

CUSTO-BENEFÍCIO ENTRE LAJES NERVURADAS E LAJES MACIÇAS

Jarbas Tavares Netto– Centro Universitário Redentor

Samuel Faria da Silva Alves– Centro Universitário Redentor

RESUMO: Este estudo tem como objetivo comparar a laje nervurada e a laje maciça convencional, analisando as vantagens e desvantagens de cada tipo de laje para auxiliar na escolha do modelo mais adequado para diferentes situações, sempre considerando a busca por soluções que equilibrem segurança e custo-benefício. Através de uma revisão bibliográfica de trabalhos anteriores, foi possível avaliar o desempenho de ambos os tipos de laje em diversas condições, identificando qual apresenta o melhor custo-benefício em cada cenário. Os resultados indicam que a laje nervurada é mais vantajosa em obras de médio a grande porte, devido ao seu melhor desempenho em termos de custo e eficiência estrutural. No entanto, em obras de pequeno porte, o uso da laje nervurada não se justifica, pois o custo elevado da mão de obra pode tornar o sistema menos vantajoso.

Palavras-chave: laje, nervurada, maciça, convencional, custo-benefício.

ABSTRACT: This study aims to compare ribbed slabs and conventional solid slabs, analyzing the advantages and disadvantages of each type to assist in choosing the most suitable model for different situations, always considering the pursuit of solutions that balance safety and cost-effectiveness. Through a bibliographic review of previous works, it was possible to evaluate the performance of both types of slabs under various conditions, identifying which provides the best cost-benefit in each scenario. The results indicate that ribbed slabs are more advantageous in medium to large-scale projects due to their better performance in terms of cost and structural efficiency. However, in small-scale projects, using ribbed slabs is not justified, as the high labor costs can make the system less advantageous.

Keywords: slab, ribbed, large, conventional, cost-effectiveness.

1. INTRODUÇÃO

A construção civil está sempre em evolução e essa evolução está cada vez mais acentuada com o passar dos anos. Novos materiais e novas técnicas de construções estão surgindo em busca de melhorias no desempenho e segurança das construções, juntamente com a busca pela redução de gastos. (SILVA, 2010).

Essas novas técnicas nem sempre substituiu as técnicas antigas, como deixa claro Pilotto Neto (2018) por mais que os métodos e os materiais utilizados nas construções mudem ao longo do tempo, vários dos antigos princípios que aplicados nas construções, permanecem ativos no cenário contemporâneo.

As lajes de concreto são largamente usadas na construção civil, e por essa grande utilização, foram desenvolvidos métodos para execução delas. As lajes têm como função, basicamente para receber os todos os carregamentos presentes no piso e transferi-los para os apoios de forma que a integridade da estrutura seja mantida. (PINHEIRO, 2003).

A laje nervurada é uma técnica considerada inovadora em comparação à laje maciça, sendo indicada como mais vantajosa em diversos quesitos, principalmente por diminuir o peso da estrutura e ter um melhor isolamento térmico e acústico (CUNHA, 1998). Porém lajes maciças também tem suas vantagens, apontando por Carvalho e Pinheiro (2009), como a minimização dos esforços e pouca deformação.

Nesse presente trabalho vai ser apresentado a comparação entre a laje maciça convencional e a laje nervurada. Essa comparação é de grande importância, para a escolha do método que será implementado na construção. Ambos os métodos construtivos de lajes apresentam vantagens e desvantagens, porém a intenção desse trabalho é evidenciar qual método atende um maior benefício, em custo-benefício e eficiência.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Importância da laje maciça

As lajes maciças são aquelas em que toda a espessura é formada por concreto, com armaduras longitudinais e, eventualmente, armaduras transversais. Elas são apoiadas em vigas ou paredes ao longo das bordas, e variações com bordas livres podem ser consideradas casos específicos desse modelo de laje. No Brasil, é comum referir-se a qualquer laje apoiada nas bordas como uma laje maciça, embora tipos como a laje cogumelo, que transfere as cargas diretamente para os pilares, também se enquadrem nesse conceito. Araújo (2003) define a laje maciça como uma placa de espessura uniforme, com apoio ao longo de suas bordas, sendo essas estruturas geralmente utilizadas em edificações residenciais com vãos menores. Contudo, é importante ressaltar que, além de edifícios residenciais, as lajes maciças também podem ser aplicadas em construções comerciais e industriais, dada sua robustez e flexibilidade.

