

INSTITUTOS SUPERIORES DE ENSINO DO CENSA
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS E DA SAÚDE
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

ANÁLISES COMPARATIVAS DE LAJES UTILIZADAS NO CONCRETO
ARMADO: TRELIÇADAS E MACIÇAS

Por
PATRYCK RAIHAN TEIXEIRA DA SILVA
RONNI ARYSON SOARES NEVES RAYMUNDO

Campos dos Goytacazes – RJ

Dezembro /2023

INSTITUTOS SUPERIORES DE ENSINO DO CENSA
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS E DA SAÚDE
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

ANÁLISES COMPARATIVAS DE LAJES UTILIZADAS NO CONCRETO
ARMADO: TRELIÇADAS E MACIÇAS

Por

PATRYCK RAIHAN TEIXEIRA DA SILVA
RONNI ARYSON SOARES NEVES RAYMUNDO

Trabalho de Conclusão de Curso
Apresentado em cumprimento às
exigências para a obtenção do grau no
Curso de Graduação em Engenharia
Civil nos Institutos Superiores de Ensino
do CENSA.

Orientador: Adriana Meireles Macedo Abreu – M.S.c

Campos dos Goytacazes – RJ

Dezembro /2023

FICHA CATALOGRÁFICA

Silva, Patryck Raihan Teixeira da e Raymundo, Ronni Aryson
Análises Comparativas de Lajes Utilizadas no Concreto Armado:
Treliçadas e Maciças / Patryck Raihan Teixeira da Silva; Ronni
Aryson Neves Raymundo. – Campos dos Goytacazes (RJ), 2023.

58 f.: il.

Orientador: Prof. Adriana Meireles Macedo Abreu
Graduação em (Engenharia Civil) – Instituto Superiores de Ensino
do CENSA, 2023.

1. Engenharia Civil. 2. Lajes Treliçadas, 3. Lajes Maciças,
4. Análises Comparativas. I. Título. II. Raymundo, Ronni Aryson
Neves

CDD 624.183.41

Bibliotecária responsável Glauce Virgínia M. Régis CRB7 - 5799.
Biblioteca Dom Bosco.

ANÁLISES COMPARATIVAS DE LAJES UTILIZADAS NO CONCRETO
ARMADO: TRELIÇADAS E MACIÇAS

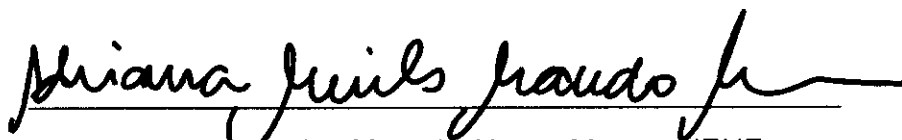
POR

PATRYCK RAIHAN TEIXEIRA DA SILVA

RONNI ARYSON SOARES NEVES RAYMUNDO

Trabalho de Conclusão de Curso
Apresentado em cumprimento às
exigências para a obtenção do grau no
Curso de Graduação em Engenharia
Civil nos Institutos Superiores de Ensino
do CENSA.

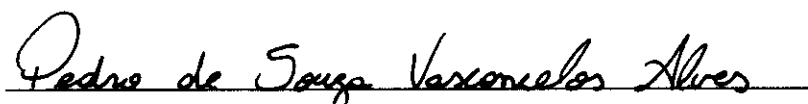
Aprovado em 08 de Dezembro de 2023



Adriana Meireles Macedo Abreu, M.s.c – UENF



Diogo Pereira dos Santos Kropf, D.S.c - UENF



Pedro de Souza Vasconcelos Alves, Engenheiro Civil – UCAM

LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

NBR – Norma Técnica Brasileira

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

EPS - Poliestireno Expandido

Ø – Diâmetro

g_{nerv} - Carregamento contínuo operando na vigota

g_i - Cargas constantes de projeto (kN/m^2)

F_{ck} - Resistência Característica do Concreto à Compressão

b_f – Indica a medida do entreixo da vigota (cm)

C – Espessura da capa da laje (cm)

Q_t - Carga total aplicada sobre a vigota (kN/m)

l - Vão efetivo da laje na direção da vigota (m)

Y_f - Coeficiente de segurança do projeto

l_y – Maior vão da laje

l_x – Menor vão da laje

g_{pp} – Peso próprio da laje (kN/m^2)

h - Altura da laje (m)

d – Altura útil

d' – Cobrimento da armadura

n – Número de bordas engastadas na laje

ℓ^* - Dimensão da laje em metro

m_x e m_y – Momentos fletores dos vãos ℓ_x e ℓ_y , respectivamente. (kN.m/m)

μ_x e μ_y - Coeficientes para cálculo dos momentos fletores positivos atuantes nas direções paralelas a l_x e l_y , respectivamente

p – Valor da carga atuante na laje (kN/m²)

μ'_x e μ'_y - Coeficientes para cálculo dos momentos fletores negativos atuantes nas bordas perpendiculares às direções λ_x e λ_y , respectivamente

A_s – Área de aço

M_{sd} – Momento fletor solicitante em situação normal

M_{sk} – Momento fletor característico

f_{cd} – Resistência característica do concreto minorada

$A_{s\max}$ - Área de aço máxima

$A_{s\min}$ – Área de aço mínima

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Vigota Trelaçada	19
Figura 2 – Componentes da laje trelaçada	20
Figura 3 - Laje trelaçada com blocos de EPS	21
Figura 4 - Laje trelaçada com blocos de cerâmica	22
Figura 5 - Esquema de vigota trelaçada	23
Figura 6 - Seção transversal de uma vigota trelaçada	23
Figura 7 - Parâmetros geométricos de lajes trelaçadas	24
Figura 8 - Domínios de estado limite último	27
Figura 9: Tabela de KMD, Kx e Kz	29
Figura 10 – Estrutura Convencional	30
Figura 11 - Modelo 3D da laje maciça em SketchUp	31
Figura 12 - Vãos da laje retangular armada em uma direção	32
Figura 13 - Vãos da laje retangular armada em duas direções	33
Figura 14 - Tipos de engastes das lajes maciças	34
Figura 15 - Numeração das lajes em função dos vínculos nas bordas, de acordo com as tabelas de Barés	34
Figura 16 - Demonstração da altura h e da altura útil d da laje.	36
Figura 17 – Compatibilização dos momentos negativos e positivos	38
Figura 18 - Taxas mínimas de armadura de flexão para vigas com seção transversal retangular	40
Figura 19 – Dimensões das lajes	41
Figura 20 – Dados do projeto para execução dos cálculos	42
Figura 21 – Dados das lajes trelaçadas	43
Figura 22 – Detalhamento da linha neutra	44

Figura 23 – Verificação da área de aço	45
Figura 24 – Diâmetro do aço	45
Figura 25 - Dados lajes maciças	46
Figura 26 – Verificação do engaste	47
Figura 27 – Verificação das direções e do tipo de laje	47
Figura 28 – Levantamento das cargas	47
Figura 29 – Tabela de Bares	48
Figura 30 – Determinação do momentos fletores	49
Figura 31 – Determinação do momento na laje 02	49
Figura 32 - Compatibilização dos momentos	50
Figura 33 – Momentos Compatibilizados	50
Figura 34 – Momentos positivos e negativos compatibilizados	50
Figura 35 – Espessura da Laje	51
Figura 36 – Definições das áreas de aços	52
Figura 37 – Diâmetro máximo e espaçamento máximo	53
Figura 38 – Armadura de distribuição laje 02	53
Figura 39 – Tabela das bitolas a serem utilizadas	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Área mínima e quantidade de armadura de distribuição	25
---	----

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 01 - Valor do aço total gasto nas lajes

55

LISTA DE EQUAÇÃO

Equação 01 – Carregamento permanente	26
Equação 02 – Carregamento acidental	26
Equação 03 – Posição da linha neutra	27
Equação 04 – Momento característico	28
Equação 05 – Momento fletor	28
Equação 06 – Área de aço	28
Equação 07 - Fórmula adimensional para dimensionamento de seções retangulares	28
Equação 08 – Verificação da direção laje maior que dois	32
Equação 09 – Verificação da direção da laje menor ou igual a dois	33
Equação 10 – Peso próprio	35
Equação 11 – Altura da laje	36
Equação 12 – Dimensão da laje	36
Equação 13 – Altura da laje	36
Equação 14 – Momentos máximos positivos	37
Equação 15 – Momentos máximos negativos	37
Equação 16 – Área de aço	39
Equação 17 – Área de aço máxima	39
Equação 18 – Área de aço mínima para lajes em duas direções	40
Equação 19 – Área de aço mínima para lajes em uma direção	40
Equação 20 – Espaçamento máximos e mínimos	41
Equação 21 - Diâmetro máximo	41

Equação 22 - momento para laje em uma direção	48
Equação 23 – momento para laje em uma direção	48
Equação 24 - Compatibilização do momento m_1	49
Equação 25 – Compatibilização do momento m_2	49
Equação 26 – momento resistente	51
Equação 27 – Armadura de distribuição	53

SUMÁRIO

RESUMO	15
ABSTRACT	16
1- INTRODUÇÃO	17
2- JUSTIFICATIVA	17
3- OBJETIVOS	18
3.1 - Objetivo Geral	18
3.2 - Objetivo Específico	18
4- REVISÃO DE LITERATURA	18
4.1 Lajes	18
4.1.1 Lajes Trelaçadas	19
4.1.1.1 – Elementos de Preenchimento	20
4.1.1.1.1 – Blocos de EPS	21
4.1.1.1.2 – Blocos de Cerâmica	22
4.1.1.2 – Armaduras Trelaçadas	22
4.1.1.3 – Capeamento e armadura de distribuição	24
4.1.1.4 Vantagens	25
4.1.1.5 Desvantagens	25
4.1.1.6 - Dimensionamento das Lajes Trelaçadas	25
4.1.1.6.1 – Carregamento Permanente	25
4.1.1.6.2 – Carregamento acidental	26
4.1.1.6.3 – Domínios de Dimensionamento	26
4.1.1.6.4 – Posição da Linha Neutra	27
4.1.1.6.5 – Dimensionamento à Flexão	28
4.2 Lajes Maciças	29
4.2.1 – Vantagens e Desvantagens	31
4.2.2 – Dimensionamentos de Lajes Maciças	31
4.2.2.1 – Classificação quanto a direção	31
4.2.2.1.1 Laje armada em uma direção	32
4.2.2.1.2 - Laje armada em duas direções	33
4.2.2.2 – Tipos de Vinculação	33
4.2.2.3 – Ações a Considerar	35
4.2.2.3.1 – Peso Próprio	35
4.2.2.3.2 – Estimativa da altura da laje	35
4.2.2.4 – Momentos Fletores Solicitantes	37
4.2.2.5 – Compatibilização dos momentos	38

4.2.2.6 – Dimensionamento da Área de Aço.....	39
4.2.2.7 – Armaduras máximas e mínimas	39
4.2.2.8 – Espaçamento máximos e mínimos	40
5 – METODOLOGIA	41
5.1 - Dimensionamentos das Vigas Nas Lajes Trelaçadas	43
5.2 – Dimensionamentos das Vigas Nas Lajes Maciças	46
5.3 – Softwares utilizados	54
6 – RESULTADO DE DISCUSSÃO	54
7- CONCLUSÃO	55
8 - Referência Bibliográfica	57

ANÁLISES COMPARATIVAS DE LAJES UTILIZADAS NO CONCRETO ARMADO: TRELIÇADAS E MACIÇAS

Patryck Raihan Teixeira da Silva, Ronni Aryson Soares Neves Raymundo,
Adriana Meireles Macedo Abreu

RESUMO

O presente artigo aborda o papel crucial das lajes como elementos estruturais na Engenharia Civil, responsáveis pela transferência de carga para vigas e pilares. Destaca o avanço tecnológico na escolha de materiais e técnicas construtivas, enfatizando a importância do estudo estrutural para compreender os esforços apoiados por cada estrutura. A análise estrutural avançada torna essencial a avaliação das vantagens e desvantagens das técnicas construtivas, especialmente na escolha do tipo de terreno, dada a diversidade de modelos estruturais disponíveis. A qualidade do projeto é apontada como ponto de partida na evolução do processo construtivo, com impacto significativo nos custos totais. Reduções no custo estrutural, conforme indicado por Costa (1997), podem resultar em economias globais.

Palavras chaves: Lajes treliçadas; Lajes maciças; Análise Comparativas.

