



GABRIEL TELES SANTOS BARBOSA

**ANÁLISE COMPARATIVA NO DIMENSIONAMENTO DE
LAJES MACIÇAS: CÁLCULO COMPUTACIONAL E MÉTODO
DE CÁLCULO SIMPLIFICADO**

**LAVRAS-MG
2022**

GABRIEL TELES SANTOS BARBOSA

**ANÁLISE COMPARATIVA NO DIMENSIONAMENTO DE LAJES MACIÇAS:
CÁLCULO COMPUTACIONAL E MÉTODO DE CÁLCULO SIMPLIFICADO.**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Civil, para obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dr. Wisner Coimbra de Paula

Orientador

**LAVRAS-MG
2022**

GABRIEL TELES SANTOS BARBOSA

**ANÁLISE COMPARATIVA NO DIMENSIONAMENTO DE LAJES MACIÇAS:
CÁLCULO COMPUTACIONAL E MÉTODO DE CÁLCULO SIMPLIFICADO.
COMPARATIVE ANALYSIS IN THE SIZING OF SOLID SLABS:
COMPUTATIONAL CALCULATION AND SIMPLIFIED CALCULATION METHOD.**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Civil, para obtenção do título de Bacharel.

Aprovado em 20 de 04 de 2022.



Prof. Dr. Sc. Wisner Coimbra de Paula
Orientador

**LAVRAS-MG
2022**

*“O sucesso é ir de fracasso em fracasso sem
perder o entusiasmo.”*

(Winston Churchill)

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a algumas pessoas que, de forma direta ou indireta, contribuíram para o meu desenvolvimento pessoal e profissional durante esses anos de graduação.

Primeiramente, gostaria de agradecer à Universidade Federal de Lavras por me proporcionar um ensino gratuito, inclusivo e de alta qualidade, que me possibilitou reunir uma rica experiência teórico-prática que levarei comigo para o resto da minha vida.

Agradeço ao professor doutor Wisner Coimbra de Paula pela atenção e disponibilidade em me orientar, foram incontáveis reuniões e várias delas em horários pós expediente comercial, muito obrigado.

Aqui também presto o meu sincero agradecimento para um amigo que me ajudou a todo instante durante minha graduação, muito obrigado Maycon de Oliveira Castro! Você é o cara.

Um agradecimento final e muito especial aos meus pais, Everaldo e Cristina, que me deram apoio em todas as fases da minha vida, à minha namorada, família e amigos que sempre me demonstraram apoio incondicional ao longo de todo este percurso.

Muito obrigado!

RESUMO

O cálculo de estruturas visa conceber um elemento que atenda a todas as necessidades para os quais ele será submetido. Sendo assim, desde a origem do cálculo estrutural, tem-se como objetivo dimensionar os elementos estruturais satisfazendo questões de segurança, condições de utilização, condições ambientais, condições construtivas, dentre outras. Portanto, um projeto estrutural é composto de diversas etapas complexas e que requerem empenho e uma alta carga horária do projetista. Diante do exposto, a presente monografia visa comparar o quantitativo de aço calculado via método computacional, no *Eberick*®, com o método de cálculo simplificado manual com o auxílio de planilhas. Nesse sentido, verificou-se os valores são superdimensionados ou subdimensionados e, também, se é viável adotar o *software* sem o uso de verificações manuais.

Palavras-chave: Concreto armado, métodos numéricos, dimensionamento, projeto estrutural, quantitativo de aço.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Lajes do tipo lisa e cogumelo.	6
Figura 2 - Material inerte entre as nervuras.....	6
Figura 3 - Laje pré-moldada.	7
Figura 4 - Laje pré-moldada com painel vazado.	8
Figura 5 - Definição de variáveis para vão efetivo.....	9
Figura 6 - Vão teórico.....	9
Figura 7 - Representação dos tipos de apoios.....	10
Figura 8 - Vinculações nas bordas das lajes.	10
Figura 9 - Caso específico de vinculação.	11
Figura 10 - Armação das lajes, unidirecionais e bidirecionais.	12
Figura 11 - Compatibilização de momentos fletores em lajes.	14
Figura 12 - Módulo de Grelha dentro do <i>Eberick</i>	18
Figura 13 - Visualizador de Lajes.....	18
Figura 14 – Renderizações.	19
Figura 15 - Fluxograma que representa o passo a passo do dimensionamento computacional.	23
Figura 16 - Representação visual de uma laje em balanço.....	25
Figura 17 - Disposição das lajes em 3D e cota laje em balanço.....	26
Figura 18 - Desenho 3D de todas os pavimentos e lajes.	28
Figura 19 - Picos de esforços nas lajes	41
Figura 20 - Momento fletores solicitantes não compatibilizados, pavimento térreo.....	74
Figura 21 - Momento fletores solicitantes não compatibilizados, pavimento superior.....	75
Figura 22 - Momento fletores solicitantes não compatibilizados, pavimento cobertura.....	76
Figura 23 - Momento fletores solicitantes compatibilizados, pavimento térreo.	79
Figura 24 - Momento fletores solicitantes compatibilizados, pavimento superior.	80
Figura 25 - Momento fletores solicitantes compatibilizados, pavimento cobertura.	81

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Critério para bordas com uma parte engastada e outra parte apoiada.	11
Quadro 2 - Valores do coeficiente adicional γn para lajes em balanço.	17
Quadro 3 – Dados de discretização, altura e vínculos de todas as lajes do projeto.	27
Quadro 4 – Cálculo de ações atuantes nas lajes e combinação normal última.	29
Quadro 5 - Reações de apoio nas vigas de borda das lajes.	30
Quadro 6 – Momentos fletores solicitantes (característicos) nas lajes bidirecionais e unidirecionais.	32
Quadro 7 - Momentos fletores solicitantes (característicos) nas lajes em balanço.	33
Quadro 8 - Comparativo de momentos fletores positivos das lajes.	34
Quadro 9 - Comparativo de momentos fletores negativos das lajes.	38
Quadro 10 - Comparativos dos momentos de engaste das lajes em balanço.	40
Quadro 11 - Armaduras Longitudinais Positivas	42
Quadro 12 - Comparativo das áreas de aço das Armaduras Longitudinais Negativas.	45
Quadro 13 - comparativo das Áreas de aço das Armaduras das lajes em balanço.	47
Quadro 14 - Cálculo das ações nas lajes (kN/m^2).	69
Quadro 15 – (Continuação).	70
Quadro 16 - Cálculo dos esforços cortantes (kN).	71
Quadro 17 – (continuação)	71
Quadro 18 - Cálculo dos momentos fletores solicitantes positivos ($kN.m/m$).	72
Quadro 19 – (continuação)	73
Quadro 20 - Cálculo dos momentos de engaste das lajes em balanço ($kN.m/m$).	74
Quadro 21 - Compatibilização de momentos fletores solicitantes negativos ($kN.m/m$).	77
Quadro 22 - Comparativo de momentos fletores negativos das lajes.	82
Quadro 23 - Análise estatística descritiva para o quadro 22.	83
Quadro 24 - Comparativo de momentos fletores positivos das lajes.	84
Quadro 25 - Análise estatística descritiva para o quadro 24.	86
Quadro 26 - Comparativo de momentos fletores de engaste das lajes em balanço.	86
Quadro 27 - Area de aço das Armaduras Longitudinais Positivas	87
Quadro 28 – (continuação)	88
Quadro 29 – (continuação)	90
Quadro 30 – Comparativo das Armaduras Longitudinais Positivas.	92

Quadro 31 - Análise estatística descritiva para o Quadro 30.	93
Quadro 32 - Area de aço das Armaduras Longitudinais Positivas	94
Quadro 33 – (continuação)	95
Quadro 34 – (continuação)	96
Quadro 35 - Comparativo das áreas de aço das Armaduras Longitudinais Negativas.....	97
Quadro 36 - Análise estatística descritiva para o Quadro 35.	98
Quadro 37 - Area de aço das Armaduras das lajes em balanço.....	99
Quadro 38 – (continuação)	99
Quadro 39 – (continuação)	99
Quadro 40 - Comparativo das Áreas de aço das Armaduras das lajes em balanço.	100
Quadro 41 - Características das barras de aço.....	101
Quadro 42 – (continuação)	101
Quadro 43 - Valores dos coeficientes V_x , V_y , V'_y , V'_x para os casos 1, 2A e 2B.	102
Quadro 44 - Valores dos coeficientes V_x , V_y , V'_y , V'_x para os casos 3, 4A e 4B.	103
Quadro 45 - Valores dos coeficientes V_x , V_y , V'_y , V'_x para os casos 5A, 5B e 6.	104
Quadro 46 - Valores dos coeficientes U_x , U_y , U'_y , U'_x para os casos 1, 2A e 2B.	105
Quadro 47 - Valores dos coeficientes U_x , U_y , U'_y , U'_x para os casos 3, 4A e 4B.	106
Quadro 48 - Valores dos coeficientes U_x , U_y , U'_y , U'_x para os casos 5 ^a , 5B e 6.	107
Quadro 49 - Valores dos coeficientes U_x , U_y , U'_y , U'_x para os casos 7 e 8.....	108
Quadro 50 - Valores dos coeficientes U_x , U_y , U'_y , U'_x para os casos 9 e 10.....	109
Quadro 51 - Valores de K_s e K_c para flexão simples em seção retangular.....	110

Sumário

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Considerações gerais	1
1.2	Objetivos.....	1
2	REFERENCIAL TEÓRICO	2
2.1	Considerações iniciais.....	2
2.2	Projeto estrutural.....	2
2.3	Concepção estrutural.....	3
2.4	Cargas permanentes e cargas acidentais	4
2.5	Critérios de desempenho e durabilidade	4
2.6	Combinação de ações.....	4
2.7	Tipos de lajes	5
2.8	Cálculo Simplificado.....	8
2.8.1	Dimensionamento de lajes.....	8
2.8.2	Cálculo de momento fletor para lajes em balanço.....	16
2.9	Método Computacional	17
2.9.1	Dimensionamento de lajes.....	17
3	METODOLOGIA	19
3.1	Considerações iniciais.....	19
3.2	Procedimento e Análise dos Dados.....	21
3.2.1	Procedimentos Computacionais	21
3.2.2	Procedimentos para Cálculo Manual.....	24
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
4.1	Discretização, Altura e Condição dos Vínculos das Lajes	26
4.2	Cálculo das Ações Atuantes	28
4.3	Resultado dos Esforços Cortantes obtidos	30
4.4	Resultado dos Momentos Fletores Obtidos	31
4.5	Comparativo dos Momentos Fletores	33
4.6	Comparativo das Armaduras Longitudinais	41
5	CONCLUSÃO	48
6	REFERÊNCIAS	49
	APENDICE A – Memorial de Cálculo para o Dimensionamento Manual	50
	APENDICE B – Resumo dos procedimentos do cálculo manual.....	69

ANEXO A – Resumo dos Quadros utilizados nos roteiros de cálculo.....	101
ANEXO B – PROJETO ARQUITETÔNICO	
ANEXO C – PLANTAS DE FORMA PAV. SUBSOLO	
ANEXO D – PLANTAS DE FORMA PAV. TÉRREO	
ANEXO E – PLANTAS DE FORMA PAV. SUPERIOR	
ANEXO F – PLANTAS DE FORMA PAV. COBERTURA	

1 INTRODUÇÃO

1.1 Considerações gerais

O século XX foi marcado pelo início da Terceira Revolução Industrial, também conhecida como Revolução Digital, período em que houve uma transformação da sociedade contemporânea, caracterizada pelo ritmo acelerado e, conseqüentemente, pela priorização de soluções que otimizem o tempo e agilizem tarefas (RIFKIN, 2021).

No mercado da construção civil, de 1980 até hoje, *softwares* estão sendo criados para automatizar a análise de estruturas e seu dimensionamento, criando um grande ganho de produtividade. O fato é que com a criação de ferramentas computacionais para auxiliar o engenheiro estrutural, ora chamado de engenheiro calculista, abre-se espaço para dúvidas e comparações em relação ao trabalho manual e automatizado.

As dúvidas acerca desse tema estão sempre presentes, desde engenheiros recém-formados a engenheiros de longa data. No entanto, existem cada vez mais engenheiros estruturais que confiam demasiadamente responsabilidades próprias aos computadores, confundem automatização com conhecimento, facilitação de processos com experiência e raciocínio, além do fato de esquecerem que a engenharia é fruto de muito conhecimento, experiência e, principalmente, esforço humano.

Neste contexto, o presente estudo tem como propósito analisar o dimensionamento de uma casa unifamiliar em concreto armado utilizando o *software Eberick v.8* ® e, também, realizar a análise e dimensionamento das lajes de forma manual com o auxílio de planilhas. O foco do projeto foi confrontar os resultados obtidos em ambos os cálculos e determinar qual a opção mais eficiente em consumo de aço. Desta forma, foi possível aplicar todo o conhecimento adquirido ao longo do curso, com destaque para materiais de construção civil e dimensionamento de estruturas de concreto armado.

1.2 Objetivos

O trabalho visa comparar o quantitativo de aço calculado via *software Eberick v.8* ® com o método de cálculo analítico manual, apresentando as especificações de materiais, critérios de cálculo, o modelo estrutural e os principais resultados de análise e dimensionamento das lajes que compõem a estrutura.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Considerações iniciais

O primeiro uso de concreto é datado de 7.000 anos a.C., sendo representado por um piso de 180 m² que fora confeccionado em Yiftah El, ao sul da Galiléia, em Israel, a partir da mistura de cal, obtido pela calcinação de pedras calcárias, misturado com areais e pedras (RONEN *et al.*, 1991). No entanto, de acordo com Bastos (2015), hoje o concreto é considerado um material composto, constituído por cimento, água, agregado miúdo (areia) e agregado graúdo (pedra ou brita), podendo conter aditivos químicos que têm por finalidade melhorar ou modificar suas propriedades básicas.

Apesar da evolução do concreto e da criação de técnicas mais sofisticadas ao longo dos anos, sabe-se que até o início do século XVIII, as estruturas construídas apresentavam um sério problema associado a baixa resistência à tração do material. Para solucionar esse problema, Joseph Monier, jardineiro francês nascido em 8 de novembro de 1823, foi o precursor do uso de concreto armado (BOSC, 2000). Monier apresentou seu uso pela primeira vez na exposição de Paris, em 16 de julho de 1867 e, a partir disso, diversas outras aplicações foram desenvolvidas e aprimoradas.

Segundo Carvalho e Figueredo Filho (2014), o concreto armado é obtido por meio da associação entre concreto simples e armadura convenientemente colocada (armadura passiva), de tal modo que ambos resistam solidariamente aos esforços solicitantes. É umas das técnicas construtivas mais comuns em estruturas de casas e edifícios no Brasil, justamente por ser segura, de baixo custo e com alta resistência. Nesse sentido, é interessante ressaltar que esta técnica também é amplamente utilizada em edificações unifamiliares e obras de grande porte, como pontes e viadutos, dada a sua resistência tanto à compressão, devido ao concreto, quanto à tração, por meio das barras de aço.

2.2 Projeto estrutural

O projeto estrutural de uma edificação pode ser definido pelo processo de concepção, distribuição, interligação, análise e dimensionamento, com objetivo de verificar quais os elementos de um sistema estrutural que suportariam, com segurança, o conjunto de cargas às quais a edificação estará submetida. Dentre os elementos, determinam-se as características desejáveis para fundação, pilares, vigas e lajes, com propósito de garantir que o arranjo

concebido seja capaz de sustentar a edificação e transmitir as cargas acidentais e permanentes ao solo. Um bom projeto considera nos cálculos todos os fatores externos que possam vir a influenciar na estabilidade da estrutura ou na resistência dos materiais, buscando sempre otimizar e viabilizar uma construção de forma técnica e econômica.

Carvalho e Figueredo Filho (2014), para existir uma padronização na confecção, execução e no controle das obras e dos materiais, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) é responsável por regular todos os procedimentos a serem empregados por meio da disposição de normas específicas. No caso de estruturas de concreto armado, as mais importantes são:

- ABNT NBR 6118:2014: Projeto de estruturas de concreto — Procedimentos.
- ABNT NBR 6120:2019 (versão corrigida de 2019): Ações para o cálculo de estruturas de edificações.
- ABNT NBR 8681:2003 (versão corrigida de 2004): Ações e segurança nas estruturas - Procedimento.
- ABNT NBR 6123:1988 (versão corrigida 2 de 2013): Forças devidas ao vento em edificações - Procedimento.
- ABNT NBR 14931:2004: Execução de estruturas de concreto – Procedimento.
- ABNT NBR 15200:2012: Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio.
- ABNT NBR 15421:2006: Projeto de estruturas resistentes a sismos – Procedimento.
- ABNT NBR 6122:2019: Projeto e execução de fundações.

2.3 Concepção estrutural

A concepção estrutural consiste na escolha de um sistema construtivo que melhor se adapte à edificação a ser construída, levando em conta a segurança e o custo envolvido. É uma etapa chave, pois a partir dela é possível realizar a locação dos elementos estruturais e desenvolver um sistema eficaz e capaz de suportar os quase todos esforços e ações atuantes na estrutura.

2.4 Cargas permanentes e cargas acidentais

A NBR 6120:2019: Ações para o Cálculo de Estruturas de Edificações estabelece as ações mínimas a serem consideradas no projeto de estruturas de edificações, qualquer que seja sua classe e destino.

2.5 Critérios de desempenho e durabilidade

A NBR 6118:2014: Projeto de estruturas de concreto – Procedimentos, determina os principais fatores de qualidade do concreto, estabelecendo uma relação entre o ambiente de exposição do concreto e a sua qualidade. De acordo a norma 6118 (2014), está descrita todas as classes de agressividade, classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto e o risco de deterioração da estrutura.

Os cobrimentos dos componentes ou elementos da estrutura devem corresponder a classe de agressividade previamente apresentada, sendo que os cobrimentos ideais são apresentados na Tabela 7.2 da NBR 6118 (2014).

As estruturas de concreto armado devem utilizar aços classificados e de acordo com a norma ABNT NBR 7480 (2007), devendo possuir um valor característico da resistência de escoamento dentro das seguintes categorias: CA-25, CA-50 e CA-60.

As principais características mecânicas utilizadas para classificar os aços tem como base o limite elástico, a resistência e o alongamento na ruptura. Tais características são determinadas através de ensaios de tração. A Tabela B-3 da norma ABNT NBR 7480 (2007) explicita as propriedades mecânicas exigíveis de barras e fios de aço destinados a armaduras de concreto armado.

2.6 Combinação de ações

De acordo com Carvalho e Figueiredo Filho (2014), um carregamento é definido pela combinação das ações que têm probabilidades não desprezíveis de atuarem simultaneamente sobre a estrutura durante um período pré-estabelecido.

Em cada combinação devem estar incluídas as ações permanentes e a ação variável principal, com seus valores característicos e as demais ações variáveis, consideradas secundárias, com seus valores reduzidos de combinação, conforme ABNT NBR 8681 (2003).

2.7 Tipos de lajes

De acordo com Carvalho e Figueiredo Filho (2014), lajes são placas de concreto e são elementos estruturais de superfície plana. As lajes maciças, diferentemente das lajes nervuradas pré-moldadas, possuem um melhor aproveitamento das vigas, porque distribuem de forma uniforme o peso, permitindo fazer grandes balanços sem a necessidade de elementos protendidos.

Segundo Araújo (2014), as lajes são estruturas que têm a função básica de receber as cargas de utilização das edificações e transmiti-las às vigas (existe a possibilidade de transferir a carga diretamente para os pilares, como acontece com as lajes do tipo cogumelo), das vigas para os pilares e, posteriormente, dos pilares para as fundações.

O tipo de laje a ser utilizado no projeto depende muito da concepção arquitetônica. Por isso, o projeto estrutural é calculado de acordo com o projeto arquitetônico e ambos os projetos devem ser compatibilizados. A seguir estão descritos alguns tipos de lajes, mostrando suas definições, características e principais aplicações.

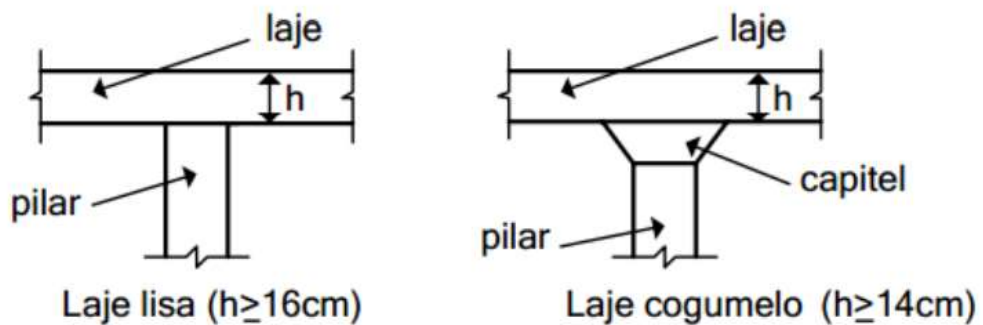
a) Lajes maciças

As lajes maciças são compostas de uma placa de concreto armado e toda sua espessura é mantida com valor constante ao longo de toda sua área (exceto em lajes que são apoiadas em vigas com mísula). De acordo com Bastos (2015), esse tipo de laje é utilizado em construções com as mais diversas finalidades, isto é, desde edifícios de múltiplos pavimentos a imóveis residenciais e comerciais.

Esse tipo de laje, quando apoiada sobre vigas, distribui todo o carregamento de forma proporcional às vigas de contorno. Isso proporciona um melhor aproveitamento das vigas do pavimento porque o dimensionamento depende dos vãos, da condição de contorno e das cargas.

Como citado anteriormente, as lajes maciças podem ser apoiadas em vigas, que é o método construtivo mais usual, assim como podem ser apoiadas diretamente em pilares com o uso de capitel, sendo conhecida como lajes cogumelo ou lisa. Segundo Araújo (2014), o topo do pilar precisa possuir um aumento de seção denominado capitel, responsável por diminuir o efeito do punção da laje e, quando este não está presente, a laje é denominada lisa. A Figura 1 representa a presença e não presença do capitel em lajes apoiadas diretamente em pilares.

Figura 1 - Lajes do tipo lisa e cogumelo.



Fonte: Araújo (2003).

