



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

Beatriz Oliveira Paulino da Silva

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE LAJES MACIÇAS E NERVURADAS BIDIMENSIONAIS:
APLICAÇÃO EM PAVIMENTO TIPO DE EDIFÍCIO RESIDENCIAL**

João Pessoa
2025

Beatriz Oliveira Paulino da Silva

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE LAJES MACIÇAS E NERVURADAS BIDIMENSIONAIS:
APLICAÇÃO EM PAVIMENTO TIPO DE EDIFÍCIO RESIDENCIAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso Superior de Bacharelado em
Engenharia Civil como parte dos requisitos
necessários para conclusão do curso.

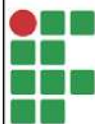
Orientadora: Professora Doutora Ana
Cláudia Leão Borges

João Pessoa
2025

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

S586e	Silva, Beatriz Oliveira Paulino da. Estudo comparativo entre lajes maciças e nervuradas bidimensionais : aplicação em pavimento tipo de edifício residencial / Beatriz Oliveira Paulino da Silva. - 2025. 26 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, 2025. Orientação: Profª Dra. Ana Cláudia Leão Borges. 1. Laje maciça. 2. Laje nervurada. 3. Consumo de materiais. 4. Custo de execução. 5. Projeto estrutural. I. Título. CDU 624.012.4(043)
-------	---

Bibliotecária responsável: Lucrecia Camilo de Lima – CRB 15/132



INSTITUTO FEDERAL
Paraíba

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

DECISÃO 35/2025 - CBEC/UA1/UA/DDE/DG/JP/REITORIA/IFPB, de 12 de setembro de 2025.

BEATRIZ OLIVEIRA PAULINO DA SILVA

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE LAJES MACIÇAS E NERVURADAS BIDIMENSIONAIS: Aplicação
em Pavimento Tipo de Edifício Residencial**

	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 Bacharela em Engenharia Civil
--	---

Aprovado em 02 de setembro de 2025

Banca Examinadora

Dra. Ana Cláudia Leão Borges (Orientadora - IFPB)

Me. Breno José Santos da Silva (Examinador Interno - IFPB)

Me. Sara Fragoso Pereira (Examinadora Interna - IFPB)

JOÃO PESSOA

2025

Documento assinado eletronicamente por:

- Ana Claudia Leao Borges, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 12/09/2025 14:04:21.
- Sara Fragoso Pereira, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 12/09/2025 14:06:52.
- Breno Jose Santos da Silva PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 12/09/2025 16:27:49.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 09/09/2025. 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 763513
Verificador: 55bf5e2822
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.

Estudo Comparativo entre Lajes Maciças e Nervuradas Bidimensionais: Aplicação em Pavimento Tipo de Edifício Residencial

Beatriz Oliveira Paulino da Silva[1]*

[1] beatriz.paulino@academico.ifpb.edu.br. Instituto Federal da Paraíba (IFPB), Brasil.

*autor correspondente.

Resumo

A escolha do sistema de laje é uma etapa fundamental no projeto estrutural de edificações, influenciando diretamente aspectos como custo, execução e racionalização do uso de materiais. Este trabalho tem como objetivo comparar os sistemas de laje: uma maciça e outra nervurada, a partir de dois modelos estruturais com desempenhos equivalentes. A análise concentrou-se na avaliação do consumo de materiais, com base em dados como espessura da laje, volume de concreto, área de fôrmas e quantidade de aço. Os resultados demonstraram que, apesar da maior complexidade executiva, a laje nervurada proporciona vantagens significativas na redução de materiais. A comparação permite subsidiar decisões mais fundamentadas na escolha do sistema de laje, conciliando critérios técnicos, de custo e construtivos. A solução nervurada reduziu em 18,4% o volume de concreto, 14,7% o consumo de aço e 48,7% a área de fôrmas, refletindo em um custo total 31,6% menor (R\$ 43.540,82 contra R\$ 63.667,64). Assim, a laje nervurada apresentou melhor relação custo-benefício.

Palavras-chave: Laje maciça; Laje nervurada; Consumo de materiais; Custo de execução; Projeto estrutural.

Abstract

The choice of the slab system is a fundamental step in the structural design of buildings, directly influencing aspects such as cost, execution, and the rationalization of material use. This work aims to compare slab systems: one solid and the other ribbed, based on two structural models with equivalent performance. The analysis focused on the evaluation of material consumption, using data such as slab thickness, concrete volume, formwork area, and steel quantity. The results demonstrated that, despite its greater execution complexity, the ribbed slab provides significant advantages in material reduction. The comparison allows for more well-founded decisions in the selection of the slab system, reconciling technical, cost, and construction criteria. The ribbed solution reduced the concrete volume by 18.4%, steel consumption by 14.7%, and formwork area by 48.7%, resulting in a total cost 31.6% lower (R\$ 43,540.82 versus R\$ 63,667.64). Thus, the ribbed slab presented a better cost-benefit ratio.

Keywords: Solid slab; Ribbed slab; Material consumption; Construction cost; Structural design.

1. Introdução

A escolha do tipo de laje a ser utilizada em uma edificação, seja ela maciça ou nervurada, deve ser baseada em critérios técnicos e econômicos. Afirma Rezende, Souza e Gonçalves (2024) que a laje maciça de concreto armado é a mais empregada no Brasil, uma vez que seu processo de execução é simples e de conhecimento popular, sendo grande a variedade de mão de obra. Na prática, observa-se que, em construções residenciais de pequeno porte, muitas vezes a escolha por esse tipo de laje se dá justamente pela facilidade construtiva, ainda que uma análise técnica detalhada pudesse apontar alternativas mais econômicas ou eficientes. Contudo, é

importante destacar que uma má decisão pode elevar consideravelmente os custos e comprometer a segurança da construção.

Com o crescimento da industrialização na construção civil e o uso cada vez maior de ferramentas como o BIM (Building Information Modeling) e programas de modelagem estrutural, as escolhas dos projetos puderam se basear em informações mais concretas e em simulações com softwares. A decisão por um ou outro sistema de laje influencia diretamente diversas variáveis do projeto estrutural, como o consumo de concreto, aço e fôrmas, o tempo para execução da obra, a carga transmitida às fundações, além do comportamento em serviço, como flechas e vibrações, e na compatibilidade com as instalações prediais e no aproveitamento do pé-direito.

Este trabalho expõe uma análise comparativa entre laje maciça e laje nervurada a partir da análise de uma edificação modelada através de dois sistemas distintos de desempenho estrutural equivalentes, com intuito de determinar qual sistema se apresenta como melhor solução para o modelo estudado, e assim, fornecer subsídios técnicos que contribuam para decisões mais racionais e eficientes.

2. Lajes em Concreto Armado

Segundo Giongo (2007), a laje de concreto armado é um elemento estrutural plano, de pequena espessura em relação às suas dimensões em planta, destinado a suportar e distribuir cargas verticais, transmitindo-as às vigas e/ou pilares.

2.1 Laje Maciça

As lajes maciças são amplamente utilizadas na construção civil brasileira e figuram entre as soluções mais tradicionais no dimensionamento de estruturas em concreto armado. Elas são formadas por uma placa contínua de concreto armado apoiada diretamente sobre vigas ou paredes, como representado na Figura 1, o que permite uma distribuição uniforme das cargas para os apoios estruturais (Araújo, 2003).

Uma das principais vantagens desse sistema é sua simplicidade construtiva. Em obras de pequeno e médio porte, onde muitas vezes há limitações na padronização dos processos construtivos e da mão de obra, as lajes maciças se destacam por sua fácil execução. Segundo Simões e Sanguinetti (2020), além de contarem com profissionais familiarizados com esse tipo de estrutura por ser muito conhecida, o lançamento e o adensamento do concreto são mais simples, o que contribui para a produtividade na obra e para a qualidade final da laje, com menor ocorrência de vazios.

