



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA
DIRETORIA GERAL DO CAMPUS JOÃO PESSOA
DEPARTAMENTO DE ENSINO SUPERIOR
CURSO DE BACHARELADO DE ENGENHARIA CIVIL

ELIAQUIM RODRIGUES PEREIRA

**Análise de diferentes configurações estruturais de lajes em edifício residencial usando o
software TQS**

JOÃO PESSOA

2024

ELIAQUIM RODRIGUES PEREIRA

Análise de diferentes configurações estruturais de lajes em edifício residencial usando o software TQS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Superior de Bacharelado em Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, como requisito curricular obrigatório para obtenção do título de Engenheiro(a) Civil.

Orientador: Breno José Santos da Silva

JOÃO PESSOA

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca Nilo Peçanha do IFPB, *campus* João Pessoa

P436a Pereira, Eliaquim Rodrigues.

Análise de diferentes configurações estruturais de lajes em edifício residencial usando o software TQS / Eliaquim Rodrigues Pereira. – 2024.


75 f. : il.

TCC (Graduação – Engenharia Civil) – Instituto Federal de Educação da Paraíba / Departamento de Ensino Superior / Coordenação do Curso Superior de Bacharelado em Engenharia Civil, 2024.

Orientação : Prof. Me. Breno José Santos da Silva.

1. Estrutura - lajes. 2. Esforços internos. 3. Deslocamentos.
4. Estabilidade. 5. Software TQS. I. Título.

CDU 624.01:004.41(043)

 INSTITUTO FEDERAL Paraíba	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba CAMPUS JOÃO PESSOA
---	--

DECISÃO 22/2024 - CBEC/UA1/UA/DDE/DG/JP/REITORIA/IFPB, de 10 de outubro de 2024.

ELIAQUIM RODRIGUES PEREIRA

ANÁLISE DE DIFERENTES CONFIGURAÇÕES ESTRUTURAIS DE LAJES EM EDIFÍCIO RESIDENCIAL USANDO O SOFTWARE TQS

	Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Bacharelado em Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba como requisito curricular para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil
--	--

Aprovado em 03 de outubro de 2024

Banca Examinadora

Me. Breno José Santos da Silva (Orientador - IFPB)

Me. Whelson Oliveira de Brito (Examinador Interno - IFPB)

Dra. Ana Cláudia Leão Borges (Examinadora Interna - IFPB)

JOÃO PESSOA

2024

Documento assinado eletronicamente por:

- Breno Jose Santos da Silva PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 10/10/2024 14:36:55.
- Whelson Oliveira de Brito, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 11/10/2024 16:55:37.
- Ana Claudia Leao Borges, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 11/10/2024 19:47:54.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 07/10/2024. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifpb.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código: 615367
Verificador: 06ebd241b6
Código de Autenticação:



NOSSA MISSÃO: Ofertar a educação profissional, tecnológica e humanística em todos os seus níveis e modalidades por meio do Ensino, da Pesquisa e da Extensão, na perspectiva de contribuir na formação de cidadãos para atuarem no mundo do trabalho e na construção de uma sociedade inclusiva, justa, sustentável e democrática.

VALORES E PRINCÍPIOS: Ética, Desenvolvimento Humano, Inovação, Qualidade e Excelência, Transparência, Respeito, Compromisso Social e Ambiental.

A Deus toda a glória!

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me permitido chegar até aqui, também agradeço à minha família, meus amigos, professores, meu orientador, colegas de classe e em especial minha amada noiva pelo apoio constante e contínuo durante toda a graduação e na redação deste trabalho.

"Consagre ao Senhor tudo o que você faz, e os seus planos serão bem-sucedidos!"

Provérbios 16:3 NVI

RESUMO

A variação dos tipos de laje pode impactar diretamente os esforços e respectivos efeitos em uma estrutura, esse trabalho se propôs a analisar a variação dos tipos de laje em um projeto estrutural e comparar os resultados nas lajes maciça, treliçada e nervurada, levando em consideração os resultados de momentos fletores, esforços cortantes, deslocamentos laterais e estabilidade global da estrutura, bem como a variação dos quantitativos de aço e concreto. Foi observado que o gasto com aço e concreto diminui nas soluções treliçada e nervurada, houve uma redução nos esforços cortantes e momentos fletores em comparação com a laje maciça, o que explica o menor consumo de material, mas as flechas nos elementos estruturais cresceram. Nas três opções houve deslocamentos laterais dentro dos limites aceitáveis e valores de parâmetros de estabilidade global aceitáveis; além disto, pudemos concluir que a opção treliçada é a melhor opção para esta arquitetura específica.

Palavras-chave: Estrutura; Esforços internos; Deslocamentos; Estabilidade; Lajes.

ABSTRACT

The variation of slab types can directly impact the stresses and their respective effects on a structure. This work aimed to analyze the variation of slab types in a structural project and compare the results in solid, lattice and ribbed slabs, taking into account the bending moments, shear forces, lateral displacements and global stability of the structure, as well as the variation in the quantities of steel and concrete. It was observed that the expenditure on steel and concrete decreased in the lattice and ribbed solutions, there was a reduction in shear forces and bending moments compared to the solid slab, which explains the lower consumption of material, but the deflections in the structural elements increased. In the three options there were lateral displacements within acceptable limits and acceptable values of global stability parameters; in addition, we were able to conclude that the lattice option is the best option for this specific architecture.

Key words: Structure; Internal stresses; Displacements; Stability; Slabs.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Momento fletor.....	23
Figura 2 - Esforço cortante.....	23
Figura 3 - Laje Treliçada	24
Figura 4 - Laje Maciça.....	30
Figura 5 - Laje Nervurada	36
Figura 6 - Projeto Arquitetônico.....	42
Figura 7 - Corte esquemático.....	42
Figura 8 - Modelo estrutural do edifício.....	43
Figura 9 - Classe de Agressividade	43
Figura 10 - Cobrimentos.....	44
Figura 11 – Gráfico das Isopletas.....	44
Figura 12 - Fator do terreno.....	45
Figura 13 - Categoria de rugosidade	45
Figura 14 - Classe da edificação.....	45
Figura 15 - Fator estatístico	46
Figura 16 - Ábaco do coeficiente de arrasto.....	47
Figura 17 - Coeficientes de arrasto.....	47
Figura 18 - Pavimento tipo com laje maciça	48
Figura 19 - Pavimento coberta com laje maciça	49
Figura 20 - Pavimento tipo com laje nervurada	49
Figura 21 - Pavimento coberta com laje nervurada.....	50
Figura 22 - Pavimento tipo com laje treliçada.....	50
Figura 23 - Pavimento coberta com laje treliçada	51
Figura 24 - Pavimento baldrame comum	51
Figura 25 – Momento fletor e esforço cortante na viga 08 - Projeto com laje maciça.....	53
Figura 26 – Momento fletor e esforço cortante na viga 11 - Projeto com laje maciça.....	53
Figura 27 – Momento fletor e esforço cortante na viga 21 - Projeto com laje maciça.....	54
Figura 28 - Momento fletor no pórtico espacial com lajes maciças.....	54
Figura 29 - Esforço cortante no pórtico espacial com lajes maciças.....	55
Figura 30 - Deslocamentos no pórtico espacial com lajes maciças.....	55

Figura 31 - Momento fletor e esforço cortante na viga 08 – Projeto com laje nervurada.....	56
Figura 32 - Momento fletor e esforço cortante na viga 11 – Projeto com laje nervurada.....	56
Figura 33 - Momento fletor e esforço cortante na viga 21 – Projeto com laje nervurada.....	57
Figura 34 - Momento fletor no pórtico espacial com lajes nervuradas	57
Figura 35 - Esforço cortante no pórtico espacial com lajes nervuradas	58
Figura 36 - Deslocamentos no pórtico espacial com lajes nervuradas	58
Figura 37 - Momento fletor e esforço cortante na viga 08 – Projeto com laje treliçada	59
Figura 38 - Momento fletor e esforço cortante na viga 11 – Projeto com laje treliçada	59
Figura 39 - Momento fletor e esforço cortante na viga 21 – Projeto com laje treliçada	59
Figura 40 - Momento fletor no pórtico espacial com lajes treliçadas	60
Figura 41 - Esforço cortante no pórtico espacial com lajes treliçadas	60
Figura 42 - Deslocamentos no pórtico espacial com lajes treliçadas	61
Figura 43 - Comparação dos momentos fletores positivos na viga 08.....	62
Figura 44 - Comparação dos momentos fletores positivos na viga 11.....	62
Figura 45 - Comparação dos momentos fletores positivos na viga 21.....	63
Figura 46 - Comparação dos momentos fletores negativos na viga 08.....	63
Figura 47 - Comparação dos momentos fletores negativos na viga 11.....	64
Figura 48 - Comparação dos momentos fletores negativos na viga 21.....	64
Figura 49 - Comparação de esforços cortantes positivos na viga 08	66
Figura 50 - Comparação de esforços cortantes positivos na viga 11	66
Figura 51 - Comparação de esforços cortantes positivos na viga 21	67
Figura 52 - Comparação de esforços cortantes negativos na viga 08.....	67
Figura 53 - Comparação esforços cortantes negativos na viga 11	68
Figura 54 - Comparação esforços cortantes negativos na viga 21	68
Figura 55 - Consumo de Aço.....	69
Figura 56 - Consumo de concreto.....	69

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Cargas Variáveis.....	22
Tabela 2 - Valores de KL de referência.....	26
Tabela 3 - Valores de $\rho_{\text{mín}}$	27
Tabela 4 - Tensão máxima convencional de cisalhamento de cálculo para concretos de classes até C50 (kN/cm ²).....	28
Tabela 5 - Reações de apoio para os casos 3, 4A e 4B.....	31
Tabela 6 - Reações de apoio para os casos 5A, 5B e 6.....	32
Tabela 7 - Momentos Fletores para os casos 3, 4A e 4B.....	33
Tabela 8 - Momentos fletores para os casos 5A, 5B e 6	34
Tabela 9 - Flechas das lajes para diversos casos	35
Tabela 10 - Momentos fletores comparados.....	61
Tabela 11 - Esforços cortantes comparados	65
Tabela 12 - Consumo de Material	69
Tabela 13 - Parâmetros de estabilidade global	70
Tabela 14 - Flecha máxima nas lajes.....	70
Tabela 15 - Flecha máxima nas vigas.....	70
Tabela 16 - Deslocamentos horizontais no topo do edifício	71
Tabela 17 - Deslocamentos horizontais entre pisos.....	71
Tabela 18 - Carga máxima nas fundações	71

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	16
2. OBJETIVOS.....	18
2.1 Objetivo Geral.....	18
2.2 Objetivos Específicos	18
3. REFERENCIAL TEÓRICO.....	19
3.1 Ações	19
3.1.1 Definição de ações	19
3.1.2 Classificação das ações	19
3.1.3 Ações presentes nesse estudo de caso	19
3.2 Momento Fletor	22
3.3 Esforço Cortante	23
3.4 Definição de Laje.....	23
3.5 Laje treliçada.....	24
3.5.1 Dimensionamento.....	25
3.5.1.1 Pré-dimensionamento	25
3.5.1.2 Cálculo do momento máximo	25
3.5.1.3 Cálculo da armadura de flexão	26
3.5.1.4 Cálculo da armadura de flexão mínima.....	26
3.5.1.5 Verificação de cisalhamento conforme o critério de laje maciça	27
3.5.1.6 Cálculo de armadura de cisalhamento conforme o critério de viga	28
3.5.1.7 Cálculo de flecha máxima para laje armada em uma direção	29
3.6 Laje maciça.....	29
3.6.1 Dimensionamento.....	30
3.6.1.1 Determinação das reações de apoio.....	31

3.6.1.2	Determinação dos momentos fletores.....	32
3.6.1.3	Determinação de armaduras	34
3.6.1.4	Análise da Flecha.....	34
3.7	Laje nervurada	35
3.8	Parâmetros de estabilidade global.....	36
3.8.1	Parâmetro α	36
3.8.2	Parâmetro γ_z	37
3.8.2	Parâmetro F_{avt}	38
3.9	Deslocamentos laterais	38
3.10	Impacto do tipo de laje no custo da estrutura	39
3.10	Software TQS	39
3.11	Aço.....	40
3.12	Concreto.....	40
3.13	Concreto Armado.....	40
3.14	Quantitativo	40
4.	METODOLOGIA.....	42
4.1	Modelagem do edifício no TQS.....	42
4.1.1	Definição de parâmetros iniciais	42
4.1.2	Pré-dimensionamento.....	52
4.1.3	Extração de quantitativos	52
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	52
5.1	Resultados da laje maciça	52
5.1.1	Esforços nas vigas	52
5.1.2	Esforços no pórtico.....	54
5.2	Resultados da laje nervurada	55

5.2.1 Esforços nas vigas	55
5.2.2 Esforços no Pórtico	57
5.3 Resultados da laje treliçada.....	58
5.3.1 Esforços nas vigas	58
5.3.1 Esforços no pórtico.....	60
5.4 Resultados comparados.....	61
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	72
REFERÊNCIAS	73

1. INTRODUÇÃO

Com o surgimento das soluções computacionais de cálculo estrutural a concepção arquitetônica passou a adotar vãos mais ousados, formas geométricas atípicas, entre outros aspectos, isto demandou da engenharia civil soluções viáveis a nível de projeto, como também a nível de orçamento e que sejam passíveis de execução adequada. Em décadas recentes foram propostas as soluções das lajes treliçadas e nervuradas para que com a redução do peso da estrutura haja significativa redução do carregamento, bem como redução no uso de concreto, em especial nas zonas de tração do material concreto armado, de modo a buscar uma redução no consumo de aço naquela estrutura.

O cálculo estrutural é de extrema importância para o processo de construção de um edifício por várias razões, ele permite ao responsável técnico desenvolver uma estrutura adequada de modo a permitir que o edifício não venha a sofrer ruptura devido as cargas de vento, neve, impacto de veículos, peso próprio, terremotos, entre outros, bem como na prevenção de fissuras no estado limite de serviço que possam facilitar a proliferação de patologias e problemas estéticos e assim garantindo não apenas a estabilidade da estrutura, mas também a sua durabilidade no tempo, dentro dos padrões mínimos exigidos pelas legislações e padrões normativos vigentes. O cálculo também auxilia que tal segurança seja garantida sem superdimensionar a estrutura, isto é, com o menor gasto possível de materiais, sendo, portanto, uma construção segura, mas eficiente do ponto de vista econômico, dado que a estrutura do edifício custa de 14% a 22% do custo total da obra, conforme Xavier (2008), e que o mercado de construção civil é marcado por alto grau de competitividade.

Donin (2007) observa que existem várias metodologias de cálculo de lajes desenvolvidas ao longo do tempo, como o método dos pórticos bidimensionais, a teoria das placas, a analogia de grelha e o método dos elementos finitos.

De acordo com Bastos (2005) a teoria das placas foi “desenvolvida com base na teoria matemática da elasticidade, onde o material é elástico linear (vale a Lei de Hooke), homogêneo e isótropo”, assim Lagrange, em 1881, desenvolveu a equação diferencial das placas e a partir da resolução desta equação foram desenvolvidas tabelas, como as de Czerny e Pinheiro, de modo a facilitar o cálculo manual de lajes.

Silva et al (2019) observam que o método de analogia de grelha foi usado pela primeira vez por Marcus em 1932, este método gera uma malha de vigas equivalente, seccionando a laje em várias partes e aplicando os carregamentos diretamente nas vigas teóricas equivalentes. Devido sua alta precisão é um método muito utilizado pelos softwares computacionais até os dias de hoje.

Silva et al (2019) também comentam que o método dos pórticos equivalentes segue de um modo semelhante, mas ao invés de transformar a laje numa malha de vigas, ela divide a laje em várias faixas e toma o pórtico equivalente ortogonal em cada faixa.

O surgimento dos programas computacionais como SAP, TQS e outros *softwares*, bem como o aumento do poder dos processadores nos computadores abriu um leque de possibilidades para diferentes geometrias, vãos, bem como diferentes métodos de cálculo, incluindo métodos mais precisos como o método dos elementos finitos e o método dos volumes finitos.

A escolha do tipo de laje que será adotada no projeto depende de vários critérios ainda na fase de projeto, em certas situações a arquitetura requer um tamanho dos vãos que só pode ser atingido a partir de modelos de laje treliçada e nervurada, ou requer o não-uso de vigas (seja através da laje lisa ou substituindo as vigas pelo uso de capitel em lajes cogumelo), noutros momentos quando vai haver repetição de pavimentos é importante considerar a questão da reutilização das formas que pode favorecer o uso de um certo tipo de laje, de modo a buscar a solução mais econômica, sem abrir mão da segurança e do cumprimento dos requisitos arquitetônicos.

Existem também aspectos construtivos que também influenciam a escolha do tipo de laje, as lajes nervuradas unidirecionais ou bidirecionais precisam de um período menor para desforma que a laje maciça, reduzindo o tempo de obra, mas requer mão-de-obra mais especializada; além disso, às vezes as lajes nervuradas dispensam escoramento e a reutilização de cubetas pode acontecer, mas nem todo material de enchimento permite isso, como é o caso do EPS.

Neste estudo avaliou-se uma construção residencial em particular e como as diferentes soluções impactariam os quantitativos de aço e concreto e a viabilidade do ponto de vista estrutural.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O presente trabalho tem como objetivo analisar o impacto nos esforços, efeitos como momento fletor e esforço cortante, deslocamentos, impacto na estabilidade global do edifício e no consumo de aço e concreto nos pilares, vigas e lajes para uma arquitetura específica, considerando diferentes soluções de lajes: maciça, treliçada e nervurada.

2.2 Objetivos Específicos

- Realizar um estudo sobre os esforços de momento fletor e esforço cortante, aspectos de estabilidade global e deslocamentos em uma estrutura.
- Efetuar uma revisão bibliográfica sobre as lajes maciças, treliçadas e nervuradas, seu dimensionamento e seus respectivos impactos no consumo de aço e concreto.
- Desenvolver três projetos estruturais para uma mesma arquitetura – um com laje maciça, outro com laje nervurada bidimensional e outro com laje nervurada treliçada unidimensional.
- Obter os resultados de estabilidade global, deslocamentos, esforços, flechas e consumo de concreto e aço nas vigas, pilares e lajes, dadas as diferentes configurações de lajes propostas.
- Fazer uma análise comparativa das diferentes configurações de lajes propostas considerando os resultados dos momentos fletores, esforços cortantes e das flechas em alguns elementos estruturais do edifício, bem como da estabilidade global, deslocamentos laterais e quantitativos de aço e concreto.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Ações

3.1.1 Definição de ações

São as cargas aplicadas na estrutura, que se dividem em ações permanentes, variáveis e excepcionais, conforme a NBR 6120:2019.

3.1.2 Classificação das ações

- Ações permanentes

São as ações que serão aplicadas constantemente em toda a vida útil da estrutura, como o peso próprio da estrutura, o empuxo permanente da água, a retração do concreto, fluência do concreto, deslocamentos dos apoios, entre outros esforços.

- Ações variáveis

São aquelas ações cuja aplicação é comum, mas varia de acordo com o tempo, são exemplos disso as cargas verticais de utilização da edificação, cargas móveis, frenagem e aceleração, força do vento, ação da água em reservatórios, vibrações de motobombas, entre outras cargas.

- Ações excepcionais

São ações raramente aplicadas à estrutura, como impactos laterais de automóveis.

3.1.3 Ações presentes nesse estudo de caso

Neste trabalho as cargas foram calculadas conforme o trabalho de Bastos (2023) e foram consideradas comuns a todos os projetos, exceto a carga de peso próprio da estrutura que será calculada individualmente para cada solução de laje.

- Contrapiso

O contrapiso é construído a partir de argamassa de cimento e areia, segundo a ABNT NBR 6120:2019 tal produto tem um peso específico de 21 kN/m^3 . Considerando uma espessura de contrapiso de 3 cm, obtivemos a carga do contrapiso conforme a equação 1:

$$pcp = \gamma_{cp} * H \quad (1)$$

Sendo:

- γ_{cp} : peso específico do contrapiso;
 - H: espessura do contrapiso;
 - pcp: peso do contrapiso.
- Piso

O piso é construído com um elemento de preferência do cliente, neste caso foi escolhido o porcelanato, cujo peso específico em norma é de 23 kN/m³. Considerando a espessura média de 10 mm para o piso de porcelanato e usando a equação 2 obtivemos o peso próprio do piso.

$$pps = \gamma_{ps} * H \quad (2)$$

Sendo:

- γ_{ps} : peso específico do piso;
- H: espessura do piso;
- Pps: peso do piso.