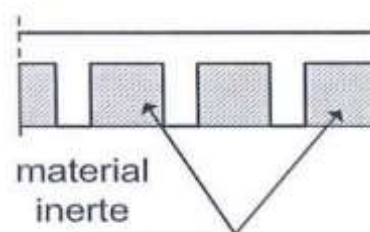
É importante ressaltar que a determinação incorreta da espessura da laje a ser utilizada impacta diretamente no custo total da obra que pode vir a inviabilizar o empreendimento.

b) Lajes nervuradas

Segundo a NBR 6118 (2014), “as lajes nervuradas são lajes moldadas no local ou com nervuras pré-moldadas, cuja zona de tração para os momentos positivos esteja localizada nas nervuras entre as quais pode ser colocado material inerte”. Esse tipo de laje é composto por nervuras que têm como função principal vencer grandes vãos.

Uma vantagem observada por Araújo (2014) é que esse tipo de laje possui um peso próprio reduzido, essa redução é condicionada pelo uso material inerte de baixo peso específico. A Figura 2 demonstra a configuração de uma laje nervurada com material inerte entre suas nervuras.

Figura 2 - Material inerte entre as nervuras.



Fonte: Araújo (2003).

Carvalho e Pinheiro (2010) afirmam que as lajes nervuradas moldadas in loco, na maioria das vezes, são utilizadas para vencer vãos superiores a 8 metros, porque reduzem seu peso próprio e ainda suportam uma quantidade de carga elevada.

Lajes pré-fabricadas, em geral, são formadas por elementos chamados de vigotas, por lajotas (elemento cerâmico de baixo peso específico quando comparado com o concreto) ou outro material e por uma mesa de concreto moldada na fabricação. No entanto, também se faz uso de isopor em substituição às lajotas, que também é um elemento inerte e com peso específico ainda menor que as lajotas. A principal diferença entre os dois é na hora de realizar o acabamento interno, sendo que, a lajota tem maior aderência ao chapisco, enquanto o isopor possui baixa aderência. Para determinar a escolha ideal do material inerte, deve-se ter em mente que tipo de material será utilizado para acabamento, uma mistura de chapisco, emboço e reboco ou apenas gesso.

Carvalho e Pinheiro (2010) também afirmam que as lajes pré-fabricadas podem ser divididas em nervuradas com vigotas, essas vigotas podem ser do tipo trilho ou com treliça, lajes alveolares e duplo “T”.

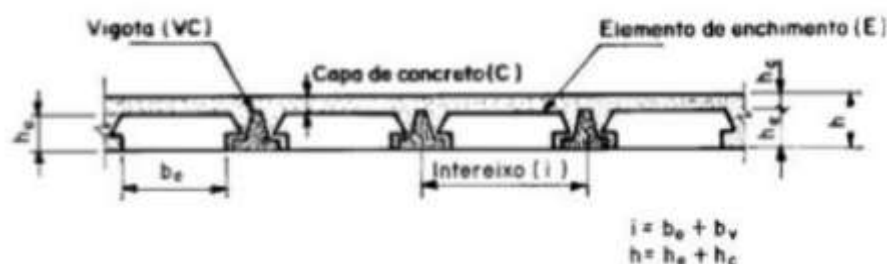
De acordo com a NBR 6118 (2014), as lajes nervuradas podem ser calculadas conforme as lajes maciças, desde que obedçam às dimensões da mesa e das nervuras e, também, o espaçamento entre as nervuras.

c) Lajes pré-moldadas

Em conformidade com a NBR 9062 (2017), as lajes pré-moldadas são compostas por elementos que são moldados fora do local de utilização definitiva da estrutura. Esse tipo de laje possui nervuras com vigotas pré-fabricadas e vigotas em formato de painéis. As lajes com vigotas pré-fabricadas foram explicadas anteriormente na seção de lajes nervuradas.

A norma NBR 14859-1 (2016) estabelece que as lajes pré-moldadas unidirecionais (tipo trilho ou treliça) possuem uma seção de concreto com forma “T” invertido, podendo ter outros formatos e com armadura passiva totalmente englobada pelo concreto da vigota. Na Figura 3 é mostrado uma laje pré-moldada com vigotas de concreto.

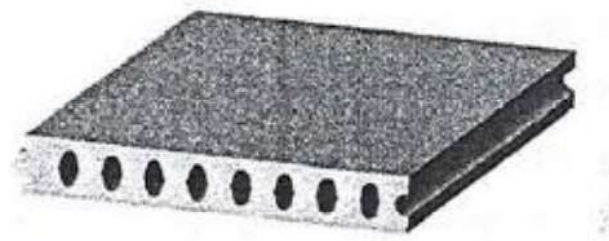
Figura 3 - Laje pré-moldada.



Fonte: NBR 14859-1 (2016).

As lajes pré-fabricadas em painéis podem ser de concreto armado, leve ou protendido. Na Figura 4 é possível observar a laje painel com painel vazado com formato alveolar.

Figura 4 - Laje pré-moldada com painel vazado.



Fonte: Carvalho e Pinheiro (2010).

A maior vantagem das lajes do tipo painel é a rapidez que esse tipo de laje proporciona para a obra. Isto, somado a fatores como economia e praticidade, torna esse tipo de laje ideal para obras de pequeno porte e com pequenos vãos.

2.8 Cálculo Simplificado

Nesta seção são apresentados todos os passos que devem ser seguidos para a obtenção dos momentos fletores e áreas de aço de cada laje. O procedimento inicia-se na discretização das lajes e finaliza-se no quantitativo de aço.

2.8.1 Dimensionamento de lajes

A primeira etapa do dimensionamento estrutural é a realização da discretização do pavimento, isto é, análise individual de cada laje que compõe o pavimento, observando a geometria de cada placa, valores efetivos de seus vãos, suas vinculações (bordo livre, apoiado ou engastado) e tipo de armação.

A norma NBR 6118 (2014) define vão efetivo para quando os apoios puderem ser considerados rígidos quanto à sua translação vertical. Dessa forma, o vão efetivo pode ser calculado pelas Equações 1 e 2. Na Figura 5 é possível ter uma melhor visualização desses elementos.

$$l_{ef} = l_0 + a_1 + a_2 \quad (1)$$

$$a_1 \begin{cases} \frac{t_1}{2} \\ 0,3 h \end{cases} \quad e \quad a_2 \begin{cases} \frac{t_2}{2} \\ 0,3 h \end{cases} \quad (2)$$

Na qual:

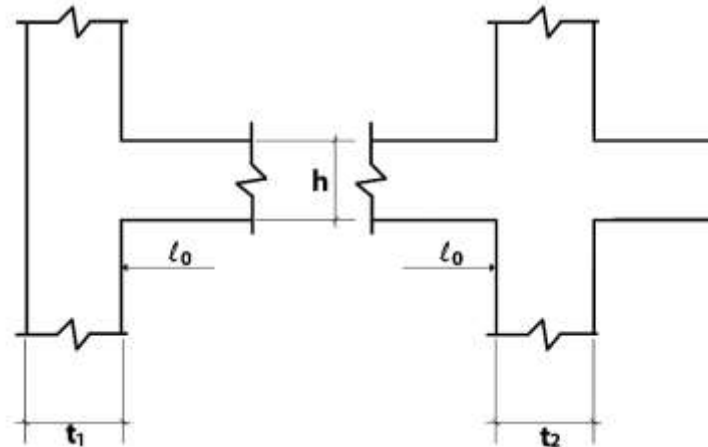
l_{ef} – Vão efetivo;

t_1 – Seção pilar 1;

t_2 – Seção pilar 2;

h – Altura da laje.

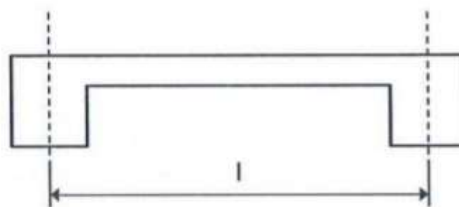
Figura 5 - Definição de variáveis para vão efetivo.



Fonte: Adaptado de NBR 6118 (2014).

Segundo Araújo (2010), quando a largura das vigas de apoio não é muito grande, é usual adotar o vão teórico como sendo igual à distância entre os centros dos apoios, exemplificado na Figura 6 a seguir.

Figura 6 - Vão teórico.



Fonte: Araújo (2014).

Na sequência, devem-se identificar os tipos de vínculos em cada uma das quatro bordas das lajes, sendo que pode ser engastada, livre ou apoiada. A Figura 7 representa os tipos de apoios mencionados.

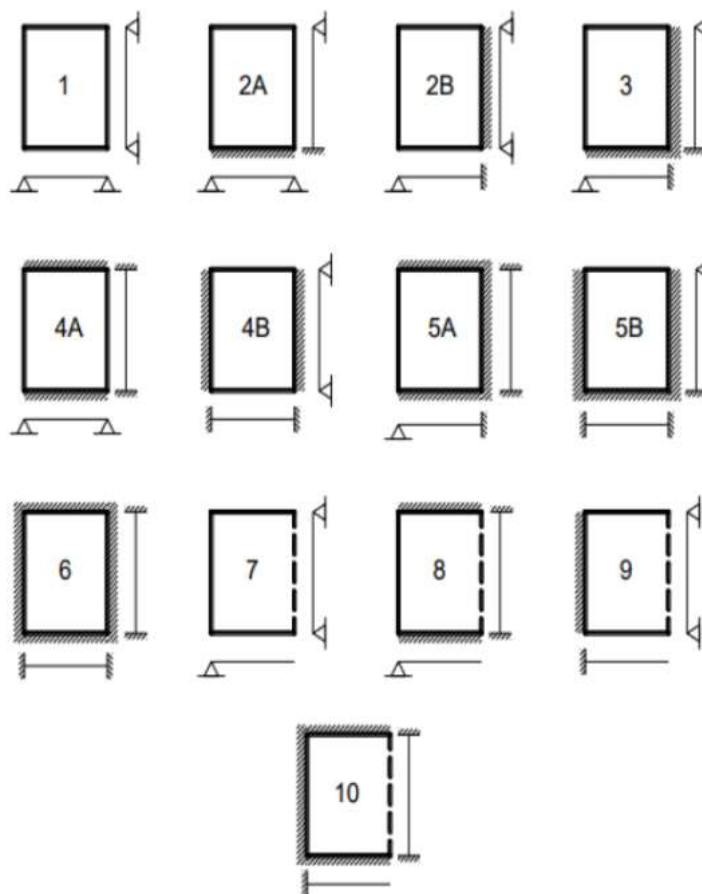
Figura 7 - Representação dos tipos de apoios.

Borda livre	Borda simplesmente apoiada	Borda engastada
-----	—————	///////

Fonte: Pinheiro; Muzardo; Santos (2010).

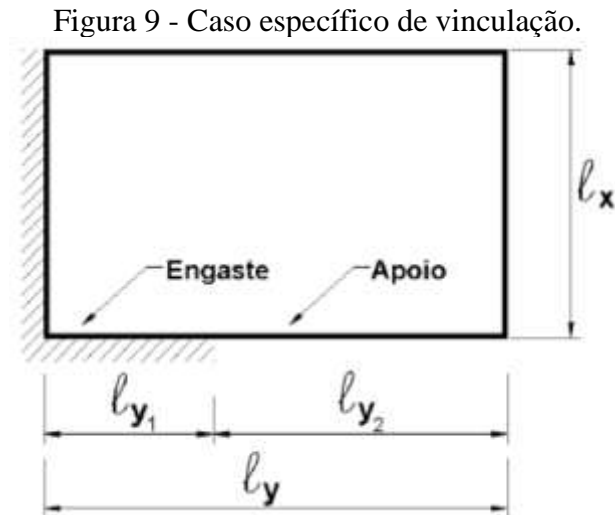
De acordo com Carvalho e Figueiredo Filho (2014), pode-se considerar que as lajes de menores dimensões e menos rígidas são engastadas nas maiores e mais rígidas. A Figura 8 representa as soluções propostas por Pinheiro (2007), sendo está a metodologia que será adotada para determinar as vinculações das lajes.

Figura 8 - Vinculações nas bordas das lajes.



Fonte: Bastos (2003).

Pinheiro, Muzardo e Santos (2010) afirmaram que uma laje pode possuir mais de um tipo de vínculo ao longo de sua borda, podendo possuir, por exemplo, parte engastada e parte apoiada, conforme demonstrado na Figura 8. Dito isso, os autores definiram um critério para definir o tipo de apoio encontrado no Quadro 1 e Figura 9.



Fonte: Pinheiro, Muzardo e Santos (2010).

Quadro 1 - Critério para bordas com uma parte engastada e outra parte apoiada.

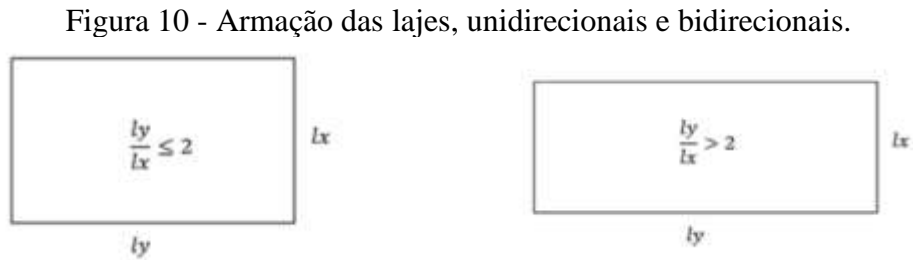
$l_{y1} \leq \frac{l_y}{3}$	Considera-se a borda totalmente apoiada.
$\frac{l_y}{3} \leq l_{y1} \leq \frac{2 \cdot l_y}{3}$	Calculam-se os esforços para as duas situações: borda totalmente apoiada e borda totalmente engastada e adotam-se os maiores valores no dimensionamento.
$l_{y1} \geq \frac{2 \cdot l_y}{3}$	Considera-se a borda totalmente engastada.

Fonte: Pinheiro, Muzardo e Santos (2010).

Em seguida, deve-se calcular o parâmetro lambda (λ) através da Equação 3 a seguir, que representa a razão entre a maior dimensão (L_y) e a menor dimensão da laje (L_x). O valor de lambda (λ) é utilizado nas tabelas de Bares para se obter os parâmetros de estimativa para o momento fletor, esforço cortante e o tipo de armação.

$$\lambda = \frac{L_y}{L_x} \quad (3)$$

As lajes são sustentadas em apoios rígidos ou semirrígidos, podendo ser classificadas conforme o tipo de armação. O que determina o tipo de armação das lajes é a relação entre seus vãos, isto é, caso a razão entre o maior lado pelo menor lado da laje seja inferior a dois, a laje deve ser armada nas suas duas direções. No entanto, caso essa razão seja maior que dois, a laje pode ser armada de forma unidirecional. Esta configuração está representada na Figura 10, considerando-se L_x o menor lado da laje.



Com relação ao carregamento e de acordo com Carvalho e Figueredo Filho (2014), as cargas atuantes em uma laje maciça podem sofrer ações permanentes ou variáveis. São calculadas de maneira usual e devem considerar, em sua maioria, os seguintes itens: peso estrutural próprio, peso do contrapiso, peso do piso ou revestimento, revestimento inferior e sua carga acidental.

Caso existam paredes apoiadas sobre laje, utiliza-se as Equações 4 e 5 (apenas se for a laje for armada nas duas direções), sendo que o valor obtido entra como uma carga permanente. Com isso, todos os valores de carregamento das lajes são expressos em carga por metro quadrado da laje.

$$P_{par} = Y_{bl} e_{bl} + 2 Y_{cp} e_{cp} + 2 Y_{rb} e_{rb} \quad (4)$$

$$G_{par} = \frac{P_{par} L_p h_p}{L_x L_y} \quad (5)$$

Na qual:

Y_{bl} e e_{bl} – Peso específico do bloco e espessura do bloco;

Y_{cp} e e_{cp} – Peso específico do chapisco e espessura do chapisco;

Y_{rb} e e_{rb} – Peso específico do reboco e espessura do reboco;

P_{par} , L_p e h_p – Peso, largura e altura da parede;

G_{par} – Carga permanente relacionada a parede.

Com o valor definido para as cargas permanentes, deve-se fazer o somatório de todas as cargas e, dessa forma, realizar a combinação última normal. A combinação última normal relaciona as cargas permanentes com as cargas acidentais e pode ser calculada através da Equação 6, com o valor de 1,4 para os coeficientes de ponderação Y_g e Y_q .

$$Q_d = \sum_{i=1}^n Y_g Q_{gg} + Y_q Q_{gk} + \quad (6)$$

Na qual:

Q_d – Carga uniformemente distribuída aplicada na laje;

Q_{gg} – Carga característica permanente;

Q_{gk} – Carga característica variável;

Y_g – Coeficiente de ponderação para carga permanente;

Y_q – Coeficiente de ponderação para carga variável.

Com o parâmetro lambda (λ) e o valor da combinação última, consultam-se as tabelas de Bares contidas em Pinheiro (2007) e obtêm-se os parâmetros μ e ν , os quais são aplicados nas Equações 7, 8, 9 e 10 e, de maneira mais simplificada, é possível determinar os momentos atuantes na laje, nas direções x e y para as armaduras positivas e negativas.

Momentos máximos positivos nas direções x e y por unidade de comprimento:

$$M_x = \mu_x \frac{Q_d L_x^2}{100} \quad (7)$$

$$M_y = \mu_y \frac{Q_d L_x^2}{100} \quad (8)$$

Momentos máximos negativos nas direções x e y por unidade de comprimento:

$$M'_x = \mu_x \frac{Q_d L_x^2}{100} \quad (9)$$

$$M'_y = \mu_y \frac{Q_d L_x^2}{100} \quad (10)$$

Na qual:

M – Momento fletor da direção analisada;

μ – Parâmetro de estimativa para momento fletor.

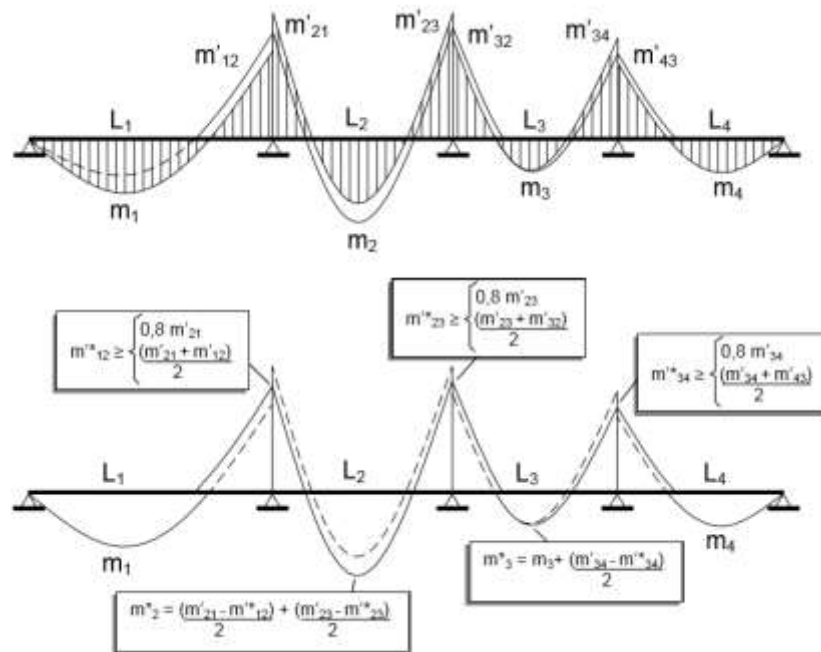
Após o cálculo de momento de todas as lajes, algumas podem possuir incompatibilidades nos momentos em apoios com lajes adjacentes, na região do momento negativo. Portanto, deve-se realizar a compatibilização comentada no item 14.7.6.2 da NBR 6118 (2014). A compatibilização é realizada considerando o maior valor de momento negativo entre as duas lajes. A Figura 11 auxilia na consideração da compatibilização.

Na compatibilização dos momentos negativos, o critério usual consiste em adotar o maior valor entre a média dos dois momentos e 80% do maior. Esse critério apresenta razoável aproximação quando os dois momentos são da mesma ordem de grandeza (PINHEIRO, 2007).

Para determinação da área de aço, utilizam-se as tabelas de Pinheiro (2007), sendo a Tabela 1.1 (Quadro 51) para o cálculo das áreas de aço necessárias das armaduras e a Tabela 1.4a (Quadro 52) para a escolha do diâmetro e do espaçamento das barras.

Primeiramente, utilizando o valor de Q_d calculado na Equação 6, em $kN.cm/m$, é possível encontrar o coeficiente k_c pela Equação 11, sendo $b_w = 100\text{ cm}$.

Figura 11 - Compatibilização de momentos fletores em lajes.



Fonte: Fundamentos do Concreto e Projeto de Edifícios (PINHEIRO, 2007).

$$k_c = \frac{b_w d^2}{m_d} \quad (11)$$

Na qual:

d – Distância entre o meio da armadura longitudinal e a face da estrutura;

m_d – Momento fletor atuantes na direção analisada.

Conhecidos o concreto, o aço e o valor de k_c , obtém-se no Quadro 51 o valor de k_s através da Equação 12:

$$k_s = \frac{a_s d}{m_d} \Rightarrow a_s = \frac{k_s m_d}{d} \quad (12)$$

Na Tabela 1.4 (Quadro 52), com o valor da área de aço (a_s) encontrado, determina-se o diâmetro das barras e seu espaçamento, lembrando que as armaduras devem respeitar os valores mínimos recomendados pela norma NBR 6118 (2014), Equação 13.1 para armaduras positivas e Equação 13 para armaduras negativas.

$$A_{s,min} = \frac{0,15}{100} h b_w \quad (13)$$

$$A_{s,min} = 0,67 \frac{0,15}{100} h b_w \quad (13.1)$$

Com o intuito principal de verificar a resistência ao cisalhamento das lajes, deve-se calcular o valor das reações de apoio das lajes nas vigas. Para determinar o valor das reações de apoio adotou-se o mesmo método para determinar o valor dos momentos fletores (Pinheiro, 2007).