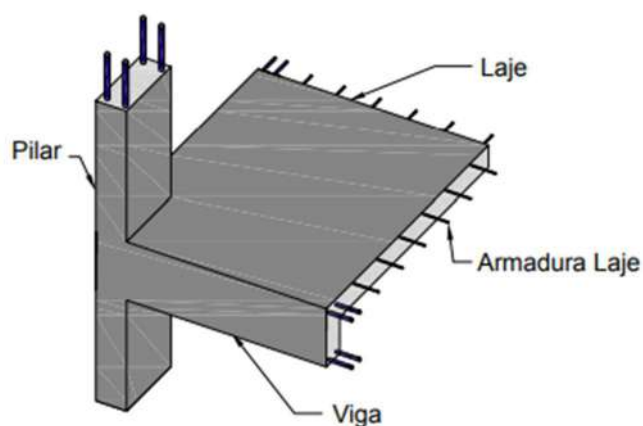
No entanto, essa praticidade vem acompanhada de um maior consumo de materiais, como fôrmas, aço e concreto. De acordo com Pinheiro, Muzardo e Santos (2003), as lajes maciças podem representar cerca de 50% do volume total de concreto utilizado em uma edificação. Dias (2016) complementa que, em alguns casos, elas chegam a consumir quase dois terços do concreto da estrutura, já que não possuem vazios como outros sistemas mais leves, a exemplo das lajes nervuradas.

Justamente por isso, esse tipo de laje demanda uma maior quantidade de concreto e fôrmas, o que pode impactar nos custos. Por esse motivo, a sua adoção deve ser bem avaliada, especialmente em projetos que exigem economia de materiais ou apresentam grandes vãos, onde a laje maciça pode não ser a solução mais eficiente.

Spohr (2008) aponta que esse tipo de laje apresenta melhor desempenho técnico e econômico em vãos médios, geralmente entre 3,5 e 5 metros. Além disso, as lajes maciças têm uma forma contínua e compacta que favorece o comportamento global da estrutura, garantindo maior rigidez e estabilidade à construção. Essa característica ajuda a evitar deformações excessivas e reduz vibrações indesejadas, aumentando o conforto dos usuários e também a durabilidade da edificação.

Pereira (2024) reforça essa visão ao afirmar que as lajes maciças, além de suportarem diretamente as cargas verticais, colaboram significativamente para o travamento dos deslocamentos estruturais, favorecendo a rigidez global da edificação. Essa contribuição é especialmente relevante em projetos submetidos a carregamentos elevados, conferindo maior segurança e estabilidade ao conjunto estrutural.

Figura 1 - Representação esquemática do sistema construtivo convencional em concreto armado.



Fonte: Spohr (2008)

2.2 Laje Nervurada

As lajes nervuradas vêm ganhando destaque na construção civil como uma solução moderna e eficiente, especialmente quando se busca economia de materiais, agilidade na execução e maior produtividade no canteiro de obras. Apesar de exigirem uma modelagem numérica mais cuidadosa, elas oferecem vantagens relevantes em comparação com sistemas mais tradicionais (Schwetz, 2011).

Uma das principais qualidades desse tipo de laje é a possibilidade de vencer grandes vãos, normalmente superiores a 8 metros, sem a necessidade de apoios intermediários. Isso se traduz em ambientes mais amplos e versáteis, como garagens, onde pilares poderiam dificultar a circulação e reduzir o número de vagas (Schwetz, 2011).

Esse desempenho estrutural superior se deve ao fato de que as lajes nervuradas possuem maior altura útil, o que melhora sua resistência à flexão. Como resultado, é possível usar menos material e ainda assim conferir um bom desempenho (Schwetz, 2011; Simões e Sanguinetti, 2020).

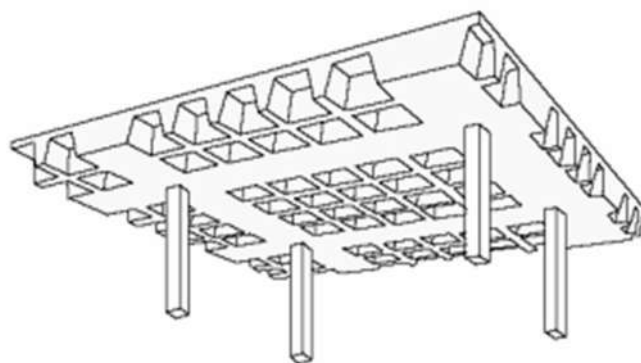
A configuração das nervuras é pensada de forma a posicionar o concreto onde ele realmente é necessário. Como o concreto tem baixa resistência à tração, sua presença na parte inferior da laje, onde essa força atua com mais intensidade, acaba sendo substituída pelas armaduras de aço, que desempenham melhor essa função. Isso reduz o uso excessivo de concreto, diminuindo o peso da estrutura (Brun, 2018; Araújo, 2010).

Além disso, estudos como o de Pereira (2024) mostram que esse tipo de laje contribui para a redução de esforços internos, como momentos fletores e cortantes, o que permite uma economia ainda maior de materiais. Salomão et al. (2015) também destacam que esse sistema favorece a rigidez da edificação, ao mesmo tempo em que colabora para um uso mais racional de aço, concreto e fôrmas. Elas permitem um grau maior de industrialização, com menos perdas de materiais e mais eficiência no processo, o que é muito valorizado em obras de médio e grande porte (Libânio e Razente, 2003).

No que diz respeito ao enchimento entre as nervuras, é comum o uso de materiais leves como blocos cerâmicos, blocos vazados de concreto ou EPS (poliestireno expandido). Esses elementos não têm função estrutural e servem apenas como moldes temporários, sendo descartados do cálculo da resistência da laje (Libânio e Razente, 2003), como se pode ver na Figura 2, os vazios deixados pelas cubetas.

Porém, apesar de todas essas vantagens, é importante ter cuidado na execução. A montagem correta das fôrmas, o posicionamento preciso das armaduras e o bom adensamento do concreto, com o uso de vibradores, são etapas essenciais para garantir a qualidade da estrutura e evitar falhas, como nervuras mal formadas ou vazios indesejados.

Figura 2 - Laje nervurada com vigas integradas



Fonte: Musso (2013)

3. Programa Computacional para Cálculo (Software) Comercial de Estrutura - TQS

O surgimento e o avanço dos programas computacionais voltados à engenharia estrutural, juntamente com o aumento do poder de processamento dos computadores, abriram um leque de possibilidades para o projeto. Atualmente, é possível trabalhar com geometrias mais complexas, ampliação dos vãos estruturais e adoção de métodos de cálculo mais precisos, como o Método dos Elementos Finitos (MEF) e o Método dos Volumes Finitos (Pereira, 2024).

Dentre essas ferramentas, o TQS se destaca como um dos softwares comerciais mais utilizados no Brasil para o dimensionamento de estruturas. Desenvolvido pela empresa brasileira TQS Informática Ltda., fundada pelo engenheiro civil Nelson Covas, o sistema é reconhecido pela sua robustez e integração entre diferentes etapas do projeto estrutural (Assis, 2019). O CAD/TQS é um sistema computacional gráfico que abrange todas as fases do projeto, desde a concepção estrutural, análise de esforços e deformações, passando pelo dimensionamento e detalhamento das armaduras, até a emissão das plantas finais. A TQS Informática atua há mais de 25 anos no

mercado nacional, sendo referência em inovações tecnológicas voltadas a engenharia civil estrutural (Assis, 2019).

Segundo Antunes (2017), o TQS é composto por um conjunto de ferramentas destinadas ao cálculo, dimensionamento, detalhamento e desenho de estruturas de concreto armado, protendido e alvenaria estrutural. Pereira (2024) complementa afirmando que o software permite a elaboração, análise estrutural, dimensionamento e detalhamento completo de armaduras, assim como a geração automática de plantas, tudo em conformidade com os requisitos das normas técnicas brasileiras, como a ABNT NBR 6118:2023 (Projeto de estruturas de concreto). Essa integração, aliada à capacidade de modelar e dimensionar lajes nervuradas quando corretamente alimentado com dados de entrada, garante maior produtividade, qualidade e confiabilidade aos projetos desenvolvidos.