- Paredes

O peso da alvenaria depende do tipo de material utilizado (podendo ser drywall, bloco cerâmico, entre outros materiais), neste estudo de caso tomamos o bloco cerâmico vazado de 14 cm como padrão. Assim, a carga da alvenaria, ficou como se segue, considerando o peso específico de 1,9 kN/m² conforme a ABNT NBR 6120:2019. Assim o peso da alvenaria, considerando altura de 2,80m, foi dado conforme a equação 3.

$$pp = \gamma_{pp} * H * e \quad (3)$$

Sendo:

- γ_{pp} : peso específico da alvenaria;
- e: espessura da alvenaria;
- pp: peso da alvenaria.
- H: altura da alvenaria;
- Peso Próprio

O peso próprio de uma estrutura de concreto armado para laje é determinado pelo peso específico do material multiplicado pela área no qual ele é aplicado.

a) Laje Maciça

Considerando o peso específico do concreto armado 25 kN/m³ e a espessura da laje de acordo com o exposto no projeto, então o peso próprio da laje foi calculado conforme a equação 4.

$$plm = \gamma_{ca} * e \quad (4)$$

Sendo:

- γ_{ca} : peso específico do concreto armado;
- e: espessura da laje;

- plm: peso próprio da laje maciça.

b) Laje Treliçada

Tomando que o peso específico da vigota e da mesa é o peso específico do concreto armado, isto é, 25 kN/m² e que o peso específico do enchimento adotado é 0,30 kN/m³, dado que adotamos o enchimento de EPS unidirecional na laje treliçada, foi encontrado o peso próprio da laje treliçada utilizando-se da equação 5.

$$pl_t = \frac{\gamma_{ca} * (EE * capa + L_v * h_{eps}) + \gamma_{eps} * h_{eps} * (EE - L_v)}{EE} \quad (5)$$

Sendo:

- γ_{ca} : peso específico do concreto armado;
- EE: distância entre eixos das vigotas;
- capa: espessura da capa;
- L_v : Largura da vigota;
- h_{eps} : Altura do material de enchimento;
- γ_{eps} : peso específico do EPS;
- pl_t : peso próprio da laje treliçada unidirecional.

c) Laje Nervurada

Tomando que o peso específico da vigota e da mesa é o peso específico do concreto armado, isto é, 25 kN/m² e que o peso específico das formas adotadas é 9,1 kN/m³ e dado que adotamos formas de polipropileno Atex na laje nervurada bidirecional, foi obtido o peso próprio da laje nervurada bidirecional conforme a equação 6.

$$pl_n = \frac{\gamma_{ca} * (z * y * capa + y * (z - EE) * 4 * h_{atex}) + \gamma_{atex} * (2EE - y) * h_{atex} * (2EE - z)}{z * y} \quad (6)$$

Sendo:

- γ_{ca} : peso específico do concreto armado;
- EE: distância entre eixos das vigotas;
- capa: espessura da capa;
- z: largura da área considerada da laje;
- y: comprimento da área considerada da laje;
- h_{atex} : Altura da forma de enchimento;

- γ_{atex} : peso específico do da forma de polipropileno;
- p_{ln} : peso próprio da laje nervurada bidirecional.

- Carga de revestimento de paredes

Neste caso foi escolhido o porcelanato, cujo peso específico em norma é de 23 kN/m³, com espessura entre 8 e 12 mm, sendo, bastando ser multiplicado pela área da parede.

- Cargas variáveis

As cargas variáveis foram aplicadas conforme a NBR 6120:2019, exposto na tabela 1.

Tabela 1 - Cargas Variáveis

Local	Carga uniformemente distribuída (kN/m²)
Residencial	2,5
Corredores de uso comum	3
Elevador	50
Valores extraídos da NBR 6120:2019	

Fonte: Autoria Própria

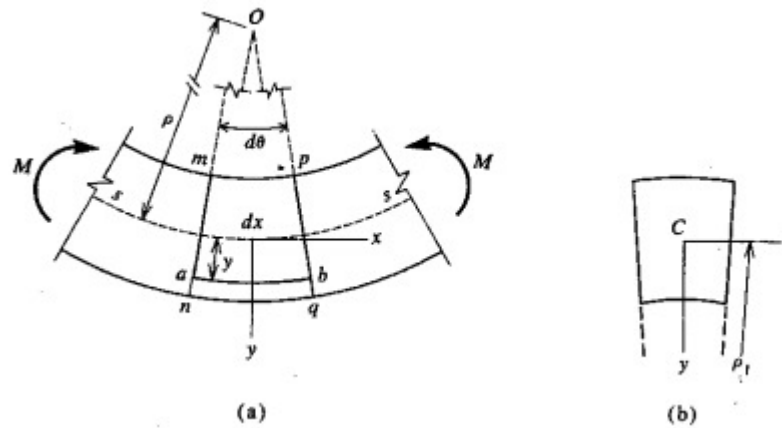
3.2 Momento Fletor

A flexão se dá quando uma força perpendicular ao elemento provoca diferentes esforços nas regiões superiores e inferiores à linha neutra. Abaixo da linha neutra a flexão forma esforços de tração e acima da linha neutra ela forma esforços de compressão, caracterizando assim a flexão, conforme se observa na figura 1.

Timoshenko e Gere (1983) comenta que:

As deformações decorrentes da flexão fazem então que as seções transversais mn e pq girem, uma em relação à outra, em torno de eixos normais ao plano xy, de modo que as fibras longitudinais no lado convexo da viga, sejam alongadas e as do lado côncavo, encurtadas. Portanto as fibras da parte superior da viga estão sob compressão, e as do lado inferior sob tração. Em algum ponto [a linha neutra] entre as partes superior e inferior da viga, há uma superfície em que as fibras longitudinais não sofrem variação no comprimento.

Figura 1 – Momento fletor

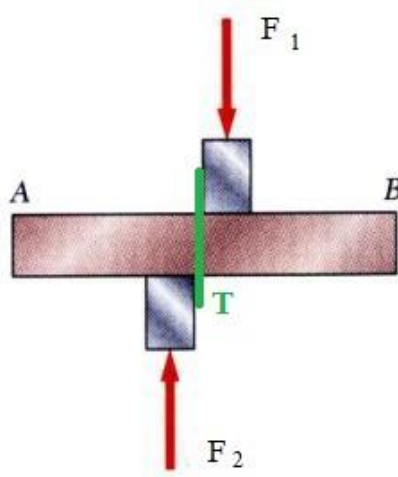


Fonte: Timoshenko e Gere (1983)

3.3 Esforço Cortante

Quando duas seções de um mesmo elemento são sujeitas a duas forças em direções opostas de modo a haver atrito entre os planos de contato pode-se visualizar uma tensão de cisalhamento, isto é, uma tensão tangente aos planos paralelos à força aplicada, como se vê na figura 2, e isso caracteriza o esforço cortante.

Figura 2 - Esforço cortante



Fonte: Silva et al (2019)

3.4 Definição de Laje

Segundo a ABNT NBR 6118:2023, no item 14.4.2.1, as lajes ou placas são elementos de superfície plana, sujeitos principalmente a ações normais a seu plano, recebendo diretamente assim a maior parte das cargas de utilização, além da sua própria.

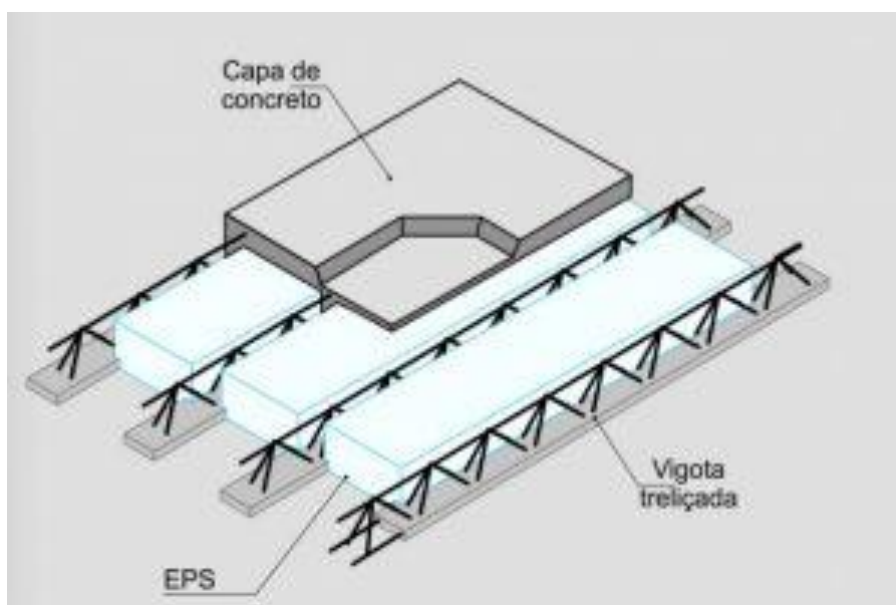
Elas possuem duas dimensões com ordem de grandeza altamente superior à da terceira dimensão. Ao receberem as cargas, transmitem-nas comumente às vigas ou noutros casos diretamente aos pilares, que por sua vez encaminharão essas cargas para a fundação e finalmente esta distribui a carga no solo.

3.5 Laje treliçada

Define-se como laje treliçada:

A laje nervurada unidirecional, plana, composta por elementos pré-moldados, constituídos de armaduras em forma de treliça e blocos de concreto, cerâmicos ou de isopor (EPS) como elementos de enchimento, mais uma capa de concreto para complementação e solidarização do sistema, moldada "in loco". (Gonzalez 1997, p. 83).

Figura 3 - Laje Treliçada



Fonte: Axial Engenharia (2017)

As lajes treliçadas, como vistas na figura 3, proporcionam um menor custo para pequenas edificações devido ao menor consumo de concreto, aço, formas e escoramentos, além disso essa mesma redução no consumo de concreto permite que o peso próprio da estrutura seja reduzido, assim reduzindo os esforços sobre a estrutura e seus respectivos efeitos, como momento fletor e esforço cortante; Sobre a liberdade arquitetônica face ao projeto estrutural a laje treliçada é importante porque permite vãos maiores que aqueles da laje maciça.

Todavia, as lajes treliçadas proporcionam uma menor liberdade para balanços, além disso, as lajes maciças além de possuírem sua função típica de receberem as cargas, trazem consigo como efeito colateral positivo uma contribuição no travamento dos deslocamentos da edificação a um nível global, quando substituídas pelas lajes treliçadas há uma perda parcial dessa propriedade devido os vazios adicionados e assim diminuindo o impacto da laje agir como

um diafragma rígido que enrijece a estrutura, deste modo afetando a estabilidade global do edifício.

3.5.1 Dimensionamento

Segundo a NBR 6118:2023 para o projeto de lajes nervuradas (a treliçada é uma laje nervurada unidirecional), devem ser obedecidas as seguintes condições:

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

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

c) para lajes nervuradas com espaçamento entre eixos de nervuras maior que 110 cm, a mesa deve ser projetada como laje maciça, apoiada na grelha de vigas, respeitando-se os seus limites mínimos de espessura.” (NBR ABNT 6118:2023, p.75)

Neste estudo de caso, a laje estudada se encaixou no caso “a”, vê-se a seguir o procedimento da literatura para o cálculo neste caso, conforme Porto e Fernandes (2015).

Para fins de cálculo manual são feitas algumas simplificações:

- i) A laje pré-moldada unidirecional é considerada simplesmente apoiada.
- ii) A contribuição do concreto na zona tracionada é desprezada (o concreto armado é considerado no estágio II).
- iii) Cada viga treliçada irá receber metade da carga aplicada sobre a mesa.

3.5.1.1 Pré-dimensionamento

A espessura da mesa deve ser determinada de acordo com o item 13.2.4.2 da NBR 6118:2023, que diz:

“A espessura da mesa, quando não existem tubulações horizontais embutidas, deve ser maior ou igual a $1/15$ da distância entre as faces das nervuras (l_0) e não menor que 4 cm.

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

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

Nervuras com espessura menor que 8 cm não podem conter armadura de compressão.” (NBR ABNT 6118:2023, p.74)

3.5.1.2 Cálculo do momento fletor máximo

De acordo com Porto e Fernandes (2015, p. 91) as nervuras devem ser dimensionadas como um conjunto de vigas, assim temos a equação 7 para o momento fletor máximo de uma viga de concreto armado simplesmente apoiada.

$$M = \frac{q * L^2}{8} \quad (7)$$

Sendo:

- M: momento fletor máximo
- q: metade da carga aplicada na mesa entre as nervuras
- L: menor vão

3.5.1.3 Cálculo da armadura de flexão

De acordo com Porto e Fernandes (2015), a armadura de flexão pode ser calculada utilizando-se do seguinte procedimento de cálculo, primeiro é necessário calcular o parâmetro K e compará-lo com um K_L de referência conforme as equações 8 e 9, estando o K_L de referência na tabela 2.

$$K = \frac{1,4 * M}{f_c * b * d^2} \quad (8)$$

$$\begin{cases} K \leq K_L & \rightarrow K' = K \\ K > K_L & \rightarrow K' = K_L \end{cases} \quad (9)$$

Tabela 2 - Valores de K_L de referência

≤C50	C55	C60	C65	C70	C75	C80	C85	C90
0,295	0,238	0,234	0,231	0,228	0,225	0,222	0,218	0,215

Fonte: Porto e Fernandes (2015)

Tomando o valor de K adotado na equação 9 se torna possível aplicá-lo na equação 10 para se obter a taxa de armadura.

$$As \geq As_1 + As_2 \quad \left\{ \begin{array}{l} As_1 = \frac{f_c * b * d}{f_{yd}} * (1 - \sqrt{1 - 2K'}) \\ As_2 = \frac{f_c * b * d}{f_{yd}} * \frac{(K - K')}{1 - (\frac{d'}{d})} \end{array} \right. \quad (10)$$

3.5.1.4 Cálculo da armadura de flexão mínima

A quantidade de armadura mínima depende das taxas mínimas de armadura para vigas, conforme a tabela 3.

Tabela 3 - Valores de ρ_{\min}

Forma da seção	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50
Retangular	0,150	0,150	0,150	0,164	0,179	0,194	0,208

Fonte: Porto e Fernandes (2015)

De posse do valor de ρ_{\min} , aplica-se o mesmo na equação 11 e obtém-se a quantidade de armadura mínima.

$$A_s \text{ mínimo} = \rho_{\min} * A_c \quad (11)$$

Sendo:

- A_c : Área da seção de concreto.

3.5.1.5 Verificação de cisalhamento conforme o critério de laje maciça

Conforme a NBR 6118:2023 “As lajes maciças ou nervuradas podem prescindir de armadura transversal para resistir as forças de tração oriundas da força cortante”, isso acontece quando a força cortante de cálculo, a uma distância “d” da face do apoio, obedece a equação 12.

$$V_{sd} \leq V_{rd1} \quad (12)$$

Sendo V_{sd} a força cortante solicitante e V_{rd1} calculado conforme a equação 13.

$$V_{rd1} = [\tau_{rd} * k * (1,2 + 40\rho_1) + 0,15 * \sigma_{cp}] * b_w * d \quad (13)$$

Para tal precisamos calcular o τ_{rd} de acordo com a equação 14, σ_{cp} conforme a equação 15, ρ_1 conforme a equação 16 e k conforme a equação 17.

$$\tau_{rd} = \frac{0,25 * f_{ck}}{0,85 * 1,4} \quad (14)$$

$$\sigma_{cp} = \frac{N_{sd}}{A_c} \quad (15)$$

$$\rho_1 = \frac{N_{sd}}{A_c} \quad (16)$$

$$k = \begin{cases} 1, & \text{quando 50\% da armadura inferior não chega até o apoio} \\ |1,6 - d|, & \text{para os demais casos, com } k > 1 \text{ e com } d \text{ em metros} \end{cases} \quad (17)$$

Sendo:

- V_{sd} : Esforço cortante solicitante;

- V_{rd1} : Esforço cortante resistente de cálculo;
- N_{sd} : Esforço normal solicitante;
- A_c : Área de concreto;
- b_w : menor eixo da laje;
- d : distância entre a face superior da laje e o eixo da armadura tracionada mais externa.

Desse modo, é possível determinar se há necessidade de armadura de cisalhamento adicional, em caso positivo, usa-se o mesmo método de cálculo para armadura de cisalhamento que é utilizado nas vigas.

3.5.1.6 Cálculo de armadura de cisalhamento

O cálculo de armadura mínima segue a equação 18.

$$A_{s,min} = \rho_{w,min} * b_w \quad (18)$$

Para concretos de classes até C50 o $\rho_{w,min}$ segue a equação 19.

$$\rho_{w,min} = 0,012 * f_{ck}^{2/3} \quad (19)$$

Agora, precisamos comparar com o cálculo de armadura de cisalhamento para o carregamento da estrutura, iniciando com o cálculo da tensão convencional de cisalhamento de cálculo conforme a equação 20.

$$\tau_{wd} = \frac{1,4 * V}{b_w * d} \quad (20)$$

O resultado da operação é comparado com a tensão de máxima de cisalhamento de cálculo (τ_{wd2}) conforme exposto na equação 21, de modo a garantir o não-esmagamento da biela comprimida de concreto. Os valores de τ_{wd2} para concretos de classes até C50 estão expostos na tabela 4.

$$\tau_{wd} \leq \tau_{wd2} \quad (21)$$

Tabela 4 - Tensão máxima convencional de cisalhamento de cálculo para concretos de classes até C50 (kN/cm²)

C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50
0,355	0,434	0,509	0,581	0,648	0,712	0,771

Fonte: Porto e Fernandes (2015)

Outra variável a ser considerada é a tensão convencional de cisalhamento referente a mecanismos complementares, para concretos de classes até C50 ela é calculada conforme a equação 22.

$$\tau_{co} = 0,009 * f_{ck}^{2/3} \quad (22)$$

A partir desses valores, se determina a área de aço conforme as equações 23 e 24.

$$A_{sw} = \rho_w * b_w \quad (23)$$

$$\rho_w = \frac{\tau_{wd} - \tau_{co}}{39,15} \quad (24)$$

3.5.1.7 Cálculo de flecha máxima para laje armada em uma direção

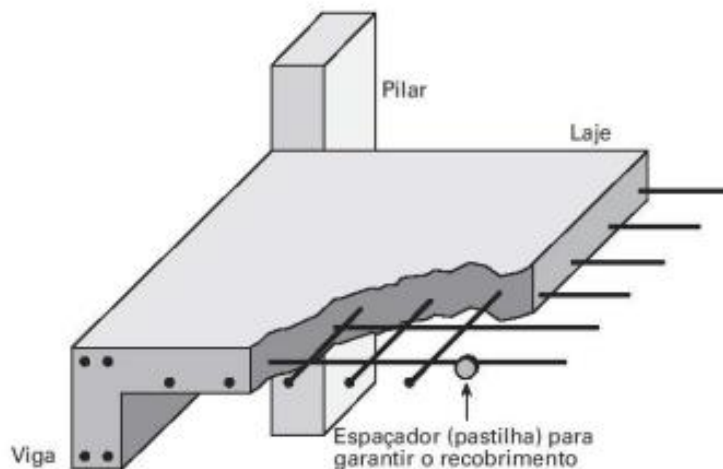
Por último é feita a análise da flecha conforme a equação 25, para garantir o estado limite de serviço do elemento estrutural, salientando que neste caso do cálculo manual, conforme Porto e Fernandes (2015), reduzimos o cálculo das vigas equivalentes para o cálculo da laje como de vigas simplesmente apoiadas, deste modo é possível calcular a flecha pela equação 25.

$$a_i = \frac{5 * q * L^4}{384EI} \quad (25)$$

3.6 Laje maciça

Segundo Lopes, Bono e Bono (2013) “as lajes maciças de concreto armado são placas de espessura uniforme composta por concreto, contendo armaduras longitudinais de flexão e eventualmente armaduras transversais, e apoiadas em vigas ou paredes [estruturais] ao longo das bordas”, como vemos na figura 4.

Figura 4 - Laje Maciça



Fonte: Concreto armado eu te amo vol.1

Como observa Lopes (2012) as lajes maciças proporcionam como efeito colateral positivo um maior enrijecimento da estrutura, contribuindo para a estabilidade global devido operar como diagrama rígido, redistribuindo os carregamentos do vento e os respectivos deslocamentos de modo aproximadamente uniforme no pórtico espacial. Além disso, as lajes maciças proporcionam maior resistência a trincas e fissuras relativas ao estado limite de serviço, devido sofrer mudanças volumétricas como monobloco.

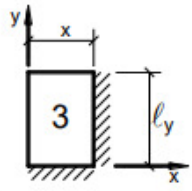
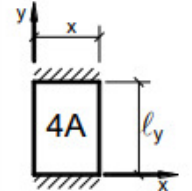
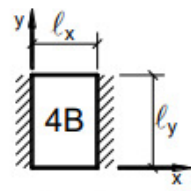
Lopes (2012) também visualiza que devido ter um maior consumo de concreto, a laje maciça é mais pesada que suas concorrentes, podendo assim elevar o custo com concreto, formas e escoramento, bem como causando um aumento nos esforços aplicados na estrutura. Dado que há concreto nas regiões de tração e em função do peso mais elevado esta opção geralmente limita o tamanho dos vãos, quando comparada com suas concorrentes (treliçada unidirecional e nervurada bidirecional).

3.6.1 Dimensionamento

Bastos (2023), adaptando o trabalho de Pinheiro, estabelece uma metodologia simplificada para dimensionamento de lajes maciças, para tal são dispostas uma série de tabelas que resolvem a equação de Lagrange para diferentes configurações de vãos e diferentes configurações de apoios das lajes. No nosso trabalho usamos as configurações 3, 4A, 4B, 5A, 5B e 6, que foram expostas abaixo nas tabelas 05, 06, 07, 08 e 09. Obtendo a partir delas os valores necessários, pudemos aplicar nas equações 26, 27 e 28 para obter as reações de apoio, momentos fletores e flechas, bem como obter a armadura por processo semelhante ao visto anteriormente.