Com o parâmetro lambda (λ), valor do vão efetivo, tipo dos bordos da laje e valor da carga uniforme, consultou-se os Quadros 43 a 45 e obteve-se o coeficiente de cada bordo da laje, os quais são aplicados na Equação 14 para determinar os valores de esforço cortante.

$$V_{x,y,x',y'} = v_{x,y,x',y'} \frac{Q_d L_x}{10} \quad (14)$$

Na qual:

$V_{x,y,x',y'}$ – Esforço cortante;

$v_{x,y,x',y'}$ – Parâmetro de estimativa para esforço cortante.

Possuindo o valor dos esforços cortantes de cada bordo é possível efetuar a verificação das lajes ao cisalhamento. Essa análise visa descobrir se é necessário ou não a colocação de estribos na laje.

A verificação ocorre com a laje que apresenta o maior valor de reação para o esforço cortante, isso é, se a força de cálculo (V_{sd}) for menor ou igual a resistente de projeto (V_{Rd1}) não é necessário o uso de armadura de cisalhamento. Esse cálculo é realizado conforme as Equações 15 a 18.

$$V_{Rd1} = [\tau_{rd} k (1,2 + 40\rho_1) + 0,5 \sigma_{cp}] b_w d \quad (16)$$

Na qual:

τ_{rd} – Tensão resistente de cálculo do concreto em cisalhamento;

k – coeficiente que depende dos elementos da laje;

ρ_1 – valor que depende da área da armadura de tração;

σ_{cp} – valor correspondente a força longitudinal na seção, se não houver $\sigma_{cp} = 0$.

$$\tau_{rd} = 0,25 \cdot f_{ctd} \quad (17)$$

Na qual:

f_{ctd} – Resistência a tração do concreto;

* $k = 1$ para elementos em que 50% da armadura inferior não chegam até o apoio;

$k = (1,6 - d) \geq 1$, com d em metros, para os demais casos.

$$\rho_1 = \frac{A_{s1}}{b_w d} \leq 0,02 \quad (18)$$

Na qual:

A_{s1} – Área da armadura de tração que se estende no mínimo até $d + l_{b_{nec}}$ (item 9.4.2.5 da NBR 6118:2014);

2.8.2 Cálculo de momento fletor para lajes em balanço

Uma laje em balanço é definida, estruturalmente, como um engaste em seu maior lado (l_y) e na outra borda possui o vínculo livre. Deve se atentar que a norma, NBR 6118 (2014)

tabela 13.2 p74 (Quadro 2), cita a necessidade de majorar os esforços solicitantes finais de cálculos nas lajes em balanço por um coeficiente adicional γ_n (Equação 21).

$$\gamma_n = 1,95 - 0,05 h \quad (21)$$

Quadro 2 - Valores do coeficiente adicional γ_n para lajes em balanço.

h cm	≥ 19	18	17	16	15	14	13	12	11	10
γ_n	1,00	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25	1,30	1,35	1,40	1,45

onde
 $\gamma_n = 1,95 - 0,05 h$
 h é a altura da laje, expressa em centímetros (cm).

NOTA O coeficiente γ_n deve majorar os esforços solicitantes finais de cálculo nas lajes em balanço, quando de seu dimensionamento.

Fonte: NBR 6118 (2014).

O momento máximo pode ser calculado através da Equação 22.

$$M_{eng} = \gamma_n \left[\frac{Q_d l_x^2}{2} + (P_{parapeito} l_x) + 2 \right] \quad (22)$$

2.9 Método Computacional

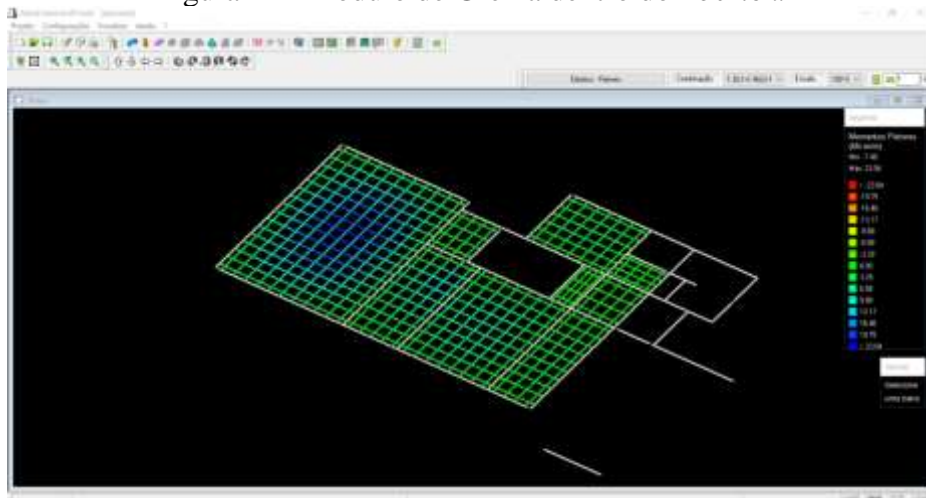
Neste capítulo será abordado como o *software* possui uma quantia finita, porém, diversa de configurações disponíveis para usuário personalizar o processo de dimensionamento dos elementos estruturais. O dimensionamento é realizado através de padrões normativos e a principal diferença do *Eberick* para o método simplificado é a possibilidade de discretização do pavimento e análise conjunta de todas as lajes através da teoria das grelhas.

2.9.1 Dimensionamento de lajes

Conforme Pinheiro (2007), “a ideia de se interpretar uma laje através de uma grelha equivalente não é nova, tendo sido feita inicialmente por Marcus em 1932, que na época, não possuía computadores e tinha que se valer de processos aproximados para resolver as grelhas”.

Dito isso, para realizar uma análise por Analogia de Grelha, é necessário separar a laje em uma série de faixas com determinada largura. Sendo que, as faixas podem ser substituídas por elementos estruturais de barras exatamente nos seus eixos, obtendo assim uma grelha de barras plana.

Figura 12 - Módulo de Grelha dentro do *Eberick*.

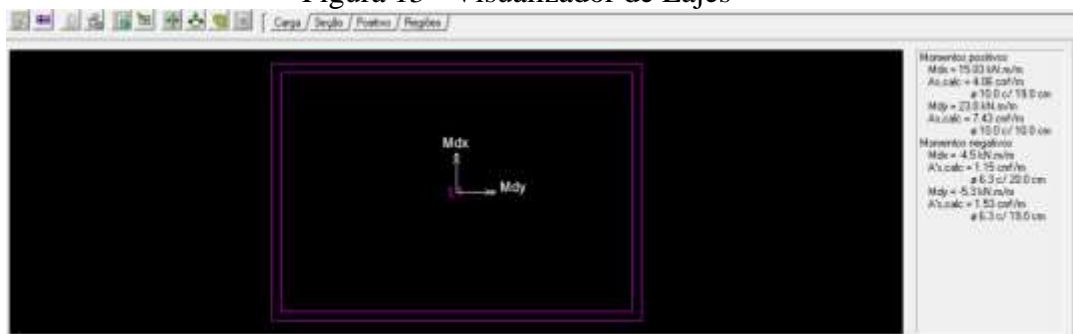


Fonte: Próprio Autor (2022).

A analogia de grelha consiste em simular uma laje através de vários elementos de barras perpendiculares entre si, ligada em nós. No programa, os esforços ao qual a peça está submetida é calculado através do Método das Forças e do Método dos Deslocamentos. O programa encontra os valores dos esforços em cada barra da grelha e calcula ponto a ponto os momentos de flexão e torção, disponibilizando um módulo editor de grelha em que é possível verificar os momentos em cada ponto da laje e, se necessário, redistribuí-lo, vide Figura 12. O quantitativo de aço também é calculado ponto a ponto e as informações são apresentadas no canto direito da tela de apresentação do programa *Eberick*, conforme apresentado na Figura 13.

“Teoria das Grelhas: é um método simplificado bastante útil para o projeto das lajes de concreto armado. Nesse método, admite-se um comportamento elástico linear do material da laje. Da teoria das grelhas, deriva o conhecido Método de Marcus” (Araújo, 2010).

Figura 13 - Visualizador de Lajes



Fonte: Próprio Autor (2022).

3 METODOLOGIA

Nesta seção estão descritos todos os procedimentos utilizados para a realização do estudo comparativo proposto no presente trabalho, quais dados foram coletados e utilizados para o cálculo, a descrição das etapas realizadas e os dimensionamentos.

3.1 Considerações iniciais

O projeto compreende uma edificação de 445 m² de área construída, projetada em concreto armado e que possui quatro níveis: subsolo, térreo, pavimento superior e cobertura. Para melhor ilustrar, as renderizações presentes na Figura 14 representam as fachadas da edificação (frontal, fundos, lateral esquerda e lateral direita). Além disso, as plantas baixas estão disponíveis no Anexo C.

Figura 14 – Renderizações.



Fonte: Wisner Coimbra de Paula (202).

Para avaliar o projeto estrutural, foram elaboradas as plantas de forma, uma para cada pavimento. As plantas de forma de cada pavimento estão disponíveis para uma melhor visualização nos Anexos C, D, E e F.

As plantas de forma foram concebidas considerando um arranjo estrutural que promove a segurança e a estabilidade necessárias à finalidade da edificação, evitando-se o superdimensionamento. O arranjo descrito foi de suma importância para se avaliarem as solicitações estruturais. Dessa forma, foi possível determinar, em conjunto da norma ABNT 6120 (2019), as solicitações estruturais, as cargas permanentes e as cargas acidentais da edificação.

Para a realização desses dimensionamentos, foram considerados os seguintes dados de projeto:

- Classe de agressividade ambiental II;
- Cobrimento nominal igual a 2,5 cm para todas as lajes;
- Aço utilizado CA-50
- Concreto com resistência característica a compressão de 30 MPa e peso específico de 25 kN/m³;
- Revestimento superior – porcelanato com peso específico de 23 kN/m³;
- Contrapiso com espessura média de 2,0 cm, feito com argamassa de cimento e areia com peso específico de 21 kN/m³;
- Revestimento inferior – forro de gesso acartonado com espessura média de 3 cm e peso específico de 22 kN/m³;
- Paredes com 2,8 m de altura compostas por chapisco e reboco (argamassa de cimento, areia e cal com peso específico de 19 kN/m³ e espessura de total de 1,5 cm de cada lado) e tijolo furado (peso específico de 12 kN/m³ e espessura de 20 cm)
- Porta de correr em blindex com peso específico de 9 kN/m³;
- Cargas acidentais:
 - 0,5 kN/m² para as lajes do pavimento coberturas que estão em balanço;
 - 1,5 kN/m² para dormitórios, sala, copa, cozinha, sanitários e cobertura com placas de aquecimento solar ou fotovoltaicas;
 - 2,0 kN/m² para despensa, áreas de serviço e lavanderia;
 - Sobrecarga de caixa d'água apenas na laje L6 do pavimento cobertura.

3.2 Procedimento e Análise dos Dados

Neste tópico são abordados todos os procedimentos realizados, tanto para o método de cálculo simplificado como para o procedimento de cálculo computacional. São descritos todos os sistemas adotados, métodos de dimensionamento e roteiros de cálculo presente no Apêndice A.

3.2.1 Procedimentos Computacionais

O concreto armado foi o sistema construtivo adotado para o presente projeto, todos os elementos da estrutura (lajes, vigas, pilares, blocos e estacas) foram pré-dimensionados diretamente no *Eberick* ®. Para esse processo de pré-dimensionamento, levaram-se em conta aspectos normativos presentes nas normas: ABNT NBR 6118 (2014), ABNT NBR 6120 (2019) e ABNT NBR 8681 (2003), além dos dados supracitados no item 3.1.

Com o desenho arquitetônico e as informações básicas do projeto foi possível realizar uma primeira análise da concepção estrutural do projeto. Primeiro, realizou-se um estudo dos vãos e dimensões de cada cômodo e, em sequência, a “limpeza das *layers*” dentro do arquivo em formato *.cad* do projeto arquitetônico. Essa limpeza foi necessária para se ter uma melhor visualização dos elementos como paredes, janelas, portas, balanços e demais elementos que influenciam diretamente no projeto estrutural.

Com o desenho arquitetônico “limpo”, foi possível iniciar o lançamento dos principais pórticos da estrutura, no *software Eberick* ®. Essa etapa teve como principal foco determinar as posições dos pilares e realização do lançamento das vigas dos pórticos principais, assim como suas vinculações.

Com os pórticos lançados, efetuou-se o lançamento das vigas de contorno e, caso fosse necessário, o lançamento das vigas que são responsáveis por suportar as cargas de paredes.

Para realizar o lançamento das lajes, todos os elementos estruturais, como os pilares e vigas, já deviam ter sido lançados. No lançamento das lajes, foi necessário se atentar ao valor das cargas acidentais de cada uma, cujos valores foram definidos no Item 3.1. Logo em seguida, realizou-se o lançamento das cargas de parede sobre lajes e vigas e, também, o lançamento de possíveis cargas extras em lajes como: banheiras e caixas d’água.

Neste ponto a estrutura estava toda lançada, entretanto, ainda foi necessária a definição das configurações que seriam utilizadas pelo *software*: configuração de ações, tipo de análise, vento, materiais e durabilidade, configurações de dimensionamento e adequações às normas

NBR 6118 (2014) e NBR 6120 (2019), devido a própria versão do *Eberick* ® utilizada para o trabalho que por definição utiliza a NBR 6118 (2004).

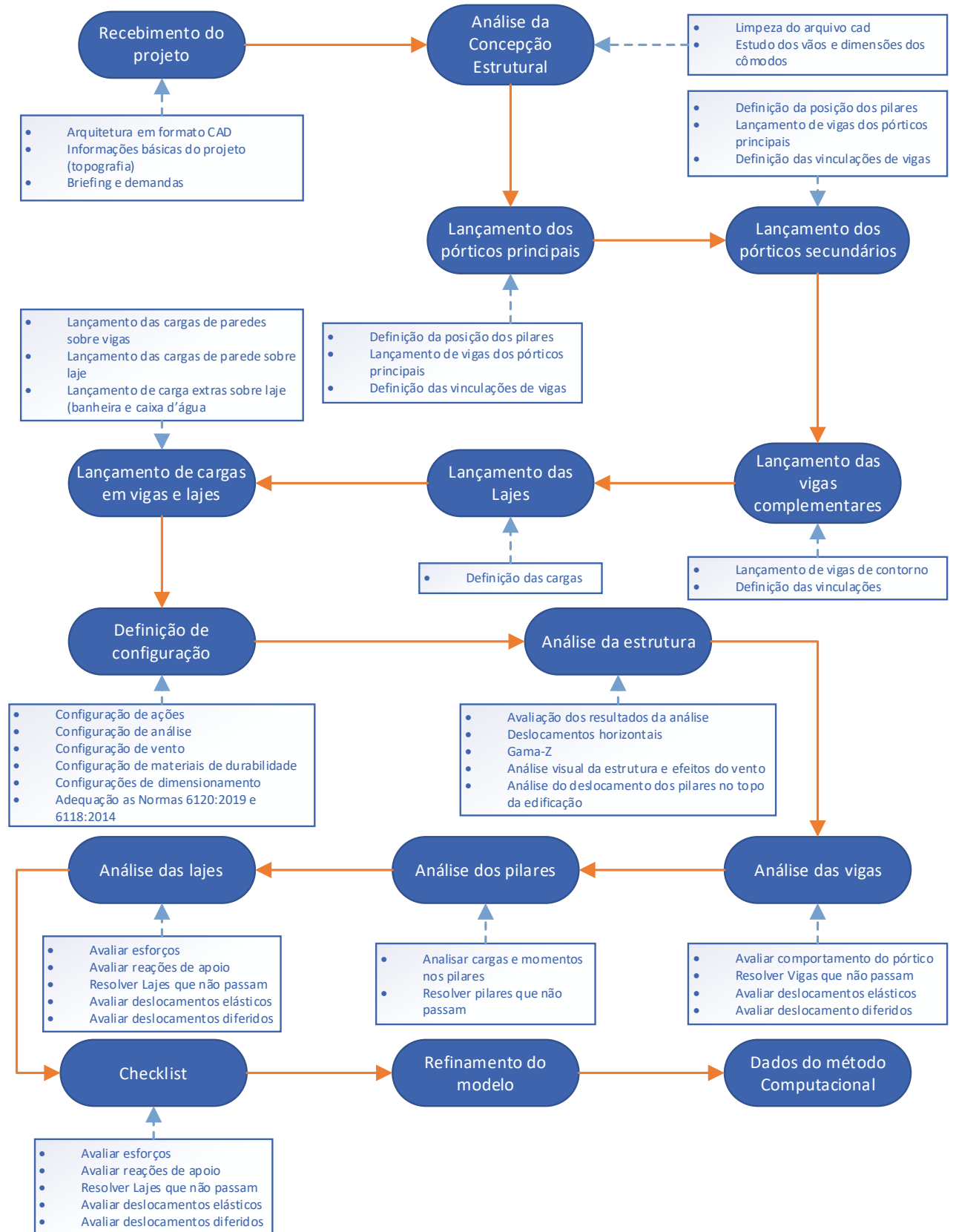
Após todo o lançamento da estrutura e as devidas configurações, realizou-se a primeira análise da estrutura, onde foi possível verificar o comportamento global da estrutura, ou seja, verificação do valor de Gama-Z, deslocamentos horizontais, deformações, análise visual dos efeitos do vento e o deslocamento dos pilares no topo da edificação. Com todos os parâmetros anteriores corretos, iniciou-se a “análise micro” da estrutura. A “análise micro” tem por objetivo avaliar o comportamento de todos os elementos estruturais, um a um. Dito isso, no caso das vigas, analisou-se as que não foram dimensionadas, além dos deslocamentos elásticos e deslocamentos diferidos. Já para os pilares, analisaram-se os momentos atuantes, tipos de engastes nos nós, e foram alteradas as propriedades dos pilares que não puderam ser dimensionados. Por fim, analisaram-se as lajes que apresentaram erros em seu dimensionamento, avaliando os esforços, as reações de apoio, os deslocamentos elásticos e deslocamentos diferidos.

A análise local foi realizada de forma a refinar o modelo estrutural lançado no programa, sendo, portanto, um processo demorado e repetitivo. Porém, ao final desta etapa, o projeto estrutural via *software* é finalizado e os dados gerados servirão de base para os cálculos simplificados manuais (alturas das lajes e comprimentos efetivos). Ao final, os demais dados coletados (momentos fletores positivos, negativos e áreas de aço) serão utilizados para confrontar os resultados obtidos no modelo analítico.

O processo de dimensionamento computacional pode ser visualizado no fluxograma da Figura 15.

Ao fim de todo o processo, os dados das lajes, como vãos efetivos, alturas, momentos fletores e áreas de aço das armaduras longitudinais foram compilados em tabelas para permitir a comparação com os resultados obtidos pelo dimensionamento manual. O intuito, portanto, foi realizar um comparativo desses valores de forma a avaliar a discrepância entre os resultados e o porquê das principais diferenças observadas.

Figura 15 - Fluxograma que representa o passo a passo do dimensionamento computacional.



Fonte: Próprio Autor (2022).

3.2.2 Procedimentos para Cálculo Manual

Com a definição das plantas de forma de todos os pavimentos e todos os elementos já dimensionados no *Eberick*®, pôde-se iniciar o cálculo manual. O procedimento para dimensionamento das lajes está descrito nos próximos parágrafos.

Primeiramente, adotaram-se as alturas e o vão teórico das lajes, no cálculo manual, iguais às definidas pela análise via *software* computacional. No projeto, existem 5 possibilidades de cálculo:

- lajes bidirecionais;
- lajes bidirecionais com parede apoiada sobre laje;
- lajes unidirecionais;
- e lajes em balanço.

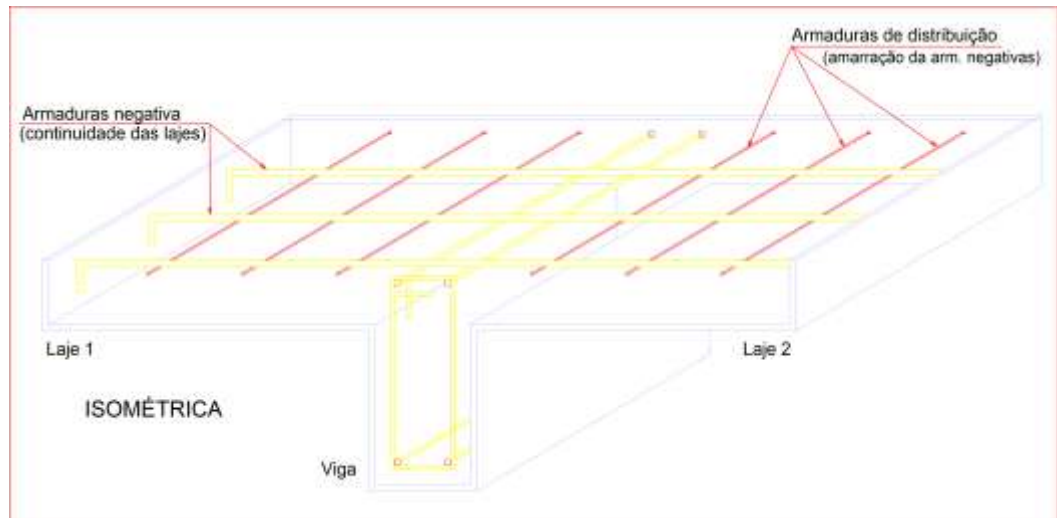
Para as lajes bidirecionais, realizou-se a discretização do pavimento e analisou cada borda da laje. Adotaram-se os valores dos vãos teóricos provenientes do *software* e disponíveis nas plantas de forma. Determinou-se o tipo da laje e o tipo de armação e, em sequência, calculou-se o valor de lambda, as cargas permanentes e combinação última normal, os momentos fletores, as armaduras longitudinais, as reações de apoio nas vigas e, por fim, realizou-se a verificação ao cisalhamento.

Para as lajes bidirecionais com parede apoiada sobre laje, a única diferença está na etapa que antecede a determinação das cargas permanentes. Utilizaram-se as Equações 4 e 5 para determinar o peso por metro quadrado da parede sobre a laje. O valor encontrado foi somado ao total de carga permanente.