1 Institutos Superiores de Ensino do CENSA - ISECENSA - Laboratório de Química e Biomoléculas – LAQUIBIO - Rua Salvador Correa, 139, Centro, Campos dos Goytacazes, RJ, CEP: 28035-310, Brasil; 2 Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro - UENF - Laboratório de Entomologia e Fitopatologia - LEF/CCTA - Av. Alberto Lamego, 2000, Parque Califórnia, Campos dos Goytacazes, RJ, CEP:28013-602, Brasil .(*) e-mail: patryckrt@gmail.com / ronniaryson@gmail.com

ANÁLISES COMPARATIVAS DE LAJES UTILIZADAS NO CONCRETO ARMADO: TRELIÇADAS E MACIÇAS

Patryck Raihan Teixeira da Silva, Ronni Aryson Soares Neves Raymundo,
Adriana Meireles Macedo Abreu

ABSTRACT

This article addresses the crucial role of slabs as structural elements in Civil Engineering, responsible for transferring load to beams and columns. It highlights technological advances in the choice of materials and construction techniques, emphasizing the importance of structural studies to understand the efforts supported by each structure. Advanced structural analysis makes it essential to evaluate the benefits and advantages of construction techniques, especially when choosing the type of terrain, given the diversity of structural models available. The quality of the project is seen as a starting point in the evolution of the construction process, with a significant impact on total costs. Reductions in structural costs, as indicated by Costa (1997), can result in global savings.

Keywords: Truss slabs; Solid slabs; Comparative analyzes

1 Institutos Superiores de Ensino do CENSA - ISECENSA - Laboratório de Química e Biomoléculas – LAQUIBIO - Rua Salvador Correa, 139, Centro, Campos dos Goytacazes, RJ, CEP: 28035-310, Brasil; 2 Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro - UENF - Laboratório de Entomologia e Fitopatologia - LEF/CCCTA - Av. Alberto Lamego, 2000, Parque Califórnia, Campos dos Goytacazes, RJ, CEP:28013-602, Brasil .(*) e-mail: patryckrt@gmail.com / ronniaryson@gmail.com

1- INTRODUÇÃO

As lajes são elementos estruturais responsáveis pela transferência de carga para as vigas e pilares, podem dar apoios aos contrapisos ou ser utilizadas como teto.

Através do desenvolvimento tecnológico, o estudo dentro Engenharia Civil passou a ser mais aprimorado, onde teve mais resultados sobre qual material seria adequado para cada tipo de construção e qual seria seu tipo de sustentação. O estudo estrutural é uma das partes fundamentais do processo, pois nele acarretará os esforços solicitantes que cada estrutura suportará.

Com o avanço dos modelos de análise estrutural é necessário cada vez mais analisar as vantagens e desvantagens da utilização de determinadas técnicas construtivas, uma das decisões importantes é a escolha do tipo de laje, visto que existem diferentes modelos estruturais, por isso é ainda mais necessário um estudo detalhado para avaliar qual é o modelo mais adequado para tais características de projeto. (DIAS et al., 2017).

De acordo com Costa (1997), a evolução do processo construtivo começa pela qualidade do projeto. Esses tipos de projetos são responsáveis individualmente pela etapa mais representativa do custo total da construção (15% a 20% do custo total). Sabe-se que uma redução de 10% no custo estrutural resulta em uma redução de 2% no custo total.

Segundo Amorim (2018), um projeto estrutural bem formulado busca atender a esses métodos da forma mais eficiente possível, para que os recursos sejam aplicados de forma racional, proporcionando maior economia ao projeto.

2- JUSTIFICATIVA

Analisar diferentes tipos de lajes de concreto armado é importantíssimo, pois a escolha do tipo de laje tem efeito direto na quantidade de concreto que será utilizado e no seu tempo de aplicação, tornando

interessante o estudo detalhado de suas características com o objetivo de encontrar soluções técnicas, diminuindo o preço final da construção, uma vez que quanto maior a quantidade de concreto, maior será o preço final da obra.

Esse estudo comparativo é importante, pois através dele será decido o uso do sistema de laje a ser utilizado em uma construção, trazendo em consideração pontos de vista técnicos, econômicos, funcionalidade e demanda existente.

3- OBJETIVOS

3.1 - Objetivo Geral

Esse trabalho tem como objetivo fazer o comparativo entre os materiais a serem utilizados e o valor a ser gasto no processo estrutural dos três tipos de lajes: treliçadas e maciças.

3.2 - Objetivo Específico

- Vantagens e desvantagens da utilização de cada tipo de laje.
- Trazer a comparação de custos relacionados ao aço e mostrar qual é mais econômico.
- Verificar a estimativa do aço gasto de cada um dos modelos.

4- REVISÃO DE LITERATURA

4.1 Lajes

De acordo com a norma NBR 6118 (2023), as lajes são compostas por elementos planos, geralmente horizontais, que possuem três dimensões (largura, comprimento e espessura), sendo que as duas primeiras são consideravelmente maiores do que a terceira.

São destinadas a receber a maioria das ações aplicadas em uma construção, geralmente provenientes de pessoas, móveis, pisos, paredes e

diversos tipos de carga que podem ocorrer devido à finalidade arquitetônica do ambiente onde a laje está inserida.

4.1.1 Lajes Treliçadas

Segundo NBR 14859-1 (ABNT 2016), as lajes treliçadas são feitas através do concreto, confeccionadas em fábricas especializadas ou no próprio canteiro de obras, sua armadura fica embutida junta ao concreto, formando uma viga.

Melo (*apud* DIAS, 2017 p.21) afirma que o uso de lajes pré-fabricadas como parte de um sistema estrutural pode diminuir o custo da construção, porque é reduzido o uso de fôrmas de madeira, diminuindo mão de obra, agilizando o processo de montagem, reduz as perdas de concreto, garante um melhor sistema de vibração das peças e permite melhor compatibilidade e soluções de design de construção.

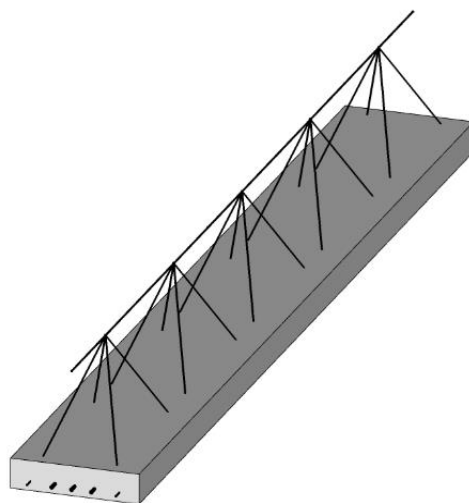


Figura 1 – Vigota Treliçada
Fonte: <https://lajesreal.blog/laje-trelica/>

Em geral, as lajes treliçadas são amplamente utilizadas em diversas obras, pois é uma estrutura caracterizada principalmente pela praticidade de instalação. A principal característica das vigas pré-fabricadas é que ela suporta toda estrutura, que devem corresponder às dimensões especificada

dentro do projeto, que também buscam atender os requisitos dentro das normas relacionadas a construção (Silva, 2012).

O sistema de lajes treliçadas é caracterizada por baixos custos devido aos elementos industriais utilizados na fase de montagem. O sistema ainda é muito versátil para uso em pavimentos (Silva, 2012).

Segundo Cunha (2012), as lajes que são formadas a partir de vigas pré-fabricadas consiste em elementos pré-fabricados lineares, elementos de enchimento e concreto moldado in loco. Elementos de preenchimento podem ser blocos cerâmicos, blocos de concreto ou bloco de poliestireno expandido (EPS).

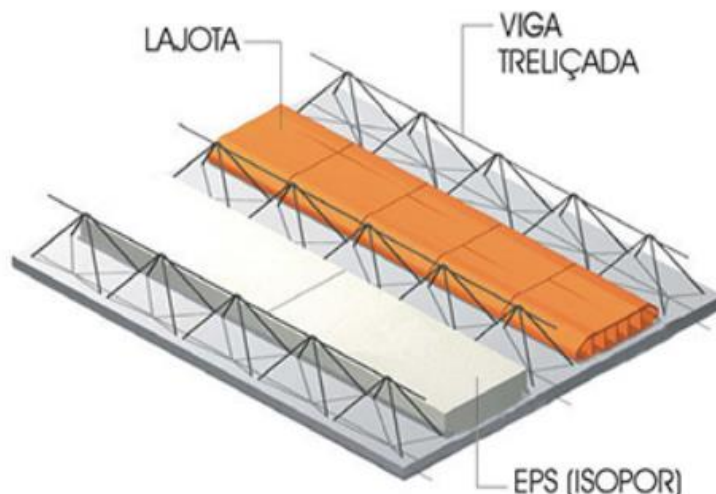


Figura 2 – Componentes da laje treliçada

Fonte: <https://inovacivil.com.br/lajes-trelicadas-tudo-o-que-voce-precisa-saber/>

4.1.1.1 – Elementos de Preenchimento

Nas lajes treliçadas, os elementos de enchimento têm a função de substituir parte do concreto na zona tracionada e também servir de fôrma para o concreto fresco adicional, reduzindo assim o peso próprio da laje e o volume do concreto.

O material de preenchimento ainda que não seja conhecido como um material estrutural no contexto da laje, deve ser de boa qualidade e levar segurança durante sua montagem.

Segundo Dorneles (2014), as lajes treliçadas são caracterizadas pela presença de nervuras com forma de treliças pré-fabricadas, e geralmente são feitas de blocos de EPS ou lajota cerâmica.

4.1.1.1.1 – Blocos de EPS

O Poliestireno Expandido (EPS) no Brasil é conhecido como isopor, esse material foi descoberto em 1949 na Alemanha pelos químicos Fritz Stastny e Karl Buchholz.

Na construção civil os blocos de EPS são fornecidos em comprimentos de 2 a 6 metros, com seções de 0,50x1,00m a 1,20x1,20m. Dependendo do seu design, o EPS pode ser facilmente cortado em blocos menores ou fornecidos no tamanho requerido, a perfeição dimensional é difícil de alcançar em outro tipo de material.

Quando colocado nas lajes uma das características desse tipo de bloco é seu baixo módulo de elasticidade, permitindo uma distribuição adequada das cargas ao longo das linhas de suporte e vedando perfeitamente as juntas dos blocos evitando o escape do concreto aplicado.

Atualmente o EPS é o material de preenchimento mais leve para ser aplicado, essa vantagem faz com que ele seja mais adequado para os tipos de lajes.

Sua densidade varia de 13 kg/m³ a 35 kg/m³ e seu peso específico acaba não interferindo no peso próprio da laje, diferente dos blocos cerâmicos onde não há perda de concreto.



Figura 3 - Laje treliçada com blocos de EPS
Fonte: <https://www.lajesconceicao.com.br/lajetrelicada>

4.1.1.1.2 – Blocos de Cerâmica

Os blocos cerâmicos são conhecidos comercialmente como tavela cerâmica, são tipos de blocos leves com dimensões precisas, projetados para encaixar perfeitamente entre as vigas e receber a capa de compressão, podendo ser feita com uma, duas ou múltiplas camadas de furo.

A cerâmica lajota é produzida nas olarias através da extração da argila, mistura com água, modelagem das peças, secagem e cozimento em altas temperaturas. No início do uso das lajes pré-moldadas treliçadas e vigotas, elas eram amplamente utilizadas. No entanto, mesmo sendo ainda bastante empregada, tem cedido espaço ao EPS (poliestireno expandido), um material de fácil manipulação que pode ser cortado de forma prática no local da construção.



Figura 4 - Laje treliçada com blocos de cerâmica

Fonte: <https://inovacivil.com.br/lajes-trelicadas-tudo-o-que-voce-precisa-saber/>

4.1.1.2 – Armaduras Treliçadas

As armaduras em treliças para lajes são formadas por uma armadura de aço pronta, pré-fabricada, em forma de estrutura espacial prismática. Nas treliças, o banzo inferior é composto por duas barras e o banzo superior é composto por uma barra. Estes são ligados por barras diagonais inclinadas soldadas por eletrofusão, responsáveis por dar rigidez ao conjunto e aumentar a resistência aos esforços cortantes, além de melhorar o transporte e manuseio das peças acabadas (Bastos, 2015).

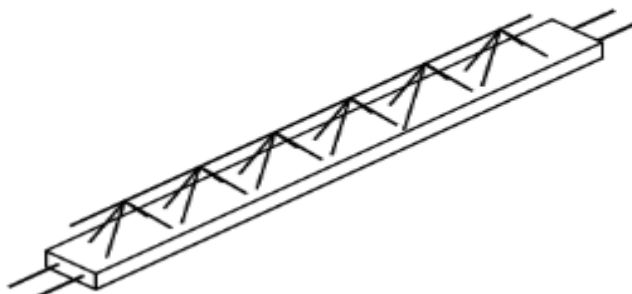


Figura 5 - Esquema de vigota treliçada.
Fonte: (GASPAR, 1997, p.13)

Dorneles (2014) destaca que as vigotas treliçadas são elementos de lajes treliçadas, possuem armadura em formato de treliças e o concreto utilizado é uma pequena camada envolta parcialmente da armadura. Sendo assim, ainda acrescenta que dependendo do projeto, pode ser necessária a armadura inferior de tração que estará envolta pela capa de concreto.