Outro diferencial importante é que o TQS oferece compatibilidade com ferramentas BIM, facilitando a integração entre o projeto estrutural e os demais projetos da edificação. Essa funcionalidade é fundamental para promover a compatibilização eficiente entre os projetos, como arquitetura, instalações hidráulicas, elétricas e outros sistemas.

Ele também é capaz de gerar automaticamente os quantitativos de materiais como concreto, aço e fôrmas, o que permite análises comparativas mais precisas entre diferentes soluções estruturais. Essa funcionalidade oferece subsídios técnicos confiáveis para a tomada de decisões baseadas em critérios de desempenho, sustentabilidade e custo.

Dessa forma, o TQS não apenas automatiza cálculos estruturais, mas se consolida como uma ferramenta essencial para o projeto moderno de estruturas, unindo precisão técnica, economia de tempo e conformidade normativa com os padrões nacionais de engenharia.

4. Análise Comparativa

Escolher o tipo de laje mais adequado para uma edificação envolve uma série de fatores que ultrapassa a simples preferência por métodos tradicionais. É necessário considerar pontos como o desempenho estrutural, o consumo de materiais e os custos que devem ser considerados de forma integrada e racional. Por isso, torna-se essencial a realização de análises comparativas entre diferentes sistemas construtivos, respeitando as diretrizes normativas e utilizando ferramentas que permitam avaliar o comportamento estrutural em condições equivalentes.

Como afirma Simões e Sanguinetti (2020), a comparação entre diferentes soluções estruturais deve considerar critérios como eficiência, consumo de materiais e facilidade de execução. Em seus estudos, eles utilizaram softwares de análise estrutural para extrair quantitativos de volume de concreto, taxa de armaduras e consumo de fôrmas, permitindo uma avaliação técnica completa dos sistemas analisados.

De forma semelhante, o presente trabalho adotou uma abordagem comparativa, utilizando o mesmo projeto arquitetônico para o desenvolvimento de dois modelos estruturais distintos, sendo um com laje maciça e outro com laje nervurada. Ambos os modelos foram dimensionados de forma a atender requisitos semelhantes de desempenho estrutural, o que possibilitou a análise das diferenças entre os sistemas sob condições análogas.

De cada modelo, foram extraídos os quantitativos, como volume de concreto, consumo de aço e uso de fôrmas, permitindo uma comparação objetiva entre os sistemas. Diferentemente do estudo dos autores citados anteriormente, que considerou três tipos de lajes, este trabalho

concentrou-se em apenas dois, o que possibilitou uma análise mais aprofundada de cada solução adotada.

A importância desse estudo é reforçada por Rodrigues (2023), que argumenta que a análise comparativa entre métodos construtivos permite identificar as vantagens e desvantagens de cada um, proporcionando ao projetista uma base sólida para a tomada de decisão. Segundo o autor, essa prática contribui para escolhas mais conscientes, superando a simples repetição de soluções tradicionalmente adotadas.

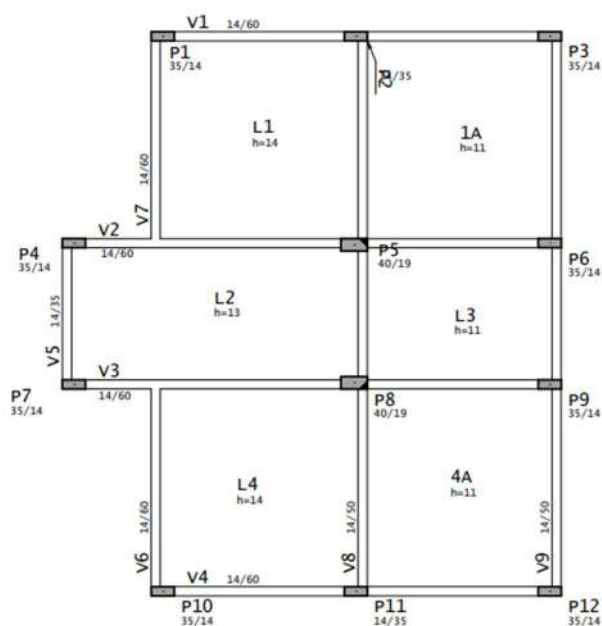
Além disso, a norma ABNT NBR 6118:2023 reforça a necessidade de garantir o desempenho estrutural das edificações ao longo de sua vida útil, o que inclui não apenas a segurança, mas também aspectos como durabilidade, funcionalidade e economia. Avaliar diferentes soluções que atendam a esses critérios é um procedimento técnico necessário e compatível com as boas práticas de projeto.

5. Metodologia

Este estudo tem como objetivo comparar o consumo de materiais entre dois tipos de lajes em concreto armado: as lajes maciças e as lajes nervuradas. A escolha metodológica de limitar a análise a um pavimento-tipo permitiu maior detalhamento e precisão nos resultados, sem a necessidade de estender o dimensionamento a todos os pavimentos do edifício. Foram analisados dois projetos com o mesmo modelo arquitetônico, e ambos os sistemas foram dimensionados para alcançar um desempenho estrutural semelhante. Ou seja, mesmo com soluções construtivas distintas, ambos atendem de forma equivalente aos critérios normativos de segurança, estabilidade, deformações, fissuração, durabilidade e funcionalidade, garantindo níveis similares de desempenho em serviço, o que possibilitou uma comparação equilibrada entre as soluções.

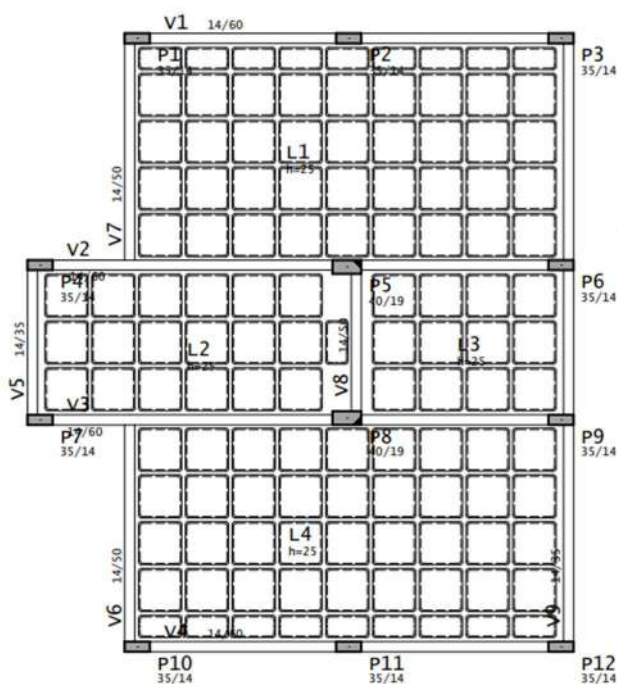
Foi utilizado um estudo teórico para definição dos arranjos estruturais, da modelagem e do dimensionamento das duas soluções adotadas através do software. A Figura 3 mostra o modelo em laje maciça e Figura 4 o modelo em laje nervurada. Deles foram extraídos dados sobre o consumo de concreto, aço e fôrmas, além da verificação da capacidade resistente e do comportamento da estrutura.

Figura 3 - Laje maciça (pavimento tipo)



Fonte: Autoria própria com desenhos no TQS (2025)

Figura 4 - Laje nervurada (pavimento tipo)



Fonte: Autoria própria com desenhos no TQS (2025)

Para as adaptações, no caso das vigas, algumas alterações importantes foram identificadas entre os dois projetos. As vigas V6 e V7 apresentam a mesma espessura em ambas as soluções, 14 cm, porém, a altura foi reduzida de 60 cm na laje maciça (Figura 3) para 50 cm na laje nervurada (Figura 4). Essa redução de altura representa uma economia no uso de concreto, aproveitando a eficiência estrutural da laje nervurada.