No que se refere às lajes unidirecionais, também se realizou a discretização do pavimento e analisaram-se as bordas da laje, os valores dos vãos teóricos foram encontrados nas plantas de forma disponíveis no anexo. Em sequência, determinou-se o tipo da laje e o tipo de armação. Calculou-se o valor de lambda, as cargas permanentes e combinação última normal, os momentos fletores, as armaduras longitudinais, as reações de apoio nas vigas e, por fim, fez-se a verificação ao cisalhamento.

Em relação às lajes em balanço, os procedimentos também foram iniciados com a discretização da laje e, após, calculou-se o valor do peso próprio da estrutura e das cargas atuantes, o esforço cortante, o momento fletor máximo, as armaduras longitudinais e realizou-se a verificação ao cisalhamento.

Figura 16 - Representação visual de uma laje em balanço.



Fonte: Próprio Autor (2022).

Ao fim dos procedimentos manuais, todos os valores de momentos fletores e armaduras longitudinais foram compilados em tabelas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

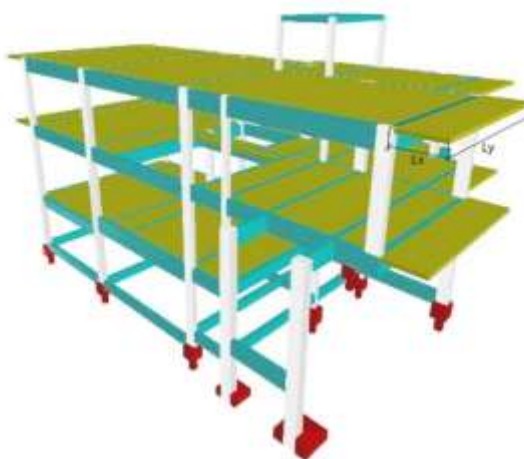
Nesta etapa do trabalho são apresentados os resultados obtidos, desde a discretização das lajes, vínculos, valores de esforços cortantes nas bordas das lajes, assim como, os momentos fletores e as áreas de aço das armaduras longitudinais.

Ao final, é realizada uma análise comparativa dos resultados, serão discutido os valores encontrados tanto no método computacional como no método de cálculo manual, referente aos momentos fletores solicitantes e as áreas de aço das armaduras longitudinais.

4.1 Discretização, Altura e Condição dos Vínculos das Lajes

As plantas de formas apresentam medidas cotadas em metros e são de eixo a eixo, com exceção das lajes em balanço, que sua distância é calculada da extremidade livre até o centro do apoio. Para uma melhor visualização das lajes dessa residência, na Figura 17 esses elementos estão representados em 3D com uma cota do vão livre de uma laje em balanço ao centro de apoio da viga.

Figura 17 - Disposição das lajes em 3D e cota laje em balanço.



Fonte: Próprio Autor (2022).

Os resultados obtidos nesta fase foram transcritos para o Quadro 3, como: pavimento a que pertence a laje, o nome da laje, os valores de vão efetivos em X e em Y, a áreas das lajes, seu λ , o tipo de caso em que a laje se encontra conforme Pinheiro (2007) e sua altura. Para uma

melhor interpretação do Quadro 3, todas as lajes e seus pavimentos representados pela Figura 17 em 3D.

Quadro 3 – Dados de discretização, altura e vínculos de todas as lajes do projeto.

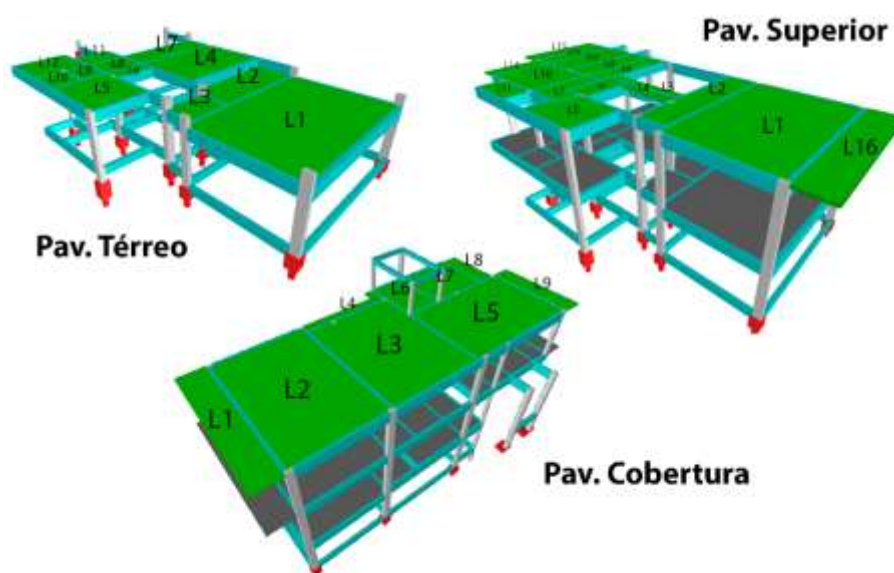
Pavimento	Laje	Lx (m)	Ly (m)	Área da Laje ³ (m ²)	$\lambda^{(4)}$	Armadura Longitudinal ⁵	Caso ⁶	h^7 (cm)
Pav. Térreo	L1	5,4	7,8	42,12	1,44	Bidirecional	2B	12
Pav. Térreo	L2	2,3	5,2	11,96	2,26	Unidirecional	3	12
Pav. Térreo	L3	1,7	2,2	3,74	1,29	Bidirecional	3	12
Pav. Térreo	L4	3,8	5,2	19,76	1,37	Bidirecional	2B	12
Pav. Térreo	L5	2,8	3,4	9,52	1,21	Bidirecional	2A	12
Pav. Térreo	L6	0,9	2,2	1,98	2,44	Unidirecional	5A	12
Pav. Térreo	L7	1,8	5,2	9,36	2,89	Unidirecional	3	12
Pav. Térreo	L8	1,8	2,2	3,96	1,22	Bidirecional	6	12
Pav. Térreo	L9	1,3	1,8	2,34	1,38	Bidirecional	6	12
Pav. Térreo	L10	1,5	1,8	2,7	1,20	Bidirecional	5A	12
Pav. Térreo	L11	1,7	2,2	3,74	1,29	Bidirecional	3	12
Pav. Térreo	L12	2,7	2,8	7,56	1,04	Bidirecional	3	12
Pav. Superior	L1	5,4	7,8	42,12	1,44	Bidirecional	4B	12
Pav. Superior	L2	1,7	7,3	12,41	4,29	Unidirecional	2B	12
Pav. Superior	L3	0,6	4,9	2,94	8,17	Unidirecional	2B	12
Pav. Superior	L4	0,6	3,4	2,04	5,67	Unidirecional	2B	12
Pav. Superior	L5	2,8	3,4	9,52	1,21	Bidirecional	2A	12
Pav. Superior	L6	1,4	2,8	3,92	2,00	Unidirecional	5A	12
Pav. Superior	L7 ¹	2,3	3,5	8,05	1,52	Bidirecional	5B	12
Pav. Superior	L8	1,3	5,4	7,02	4,15	Unidirecional	3	12
Pav. Superior	L9	1,7	5,4	9,18	3,18	Unidirecional	5B	12
Pav. Superior	L10	3,5	3,9	13,65	1,11	Bidirecional	6	12
Pav. Superior	L11	1,5	2,7	4,05	1,80	Bidirecional	2B	12
Pav. Superior	L12	2,3	5,4	12,42	2,35	Unidirecional	5B	12
Pav. Superior	L13	1,3	5,4	7,02	4,15	Unidirecional	5B	12
Pav. Superior	L14	1,1	3,5	3,85	3,18	Balanço	Balanço	12
Pav. Superior	L15	1,3	5,4	7,02	4,15	Balanço	Balanço	12
Pav. Superior	L16	1,6	8	12,8	5,00	Balanço	Balanço	12
Pav. Cobertura	L1	1,6	8	12,8	5,00	Balanço	Balanço	12
Pav. Cobertura	L2	5,4	7,3	39,42	1,35	Bidirecional	4B	12
Pav. Cobertura	L3	5,6	7,3	40,88	1,30	Bidirecional	5B	12
Pav. Cobertura	L4 ²	0,6	5,6	3,36	9,33	Balanço	Balanço	12
Pav. Cobertura	L5	5,2	7,5	39	1,44	Bidirecional	5A	12
Pav. Cobertura	L6	2,3	3,5	8,05	1,52	Bidirecional	5B	12
Pav. Cobertura	L7	3,5	3,9	13,65	1,11	Bidirecional	5A	12
Pav. Cobertura	L8	1,1	3,5	3,85	3,18	Balanço	Balanço	12
Pav. Cobertura	L9	5,4	1,3	7,02	0,24	Balanço	Balanço	12

Fonte: Próprio Autor (2022).

Observações:

1. A laje L7 do pavimento superior foi simplificada e considerada com formato retangular;
2. A laje L4 do pavimento cobertura foi simplificada e considerada com formato retangular;
3. As áreas das lajes foram calculadas multiplicando os vãos efetivos l_x e l_y ;
4. O valor de λ foi calculado utilizando a Equação 3 descrita no memorial descritivo;
5. O tipo de armadura longitudinal foi determinado conforme Muzardo, Pinheiro e Santos, Figura 10;
6. O caso de cada laje obedeceu às soluções propostas por Libânio Pinheiro (2007), Figura 8;
7. As alturas foram determinadas via *software*, de maneira a obter uma estrutura que atenda todos os requisitos normativos e, principalmente, as flechas imediatas e diferidas.

Figura 18 - Desenho 3D de todas os pavimentos e lajes.



Fonte: Próprio Autor (2022).

4.2 Cálculo das Ações Atuantes

Neste tópico são apresentados os dados encontrados nos cálculos das ações atuantes nas lajes, todos os valores encontrados estão disponíveis no Quadro 4. Para a determinação da combinação última normal (Q_d) de cada uma das lajes, foram consideradas todas as ações atuantes no projeto: peso próprio da laje, revestimentos inferiores e superiores, cargas de contrapiso, paredes, variáveis e, por fim, o valor da combinação última normal. Todos os itens e valores estão descritos no item 3.1 Considerações Iniciais.

Quadro 4 – Cálculo de ações atuantes nas lajes e combinação normal última.

Pavimento	Laje	h (cm)	Peso Próprio ¹ (kN/m ²)	Revest. Inferior ² (kN/m ²)	Reves. Piso ³ (kN/m ²)	Parede ⁴ (kN/m)	Perm. Total ⁵ (kN/m)	Carga Variável ⁶ (kN/m)	Total ⁷ (kN/m)	Comb. Últ. Normal Q _d ⁸ (kN/m)
Pav. Térreo	L1	12	3,00	0,66	0,65	0,11	4,42	2,00	6,42	8,99
Pav. Térreo	L2	12	3,00	0,66	0,65	0,15	4,46	1,50	5,96	8,34
Pav. Térreo	L3	12	3,00	0,66	0,65	0,00	4,31	1,50	5,81	8,13
Pav. Térreo	L4	12	3,00	0,66	0,65	0,00	4,31	1,50	5,81	8,13
Pav. Térreo	L5	12	3,00	0,66	0,65	0,00	4,31	1,50	5,81	8,13
Pav. Térreo	L6	12	3,00	0,66	0,65	0,00	4,31	1,50	5,81	8,13
Pav. Térreo	L7	12	3,00	0,66	0,65	0,00	4,31	1,50	5,81	8,13
Pav. Térreo	L8	12	3,00	0,66	0,65	0,00	4,31	1,50	5,81	8,13
Pav. Térreo	L9	12	3,00	0,66	0,65	0,00	4,31	1,50	5,81	8,13
Pav. Térreo	L10	12	3,00	0,66	0,65	0,00	4,31	1,50	5,81	8,13
Pav. Térreo	L11	12	3,00	0,66	0,65	0,00	4,31	1,50	5,81	8,13
Pav. Térreo	L12	12	3,00	0,66	0,65	1,26	5,57	1,50	7,07	9,90
Pav. Superior	L1	12	3,00	0,66	0,65	0,72	5,03	1,50	6,53	9,15
Pav. Superior	L2	12	3,00	0,66	0,65	1,17	5,48	1,50	6,98	9,78
Pav. Superior	L3	12	3,00	0,66	0,65	0,00	4,31	2,00	6,31	8,83
Pav. Superior	L4	12	3,00	0,66	0,65	0,00	4,31	2,00	6,31	8,83
Pav. Superior	L5	12	3,00	0,66	0,65	0,00	4,31	1,50	5,81	8,13
Pav. Superior	L6	12	3,00	0,66	0,65	0,00	4,31	1,50	5,81	8,13
Pav. Superior	L7	12	3,00	0,66	0,65	0,00	4,31	1,50	5,81	8,13
Pav. Superior	L8	12	3,00	0,66	0,65	2,07	6,38	1,50	7,88	11,04
Pav. Superior	L9	12	3,00	0,66	0,65	1,26	5,57	1,50	7,07	9,90
Pav. Superior	L10	12	3,00	0,66	0,65	0,00	4,31	1,50	5,81	8,13
Pav. Superior	L11	12	3,00	0,66	0,65	0,00	4,31	1,50	5,81	8,13
Pav. Superior	L12	12	3,00	0,66	0,65	0,00	4,31	1,50	5,81	8,13
Pav. Superior	L13	12	3,00	0,66	0,65	0,00	4,31	1,50	5,81	8,13
Pav. Superior	L14	12	3,00	0,66	0,65	0,00	4,31	2,00	6,31	8,83
Pav. Superior	L15	12	3,00	0,66	0,65	0,00	4,31	2,00	6,31	8,83
Pav. Superior	L16	12	3,00	0,66	0,65	0,00	4,31	2,00	6,31	8,83
Pav. Cobertura	L1	12	3,00	0,66	0,65	0,00	4,31	0,50	4,81	6,73
Pav. Cobertura	L2	12	3,00	0,66	0,65	0,00	4,31	1,50	5,81	8,13
Pav. Cobertura	L3	12	3,00	0,66	0,65	0,00	4,31	1,50	5,81	8,13
Pav. Cobertura	L4	12	3,00	0,66	0,65	0,00	4,31	0,50	4,81	6,73
Pav. Cobertura	L5	12	3,00	0,66	0,65	0,00	4,31	1,50	5,81	8,13
Pav. Cobertura	L6	12	3,00	0,66	0,65	15,00	19,31	0,50	19,81	27,73
Pav. Cobertura	L7	12	3,00	0,66	0,65	0,00	4,31	1,50	5,81	8,13
Pav. Cobertura	L8	12	3,00	0,66	0,65	0,00	4,31	0,50	4,81	6,73
Pav. Cobertura	L9	12	3,00	0,66	0,65	0,00	4,31	0,50	4,81	6,73

Fonte: Próprio Autor (2022).

Observações:

1. O peso próprio foi encontrado conforme a Equação $P = h_{laje} \gamma_{concreto}$ em kN/m³, com $\gamma_{concreto} = 25$ kN/m³;
2. O revestimento inferior utilizado encontra-se na seção 3.1, forro de gesso acartonado com espessura média de 3 cm e peso específico de 22 kN/m³;

3. No quadro, o revestimento superior considera no cálculo contrapiso de 2cm, realizado com cimento e areia ($\gamma = 21 \text{ kN/m}^3$) e porcelanato com $\gamma = 23 \text{ kN/m}^3$;
4. Para determinar o peso da parede, em kN/m^2 , utilizou-se a Equação 4 e 5 presentes no referencial teórico;
5. A carga permanente total é a soma de todos os itens anteriores;
6. A carga variável adotada obedece a NBR 6118:2014 e cada valor está determinado na seção de 3.1 Considerações Iniciais;
7. A carga total é a soma da carga permanente e a carga variável;
8. A combinação normal última foi calculada conforme a Equação 6.

4.3 Resultado dos Esforços Cortantes obtidos

Os valores de esforço cortante foram calculados para cada uma das lajes, de forma individual, cujo objetivo foi determinar qual laje de cada pavimento possuía o maior valor de cortante (V_{sd}). Com ele determinado, foi realizada a verificação da biela comprimida do concreto (V_{rd2}).

O Quadro 5 apresenta de forma resumida todos os resultados de cortantes. No Apêndice A – Memorial de Cálculo para o dimensionamento manual, são apresentados os cálculos realizados para verificação, os quais que seguem o roteiro do referencial teórico utilizando as Equações 15, 16, 17, 18, 19 e 20. No Apêndice B estão as tabelas completas, sendo apresentados todos os valores utilizados para determinação dos esforços cortantes de cada uma das lajes.

Quadro 5 - Reações de apoio nas vigas de borda das lajes.

Pavimento	Laje	Caso	I_x (m)	λ	Comb. Últ. Normal Q_d (kN/m)	V_x^1 (kN)	V_y^1 (kN)	$V'_x{}^1$ (kN)	$V'_y{}^1$ (kN)
Pav. Térreo	L1	2B	5,40	1,45	8,99	15,73	8,88	23,01	-
Pav. Térreo	L2	3	2,30	>2,00	8,34	8,40	4,16	11,99	6,08
Pav. Térreo	L3	3	1,70	1,30	8,13	3,64	3,00	5,39	4,38
Pav. Térreo	L4	2B	3,80	1,40	8,13	9,89	5,66	14,47	-
Pav. Térreo	L5	2A	2,80	1,25	8,13	5,22	6,70	-	9,79
Pav. Térreo	L6	5A	0,90	>2,00	8,13	3,21	-	4,58	2,32
Pav. Térreo	L7	3	1,80	>2,00	8,13	6,41	3,18	9,15	4,64
Pav. Térreo	L8	6	1,80	1,25	8,13	-	-	4,39	3,66
Pav. Térreo	L9	6	1,30	1,40	8,13	-	-	3,39	2,64
Pav. Térreo	L10	5A	1,50	1,20	8,13	2,50	-	3,66	3,86
Pav. Térreo	L11	3	1,70	1,30	8,13	3,64	3,00	5,39	4,38
Pav. Térreo	L12	3	2,70	1,05	9,90	6,07	5,80	8,87	8,47
Pav. Superior	L1	4B	5,40	1,45	9,15	-	7,11	19,76	-
Pav. Superior	L2	2B	1,70	>2,00	9,78	7,28	3,04	10,22	-
Pav. Superior	L3	2B	0,60	>2,00	8,83	2,32	0,97	3,26	-
Pav. Superior	L4	2B	0,60	>2,00	8,83	2,32	0,97	3,26	-

Pav. Superior	L5	2A	2,80	1,25	8,13	5,22	6,70	-	9,79
Pav. Superior	L6	5A	1,40	2,00	8,13	3,37	-	4,93	3,61
Pav. Superior	L7	5B	2,30	1,55	8,13	-	3,20	6,98	4,68
Pav. Superior	L8	3	1,30	>2,00	11,04	6,28	3,11	8,97	4,55
Pav. Superior	L9	5B	1,70	>2,00	9,90	-	2,88	8,41	4,21
Pav. Superior	L10	6	3,50	1,15	8,13	-	-	8,06	7,12
Pav. Superior	L11	2B	1,50	1,80	8,13	4,21	2,23	6,16	-
Pav. Superior	L12	5B	2,30	>2,00	8,13	-	3,20	9,35	4,68
Pav. Superior	L13	5B	1,30	>2,00	8,13	-	1,81	5,29	2,64
Pav. Cobertura	L2	4B	5,40	>2,00	8,13	-	6,32	21,96	-
Pav. Cobertura	L3	5B	5,60	>2,00	8,13	-	7,79	22,78	11,39
Pav. Cobertura	L5	5A	5,20	>2,00	8,13	18,53	-	26,44	13,41
Pav. Cobertura	L6	5B	2,30	>2,00	27,73	-	10,91	31,89	15,95
Pav. Cobertura	L7	5A	3,50	1,40	8,13	6,75	-	9,88	9,02

Fonte: Próprio Autor (2021).

Observações:

1. Os valores dos esforços cortantes foram encontrados utilizando a Equação 14.

4.4 Resultado dos Momentos Fletores Obtidos

Os momentos fletores das lajes são a parte mais importante do trabalho, com eles foi possível realizar uma análise comparativa dos valores de forma minuciosa. Esse comparativo será apresentado no próximo tópico. Assim como, são determinantes para o cálculo das áreas de aço e, posteriormente, no comparativo das áreas de aço das armaduras longitudinais.

Os resultados dos momentos fletores solicitantes (característicos) nas lajes bidirecionais e unidirecionais estão dispostos no Quadro 6 de forma resumida, para visualização da tabela com todos os coeficientes encontrados e valores utilizados, em cada uma das lajes, é necessário consultar o Apêndice B, Quadro 18 e 19. Todos os momentos foram determinados utilizando os dados dispostos no Quadro 3 e seguindo as Equações 7, 8, 9 e 10 do referencial teórico e demonstradas no Apêndice A – Memorial de cálculo.

No Quadro 6 é notável a variabilidade nos valores de momento fletores encontradas, essa variação é causada pela diferença cargas atuantes, o tipo de vínculo entre cada laje, revestimento e diversos outros fatores. Percebe-se que as lajes L1 de todos os pavimentos possuíram valores de momento fletores muito superiores as demais lajes, o motivo é que todas as lajes L1 dos três pavimentos possuem cargas de paredes sobre laje.

Quadro 6 – Momentos fletores solicitantes (característicos) nas lajes bidirecionais e unidirecionais.