3.6.1.1 Determinação das reações de apoio

Tabela 5 - Reações de apoio para os casos 3, 4A e 4B

REAÇÕES DE APOIO EM LAJES COM CARGA UNIFORME									
$\lambda = \frac{\ell_y}{\ell_x}$	Tipo								$\lambda = \frac{\ell_y}{\ell_x}$
									
	v_x	v'_x	v_y	v'_y	v_x	v'_y	v'_x	v_y	
1,00	2,17	3,17	2,17	3,17	1,44	3,56	3,56	1,44	1,00
1,05	2,27	3,32	2,17	3,17	1,52	3,66	3,63	1,44	1,05
1,10	2,36	3,46	2,17	3,17	1,59	3,75	3,69	1,44	1,10
1,15	2,45	3,58	2,17	3,17	1,66	3,84	3,74	1,44	1,15
1,20	2,53	3,70	2,17	3,17	1,73	3,92	3,80	1,44	1,20
1,25	2,60	3,80	2,17	3,17	1,80	3,99	3,85	1,44	1,25
1,30	2,63	3,90	2,17	3,17	1,88	4,06	3,89	1,44	1,30
1,35	2,73	3,99	2,17	3,17	1,95	4,12	3,93	1,44	1,35
1,40	2,78	4,08	2,17	3,17	2,02	4,17	3,97	1,44	1,40
1,45	2,84	4,15	2,17	3,17	2,09	4,22	4,00	1,44	1,45
1,50	2,89	4,23	2,17	3,17	2,17	4,25	4,04	1,44	1,50
1,55	2,93	4,29	2,17	3,17	2,24	4,28	4,07	1,44	1,55
1,60	2,98	4,36	2,17	3,17	2,31	4,30	4,10	1,44	1,60
1,65	3,02	4,42	2,17	3,17	2,38	4,32	4,13	1,44	1,65
1,70	3,06	4,48	2,17	3,17	2,45	4,33	4,15	1,44	1,70
1,75	3,09	4,53	2,17	3,17	2,53	4,33	4,18	1,44	1,75
1,80	3,13	4,58	2,17	3,17	2,59	4,33	4,20	1,44	1,80
1,85	3,16	4,63	2,17	3,17	2,63	4,33	4,22	1,44	1,85
1,90	3,19	4,67	2,17	3,17	2,72	4,33	4,24	1,44	1,90
1,95	3,22	4,71	2,17	3,17	2,78	4,33	4,26	1,44	1,95
2,00	3,25	4,75	2,17	3,17	2,83	4,33	4,28	1,44	2,00
> 2,00	4,38	6,25	2,17	3,17	5,00	4,33	5,00	1,44	> 2,00

Fonte: Bastos (2023)

Tabela 6 - Reações de apoio para os casos 5A, 5B e 6

REAÇÕES DE APOIO EM LAJES COM CARGA UNIFORME									
$\lambda = \frac{l_y}{l_x}$	Tipo								$\lambda = \frac{l_y}{l_x}$
	5A			5B			6		
	v_x	v'_x	v'_y	v'_x	v_y	v'_y	v'_x	v'_y	
1,00	1,71	2,50	3,03	3,03	1,71	2,50	2,50	2,50	1,00
1,05	1,79	2,63	3,08	3,12	1,71	2,50	2,62	2,50	1,05
1,10	1,88	2,75	3,11	3,21	1,71	2,50	2,73	2,50	1,10
1,15	1,96	2,88	3,14	3,29	1,71	2,50	2,83	2,50	1,15
1,20	2,05	3,00	3,16	3,36	1,71	2,50	2,92	2,50	1,20
1,25	2,13	3,13	3,17	3,42	1,71	2,50	3,00	2,50	1,25
1,30	2,22	3,25	3,17	3,48	1,71	2,50	3,08	2,50	1,30
1,35	2,30	3,36	3,17	3,54	1,71	2,50	3,15	2,50	1,35
1,40	2,37	3,47	3,17	3,59	1,71	2,50	3,21	2,50	1,40
1,45	2,44	3,57	3,17	3,64	1,71	2,50	3,28	2,50	1,45
1,50	2,50	3,66	3,17	3,69	1,71	2,50	3,33	2,50	1,50
1,55	2,56	3,75	3,17	3,73	1,71	2,50	3,39	2,50	1,55
1,60	2,61	3,83	3,17	3,77	1,71	2,50	3,44	2,50	1,60
1,65	2,67	3,90	3,17	3,81	1,71	2,50	3,48	2,50	1,65
1,70	2,72	3,98	3,17	3,84	1,71	2,50	3,53	2,50	1,70
1,75	2,76	4,04	3,17	3,87	1,71	2,50	3,57	2,50	1,75
1,80	2,80	4,11	3,17	3,90	1,71	2,50	3,61	2,50	1,80
1,85	2,85	4,17	3,17	3,93	1,71	2,50	3,65	2,50	1,85
1,90	2,89	4,22	3,17	3,96	1,71	2,50	3,68	2,50	1,90
1,95	2,92	4,28	3,17	3,99	1,71	2,50	3,72	2,50	1,95
2,00	2,96	4,33	3,17	4,01	1,71	2,50	3,75	2,50	2,00
> 2,00	4,38	6,25	3,17	5,00	1,71	2,50	5,00	2,50	> 2,00

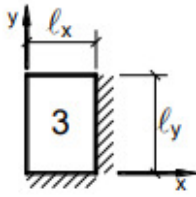
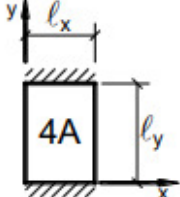
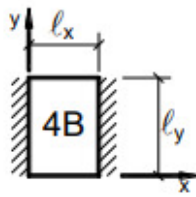
Fonte: Bastos (2023)

$$V = \frac{v * p * lx}{10} \quad (26)$$

Os valores de “v” foram extraídos das 1 e 2.

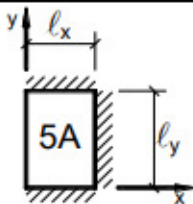
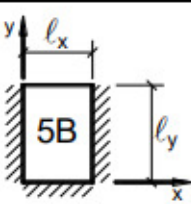
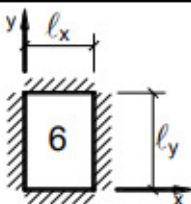
3.6.1.2 Determinação dos momentos fletores

Tabela 7 - Momentos Fletores para os casos 3, 4A e 4B

MOMENTOS FLETORES EM LAJES COM CARGA UNIFORME											
Tipo											Tipo
$\lambda = \frac{l_y}{l_x}$	μ_x	μ'_x	μ_y	μ'_y	μ_x	μ_y	μ'_y	μ_x	μ'_x	μ_y	$\lambda = \frac{l_y}{l_x}$
1,00	2,69	6,99	2,69	6,99	2,01	3,09	6,99	3,09	6,99	2,01	1,00
1,05	2,94	7,43	2,68	7,18	2,32	3,23	7,43	3,22	7,20	1,92	1,05
1,10	3,19	7,87	2,67	7,36	2,63	3,36	7,87	3,35	7,41	1,83	1,10
1,15	3,42	8,28	2,65	7,50	2,93	3,46	8,26	3,46	7,56	1,73	1,15
1,20	3,65	8,69	2,62	7,63	3,22	3,56	8,65	3,57	7,70	1,63	1,20
1,25	3,86	9,03	2,56	7,72	3,63	3,64	9,03	3,66	7,82	1,56	1,25
1,30	4,06	9,37	2,50	7,81	3,99	3,72	9,33	3,74	7,93	1,49	1,30
1,35	4,24	9,65	2,45	7,88	4,34	3,77	9,69	3,80	8,02	1,41	1,35
1,40	4,42	9,93	2,39	7,94	4,69	3,82	10,00	3,86	8,11	1,33	1,40
1,45	4,58	10,17	2,32	8,00	5,03	3,86	10,25	3,91	8,13	1,26	1,45
1,50	4,73	10,41	2,25	8,06	5,37	3,90	10,49	3,96	8,15	1,19	1,50
1,55	4,86	10,62	2,16	8,09	5,70	3,90	10,70	4,00	8,20	1,14	1,55
1,60	4,99	10,82	2,07	8,12	6,03	3,89	10,91	4,04	8,25	1,08	1,60
1,65	5,10	10,99	1,99	8,14	6,35	3,85	11,08	4,07	8,28	1,03	1,65
1,70	5,21	11,16	1,91	8,15	6,67	3,81	11,24	4,10	8,30	0,98	1,70
1,75	5,31	11,30	1,85	8,16	6,97	3,79	11,39	4,12	8,31	0,95	1,75
1,80	5,40	11,43	1,78	8,17	7,27	3,76	11,53	4,14	8,32	0,91	1,80
1,85	5,48	11,55	1,72	8,17	7,55	3,72	11,65	4,15	8,33	0,87	1,85
1,90	5,56	11,67	1,66	8,18	7,82	3,67	11,77	4,16	8,33	0,83	1,90
1,95	5,63	11,78	1,63	8,19	8,09	3,60	11,83	4,16	8,33	0,80	1,95
2,00	5,70	11,89	1,60	8,20	8,35	3,52	11,88	4,17	8,33	0,76	2,00
> 2,00	7,03	12,50	1,60	8,20	12,50	3,52	11,88	4,17	8,33	0,76	> 2,00

Fonte: Bastos (2023)

Tabela 8 - Momentos fletores para os casos 5A, 5B e 6

MOMENTOS FLETORES EM LAJES COM CARGA UNIFORME													
Tipo													Tipo
$\lambda = \frac{l_y}{l_x}$	μ_x	μ'_x	μ_y	μ'_y	μ_x	μ'_x	μ_y	μ'_y	μ_x	μ'_x	μ_y	μ'_y	$\lambda = \frac{l_y}{l_x}$
1,00	2,02	5,46	2,52	6,17	2,52	6,17	2,02	5,46	2,02	5,15	2,02	5,15	1,00
1,05	2,27	5,98	2,56	6,46	2,70	6,47	1,97	5,56	2,22	5,50	2,00	5,29	1,05
1,10	2,52	6,50	2,60	6,75	2,87	6,76	1,91	5,65	2,42	5,85	1,98	5,43	1,10
1,15	2,76	7,11	2,63	6,97	3,02	6,99	1,84	5,70	2,65	6,14	1,94	5,51	1,15
1,20	3,00	7,72	2,65	7,19	3,16	7,22	1,77	5,75	2,87	6,43	1,89	5,59	1,20
1,25	3,23	8,31	2,64	7,36	3,28	7,40	1,70	5,75	2,97	6,67	1,83	5,64	1,25
1,30	3,45	8,59	2,61	7,51	3,40	7,57	1,62	5,76	3,06	6,90	1,77	5,68	1,30
1,35	3,66	8,74	2,57	7,63	3,50	7,70	1,55	5,75	3,19	7,09	1,71	5,69	1,35
1,40	3,86	8,88	2,53	7,74	3,59	7,82	1,47	5,74	3,32	7,28	1,65	5,70	1,40
1,45	4,05	9,16	2,48	7,83	3,67	7,91	1,41	5,73	3,43	7,43	1,57	5,71	1,45
1,50	4,23	9,44	2,43	7,91	3,74	8,00	1,35	5,72	3,53	7,57	1,49	5,72	1,50
1,55	4,39	9,68	2,39	7,98	3,80	8,07	1,29	5,69	3,61	7,68	1,43	5,72	1,55
1,60	4,55	9,91	2,34	8,02	3,86	8,14	1,23	5,66	3,69	7,79	1,36	5,72	1,60
1,65	4,70	10,13	2,28	8,03	3,91	8,20	1,18	5,62	3,76	7,88	1,29	5,72	1,65
1,70	4,84	10,34	2,22	8,10	3,95	8,25	1,13	5,58	3,83	7,97	1,21	5,72	1,70
1,75	4,97	10,53	2,15	8,13	3,99	8,30	1,07	5,56	3,88	8,05	1,17	5,72	1,75
1,80	5,10	10,71	2,08	8,17	4,02	8,34	1,00	5,54	3,92	8,12	1,13	5,72	1,80
1,85	5,20	10,88	2,02	8,16	4,05	8,38	0,97	5,55	3,96	8,18	1,07	5,72	1,85
1,90	5,30	11,04	1,96	8,14	4,08	8,42	0,94	5,56	3,99	8,24	1,01	5,72	1,90
1,95	5,40	11,20	1,88	8,13	4,10	8,45	0,91	5,60	4,02	8,29	0,99	5,72	1,95
2,00	5,50	11,35	1,80	8,12	4,12	8,47	0,88	5,64	4,05	8,33	0,96	5,72	2,00
> 2,00	7,03	12,50	1,80	8,12	4,17	8,33	0,88	5,64	4,17	8,33	0,96	5,72	> 2,00

Fonte: Bastos (2023)

$$M = \frac{\mu * p * lx^2}{100} \quad (27)$$

Os valores de “ μ ” foram extraídos das tabelas 3 e 4.

3.6.1.3 Determinação de armaduras

Dadas as reações de apoio e momentos fletores, o cálculo da armadura segue as equações 8, 9 e 10.

3.6.1.4 Análise da Flecha

Tabela 9 - Flechas das lajes para diversos casos

FLECHAS EM LAJES COM CARGA UNIFORME – VALORES DE α									
$\lambda = \frac{\ell_y}{\ell_x}$	Tipo de Laje								
	1	2A	2B	3	4A	4B	5A	5B	6
1,00	4,76	3,26	3,26	2,46	2,25	2,25	1,84	1,84	1,49
1,05	5,26	3,68	3,48	2,72	2,60	2,35	2,08	1,96	1,63
1,10	5,74	4,11	3,70	2,96	2,97	2,45	2,31	2,08	1,77
1,15	6,20	4,55	3,89	3,18	3,35	2,53	2,54	2,18	1,90
1,20	6,64	5,00	4,09	3,40	3,74	2,61	2,77	2,28	2,02
1,25	7,08	5,44	4,26	3,61	4,14	2,68	3,00	2,37	2,14
1,30	7,49	5,88	4,43	3,80	4,56	2,74	3,22	2,46	2,24
1,35	7,90	6,32	4,58	3,99	5,01	2,77	3,42	2,53	2,34
1,40	8,29	6,74	4,73	4,15	5,41	2,80	3,62	2,61	2,41
1,45	8,67	7,15	4,87	4,31	5,83	2,85	3,80	2,67	2,49
1,50	9,03	7,55	5,01	4,46	6,25	2,89	3,98	2,73	2,56
1,55	9,39	7,95	5,09	4,61	6,66	2,91	4,14	2,78	2,62
1,60	9,71	8,32	5,18	4,73	7,06	2,92	4,30	2,82	2,68
1,65	10,04	8,68	5,22	4,86	7,46	2,92	4,45	2,83	2,73
1,70	10,34	9,03	5,26	4,97	7,84	2,93	4,59	2,84	2,77
1,75	10,62	9,36	5,36	5,06	8,21	2,93	4,71	2,86	2,81
1,80	10,91	9,69	5,46	5,16	8,58	2,94	4,84	2,88	2,85
1,85	11,16	10,00	5,53	5,25	8,93	2,94	4,96	2,90	2,88
1,90	11,41	10,29	5,60	5,33	9,25	2,95	5,07	2,92	2,90
1,95	11,65	10,58	5,68	5,41	9,58	2,95	5,17	2,94	2,93
2,00	11,89	10,87	5,76	5,49	9,90	2,96	5,28	2,96	2,96
∞	15,63	15,63	6,50	6,50	15,63	3,13	6,50	3,13	3,13

Fonte: Bastos (2023)

$$a_i = \frac{\alpha * p * lx^4}{12EI} \quad (28)$$

Os valores de “ α ” foram extraídos da tabela 5.

3.7 Laje nervurada

A NBR 6118:2023 afirma que “lajes nervuradas são as lajes moldadas no local ou com nervuras pré-moldadas, cuja zona de tração para momentos positivos está localizada nas nervuras entre as quais pode ser colocado material inerte.” (NBR 6118:2023, p. 97), um exemplo de laje nervurada pode ser visualizado na figura 5.

Figura 5 - Laje Nervurada



Fonte: Catálogo Astra (2024)

De acordo com Lopes (2012) devido a laje em questão ser armada em duas direções ela apresenta uma melhor resistência aos esforços, de modo a suportar mais cargas e vãos maiores, bem como permite o uso de capitéis para substituir o uso de vigas, proporcionando uma maior liberdade arquitetônica nestes aspectos.

Embora a princípio proporcione uma redução no consumo de concreto, o uso dela para atingir vãos maiores e o não-uso de vigas, bem como o fato da armadura ser bidirecional e as formas não-reutilizáveis podem tornar esse modelo mais caro de ser executado.

Conforme Porto e Fernandes (2015) a laje nervurada bidirecional é calculada de modo análogo a uma laje maciça convencional armada nas duas direções.

3.8 Parâmetros de estabilidade global

3.8.1 Parâmetro α

Valandro e Trombetta (2016) definem o parâmetro α como “uma medida da deslocabilidade horizontal da estrutura que é utilizado na avaliação da sensibilidade estrutural na presença de efeitos de segunda ordem”, assim é possível determinar se a estrutura deve ser

classificada como de nós móveis ou de nós fixos, de modo a verificar se há a necessidade de considerar os efeitos de segunda ordem naquela estrutura. Segundo a NBR 6118:2023, o parâmetro α pode ser calculado conforme a equação 29.

$$\alpha = H_{\text{tot}} * \sqrt{\frac{N_k}{E_{cs}I_c}} \quad (29)$$

Sendo:

- H_{tot} : a altura total da estrutura;
- $E_{cs}I_c$: o somatório dos valores de rigidez de todos os pilares na direção considerada;
- N_k : é a somatória de todas as cargas verticais atuantes na estrutura.

Caso o valor de α seja maior que o valor de α_1 , a estrutura é classificada como de nós móveis, enquanto se for menor é classificada como de nós fixos, o valor de α_1 é determinado conforme a equação 30.

$$\alpha_1 = \begin{cases} 0,2 + 0,1n, & \text{se } n \leq 3 \\ 0,6, & \text{se } n \geq 4 \end{cases} \quad (30)$$

Sendo:

- n : número de pavimentos acima da fundação.

Caso a estrutura de contraventamento seja composta apenas por pilares-parede o α_1 pode ser até de 0,7, enquanto quando composta apenas de pórticos de pilares e vigas o valor de α_1 deve ser de 0,5.

3.8.2 Parâmetro γ_z

O parâmetro γ_z é utilizado para determinar se a estrutura é de nós fixos ou de nós móveis e nos oferece condições para a consideração dos esforços de segunda ordem através da majoração dos esforços de primeira ordem, ele é determinado através da equação 31, conforme a NBR 6118:2023.

$$\gamma_z = \frac{1}{1 - \frac{\Delta M_{\text{tot,d}}}{M_{1,\text{tot,d}}}} \quad (31)$$

Sendo:

- $\Delta M_{\text{tot,d}}$: o momento de tombamento, dado pelo somatório do produto das forças horizontais na direção considerada pelas suas distâncias à cota inicial do pórtico;
- $M_{1,\text{tot,d}}$: é o momento adicional, calculado pelo somatório do produto das cargas verticais nodais pelos seus respectivos deslocamentos horizontais projetados na direção do vento.

Com o valor de γ_z em mãos, é feita a análise de acordo a NBR 6118:2023, conforme as condições abaixo:

- $\gamma_z = 1,00$ – Estrutura de nós fixos, efeitos de segunda ordem considerados inexistentes;
- $\gamma_z = 1,10$ – Estrutura de nós móveis, efeitos de segunda ordem considerados em torno de 10% dos efeitos de primeira ordem;
- $\gamma_z = 1,15$ – Estrutura de nós móveis, efeitos de segunda ordem considerados em torno de 15% dos efeitos de primeira ordem;
- $\gamma_z = 1,20$ – Estrutura de nós móveis, efeitos de segunda ordem considerados em torno de 20% dos efeitos de primeira ordem.

Para valores de γ_z abaixo de 1,00 a estrutura é considerada sem estabilidade e para valores acima de 1,20 há grau de instabilidade elevado, sendo este o valor limite de γ_z considerado pelo TQS em sua análise da estabilidade global.

3.8.2 Parâmetro F_{avt}

O coeficiente γ_z considera apenas os deslocamentos causados por cada caso de vento individualmente no edifício, desprezando os deslocamentos horizontais causados pelos carregamentos verticais; para uma análise mais precisa a TQS desenvolveu o parâmetro F_{avt} (fator de amplificação dos esforços horizontais), que segundo o site da TQS (2024) no F_{avt} há a consideração dos deslocamentos provocados pelos carregamentos verticais, podendo majorar ou minorar o γ_z , a depender de os deslocamentos horizontais provocados pelo vento estarem ou não no mesmo sentido daqueles provocados pelas cargas verticais. Em suma, o procedimento de cálculo do parâmetro F_{avt} é o mesmo do γ_z , mas considerando também os deslocamentos provocados pelas cargas verticais. De posse desses resultados o TQS compara o F_{avt} com o γ_z e considera o pior caso para estabelecer se a estrutura é de nós fixos ou móveis e ainda, para calcular os efeitos de segunda ordem.

3.9 Deslocamentos laterais

O cálculo dos deslocamentos nos pórticos é feito a partir do princípio dos trabalhos virtuais, sendo realizada a obtenção dos esforços e respectivos gráficos na estrutura é então feita uma estrutura correspondente com carregamento virtual unitário e se obtém seus esforços e respectivos gráficos analogamente. No cálculo manual geralmente se consideram apenas os momentos fletores, sendo que a contribuição dos demais esforços é considerada desprezível. Estes resultados então são usados no cálculo do deslocamento do pórtico utilizando-se da equação 32 e de tabelas auxiliares como a tabela de Kurt Beyer.

$$\delta = \int_0^L \frac{mM}{EI} dx \quad (32)$$

Sendo:

- m: o momento fletor na estrutura virtual;
- M: o momento fletor na estrutura real;
- EI: a rigidez à flexão do elemento.

A NBR 6118:2023 estabelece limites máximos de deslocamentos para o edifício devido os esforços de vento, para verificação em serviço do estado-limite de deformações excessivas. Há o limite referente aos deslocamentos no topo do edifício, calculado conforme a equação 33 e o limite relativo aos deslocamentos entre pavimentos, determinado de acordo com a equação 34.

$$\text{Limite no topo do edifício} = \frac{H}{1700} \quad (33)$$

$$\text{Limite entre pavimentos vizinhos} = \frac{h}{850} \quad (34)$$

3.10 Impacto do tipo de laje no custo da estrutura

Gonzalez (1997) observa que o uso de lajes treliçadas é economicamente mais viável que o uso de lajes maciças no caso de pequenas edificações com até três pavimentos devido o pouco aproveitamento das formas, entretanto em prédios nos quais haver-se-á um pavimento tipo repetido em muitos andares, a laje maciça se torna mais vantajosa economicamente, devido o maior aproveitamento de formas.