De acordo Silva (2010), as lajes maciças de concreto, têm sido empregadas desde os primeiros tempos da construção civil, sendo apreciadas por sua simplicidade de execução e a segurança que oferecem. Essas lajes são formadas por placas de concreto armado de espessura fixa. Conforme Bastos (2015), esse tipo de laje é suportado por vigas ou paredes ao longo das bordas, e sua espessura é inteiramente composta de concreto, com armaduras longitudinais de flexão e, eventualmente, armaduras transversais.

Em grandes obras frequentemente utiliza lajes maciças de concreto, como pontes e edifícios de múltiplos andares, além de outros projetos de grande porte, como escolas, hospitais e indústrias. Para edificações residenciais e de pequeno porte, no entanto, as lajes nervuradas pré-fabricadas se destacam por suas vantagens em termos de custo e facilidade de construção (Carvalho; Figueiredo, 2014).

A função principal das lajes maciças é distribuir as cargas do andar por toda a estrutura. De acordo com Guimarães et al. (2017), essas lajes são compostas inteiramente de concreto, com armaduras longitudinais de flexão e, em algumas situações, armaduras transversais. Elas são apoiadas nas bordas por vigas ou paredes, e quando apresentam bordas livres, são consideradas uma variação desse modelo estrutural. Em comparação com as vigas, as lajes maciças têm um comportamento estrutural favorável, pois sofrem deformações menores e estão sujeitas a esforços de menor intensidade (Carvalho; Pinheiro, 2009).

A espessura das lajes maciças de concreto geralmente varia de 7 a 15 cm, sendo adequadas para edificações de grande porte, como edifícios comerciais, escolas, hospitais e fábricas. Embora também sejam utilizadas em construções de pequeno porte, como residências, não são recomendadas para vãos muito grandes. Nesses casos, as lajes nervuradas pré-fabricadas moldadas no local apresentam melhores vantagens, principalmente no que diz respeito ao custo e à facilidade de execução. A escolha entre uma laje unidirecional ou bidirecional depende da relação entre os vãos. Se o maior vão for mais de duas vezes o tamanho do menor, a laje será armada em uma direção (unidirecional). Caso a relação entre os vãos seja menor ou igual a 2, a laje será armada em duas direções (bidirecional), como explicam Carvalho e Figueiredo (2014).

2.2 Importância da laje nervurada

As lajes nervuradas são estruturas projetadas para otimizar o uso de concreto, distribuindo-o de forma mais espaçada e formando as nervuras que caracterizam esse tipo de laje. Segundo Pinheiro (2003), as lajes nervuradas são um sistema estrutural que busca afastar o concreto da linha neutra da seção transversal, aumentando a altura da laje e, conseqüentemente, o braço de alavanca. Isso resulta na formação de um conjunto de nervuras que podem ser dispostas em uma ou duas direções, com espaçamentos uniformes entre elas, o que proporciona maior eficiência estrutural.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) na NBR 6118 (2014) define as lajes nervuradas como aquelas moldadas no local ou com nervuras pré-moldadas, cujas zonas de tração para momentos positivos são localizadas nas próprias nervuras, podendo entre elas ser inserido material inerte. Isso significa que as lajes nervuradas podem ser executadas tanto no local da obra, quando a laje é moldada na posição definitiva, quanto de forma pré-fabricada, em que as nervuras são construídas em um local distinto da edificação. Em ambos os casos, é possível preencher os espaços entre as nervuras com materiais inertes, reduzindo o peso da estrutura (SILVA, 2005).