Outra modificação significativa ocorreu na viga V8. No projeto com laje maciça (Figura 3), ela está posicionada entre os pilares P11 e P12. Já no projeto com laje nervurada (Figura 4), essa mesma viga foi realocada, passando a se estender entre os pilares P8 e P5, alterando, portanto, o caminho de distribuição dos esforços.

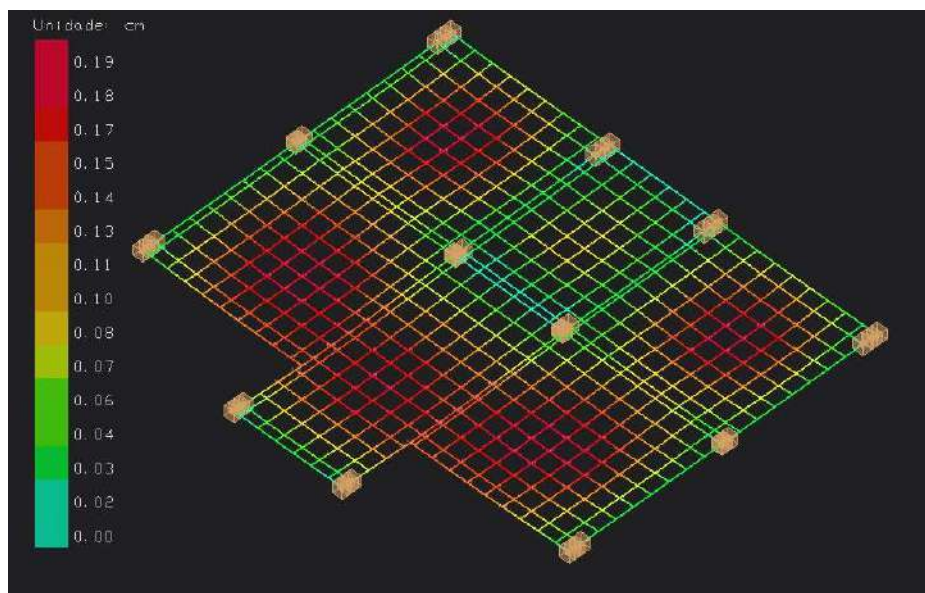
Por fim, a viga V9 manteve a espessura de 14 cm nos dois projetos, mas sofreu uma alteração na altura: enquanto no projeto de laje maciça (Figura 3) possui 50 cm, na laje nervurada (Figura 4) essa altura foi reduzida para 35 cm, também contribuindo para a diminuição do volume de concreto utilizado.

As lajes também apresentam diferenças relevantes entre os dois projetos. No projeto com laje maciça (Figura 3), há uma variedade de espessuras: as lajes L1 e L4 possuem 14 cm, a laje L2 tem 13 cm, enquanto as lajes L1A, L3 e L4A apresentam espessura de 11 cm. Já no projeto com laje nervurada (Figura 4), todas as lajes (L1, L2, L3 e L4) foram padronizadas com altura de 25 cm. Essa solução foi adotada para compensar a retirada parcial da viga V8, garantindo a rigidez necessária, especialmente nos maiores vãos.

Além disso, o projeto com laje maciça apresenta mais lajes do que o projeto com laje nervurada. Isso se deve à presença, no primeiro caso, de uma viga que atravessava toda a planta e foi reduzida no segundo, exigindo uma reorganização dos vãos e, conseqüentemente, uma quantidade menor de lajes na versão com laje nervurada.

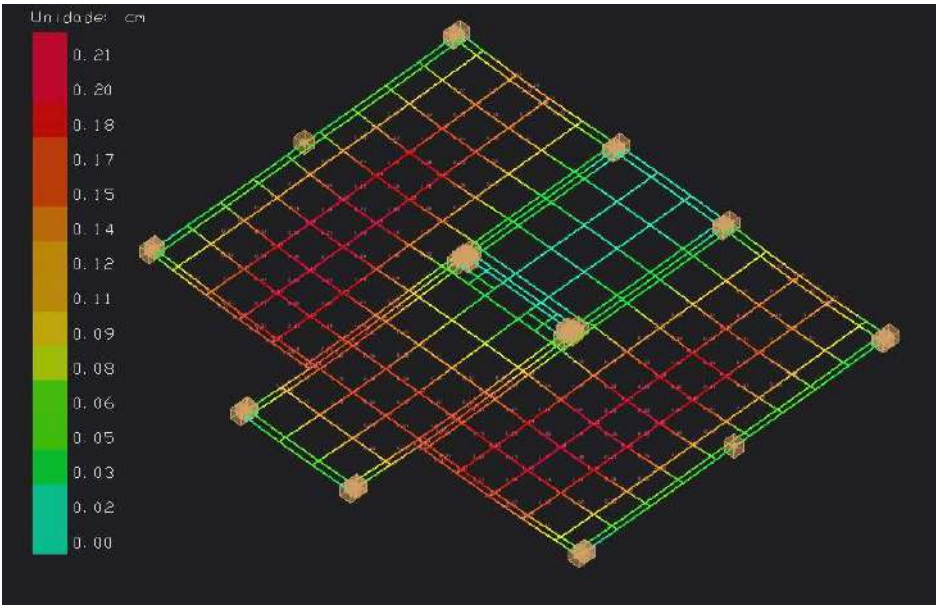
Quanto aos pilares, ambos os projetos apresentam uma distribuição semelhante, com os pilares nomeados de P1 a P12. As seções predominantes são 35/14 cm, com exceção dos pilares P5 e P8, que possuem seção 40/19 cm.

Figura 5 - Deformação da laje maciça com a combinação quase permanente (pavimento tipo)



Fonte: Autoria própria com desenhos no TQS (2025)

Figura 6 - Deformação da laje nervurada com a combinação quase permanente (pavimento tipo)



Fonte: Autoria própria com desenhos no TQS (2025)

Os resultados indicaram que a laje nervurada apresentou deslocamento máximo de aproximadamente 0,21 cm (Figura 6), enquanto a laje maciça apresentou deslocamento máximo próximo de 0,19 cm (Figura 5).

Com os dados obtidos, foi realizada uma análise crítica dos resultados, comparando o desempenho técnico e econômico das duas soluções. O critério decisivo foi o custo envolvido na execução de cada tipologia, considerando apenas o consumo de concreto, aço e fôrmas. A partir dessa comparação, foi possível identificar qual das opções oferece melhor custo-benefício dentro do cenário proposto, contribuindo para decisões mais assertivas na escolha do sistema estrutural em projetos similares.

5.1 Modelagem estrutural

A modelagem estrutural dos dois projetos usados foi feita no software TQS, amplamente utilizado para o dimensionamento de estruturas de concreto armado. Foi adotado um Projeto Modelo do TQS. Todos os cálculos seguiram os critérios da norma ABNT NBR 6118:2023. Os edifícios analisados possuem alturas totais de 11 metros e eles são compostos pelos seguintes pavimentos expostos no Quadro 1:

Quadro 1 - Pavimentos o Projeto Modelo

Pavimento	Piso	Piso a piso (m)	Cota (m)	Área (m2)
Cobertura	4	2.75	11.0	56.69
Tipo	3	2.75	8.25	56.69
Tipo	2	2.75	5.5	56.69
Tipo	1	2.75	2.75	56.69
Fundacao	0	0.0	0.0	7.98
				TOTAL = 234.74

A área do pavimento corresponde a área estruturada.

Fonte: TQS (2025)

Assim como a modelagem estrutural, os critérios de durabilidade também seguiram as diretrizes da ABNT NBR 6118:2023. Essa norma exige que toda estrutura seja projetada para resistir ao longo do tempo aos efeitos de agentes físicos e químicos presentes no ambiente, como umidade, variações térmicas e substâncias agressivas. Para isso, o projeto deve adotar medidas que evitem ou reduzam o risco de deterioração precoce.