Pavimento	Laje	Caso	l_x (m)	Λ	Comb. Últ. Normal Q_d (kN/m)	M_x^1 (kN.m/m)	M_y^1 (kN.m/m)	$M_x'^1$ (kN.m/m)	$M_y'^1$ (kN.m/m)
Pav. Térreo	L1	2B	5,40	1,45	8,99	13,42	5,74	28,63	-
Pav. Térreo	L2	3	2,30	>2,00	8,34	3,10	0,71	5,51	3,62
Pav. Térreo	L3	3	1,70	1,30	8,13	0,95	0,59	2,20	1,84
Pav. Térreo	L4	2B	3,80	1,40	8,13	5,87	2,64	12,63	-
Pav. Térreo	L5	2A	2,80	1,25	8,13	3,01	2,48	-	6,48
Pav. Térreo	L6	5A	0,90	>2,00	8,13	0,46	0,12	0,82	0,53
Pav. Térreo	L7	3	1,80	>2,00	8,13	1,85	0,42	3,29	2,16
Pav. Térreo	L8	6	1,80	1,25	8,13	0,78	0,48	1,76	1,49
Pav. Térreo	L9	6	1,30	1,40	8,13	0,46	0,23	1,00	0,78
Pav. Térreo	L10	5A	1,50	1,20	8,13	0,55	1,03	1,41	1,32
Pav. Térreo	L11	3	1,70	1,30	8,13	0,95	0,59	2,20	1,84
Pav. Térreo	L12	3	2,70	1,05	9,90	2,12	1,93	5,36	5,18
Pav. Superior	L1	4B	5,40	1,45	9,15	10,43	3,36	21,68	-
Pav. Superior	L2	2B	1,70	>2,00	9,78	1,99	0,42	3,53	-
Pav. Superior	L3	2B	0,60	>2,00	8,83	0,22	0,05	0,40	-
Pav. Superior	L4	2B	0,60	>2,00	8,83	0,22	0,05	0,40	-
Pav. Superior	L5	2A	2,80	1,25	8,13	3,01	2,48	-	6,48
Pav. Superior	L6	5A	1,40	2,00	8,13	0,88	0,29	1,81	1,29
Pav. Superior	L7	5B	2,30	1,55	8,13	1,64	0,56	3,45	2,45
Pav. Superior	L8	3	1,30	>2,00	11,04	1,31	0,30	2,33	1,53
Pav. Superior	L9	5B	1,70	>2,00	9,90	1,19	0,25	2,38	1,61
Pav. Superior	L10	6	3,50	1,15	8,13	2,64	1,93	6,12	5,49
Pav. Superior	L11	2B	1,50	1,80	8,13	1,05	0,31	2,17	-
Pav. Superior	L12	5B	2,30	>2,00	8,13	1,79	0,38	3,58	2,43
Pav. Superior	L13	5B	1,30	>2,00	8,13	0,57	0,12	1,15	0,78
Pav. Cobertura	L2	4B	5,40	>2,00	8,13	9,89	1,80	19,76	-
Pav. Cobertura	L3	5B	5,60	>2,00	8,13	10,64	2,24	21,25	14,39
Pav. Cobertura	L5	5A	5,20	>2,00	8,13	15,46	3,96	27,49	17,86
Pav. Cobertura	L6	5B	2,30	>2,00	27,73	6,12	1,29	12,22	8,27
Pav. Cobertura	L7	5A	3,50	1,40	8,13	3,85	2,52	8,85	7,71

Fonte: Próprio Autor (2022).

Observações:

- Os valores dos momentos fletores solicitantes foram encontrados utilizando as Equações 7, 8, 9 e 10.

Os valores apresentados no Quadro 6 não são os valores finais, pode-se perceber que os momentos fletores negativos nos bordos de cada laje não são os mesmos e isso se deve ao fato que cada laje foi calculada de forma individual. Neste caso, a NBR 6118:2014 permite que seja feita uma compatibilização dos momentos fletores negativos. No entanto, vale frisar que a norma também permite adotar a maior armadura negativa em uma borda comum a duas lajes.

Por limitações e por esses valores não serem de caráter primário neste trabalho, o quadro com os cálculos de compatibilização, valores de momentos compatibilizados estão disponíveis no apêndice B, o Quadro 21 contém os dados da compatibilização.

Percebe-se no Quadro 7 que os momentos de engaste calculados pelo método simplificado possuem uma amplitude que varia de 3,66 a 19,96 kN.m. Os maiores valores de momento foram encontrados no pavimento superior, essa diferença entre os pavimentos se deve porque as lajes em balanço do pavimento superior possuem um guarda corpo em alvenaria de $h=1,5\text{m}$. Enquanto, as lajes em balanço do pavimento cobertura não possuem guarda-corpo algum.

Quadro 7 - Momentos fletores solicitantes (característicos) nas lajes em balanço.

Pavimento	Laje	I_x (m)	I_y (m)	γ_n^1	Comb. Últ. Normal Q_d (kN/m)	$P_{\text{parapeiro}}^2$ (kN)	M_{engaste}^3 (kN.m)
Pav. Superior	L14	1,10	3,50	1,35	8,83	2,27	11,80
Pav. Superior	L15	1,30	5,40	1,35	8,83	2,27	14,67
Pav. Superior	L16	1,60	8,00	1,35	8,83	2,27	19,85
Pav. Cobertura	L1	1,60	8,00	1,35	6,73	1,00	13,66
Pav. Cobertura	L4	0,60	5,60	1,35	6,73	1,00	3,66
Pav. Cobertura	L8	1,10	3,50	1,35	6,73	1,00	7,52
Pav. Cobertura	L9	1,30	5,40	1,35	6,73	1,00	9,71

Fonte: Próprio Autor (2022).

Observações:

1. O valor de γ_n é determinado conforme a Equação 21 e o Quadro 2;
2. Para o cálculo uma melhor visão do cálculo, ANEXO A - DIMENSIONAMENTO DE LAJES MACIÇAS EM BALANÇO, TÓPICO 2, paredes;
3. O momento de engaste é calculado utilizando a Equação 22.

4.5 Comparativo dos Momentos Fletores

Nesta seção do trabalho os momentos fletores encontrados em ambos os métodos são comparados e analisados. O Quadro 8 apresenta os dados referentes aos momentos fletores positivos das lajes armadas nas duas direções de todos os pavimentos.

Quadro 8 - Comparativo de momentos fletores positivos das lajes.

Pavimento	Laje	Momentos	Cálculo Manual (kN.m/m)	Software Eberick (kN.m/m)	Variação
Pav. Térreo	L1	Mx	13,42	12,15	10%
		My	5,74	18,20	-68%
	L2	Mx	3,10	5,59	-45%
		My	0,71	0,60	18%
	L3	Mx	0,95	1,76	-46%
		My	0,59	0,00	0%
	L4	Mx	5,87	6,03	-3%
		My	2,64	6,10	-57%
	L5	Mx	3,01	3,12	-4%
		My	2,48	3,00	-17%
	L6	Mx	0,46	0,03	1444%
		My	0,12	2,40	-95%
	L7	Mx	1,85	3,18	-42%
		My	0,42	2,60	-84%
	L8	Mx	0,78	0,36	117%
		My	0,48	1,80	-73%
	L9	Mx	0,46	0,18	154%
		My	0,23	1,10	-79%
	L10	Mx	0,55	0,00	0%
		My	1,03	1,70	-39%
	L11	Mx	0,95	0,57	67%
		My	0,59	0,60	-2%
	L12	Mx	2,12	0,73	191%
		My	1,93	3,60	-46%
Pav. Superior	L1	Mx	10,43	12,73	-18%
		My	3,36	15,80	-79%
	L2	Mx	1,99	20,29	-90%
		My	0,42	12,10	-97%
	L3	Mx	0,22	0,17	32%
		My	0,05	2,30	-98%
	L4	Mx	0,22	0,11	103%
		My	0,05	2,20	-98%
	L5	Mx	3,01	2,83	6%
		My	2,48	4,20	-41%
	L6	Mx	0,88	2,16	-59%
		My	0,29	11,30	-97%
	L7	Mx	1,64	0,16	922%
		My	0,56	5,10	-89%
	L8	Mx	1,31	3,98	-67%
		My	0,30	8,40	-96%

	L9	Mx	1,19	3,85	-69%	
		My	0,25	0,50	-50%	
	L10	Mx	2,64	1,54	71%	
		My	1,93	3,10	-38%	
	L11	Mx	1,05	0,41	157%	
		My	0,31	0,40	-23%	
	L12	Mx	1,79	5,19	-65%	
		My	0,38	2,60	-85%	
	L13	Mx	0,57	5,77	-90%	
		My	0,12	1,70	-93%	
	Pav. Cobertura	L2	Mx	9,89	8,54	16%
			My	1,80	9,80	-82%
		L3	Mx	10,64	9,72	9%
My			2,24	7,40	-70%	
L5		Mx	15,46	11,08	40%	
		My	3,96	3,04	30%	
L6		Mx	6,12	2,22	176%	
		My	1,29	6,40	-80%	
L7		Mx	3,85	3,21	20%	
		My	2,52	1,43	76%	

Fonte: Próprio Autor (2022).

Analisando os valores dispostos no Quadro 8, nota-se que houve uma variação significativa nos resultados obtidos. Para as comparações serem fidedignas, a variação de 1444% do pavimento térreo será desconsiderada dos cálculos das médias porque o dado se diferencia drasticamente de todos os outros (*outlier*).

Partindo deste pressuposto, foi calculada a média geral de todas as variações e seu resultado foi +21%, isso indica que o cálculo manual realizou em média superdimensionamento dos momentos fletores positivos quando comparado aos valores encontrados pelo *Eberick*.

Tendo em vista que a média geral superdimensionou a estrutura, calculou-se a média das variações do momento fletor por pavimento. Com essa análise foi possível perceber que tanto o pavimento térreo, quanto o pavimento superior possuem valores de variação iguais, de -6%, sendo este um forte indicativo que houve um subdimensionamento em relação ao software *Eberick*.

Em face desse cenário, calculou-se também a mesma média para o pavimento cobertura, o qual apresentou, diferentemente dos outros dois pavimentos anteriormente analisados, um superdimensionamento dos momentos fletores de 21%.

A laje L6 (Pav. Térreo) é relativamente fácil de ser calculada através método manual, porém, ela está engastada em outras três lajes, lajes essas que chegam a até três vezes sua própria

área. Observando esse cenário, o método das grelhas realizado pelo *Eberick* tem uma superioridade quando comparado com o método manual por conta da facilidade em calcular e iterar os valores encontrados em cada nó da grelha.

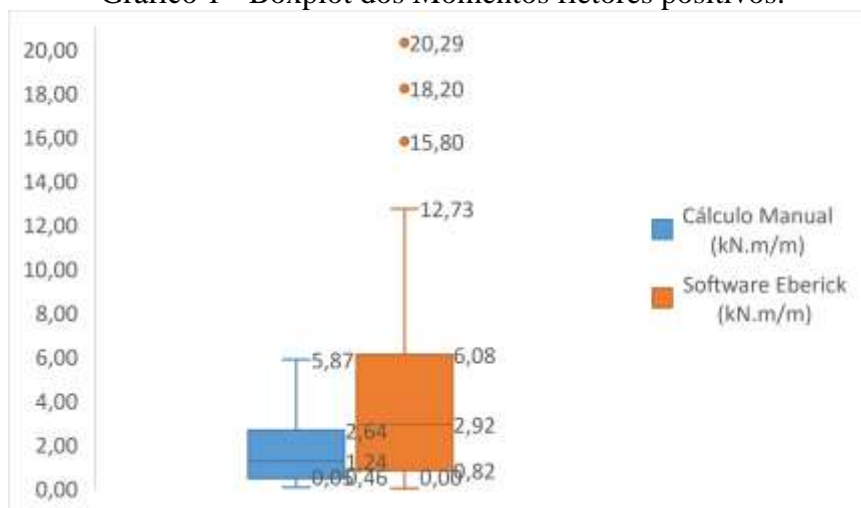
A diferença apresentada pela laje L7 (Pav. Superior) tem uma explicação, para o dimensionamento analítico da laje foi considerada um formato retangular. Contudo, a laje originalmente possui um formato de L e isso influenciou de forma direta no resultado obtido.

Percebe-se que os valores obtidos via *software*, no Quadro 8 e para a maioria das lajes, possuem valores maiores do que os obtidos via cálculo manual. Sendo que, apresentam uma amplitude que vai de -98% a 191%, desconsiderando o ponto mais extremo. Ao considerar todos os valores de momento, o comparativo possui uma amplitude de -98% a +1444%.

Utilizando a estatística descritiva para analisar os dados colhidos, percebe-se que os dados são do tipo não paramétrico. Levando esse fator em consideração, utilizou-se um gráfico do tipo *Boxplot* para comparar graficamente os conjuntos de dados do Quadro 8, no que diz respeito à mediana, à dispersão e à distribuição dos valores, Gráfico 1.

Ao analisar o Gráfico 1, percebe-se que os valores do cálculo manual possuem uma tendência de serem menores que os valores encontrados pelo *software*. Comparando os valores de mediana obtidos, o cálculo manual encontrado é 60% menor que o valor encontrado pelo método computacional, demonstrando que a maior parte dos valores encontrados pelo método analítico são inferiores aos valores encontrados pelo *Eberick*.

Gráfico 1 - Boxplot dos Momentos fletores positivos.



Fonte: Próprio Autor (2022).

Existe, também, uma diferença substancial entre a quantidade de *outliers*, o método computacional conseguiu detectar pontos específicos da estrutura que precisavam de reforço e isso acabou resultando em uma maior dispersão de resultados.

Na análise dos quartis obtidos, pode-se observar que os valores do primeiro quartil foram relativamente próximos (0,46 | 0,82). Porém, essa similaridade de valores se torna discrepante a partir do momento que se analisam os valores do terceiro quartil (2,64 | 6,08), isso demonstra, mais uma vez, a capacidade do *software* de calcular pontualmente os esforços e ocasiona essa maior amplitude nos resultados.

Pode-se afirmar que o cálculo simplificado considera que os apoios das lajes são rígidos e a determinação dos momentos fletores nas lajes depende dessa rigidez. De maneira oposta, o *Eberick* considera as vigas como deformáveis e analisa o conjunto de lajes e vigas como uma estrutura única através do sistema de grelha. Desta forma, o programa se propõe a encontrar os valores dos esforços em cada barra da grelha, calculando os momentos de flexão e torção em cada ponto de interseção das grelhas com rigor.

Por fim, é possível perceber que o *Eberick* tende a mostrar algumas lajes com resultados de esforços maiores em seu eixo Y do que no seu eixo X. Como premissa, o método manual sempre apresenta valores no seu eixo X maiores que no seu eixo Y, o contrário pode acontecer em raras exceções. Mais uma vez o método de cálculo simplificado é deficiente ao computacional, isso se deve a capacidade do programa de calcular a iteração entre as lajes.

De maneira a continuar os comparativos, fez-se o comparativo dos momentos negativos das lajes analisando os dados dispostos no Quadro 9.

Quadro 9 - Comparativo de momentos fletores negativos das lajes.

Pavimento	Laje	Cálculo Manual (kN.m/m)	Software Eberick (kN.m/m)	Variação
Pav. Térreo	L1 - L2	22,90	16,43	39%
	L1 - L3	22,90	17,23	33%
	L2 - L3	2,90	12,29	-76%
	L4 - L6	0,42	2,43	-83%
	L4 - L7	10,10	6,45	57%
	L5 - L6	0,42	6,92	-94%
	L5 - L9	5,18	0,27	1820%
	L5 - L10	5,18	2,27	128%
	L6 - L8	1,41	1,02	38%
	L7 - L8	1,83	3,49	-48%
	L8 - L9	1,25	1,40	-11%
	L8 - L11	1,98	4,48	-56%
	L9 - L10	1,21	4,36	-72%
	L9 - L12	4,29	6,27	-32%
	L10 - L12	4,29	5,28	-19%
L11 - L12	4,14	3,29	26%	
Pav. Superior	L1 - L2	17,34	14,58	19%
	L3 - L4	0,40	0,65	-38%
	L3 - L6	1,03	1,32	-22%
	L6 - L7y	1,96	1,59	23%
	L6 - L7x	2,76	4,16	-34%
	L5 - L7	5,18	5,26	-1%
	L7 - L8	1,99	4,21	-53%
	L7 - L10	4,90	4,80	2%
	L8 - L9	2,36	5,27	-55%
	L9 - L10	4,90	3,58	37%
	L9 - L12	2,86	1,99	44%
	L10 - L11	4,90	4,50	9%
	L10 - L12	4,90	6,94	-29%
L12 - L13	2,86	2,15	33%	
Pav. Cobertura	L2 - L3	20,51	14,56	41%
	L3 - L5	19,56	12,40	58%
	L3 - L6	17,00	12,59	35%
	L5 - L6	21,99	21,08	4%
	L5 - L7	21,99	18,53	19%
	L6 - L7	9,97	6,36	57%

Fonte: Próprio Autor (2022).

Levando em consideração os resultados de variação presentes no Quadro 9, percebe-se que a discrepância nos resultados obtidos para os momentos fletores negativos foram menores

que as apresentadas pelo Quadro 8. Calculando-se a média geral das variações dos momentos fletores negativos do Quadro 9, obtém o valor de -1% (desconsiderando os valores: -83%, -76%, +128% e 1820%). Pode-se concluir, de maneira ampla e inicial, que houve uma similaridade entre os valores encontrados apesar de o resultado representar um subdimensionamento da estrutura.

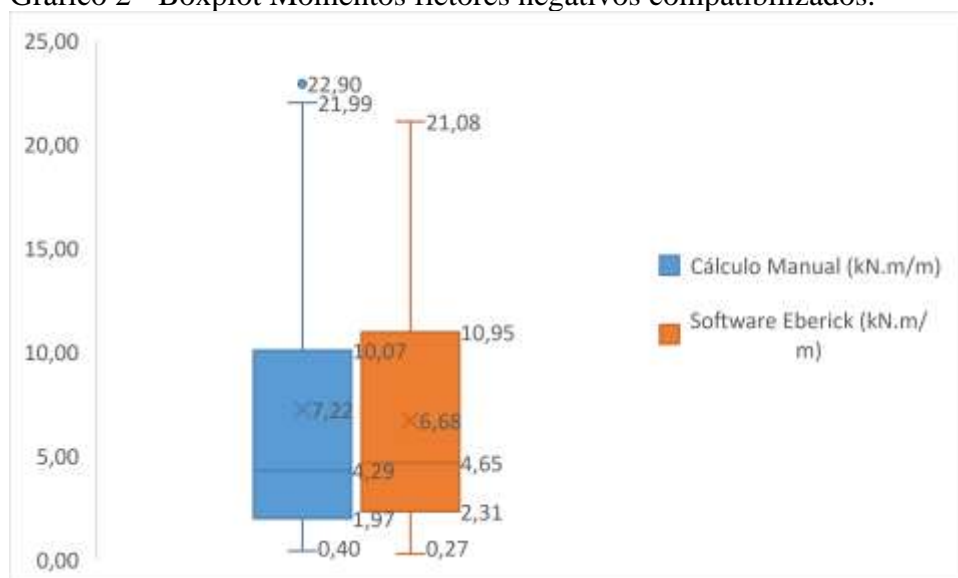
Realizando uma análise cuidadosa das médias dos momentos negativos por pavimento, é possível notar uma similaridade dos resultados obtidos no Quadro 9 com os obtidos pelo Quadro 8. Os pavimentos térreo e superior também apresentaram valores médios inferiores aos valores encontrados via método computacional. Isto é, foram subdimensionados e apresentaram respectivamente valores médios de -11% e -5%, enquanto o pavimento cobertura apresentou um superdimensionamento de +36%.

A diferença entre os três pavimentos é a mesma citada anteriormente, se deve a complexidade dos arranjos estruturais dos primeiros dois pavimentos e a falta de representatividade do comportamento real da estrutura advinda do método de cálculo manual.

Pode-se verificar também que os momentos negativos apresentam uma amplitude de resultados de -83% a 128%, desconsiderando os quatro pontos citados anteriormente e uma amplitude de -94% a 1820% com todos os pontos.

Analisando à dispersão e distribuição dos resultados dispostos no Gráfico 2, observa-se que os valores dos momentos negativos compatibilizados muito similares, tanto em amplitude, *outliers*, medianas e até mesmo o primeiro e terceiro quartil tiveram valores próximos. Isso demonstra uma alta compatibilidade entre os métodos quando se realiza a compatibilização dos momentos fletores negativos.

Gráfico 2 - Boxplot Momentos fletores negativos compatibilizados.



Fonte: Próprio Autor (2022).

No Quadro 10 são apresentados os resultados dos valores dos momentos de engaste para todas as lajes em balanço, via método manual e *software*, assim como os resultados da variação percentual entre os dois resultados.

Quadro 10 - Comparativos dos momentos de engaste das lajes em balanço.

Pavimento	Laje	Cálculo Manual (kN.m/m)	Software Eberick (kN.m/m)	Variação
Pav. Superior	L14	11,80	12,67	-7%
Pav. Superior	L15	14,67	12,59	16%
Pav. Superior	L16	19,85	14,83	34%
Pav. Cobertura	L1	13,66	11,25	21%
Pav. Cobertura	L4	3,66	3,98	-8%
Pav. Cobertura	L8	7,52	7,86	-4%
Pav. Cobertura	L9	9,71	8,21	18%

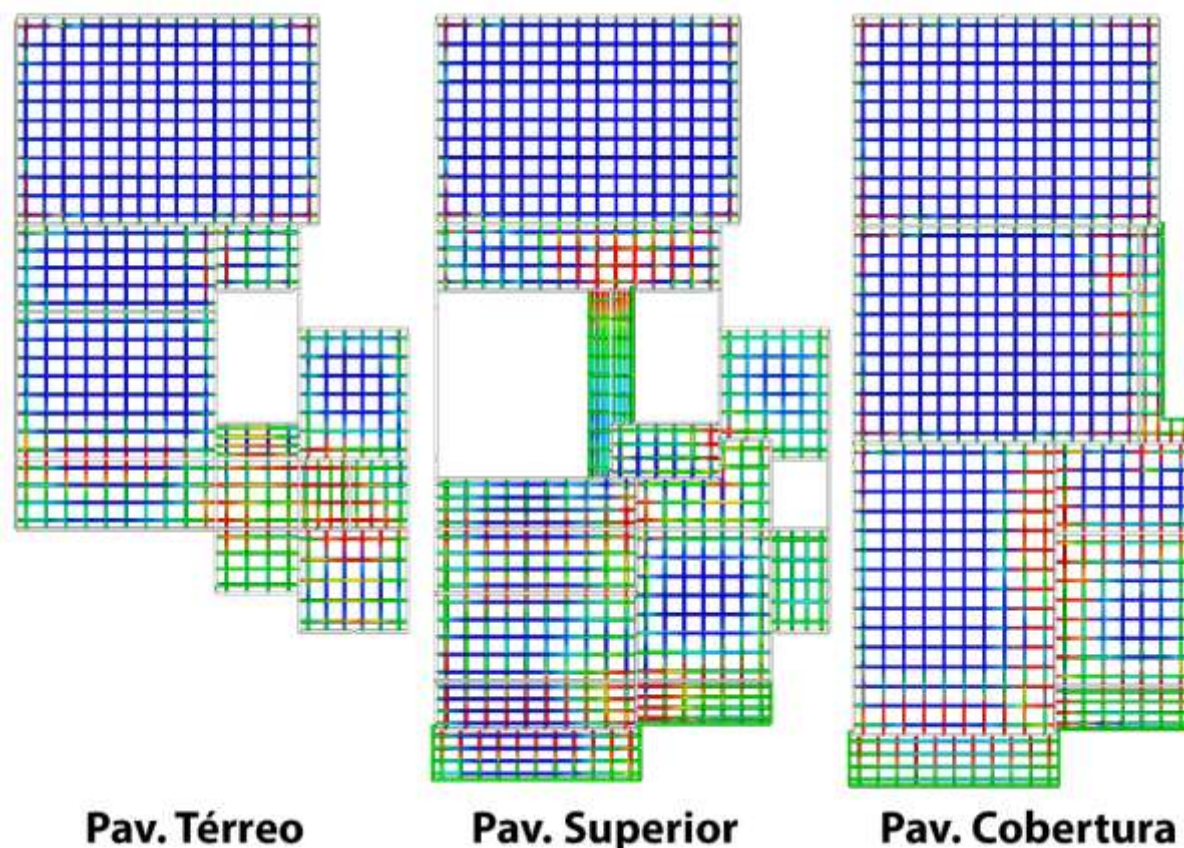
Fonte: Próprio Autor (2022).