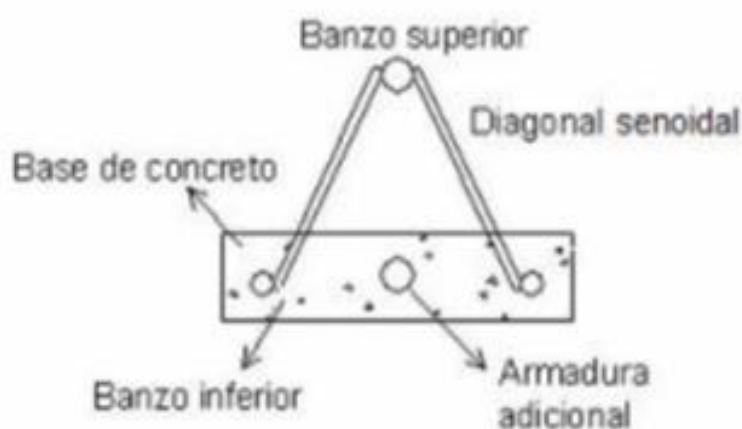


Figura 6 - Seção transversal de uma vigota treliçada
Fonte: (HIGAKI, 2009, p. 42)

A utilização do aço utilizado deve ser seguida mediante a NBR 7480 (ABNT, 2007), onde descreve os diâmetros permitidos para a categoria CA 60 e o diâmetro de 12,5 mm para a categoria CA 50. Na NBR 14862 (ABNT, 2002) determina os requisitos para especificação, fabricação, fornecimento e recebimento de armaduras treliçadas eletrossoldadas.

4.1.1.3 – Capeamento e armadura de distribuição

O concreto de capeamento é lançado na obra e deve se ligar ao concreto da vigota pré-fabricada, formando uma única estrutura de concreto. Esse elemento estrutural irá compor a mesa da nervura, capaz de resistir aos esforços de compressão da laje em serviço e também distribuir as cargas nas nervuras. Esse concreto deverá possuir resistência característica a compressão mínima de 20 MPa, conforme especificado na NBR 6118:2023 para o concreto estrutural.

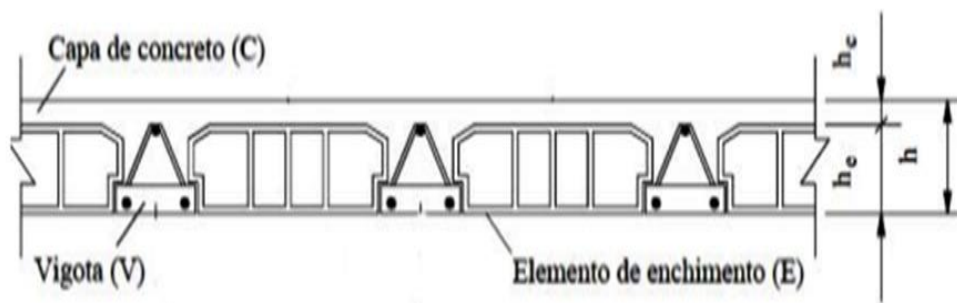


Figura 07 - Parâmetros geométricos de lajes treliçadas
Fonte: Silva (2005) – modificado

A malha de distribuição é uma armadura complementar posicionada na capa da laje com a finalidade de reduzir fissuração e garantir a monoliticidade do painel da laje.

Segundo a NBR 14860-1 (ABNT, 2016), armadura de distribuição são armaduras que são posicionadas na capa de concreto nas direções transversal e longitudinal, com seção de no mínimo $0,9 \text{ cm}^2/\text{m}$ para aços CA 50, CA 60, contendo 3 barras por metro e tela soldada. Esse tipo de armadura tem como função: combater os efeitos da retração, consolidar a estrutura da nervura com a capa, efetuar um controle da fissuração e atuar na distribuição das cargas pontuais.

Aço	Área mínima	Número de barras/m	
		Ø 5,0 mm	Ø 6,3 mm
CA-25	0,9 cm ² /m	5	3
CA-50, CA-60 e tela soldada	0,6 cm ² /m	3	3

Tabela 1 - Área mínima e quantidade de armadura de distribuição
Fonte: NBR 14859-1:2002

4.1.1.4 Vantagens

As lajes pré-fabricadas tiveram seu aumento nas construções devido algumas vantagens que ela possui.

Segundo Muniz (1991), as lajes treliçadas possuem vantagens como a diminuição do peso-próprio da laje e o consequente alívio sobre as fundações.

Dias (2008) também aponta que o uso de lajes pré-fabricadas diminui a formação de fissuras devido à aderência entre o concreto do capeamento e o concreto da vigota pré-moldada.

4.1.1.5 Desvantagens

Segundo Carvalho e Figueiredo (2001), as maiores desvantagens são: grande deformação ao longo do tempo em comparação com o tradicional sistema de lajes maciças e também a dificuldade de implantação de instalações construtivas.

4.1.1.6 - Dimensionamento das Lajes Treliçadas

4.1.1.6.1 – Carregamento Permanente

Segundo a Norma NBR 6120 (2019), essa categoria de carga é composta pelo peso da própria estrutura e também pelo peso de todos os elementos de construção fixos e instalações permanentes.

A letra "g" representa as cargas permanentes, que são divididas de maneira uniforme ao longo da vigota, à exceção dos casos em que haja

paredes divisórias na direção perpendicular às vigotas das lajes ou qualquer outro carregamento linear significativo. Na equação 01 apresenta-se:

$$g_{nerv} = \sum_1^j g_i \cdot bf; \text{ (kN/m)} \quad \text{Equação 01}$$

g_{nerv} - Carregamento contínuo operando na vigota;

g_i - Cargas constantes de projeto (kN/m²)

4.1.1.6.2 – Carregamento acidental

A Norma NBR 6120 (2019) estabelece que carga acidental é toda aquela que pode incidir sobre a estrutura de edificações devido ao seu uso, como pessoas, móveis, materiais diversos, veículos, entre outros. A carga acidental é simbolizada pela letra "q", ela é uniformemente distribuída ao longo da viga e é simbolizada na equação 02.

$$g_{nerv} = q \cdot bf; \text{ (kN/m)} \quad \text{Equação 02}$$

q = carga acidental

bf = largura da mesa

4.1.1.6.3 – Domínios de Dimensionamento

A otimização dos materiais acontece quando o concreto se contrai e o aço se estica, ambos atingindo o máximo de deformação sem ultrapassar o estado-limite último da peça. Isso ocorre na região de transição entre os domínios 2-3 e é marcado pelas deformações de contração do concreto de 3,5‰ (para $f_{ck} < 50$ Mpa) e alongamento do aço de 10,0‰, sendo assim, quanto mais próximo estiver o dimensionamento da estrutura de concreto armado dessa interface, maior será a otimização desses materiais.

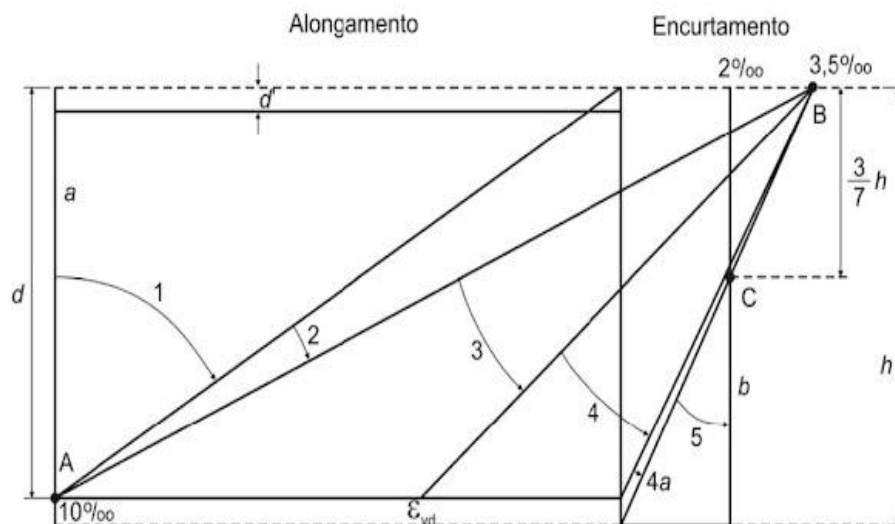


Figura 8 - Domínios de estado limite último

Fonte: https://www.tudoengcivil.com.br/2015/08/dominios-de-deformacao-estruturas-de.html#google_vignette

4.1.1.6.4 – Posição da Linha Neutra

Realiza-se o cálculo da posição da linha neutra para analisar a área comprimida e tracionada na seção da vigota. Isso é essencial, pois o concreto é considerado nos cálculos como o material que suporta apenas os esforços de compressão, enquanto os esforços de tração são absorvidos pelo aço.

$$d_0 \leq d, (\text{cm})$$

d : é a distância da face superior da laje até a armadura de tração (cm).

Caso a informação seja verdadeira a LN estará localizada na mesa da vigota, a equação 03 é usada para calcular o parâmetro d .

$$d_0 = \frac{100 \cdot M_{sd}}{0,85 \cdot \frac{(10 \cdot f_{ck})}{\gamma_c} \cdot (b_f \cdot c)} + \frac{c}{2}; (\text{cm}) \quad \text{Equação 03}$$

b_f – indica a medida do intoreixo da vigota (cm);

C – espessura da capa da laje (cm);

4.1.1.6.5 – Dimensionamento à Flexão

O sistema de lajes pré-moldadas de vigota armada é projetado levando em consideração faixas de largura chamadas de espaçamento, que é a distância entre as vigotas, essas vigotas são colocadas na direção da menor abertura na laje. A faixa mais crítica, ou seja, aquela que suporta a maior carga (peso próprio, revestimento, paredes, sobrecarga e outros), é utilizada como referência no cálculo e sua configuração é estendida para toda a laje.

Para calcular o momento fletor de projeto, considera-se que a vigota está apoiada em ambos os elementos estruturais que a sustentam. A seguir é ilustrado as equações 04 e 05 para cálculo de momento.

$$M_{sk} = \frac{Q_t \cdot l^2}{8}, \text{ (kN.m)} \quad \text{Equação 04}$$

Q_t - Carga total aplicada sobre a vigota (kN/m);

l - Vão efetivo da laje na direção da vigota (m).

$$M_{sd} = Y_f \cdot M_{sk}, \text{ (kgf.m)} \quad \text{Equação 05}$$

Y_f - Coeficiente de segurança do projeto;

M_{sk} – Momento fletor característico

A fim de determinar a quantidade de aço necessária para resistir as tensões que atuam no elemento estrutural, utiliza-se as equações 06 e 07:

$$A_s = \frac{M_{sd}}{k_z \cdot d \cdot f_{yd}}, \text{ (cm}^2\text{)} \quad \text{Equação 06}$$

$$KMD = \frac{M_{sd}}{b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd}} \quad \text{Equação 07}$$

A constante K_z encontramos através da tabela de KMD mostrada na figura 09.