Um dos principais parâmetros para garantir essa durabilidade é a Classe de Agressividade Ambiental (CAA), também definida pela NBR 6118:2023, conforme apresentado no Quadro 2. Ela determina o grau de exposição da estrutura a ambientes agressivos e impacta diretamente em decisões como cobrimento das armaduras, relação água/cimento (a/c), resistência característica do concreto (fck), entre outros pontos do projeto.

Essas exigências ajudam a evitar manifestações patológicas como a corrosão das armaduras e a deterioração do concreto, que comprometem o desempenho e a segurança da edificação. A norma ABNT NBR 15575:2021 (Edificações habitacionais – Desempenho) reforça essa exigência ao estabelecer que estruturas habitacionais devem apresentar vida útil mínima de 50 anos, desde que os requisitos de durabilidade sejam corretamente atendidos em projeto.

A própria NBR 6118:2023 classifica os ambientes em quatro níveis de agressividade, de baixa a muito alta, e cada nível exige cuidados específicos de execução e detalhamento para garantir a durabilidade da estrutura.

Quadro 2 - Classes de agressividade ambiental (CAA)

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

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

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

^c Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas, elementos em contato com solo contaminado ou água subterrânea contaminada.

Fonte: ABNT NBR 6118:2023 (2023)

Neste projeto, foi adotada a Classe II de agressividade ambiental para o edifício e para o pavimento admitiu-se a Classe I, de acordo com a observação “a” do Quadro 2, correspondente a ambientes internos, secos e protegidos, como ocorre em edificações residenciais e comerciais localizadas em áreas urbanas não litorâneas. Essa classificação permite um cobrimento menor das armaduras e exige menos rigor em relação ao concreto, já que o risco de deterioração é baixo.

Mesmo com a norma ABNT NBR 6118:2023 permitindo o uso de concreto com resistência a partir de 20 MPa para essa classe, melhor detalhado no Quadro 3, optou-se pelo fck de 25 MPa (C25) em todos os elementos estruturais, sendo eles pilares, vigas, lajes e fundações, como se

pode analisar no Quadro 4. Essa decisão visa garantir maior durabilidade, melhorar o desempenho estrutural e oferecer uma margem de segurança adicional ao projeto.

Quadro 3 - Correspondência entre a classe de agressividade e a qualidade do concreto

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

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

Fonte: ABNT NBR 6118:2023 (2023)

Quadro 4 - Classificação da resistência do concreto usadas

Elemento	Classe	Situação
Pilares	C25	OK
Vigas e lajes	C25	OK
Fundações	C25	OK

Fonte: TQS (2025)

De acordo com a ABNT NBR 6118:2023, o cobrimento nominal das armaduras deve ser definido com base na classe de agressividade do ambiente, no tipo de elemento estrutural e na posição das armaduras (ativas ou passivas). Neste projeto, como a estrutura está exposta a uma classe de agressividade ambiental moderada (CAA II), foram adotados os valores de cobrimento expostos no Quadro 5.

Quadro 5 - Cobrimentos dos elementos estruturais

Elemento	Cobrimento (cm)	Cobr. mínimo (cm)	Situação
Pilares	2.5	2.5	OK
Vigas	2.5	2.5	OK
Lajes convencionais	2 / 2	2	OK
Lajes protendidas	3 / 3	2.5	OK

Nas lajes, cobrimento inferior / superior.

Fonte: TQS (2025)

O modelo estrutural é a forma como a edificação é representada no software de acordo com o lançamento do projetista de forma que os cálculos sejam feitos com base em um comportamento mais próximo do real. Nos dois sistemas analisados, foi utilizado um modelo espacial global, que considera o edifício como um conjunto tridimensional interligado. Isso permite simular de forma mais precisa como a estrutura se comportaria diante das cargas aplicadas.

As ligações entre vigas e pilares foram configuradas com flexibilidade, o que se aproxima mais da realidade da construção. O método utilizado para considerar os efeitos de segunda ordem foi o GamaZ, que leva em conta os deslocamentos provocados por cargas verticais e horizontais, contribuindo para avaliar a estabilidade global da edificação.

Em relação às diferenças entre os modelos, a laje nervurada é composta por uma grelha formada por nervuras, enquanto a laje maciça apresenta uma grelha constituída por placas planas. Embora usem os mesmos valores de módulo de elasticidade, de 24.150 MPa, essas diferenças influenciam na rigidez dos pavimentos e na distribuição das ações para todos os elementos estruturais.

As ações consideradas no projeto seguem as normas técnicas brasileiras NBR 6118:2023 e NBR 6120:2019 (Ações para o cálculo de estruturas de edificações), que abrangem as cargas permanentes, variáveis e a ação do vento. As cargas de peso próprio, paredes e uso dos ambientes foram separadas corretamente, o que torna o projeto mais conservador e seguro.

As ações do vento também foram consideradas, com uma velocidade básica de 31 m/s. A categoria de rugosidade usada foi a IV, com fator topográfico igual a 1,00, representando áreas com muitos obstáculos. A classe da edificação foi definida como Classe A, que corresponde a construções com dimensões inferiores a 20 metros. Essas ações foram analisadas em diferentes direções, considerando coeficientes de arrasto variados conforme o ângulo de incidência do vento, como visto no Quadro 6.

Quadro 6 - Ângulo de incidência, coeficiente de arrasto, área e pressão considerada nas combinações de vento

Caso	Ângulo (°)	Coef. arrasto	Área (m2)	Pressão (tf/m2)
5	90.0	1.15	83.49	0.046
6	270.0	1.15	83.49	0.046
7	0.0	1.21	94.49	0.048
8	180.0	1.21	94.49	0.048

Fonte: TQS (2025)

O comportamento em serviço da estrutura está relacionado à sua performance durante o uso, garantindo que ela não apresente deformações, trincas, desconforto aos usuários ou problemas funcionais. Nos dois modelos estudados os resultados mostraram um desempenho muito bom.

5.2 Resultados

No total, foram analisadas 28 combinações diferentes de carregamento, que envolvem situações normais de uso, em estado limite de serviço (ELS); situações de segurança, representadas pelos estados limites últimos (ELU); e verificações específicas, como incêndio e fluência do concreto ao longo do tempo (Quadro 7). Essas combinações são fundamentais para garantir uma estrutura segura, funcional e durável ao longo de sua vida útil.

Quadro 7 - Tipos e quantidade de combinações de ações consideradas no modelo estrutural

Tipo	Título	Número de casos
ELU1	Verificações de estado limite último - Vigas e lajes	10
ELU2	Verificações de estado limite último - Pilares e fundações	10
FOGO	Verificações em situação de incêndio	1
ELS	Verificações de estado limite de serviço	6
COMBFLU	Cálculo de fluência (método geral)	1
LAJEPRO	Combinações p/ flechas em lajes protendidas	0
		TOTAL = 28

Fonte: TQS (2025)

Na verificação da estabilidade global, foram avaliados os parâmetros exigidos pela norma NBR 6118:2023: GamaZ, FAVt e alfa. O GamaZ é o indicador que apresenta se os efeitos de segunda ordem precisam ser considerados. A norma estabelece que, se o valor de GamaZ ultrapassar 1,10, esses efeitos devem ser levados em conta e se os valores estiverem acima de 1,30 indicam risco de instabilidade. No projeto com laje nervurada, o GamaZ foi de 1,223 (Quadro 8), e no projeto com laje maciça, 1,209 (Quadro 9).

Já o FAVt, que é o Fator de Amplificação dos Esforços Horizontais Totais, serve para analisar como os deslocamentos verticais aumentam os esforços horizontais. Assim como o GamaZ, valores acima de 1,10 já indicam a necessidade de considerar os efeitos de segunda ordem. No modelo nervurado o FAVt foi 1,223 (Quadro 8), e no modelo com laje maciça, 1,21 (Quadro 9).