Para os momentos de engaste das lajes em balanço, é notável que houve um superdimensionamento por parte do cálculo manual. A média geral da variação dos momentos de engaste foi de +10% e a média por pavimento foi: +15% para o pavimento superior e +7% para o pavimento cobertura.

A variação entre as médias dos dois pavimentos advém das considerações iniciais adotadas para cada laje em balanço. Adotou-se para todas as lajes em balanço do pavimento superior, o uso de parapeito em alvenaria na extremidade livre. Enquanto, as lajes em balanço do pavimento cobertura não possuem esses parapeitos, mas assumiu-se a existência de uma carga pontual de 1kN em sua extremidade, exigência da norma NBR 6118:2014 no dimensionamento de lajes em balanço.

Outro ponto importante, existe uma majoração que ocorre no cálculo simplificado do momento de engaste das lajes em balanço com parapeito que é a multiplicação do momento de engaste encontrado por um coeficiente de segurança (γ_n) que toma como base a altura da laje 9 (Equação 21, Quadro 2). Enquanto, o *Eberick* realiza o cálculo considerando apenas as cargas existentes e utilizando o método das grelhas para calcular os momentos em cada interseção da malha.

Figura 19 - Picos de esforços nas lajes



Fonte: Próprio Autor (2022).

Concluindo a análise dos momentos fletores, os pavimentos que apresentaram maior discrepância possuem regiões com uma maior concentração de esforços. O programa, diferente do cálculo simplificado, gera valores de momentos para cada nó e também consegue determinar quais nós desses tramos está sofrendo um maior estresse (pontos vermelhos na Figura 19), estresse também pode ser definidos como picos de esforços. Todavia, o cálculo manual analisa de forma mais ampla, calculando o valor do momento no eixo de simetria da estrutura.

Por fim, constata-se que as variações obtidas são provenientes de uma deficiência do cálculo simplificado que se baseia na análise individual de cada elemento. Enquanto, o *Eberick* analisa a estrutura como um todo, através do modelo de pórtico espacial que consegue verificar e aplicar forças em qualquer direção do espaço tridimensional, gerando uma análise estrutural mais completa.

4.6 Comparativo das Armaduras Longitudinais

Prosseguindo com os comparativos, os próximos itens a serem comparados e analisados, são as áreas de aço referentes as armaduras longitudinais de toda a estrutura. Os resultados das

áreas de aço das armaduras longitudinais positivas estão dispostas no Quadro 11 e contém os valores de área de cada método, assim como a variação percentual entre as áreas.

Quadro 11 - Armaduras Longitudinais Positivas

Pavimento	Laje	Direção	Cálculo Manual (cm ² /m)	Software Eberick (cm ² /m)	Variação
Pav. Térreo	L1	X	3,43	3,21	7%
		Y	1,87	5,55	-66%
	L2	X	1,25	1,86	-33%
		Y	1,87	0,99	89%
	L3	X	1,25	1,86	-33%
		Y	1,87	0,99	89%
	L4	X	1,56	1,54	1%
		Y	1,87	1,68	11%
	L5	X	1,25	1,23	1%
		Y	1,87	1,33	41%
	L6	X	1,25	0,92	36%
		Y	1,87	2,00	-6%
	L7	X	1,25	1,23	1%
		Y	1,87	1,33	41%
	L8	X	1,25	0,92	36%
		Y	1,87	2,00	-6%
	L9	X	1,25	0,92	36%
		Y	1,87	2,00	-6%
	L10	X	1,25	0,92	36%
		Y	1,87	2,00	-6%
	L11	X	1,25	1,23	1%
		Y	1,87	1,33	41%
	L12	X	1,25	1,23	1%
		Y	1,87	1,33	41%
Pav. Superior	L1	X	2,81	3,37	-17%
		Y	1,87	4,77	-61%
	L2	X	1,25	5,60	-78%
		Y	1,87	3,69	-49%
	L3	X	1,25	0,92	36%
		Y	1,87	2,00	-6%
	L4	X	1,25	0,92	36%
		Y	1,87	2,00	-6%
	L5	X	1,25	1,23	1%
		Y	1,87	1,33	41%
	L6	X	1,25	0,92	36%
		Y	1,87	3,21	-42%
	L7	X	1,25	0,92	36%

	L8	Y	1,87	2,00	-6%
		X	1,25	1,23	1%
	L9	Y	1,87	2,37	-21%
		X	1,25	1,86	-33%
	L10	Y	1,87	0,99	89%
		X	1,25	1,54	-19%
	L11	Y	1,87	1,33	41%
		X	1,25	1,23	1%
	L12	Y	1,87	1,33	41%
		X	1,25	1,32	-6%
	L13	Y	1,87	1,33	41%
		X	1,25	1,47	-15%
	Pav. Cobertura	L2	X	2,81	2,20
Y			1,87	2,77	-32%
L3		X	2,81	2,54	10%
		Y	1,87	2,09	-11%
L5		X	4,05	2,91	39%
		Y	1,87	1,35	39%
L6		X	1,56	1,23	27%
		Y	1,87	1,78	5%
L7		X	1,25	1,23	1%
		Y	1,87	1,43	31%

Fonte: Próprio Autor (2022).

Observando os valores percentuais de variação no Quadro 11, é possível perceber que o método simplificado apresentou valores superiores aos calculados via *software*. Lembrando que, anteriormente, na análise dos momentos fletores das lajes houve uma discrepância razoável entre os dois métodos nos valores de momento fletor positivo. Porém, no cálculo das áreas de aço para as armaduras longitudinais positivas, os valores dimensionados pelo cálculo manual acabaram sendo superiores.

Analisando os percentuais de variação, ao calcular a média geral das áreas de aço das armaduras longitudinais encontra-se +9%, demonstrando que existe um superdimensionamento do cálculo simplificado ante ao calculado via *Eberick*. Em termos de amplitude, os valores variaram de -78% a 89% e na maioria dos casos a variação percentual foi baixa.

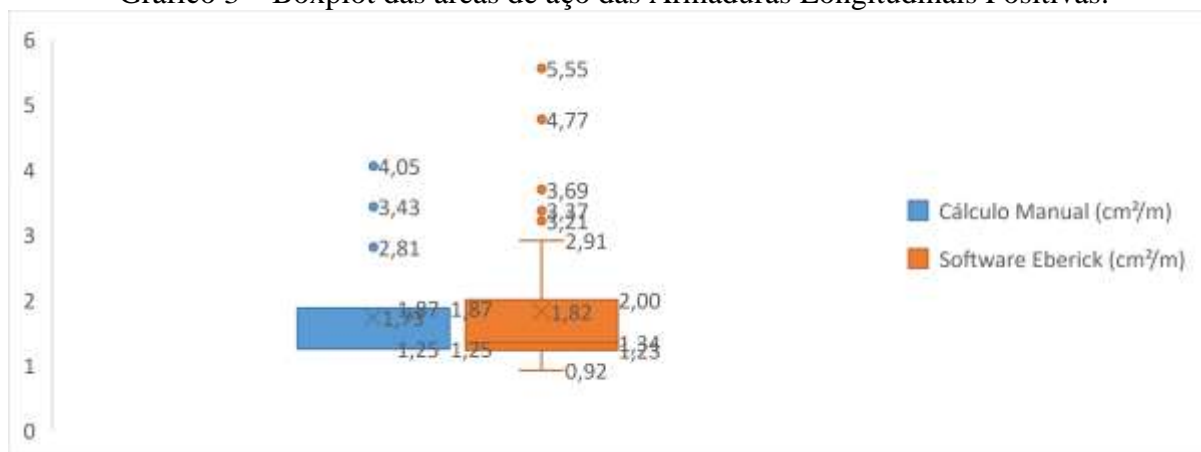
Ao calcular a média da variação das áreas de aço da armadura longitudinal por pavimento, nota-se que o pavimento superior apresentou a menor variação percentual na taxa de aço entre todos os três pavimentos, +3%. Enquanto, o pavimento térreo e o pavimento cobertura apresentaram um taxa de 15% e 14% respectivamente. Isso demonstra que o método

de cálculo simplificado apresentado por Pinheiro (2007) pode vir a ser utilizado de maneira segura, mas possui um maior custo.

Em relação aos valores de variação negativos e próximos a amplitude negativa máxima, as lajes L1 e L2 se destacaram e o principal motivo se deve a dificuldade de determinar a influência real das cargas paredes sobre a laje no método simplificado.

Observando o Quadro 8 e o Quadro 11, fica evidente o motivo da diferença nas áreas de aço longitudinais positivas. No Quadro 8, os momentos positivos encontrados pelo programa são bem maiores no eixo Y que os encontrados através do método simplificado, que por padrão, apresenta sempre os maiores valores em seu eixo de menor vão efetivo.

Gráfico 3 – Boxplot das áreas de aço das Armaduras Longitudinais Positivas.



Fonte: Próprio Autor (2022).

No Gráfico 3, é possível notar que a amplitude apresentada pelas áreas de aço calculadas através do método computacional foram maiores que as amplitudes encontradas através do método simplificado. Também existe uma maior quantidade de pontos distantes da mediana, abaixo do primeiro quartil e acima do terceiro quartil. O motivo destes resultados se deve ao método das grelhas, que identifica os pontos críticos e onde há menor esforço, calcula os valores de momento e dimensiona a quantidade de aço necessária para estrutura resistir de forma segura.

Pode-se afirmar que apesar do superdimensionamento dos valores observados no Gráfico 1, entre os resultados de momento fletor positivo calculados do *software* e através do cálculo manual, as áreas de aço encontradas para as armaduras longitudinais positivas foram bem próximas e são aceitáveis.

No Quadro 12 é apresentado um comparativo dos valores encontrados para as áreas de aço das armaduras longitudinais negativas. O quadro também mostra o delta da variação entre os resultados obtidos entre os dois métodos abordados nesse trabalho.

Quadro 12 - Comparativo das áreas de aço das Armaduras Longitudinais Negativas

Pavimento	Lajes	Cálculo Manual (cm ² /m)	Software Eberick (cm ² /m)	Variação
Pav. Térreo	L1 - L2	6,23	5,30	18%
	L1 - L3	6,23	3,24	92%
	L2 - L3	1,87	2,92	-36%
	L4 - L6	1,87	1,78	5%
	L4 - L7	2,81	3,32	-15%
	L5 - L6	1,87	1,37	37%
	L5 - L9	1,87	1,19	57%
	L5 - L10	1,87	1,44	30%
	L6 - L8	1,87	2,15	-13%
	L7 - L8	1,87	1,45	29%
	L8 - L9	1,87	1,78	5%
	L8 - L11	1,87	1,48	26%
	L9 - L10	1,87	1,78	5%
	L9 - L12	1,87	1,78	5%
	L10 - L12	1,87	1,44	30%
L11 - L12	1,87	3,89	-52%	
Pav. Superior	L1 - L2	4,68	2,87	63%
	L3 - L4	1,87	0,00	186935%
	L3 - L6	1,87	1,58	18%
	L6 - L7y	1,87	1,58	18%
	L6 - L7x	1,87	5,65	-67%
	L5 - L7	1,87	4,32	-57%
	L7 - L8	1,87	1,74	7%
	L7 - L10	1,87	3,26	-43%
	L8 - L9	1,87	1,56	20%
	L9 - L10	1,87	2,20	-15%
	L9 - L12	1,87	1,43	31%
	L10 - L11	1,87	1,61	16%
	L10 - L12	1,87	0,98	91%
L12 - L13	1,87	1,21	55%	
Pav. Cobertura	L2 - L3	5,61	4,08	38%
	L3 - L5	5,61	8,87	-37%
	L3 - L6	4,68	3,16	48%
	L5 - L6	6,23	3,68	69%
	L5 - L7	6,23	3,62	72%
	L6 - L7	2,81	2,97	-6%

Fonte: Próprio Autor (2022).

As análises realizadas com o Quadro 12 desconsideram o valor encontrado na laje do pavimento superior L3-L4, de +186935%. O motivo é que o *Eberick* considerou que interação

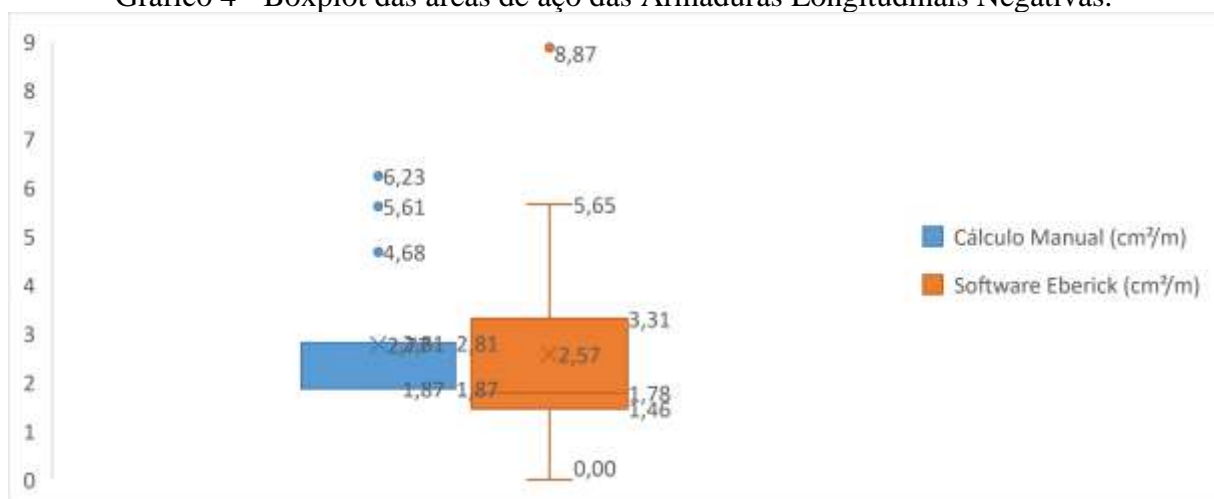
entre as lajes L3-L4 não carecia de armaduras negativas, enquanto, para o calculo simplificado foi necessário considerar o uso da área de aço mínima.

Em geral, quando se calcula a média da variação do momento fletor negativo de todos os pavimentos, percebe-se que há um superdimensionamento das armaduras de combate aos momentos negativos de +16%. Isso também ocorre sem o uso da média geral, é possível identificar esse superdimensionamento observando a repetição da cor amarela ante a vermelha no Quadro 12.

Calculando-se a média da variação dos momentos fletores negativos por pavimento, nota-se o pavimento superior apresentou um maior superdimensionamento diante dos valores encontrados nos pavimentos térreo e superior. Em termos de valores, as taxas de aço para cada pavimento foi: +14% para o pavimento térreo, +11% para o pavimento superior e +31% para o pavimento superior.

No Gráfico 4 foi copilado com os dados presentes no Quadro 12, ele representa a amplitude, *outliers*, mediana e dispersão dos dados. É possível perceber que os dados apresentados pelo software possuem uma amplitude muito superior aos dados calculados pelo método simplificado. Porém, nota-se que o primeiro quartil do cálculo manual é bem superior aos valores do software, demonstrando um superdimensionamento em diversos pontos da estrutura.

Gráfico 4 - Boxplot das áreas de aço das Armaduras Longitudinais Negativas.



Fonte: Próprio Autor (2022).

Por fim, o último estudo comparativo realizado analisa as armaduras longitudinais das lajes em balanço, dado que o estudo possui sete lajes em balanço e todas estão apresentadas no Quadro 13.

Quadro 13 - comparativo das Áreas de aço das Armaduras das lajes em balanço

Pavimento	Lajes	Cálculo Manual (cm ² /m)		Software Eberick (cm ² /m)		Variação	
		As primário	As secundário	As primário	As secundário	Delta principal (%)	Delta secundario (%)
		Pav. Superior	L14	2,49	1,25	2,00	0,92
Pav. Superior	L15	3,12	1,56	1,86	0,99	68%	57%
Pav. Superior	L16	4,36	1,25	2,11	0,99	107%	26%
Pav. Cobertura	L1	3,12	1,56	1,86	0,99	68%	57%
Pav. Cobertura	L4	1,25	0,98	2,9	1,01	-57%	-3%
Pav. Cobertura	L8	1,56	0,98	1,53	1,23	2%	-20%
Pav. Cobertura	L9	2,18	1,09	1,86	0,99	17%	10%

Fonte: Próprio Autor (2022).

A partir do Quadro 13, percebe-se claramente que o dimensionamento manual das lajes em balanço também foi muito superior ao dimensionamento realizado pelo *Eberick*. Com exceção da laje L4 do pavimento cobertura, essa discrepância advém da consideração inicial em relação à sua forma e diversas outras como as aproximações que as tabelas de Kc e Ks possuem. Ela possui um formato em L e está engastada em dois dos seus quatro lados, porém, para o seu dimensionamento manual considerou-se que ela possuía um formato quadrado e estava engastada em apenas um dos seus lados. Portanto, a diferença na área de aço está 100% correlacionada a consideração adotada para o cálculo.

Em resumo, todos os comparativos realizados apresentaram variações e em geral tenderam ao superdimensionamento da estrutura. Nos comparativos, os cálculos de momentos fletores foram os que mais apresentaram discrepância entre os dois métodos. Enquanto, nas armaduras positivas, negativas e das lajes em balanço as variações foram muito menores e aceitáveis.

As taxas de armadura encontradas através do método simplificado eram, em sua maioria, superiores aos valores encontrados pelo *software*. Isso demonstra que o cálculo simplificado trabalha com uma maior margem de segurança, houveram algumas exceções as quais os valores calculados pelo *Eberick* excediam os valores do método analítico. Porém, havia justificativas plausíveis para a maior parte das exceções.

No Apêndice A estão dispostos os memoriais de cálculo para o dimensionamento manual de cada tipo de laje: bidirecional, unidirecional e em balanço. E, para complementar o trabalho, o Apêndice B mostra o resumo de todos os procedimentos do cálculo simplificado.

5 CONCLUSÃO

Diante do exposto, nota-se que os valores obtidos pelo método simplificado e através do *Eberick* apresentam variações consideráveis, essas desigualdades são decorrentes das particularidades que cada método utiliza. O método analítico baseia-se na análise de cada elemento, enquanto a análise computacional analisa a estrutura de forma global, levando em consideração a iteração de todos os elementos (lajes, vigas e pilares). Entretanto, para obras de pequeno e médio porte, essa diferença de resultados é praticamente insignificante. Porém, se existir um elevado número de lajes por pavimento, como o encontrado neste trabalho ou em obras de grande porte, a diferença econômica fica evidente devido ao aço ser um insumo que influencia diretamente no custo final da obra.

Vale salientar que a grande variabilidade nos valores dos momentos fletores positivos deve-se à capacidade do programa de analisar as concentrações de cargas e calcular o momento da laje baseado nesses picos de esforços e, sendo assim, cabe ao engenheiro estrutural interpretar os valores encontrados e a sua coerência.

Em referência aos valores obtidos para as áreas de aço das armaduras longitudinais, as variações foram bem menores quando comparadas com os valores de momento fletores encontrados anteriormente. De modo geral, o cálculo manual resultou em uma maior taxa de aço que o método computacional e isso se deve à necessidade normativa e adoção da área de aço mínima. Os valores que apresentaram uma grande discrepância, em sua maioria, se devem a simplificação do formato das lajes.

Pode-se concluir com esse estudo que *software* de modelagem estrutural analisado mostrou ser eficiente, realizando o dimensionamento das lajes de forma segura e com um quantitativo de aço inferior aos valores encontrados através do método simplificado de Pinheiro (2007). Além dos fatores supracitados, o *Eberick* é uma alternativa vantajosa para o dimensionamento destes elementos, principalmente, pela rapidez que ele promove para emissão dos resultados, realização de análises e na facilidade de plotagem dos detalhamentos das armaduras.

Portanto, conclui-se que o estudo cumpriu com os objetivos inicialmente propostos, foi analisado o comparativo entre os dois métodos de dimensionamento e obteve-se a maneira mais confiável de se realizar um projeto estrutural. Além de que, demonstrou a eficiência do dimensionamento via *software*, por ele realizar uma análise próxima do comportamento real de uma estrutura.

6 REFERÊNCIAS

RIFKIN , Jeremy. **A Terceira Revolução Industrial: Como o Poder Lateral está Transformando a Energia, a Economia e o Mundo.** 1ª edição. ed. rev. [S. l.]: M.Books, 2021. 260 p. ISBN B095PPK4Q9. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento.** Rio de Janeiro, 2014.

BASTOS, P. S. S. **Notas de Aula – Estruturas de Concreto I.** São Paulo: UNESP, 2014. Disponível em: <http://www.pf.feb.unesp.br/pbastos/pag_concreto1.htm>. Acesso em: 06 setembro. 2021.

BASTOS, P. S. S. **Lajes de concreto.** Universidade Estadual Paulista: São Paulo, 2015.