KMD	KX	KZ	e_c	e_s	KMD	KX	KZ	e_c	e_s
0,0100	0,0148	0,9941	0,1502	10,000	0,2050	0,3506	0,8597	3,5000	6,4814
0,0200	0,0298	0,9881	0,3068	10,000	0,2100	0,3609	0,8556	3,5000	6,1971
0,0300	0,0449	0,9820	0,4704	10,000	0,2150	0,3714	0,8515	3,5000	5,9255
0,0400	0,0603	0,9759	0,6414	10,000	0,2200	0,3819	0,8473	3,5000	5,6658
0,0500	0,0758	0,9697	0,8205	10,000	0,2250	0,3925	0,8430	3,5000	5,4170
0,0550	0,0836	0,9665	0,9133	10,000	0,2300	0,4033	0,8387	3,5000	5,1785
0,0600	0,0916	0,9634	1,0083	10,000	0,2350	0,4143	0,8343	3,5000	4,9496
0,0650	0,0995	0,9602	1,1056	10,000	0,2400	0,4253	0,8299	3,5000	4,7297
0,0700	0,1076	0,9570	1,2054	10,000	0,2450	0,4365	0,8254	3,5000	4,5181
0,0750	0,1156	0,9537	1,3077	10,000	0,2500	0,4479	0,8208	3,5000	4,3144
0,0800	0,1238	0,9505	1,4126	10,000	0,2550	0,4594	0,8162	3,5000	4,1181
0,0850	0,1320	0,9472	1,5203	10,000	0,2600	0,4711	0,8115	3,5000	3,9287
0,0900	0,1403	0,9439	1,6308	10,000	0,2650	0,4830	0,8068	3,5000	3,7459
0,0950	0,1485	0,9406	1,7444	10,000	0,2700	0,4951	0,8020	3,5000	3,5691
0,1000	0,1569	0,9372	1,8611	10,000	0,2750	0,5074	0,7970	3,5000	3,3981
0,1050	0,1654	0,9339	1,9810	10,000	0,2800	0,5199	0,7921	3,5000	3,2324
0,1100	0,1739	0,9305	2,1044	10,000	0,2850	0,5326	0,7870	3,5000	3,0719
0,1150	0,1824	0,9270	2,2314	10,000	0,2900	0,5455	0,7818	3,5000	2,9162
0,1200	0,1911	0,9236	2,3621	10,000	0,2950	0,5586	0,7765	3,5000	2,7649
0,1250	0,1998	0,9201	2,4967	10,000	0,3000	0,5721	0,7712	3,5000	2,6179
0,1300	0,2086	0,9166	2,6355	10,000	0,3050	0,5858	0,7657	3,5000	2,4748
0,1350	0,2175	0,9130	2,7786	10,000	0,3100	0,5998	0,7601	3,5000	2,3355
0,1400	0,2264	0,9094	2,9263	10,000	0,3150	0,6141	0,7544	3,5000	2,1997
0,1450	0,2354	0,9058	3,0787	10,000	0,3200	0,6287	0,7485	3,5000	2,0672
0,1500	0,2445	0,9022	3,2363	10,000	0,3300	0,6590	0,7364	3,5000	1,8100
0,1550	0,2536	0,8985	3,3991	10,000	0,3400	0,6910	0,7236	3,5000	1,5652
0,1600	0,2630	0,8948	3,5000	9,8104	0,3500	0,7249	0,7100	3,5000	1,3283
0,1650	0,2723	0,8911	3,5000	9,3531	0,3600	0,7612	0,6955	3,5000	1,0983
0,1700	0,2818	0,8873	3,5000	8,9222	0,3700	0,8003	0,6799	3,5000	0,8732
0,1750	0,2913	0,8835	3,5000	8,5154	0,3800	0,8433	0,6627	3,5000	0,6506
0,1800	0,3009	0,8796	3,5000	8,1106					
0,1850	0,3106	0,8757	3,5000	7,7662					
0,1900	0,3205	0,8718	3,5000	7,4204					
0,1950	0,3305	0,8678	3,5000	7,0919					
0,2000	0,3405	0,8638	3,5000	6,7793					

Figura 09: Tabela de KMD, Kx e Kz

Fonte: <https://pt.scribd.com/document/381359946/Tabela-Kmd-Kx-Kz-Concreto-Armado>

4.2 Lajes Maciças

As lajes maciças são compostas por concreto em toda a sua espessura, contém armaduras de flexão podendo até ser utilizadas armaduras transversais, em sua volta são apoiadas por vigas e alvenarias. Não são utilizadas em estruturas de grandes vãos devido ao seu peso próprio, sendo indicado a medida de 5 metros o comprimento máximo de um vão.

Segundo Spohr (2008), conforme mostra a Figura 2, um sistema estrutural convencional de concreto armado é constituído por lajes maciças, vigas e pilares, sendo que as lajes absorvem as cargas de uso, que são transferidas para as vigas, onde exercem seus esforços sobre os pilares e fundações.

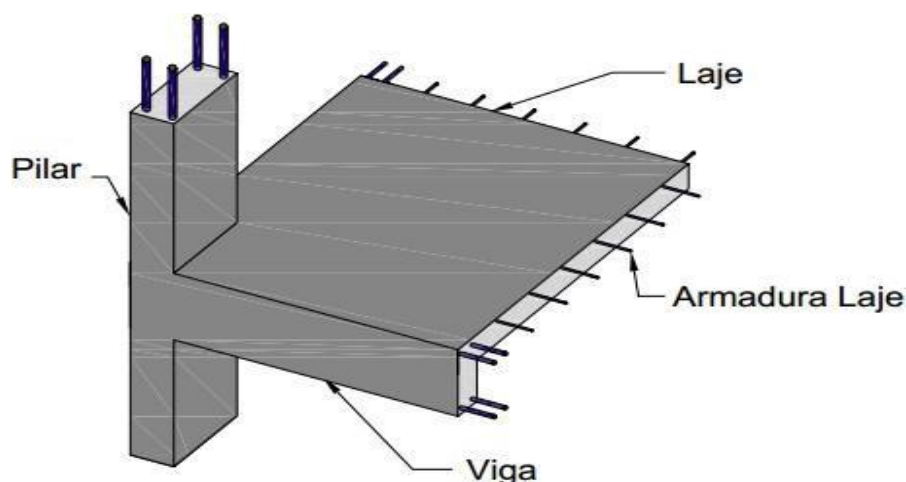


Figura 10 – Estrutura Convencional
Fonte: Spohr (2008)

Conforme consta na NBR 6118 (2023) nas lajes maciças devem ser respeitados os seguintes limites mínimos para a espessura:

- a) 7 cm para lajes de cobertura que não sejam em balanço;
- b) 8 cm para lajes de piso não em balanço;
- c) 10 cm para lajes em balanço;
- d) 10 cm para lajes que suportem veículos de peso total menor ou igual a 3000 kg ou 30kN;
- e) 12 cm para lajes que suportem veículos de peso total maior que 3000 kg ou 30kN.

A execução deste tipo de laje é feita em várias etapas, desde a fabricação e suportes de madeira, depois instalações de reforços, que seria as armaduras, e inserção de caixas, tubos e eletrodutos. Após essas etapas o concreto é preparado, lançado e adensado, correspondendo ao método de tratamento e tempo de cura, logo após esses processos são retiradas as formas e as escoras, finalizando a produção.

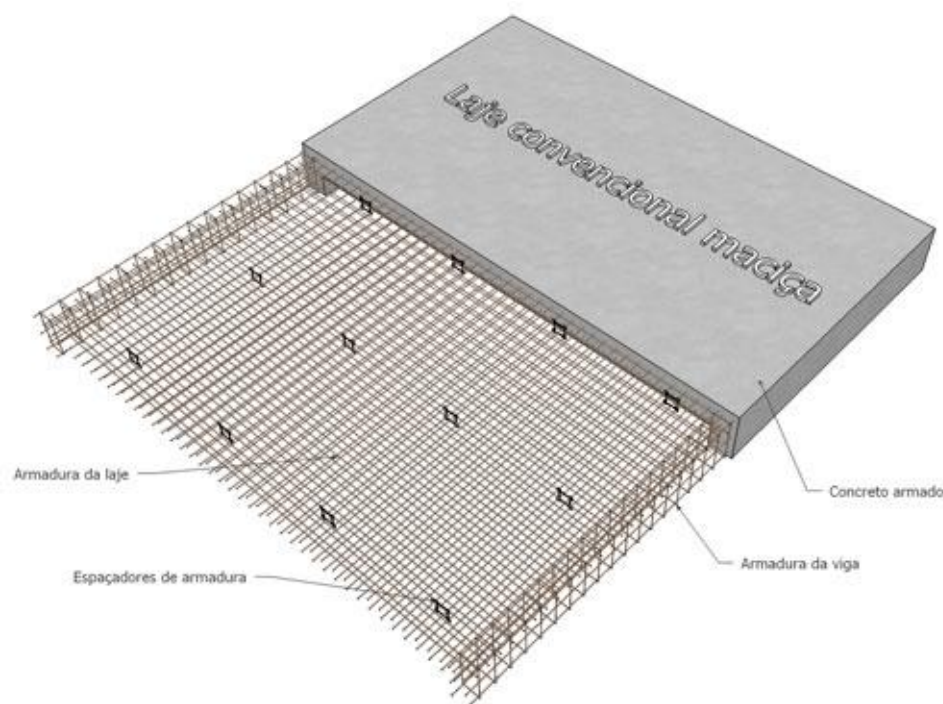


Figura 11 - Modelo 3D da laje maciça em SketchUp

Fontes: <https://cddcarqfeevale.wordpress.com/2012/04/03/lajes-macicas-de-concreto-armado/>

4.2.1 – Vantagens e Desvantagens

Dorneles (2014) discute algumas das vantagens e desvantagens a este tipo de arranjo. Grande número de vigas que ajudam o processo de contraventamento, desempenho positivo na redistribuição do esforço e não a necessidade de trabalho especializado devido à sua simplicidade. A desvantagem é o alto consumo de concreto, normalmente é utilizado alto peso próprio levando a reações mais altas, custos elevados de formas, grande transferência de ruído entre pavimentos e alto custo em comparação com lajes com enchimentos alternativos.

4.2.2 – Dimensionamentos de Lajes Maciças

4.2.2.1 – Classificação quanto a direção

Segundo Bastos (2023), as camadas de maiores dimensões podem ser definidas com base em diversos critérios, como os tipos de suportes

utilizados e a orientação da armadura principal. Embora existam várias formas possíveis para as lajes, o retangular é o mais prevalente na prática, embora os avanços nos softwares computacionais agora permitam o dimensionamento para formas mais complexas.

Uma classificação crucial para lajes em geral está relacionada à orientação da armadura principal, sendo dividida em dois casos principais: lajes armadas em uma direção e lajes armadas em duas direções. A capacidade de calcular e dimensionar eficientemente esses elementos para diversas formas geométricas e tipos de carregamentos é facilitada pelos programas computacionais avançados disponíveis atualmente.

4.2.2.1.1 Laje armada em uma direção

As lajes armadas em uma direção têm uma relação entre o lado maior e o lado menor que supera o valor de dois, ilustrado na equação 08:

$$\lambda = \frac{l_y}{l_x} > 2 \quad \text{Equação 08}$$

l_y – maior vão da laje

l_x – menor vão da laje

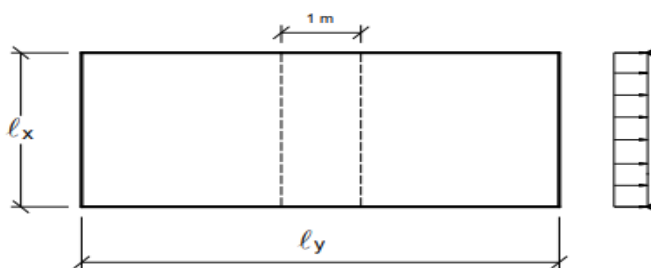


Figura 12 - Vãos da laje retangular armada em uma direção.
Fonte: Bastos (2023)

4.2.2.1.2 - Laje armada em duas direções

Nas lajes armadas em duas direções, as forças solicitadas são significativas em função das direções principais da laje. A proporção entre os lados é inferior a dois na equação 09.

$$\lambda = \frac{l_y}{l_x} \leq 2$$

Equação 09

l_y – maior vão da laje

l_x – menor vão da laje

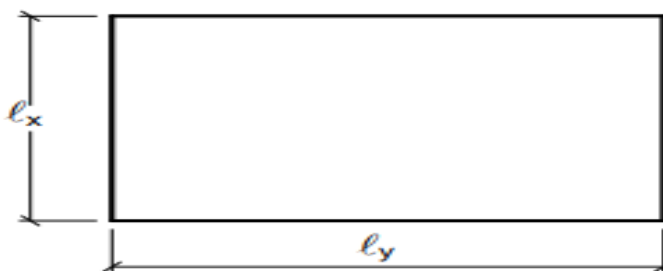


Figura 13 - Vãos da laje retangular armada em duas direções.
Fonte: Bastos 2023

4.2.2.2 – Tipos de Vinculação

Para determinar as forças aplicadas e as deformações nas lajes, é essencial definir as conexões da laje com os suportes, que podem ser pontuais, como os pilares, ou lineares, como as vigas de borda. Devido à complexidade do problema, é necessário realizar algumas simplificações para viabilizar o manual de cálculo.

Cada laje deve ser abordada de maneira individual, considerando sua ligação com os demais, que são elas: engastada, borda livre ou simplesmente apoiadas.

Apoiada: ocorre quando a borda da laje é continuamente apoiada por vigas, paredes de alvenaria de tijolos cerâmicos, blocos de concreto ou pedras. As deslocamentos verticais são limitadas.

Livre: manifesta-se quando a borda da laje não possui nenhuma vinculação ao longo daquele lado, ou seja, não apresenta apoio.

Engastada: caracteriza-se quando a borda da laje se estende além do apoio correspondente daquele lado. As deslocamentos verticais e rotações são restritas, sendo esse o caso das lajes contínuas.

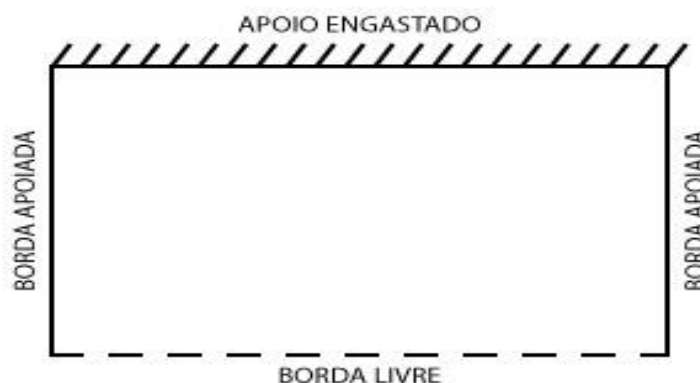


Figura 14 - Tipos de engastes das lajes maciças
Fonte: https://www.guiadaengenharia.com/esforços-lajes-macicas/#google_vignette

Devido às diversas possibilidades de conexões nas quatro extremidades das lajes retangulares, atribui-se uma numeração às lajes para distinguir as diferentes ligações de vínculos.

