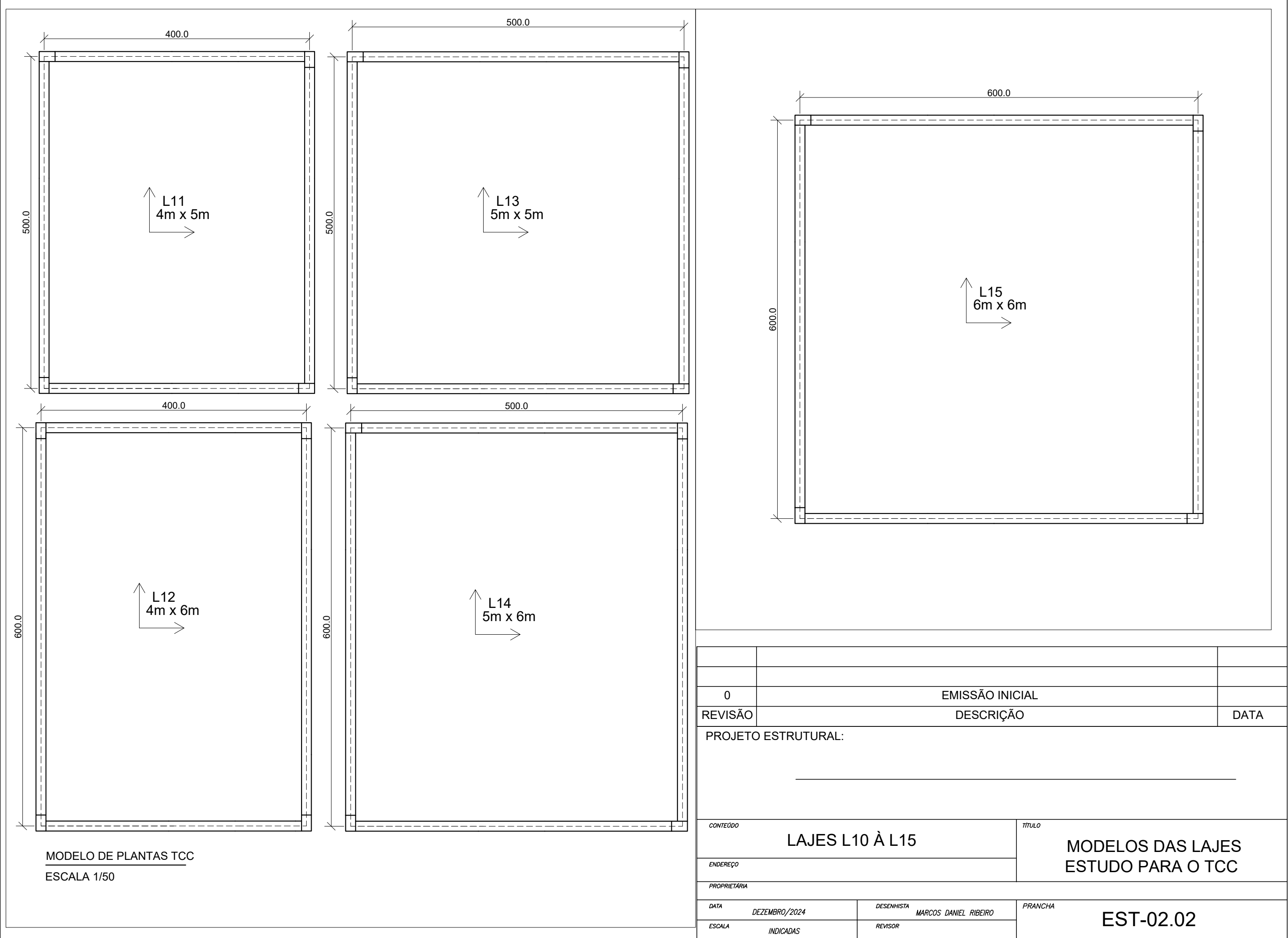
VIEIRA, Jorge Rocha; OLIVEIRA, Gerran Silva. **Comparação técnica-financeira entre lajes maciças, treliçadas e nervuradas**. 2018.

APÊNDICE A – PLANTA DAS LAJES MODELADAS



MODELO DE PLANTAS TCC
ESCALA 1/50

0	EMISSÃO INICIAL	
REVISÃO	DESCRIÇÃO	DATA
PROJETO ESTRUTURAL:		
CONTEÚDO	LAJES L1 À L10	
ENDEREÇO	MODELOS DAS LAJES ESTUDO PARA O TCC	
PROPRIETÁRIA		
DATA	DEZEMBRO/2024	DESENHISTA MARCOS DANIEL RIBEIRO
ESCALA	INDICADAS	PRANCHA EST-01.02



0	EMISSÃO INICIAL	
REVISÃO	DESCRIÇÃO	DATA
PROJETO ESTRUTURAL:		
CONTEÚDO		TÍTULO
LAJES L10 À L15		MODELOS DAS LAJES ESTUDO PARA O TCC
ENDEREÇO		
PROPRIETÁRIA		
DATA	DESENHISTA	PRANCHA
ESCALA	REVISOR	
		EST-02.02