Brandalise e Wessling (2015) concluem em seu estudo que a laje maciça é 25,29% mais cara do que a laje de vigotas pré-fabricadas treliçadas, para edificações de até quatro pavimentos, ao menos na região por eles estudada.

Moraes (2020) verificou que o sistema de lajes treliçadas em seu estudo proporcionou uma economia de 15,63% em relação à laje nervurada com cubetas plásticas, e a laje maciça demonstrou ser 9,88% mais barata que a laje nervurada com cubetas plásticas, concluindo então que os recursos públicos usados no empreendimento por ele estudado foram utilizados de modo econômico, sendo este um edifício com pavimento térreo e três pavimentos tipo.

3.10 Software TQS

Segundo seu site, o TQS é:

“Um software destinado à elaboração de projetos estruturais de edificações de concreto armado. É composto por um conjunto de sistemas que, de forma totalmente integrada e automatizada, fornecem recursos necessários para a concepção estrutural, análise estrutural, dimensionamento e detalhamento de armaduras, geração de desenhos até a emissão de plantas.

O TQS torna a elaboração de projetos estruturais um processo altamente produtivo e tem impacto direto na qualidade deles. Permite o pleno atendimento aos requisitos das normas técnicas ABNT e a compatibilização do modelo estrutural dentro de um processo BIM.”

3.11 Aço

De acordo com Chiaverini (2005) “aço é a liga ferro-carbono contendo geralmente 0,008 % até aproximadamente 2,11 % de carbono, além de certos elementos residuais, resultantes dos processos de fabricação”.

Os aços usados no concreto armado se dividem em aços tipo “A” e tipo “B”, que segundo Botelho e Marchetti (2018) são categorias relativas ao teor de carbono da liga metálica. Estes por sua vez são classificados de acordo com sua resistência mecânica (CA50A, CA50B, C25A, entre outros). Sendo “CA” a abreviação de concreto armado, o número que o sucede a resistência mecânica em dezenas de MPa, seguida da letra relativa ao teor de carbono, como anteriormente explicado, por exemplo: CA50A é aço para concreto armado com 50 dezenas de MPa de resistência (500 MPa) e níveis de teor de carbono do tipo A.

A NBR 7480/2022 restringe os aços permitidos ao uso no concreto armado aos aços CA25A, CA50A, CA60B.

3.12 Concreto

Conforme o American Concrete Institute (ACI), o concreto pode ser definido como “um material composto de cimento hidráulico, agregados e água, com ou sem aditivos, fibras ou outros materiais cimentícios”, tais materiais são proporcionalmente misturados para obter uma massa plástica que pode ser moldada e solidificada em formas predeterminadas.

3.13 Concreto Armado

Porto e Fernandes (2015) definem o concreto armado como um material compósito de concreto e aço em que há um trabalho conjunto para vencer os esforços aplicados nos elementos estruturais, sendo o concreto geralmente responsável pelos esforços de compressão e o aço responsável pelos esforços de tração, mas também podendo auxiliar no combate à compressão.

3.14 Quantitativo

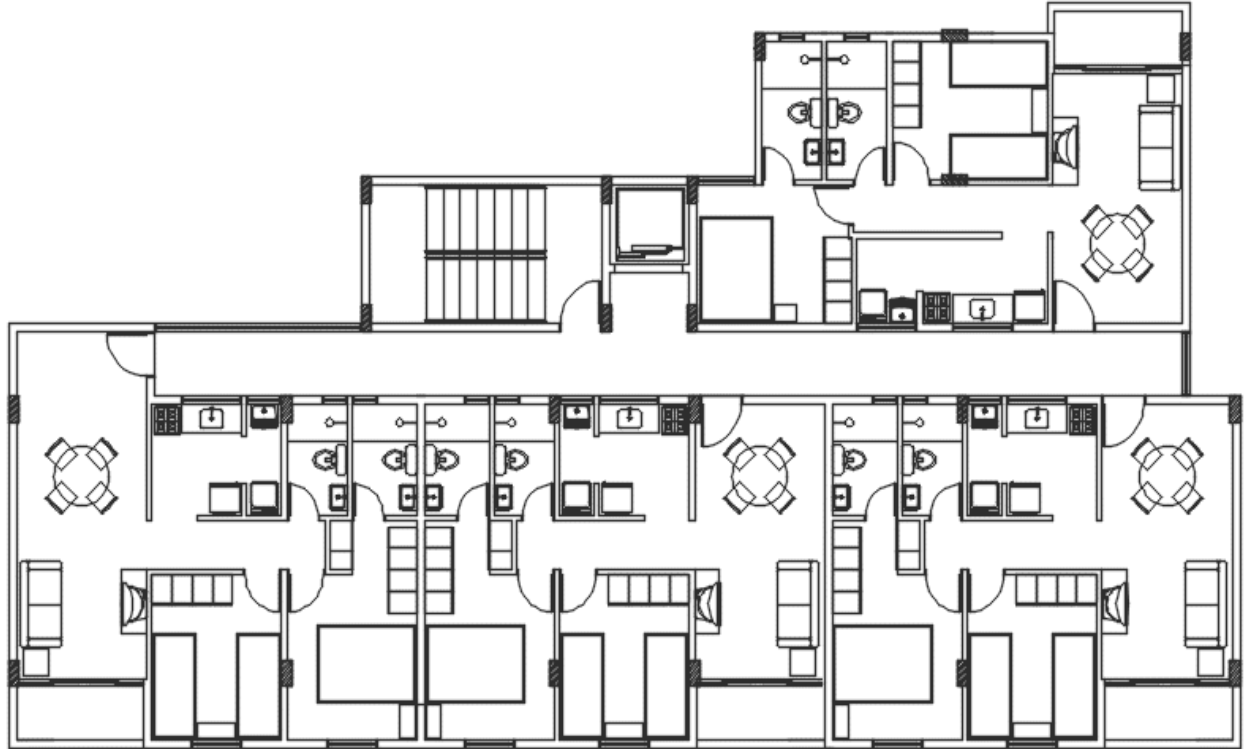
Conforme Bento (2014) o quantitativo é a medida relativa à quantificação detalhada dos materiais constituintes de um projeto de engenharia, tais como mão-de-obra, materiais de construção, projetos, entre outros. Deste modo, o quantitativo serve como ferramenta que aliada

aos preços unitários desses produtos pode ser usada para construção de um orçamento de obra que servirá de referência financeira aos responsáveis pela obra.

4. METODOLOGIA

Foi considerada a arquitetura de um prédio residencial, exposto na figura 6.

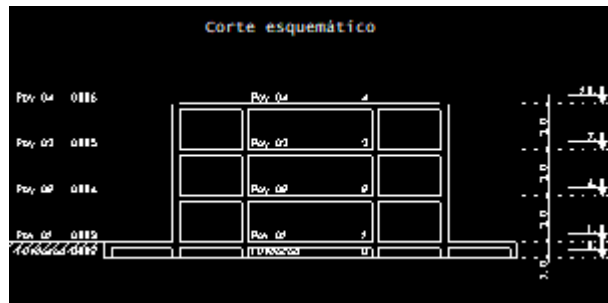
Figura 6 - Projeto Arquitetônico



Fonte: Autoria Própria

O pavimento-tipo possui 264,79 m² de área, com 4 apartamentos com cerca de 50,39 m² de área individual, um corredor de acesso com escada e elevador. Cada apartamento possui dois quartos (sendo um suíte), WC social, cozinha, sala de estar unida à sala de jantar, bem como uma varanda. A distância entre os pavimentos adotada foi de 3m, como visto na figura 7.

Figura 7 - Corte esquemático



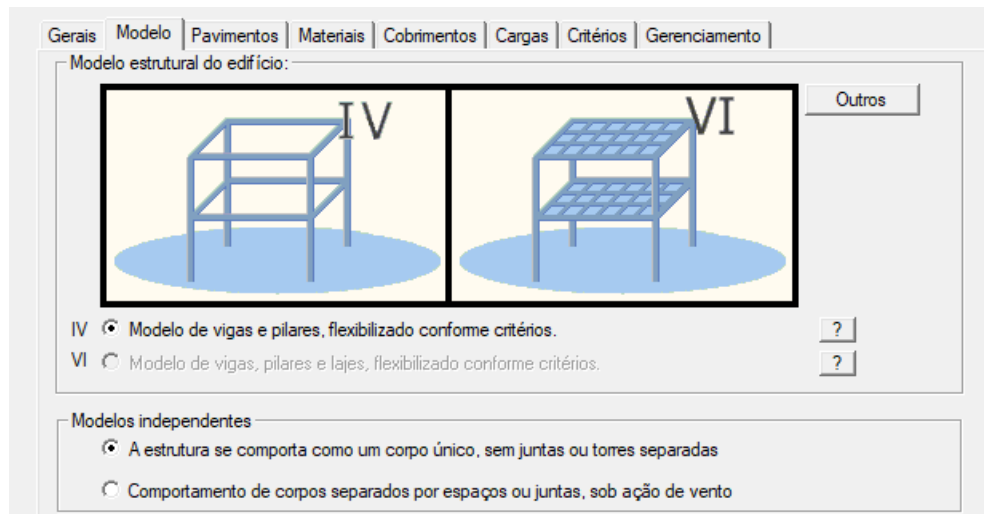
Fonte: Autoria Própria

4.1 Modelagem do edifício no TQS

4.1.1 Definição de parâmetros iniciais

O modelo estrutural do TQS adotado para o cálculo do edifício foi o modelo IV, que é o único disponível para a versão estudantil do programa, conforme exposto na figura 8.

Figura 8 - Modelo estrutural do edifício



Fonte: Autoria Própria

A classe de agressividade do ambiente escolhida foi a classe II - moderada/urbana entre as disponíveis na figura 9, extraída da NBR 6118:2023.

Figura 9 - Classe de Agressividade

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana ^{a, b}	Pequeno
III	Forte	Marinha ^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 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.

Fonte: ABNT NBR 6118:2023

A NBR 6118:2023 também estabelece cobrimentos mínimos para essa classe de agressividade, automaticamente preenchidos pelo TQS no modelo estrutural, como vemos na figura 10.

Figura 10 - Cobrimentos

Cobrimentos (cm)				
	Inferior	Superior	Diferença secundária	
Lajes em geral	2.5	2.5	1	1
Lajes protendidas	3.5	3.5	1	
Vigas	3			
Pilares	3			
Fundações	3	1		

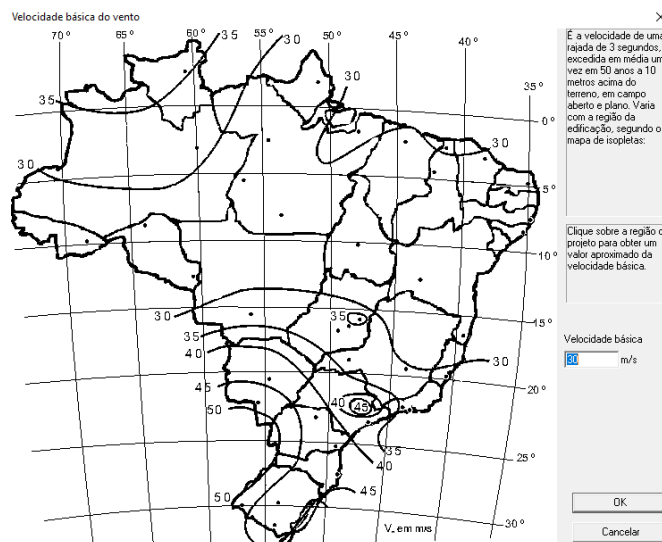
Cobrimento de elementos em contato com o solo (cm)			
Vigas e lajes	3	Pilares	4.5

Verificação de cobrimentos mínimos	
Maior altura de <u>b</u> ainha	60 mm
Maior bitola de <u>v</u> iga/ <u>p</u> ilar	25 mm
Maior bitola de <u>l</u> ajes	12.5 mm

Fonte: Autoria Própria

A seguir, foram fixados os parâmetros para o cálculo dos efeitos do vento conforme a NBR 6123:1988, a velocidade básica do vento (V_0) adotada foi a velocidade relativa à cidade de João Pessoa na Paraíba, de 30 m/s, conforme o gráfico das isopletras na figura 11, extraída do TQS, sendo baseado na NBR 6123:1988.

Figura 11 – Gráfico das Isopletras



Fonte: Autoria Própria

Para obtenção da velocidade característica do vento, foi aplicada a equação 35.

$$V_k = V_0 * S_1 * S_2 * S_3 \quad (35)$$

O terreno foi considerado plano ou fracamente acidentado, deste modo obtendo um fator de terreno (S_1) de acordo com a NBR 6123:1988, conforme vemos na figura 12:

Figura 12 - Fator do terreno

Fonte: Autoria Própria

A categoria de rugosidade do terreno foi adotada como de superfícies lisas de grandes dimensões com mais de 5 km de extensão, de acordo com a NBR 6123:1988, conforme vemos na figura 13:

Figura 13 - Categoria de rugosidade

Fonte: Autoria Própria

A classe da edificação foi de que a maior dimensão do edifício, seja horizontal ou vertical, é maior que vinte metros e menor que cinquenta metros, conforme arquitetura, como vemos na figura 14.

Figura 14 - Classe da edificação

Fonte: Autoria Própria

Usando desses dados o TQS calculou o coeficiente S2 conforme a equação 36.

$$S_2 = b * F_r * \left(\frac{z}{10}\right)^p \quad (36)$$

Sendo:

- b e p: valores tabelados na NBR 6123:1988 conforme a classe da edificação e a categoria de rugosidade;
- F_r : fator de rajada, que varia conforme as classes da edificação e é tabelado pela NBR 6123:1988;
- z: a altura da edificação.

A NBR 6123:1988 define o fator estatístico (S_3) como “baseado em conceitos estatísticos e considera o grau de segurança requerido e a vida útil da edificação, estrutura ou componente”. Foi adotado neste caso um fator estatístico para ambientes residenciais, conforme vemos na figura 15.

Figura 15 - Fator estatístico

Fator estatístico

- 1.10 - Edificações onde se exige maior segurança. Hospitais, quartéis, forças de segurança, comunicação, etc.
- 1.00 - Edificações em geral. Hotéis, residências, comércio e indústria com alta taxa de ocupação.
- 0.95 - Edificações com baixo fator de ocupação. Depósitos, silos, construções rurais, etc.
- 0.88 - Vedações. Telhas, vidros, painéis de vedação, etc.
- 0.83 - Edificações temporárias. Edificações durante a fase de construção.

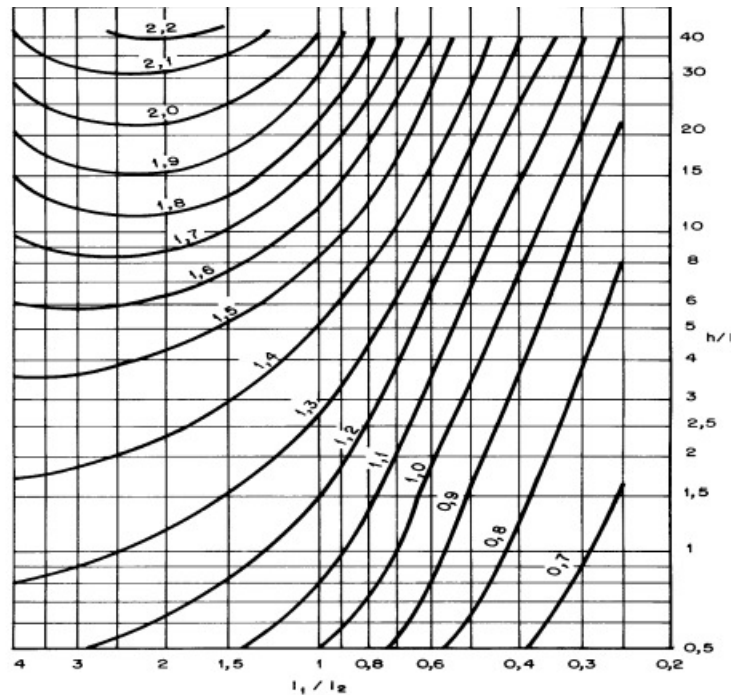
Fonte: Autoria Própria

A partir desses valores, foi determinada a velocidade característica conforme a equação 35, para a partir dela determinar-se a pressão dinâmica do vento conforme a equação 37.

$$q = 0,613 * V_k^2 \quad (37)$$

O coeficiente de arrasto foi calculado a partir das dimensões da edificação, utilizando-se do gráfico na figura 16, extraído da NBR 6123:1988 e seus valores finais são expostos na figura 17, já a força de arrasto foi determinada conforme a equação 38.

Figura 16 - Ábaco do coeficiente de arrasto



Fonte: NBR 6123:1988

Figura 17 - Coeficientes de arrasto

V0 - Velocidade básica	30	m/s
S1 - Fator do terreno	1.00	
S2 - Categoria de rugosidade	I	
S2 - Classe da edificação	B	
S3 - Fator estatístico	1.00	

	Ângulo	C.A.	Def Cot	Cot ini
1	90	1.16	Não	0
2	270	1.16	Não	0
3	0	0.91	Não	0
4	180	0.91	Não	0

Cota inicial para aplicação de vento

Fonte: Autoria Própria

$$F = C_a * q * A_e \tag{38}$$

Sendo:

- C_a: o coeficiente de arrasto;
- A_e: área frontal efetiva, que é a área da projeção ortogonal da edificação, estrutura ou elemento estrutural sobre um plano perpendicular à direção do vento.

A partir da arquitetura na figura 06 foram modelados três edifícios em concreto armado: um com lajes nervuradas bidirecionais, outro com lajes nervuradas unidirecionais (ou treliçadas) e outro com lajes maciças, sendo o pavimento tipo, de cada um, exposto nas figuras

18, 20 e 22, o pavimento de cobertura de cada um exposto nas figuras 19, 21 e 23 e o pavimento baldrame comum a todos os projetos exposto na figura 24.

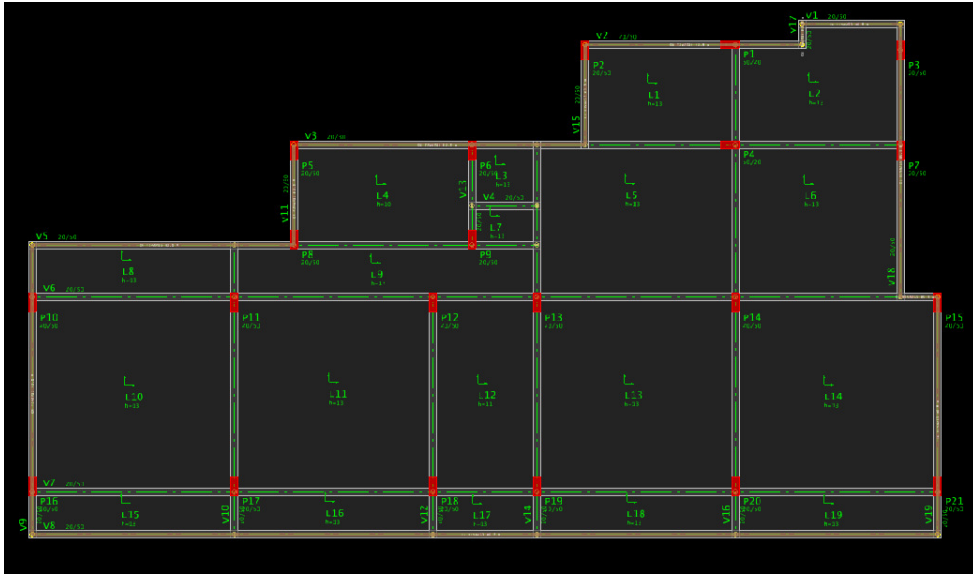
Figura 18 - Pavimento tipo com laje maciça



Fonte: Autoria Própria

No projeto com laje maciça, como visto nas figuras 18 e 19, foram adotados 21 pilares de dimensões 20x50 cm, identificados em vermelho, sendo no pavimento tipo 24 vigas de dimensões 20x50 cm, identificadas em cinza claro, 19 lajes de 13 cm de espessura, identificadas em cinza escuro, bem como as escadas e patamares tiveram espessura de 13 cm, identificadas em marrom e laranja. As linhas laranjas sobre as lajes são as cargas de alvenarias conforme a arquitetura.

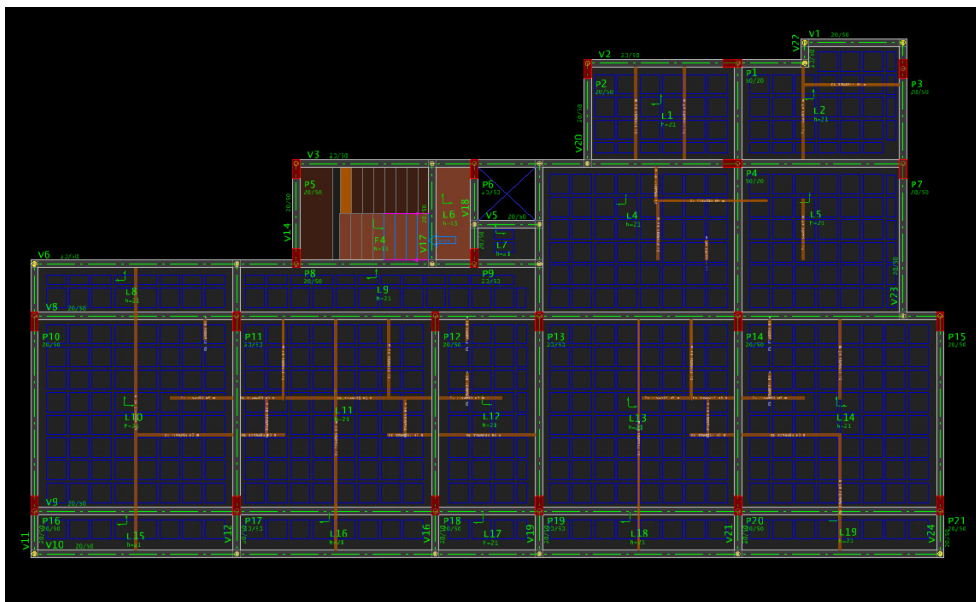
Figura 19 - Pavimento coberta com laje maciça



Fonte: Autoria própria

Já no pavimento coberto, como visto na figura 19, existem 19 vigas de dimensões 20x50 cm, identificadas em cinza claro, além de 19 lajes, sendo uma com 10 cm de espessura, outra com 11 cm e as demais com 13 cm, todas identificadas em cinza escuro na planta e em laranja sobre as vigas mais externas se localiza a carga da platibanda.