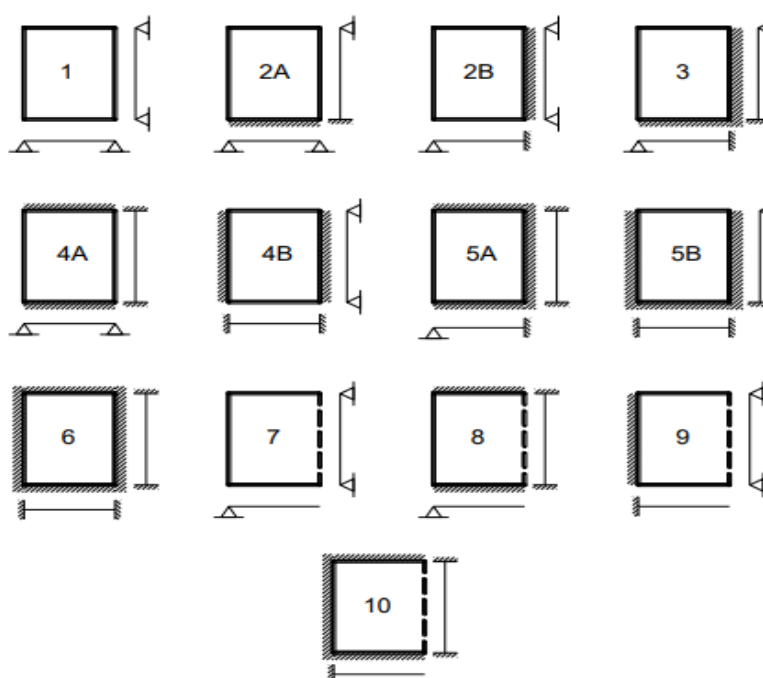


Figura 15 - Numeração das lajes em função dos vínculos nas bordas, de acordo com as tabelas de Barés.
Fonte: Bastos 2023.

4.2.2.3 – Ações a Considerar

As lajes estão sujeitas a uma ampla variedade de ações ou carregamentos, que vão desde a carga gerada por pessoas até móveis, paredes, água, solo, entre outros.

Para calcular as cargas que atuam nas lajes, é essencial fazer referência a normas específicas. As principais normas aplicáveis são a NBR 6118, a NBR 8681 e a NBR 6120. É crucial realizar uma avaliação cuidadosa dessas normas, pois elas fornecem diretrizes essenciais para determinar as ações relevantes que afetam as lajes em uma estrutura. Essa abordagem assegura a conformidade com os padrões e critérios estabelecidos, garantindo a segurança e o desempenho adequado das estruturas de lajes.

4.2.2.3.1 – Peso Próprio

O peso próprio da laje maciça é determinado pela altura h e pelo peso específico do concreto armado, que é de 25 kN/m^3 , conforme estabelecido pela NBR 6118. O peso próprio de uma laje com altura constante é uniformemente distribuído na área da laje, conforme a equação 10. (Bastos, 2023).

$$g_{pp} = 25 \times h \quad \text{Equação 10}$$

g_{pp} – peso próprio da laje (kN/m^2);

h - altura da laje (m).

4.2.2.3.2 – Estimativa da altura da laje

Para o projeto de uma laje, é crucial iniciar com o conhecimento da sua altura. Diversos métodos estão disponíveis para estimar essa altura, e um deles depende da altura útil d . Essa altura útil é definida como a distância entre o centro de gravidade da armadura tracionada e a face comprimida da seção.

Esse procedimento considera a relação entre a posição da armadura tracionada e a geometria específica da seção transversal da laje, proporcionando uma medida relevante para a determinação da altura necessária para atender aos requisitos estruturais e de segurança da laje.

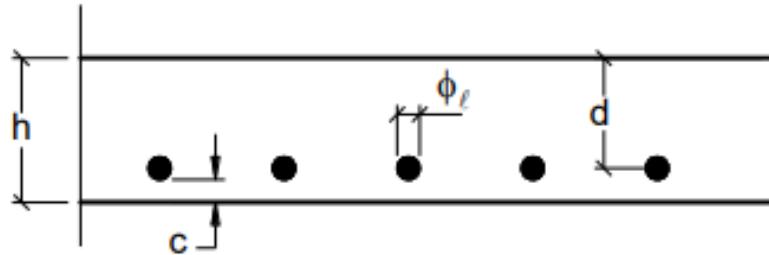


Figura 16 - Demonstração da altura h e da altura útil d da laje.
Fonte: Bastos 2023

$$d \cong (2,5 - 0,1n)\ell^* \quad \text{Equação 11}$$

d – altura útil

n – número de bordas engastadas na laje

ℓ^* - dimensão da laje d_a em metro, sendo:

$$\ell^* \leq \begin{cases} \ell_x \\ 0,7\ell_y \end{cases} \quad \text{Equação 12}$$

Com $\ell_x \leq \ell_y$ e ℓ^*, ℓ_x e ℓ_y em metro.

Considerando a altura útil d da Equação 11 e assumindo que a armadura esteja disposta em uma única camada, obtemos a altura h na equação 13:

$$h = d + \frac{\phi_\ell}{2} + c \quad \text{Equação 13}$$

Para evitar ambiguidades quanto ao diâmetro inicial desconhecido ϕ_ℓ da barra longitudinal, é necessário realizar uma estimativa. Em situações envolvendo lajes comuns, é comum que o diâmetro varie de 5 a 10 mm. Para efeitos do cálculo inicial, uma estimativa segura pode ser adotar um diâmetro de 10 mm.

4.2.2.4 – Momentos Fletores Solicitantes

Os momentos de flexão e as deformações nas lajes sólidas são determinados com base na disposição da armadura, podendo ser unidirecional ou bidirecional. No caso das lajes unidirecionais, os cálculos seguem a abordagem de vigas ao longo da direção principal, enquanto nas lajes bidirecionais, diversas teorias podem ser aplicadas, incluindo a Teoria da Elasticidade e a Teoria das Charneiras Plásticas.

Os momentos fletores máximos em uma laje são geralmente determinados por meio de análises estruturais e fórmulas específicas. De acordo com os dados fornecidos pelos gráficos de bares, os momentos de flexão, tanto negativo quanto positivo, podem ser determinados por meio das equações 14 e 15:

Para momentos máximos positivos:

$$m_x = \mu_x \frac{p \cdot \ell_x^2}{100} \quad m_y = \mu_y \frac{p \cdot \ell_x^2}{100} \quad \text{Equação 14}$$

m_x e m_y – momentos fletores dos vãos ℓ_x e ℓ_y , respectivamente. (kN.m/m);

μ_x e μ_y - coeficientes para cálculo dos momentos fletores positivos atuantes nas direções paralelas a ℓ_x e ℓ_y , respectivamente;

p – valor da carga atuante na laje (kN/m²);

ℓ_x – menor vão da laje (m).

Para momentos máximos negativos:

$$m'_x = \mu'_x \frac{p \cdot \ell_x^2}{100} \quad m_y = \mu'_y \frac{p \cdot \ell_x^2}{100} \quad \text{Equação 15}$$

μ'_x e μ'_y = coeficientes para cálculo dos momentos fletores negativos atuantes nas bordas perpendiculares às direções ℓ_x e ℓ_y , respectivamente;

4.2.2.5 – Compatibilização dos momentos

Os momentos fletores positivos são ajustados e ampliados, quando necessário, qualquer redução nos momentos não é levada em consideração e é ignorada. É importante ressaltar que a conciliação de momentos positivos e negativos deve ser realizada em ambas as direções da laje. (BASTOS, 2023).

Na compatibilização de momentos fletora negativos, é frequente adotar-se o valor máximo entre a média e 80% do maior momento obtido. No entanto, Carvalho e Figueiredo Filho (2014) ressaltam que, em prol da segurança, recomenda-se utilizar o maior dos dois momentos para o cálculo das armaduras negativas.

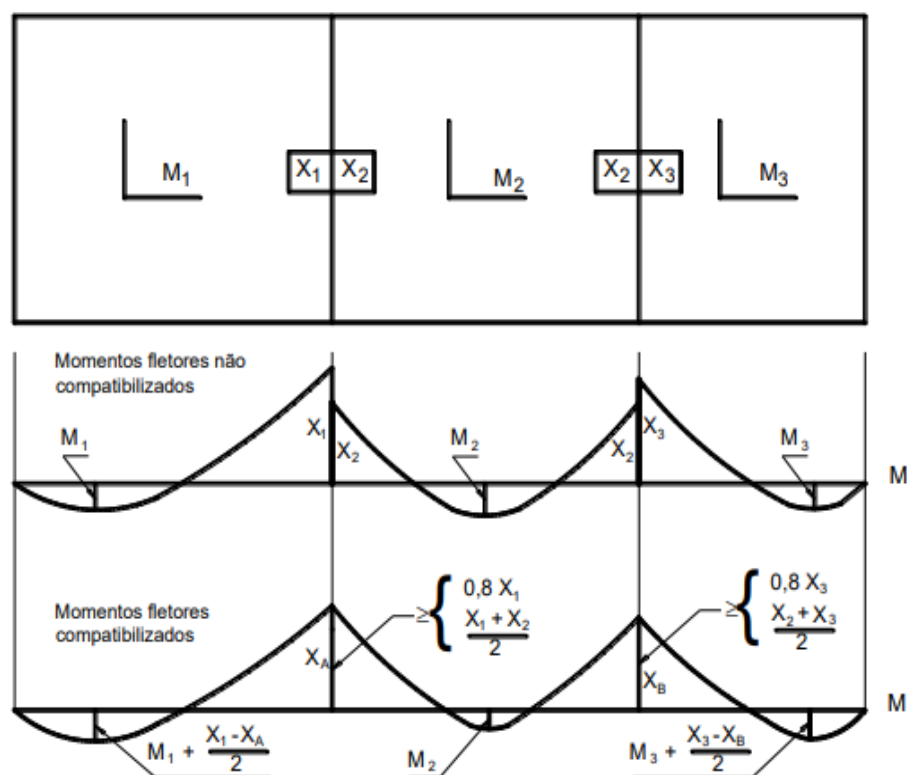


Figura 17 – Compatibilização dos momentos negativos e positivos
Fonte: Bastos (2023)

4.2.2.6 – Dimensionamento da Área de Aço

O projeto da área de aço em uma laje extensa segue os mesmos princípios utilizados para elementos sujeitos à flexão simples e pura, conforme previamente planejado para vigas. Após conhecer os momentos característicos compatibilizados, o próximo passo é calcular as armaduras situada na equação 16.

$$A_s = \frac{M_{sd}}{K_z \cdot d \cdot f_{cd}}, (\text{cm}^2) \quad \text{Equação 16}$$

A_s – área de aço.

M_{sd} – momento fletor solicitante em situação normal.

d – altura útil.

f_{cd} – resistência característica do concreto minorada.

K_z – valor retirado da tabela do KMD, que tem seu valor descoberto na equação 07 do item 4.1.1.6.5.

4.2.2.7 – Armaduras máximas e mínimas

No que diz respeito à armadura máxima citada na equação 17, a NBR 6118 (no ponto 17.3.5.2.4) estabelece que "A soma das armaduras de tração e de detalhes ($A_s + A'_s$) não pode ultrapassar 4% da área da seção transversal (A_c), calculado na região fora da zona de emendas. Além disso, é necessário garantir as condições de ductilidade especificadas em 14.6.4.3." Isso significa que a quantidade total de armadura (tanto de tração quanto de atualização) deve ser controlada para não ultrapassar 4% da área da seção transversal.

$$A_{s\text{máx}} = 4\% \cdot A_c \quad \text{Equação 17}$$

$A_{s\text{máx}}$ - área de aço máxima

No ponto 17.3.5.2.1, a NBR 6118 (2023) descreve o procedimento para calcular a armadura mínima de tração para vigas com base em um momento fletor mínimo. No entanto, ela também fornece uma alternativa, mencionando que a armadura mínima pode ser considerada atendida se for obedecida como taxas mínimas de armadura.