Esses materiais inertes, chamados de "elementos de enchimento", são componentes pré-fabricados feitos de diversos materiais, sejam maciços ou vazados, e têm a função principal de diminuir o volume de concreto utilizado, reduzindo, assim, o peso próprio da laje. Além disso, esses elementos atuam como formas para o concreto complementar, como descrito pela ABNT. Souza e Lopes (2016) destacam que, em obras de múltiplos pavimentos, as lajes nervuradas moldadas no local são frequentemente adotadas, variando entre o uso de materiais de enchimento, formas removíveis ou a escolha entre concreto armado ou protendido, dependendo das exigências estruturais e econômicas da obra.

A utilização de lajes nervuradas tem ganhado popularidade devido à redução de peso que proporcionam à estrutura. Quando não se utiliza material de enchimento, as lajes nervuradas podem ser ainda mais eficientes, especialmente quando moldadas com fôrmas plásticas, que são mais econômicas e facilitam a montagem in loco das nervuras. Essa opção representa um custo significativamente inferior em relação às fôrmas de madeira, que eram amplamente usadas nos primeiros projetos de lajes nervuradas (SILVA, 2005).

As lajes nervuradas podem ser projetadas de forma unidirecional, com nervuras dispostas em uma única direção, ou bidirecional, com nervuras em ambas as direções. A escolha entre esses dois tipos de disposição das nervuras depende da proporção entre o maior e o menor vão da laje. Se essa proporção for menor que 2, a solução bidirecional é mais indicada, pois proporciona uma distribuição mais eficiente das cargas, além de reduzir os deslocamentos e esforços sobre a estrutura (CARVALHO; PINHEIRO, 2013)

As lajes nervuradas podem ser projetadas de forma unidirecional ou bidirecional, dependendo da proporção entre o maior e o menor vão da laje. Segundo Carvalho e Pinheiro (2013), se a proporção entre o maior e o menor vão for menor que 2, é mais eficiente adotar a solução bidirecional, o que resulta em uma distribuição mais uniforme das cargas e menores deslocamentos e esforços. Estruturalmente, as lajes nervuradas combinam elementos de placas e grelhas, apresentando uma seção transversal em forma de "T", onde as nervuras, unidas pela mesa, oferecem resistência tanto a esforços de tração quanto de compressão. A linha neutra fica próxima à mesa, o que significa que a parte inferior da laje tem um papel menos relevante na resistência à compressão, servindo mais para garantir a aderência entre o concreto e o aço (Araújo, 2008). Além disso, a parte inferior da laje pode ser preenchida com materiais leves e inertes, como placas de isopor ou elementos cerâmicos, para reduzir ainda mais o peso da estrutura.

2.3 Comparativo entre os modelos da laje nervurada e maciça

Para fazer o comparativo entre as lajes nervuradas e lajes maciças, foram avaliados diversos trabalhos, onde os mesmos fazem essa mesma comparação em situações diferentes, possibilitando extrair informações extremamente relevantes. Por se tratar de diversas situações, algum método vai se sobressair em relação a outro, porém não vai ser sempre.

Souza; Lopes (2016) afirma que a laje nervurada apresenta melhor aproveitamento dos materiais utilizados no concreto armado, que é feito, essencialmente, a partir do uso de aço e concreto. Portanto, utilizando a laje nervurada, ocorre à redução do peso próprio das estruturas, Ao utilizar a laje nervurada junto com o concreto protendido, estas lajes podem vencer vãos maiores utilizando estruturas mais esbeltas, apresentando vantagem em relação à laje maciça em concreto armado.