O parâmetro alfa, que mede a tendência de instabilidade da estrutura, também foi avaliado, quanto mais próximo de 1 mais crítica a situação. O projeto com laje nervurada apresentou alfa igual a 0,946 (Quadro 8), enquanto o modelo com laje maciça teve alfa igual a 0,909 (Quadro 9), ambos indicam que as estruturas estão com certa flexibilidade mas dentro de parâmetros seguros.

Quadro 8 - Parâmetros de instabilidade da laje nervurada

Parâmetro	Valor máximo
GamaZ	1.223
FAVt	1.223
Alfa	0.946

Fonte: TQS (2025)

Quadro 9 - Parâmetros de instabilidade da laje maciça

Parâmetro	Valor máximo
GamaZ	1.209
FAVt	1.21
Alfa	0.909

Fonte: TQS (2025)

Os deslocamentos horizontais em ambos modelos apresentaram valores abaixo do limite permitido pela norma, que tem o limite de referência 0,65 cm. A estrutura com laje nervurada teve um deslocamento de 0,37 cm no topo (Quadro 10), enquanto a com laje maciça apresentou 0,32 cm (Quadro 11). Isso indica que, mesmo sob a ação do vento, a estrutura permanece estável.

Entre os andares, os deslocamentos horizontais permaneceram reduzidos e dentro dos limites normativos. Tanto no modelo com laje nervurada quanto no modelo com laje maciça, os deslocamentos relativos entre pisos foram de 0,12 cm, enquanto os deslocamentos totais no topo da edificação atingiram 0,32 cm e 0,36 cm, respectivamente, conforme apresentado nos Quadros 10 e 11. Esses valores confirmam que a estrutura atende aos critérios de deslocabilidade, não havendo risco de ocorrência de fissuras em paredes, nem outras deformações que possam comprometer os elementos não estruturais.

Quadro 10 - Deslocamentos horizontais da laje nervurada

Deslocamento	Valor máximo (cm)	Caso	Referência (cm)	Situação
Topo do edifício (cm)	(H/ 3011) 0.37	5	(H/ 1700) 0.65	OK
Entre pisos (cm)	(Hi/ 2317) 0.12	5	(Hi/ 850) 0.32	OK

Fonte: TQS (2025)

Quadro 11 - Deslocamentos horizontais da laje maciça

Deslocamento	Valor máximo (cm)	Caso	Referência (cm)	Situação
Topo do edifício (cm)	(H/ 3472) 0.32	5	(H/ 1700) 0.65	OK
Entre pisos (cm)	(Hi/ 2654) 0.12	5	(Hi/ 850) 0.36	OK

Fonte: TQS (2025)

As flechas que indicam o quanto as lajes se deformam verticalmente sob o peso das cargas, tiveram resultado que ficaram bem abaixo dos valores críticos. No caso da laje nervurada, a maior flecha foi de -0,22 cm (Quadro 12), enquanto na laje maciça foi de -0,23 cm (Quadro 13). Os limites variam de 0,53 a 1,05 cm, dependendo do pavimento. Isso demonstra que as lajes são rígidas e não causarão problemas como fissuras em piso e paredes ou desníveis.

Quadro 12 - Flechas nos pavimentos da laje nervurada

Pavimento	Análise	Caso	Laje	Flecha máxima (cm)	Flecha limite (cm)	Situação
Cobertura	Linear	9	4	-0.22	0.53	OK
Tipo	Linear	9	4	-0.19	1.05	OK
Fundação	Linear	9	4	0.00	1.05	OK

Fonte: TQS (2025)

Quadro 13 - Flechas nos pavimentos da laje maciça

Pavimento	Análise	Caso	Laje	Flecha máxima (cm)	Flecha limite (cm)	Situação
Cobertura	Linear	9	4	-0.23	0.96	OK
Tipo	Linear	9	1	-0.19	0.96	OK
Fundação	Linear	9	1	0.00	0.96	OK

Fonte: TQS (2025)

5.3 Análise das cargas

Após modelar e dimensionar os dois sistemas estruturais com o mesmo desempenho estrutural, foi realizada uma análise dos principais materiais usados, levando em conta o consumo de concreto, aço e fôrmas. Assim, foi possível entender qual das opções seria mais vantajosa na prática, principalmente com relação ao custo.

Observando-se a distribuição das cargas atuantes, nota-se que a estrutura com laje maciça apresentou uma carga média total de 1,745 tf/m², como se pode ver no Gráfico 1, enquanto na solução com laje nervurada esse valor foi reduzido para 1,558 tf/m², representado no Gráfico 2. Essa diferença reflete diretamente na leveza da estrutura nervurada.

Gráfico 1 - Distribuição das cargas: Laje maciça



Fonte: TQS (2025)

Gráfico 2 - Distribuição das cargas: Laje nervurada



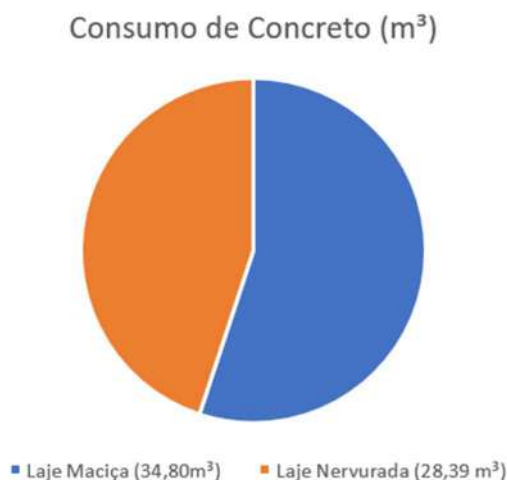
Fonte: TQS (2025)

As espessuras médias das lajes nos pavimentos tipo também evidenciam a diferença entre as soluções. A laje maciça apresentou espessura média de 20,5 cm, enquanto a laje nervurada apresentou 16,7 cm. Essa redução contribui não apenas para o alívio de cargas permanentes, mas também para o menor consumo de materiais e, consequentemente, redução de custos.

6. Consumo de Materiais

Com relação ao consumo de concreto, o pavimento tipo com laje nervurada apresentou um total de aproximadamente 28,39 m³, o que representa uma taxa média de 0,17 m³ por metro quadrado de área construída. Por outro lado, o projeto do pavimento tipo com laje maciça registrou um consumo total de 34,80 m³, com uma taxa média de 0,20 m³ por metro quadrado. Ambos estão representados no Gráfico 3.

Gráfico 3 - Consumo de concreto em m³

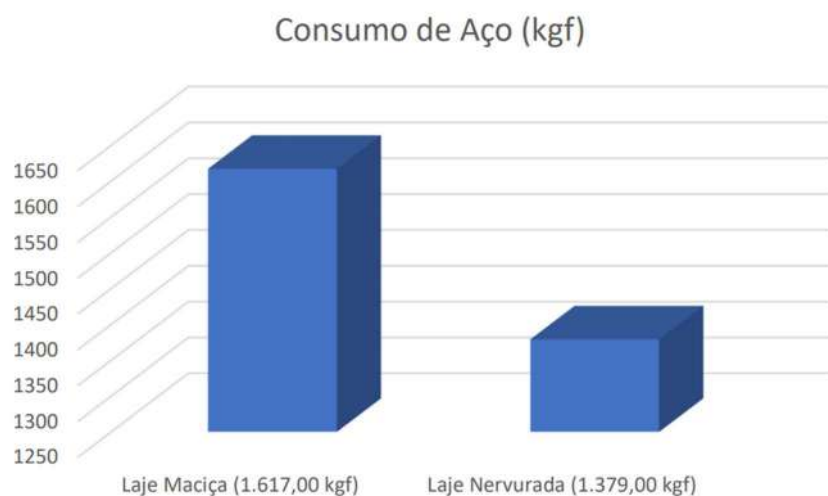


Fonte: Autoria própria (2025)

Essa diferença corresponde a uma economia de cerca de 18,4% no volume total de concreto quando se utiliza a laje nervurada em vez da maciça. Tal economia é expressiva e está diretamente relacionada à geometria eficiente da laje nervurada, que elimina o concreto nas regiões menos solicitadas estruturalmente, geralmente localizadas abaixo da linha neutra da flexão, e concentra o material apenas nas nervuras, onde há maior necessidade de resistência e rigidez.