Para armaduras positivas de lajes em duas direções utiliza-se a equação 18:

$$A_{smin} = 0,67 \cdot \rho_{min} \cdot A_c \quad \text{Equação 18}$$

A_{smin} – área de aço mínima

Para armaduras positivas de lajes em uma direção (principal) e armaduras negativas utiliza-se a equação 19 :

$$A_{smin} = \rho_{min} \cdot A_c \quad \text{Equação 19}$$

f_{ck} (MPa)	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90
$\rho_{min} (\%)^a)$	0,150	0,150	0,150	0,164	0,179	0,194	0,208	0,211	0,219	0,226	0,233	0,239	0,245	0,251	0,256
a) Os valores de ρ_{min} estabelecidos nesta Tabela pressupõem o uso de aço CA-50, $d/h = 0,8$, $\gamma_c = 1,4$ e $\gamma_s = 1,15$. Caso esses fatores sejam diferentes, ρ_{min} deve ser recalculado. $\rho_{min} = A_{s,min}/A_c$															

Figura 18 - Taxas mínimas de armadura de flexão para vigas com seção transversal retangular.
Fonte: NBR 6118

4.2.2.8 – Espaçamento máximos e mínimos

De acordo com a NBR 6118, o espaçamento entre as barras da armadura principal de flexão deve ser no máximo igual a $2h$ ou 20 cm como é ilustrado na equação 20, prevalecendo o menor desses dois valores na região onde os momentos fletores são mais significativos. Essa orientação

visa garantir a eficácia da armadura em resistência aos momentos fletores predominantes na estrutura.

$$s \leq \begin{cases} 2h \\ 20 \text{ cm} \end{cases} \quad \text{Equação 20}$$

A norma não estabelece valores específicos para o espaço mínimo. Em termos restritos, é possível usar o valor recomendado para as barras de uma capa horizontal das armaduras longitudinais das vigas, equação 21 Bastos (2023).

$$\phi l \leq \frac{h_{laje}}{8} \quad \text{Equação 21}$$

5 – METODOLOGIA

Nesse item será abordado os cálculos de dimensionamentos para as lajes treliçadas e lajes maciças, com seu resultado final mostrando a área de aço que terá em ambos os modelos de laje.

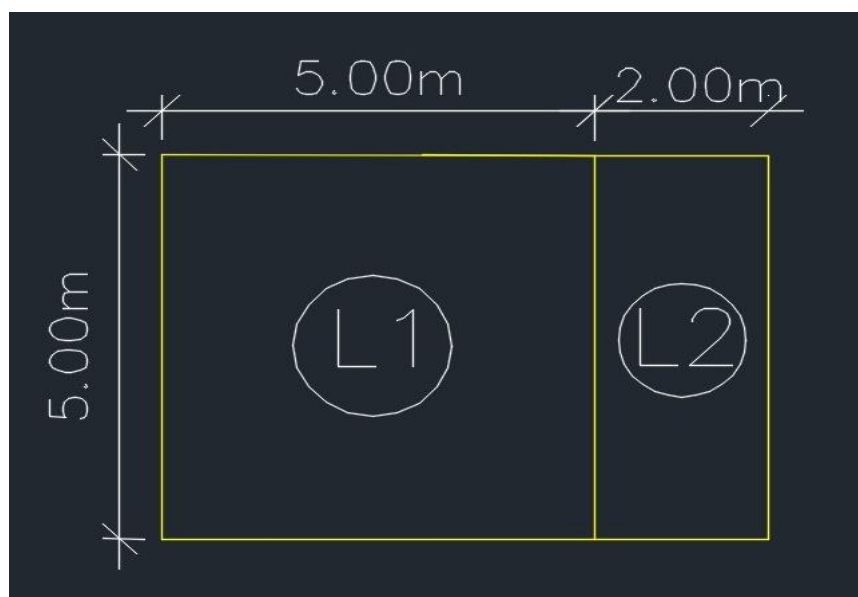


Figura 19 – Dimensões das lajes
Fonte: Autores

Para a realização do cálculo foi considerado:

- **Classe do Aço (CA50):** Uma referência à classe do aço indica que o aço utilizado tem uma resistência específica, e neste caso, a classe é CA50.
- **Resistência Característica do Concreto (30 MPa):** A resistência de característica específica do concreto é indicada como 30 MPa, tanto para a viga quanto para a capa. Essa resistência é uma propriedade importante ao considerar a capacidade estrutural do concreto.
- **Cobrimento da Armadura ($d' = 1,5$ cm):** O cobrimento da armadura, que é a distância entre a superfície do concreto e a barra de aço, é especificado como 1,5 cm. Esse valor é importante para garantir a proteção adequada da armadura contra corrosão e outros danos.
- **Coeficientes de Ponderação da NBR 6118 (2023):** Os coeficientes de ponderação referenciados são retirados da norma NBR 6118 (2023). Esses coeficientes desempenham um papel essencial no dimensionamento estrutural, ajustando as características dos materiais e as cargas para garantir a segurança e a durabilidade da estrutura

Seleção do tipo de aço	
Aço CA50	

Variáveis	
fck	30MPa
d'	1,5cm

Coeficiente de ponderação	
γ_f	1,4
γ_c	1,4
γ_s	1,15

Figura 20 – Dados do projeto para execução dos cálculos.
Fonte: Autores

5.1 - Dimensionamentos das Vigas Nas Lajes Trelaçadas

Variáveis	Valores (cm)
bw	12
bf	40
ba	4
h	3
há	9
c	4
H	16
d'	1,5

Carregamentos Permanentes	
Peso próprio	1,32 kN/m ²
Revestimento	0,98 kN/m ²
Outros	0,6 kN/m ²
Total	2,91 kN/m²

Carregamento Acidental	
Sobrecarga	0,98 kN/m ²
Outros	0 kN/m ²
Total	0,98 kN/m²

Figura 21 – Dados das lajes trelaçadas
Fonte: Autores

Somatório das cargas atuantes:

$$g_{\text{nerv}} = \sum_1^j g_i \cdot bf \quad (\text{Equação 01})$$

Carregamento permanente total = 2,91 kN/m²

Carregamento acidental total = 0,98 kN/m²

Bf = 40cm

$$g_{\text{nerv}} = 1,56 \text{ kN/m}$$

Verificação dos Momentos:

$$\text{Laje 01} - M_{sk} = \frac{Q_t \cdot l^2}{8} \quad (\text{Equação 04})$$

$$Q_t = 1,56 \text{ kN/m}$$

$$L_x = 5,0 \text{ m}$$

$$M_{sk} = 4,87 \text{ kN/m}$$

$$\text{Laje 02} - M_{sk} = \frac{Q_t \cdot l^2}{8}$$

$$Q_t = 1,56 \text{ kN/m}$$

$$L_x = 2,0 \text{ m}$$

$$M_{sk} = 1 \text{ kN/m}$$

$$\text{Laje 01} - M_{sd} = Y_f \cdot M_{sk} \quad (\text{Equação 05})$$

$$Y_f = 1,4$$

$$M_{sd} = 6,81 \text{ kN/m}$$

Laje 02 - $M_{sd} = Y_f \cdot M_{sk}$ (Equação 05)

$$Y_f = 1,4$$

$$M_{sd} = 1,4 \text{ kN/m}$$

Verificação da altura útil:

$$d_0 = \frac{100 \cdot M_{sd}}{0,85 \cdot \frac{(10 \cdot f_{ck})}{\gamma_c} \cdot (b \cdot c)} + \frac{c}{2} \quad \text{(Equação 03)}$$

$$d_0 = 4,3 \text{ cm}$$

$d_0 \leq d$, portanto a linha neutra irá passar na mesa.

Verificação da linha neutra							
Laje	Qnerv Permanente (kN/m²)	Qnerv Acidental (kN/m²)	Qttotal (kN/m)	d0 (cm)	d (cm)	Msk (kN/m)	Msd (kN/m)
L1	1,16	0,392	1,56	4,3	14,5	4,86	6,81
L2	1,16	0,392	1,56	4,3	14,5	1	1,1

Figura 22 – Detalhamento da linha neutra
Fonte: Autores

Verificação da área de aço:

Laje 01 - $KMD = \frac{M_{sd}}{b \cdot w \cdot d^2 \cdot f_{cd}}$ (Equação 07)

$$KMD = 0,1260$$

Na tabela de KMD que é ilustrada na figura 09 utilizamos $KMD = 0,1300$

$$K_x = 0,2086 \text{ e } K_z = 0,9166$$

$$A_s = \frac{M_{sd}}{k_z \cdot d \cdot f_{yd}} \quad \text{(Equação 06)}$$

$$f_{yd} = \frac{50}{1,15}$$

$$A_s = 1,17 \text{ cm}^2$$

Laje 02 - $KMD = \frac{M_{sd}}{b \cdot w \cdot d^2 \cdot f_{cd}}$ (Equação 07)

$$f_{cd} = \frac{30000}{1,4}$$

$$KMD = 0,0259$$

Na tabela ilustrada na figura 09 utilizamos o valor de $KMD = 0,0300$

$K_x = 0,0449$ e $K_z = 0,9820$

$$A_s = \frac{M_{sd}}{k_z \cdot d \cdot f_{yd}} \quad (\text{Equação 06})$$

$$A_s = 0,17 \text{ cm}^2$$

Verificação da Área de aço				
Laje	KMD	Kx	kz	As (cm ²)
L1	0,1260	0,2086	0,9166	1,18
L2	0,020	0,0298	0,9881	0,17

Figura 23 – Verificação da área de aço
Fonte: Autores

Escolha da bitola do aço:

Laje 01		
Diâmetro do aço		
Astotal	1,18	cm²
Asbase	0,392	cm²
	2φ 5.0mm	
Ascomp.	0,785	cm²
	1φ10.0mm	
Área de aço utilizada		1,18cm²

Laje 02		
Diâmetro do aço		
Astotal	0,17	cm²
Asbase	0,14	cm²
	1φ4.2mm	
Área de aço utilizada		0,17cm²

Figura 24 – Diâmetro do aço
Fonte: Autores

5.2 – Dimensionamentos das Vigas Nas Lajes Maciças

Variáveis	Valores (cm)
h	10
bw	100

Carregamentos Permanentes	
Peso próprio	2,5 kN/m ²
Revestimento	0,98 kN/m ²
Outros	0,6 kN/m ²
Total	2,91 kN/m²

Carregamento Acidental	
Sobrecarga	0,98 kN/m ²
Outros	0 kN/m ²
Total	0,98 kN/m²

Figura 25 - Dados lajes maciças
Fonte: Autores

Verificação quanto a direção:

Laje 01: 5,0 m x 5,0 m

Laje 02: 5,0 m x 2,0 m

Laje 01 - $\lambda = \frac{l_y}{l_x} \leq 2$; $\lambda = 1$ (Equação 09)

Laje 02 - $\lambda = \frac{l_y}{l_x} > 2$; $\lambda = 2,5$ (Equação 08)

Verificando o tipo de vinculação:

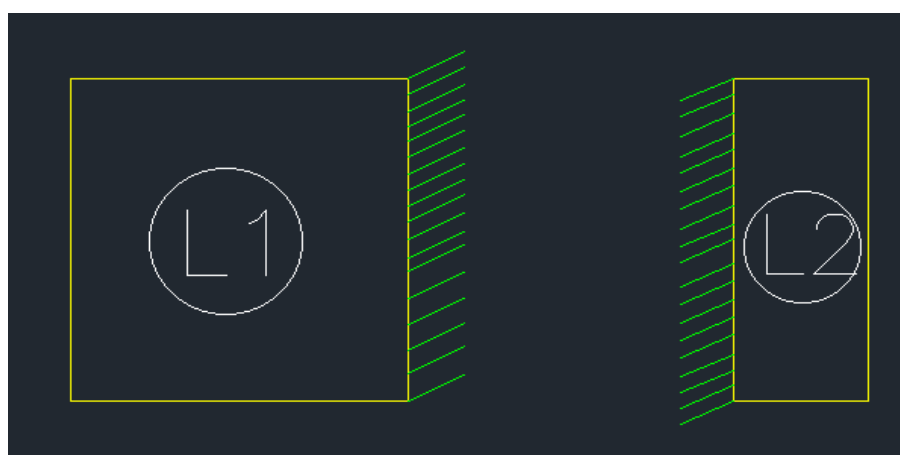


Figura 26 – Verificação do engaste
Fonte: Autores

De acordo com a tabela ilustrada na figura 15 usaremos para L1 o caso 2B.

Estimativa da altura da laje:

$$\ell^* \leq \begin{cases} \ell_x \\ 0,7\ell_y \end{cases} \quad (\text{Equação 12})$$

Laje 01 - $\ell^* = 3,5$

Laje 02 - $\ell^* = 2$

$$d \cong (2,5 - 0,1n)\ell^* \quad (\text{Equação 11})$$

Laje 01 - $d = 8,4 \text{ cm}$

Laje 02 - $d = 4,8 \text{ cm}$

Verificação da direção das Lajes								
Laje	lx (cm)	ly (cm)	λ	n	d	h (cm)	TIPO	Observações
L1	500	500	1	1	8,4	10	Caso 2B	2 direções
L2	200	500	2,5	1	4,8	10	(-)	1 direção

Figura 27 – Verificação das direções e do tipo de laje
Fonte: Autores

Iremos considerar a altura útil $d = 8,5 \text{ cm}$ e $h = 10 \text{ cm}$.