Cunha, Andrade e Salomão (2020) afirmam que a utilização do concreto protendido somado com menor peso próprio das lajes nervuradas tornou possível vencer vãos maiores, resultando em uma vantagem em relação à laje maciça convencional. Com a redução do peso próprio das lajes pelo uso da laje nervurada, possibilita a construção de edificações mais esbeltas,

De acordo com o estudo de Guimarães et al. (2017), foi analisado a utilização de três tipos de lajes em um edifício. Utilizando a laje maciça de concreto armado, laje nervurada com cubas plásticas e laje nervurada com vigota treliçada pré-moldada de concreto armado e blocos de EPS. Foram utilizados para análise, três projetos estruturais para a mesma plantam, um para cada tipo de laje. A comparação teve como foco compreender o comportamento da estrutura, apontando os valores de cargas na fundação, quantidade de materiais necessários e os custos, podendo após isso fazer a melhor escolha. Ao analisar o comportamento da estrutura, as lajes maciças e nervuradas com cubas plásticas demonstraram melhores resultados, a laje com vigotas e EPS apresentou menor índice de consumo de materiais total em kg/m^3 . Desta forma, na carga da fundação, a laje nervurada com cubas plásticas apresenta o menor valor, enquanto nos custos totais, o melhor resultado é da laje com vigotas e EPS.

Lira e Teixeira (2022) consideraram que por se tratar de lajes em concreto armado, cada tipo estrutural possui características distintas, principalmente, em relação ao tipo de execução, materiais utilizados, quantidade de materiais utilizados, custos e tempo de execução. Analisando se a laje nervurada possui alguma vantagem em relação ao modelo estrutural de laje maciça, a fim de verificar qual das lajes apresenta melhor custo-benefício. Concluindo que o modelo de laje nervurada construído no Tribunal de Contas do Estado do Maranhão foi a melhor opção, por ser mais econômico que o modelo de laje maciça, por apresentar melhor custo-benefício.

Falcão (2020) comparou os dois tipos de lajes em uma obra de grande porte, um foi um prédio residencial com 25 (vinte e cinco) pavimentos, a fim de escolher a melhor forma de execução de lajes na cidade de Rio Verde – GO. Foram feitas análises de custos dos materiais necessários para o desenvolvimento da obra, conforme previsto nos projetos estruturais. Após isso, foi visto que a laje nervurada apresenta o menor custo em comparação à laje maciça,

Para Oliveira e Macedo (2020) a laje maciça apresenta grande consumo de aço e concreto, em comparação com a laje nervurada, tendo uma área de aço com aproximadamente

72% maior e uma quantidade de concreto com aproximadamente 51% maior que a laje nervurada. Por possuir vazios, possuindo nervuras, as lajes nervuradas possuem um peso próprio inferior às lajes maciças, e somando com cargas permanentes e variáveis apresenta um carregamento menor, contendo uma área de aço menor em relação à laje maciça.

A Teoria das Grelhas é muito importante, pois permite analisar as flechas e esforços nas lajes, considerados fundamentais por Cunha, Andrade e Salomão (2020). A partir dessa análise foi possível constatar a segurança do edifício no qual os determinados autores realizaram suas comparações. Foi observado que as lajes nervuradas vencem vãos maiores, mas não é sempre este sistema é a melhor opção para edificações de pequeno porte, pois a mão de obra pesar nos custos.

Lira e Teixeira (2022) fizeram em sua análise as lajes nervuradas é indicada quando o projeto exige a necessidade de vencer grandes vãos, sendo também uma excelente opção em caso de grandes cargas atuantes em garagens elevadas que precisam suportar a carga de veículos. Porém, em pequenos vãos e para cargas pequenas, este tipo estrutural pode não ser o mais econômico. Os autores não recomendam o uso de lajes nervuradas para partes de lajes em balanço, porque as lajes nervuradas podem proporcionar a inversão de momentos fletores, pois onde se localiza as nervuras (parte inferior) não possui resistência à compressão como nas lajes maciças.