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

Martha, L. F. **ANÁLISE DE ESTRUTURAS: Conceitos e Métodos Básicos.** 2. ed. [S. l.]: Elsevier; 2ª edição (30 março 2010), 2010. 560 p. v. 1. ISBN 8535234551.

CARVALHO, Roberto Chust; FIGUEIREDO FILHO, Jasson Rodrigues de. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado: segundo a NBR 6118:2014.** 4. ed. São Carlos, SP: EdUFSCar, 2014. 424 p. ISBN 9788576000860.

PINHEIRO, L. M. **FUNDAMENTOS DO CONCRETO E PROJETO DE EDIFÍCIOS.** UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. São Carlos. 2007.

ARAÚJO, José Milton de. **Curso de Concreto Armado.** 2. Ed. Rio Grande: Dunas, 2014. v. 1.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8681: Ações e segurança nas estruturas – Procedimento.** Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7480: Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado – Especificação.** Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9062: Projeto e Execução de Estruturas de Concreto Pré-Moldado – Especificação.** Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14859-1: Laje pré-fabricada: Requisitos: Lajes unidirecionais.** Rio de Janeiro, 2016.

APENDICE A – Memorial de Cálculo para o Dimensionamento Manual

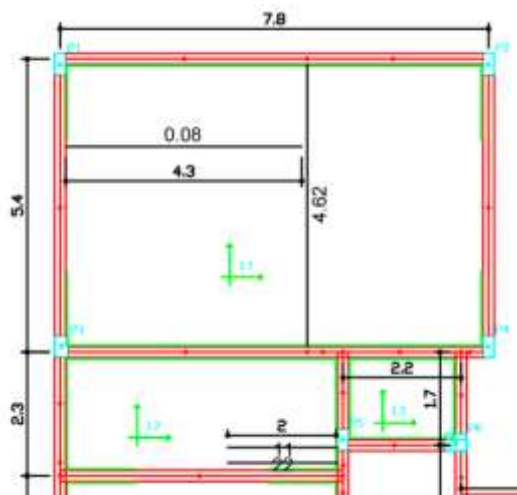
DIMENSIONAMENTO DE LAJES MACIÇAS BIDIRECIONAIS

O roteiro abaixo serve para exemplificar os cálculos realizados para as lajes armadas em duas direções, o cálculo exemplo será realizado para a laje 1 (L1) do pavimento térreo.

1. Discretização do pavimento.

- **Determinação dos vãos efetivos da laje (valores de eixo a eixo) e lambda:**

Vínculos nas bordas da laje L1, Pav. Térreo.



Fonte: Autor.

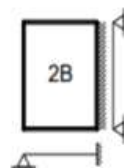
$$l_x = 5,40 \text{ m}$$

$$l_y = 7,80 \text{ m}$$

$$\lambda = \frac{l_y}{l_x} = \frac{7,80}{5,40} = 1,44$$

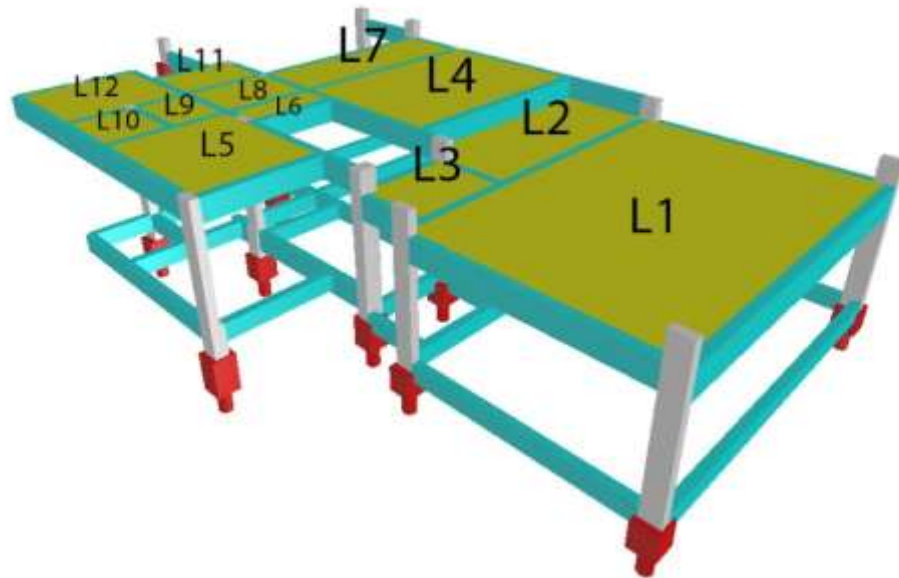
- **Determinação do vínculo nas quatro bordas da laje:**

Caso 1 Método de Bares.



Fonte: Autor.

Caso 1 Método de Bares.



Fonte: Autor.

2. Cálculo das cargas atuantes:

➤ Cargas permanentes:

➤ Peso próprio:

$$g_1 = h \times Y_{concreto} = 0,12 \times 25 = 3,00 \text{ kN/m}^2$$

➤ Contra piso:

$$g_2 = e_{contrapiso} \times Y_{contrapiso} = 0,02 \times 21 = 0,42 \text{ kN/m}^2$$

➤ Revestimento Superior - Porcelanato:

$$g_3 = e_{porcelanato} \times Y_{porcelanato} = 0,01 \times 23 = 0,23 \text{ kN/m}^2$$

➤ Paredes:

- A laje L1 possui uma parede de 5,4 metros de comprimento com um peso de 4,62 kN/m. Além disso, possui uma cortina de vidro de 4,3m e 0,08 kN/m. Ambos possuem 2,80 metros de altura e estão sobre uma laje com área de 42,12 m² ($L_x \times L_y$). Sendo assim:

$$g_4 = \frac{(4,62 + 0,08) * 2,80}{42,12} = 0,11 \text{ kN/m}^2$$

➤ Sobrecarga:

- Não existe sobrecarga nesta laje.

- Revestimento Inferior – forro de gesso acartonado com espessura média de 3 cm e peso específico de 22 kN/m²:

$$g_4 = e_{\text{forro}} \times Y_{\text{forro}} = 0,03 * 22 = 0,66 \text{ kN/m}^2$$

➤ Somatório:

$$g_{\text{total}} = g_1 + g_2 + g_3 + g_4 = 3,00 + 0,42 + 0,23 + 0,11 + 0,66 = 4,42 \text{ kN/m}^2$$

➤ Carga Acidental:

$$q = 2,00 \text{ kN/m}^2$$

➤ Combinação última normal:

$$Q_d = \sum_{i=1}^n Y_g Q_{gg} + Y_q Q_{gk} = 1,4 * (4,42 + 2,00) = 8,988 \text{ kN/m}^2$$

3. Cálculo dos momentos fletores:

➤ Momentos máximos positivos, por unidade de comprimento, nas direções x e y:

- Laje Tipo 1

$$\lambda = 1,45 = \begin{cases} \mu_x = ? \\ \mu_y = ? \\ \mu'_x = ? \end{cases}$$

λ	Comb. Últ. Normal (kN/m ²)	U _x	U _y	U' _x	U' _y
1,45	8,99	5,12	2,19	10,92	-

$$M_x = \mu_x \frac{Q_d L_x^2}{100} = 5,12 * \frac{8,99 * 5,4^2}{100} = 13,42 \text{ kN.m/m}$$

$$M_y = \mu_y \frac{Q_d L^2_x}{100} = 2,19 * \frac{8,99 * 5,4^2}{100} = 5,74 \text{ kN.m/m}$$

$$M'_x = \mu'_x \frac{Q_d L^2_x}{100} = 10,92 * \frac{8,99 * 5,4^2}{100} = 28,63 \text{ kN.m/m}$$

➤ **Momentos máximos negativos, por unidade de comprimento, nas direções x e y:**

$$\begin{cases} M'_x = 28,63 \text{ kN.m/m} \\ M'_y = 0 \text{ kN.m/m} \end{cases}$$

- As lajes L2 e L3 estão engastadas em L1. Portanto, deve-se calcular o momento negativo nos bordos e compatibilizar os momentos fletores. Será realizado apenas o cálculo da Laje 3 como exemplo, o mesmo foi realizado para a Laje 2.

▪ **Determinação dos vãos efetivos da laje L3 (valores de eixo a eixo) e lambda:**

$$l_x = 1,70 \text{ m}$$

$$l_y = 2,20 \text{ m}$$

$$\lambda = \frac{l_y}{l_x} = \frac{2,20}{1,70} = 1,2941 \cong 1,30$$

▪ **Determinação do vínculo nas quatro bordas da laje:**

$$\begin{cases} L2 = \text{Tipo 3, com dois lados engastados (Lx e Ly) e 2 apoiados.} \\ L3 = \text{Tipo 3, com dois lados engastados (Lx e Ly) e 2 apoiados.} \end{cases}$$

Casos L2 e L3 respectivamente.



Fonte: Autor.

▪ **Cargas permanentes:**

❖ **Peso próprio:**

$$g_1 = h \times Y_{concreto} = 0,12 \times 25 = 3,00 \text{ kN/m}^2$$

❖ **Contra piso:**

$$g_2 = e_{contrapiso} \times Y_{contrapiso} = 0,02 \times 21 = 0,42 \text{ kN/m}^2$$

❖ **Revestimento Superior - Porcelanato:**

$$g_3 = e_{porcelanato} \times Y_{porcelanato} = 0,01 \times 23 = 0,23 \text{ kN/m}^2$$

❖ **Paredes:**

- Não existe parede sobre esta laje.

❖ **Sobrecarga:**

- Não existe sobrecarga nesta laje.

❖ **Revestimento Inferior – forro de gesso acartonado com espessura média de 3 cm e peso específico de 22 kN/m²:**

$$g_4 = e_{forro} \times Y_{forro} = 0,03 \times 22 = 0,66 \text{ kN/m}^2$$

❖ **Somatório:**

$$g_{total} = g_1 + g_2 + g_3 + g_4 = 3 + 0,42 + 0,23 + 0,66 = 4,31 \text{ kN/m}^2$$

❖ **Carga Acidental:**

$$q = 1,5 \text{ kN/m}^2$$

❖ **Combinação última normal:**

$$Q_d = \sum_{i=1}^n Y_g Q_{gg} + Y_q Q_{gk} = 1,4 * (4,31 + 1,5) = 8,134 \text{ kN/m}^2$$

❖ **Cálculo dos momentos fletores:**

a. Momentos máximos positivos, por unidade de comprimento, nas direções x e y:

➤ Laje Tipo 3

$$\text{➤ } \lambda = 1,4444 \cong 1,45 \begin{cases} \mu_x = ? \\ \mu_y = ? \\ \mu'_x = ? \\ \mu'_y = ? \end{cases}$$

λ	Comb. Últ. Normal (kN/m ²)	U _x	U _y	U' _x	U' _y
1,30	8,13	4,0600	2,5000	9,3700	7,8100

$$M_x = \mu_x \frac{Q_d L_x^2}{100} = 4,0600 * \frac{8,13 * 1,7^2}{100} = 0,9544 \text{ kN.m}$$

$$M_y = \mu_y \frac{Q_d L_x^2}{100} = 2,5000 * \frac{8,13 * 1,7^2}{100} = 0,5877 \text{ kN.m}$$

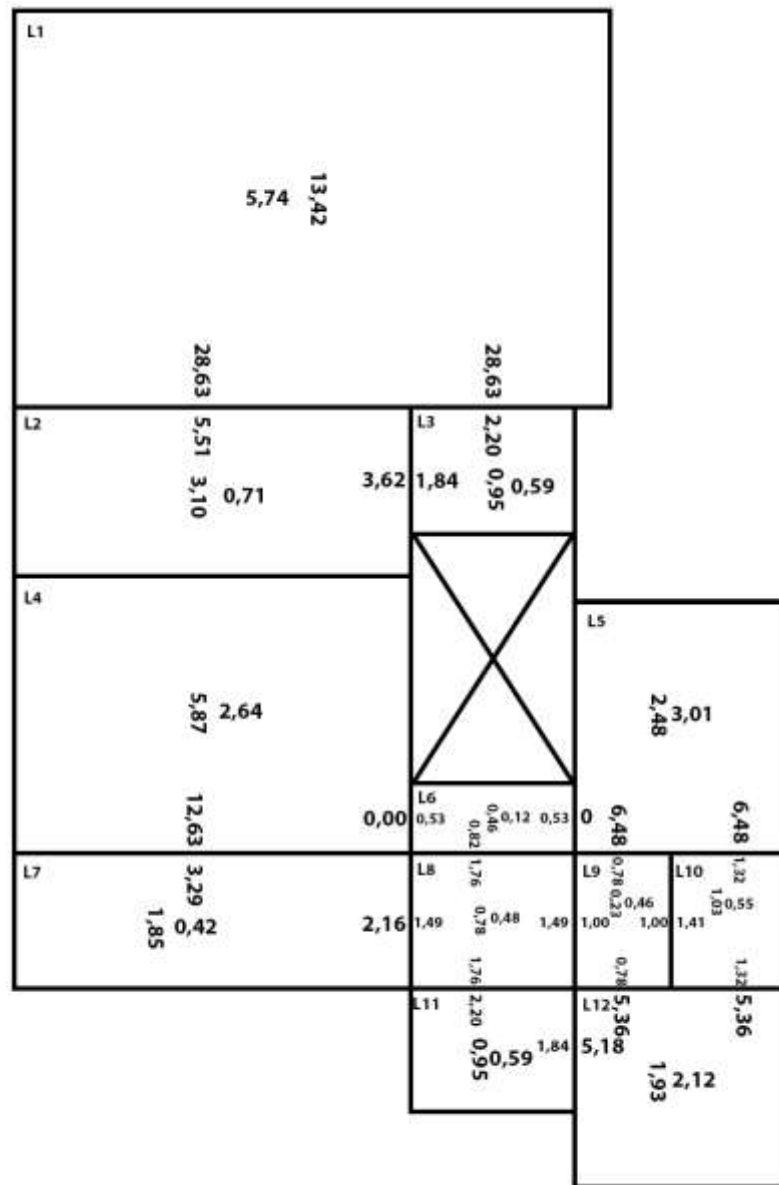
b. Momentos máximos negativos, por unidade de comprimento, nas direções x e y:

$$M'_x = \mu'_x \frac{Q_d L_x^2}{100} = 9,3700 * \frac{8,13 * 1,7^2}{100} = 2,2026 \text{ kN.m/m}$$

$$M'_y = \mu'_y \frac{Q_d L_x^2}{100} = 7,8100 * \frac{8,13 * 1,7^2}{100} = 1,8359 \text{ kN.m/m}$$

4. Compatibilização dos momentos fletores das lajes L1 e L3:

- Desenho com todos momentos fletores do pavimento térreo sem compatibilização.



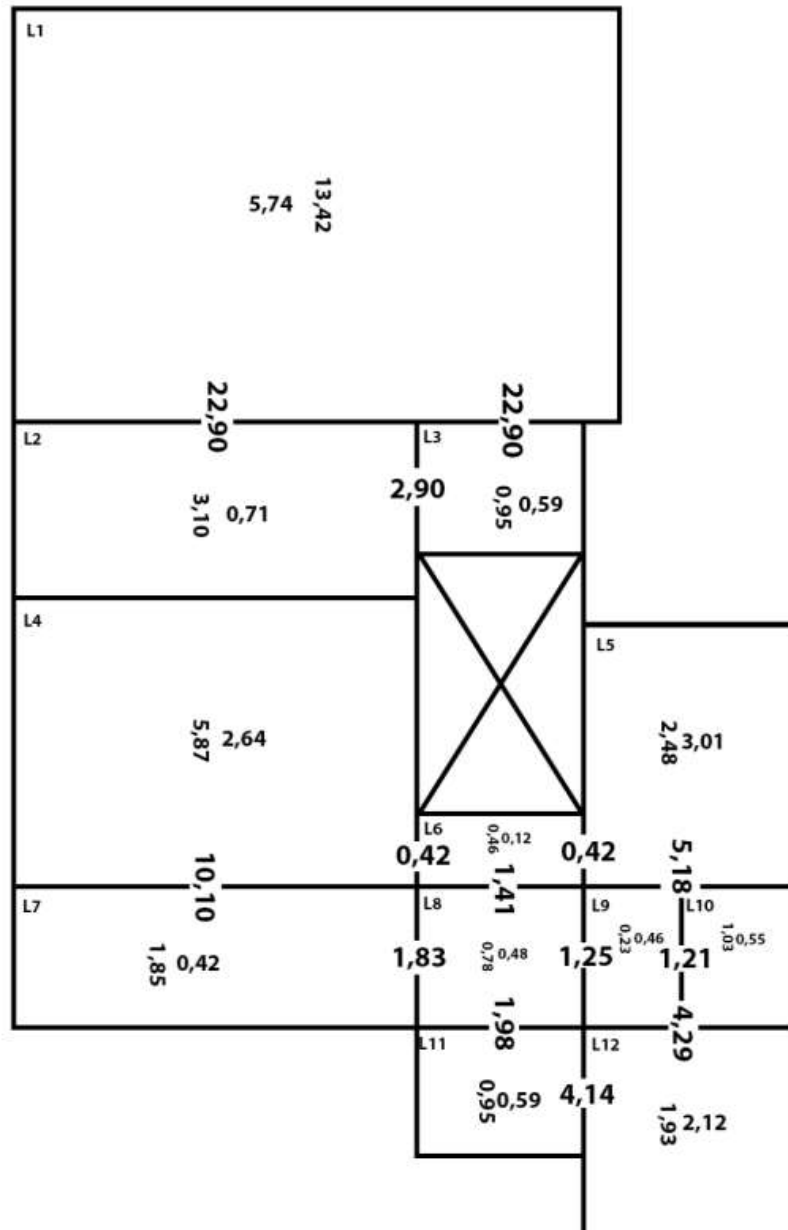
- A compatibilização deve ser feita conforme a Figura 11 presente no referencial teórico, de tal forma que:

Pavimento	Laje	Momento (kN.m/m)		m1+m2/2 (kN.m/m)	m1*0,8 (kN.m/m)	M compatibilizado (kN.m/m)
		M1	M2			
Pav. Térreo	L1 - L3	M1	28,63	15,42	22,90	22,90
		M2	2,20			

- Momento negativo entre L1 e L3:

$$M'_{13} = \begin{cases} 0,8 * 28,63 = 22,90 \text{ kN.m/m} \\ \frac{28,63 + 2,20}{2} = 15,42 \text{ kN.m/m} \end{cases} \Rightarrow 22,90 \text{ kN.m/m}$$

- Desenho com todos momentos fletores do pavimento térreo após compatibilização.



5. Determinação das armaduras longitudinais:

- $M_{1,x} = 13,42 \text{ kN.m}$
- $M_{1,y} = 5,74 \text{ kN.m}$
- cobrimento = 2,5 cm

- Concreto C30
- Aço CA50
- $h = 12 \text{ cm}$
- $b = 100 \text{ cm}$
- $A_s = ?$

- Altura útil:

$$d_x = h - \frac{\varnothing_x}{2} - c = 12 - \frac{0,063}{2} - 2,5 = 9,47 \text{ cm}$$

$$d_x = h - \varnothing_x - \frac{\varnothing_y}{2} - c = h - 0,063 - \frac{0,063}{2} - 2,5 = 9,41 \text{ cm}$$

- Compatibilização de unidades:

$$\begin{cases} M_{1,x} = 13,42 * 100 = 1.342,00 \text{ kN.cm} \\ M_{1,y} = 5,74 * 100 = 574,00 \text{ kN.cm} \end{cases}$$

- Cálculo de K_c :

$$\begin{cases} K_{c,x} = \frac{b \cdot d^2}{M_{1,x}} = 6,68 \frac{\text{cm}^2}{\text{kN}} \Rightarrow \begin{cases} K_{s,x} = 0,024 \frac{\text{cm}^2}{\text{kN}} \\ \beta_x = 0,12 < 0,44 \text{ OK} \end{cases} \\ K_{c,y} = \frac{b \cdot d^2}{M_{1,y}} = 15,41 \frac{\text{cm}^2}{\text{kN}} \Rightarrow \begin{cases} K_{s,y} = 0,024 \frac{\text{cm}^2}{\text{kN}} \\ \beta_x = 0,06 < 0,44 \text{ OK} \end{cases} \end{cases}$$

$$K_{s,y} = 0,024 \frac{\text{cm}^2}{\text{kN}}$$

- Cálculo da Área de aço mínima ($A_{s,min}$):

$$A_{s,min} = \frac{0,15}{100} \cdot h \cdot b = 0,0015 \cdot 12 \cdot 100 = 1,80 \text{ cm}^2/\text{m}$$

- Cálculo da Área de aço (A_s):

$$\begin{cases} A_{s1,x} = \frac{K_{s,x} \cdot M_{1,x}}{h} = \frac{0,024 \cdot 1.342,00}{12} = 3,43 \text{ cm}^2 \\ A_{s1,y} = \frac{K_{s,y} \cdot M_{1,y}}{h} = \frac{0,02350 \cdot 574,00}{12} = 1,87 \text{ cm}^2 \end{cases}$$

- Na área compatibilizada entre L1 e L3, existe um momento negativo e a área de aço para vencer esse momento negativo deve ser:

❖ Compatibilização de unidades:

$$M'_{13,x} = 22,90 \text{ kN.m} = 2.290,00 \text{ kN.m}$$

❖ Cálculo de K_c :

$$K_{c13,x} = \frac{b \cdot d^2}{M_{1,x}} = 3,68 \frac{\text{cm}^2}{\text{kN}} \Rightarrow \begin{cases} K_{s13,x} = 0,025 \frac{\text{cm}^2}{\text{kN}} \\ \beta_x = 0,22 < 0,44 \text{ OK} \end{cases}$$

❖ Cálculo da Área de aço (A_s):

$$A_{s13,x} = \frac{K_{s13,x} \cdot M_{13,x}}{h} = 6,23 \text{ cm}^2$$

6. Verificação das lajes ao cisalhamento:

- Observou-se a laje que possui a maior força cortante e calculou-se a verificação de cisalhamento.