Levantamento das cargas atuantes sobre as lajes:

Levantamento das Cargas							
Laje	h (cm)	Peso próprio (kN/m ²)	Revest. Piso (kN/m ²)	Outros (kN/m ²)	Perm. Total (gtot)	Carga Variável (q) (kN/m ²)	Carga Total (p) (kN/m ²)
L1	10	2,5	0,98	0,61	4,09	0,98	5,07
L2	10	2,5	0,98	0,61	4,09	0,98	5,07

Figura 28 – Levantamento das cargas
Fonte: Autores

Determinação dos momentos:

Utilizando o resultado que obtivemos para verificar a direção das lajes através das equações 08 e 09 consequentemente, nós iremos ter os valores de μ_x , μ_y , μ'_x e μ'_y na tabela de Bares, que é mostrada na figura 29.

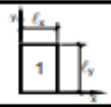
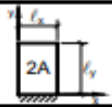
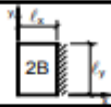
Laje 01 - $m_x = \mu_x \frac{p \cdot \ell_x^2}{100}$; $m_x = 4,49 \text{ kNm}$ (Equação 14)

$m_y = \mu_y \frac{p \cdot \ell_x^2}{100}$; $m_y = 3,69 \text{ kNm}$ (Equação 14)

$m'_x = m'_x \frac{p \cdot \ell_x^2}{100}$; $m'_x = 10,65$ (Equação 15)

Laje 02 - $\frac{p \cdot \ell_x^2}{8} = 2,5 \text{ kNm}$ (Equação 22)

$\frac{p \cdot \ell_x^2}{14,2} = 1,43 \text{ kNm}$ (Equação 23)

Tabela 2.3a									
MOMENTOS FLETORES EM LAJES COM CARGA UNIFORME									
Tipo									Tipo
$\lambda = \frac{\ell_y}{\ell_x}$	μ_x	μ_y	μ_x	μ_y	μ'_y	μ_x	μ'_x	μ_y	$\lambda = \frac{\ell_y}{\ell_x}$
1,00	4,23	4,23	2,91	3,54	8,40	3,54	8,40	2,91	1,00
1,05	4,62	4,25	3,26	3,64	8,79	3,77	8,79	2,84	1,05
1,10	5,00	4,27	3,61	3,74	9,18	3,99	9,17	2,76	1,10
1,15	5,38	4,25	3,98	3,80	9,53	4,19	9,49	2,68	1,15
1,20	5,75	4,22	4,35	3,86	9,88	4,38	9,80	2,59	1,20
1,25	6,10	4,17	4,72	3,89	10,16	4,55	10,06	2,51	1,25
1,30	6,44	4,12	5,09	3,92	10,41	4,71	10,32	2,42	1,30
1,35	6,77	4,06	5,44	3,93	10,64	4,86	10,54	2,34	1,35
1,40	7,10	4,00	5,79	3,94	10,86	5,00	10,75	2,25	1,40
1,45	7,41	3,95	6,12	3,91	11,05	5,12	10,92	2,19	1,45
1,50	7,72	3,89	6,45	3,88	11,23	5,24	11,09	2,12	1,50
1,55	7,99	3,82	6,76	3,85	11,39	5,34	11,23	2,04	1,55
1,60	8,26	3,74	7,07	3,81	11,55	5,44	11,36	1,95	1,60
1,65	8,50	3,66	7,28	3,78	11,67	5,53	11,48	1,87	1,65
1,70	8,74	3,58	7,49	3,74	11,79	5,61	11,60	1,79	1,70
1,75	8,95	3,53	7,53	3,69	11,88	5,68	11,72	1,74	1,75
1,80	9,16	3,47	7,56	3,63	11,96	5,75	11,84	1,68	1,80
1,85	9,35	3,38	8,10	3,58	12,05	5,81	11,94	1,67	1,85
1,90	9,54	3,29	8,63	3,53	12,14	5,86	12,03	1,59	1,90
1,95	9,73	3,23	8,86	3,45	12,17	5,90	12,08	1,54	1,95
2,00	9,91	3,16	9,08	3,36	12,20	5,94	12,13	1,48	2,00
> 2,00	12,50	3,16	12,50	3,36	12,20	7,03	12,50	1,48	> 2,00

Valores extraídos de BARES (1972) e adaptados por L.M. Pinheiro.

$m = \mu \frac{p \ell_x^2}{100}$ $p = \text{carga uniforme}$ $\ell_x = \text{menor vão}$

Figura 29 – Tabela de Bares

Fonte: <https://pt.slideshare.net/kalelboss/21-tabelas-de-lajes>

Determinação dos Momentos Fletores Atuantes na Laje													
Laje	TIPO	lx (m)	ly (m)	p (kN/m ²)	λ	μ _x	m _x	μ _y	m _y	μ' _x	m' _x	μ' _y	m' _y
L1	Caso 2B	5	5	5,07	1	3,54	4,49	2,91	3,69	8,4	10,65	0	0
L2	(-)	2	5	5,07	2,5	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 30 – Determinação do momentos fletores
Fonte: Autores

Para calcular o momento situado na L2 tivemos que analisar separadamente, pois o valor de λ na laje é maior do que 2, e a tabela de Bares é somente utilizadas para valores menores que dois.

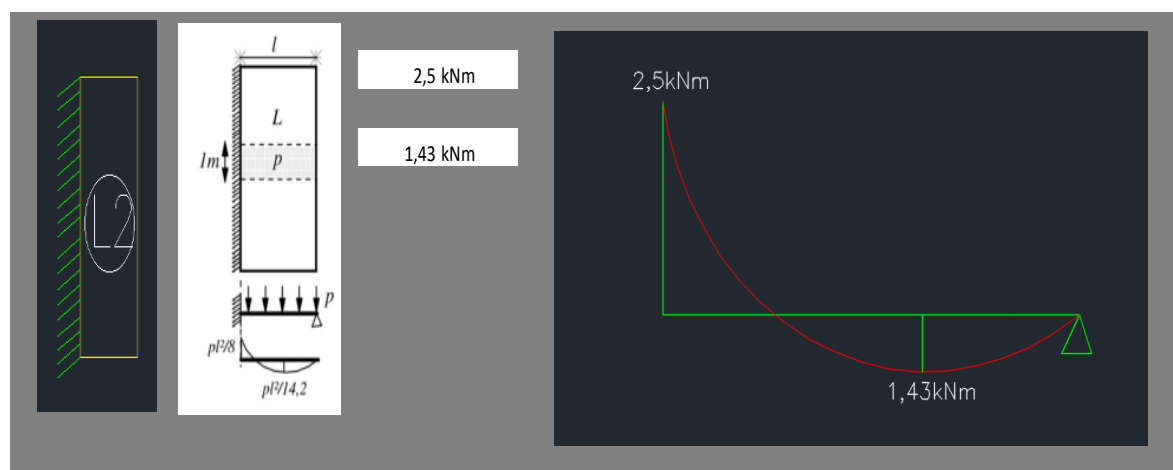


Figura 31 – Determinação do momento na laje 02
Fonte: Autores

Realização da compatibilização dos momentos fletores:

$$m1 \geq \begin{cases} 0,8 \cdot m'x \\ \frac{m'x + m}{2} \end{cases} ; \quad \text{(Equação 24)}$$

$$m1 = 8,52$$

$$m1 = 6,58$$

$$m1 \geq 8,52$$

$$m2 = mx + \left(\frac{m'x - m1}{2} \right) ; \quad \text{(Equação 25)}$$

$$m2 = 5,55$$

$$m3 = 1,43$$

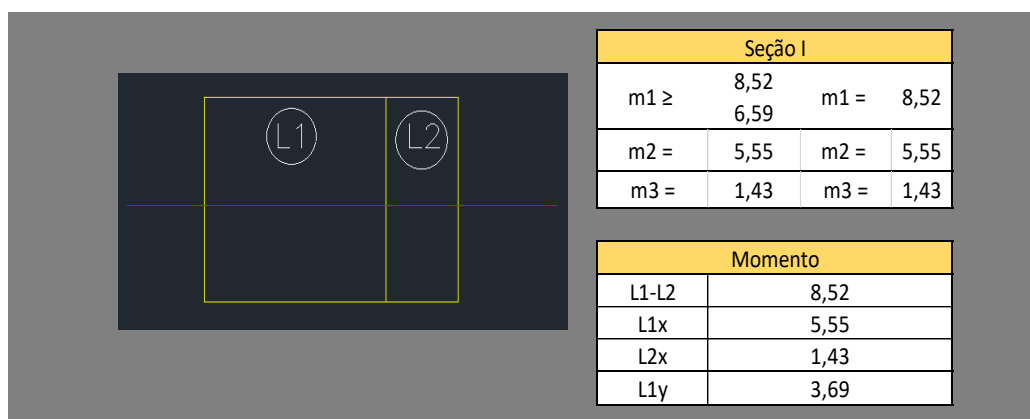


Figura 32: Compatibilização dos momentos

Fonte: Autores

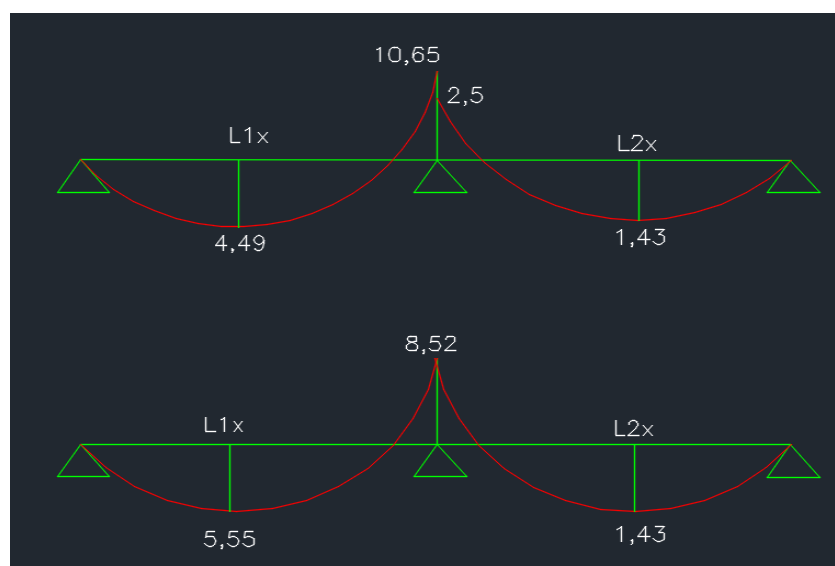


Figura 33 – Momentos Compatibilizados

Fonte: Autores

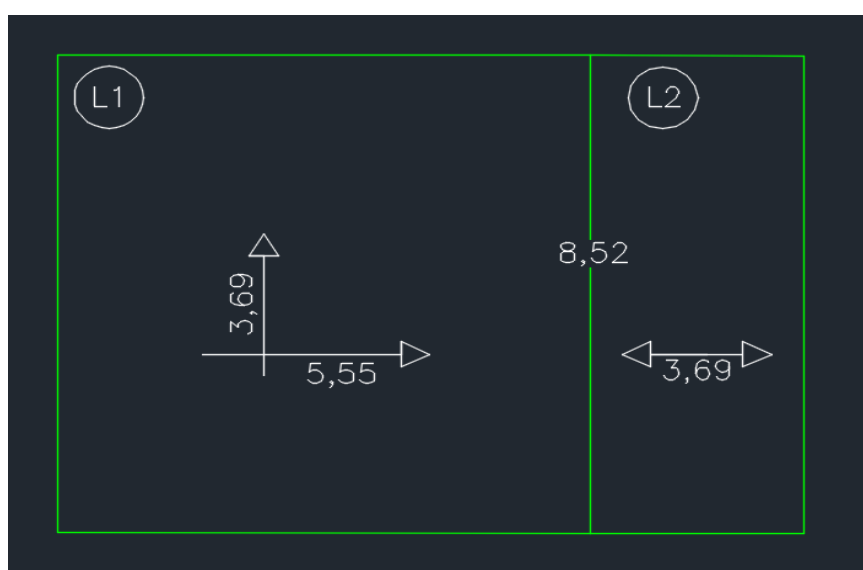


Figura 34 – Momentos positivos e negativos compatibilizados

Fonte: Autores

Verificação da espessura da laje:

$$M_{sd} = 8,52 \cdot 1,4 = 11,92$$

$$M_{rd} = 0,251 \cdot b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd} \quad (\text{Equação 26})$$

$$M_{rd} = 39 \text{ kNm}$$

Verificação da Espessura da laje	
Msd	11,92 kNm
Mrd	39 kNm
Msd < Mrd OK!	