3. MATERIAL E MÉTODO

Este estudo tem como objetivo a comparação entre as lajes nervuradas e as lajes maciças convencionais, focando nas características estruturais, econômicas e de execução de ambos os tipos de laje. A abordagem metodológica adotada consiste em uma análise comparativa de dados provenientes de literatura técnica, revisões bibliográficas e análises de casos aplicados em diferentes tipos de obras. A seguir, descrevem-se os materiais e métodos utilizados para a realização deste estudo:

- A primeira etapa do estudo envolveu uma revisão bibliográfica detalhada, com o levantamento de artigos técnicos, dissertações, normas e publicações especializadas sobre

os dois tipos de lajes. Foram analisados diversos estudos sobre a laje nervurada (pré-fabricada e moldada in loco) e a laje maciça (unidirecional e bidirecional), buscando entender as especificidades, as vantagens e as desvantagens de cada tipo.

- Analisar as características dos dois tipos de laje baseou-se nas definições de laje nervurada e maciça, conforme as propriedades físicas e estruturais de cada uma. A laje maciça foi abordada como uma estrutura sólida e contínua, enquanto a laje nervurada foi analisada com foco na sua estrutura aliviada, composta por nervuras que conferem maior leveza e redução de material. A espessura, o tipo de armadura (longitudinal e transversal), o comportamento estrutural, o custo e a eficiência de cada tipo foram os parâmetros de comparação.
- Estudos de caso de obras reais onde ambos os tipos de laje foram implementados. Esses estudos foram selecionados com base no tipo de edificação (residencial, comercial e industrial), no porte da obra e nas especificidades do projeto. A partir deste estudo, foram observados os custos totais, o tempo de execução e o comportamento estrutural dos dois tipos de laje em cada cenário.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O estudo mostrou o conceito dos tipos de lajes e como funcionam, a fim de esclarecer quaisquer dúvidas quanto a execução, podendo a partir disso, fazer a comparação entre a laje nervurada e a laje maciça convencional, mostrando suas vantagens e desvantagens quanto a execução em situações diferentes.

Para fazer esse trabalho, foi realizado uma revisão bibliográfica de alguns trabalhos científicos que tem como foco a comparação dos tipos de lajes, com datas de emissão entre 2015 a 2024, através de experiências desses pesquisadores foi possível sintetizar um melhor resultado.

Cada obra possui uma condição de execução diferente e a escolha da laje não é diferente. A escolha do tipo de execução de laje tem como prioridade a segurança e a qualidade da estrutura, porém o custo da execução junto com a mão de obra é um grande diferencial para a escolha do tipo de laje a ser executada.

Com a avaliação dos resultados obtidos nas publicações, em relação à materiais, o tipo de laje que apresenta uma melhor avaliação em relação ao custo-benefício foi a laje nervurada, por utilizar uma quantidade inferior de materiais, o seu peso próprio é menor comparado com a laje maciça convencional, possibilitando fazer uma fundação menos robusta.

Porém, em relação a mão de obra, a laje nervurada exige uma mão de obra especializada, tornando assim a mão de obra de execução da laje nervurada superior comparada com a laje maciça convencional.

Diante disso, foi constatado que devido ao custo de mão de obra elevado, a laje nervurada é mais indicada para construções de médio e grande porte, para construção de pequeno porte é mais indicado a utilização da laje maciça convencional.

Outro aspecto a ser considerado é a segurança e a qualidade das estruturas, pois dependendo do tipo de laje não é adequado para lajes que vão servir de piso ou base para cargas em grandes vãos, o que pode colocar em risco a segurança da edificação ou comprometer a funcionalidade dela.

A laje nervurada apresenta vantagem em relação à laje maciça, pois o gasto de materiais é menor, seu desempenho quanto a deformação foi melhor, pois não necessita de uma fundação mais robusta em virtude de seu peso ser menor. Entretanto, um outro quesito tão importante quanto o gasto com materiais, é a mão de obra, e compor o custo com mão de obra é atividade complexa quando se trata de executar uma laje nervurada, pois exige mão de obra especializada. Assim, o levantamento de custos e comparação com a economia de materiais no uso da laje nervurada pode ser tema a ser aprofundado em relação aos custos de mão de obra.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por tudo o que foi estudado, compreende-se que cada construção possui características específicas de opção para colocação de lajes, o que rende à engenharia a responsabilidade de calcular a função da obra e a capacidade de carga para evitar desperdício de material e não comprometer a segurança da edificação.