Figura 20 - Pavimento tipo com laje nervurada

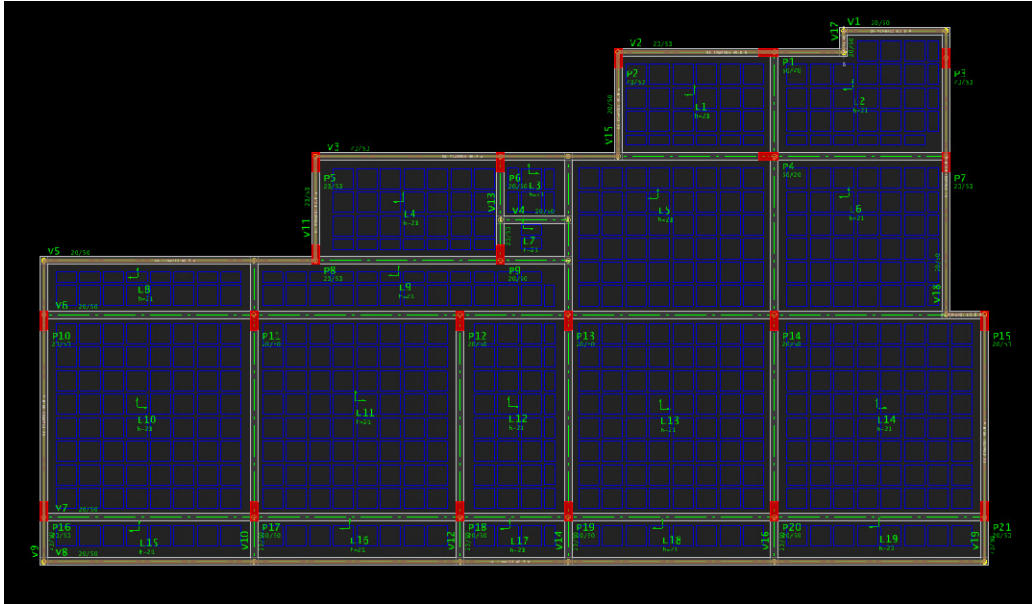


Fonte: Autoria própria

No projeto com laje nervurada, como visto nas figuras 20 e 21, foram adotados 21 pilares de dimensões 20x50 cm, identificados em vermelho, sendo no pavimento tipo 24 vigas de dimensões 20x50 cm, identificadas em cinza claro, além de 19 lajes de 21 cm de espessura, identificadas em cinza escuro, bem como as escadas e patamares tiveram espessura de 13 cm,

identificadas em marrom e laranja. Em azul temos o posicionamento das cubetas plásticas e as linhas laranjas sobre as lajes são as cargas de alvenarias conforme a arquitetura.

Figura 21 - Pavimento coberta com laje nervurada



Fonte: Autoria própria

Já no pavimento coberto, como visto na figura 21, existem 19 vigas de dimensões 20x50 cm, identificadas em cinza claro, além de 19 lajes de 21 cm de espessura, identificadas em cinza escuro, em azul temos o posicionamento das cubetas plásticas e nas vigas mais externas temos a carga da platibanda em laranja.

Figura 22 - Pavimento tipo com laje treliçada

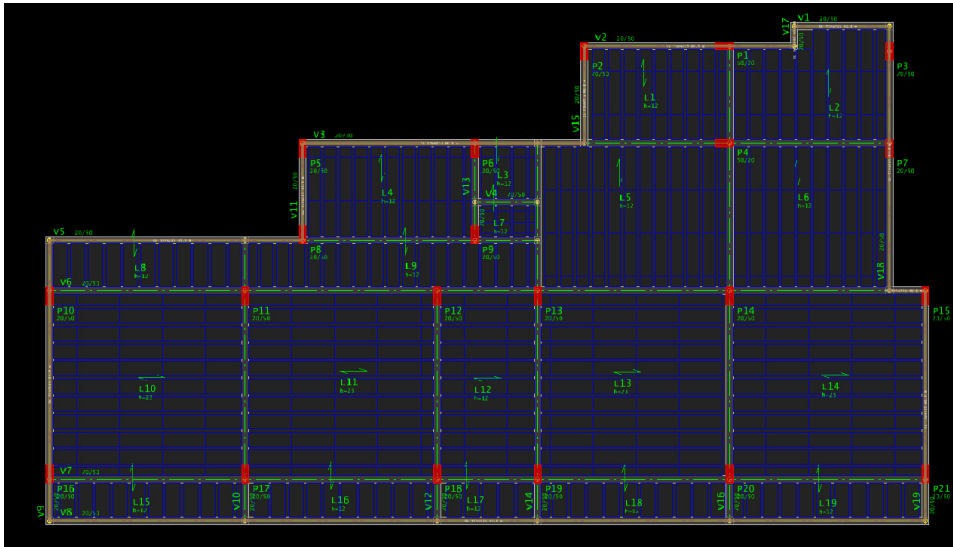


Fonte: Autoria própria

No projeto com laje treliçada, como visto nas figuras 22 e 23, foram adotados 21 pilares de dimensões 20x50 cm, identificados em vermelho, sendo no pavimento tipo 24 vigas de

dimensões 20x50 cm, identificadas em cinza claro, além de 15 lajes de 12 cm de espessura e 4 lajes com 23 cm de espessura, identificadas em cinza escuro e em azul temos o posicionamento do enchimento de EPS, além disso as cargas das alvenarias estão identificadas em laranja.

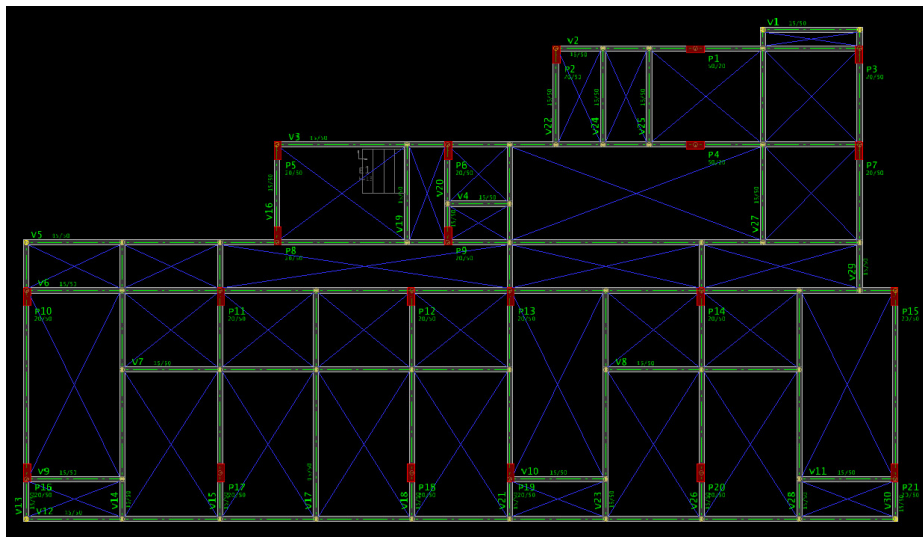
Figura 23 - Pavimento coberta com laje treliçada



Fonte: Autoria própria

Já no pavimento coberto, como visto na figura 23, existem 19 vigas de dimensões 20x50 cm, identificadas em cinza claro, além de 15 lajes de 12 cm de espessura e 4 lajes com 23 cm de espessura, identificadas em cinza escuro, em azul temos o posicionamento do enchimento de EPS e nas vigas mais externas temos a carga da platibanda em laranja.

Figura 24 - Pavimento baldrame comum



Fonte: Autoria própria

Na figura 24, temos o pavimento baldrame padrão para todos os projetos, com os 21 pilares de dimensões 20x50 cm, identificados em vermelho na planta acima que foram adotados

igualmente em todos os projetos, 30 vigas de dimensões 20x50 cm, identificadas em cinza claro e em azul temos a delimitação dos vazios.

4.1.2 Pré-dimensionamento

Inicialmente fora adotada a posição e o pré-dimensionamento dos pilares proposto na arquitetura, o que se mostrou uma medida eficiente, havendo a remoção de alguns pilares para aumentar a economia, avaliando computacionalmente se prejudicariam a integridade da estrutura até chegar à configuração exposta na figura 24.

O pré-dimensionamento das vigas se deu a partir do menor vão da laje, sendo uniformizado para todo o edifício uma seção de viga nos pavimentos-tipo e coberta.

Quando a viga é biapoiada a altura pode ser tomada a partir da equação 39:

$$H = \frac{L}{10} \quad (39)$$

Quando a viga é contínua, a altura da viga é o maior vão dividido por 12, como na equação 40.

$$H = \frac{L}{12} \quad (40)$$

O pré-dimensionamento da laje se deu pelo método de Rolim, conforme a equação 41.

$$h = \left(\frac{lx}{40} \right) * \left(\frac{ly}{lx} \right)^{0,75} \quad (41)$$

4.1.3 Extração de quantitativos

Os quantitativos foram extraídos a partir da ferramenta “Resumo de Plantas e Materiais” do programa TQS, na aba Edifício, seção Listagens de Projeto, após sua extração foram organizados em tabelas e gráficos para comparação dos resultados.

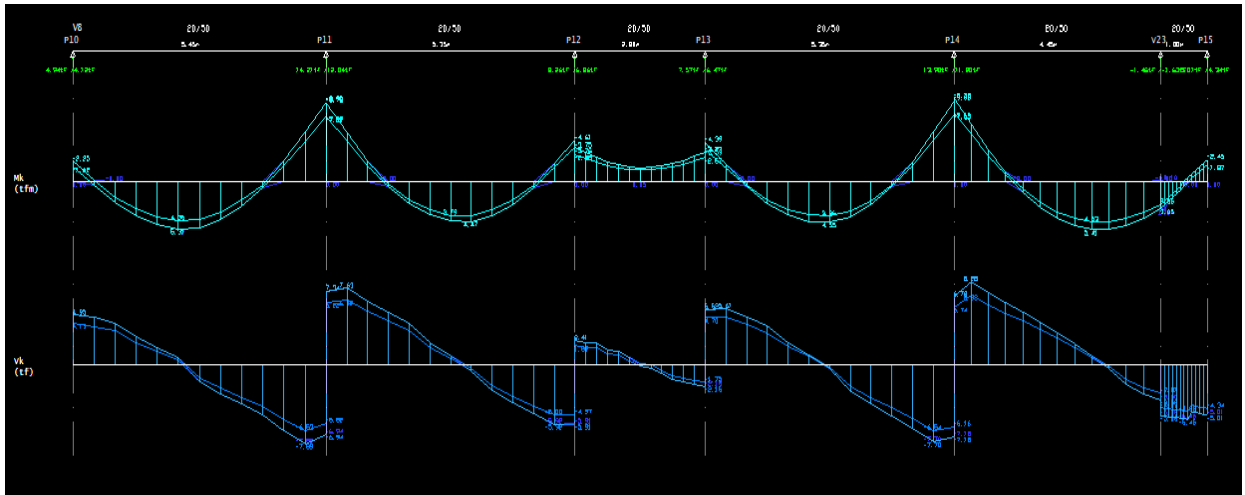
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Resultados da laje maciça

5.1.1 Esforços nas vigas

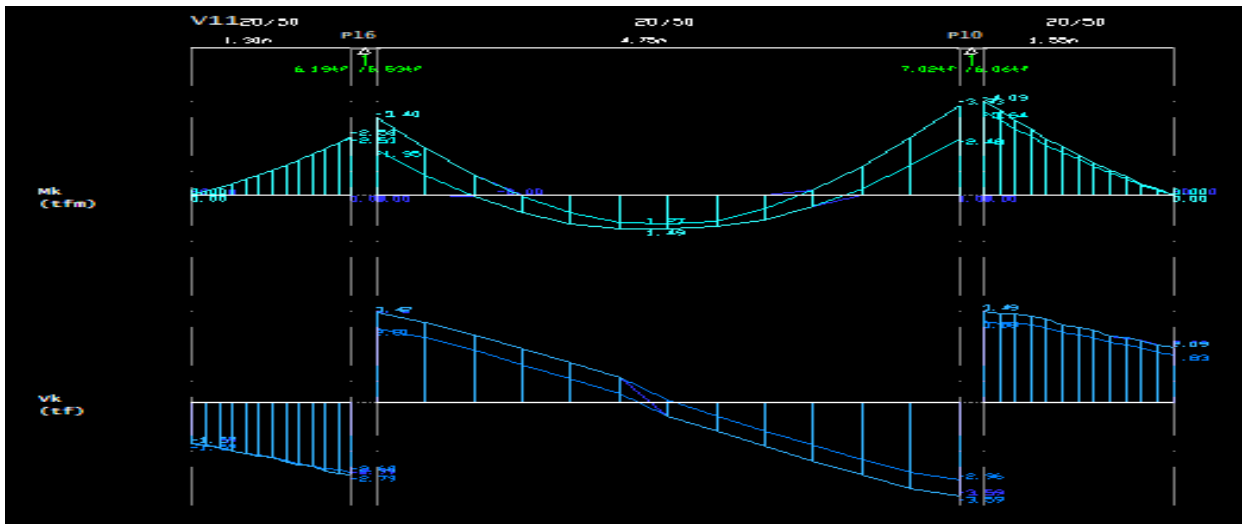
Nas figuras 25, 26 e 27 temos os gráficos relativos às envoltórias das combinações de momentos fletores e esforços cortantes das vigas 08, 11 e 21, que serão discutidas na seção 5.4 deste trabalho.

Figura 25 – Momento fletor e esforço cortante na viga 08 - Projeto com laje maciça



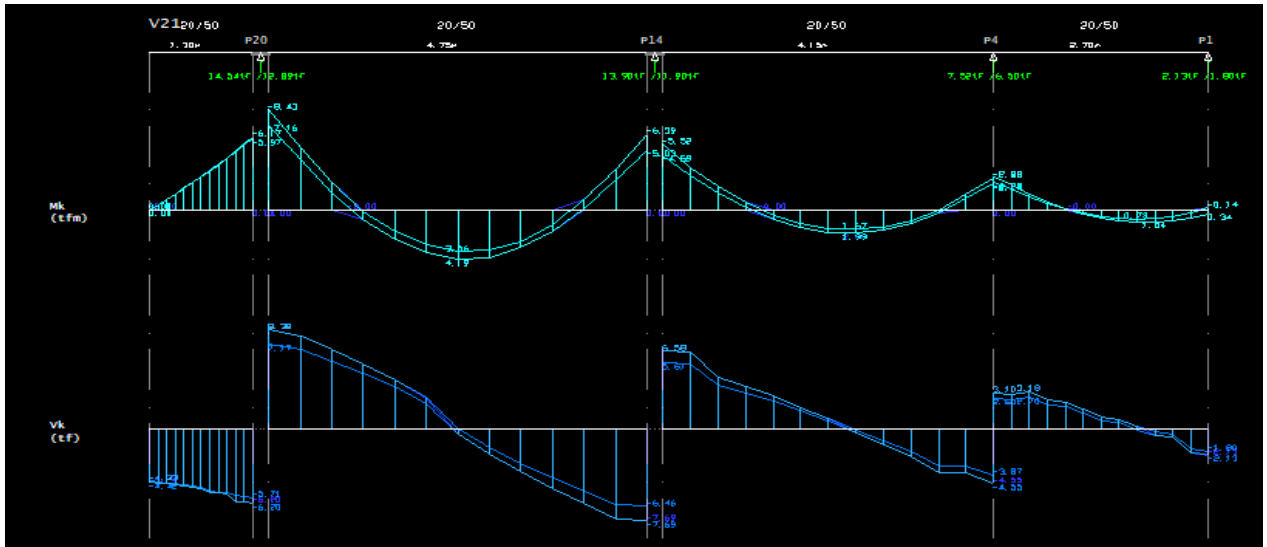
Fonte: Autoria Própria

Figura 26 – Momento fletor e esforço cortante na viga 11 - Projeto com laje maciça



Fonte: Autoria Própria

Figura 27 – Momento fletor e esforço cortante na viga 21 - Projeto com laje maciça

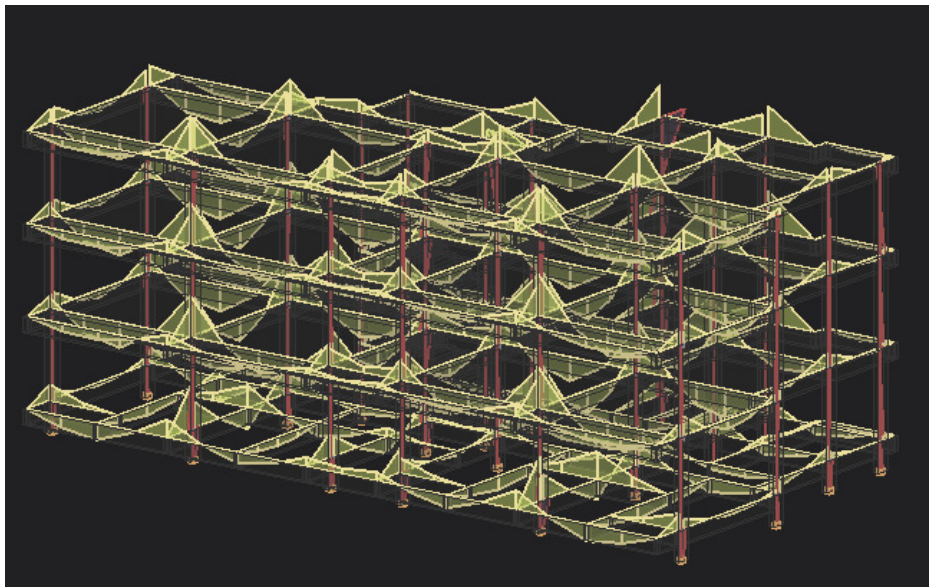


Fonte: Autoria Própria

5.1.2 Esforços no pórtico

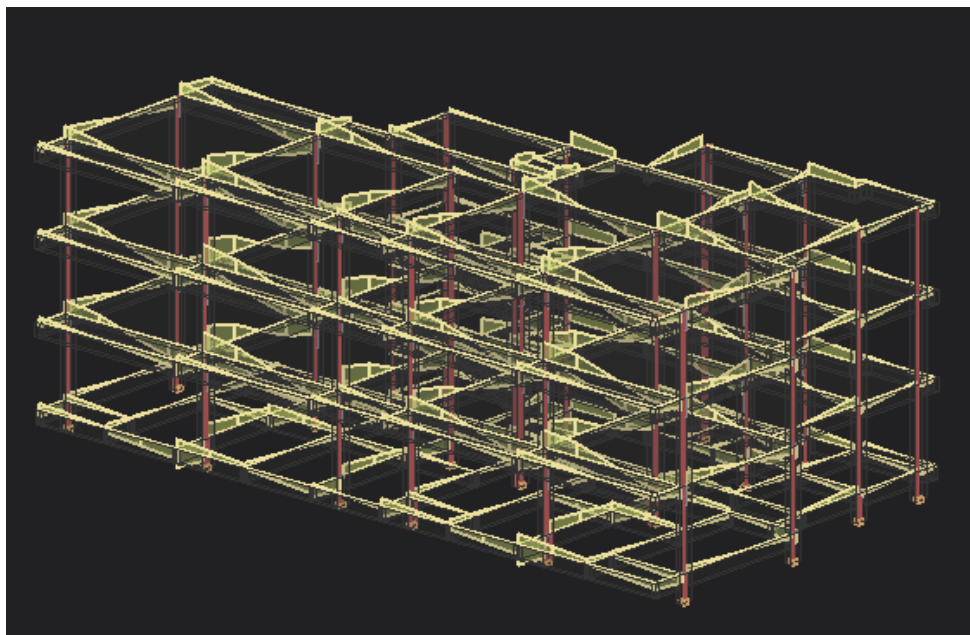
Na figura 28 temos o diagrama de momentos fletores na direção “z”, em todo o edifício, na figura 29 temos os esforços cortantes na direção “z” em todo o edifício, que serão discutidos através das vigas selecionadas na seção 5.4; na figura 30 temos os deslocamentos em todo o edifício, que também serão discutidos na seção 5.4.