Quanto ao consumo de aço, o pavimento tipo com laje nervurada utilizou aproximadamente 1.379,00 kgf, representando uma taxa média de 8,11 kgf por metro quadrado. Enquanto o pavimento tipo com laje maciça apresentou um consumo maior, com 1.617,00 kgf, mostrando uma taxa média de 9,51 kgf por metro quadrado. Estes parâmetros podem ser vistos no Gráfico 4.

Gráfico 4 - Consumo de aço em kgf

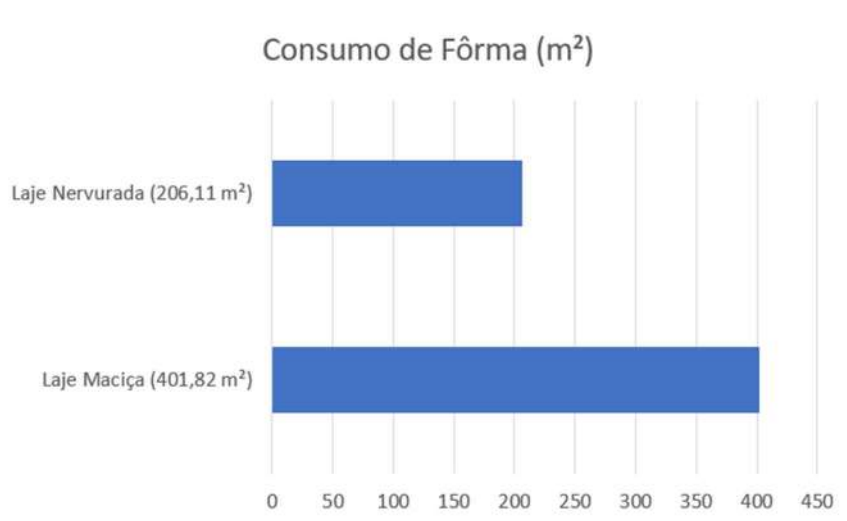


Fonte: Autoria própria (2025)

A diferença representa uma economia de cerca de 14,7% no consumo de aço quando se adota a solução com laje nervurada no pavimento tipo. Essa redução está diretamente associada ao menor peso próprio da estrutura nervurada, que exige menores esforços de armadura para resistir às ações permanentes e variáveis. A geometria da laje nervurada permite um uso mais racional do aço, concentrando armaduras apenas nas nervuras, onde se tem maior solicitação, eliminando áreas maciças onde o material seria pouco eficiente estruturalmente.

No caso das fôrmas, o pavimento tipo com laje nervurada demandou um total de 206,11 m², resultando uma taxa média de 1,21 m² de fôrma por metro quadrado de área construída. E para o pavimento tipo com laje maciça o consumo de aço totalizou 401,82 m², com uma taxa média de 2,36 m² por metro quadrado. Valores retratados no Gráfico 5.

Gráfico 5 - Consumo de fôrma em m²



A variação apresentada mostra uma economia de aproximadamente 48,7% no uso de fôrmas quando usada a laje nervurada. Tal redução deve-se à própria configuração do sistema estrutural, já que são usadas cubetas plásticas para modelar os vazios entre as nervuras. Essas cubetas substituem parte das fôrmas convencionais, reduzindo o número de painéis.

7. Custo médio

Inicialmente, é importante destacar que a análise de custos realizada neste estudo considerou apenas os insumos de materiais, não incluindo a mão de obra. Essa escolha metodológica se justifica pelo fato de que os custos de execução variam significativamente em função de fatores externos, como região geográfica, condições do canteiro, nível de qualificação da equipe e técnicas construtivas adotadas. Assim, a exclusão da mão de obra permitiu uma comparação mais objetiva e padronizada entre as soluções estruturais, isolando o consumo de concreto, aço e fôrmas como os principais parâmetros de análise econômica.

Com base nas tabelas de custo apresentadas no artigo da Revista Concreto & Construções (IBRACON, 2022), é possível identificar o preço unitário de cada insumo na composição final do orçamento dos dois sistemas. Observa-se que, para ambos sistemas, o concreto bombeado com resistência característica f_{ck} de 25 MPa apresenta o mesmo valor unitário de R\$ 496,47/m³, assim como o aço CA-50, com preço de R\$ 7,06/kg. Apesar dessa equivalência nos valores unitários, o custo total varia significativamente devido às diferenças nos quantitativos.

Para a laje nervurada, o menor volume de concreto e menor quantidade de aço reduzem consideravelmente o valor final desses itens, compensando o custo adicional de serviços específicos, como a montagem e desforma de fôrmas de polipropileno com preço unitário de R\$ 54,91/m², e o cimbramento metálico, com preço unitário de R\$ 40,72/m².

Já a laje maciça apresenta maior consumo de concreto e aço, o que levava o valor final, mesmo com preços unitários semelhantes. Além disso, o cimbramento metálico na laje maciça possui valor unitário de R\$ 56,44/m² e a execução das fôrmas em chapa resinada com espessura de 12 mm (fabricação, montagem e desforma) apresenta preço unitário de R\$ 30,60/m².

Os valores totais podem ser vistos no Quadro 14 e no Quadro 15. Logo, se pode afirmar que a laje nervurada apresenta custo total menor que a laje maciça, sendo R\$ 63.667,64 e R\$ 43.540,82, respectivamente.

Quadro 14 - Custo total da laje maciça

Custo Total para Laje Maciça			
Item	Quantitativo	Preço Unitário	Preço Total
Concreto usinado bombeado, com resistência característica de 25 MPa, incluindo etapas de lançamento, nivelamento e adensamento por meio mecânico	34,80 m ³	R\$ 496,47/m ³	R\$ 17.277,20/m ³
Fornecimento e instalação de armaduras em aço CA-50	1.617,00 kgf	R\$ 7,06/kgf	R\$ 11.416,02/kgf
Produção, montagem e desmontagem de fôrmas confeccionadas em chapa resinada com espessura de 12 mm	401,82 m ²	R\$ 30,60/m ²	R\$ 12.295,70/m ²
Cimbramento metálico, incluindo serviços de montagem e desmontagem	401,82 m ²	R\$ 56,44/m ²	R\$ 22.678,72/m ²
Total			R\$ 63.667,64

Fonte: Autoria própria (2025)

Quadro 15 - Custo total da laje nervurada

Custo Total para Laje Nervurada			
Item	Quantitativo	Preço Unitário	Preço Total
Concreto usinado bombeado, com resistência característica de 25 MPa, incluindo etapas de lançamento, nivelamento e adensamento por meio mecânico	28,39 m ³	R\$ 496,47/m ³	R\$ 14.094,78/m ³
Fornecimento e instalação de armaduras em aço CA-50	1.379,00 kgf	R\$ 7,06/kgf	R\$ 9.735,74/kgf
Montagem e desmontagem de formas em polipropileno utilizadas na execução de lajes nervuradas.	206,11 m ²	R\$ 54,91/m ²	R\$ 11.317,50/m ²
Cimbramento metálico, incluindo serviços de montagem e desmontagem	206,11 m ²	R\$ 40,72/m ²	R\$ 8.392,80/m ²
Total			R\$ 43.540,82