Diante disso, conclui-se que este estudo contribui para a modernização e ampliação de conhecimentos, pois demonstra que a engenharia civil se encontra em evolução e seus

profissionais promovem diferentes possibilidades de renovar os conhecimentos a partir de buscas e pesquisas realizadas sobre assuntos inovadores.

Entretanto, é importante reconhecer que o planejamento de um sistema de lajes não pode ser realizado apenas com análises de bases teóricas, é necessário que haja publicações de experiências assertivas e de práticas que reforcem as técnicas de planejamento, de forma a facilitar a apresentação de atividades e cálculos que permitam escolhas adequadas de sistemas de lajes.

6. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto. Rio de Janeiro, 2014

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

ARAÚJO, J. M. Modelos para previsão do módulo de deformação longitudinal do concreto: NBR-6118 versus CEB. Revista Teoria e Prática na Engenharia Civil, Rio Grande: Ed. Dunas, n.12, p.81-91, out. 2008.

BASTOS, P. S. dos S. Lajes de concreto: estruturas de concreto I. Bauru: Universidade Estadual Paulista - Departamento de Engenharia Civil, 2015.

CARVALHO, R. C.; FIGUEIREDO FILHO, J. R. Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado: Segundo a NBR 6118:2014. EdUFSCar. São Paulo, São Carlos, 2017

CARVALHO, Roberto Chust; PINHEIRO, Libânio Miranda. Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado. 2. ed. São Paulo: PINI, 2013. v. 2.

CARVALHO, R. C.; PINHEIRO, L. M. Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado. Vol. 2. São Paulo: Pini, 2009.

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

CUNHA, A. S.; ANDRADE, K.A.; SALOMÃO, P.E.A. Análise comparativa entre lajes maciças e lajes nervuradas para edificações de pequeno porte. Teófilo Otoni – MG: UNIPAC, 2020

FALCÃO, B. N. P. Análise comparativa de custo entre a laje nervurada e maciça em Rio Verde – GO. Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde, Rio Verde, GO, 2020.

GUIMARÃES, M. S.; SILVA, C. R. S.; SILVA, J. R.; SANTOS, I. F.; ZÚÑIGA, L. O. Comparativo da utilização de diferentes tipos de lajes em edifício de concreto armado. REVISTA MIRANTE, Anápolis (GO), v. 10, n. 1, jun. 2017.

LIRA, V. A. S.; TEIXEIRA, R. H. G. Análise comparativa entre lajes maciças e nervuradas: estudo de caso no estacionamento do TCE-MA. Concreto & Construções, Ed. 106, abr. – Jun, 2022

OLIVEIRA, Jordana Taveira, MACEDO, Poliana Francisca. Análise Comparativa entre Lajes Maciças Convencionais e Lajes Nervuradas, 2020 Goianésia – GO: FACULDADE EVANGÉLICA DE GOIANÉSIA, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto. Rio de Janeiro, 2014.

PILOTTO NETO, E. Caderno de receitas de concreto armado: Lajes. Vol. 3. Rio de Janeiro: LTC, 2018.

PINHEIRO, L. M.; MUZARDO, C. D.; SANTOS, S. P. Lajes Maciças. São Paulo: USP - EESC - Departamento de Engenharia de Estruturas, 2003.

SILVA, L.P. Estudo comparativo entre lajes nervuradas e maciças em função dos vãos entre apoios. 2010. 85f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) - Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SILVA, M. A. F. da. Projeto e construção de lajes nervuradas de concreto armado. 2005. 239f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil). Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 2005.

SOUZA, C. G. S.; LOPES, R. C. Estudo comparativo entre laje maciça convencional e lajes nervuradas. Goiânia – GO: UFG, 2016.