Figura 28 - Momento fletor no pórtico espacial com lajes maciças



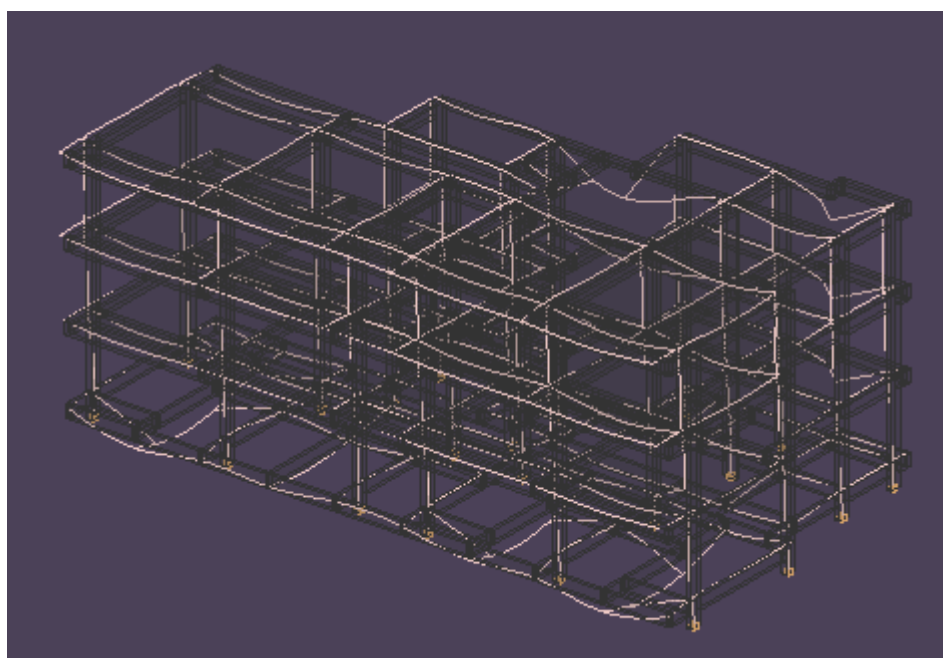
Fonte: Autoria Própria

Figura 29 - Esforço cortante no pórtico espacial com lajes maciças



Fonte: Autoria Própria

Figura 30 - Deslocamentos no pórtico espacial com lajes maciças



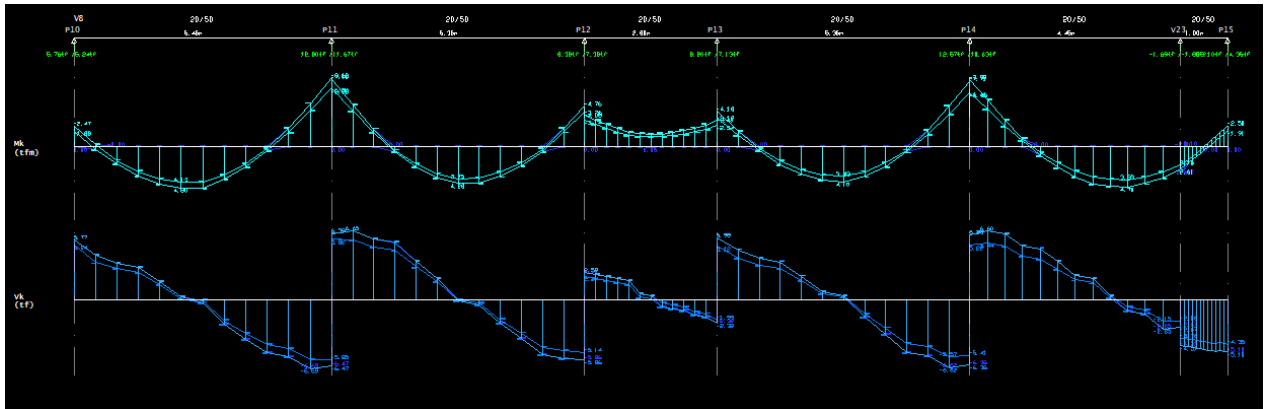
Fonte: Autoria Própria

5.2 Resultados da laje nervurada

5.2.1 Esforços nas vigas

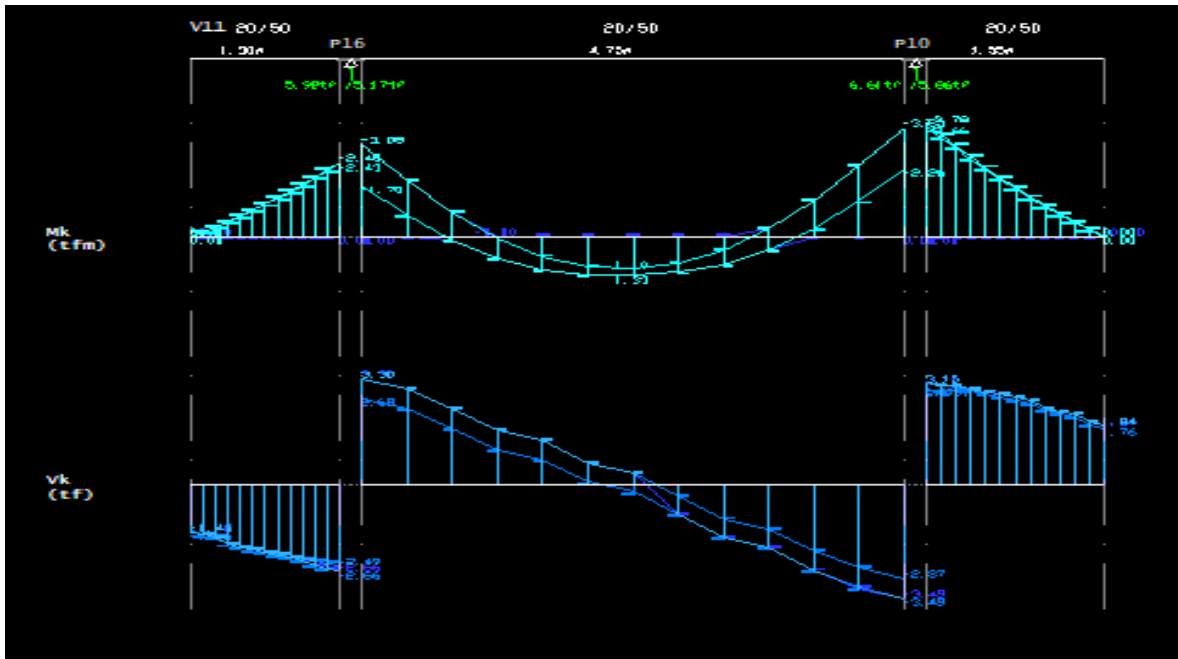
Nas figuras 31, 32 e 33 temos os gráficos relativos às envoltórias das combinações de momentos fletores e esforços cortantes das vigas 08, 11 e 21, que serão discutidas na seção 5.4 deste trabalho.

Figura 31 - Momento fletor e esforço cortante na viga 08 – Projeto com laje nervurada



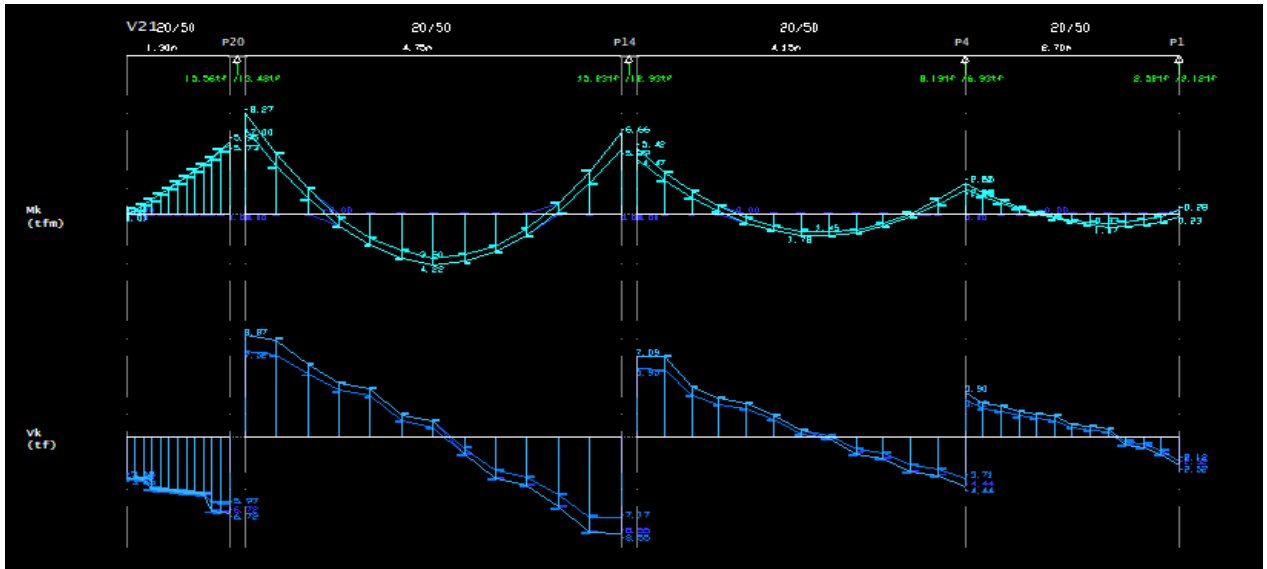
Fonte: Autoria Própria

Figura 32 - Momento fletor e esforço cortante na viga 11 – Projeto com laje nervurada



Fonte: Autoria Própria

Figura 33 - Momento fletor e esforço cortante na viga 21 – Projeto com laje nervurada

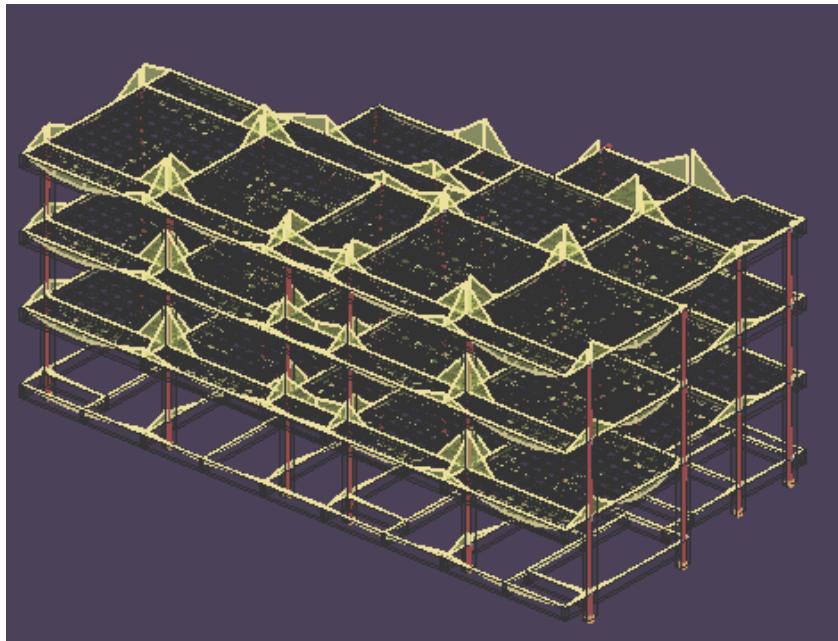


Fonte: Autoria Própria

5.2.2 Esforços no Pórtico

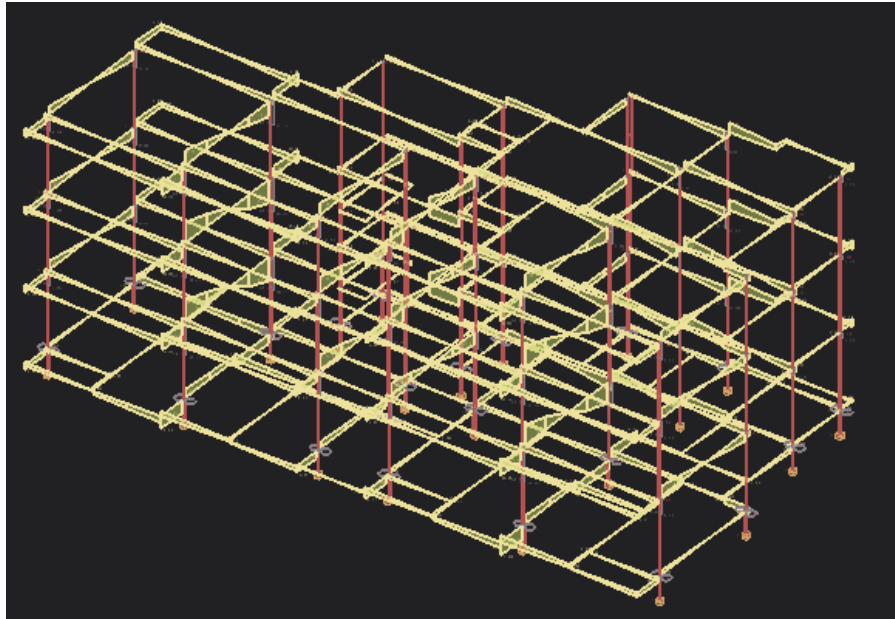
Na figura 34 temos o diagrama de momentos fletores na direção “z”, em todo o edifício, na figura 35 temos os esforços cortantes na direção “z” em todo o edifício, que serão discutidos através das vigas selecionadas na seção 5.4; na figura 36 temos os deslocamentos em todo o edifício, que também serão discutidos na seção 5.4.

Figura 34 - Momento fletor no pórtico espacial com lajes nervuradas



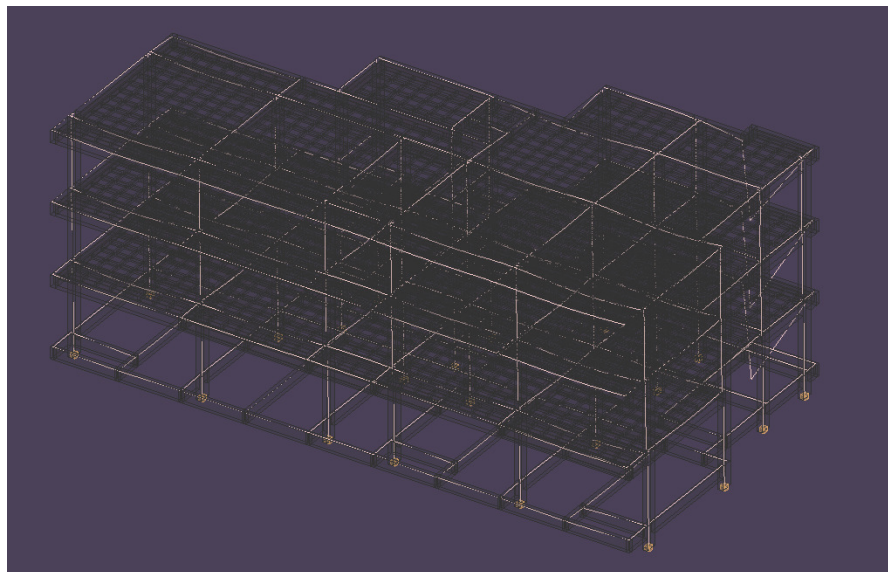
Fonte: Autoria Própria

Figura 35 - Esforço cortante no pórtico espacial com lajes nervuradas



Fonte: Autoria Própria

Figura 36 - Deslocamentos no pórtico espacial com lajes nervuradas



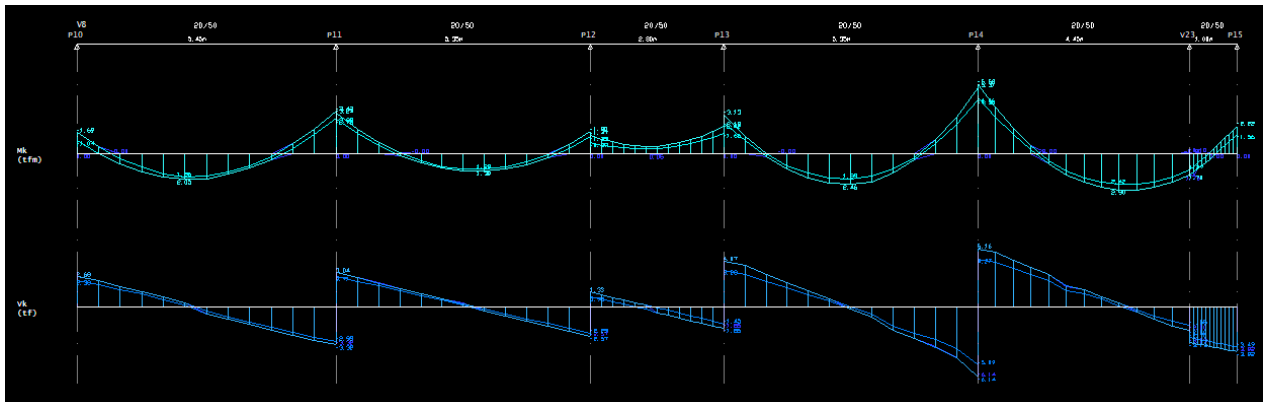
Fonte: Autoria Própria

5.3 Resultados da laje treliçada

5.3.1 Esforços nas vigas

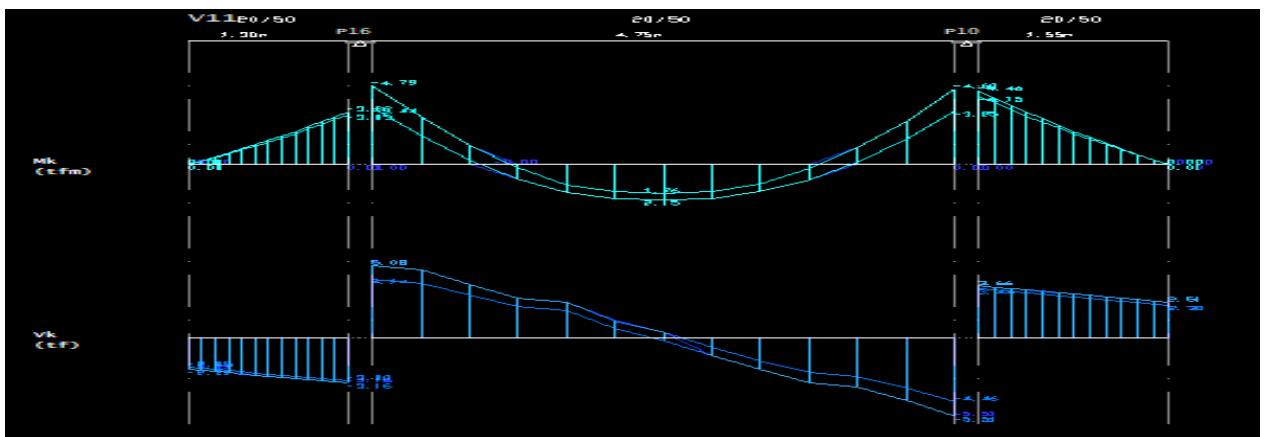
Nas figuras 37 e 38 e 39 temos os gráficos relativos às envoltórias de combinações dos momentos fletores e esforços cortantes das vigas 08, 11 e 21, que serão discutidas na seção 5.4 deste trabalho.

Figura 37 - Momento fletor e esforço cortante na viga 08 – Projeto com laje treliçada



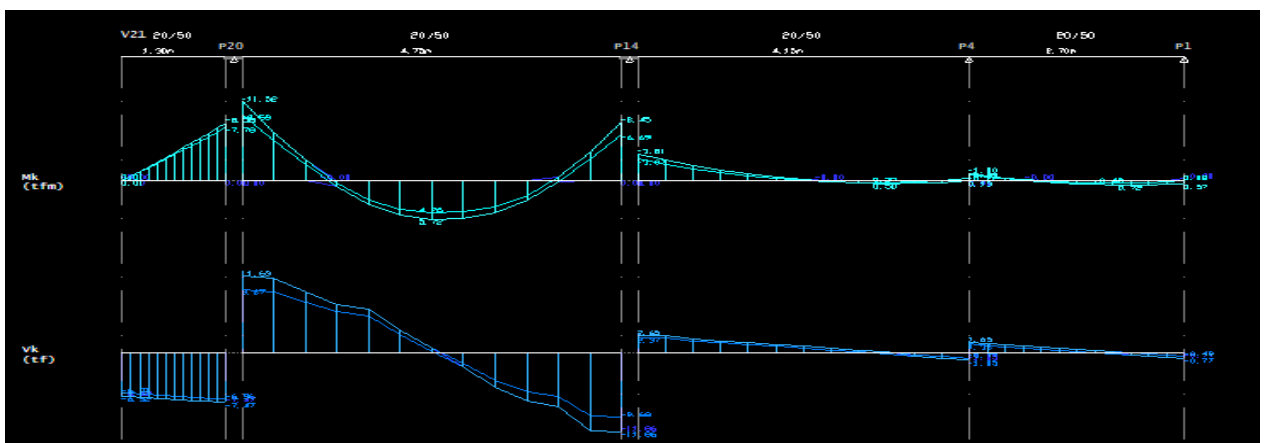
Fonte: Autoria Própria

Figura 38 - Momento fletor e esforço cortante na viga 11 – Projeto com laje treliçada



Fonte: Autoria Própria

Figura 39 - Momento fletor e esforço cortante na viga 21 – Projeto com laje treliçada

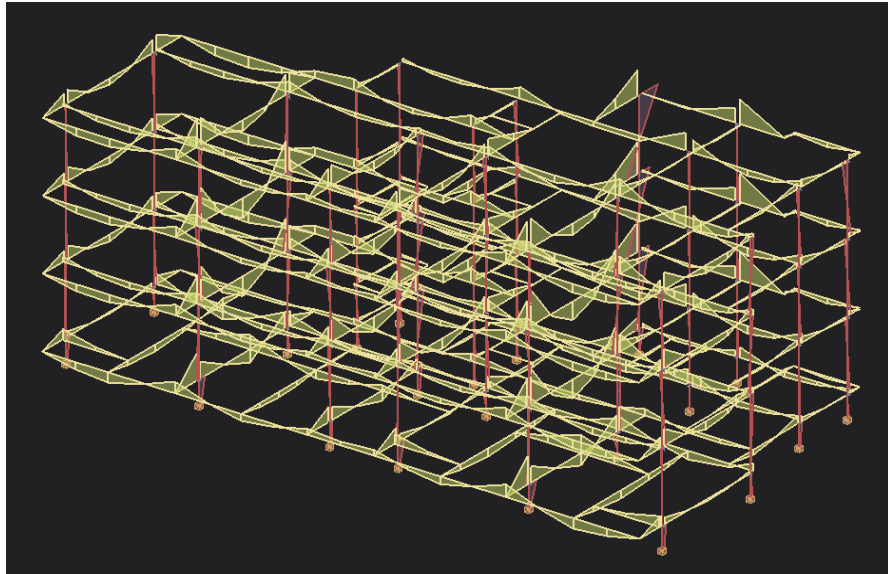


Fonte: Autoria Própria

5.3.1 Esforços no pórtico

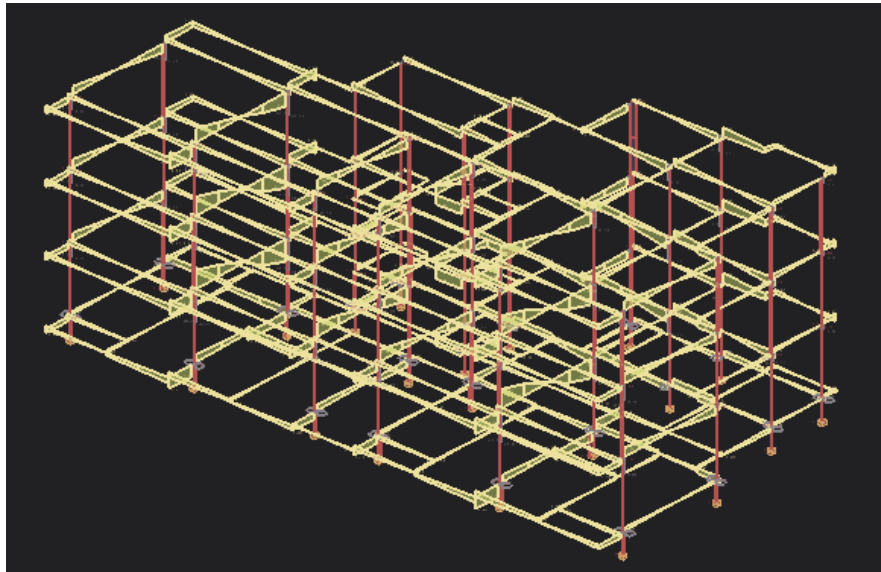
Na figura 40 temos o diagrama de momentos fletores na direção “z”, em todo o edifício, na figura 41 temos os esforços cortantes na direção “z” em todo o edifício, que serão discutidos através das vigas selecionadas na seção 5.4; na figura 42 temos os deslocamentos em todo o edifício, que também serão discutidos na seção 5.4.