Figura 35 – Espessura da Laje

Fonte: Autores

Calculando a área de aço:

$$KMD = \frac{M_{sd}}{b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd}} \quad (\text{Equação 07})$$

$$\text{L1 - L2} - KMD = 0,077$$

$$k_z = 0,9505$$

$$\text{L1x} - KMD = 0,050$$

$$k_z = 0,9697$$

$$\text{L2x} - KMD = 0,013$$

$$k_z = 0,9881$$

$$\text{L1y} - KMD = 0,024$$

$$k_z = 0,9820$$

$$A_s = \frac{M_{sd}}{K_z \cdot d \cdot f_{cd}} \quad (\text{Equação 16})$$

$$\text{L1 - L2} - A_s = 3,39 \text{ cm}^2$$

$$\text{L1x} - A_s = 2,17 \text{ cm}^2$$

$$\text{L2x} - A_s = 0,55 \text{ cm}^2$$

$$\text{L1y} - A_s = 1,42 \text{ cm}^2$$

$$A_{smin} = \rho_{min} \cdot A_c \quad (\text{Equação 19})$$

$$\rho_{min} = \frac{0,15}{100} \cdot 100$$

$$A_c = 10$$

$$L1 - L2 - A_{smin} = 1,50 \text{ cm}^2$$

$$L1y - A_{smin} = 1,50 \text{ cm}^2$$

$$L2x - A_{smin} = 1,50 \text{ cm}^2$$

$$A_{smin} = 0,67 \cdot \rho_{min} \cdot A_c \quad (\text{Equação 18})$$

$$L1x - A_{smin} = 1,01 \text{ cm}^2$$

$$A_{smáx} = 4\% \cdot A_c \quad (\text{Equação 17})$$

$$L1 - L2 - A_{smáx} = 40 \text{ cm}^2$$

$$L1x - A_{smáx} = 40 \text{ cm}^2$$

$$L2x - A_{smáx} = 40 \text{ cm}^2$$

$$L1y - A_{smáx} = 40 \text{ cm}^2$$

									Correção
Momento	Mk (kN.cm)	Md (kN.cm)	d	KMD	KZ	A _s (cm ² /m)	A _{s min} (cm ² /m)	A _{s max} (cm ² /m)	A _s (cm ² /m)
L1-L2	852	1192	8,5	0,077	0,9505	3,39	1,50	40	3,39
L1x	555	777	8,5	0,050	0,9697	2,17	1,01	40	2,17
L2x	143	200	8,5	0,013	0,9881	0,55	1,50	40	1,50
L1y	369	516	8,5	0,024	0,9820	1,42	1,50	40	1,50

Figura 36 – Definições das áreas de aço
Fonte: Autores

Cálculo do diâmetro e espaçamento máximo:

$$\phi l \leq \frac{h l a j e}{8} \quad (\text{Equação 21})$$

$$\phi l = 12,5 \text{ mm}$$

$$s \leq \begin{cases} 2h \\ 20 \text{ cm} \end{cases} \quad (\text{Equação 20})$$

$$s = 20 \text{ cm}$$

Diâmetro Máximo (mm)		Espaçamento Máximo	
$\phi_{lm\acute{a}x}$	12,50	$S_{m\acute{a}x}$	20cm

Figura 37 – Diâmetro máximo e espaçamento máximo
Fonte: Autores

Armadura de distribuição laje 02:

$$A_{s, dist} \geq \begin{cases} 0,2 \cdot A_{s, principal} \\ 0,5 \cdot A_{s, min} \\ 0,9 \text{ cm}^2/\text{m} \end{cases} \quad (\text{Equação 27})$$

Armadura de distribuição (L2)	
Asdist	0,3
	0,75
	0,9 cm ² /m

Figura 38 – Armadura de distribuição laje 02
Fonte: Autores

Momento	A_s (cm ² /m)	A_s (ϕ , esp)
L1-L2	3,39	$\phi 6,3$ c/9 (3,5 cm ²)
L1x	2,17	$\phi 4,2$ c/6,5 (2,13 cm ²)
L2x	1,50	$\phi 4,2$ c/9 (1,54 cm ²)
L1y	1,50	$\phi 4,2$ c/9 (1,54 cm ²)

Figura 39 – Tabela das bitolas a serem utilizadas
Fonte: Autores

5.3 – Softwares utilizados

O Microsoft Excel foi escolhido como principal ferramenta para a criação de planilhas de cálculo. Sua familiaridade, flexibilidade e capacidade de realização de cálculos complexos tornam um recurso importante. As planilhas elaboradas neste estudo são apresentações de maneira clara e organizada, abrangendo desde cálculos simples até análises mais avançadas.

O AutoCAD 2024 foi adotado para a representação gráfica dos desenhos das lajes. Sua capacidade de criar modelos tridimensionais e gerar desenhos detalhados proporciona uma visão realista da estrutura.

A combinação estratégica dessas ferramentas proporciona uma sinergia única. A transferência eficiente de dados entre o Microsoft Excel e o AutoCAD 2024 minimiza erros e agiliza o processo, resultando em uma abordagem integrada que potencializa as capacidades de cada software.

6 – RESULTADO DE DISCUSSÃO

Com base no orçamento apresentado pela loja É ferro, situada na Av. 24 de Outubro, 16 - Centro, Campos dos Goytacazes - RJ, 28020-740, Brasil, observamos que o custo estimado para aço em lajes maciças é de R\$ 201,95, enquanto o valor para lajes treliçadas é de R\$ 39,50. Esses números indicam uma diferença significativa nos custos entre os dois tipos de lajes, com as lajes treliçadas sendo uma opção mais econômica. Recomenda-se considerar cuidadosamente as necessidades estruturais do projeto e avaliar a relação custo-benefício antes de tomar uma decisão final.

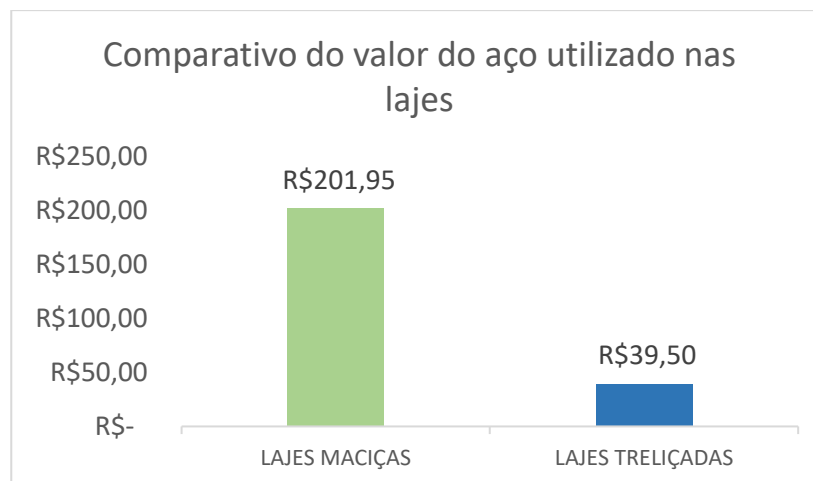


Gráfico 01 – valor do aço total gasto nas lajes
Fonte: Autores

Existem vantagens e desvantagens associadas ao uso de cada tipo de laje. Com uma equipe devidamente treinada, ambos os sistemas podem apresentar uma boa velocidade de execução. No entanto, ao optar por lajes maciças, há serviços adicionais a serem considerados, como a moldagem do fundo da laje e a montagem da estrutura de aço. Além disso, dado que a obra dependerá de mais fornecedores, isso pode resultar em imprevistos, como questões relacionadas a fornecimento de aço, madeira, escoras e concreto.

No caso das laje treliçadas, o material chega quase pronto, sendo necessário apenas realizar a montagem conforme o projeto. Isso sem dúvida deixa o processo de construção mais rápido e envolve menos etapas, além de depender de menos fornecedores, como o fabricante da laje e os fornecedores de escoras e concreto.

7- CONCLUSÃO

O estudo estrutural desempenha um papel importante na engenharia civil, especialmente no que diz respeito à escolha e utilização de lajes em projetos de construção. A escolha entre lajes maciças e treliçadas é uma decisão importante, influenciando não apenas a segurança e eficiência da estrutura, mas também o custo total do empreendimento.

A pesquisa revela que as lajes treliçadas, especialmente as pré-fabricadas, apresentam benefícios consideráveis, como a redução do peso próprio da laje, alívio sobre as fundações, menor formação de fissuras e maior eficiência na montagem. Além disso, o custo estimado para lajes treliçadas é substancialmente inferior ao das lajes maciças, indicando uma opção mais econômica.

A obtenção de uma avaliação abrangente dos custos de uma obra requer a consideração das particularidades de cada sistema, juntamente com suas implicações no processo construtivo como um todo. Cada sistema apresenta características distintas, com diretrizes específicas de utilização, evidenciando que a escolha entre modelos não é determinada apenas pelos custos de materiais.

Contudo, é essencial ponderar as necessidades específicas do projeto, considerando fatores como vãos, cargas e requisitos normativos. Embora as lajes treliçadas possuam vantagens econômicas, é bom avaliar a relação custo-benefício e garantir que atendam aos padrões de segurança e desempenho exigidos.

Em última análise, a escolha entre lajes maciças e treliçadas deve ser guiada por uma análise abrangente das características do projeto, priorizando a segurança, eficiência e economia, a fim de alcançar um resultado estruturalmente sólido e economicamente viável.

8 - Referência Bibliográfica

DE ALBUQUERQUE, Augusto Teixeira. **Análise de alternativas estruturais para edifícios em concreto armado**. 1999. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

CAIO, Felipe. Análise comparativa entre sistemas estruturais de lajes maciças e nervuradas treliçadas. 2014.

MARQUES, Eduardo Dias. Análise comparativa de um edifício de múltiplos pavimentos, com adoção de três diferentes tipos de lajes em concreto armado (maciça, nervurada e treliçada). 2017.

ARAUJO JUNIOR, Carlosman Rodrigues de. Análise comparativa entre sistemas estruturais de concreto armado em função do tipo de laje. 2020.

DE ARAÚJO, José Milton. Considerações sobre a rigidez à torção das lajes nervuradas de concreto armado Considerations about the torsional rigidity of reinforced concrete waffle slabs.

ANDRADE, GEORGE DA; MATA, D. E.; ALVES, HAIMON AMARO. ANÁLISE COMPARATIVA DE LAJES MACIÇAS E TRELIÇADAS QUANTO AO SEU DESEMPENHO. 2015.

ANÁLISE comparativa de custo entre lajes treliçadas e lajes maciças. In: SABERES DA ENGENHARIA: Uma Contribuição para a sociedade. 1. ed. [S. l.]: Editora Poisson, 2022. v. 2, cap. 7, p. 75-85.

PEIXOTO, ANGÉLICA MARIA FIGUEIREDO. CÁLCULO E DETALHAMENTO DE LAJES MACIÇAS, NERVURADAS E LISAS, [s. l.], 2015.

GUIMARÃES, BRUNO BRITO; SILVA, NAIANY MICHELY ANDRADE. Parâmetros para Dimensionamento de lajes Treliçadas Unidirecionais com Enchimento em EPS (Poliestireno Expandido). 2017.

COTRIM, PAULO RODRIGUES; DE LIMA, RODRIGO CARLOS. ESTRUTURAS USUAIS DE EDIFÍCIOS EM CONCRETO ARMADO: ANÁLISE TÉCNICO-COMPARATIVA DE LAJES MACIÇAS CONVENCIONAIS COM LAJES DE VIGOTAS PRÉ-MOLDADAS EM

FORMA DE TRELIÇAS COM PREENCHIMENTO DE POLIESTIRENO EXPANDIDO. 2017.

OENING, Danielle Bonetti. Análise de lajes pré-moldadas com diferentes tipos de enchimento. 2021.

SOUZA, Eduardo. Avaliação experimental da capacidade portante de lajes treliçadas utilizando embalagens cartonadas como material de enchimento aplicadas em duas diferentes posições. 2013.

DOS SANTOS BASTOS, PAULO SÉRGIO. LAJES DE CONCRETO , [s. l.], p. 1-115, 2015.

BASTOS, PS dos S. Lajes de concreto armado. **Apostila de sala de aula da disciplina Estruturas de Concreto I. Departamento de Engenharia Civil. Universidade Estadual Paulista (UNESP)-Campus de Bauru/SP**, 2021.

ARAÚJO, Bruno Hugo de Almeida; SOUZA, Valgesange de. Estudo comparativo de lajes imensas de concreto armado e lajes lisas de concreto protendido não aderentes. 2022.

HILÁRIO, Bruna Aparecida. IMPLEMENTAÇÃO COMPUTACIONAL DE ROTINAS PARA DIMENSIONAMENTO DE LAJES MACIÇAS. **REVISTA DE ENGENHARIA E TECNOLOGIA**, v. 11, n. 3, p. áginas 58-70, 2019.