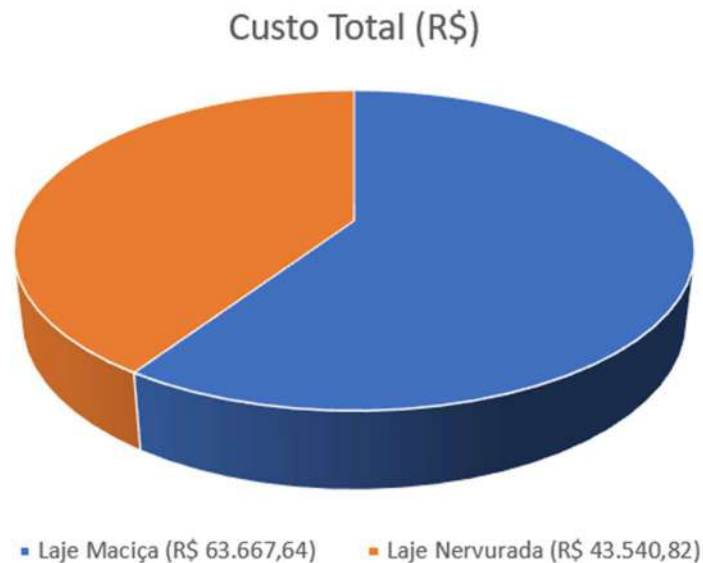
Fonte: Autoria própria (2025)

8. Conclusão

O estudo realizado através da análise comparativa entre os pavimentos tipo dos dois sistemas estruturais, modelados no software TQS a partir do mesmo projeto arquitetônico e com desempenhos semelhantes, mostra que na laje nervurada existe uma vantagem expressiva: uma redução de 18,4% do volume de concreto, 14,7% no consumo de aço e 48,7% na utilização de fôrmas em relação à laje maciça.

Essa otimização se refletiu diretamente no custo final, que foi de R\$ 43.540,82 para o sistema nervurado e R\$ 63.667,64 para o sistema maciço, diferença de aproximadamente R\$ 20.126,82, ou 31,6% a favor da laje nervurada.

Gráfico 6 - Custo total (R\$)



Fonte: Autoria própria (2025)

Além da economia financeira, a laje nervurada resultou em uma estrutura mais leve, reduzindo as cargas médias transmitidas às fundações e potencialmente diminuindo custos em etapas posteriores do projeto. Por outro lado, a laje maciça manteve a simplicidade construtiva e menor complexidade executiva, podendo ser mais indicada em obras de menor porte ou em locais onde recursos e equipamentos especializados sejam limitados.

Assim, concluindo que a escolha entre laje maciça e nervurada deve considerar um conjunto integrado de fatores, como análise de viabilidade, custo e recursos. No cenário estudado, a laje nervurada apresentou melhor relação custo-benefício, conciliando eficiência construtiva, economia de materiais e atendimento pleno às exigências normativas.

Referências:

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 6118:2023 – Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 15575:2021 – Edificações habitacionais – Desempenho. Parte 1 a 6. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

TQS INFORMÁTICA LTDA. São Paulo: TQS, 2025. Disponível no software TQS versão 25.0.

ANTUNES, Karina de Oliveira. Estudo comparativo entre lajes maciças e nervuradas unidirecionais e bidirecionais de concreto armado. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual Paulista (UNESP), Bauru, 2017.

ARAÚJO, J. M. Curso de concreto armado. 2. ed. Rio Grande: Dunas, 2003a. v. 2.

ARAÚJO, J. M. Curso de concreto armado. Vol. 2. [S.l.]: [s.n.], 2010.

ASSIS, Natália de Oliveira. Processo de dimensionamento de estruturas em concreto armado utilizando o programa TQS. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Centro Universitário de Brasília (CEUB), Brasília, 2019.

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

BRUN, Tainara. Comparação entre lajes maciças e lajes nervuradas: análise econômica. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade de Caxias do Sul, Bento Gonçalves, 2018.

CARVALHO, Roberto Chust; PINHEIRO, Libânio Miranda. Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado. São Paulo: PINI, 2009.

DIAS, Ricardo Henrique. Análise numérica de pavimentos de edifícios em lajes nervuradas. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.

LIBÂNIO, M. P.; RAZENTE, J. A. Estruturas de concreto – Capítulo 17. 01 dez. 2003.

Musso Junior, F. Laje. In: Estruturas de Concreto Armado. Apostila em PDF. Espírito Santo, 2013. Disponível em: <https://ecivilufes.wordpress.com/wp-content/uploads/2013/06/7-laje.pdf>. Acesso em: 15 ago. 2025.

PEREIRA, E. R. Análise de diferentes configurações estruturais de lajes em edifício residencial usando o software TQS. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Instituto Federal da Paraíba (IFPB), João Pessoa, 2024.

PINHEIRO, Libânio M.; MUZARDO, Cassiane D.; SANTOS, Sandro P. *Lajes maciças*. São Paulo: Departamento de Engenharia de Estruturas – Universidade de São Paulo, 2003. 29 f.

RODRIGUES COELHO DE MOURA, T. Lajes maciças treliçadas e nervuradas – análise comparativa. REEC – Revista Eletrônica de Engenharia Civil, Goiânia, v. 19, n. 1, p. 194–209, 2023. DOI: 10.5216/reec.v19i1.57832. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/reec/article/view/57832>. Acesso em: 5 jul. 2025.

SALOMÃO, M. R. et al. Desempenho estrutural de sistemas de lajes. [S.l.]: [s.n.], 2015.

SCHWETZ, P. F. Análise numérico-experimental de lajes nervuradas sujeitas a cargas estáticas de serviço. 2011. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

SIMÕES, G. A. S.; SANGUINETTI, V. G. Dimensionamento de lajes em concreto armado: uma análise comparativa entre os sistemas de lajes maciças e nervuradas. Universidade Federal de Pernambuco, 2020.

SPOHR, V. H. Análise comparativa: sistemas estruturais convencionais e estruturas de lajes nervuradas. Porto Alegre: UFRGS, 2008.

TQS INFORMÁTICA LTDA. Site institucional da empresa TQS. Disponível em: <https://www.tqs.com.br>. Acesso em: 4 jul. 2025.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS. Estudo comparativo entre laje maciça convencional e lajes nervuradas. Disponível em:

https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/140/o/ESTUDO_COMPARATIVO_ENTRE_LAJE_MACIÇA_CONVENCIONAL_E_LAJES_NERVURADAS..pdf. Acesso em: 4 jul. 2025.

LIRA, V. A. S.; TEIXEIRA, R. H. G. Estruturas em detalhes – Análise comparativa entre lajes maciças e nervuradas: estudo de caso no estacionamento do TCE-MA. Revista Concreto & Construções (IBRACON), São Paulo, Ed. 106, p. 76-80, abr./jun. 2022. Disponível em: [https://ibracon.org.br/Site_revista/Concreto_Construcoes/pdfs/edicao106/Revista%20Concreto%20IBRACON%20106%20-%20Estruturas%20em%20detalhes%204.pdf]. Acesso em: 15 ago. 2025.

REVISTA FTT. Comparação entre laje de concreto armado e laje pré-fabricada treliçada. Revista FTT: Tecnologia e Tendências, v. 2, n. 4, 2023. Disponível em: <https://revistaftt.com.br/comparacao-entre-laje-de-concreto-armado-e-laje-pre-fabricada-trelicada/>. Acesso em: 17 ago. 2025.

GIONGO, José Samuel. Concreto Armado: fundamentos do projeto estrutural. 2. ed. São Carlos: EESC-USP, 2005.

	INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA
	Campus João Pessoa - Código INEP: 25096850
	Av. Primeiro de Maio, 720, Jaguaribe, CEP 58015-435, João 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:	Camila Fama
Tipo do Documento:	Anexo
Situação:	Finalizado
Nível de Acesso:	Ostensivo (Público)
Tipo do Conferência:	Cópia Simples

Documento assinado eletronicamente por:

- Camila Campos Gomez Fama, COORDENADOR(A) DE CURSOS - FUC1 - CBEC-JP, em 23/09/2025 11:48:43.

Este documento foi armazenado no SUAP em 23/09/2025. 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: 1618858
Código de Autenticação: be0c32500b