Figura 40 - Momento fletor no pórtico espacial com lajes treliçadas



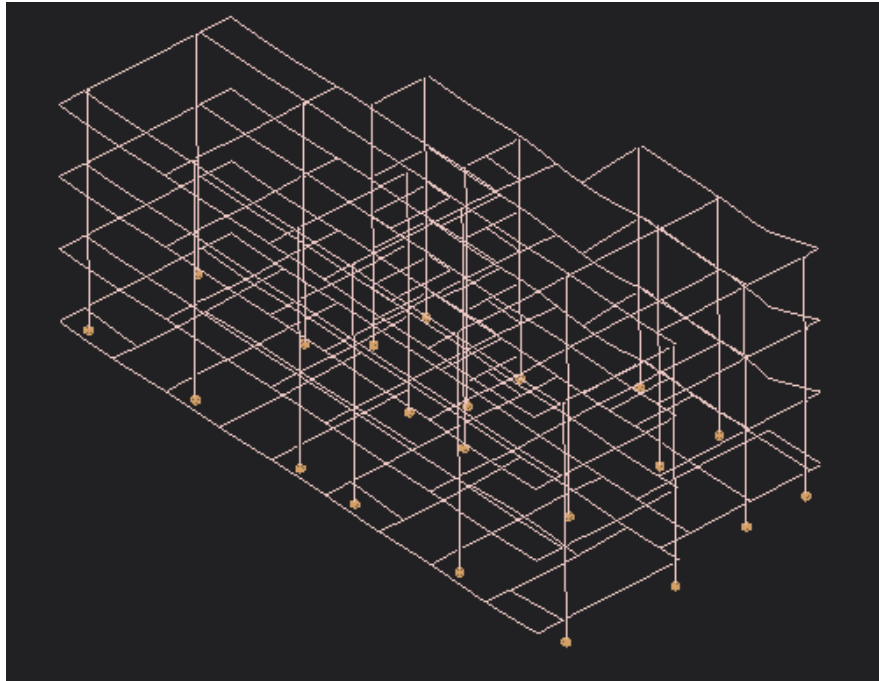
Fonte: Autoria Própria

Figura 41 - Esforço cortante no pórtico espacial com lajes treliçadas



Fonte: Autoria Própria

Figura 42 - Deslocamentos no pórtico espacial com lajes treliçadas



Fonte: Autoria Própria

5.4 Resultados comparados

Tabela 10 - Momentos fletores comparados

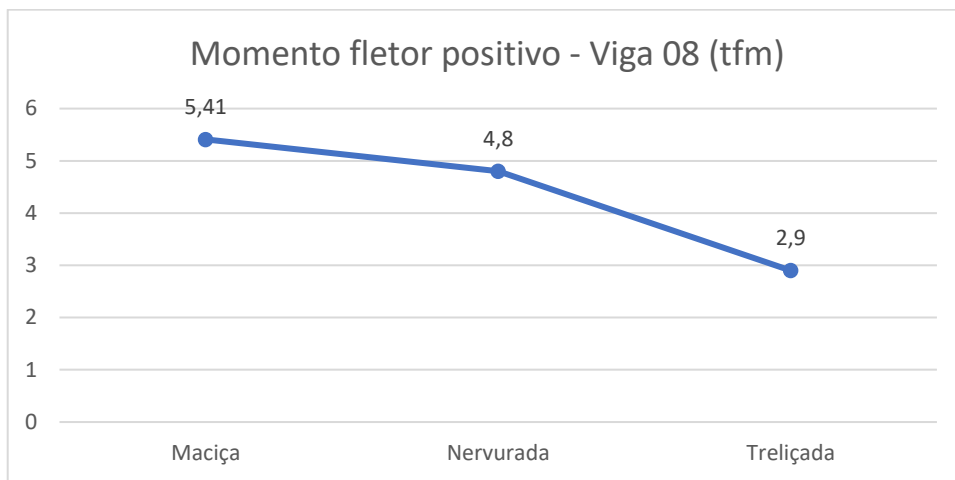
Projeto	Esforço	Viga 08	Viga 11	Viga 21
Maciça	Momento fletor máx. positivo	5,41	1,48	4,17
	Momento fletor máx. negativo	-9,29	-4,10	-8,44
Nervurada	Momento fletor máx. positivo	4,80	1,31	4,21
	Momento fletor máx. negativo	-8,10	-3,78	-8,29
Treliçada	Momento fletor máx. positivo	2,90	2,15	5,72
	Momento fletor máx. negativo	-5,58	-4,79	-11,52
Valores em tfm (tonelada força metro)				

Fonte: Autoria Própria

Como vê-se na tabela 10 e nas figuras 44 e 45, os momentos fletores positivos na maciça foram semelhantes aos da nervurada, com variações em média de 7,90%, mas ambos menores

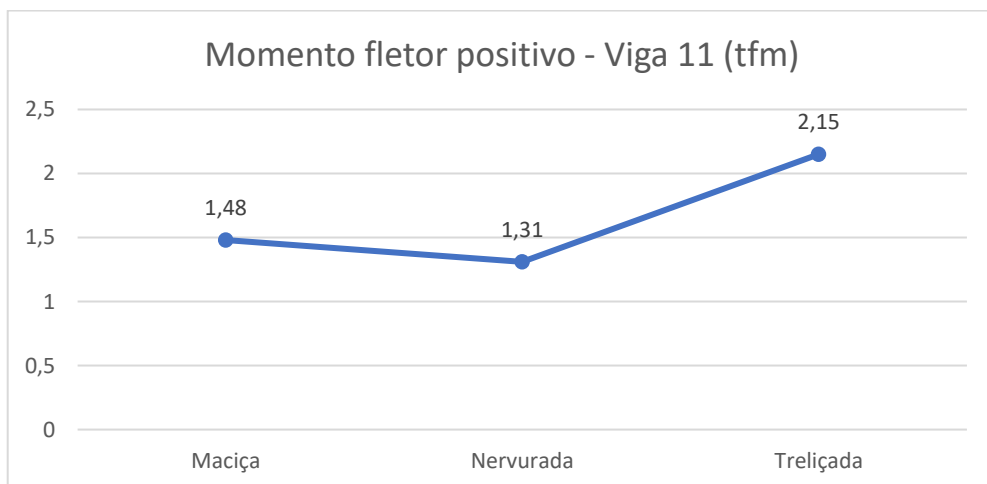
que os da treliçada, pois enquanto na maciça e na nervurada a distribuição de toda a carga se deu em duas direções, na treliçada a distribuição ocorreu em uma única direção, elevando assim o momento fletor por ela causado. A exceção à regra nesse caso foi a viga 08, como visto na figura 43, em que o peso próprio elevado da laje maciça, e da laje nervurada foi fator mais relevante para o momento ser maior que na treliçada, mesmo estando distribuído em duas direções, sendo então o momento fletor na maciça em média 46,40% maior que o da treliçada, enquanto na nervurada foi 39,58% maior.

Figura 43 - Comparação dos momentos fletores positivos na viga 08



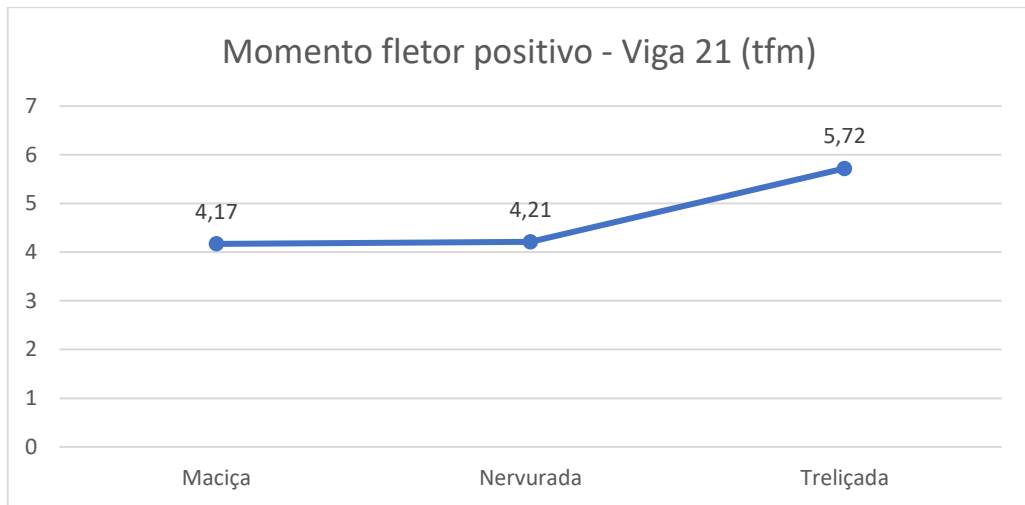
Fonte: Autoria Própria

Figura 44 - Comparação dos momentos fletores positivos na viga 11



Fonte: Autoria Própria

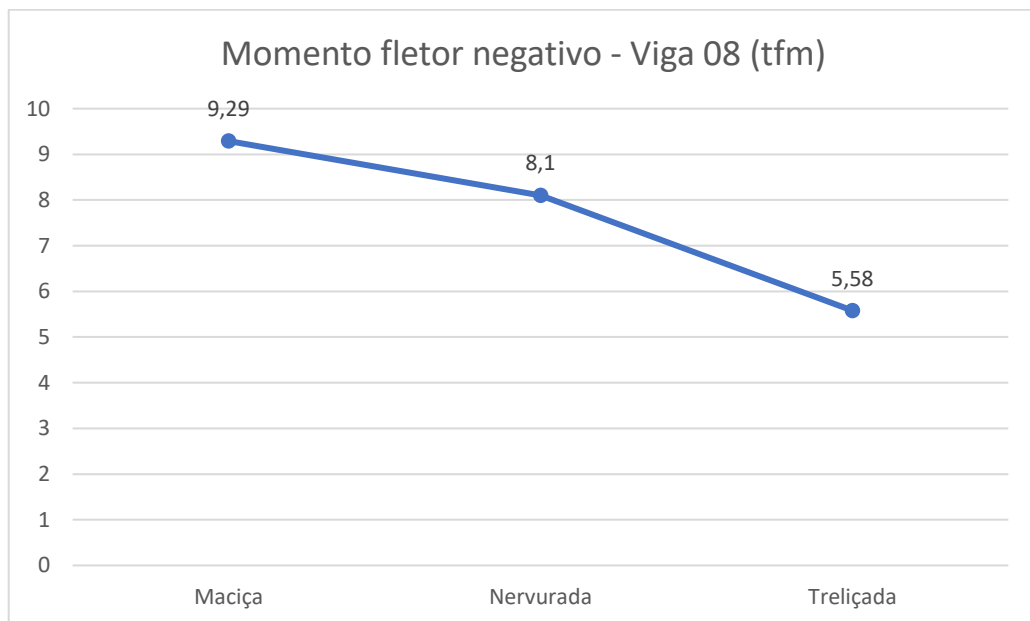
Figura 45 - Comparação dos momentos fletores positivos na viga 21



Fonte: Autoria Própria

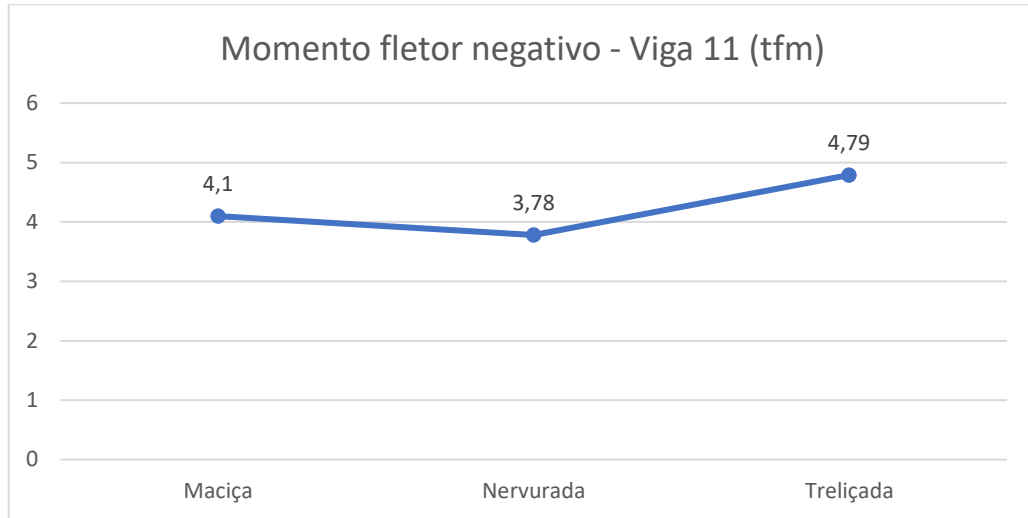
Como efeito disso os momentos negativos causados pela reação dos pilares sofreram variação semelhante àquela dos momentos positivos e devido as mesmas razões, como vemos nas figuras 46, 47 e 48.

Figura 46 - Comparação dos momentos fletores negativos na viga 08



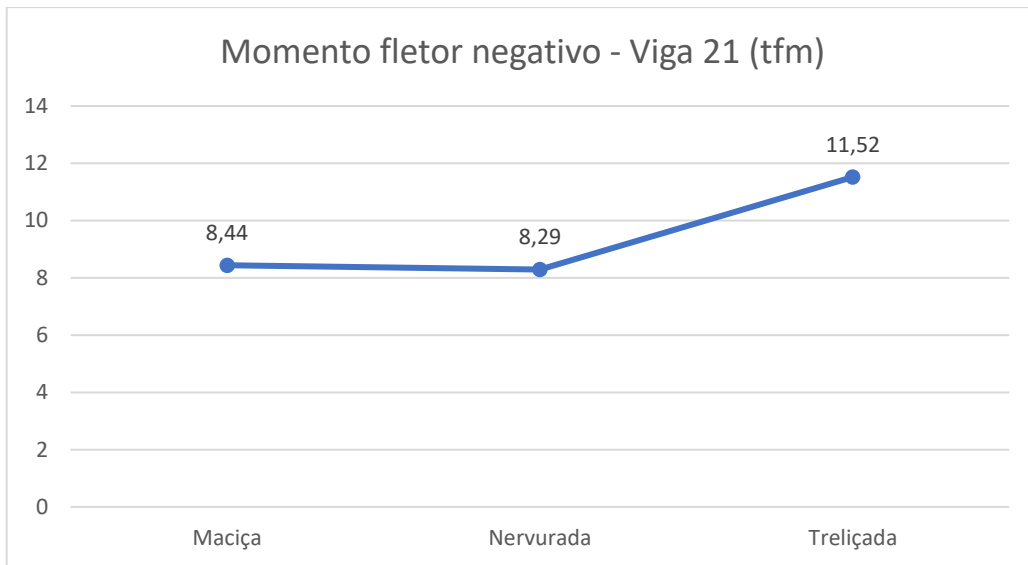
Fonte: Autoria Própria

Figura 47 - Comparação dos momentos fletores negativos na viga 11



Fonte: Autoria Própria

Figura 48 - Comparação dos momentos fletores negativos na viga 21



Fonte: Autoria Própria

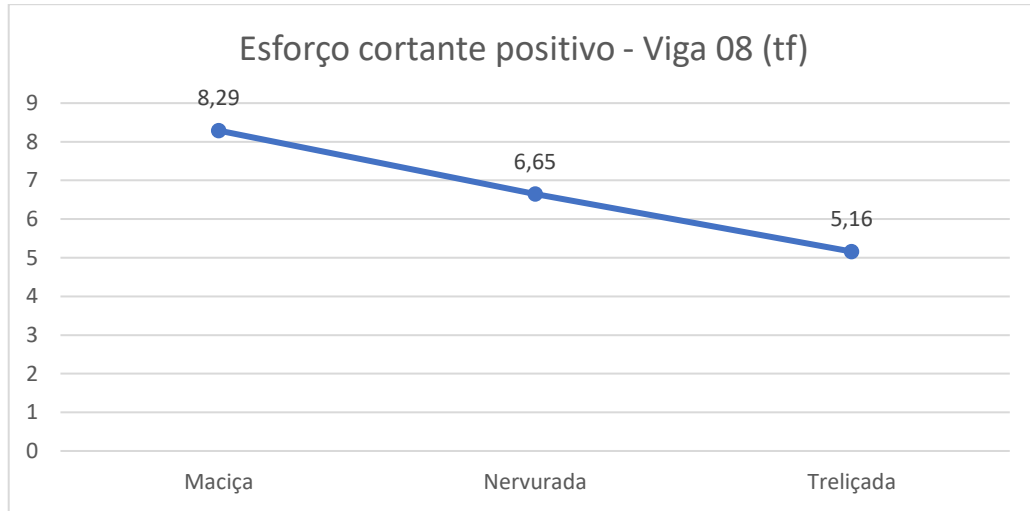
Tabela 11 - Esforços cortantes comparados

Projeto	Esforço	Viga 08	Viga 11	Viga 21
Maciça	Esforço cortante máx. positivo	8,29	3,49	8,38
	Esforço cortante máx. negativo	-7,89	-3,60	-7,69
Nervurada	Esforço cortante máx. positivo	6,65	3,29	8,87
	Esforço cortante máx. negativo	-6,69	-3,49	-8,55
Trelaçada	Esforço cortante máx. positivo	5,16	5,08	11,63
	Esforço cortante máx. negativo	-6,14	-5,51	-11,86
Valores em tf (tonelada força)				

Fonte: Autoria Própria

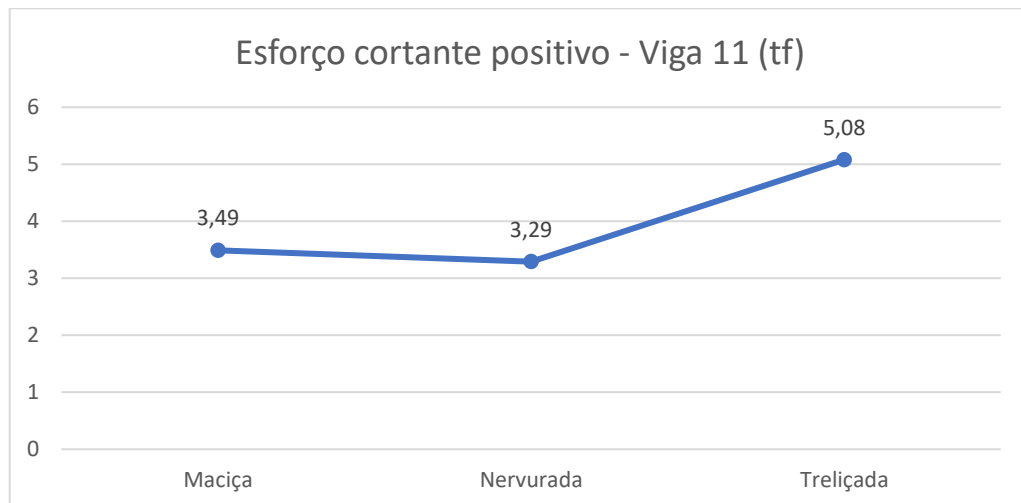
Como exposto na tabela 11 e nas figuras 50 e 51 os esforços cortantes positivos na maciça foram semelhantes aos da opção nervurada, com variações em média de 5,62%, sendo a opção trelaçada a que obteve os maiores esforços cortantes que, assim como no caso do momento fletor, provavelmente se deve à distribuição das cargas em uma única direção. A exceção à regra, mais uma vez, foi a viga 08 que obteve resultados maiores para a maciça e nervurada, como vemos na figura 49, tal aumento considerável dos esforços cortantes positivos provavelmente teve como fator preponderante o peso próprio da laje nesta viga específica, dado que na maciça e na nervurada o peso próprio tende a ser maior que na trelaçada. De modo que a variação entre os esforços cortantes entre a maciça e a trelaçada foi em média 32,31% e entre a nervurada e a trelaçada foi de 29,73%.

Figura 49 - Comparação de esforços cortantes positivos na viga 08



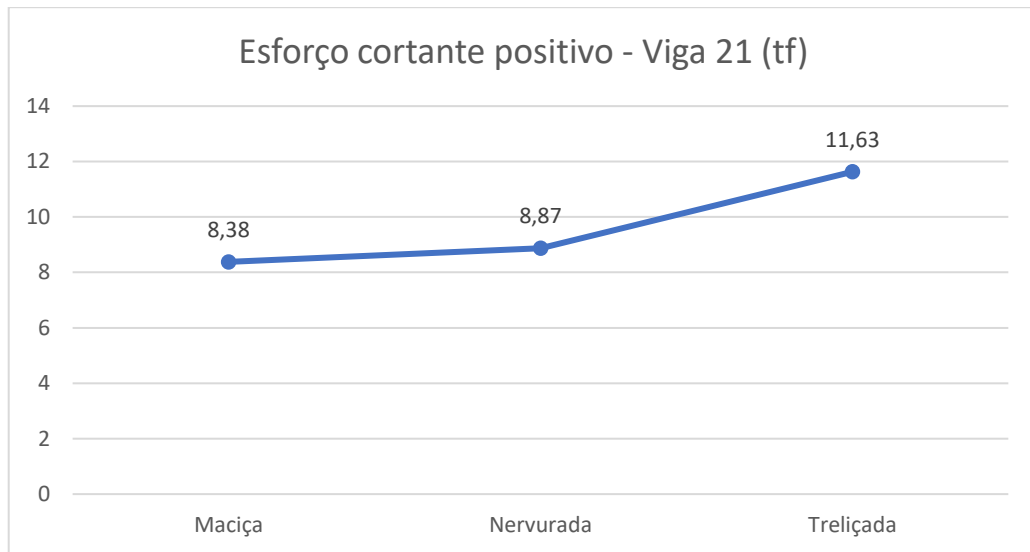
Fonte: Autoria Própria

Figura 50 - Comparação de esforços cortantes positivos na viga 11



Fonte: Autoria Própria

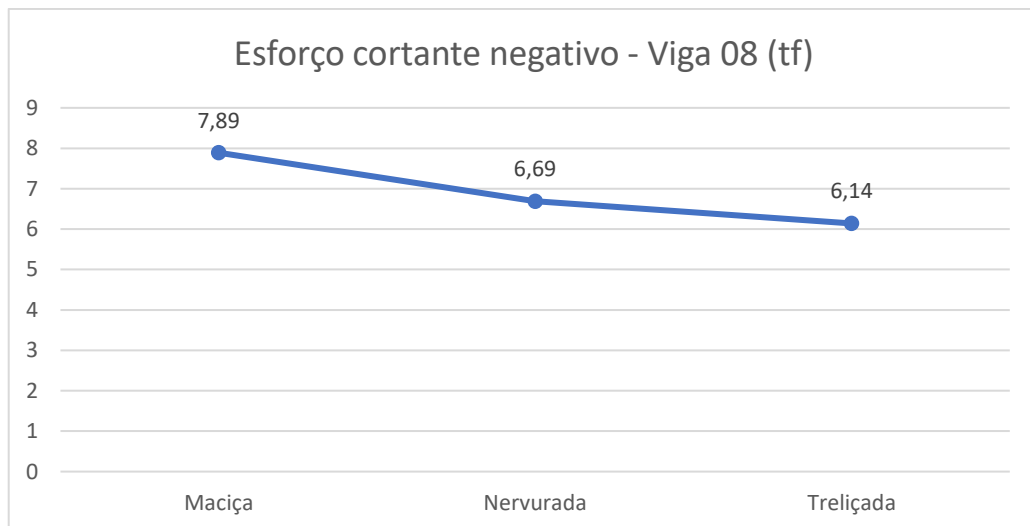
Figura 51 - Comparação de esforços cortantes positivos na viga 21



Fonte: Autoria Própria

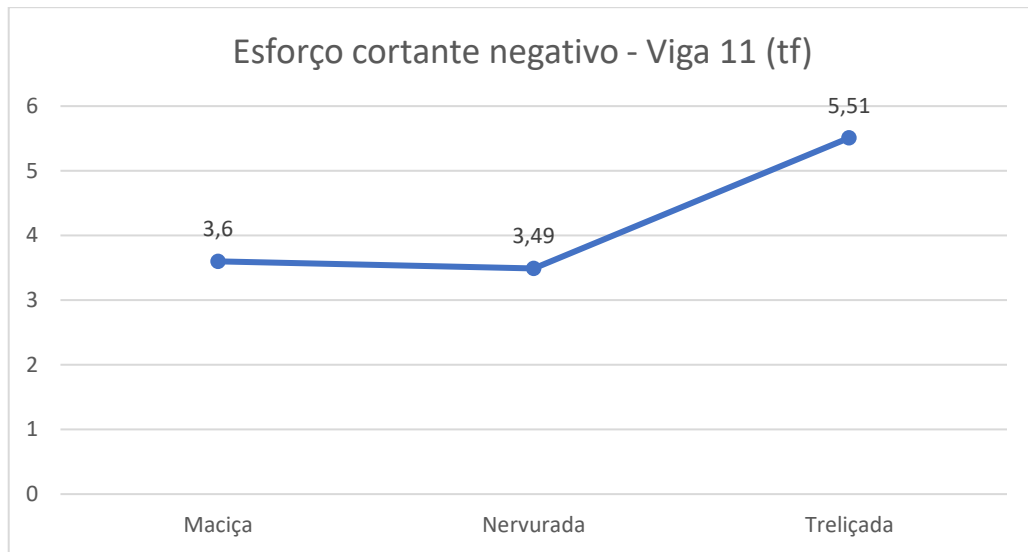
De modo análogo, como exposto na tabela 11 e nas figuras 52, 53 e 54 os esforços cortantes negativos que derivam das reações dos pilares ou vigas de apoio sofreram variações semelhantes àquelas dos esforços positivos, de acordo com o tipo de laje e as vigas consideradas.

Figura 52 - Comparação de esforços cortantes negativos na viga 08



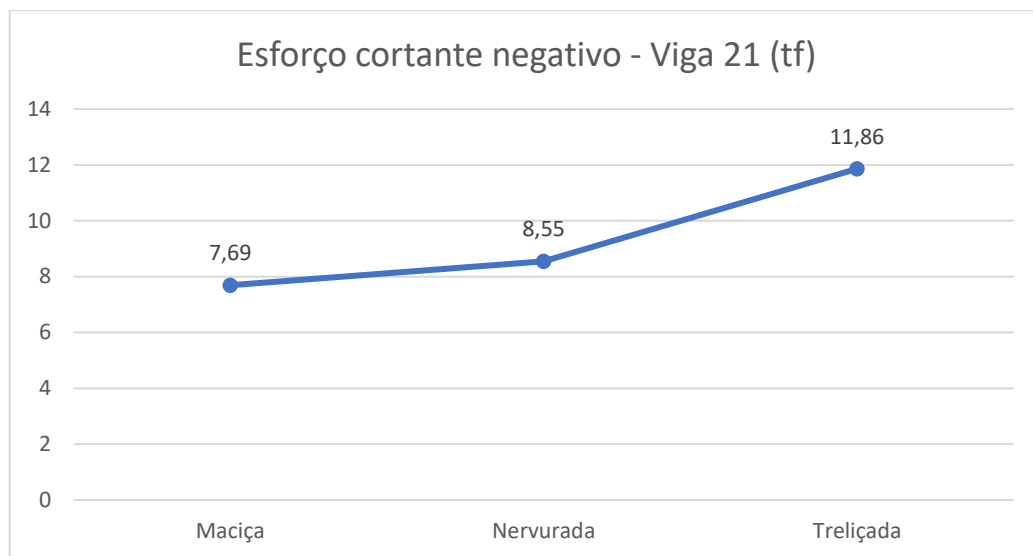
Fonte: Autoria Própria

Figura 53 - Comparação esforços cortantes negativos na viga 11



Fonte: Autoria Própria

Figura 54 - Comparação esforços cortantes negativos na viga 21



Fonte: Autoria Própria

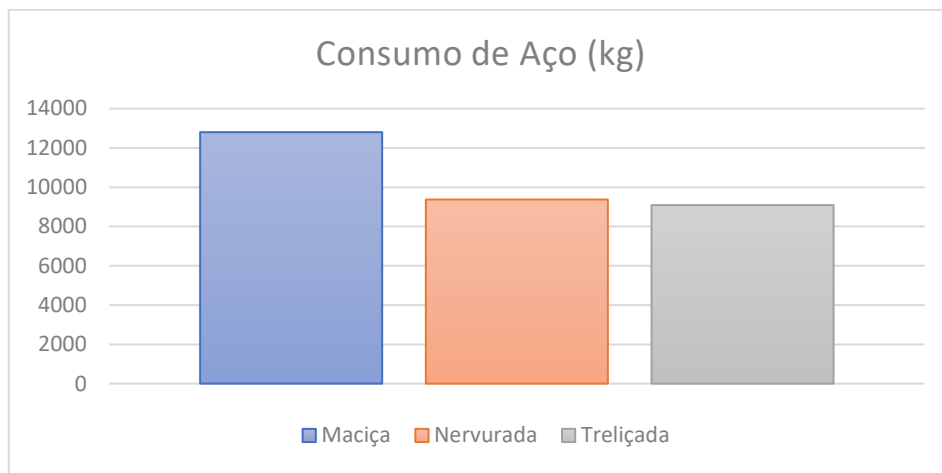
Nas soluções nervurada e treliçada o consumo de concreto é otimizado através da remoção do concreto das regiões onde a armadura trabalha a tração, dado que o concreto tem baixa resistência à tração, focando seu uso nas regiões de compressão; essa redução do consumo de concreto é observada na tabela 12 e na figura 56. Como resultado disso há uma redução nos esforços dependentes do peso próprio da laje, o que levou neste caso a uma redução do consumo de aço no total devido a diminuição da carga, como vemos na tabela 12 e na figura 55, de modo que a opção treliçada se mostrou a de menor consumo de aço e concreto, seguida imediatamente da nervurada e por último pela maciça.

Tabela 12 - Consumo de Material

Projeto Material	Maciça	Nervurada	Treliçada
Aço (kg)	12.802,00	9.374,00	9.089,00
Concreto (m ³)	178,00	166,74	141,92

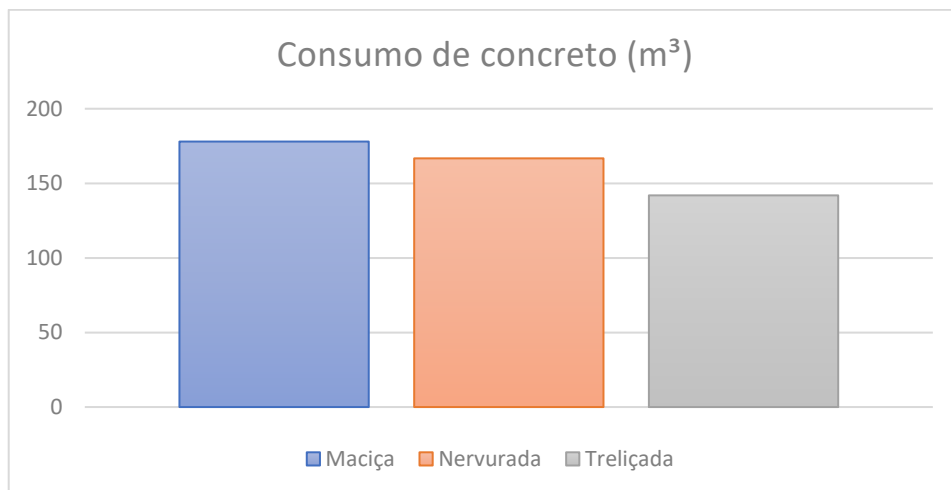
Fonte: Autoria Própria

Figura 55 - Consumo de Aço



Fonte: Autoria Própria

Figura 56 - Consumo de concreto



Fonte: Autoria Própria

Em todos os projetos o parâmetro α foi maior que 0,5, como vê-se na tabela 13, o que classifica a estrutura como de nós móveis, embora o parâmetro γ_z tenha sido menor que 1,1, o TQS considerou o parâmetro F_{avt} para classificação, pois o pior caso foi quando houve, além dos efeitos do vento, a consideração das cargas verticais para os deslocamentos horizontais (que

é a característica do parâmetro F_{avt}), quando considerando o parâmetro F_{avt} e este sendo acima de 1,1 foi confirmada a classificação da estrutura como de nós móveis, realizada pelo parâmetro α . Assim, o *software* considerou 15% dos esforços de primeira ordem como os esforços de segunda ordem em todos os projetos, conforme definido no item 3.8.2 deste trabalho.

Tabela 13 - Parâmetros de estabilidade global

Projeto Parâmetro	Maciça	Nervurada	Treliçada
α	0,731	0,632	0,764
γ_z	1,092	1,09	1,097
F_{avt}	1,144	1,117	1,147

Fonte: Autoria Própria

As flechas máximas entre lajes foram praticamente idênticas entre a maciça e a nervurada como vemos na tabela 14, sendo a laje treliçada aquela que teve a maior flecha, devido a carga estar sendo distribuída em um único sentido.

Tabela 14 - Flecha máxima nas lajes

Projeto	Local	Valor (cm)
Maciça	Laje L11	1,21
Treliçada	Laje L11	1,75
Nervurada	Laje L11	1,20

Fonte: Autoria Própria

As flechas máximas entre vigas variaram consideravelmente como vemos na tabela 15, sendo que a menor se deu na opção com laje maciça, devido o concreto da laje maciça auxiliar a viga a combater as flechas, o que não ocorre nas demais, além disso, a flecha na treliçada é a maior das opções devido a carga inteira estar distribuída em único sentido.

Tabela 15 - Flecha máxima nas vigas

Projeto	Local	Valor (cm)
Maciça	Viga V3	0,79
Treliçada	Viga V3	1,76
Nervurada	Viga V3	1,38

Fonte: Autoria Própria

Os deslocamentos laterais foram mínimos quando comparados com os limites normativos conforme as equações 33 e 34, como pode-se visualizar nas tabelas 16 e 17, além de terem sido muito similares entre as opções de projeto, o que se deve ao modelo IV do TQS não considerar o aspecto de diafragma rígido da laje maciça.

Tabela 16 - Deslocamentos horizontais no topo do edifício

Projeto Valor	Maciça	Nervurada	Treçada
Valor real	0,08	0,08	0,09
Valor limite	0,59	0,59	0,59
Valores em cm			

Fonte: Autoria Própria

Tabela 17 - Deslocamentos horizontais entre pisos

Projeto Valor	Maciça	Nervurada	Treçada
Valor real	0,03	0,03	0,04
Valor limite	0,35	0,35	0,35
Valores em cm			

Fonte: Autoria Própria

Além disso, como é possível deduzir a partir da tabela 18, a opção que mais impacta as fundações é a opção de laje maciça, devido ao aumento do peso próprio, seguida da nervurada e então da treçada.

Tabela 18 - Carga máxima nas fundações

Projeto	Local	Valor (tf)
Maciça	Pilar P14	103,99
Treçada	Pilar P20	88,50
Nervurada	Pilar P20	93,37

Fonte: Autoria Própria

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Deste modo, é possível concluir que a opção treliçada se mostrou a mais econômica entre as disponíveis, mas sua proximidade da nervurada relativa ao consumo de concreto e aço permite que a nervurada também seja considerada como opção viável, especialmente se considerarmos que a opção nervurada obteve flechas razoavelmente menores que a treliçada, o que pode assegurar melhor comportamento em estado limite de serviço, todavia a laje nervurada, como visto, tende a exigir mais da fundação que a treliçada.

É importante ressaltar que devido as limitações do TQS Estudante não foram avaliadas as opções de lajes nervuradas lisas e cogumelo, que poderiam mudar a conclusão, de modo que se recomenda que em trabalhos futuros sejam avaliadas essas opções, se dada a oportunidade. Bem como pode ser feita em trabalhos futuros a diminuição dos vãos com vigas intermediárias para diminuir as flechas na treliçada e comparar se aumenta o consumo de aço e concreto, uma outra comparação que pode ser feita é entre os resultados computacionais e aqueles do cálculo manual para verificar a diferença entre um e outro e se ela é relevante. Além disso, esse trabalho não avaliou os aspectos construtivos como a disponibilidade de material e mão-de-obra, a velocidade requerida da obra, entre outros aspectos, que podem favorecer ou não uma opção ou outra, indo além dos aspectos de projeto.

REFERÊNCIAS

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **Definition of concrete, hydraulic cement, mortar, and grout**. Disponível em:

<<https://www.concrete.org/tools/frequentlyaskedquestions.aspx?faqid=640>>. Acesso em: 10 de abr. de 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6118:2023**: Projeto de Estruturas de Concreto. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6123:1988**: Forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 1988.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7480/2022**: Aço destinado às armaduras para estruturas de concreto armado – Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

AXIAL ENGENHARIA. **Lajes Treliçadas com EPS(Isopor): Preço, Vantagens e Desvantagens**. Disponível em: <<https://axialengenharia.eng.br/2017/04/27/lajes-trelicadas-com-epsisor-preco-vantagens-e-desvantagens/>>. Acesso em 23 de jun. de 2024.

BASTOS, P.S. **Lajes de concreto**. Bauru, SP: Universidade Estadual Paulista, 2005.

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

BENTO, J. M. L. A. **Manual Prático de Administração de Projetos, Propostas e Concorrências**. 1ª ed. Rio de Janeiro: editora PINI, 2014.

BOTELHO, M. H. C.; MARCHETTI, O. **Concreto Armado Eu te Amo: Volume 1**. 9ª edição. São Paulo: Blucher, 2018.

BRANDALISE, G. M.; WESSLING, L. I. **Estudo comparativo de custo de laje maciça simples e laje de vigotas pré-fabricadas treliçadas em edifícios de até quatro pavimentos no município de Pato Branco, Paraná, Brasil**. Tese (Trabalho de Conclusão de Curso). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2015.

CHIAVERINI, V. **Aços e Ferros Fundidos**. 7ª edição. São Paulo, SP: Associação Brasileira de Metalurgia, 2005.

DONIN, Christian. **Análise numérica de lajes nervuradas por meio do método dos elementos finitos**. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

ESCORAR. **Catálogo Astra**, 2024. Disponível em:

<<https://www.escorar.com.br/views/geral/catalogo/formas-plasticas.pdf>>. Acesso em Acesso em: 9 de dez. de 2023.

GONZALEZ, R.L.M. **Análise de lajes pela teoria das charneiras plásticas e comparação de custos entre lajes maciças e treliçadas**. Tese (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Paulo, p. 159, 1997.

LOPES, A. F. de O.; BONO, G.F.F; BONO, G. **Análise numérica comparativa entre lajes maciças e nervuradas com diferentes tipos de materiais de enchimento**. Asociación Argentina de Mecánica Computacional, Mendoza, vol. XXXII, p.3483-3495, 2013.

LOPES, André F. de Oliveira. **Estudo técnico comparativo entre lajes maciças e nervuradas com diferentes tipos de materiais de enchimento**. Tese (Trabalho de Conclusão de Curso). Universidade Federal de Pernambuco. Caruaru, 2012.

MORAES, M. A. C. **Estudo comparativo de custos entre três tipos de lajes (maciça, vigota treliçada e nervurada com cubetas plásticas) da nova reitoria da Universidade Federal do Tocantins (UFT)**. Tese (Trabalho de Conclusão de Curso). Universidade Federal do Tocantins. Palmas, 2020.

PORTO, Bonjardim Thiago; FERNANDES, Danielle Stefane Gualberto. **Curso Básico de Concreto Armado**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

SILVA, Sebastião S. et al. **Eficiência do método de analogia de grelha na análise de lajes maciças: estudo de um pavimento residencial**. Phoenix: Concilium, 2019. Disponível em: <<https://clium.org/index.php/edicoes/article/view/1913/1270>>. Acesso em: 15 de nov. de 2023.


TIMOSHENKO, Stephen P.; GERE, James E. **Mecânica dos Sólidos: Volume 1**. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1983.

TQS. Site Oficial da TQS, 2023. **Seção de documentação do software TQS**. Disponível em: <<https://docs.tqs.com.br/Docs/Details?id=3124&language=pt-BR>>. Acesso em: 13 de dez. de 2023.

TQS. Site Oficial da TQS, 2023. **Seção de documentação do software TQS**. Disponível em: <<https://docs.tqs.com.br/Docs/Details?id=3155&language=pt-BR>>. Acesso em: 29 de mar. de 2023.

VALANDRO, Amanda; TROMBETTA, Dâmaris Thaise. **Estabilidade global de edifícios – aplicação do parâmetro de instabilidade α e processo P-delta**. Tese (Trabalho de Conclusão de Curso). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2016.

XAVIER, Ivan. **Orçamento, planejamento e custos de obras**. São Paulo: FUPAM– Fundação Para A Pesquisa Ambiental, 2008.

	INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA
	Campus João Pessoa - Código INEP: 25096850
	Av. Primeiro de Maio, 720, Jaguaribe, CEP 58015-435, Joao Pessoa (PB)
	CNPJ: 10.783.898/0002-56 - Telefone: (83) 3612.1200

Documento Digitalizado Ostensivo (Público)

Trabalho de Conclusão de Curso

Assunto:	Trabalho de Conclusão de Curso
Assinado por:	Eliaquim Pereira
Tipo do Documento:	Tese
Situação:	Finalizado
Nível de Acesso:	Ostensivo (Público)
Tipo do Conferência:	Cópia Simples

Documento assinado eletronicamente por:

- Eliaquim Rodrigues Pereira, ALUNO (201912220016) DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL - JOÃO PESSOA, em 14/10/2024 17:59:03.

Este documento foi armazenado no SUAP em 14/10/2024. Para comprovar sua integridade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifpb.edu.br/verificar-documento-externo/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 1277204

Código de Autenticação: 3818c0442f