➤ **Cálculo do esforço cortante:**

- $\lambda = 1,44 \cong 1,45$
- Laje tipo 2B
- $Q_d = 8,99 \text{ kN/m}^2$
- Consultando a Tabela 2.2a e 2.2b de Pinheiros para encontrar o parâmetro de estimativa do esforço cortante:

$$\begin{cases} v_x = ? \\ v_y = ? \\ v'_x = ? \\ v'_y = ? \end{cases}$$

v_x (kN)	v_y (kN)	v'_x (kN)	v'_y (kN)
3,24	1,83	4,74	-

- Valor do esforço cortante:

$$\left\{ \begin{array}{l} V_x = v_x \frac{Q_d L}{10} x = 3,24 * \frac{8,99 * 5,4}{10} = 15,73 \text{ kN} \\ V_y = v_y \frac{Q_d L}{10} x = 1,83 * \frac{8,99 * 5,4^2}{10} = 8,88 \text{ kN} \\ V'_x = v'_x \frac{Q_d L}{10} x = 4,74 * \frac{8,99 * 5,4^2}{10} = 23,01 \text{ kN} \\ V'_y = v'_y \frac{Q_d L}{10} x = 0 \end{array} \right.$$

$$V_{sd} = 1,4 \cdot V = 1,4 \cdot 15,73 = 22,022 \text{ kN}$$

$$\tau_{rd} = 0,25 \cdot f_{ctd} = 0,25 \cdot \frac{0,7 \times 0,3 \times (30)^{\frac{2}{3}}}{1,4} = 0,36259 \text{ MPa} = 362,59 \text{ kN/m}^2$$

$$k - (1,6 - d) \geq 1 = (1,6 - d) = (1,6 - 0,09) = 1,51 > 1 \Rightarrow k = 1,51$$

$$A_{s1} = \frac{400}{20} \times \frac{1}{400} \times 0,8 \times 100 = 4 \text{ cm}^2$$

$$\rho_1 = \frac{4}{100 \times 12} = 0,0033 \leq 0,02 \Rightarrow \rho_1 = 0,0033$$

$$\sigma_{cp} = 0$$

$$\begin{aligned} V_{Rd1} &= [\tau_{rd} k (1,2 + 40\rho_1) + 0,14 \sigma_{cp}] b_w d \\ &= [362,59 \times 1,51 \times (1,2 + 40 \times 0,0033)] \times 1 \times 0,09 = 65,6356 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$V_{sd} < V_{Rd1}$$

$$\mathbf{22,022 \text{ kN} < 65,6356 \text{ kN}}$$

→ Não há necessidade de estribos na laje

$$\alpha_{v2} = \left(0,7 - \frac{f_{ck}}{250} \right) \leq 0,5 = \left(0,7 - \frac{30}{250} \right) = 0,58 > 0,5$$

$$\alpha_{v2} = 0,5$$

$$V_{Rd2} = 0,5 \times \alpha_{v2} \times f_{cd} \times b_w \times 0,9 \times d = 482,22 \text{ kN}$$

$$V_{sd} < V_{Rd2}$$

$$\mathbf{22,022 \text{ kN} < 482,22 \text{ kN}}$$

→ Não há compressão diagonal do concreto

DIMENSIONAMENTO DE LAJES MACIÇAS UNIDIRECIONAIS

Todas as lajes consideradas unidimensionais, ou seja, $\lambda \geq 2$, serão tratadas e calculadas como lajes bidirecionais. Portanto, todo o memorial de cálculo para lajes maciças bidirecionais é reaproveitado para este caso. Apesar disso usaremos a laje L3 do pavimento térreo que é classificada como unidirecional e a dimensionaremos como bidirecional. O principal motor dessa escolha é aumentar a compatibilidade entre os dados colhidos no eberick e os dados calculados de forma manual. O roteiro abaixo serve para exemplificar os cálculos realizados para as lajes armadas em uma direção:

1. Discretização do pavimento.

- **Determinação dos vãos efetivos da laje (valores de eixo a eixo) e lambda:**

$$l_x = 2,30 \text{ m}$$

$$l_y = 5,20 \text{ m}$$

$$\lambda = \frac{l_y}{l_x} = \frac{5,20}{2,30} = 2,26, \text{ ou seja, } \lambda \geq 2$$

- **Determinação do vínculo nas quatro bordas da laje:**

No Anexo A, na parte do memorial de cálculo de lajes bidirecionais, existe uma parte que apresenta os vínculos entre L2-L1 e L2-L3. Sendo que, L2 está engastada em L1 e L3 está engastada em L2 e L1. Portanto, a laje L2 do térreo é do tipo 3.

2. Cálculo das cargas atuantes:

- **Cargas permanentes:**
- **Peso próprio:**

$$g_1 = h \times Y_{\text{concreto}} = 0,12 \times 25 = 3,00 \text{ kN/m}^2$$

- **Contra piso:**

$$g_2 = e_{\text{contrapiso}} \times Y_{\text{contrapiso}} = 0,02 \times 21 = 0,42 \text{ kN/m}^2$$

- **Revestimento Superior - Porcelanato:**

$$g_3 = e_{\text{porcelanato}} \times Y_{\text{porcelanato}} = 0,01 \times 23 = 0,23 \text{ kN/m}^2$$

➤ Paredes:

- A laje L2 possui duas paredes que servem de degrau, ambas possuem 2 metros de comprimento e carga de 0,58 kN/m e 1,16 kN/m respectivamente.

$$g_4 = \frac{(0,58) + (1,16)}{11,96} = 0,15 \text{ kN/m}^2$$

➤ Sobrecarga:

- Não existe sobrecarga nesta laje.

- Revestimento Inferior – forro de gesso acartonado com espessura média de 3 cm e peso específico de 22 kN/m³:

$$g_4 = e_{\text{forro}} \times Y_{\text{forro}} = 0,03 \times 22 = 0,66 \text{ kN/m}^2$$

➤ Somatório:

$$g_{\text{total}} = g_1 + g_2 + g_3 + g_4 = 3 + 0,42 + 0,23 + 0,66 + 0,15 = 4,46 \text{ kN/m}^2$$

➤ Carga Acidental:

$$\text{Sala} \Rightarrow q = 1,50 \text{ kN/m}^2$$

➤ Combinação última normal:

$$Q_d = \sum_{i=1}^n Y_g Q_{gg} + Y_q Q_{gk} = 1,4 * (4,46 + 1,50) = 8,34 \text{ kN/m}^2$$

3. Cálculo dos momentos fletores:

- **Momentos máximos positivos e negativos, por unidade de comprimento, nas direções x e y da laje L2:**

- Laje Tipo 3

λ	Comb. Últ. Normal (kN/m ²)	U _x	U _y	U' _x	U' _y
-----------	---	----------------	----------------	-----------------	-----------------

>2,00	8,34	7,03	1,60	12,50	8,20
-------	------	------	------	-------	------

$$\begin{cases} M_{2,x} = \mu_x \frac{Q_d L^2}{100} = 7,03 * \frac{8,34 * 2,3^2}{100} = 3,10 \text{ kN.m} \\ M_{2,y} = \mu_y \frac{Q_d L^2}{100} = 1,60 * \frac{8,34 * 2,3^2}{100} = 0,71 \text{ kN.m} \\ M'_{2,x} = \mu'_x \frac{Q_d L^2}{100} = 12,50 * \frac{8,34 * 2,3^2}{100} = 5,51 \text{ kN.m} \\ M'_{2,y} = \mu'_y \frac{Q_d L^2}{100} = 8,20 * \frac{8,34 * 2,3^2}{100} = 3,62 \text{ kN.m} \end{cases}$$

4. Compatibilização dos momentos fletores das lajes L1 e L2:

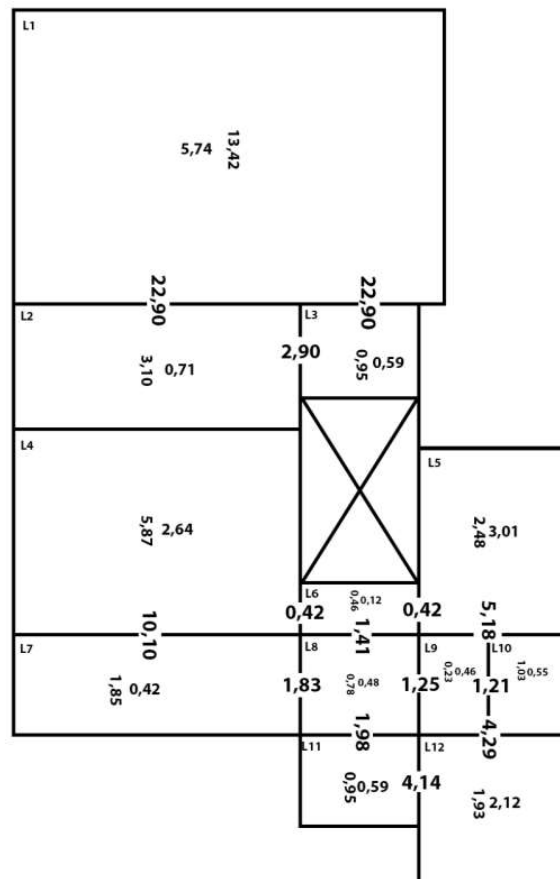
- Momento negativo entre L1 e L3:

$$M'_{12,x} = \begin{cases} 0,8 * 28,63 = 22,90 \text{ kN.m/m} \\ \frac{2,20 + 28,63}{2} = 15,42 \text{ kN.m/m} \end{cases} \Rightarrow 22,90 \text{ kN.m}$$

5. Compatibilização dos momentos fletores das lajes L2 e L3:

- Momento negativo entre L1 e L3:

$$M'_{23} = \begin{cases} 0,8 * 3,62 = 2,90 \text{ kN.m} \\ \frac{3,62 + 1,84}{2} = 2,73 \text{ kN.m} \end{cases} \Rightarrow 2,90 \text{ kN.m}$$



6. Determinação das armaduras longitudinais:

- $M_{2,x} = 3,10 \text{ kN.m}$
 - $M_{2,y} = 0,71 \text{ kN.m}$
 - $M_{23} = 2,90 \text{ kN.m}$
 - Concreto C30
 - Aço CA50
 - $h = 12 \text{ cm}$
 - $b = 100 \text{ cm}$
 - $\text{cobrimento} = 2,5$
 - $A_s = ?$
- Altura útil:
- $$d_x = h - \frac{\varnothing_x}{2} - c = 12 - \frac{0,063}{2} - 2,5 = 9,47 \text{ cm}$$
- $$d_y = h - \varnothing_x - \frac{\varnothing_y}{2} - c = h - 0,063 - \frac{0,063}{2} - 2,5 = 9,41 \text{ cm}$$
- Compatibilização de unidades:

$$\begin{cases} M_{2,x} = 3,10 \text{ kN.m/m} = 310,00 \text{ kN.m/m} \\ M_{2,y} = 0,71 \text{ kN.m/m} = 71,00 \text{ kN.m/m} \\ M_{23} = 2,90 \text{ kN.m/m} = 290,00 \text{ kN.m/m} \end{cases}$$

- Cálculo de K_c :

$$\begin{cases} K_{c,2x} = \frac{b \cdot d^2}{M_{1,x}} = 28,91 \frac{\text{cm}^2}{\text{kN}} \Rightarrow \begin{cases} K_{s,x} = 0,023 \frac{\text{cm}^2}{\text{kN}} \\ \beta_x = 0,04 < 0,44 \text{ OK} \end{cases} \\ K_{c,2y} = \frac{b \cdot d^2}{M_{1,y}} = 125,36 \frac{\text{cm}^2}{\text{kN}} \Rightarrow \begin{cases} K_{s,y} = 0,023 \frac{\text{cm}^2}{\text{kN}} \\ \beta_x = 0,02 < 0,44 \text{ OK} \end{cases} \\ K'_{c,23} = \frac{b \cdot d^2}{M_{1,y}} = 29,13 \frac{\text{cm}^2}{\text{kN}} \Rightarrow \begin{cases} K_{s,y} = 0,0235 \frac{\text{cm}^2}{\text{kN}} \\ \beta_x = 0,04 < 0,44 \text{ OK} \end{cases} \end{cases}$$

- Cálculo da Área de aço mínima ($A_{s,min}$):

$$A_{s,min,x} = 0,67 \cdot \frac{0,15}{100} \cdot h \cdot b = 0,0015 \cdot 12 \cdot 100 = 1,21 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_{s,min,y} = \frac{0,15}{100} \cdot h \cdot b = 0,0015 \cdot 12 \cdot 100 = 1,80 \text{ cm}^2/\text{m}$$

- Cálculo da Área de aço (A_s):

$$\begin{cases} A_{s3x} = \frac{K_{s,x} \cdot M_{1,x}}{h} = \frac{0,023 \cdot 310,00}{12} = 0,5941 \text{ cm}^2 = 1,21 \text{ cm}^2 \\ A_{s2,y} = \frac{K_{s,y} \cdot M_{1,y}}{h} = \frac{0,023 \cdot 71,00}{12} = 0,1360 \text{ cm}^2 = 1,80 \text{ cm}^2 \\ A_{s23,y} = \frac{K_{s,y} \cdot M_{1,y}}{h} = \frac{0,0235 \cdot 290,00}{12} = 0,5679 \text{ cm}^2 = 1,80 \text{ cm}^2 \end{cases}$$

*Áreas de aço subdimensionadas, adotar área mínima.

7. Verificação das lajes ao cisalhamento:

- A verificação ao cisalhamento segue o item 6 do Apêndice A, dimensionamento de lajes maciças bidirecionais.

DIMENSIONAMENTO DE LAJES MACIÇAS EM BALANÇO

Para demonstrar o dimensionamento de todas as lajes em balanço, segue o memorial descritivo abaixo para a laje L16 do primeiro pavimento.

1. Dados derivados do *software*:

- $h = 12 \text{ cm}$
- $d = 12 - 2,5 - \frac{1}{2} = 9 \text{ cm}$

2. Cálculo das cargas atuantes:

- **Cargas permanentes:**
- Peso próprio:

$$g_1 = h \times Y_{\text{concreto}} = 0,12 \times 25 = 3,00 \text{ kN/m}^2$$

- Contra piso:

$$g_2 = e_{\text{contrapiso}} \times Y_{\text{contrapiso}} = 0,02 \times 21 = 0,42 \text{ kN/m}^2$$

- Revestimento Superior - Porcelanato:

$$g_3 = e_{\text{porcelanato}} \times Y_{\text{porcelanato}} = 0,01 \times 23 = 0,23 \text{ kN/m}^2$$

- Paredes:

- Não possui. Porém, possui um peitoril de 1,10 m de altura, de 11cm de tijolos e espessura de reboco de 1,5 cm para cada lado.

$$P_{\text{tijolos}} = 0,11 \times 1,10 \times 1 = 1,573 \text{ kN/m}$$

$$P_{\text{revestimento}} = (0,015 + 0,015) \times 1,10 \times 21 = 0,693 \text{ kN/m}$$

$$P_{\text{total,peitoril}} = 1,573 + 0,693 = 2,266 \text{ kN/m}$$

- Sobrecarga:

- Não existe sobrecarga nesta laje.

- Revestimento Inferior – forro de gesso acartonado com espessura média de 3 cm e peso específico de 22 kN/m²:

$$g_4 = e_{\text{forro}} \times Y_{\text{forro}} = 0,03 \times 22 = 0,66 \text{ kN/m}^2$$

- Somatório:

$$g_{total} = g_1 + g_2 + g_3 + g_4 = 3 + 0,42 + 0,23 + 0,66 = 4,31 \text{ kN/m}^2$$

- Carga Acidental:

Varanda – área de serviço => q = 2,00 kN/m²

- Combinação última normal:

$$Q_d = \sum_{i=1}^n Y_g Q_{gg} + Y_q Q_{gk} = 1,4 * (4,31 + 2,00) = 8,834 \text{ kN/m}^2$$

3. Cálculo do momento fletor de engaste, com peitoril:

- $l_x = 1,50 \text{ m}$
- $l_y = 8,00 \text{ m}$
- $Q_d = 8,834 \text{ kN/m}^2$
- $\gamma_n = 1,35$

$$M_{eng} = \gamma_n \left[\frac{Q_d l_x^2}{2} + (P_{parapeito} l_x) \right]$$

$$M_{eng} = 1,35 \cdot \left[8,834 \cdot \frac{1,50^2}{2} + 1,5 * 2,266 \right] = 17,9931 \text{ kN.m}$$

4. Determinação das armaduras longitudinais:

- $M_{eng} = 17,9931 \text{ kN.m/m}$
-
- Concreto C30
- Aço CA50
- h = 12 cm
- b = 100 cm
- $\lambda = \frac{800}{150} = 5,33 \Rightarrow \lambda \geq 2$
- $A_s = ?$

- Compatibilização de unidades:

$$M_{eng} = 17,9931 \text{ kN.m} = 1.799,31 \text{ kN.m}$$

- Cálculo de K_c :

$$K_{c,eng} = \frac{b \cdot d^2}{M_{eng}} = \frac{100 \cdot 12^2}{1.799,31} = 8,00 \frac{cm^2}{kN} \Rightarrow \begin{cases} K_{s,eng} = 0,024 \\ \beta_x = 0,10 < 0 \end{cases} \text{OK}$$

- Cálculo da Área de aço mínima ($A_{s,min}$):

$$A_{s,min} = \frac{0,15}{100} \cdot h \cdot b = 0,0015 \cdot 12 \cdot 100 = 1,80 \text{ cm}^2/\text{m}$$

- Cálculo da Área de aço (A_s):

$$A_{s3,y} = \frac{K_{s,eng} \cdot M_{eng}}{h} = \frac{0,024 \cdot 1.799,31}{12} = 3,5986 \text{ cm}^2$$

APENDICE B – Resumo dos procedimentos do cálculo manual

Quadro 14 - Cálculo das ações nas lajes (kN/m²)

Pavimento	Laje	h(cm)	Lx (m)	Ly (m)	Área	Λ	Armadura Longitudinal	Caso
Pav. Térreo	L1	12	5,4	7,8	42,12	1,44	Bidirecional	2B
Pav. Térreo	L2	12	2,3	5,2	11,96	2,26	Unidirecional	3
Pav. Térreo	L3	12	1,7	2,2	3,74	1,29	Bidirecional	3
Pav. Térreo	L4	12	3,8	5,2	19,76	1,37	Bidirecional	2B
Pav. Térreo	L5	12	2,8	3,4	9,52	1,21	Bidirecional	2A
Pav. Térreo	L6	12	0,9	2,2	1,98	2,44	Unidirecional	5A
Pav. Térreo	L7	12	1,8	5,2	9,36	2,89	Unidirecional	3
Pav. Térreo	L8	12	1,8	2,2	3,96	1,22	Bidirecional	6
Pav. Térreo	L9	12	1,3	1,8	2,34	1,38	Bidirecional	6
Pav. Térreo	L10	12	1,5	1,8	2,7	1,20	Bidirecional	5A
Pav. Térreo	L11	12	1,7	2,2	3,74	1,29	Bidirecional	3
Pav. Térreo	L12	12	2,7	2,8	7,56	1,04	Bidirecional	3
Pav. Superior	L1	12	5,4	7,8	42,12	1,44	Bidirecional	4B
Pav. Superior	L2	12	1,7	7,3	12,41	4,29	Unidirecional	2B
Pav. Superior	L3	12	0,6	4,9	2,94	8,17	Unidirecional	2B
Pav. Superior	L4	12	0,6	3,4	2,04	5,67	Unidirecional	2B
Pav. Superior	L5	12	2,8	3,4	9,52	1,21	Bidirecional	2A
Pav. Superior	L6	12	1,4	2,8	3,92	2,00	Unidirecional	5A
Pav. Superior	L7	12	2,3	3,5	8,05	1,52	Bidirecional	5B
Pav. Superior	L8	12	1,3	5,4	7,02	4,15	Unidirecional	3
Pav. Superior	L9	12	1,7	5,4	9,18	3,18	Unidirecional	5B
Pav. Superior	L10	12	3,5	3,9	13,65	1,11	Bidirecional	6
Pav. Superior	L11	12	1,5	2,7	4,05	1,80	Bidirecional	2B
Pav. Superior	L12	12	2,3	5,4	12,42	2,35	Unidirecional	5B
Pav. Superior	L13	12	1,3	5,4	7,02	4,15	Unidirecional	5B
Pav. Superior	L14	12	1,1	3,5	3,85	3,18	Balanço	Balanço
Pav. Superior	L15	12	1,3	5,4	7,02	4,15	Balanço	Balanço
Pav. Superior	L16	12	1,6	8	12,8	5,00	Balanço	Balanço
Pav. Cobertura	L1	12	1,6	8	12,8	5,00	Balanço	Balanço
Pav. Cobertura	L2	12	5,4	7,3	39,42	1,35	Bidirecional	4B
Pav. Cobertura	L3	12	5,6	7,3	40,88	1,30	Bidirecional	5B
Pav. Cobertura	L4	12	0,6	5,6	3,36	9,33	Balanço	Balanço
Pav. Cobertura	L5	12	5,2	7,5	39	1,44	Bidirecional	5A
Pav. Cobertura	L6	12	2,3	3,5	8,05	1,52	Bidirecional	5B
Pav. Cobertura	L7	12	3,5	3,9	13,65	1,11	Bidirecional	5A
Pav. Cobertura	L8	12	1,1	3,5	3,85	3,18	Balanço	Balanço
Pav. Cobertura	L9	12	1,3	5,4	7,02	4,15	Balanço	Balanço

Fonte: Próprio Autor (2022).

Quadro 15 – (Continuação).

Peso próprio	Revest. Inferior	Reves. Piso	Carga parede kN.m (kN/m)	Parede (kN/m ²)	Perman. Total (kN/m ²)	Carga Variável (kN/m ²)	Total (kN/m ²)	Comb. Últ. Normal (kN/m ²)
3,00	0,66	0,65	4,7	0,11	4,42	2,00	6,42	8,99
3,00	0,66	0,65	1,74	0,15	4,46	1,50	5,96	8,34
3,00	0,66	0,65	0	0,00	4,31	1,50	5,81	8,13
3,00	0,66	0,65	0	0,00	4,31	1,50	5,81	8,13
3,00	0,66	0,65	0	0,00	4,31	1,50	5,81	8,13
3,00	0,66	0,65	0	0,00	4,31	1,50	5,81	8,13
3,00	0,66	0,65	0	0,00	4,31	1,50	5,81	8,13
3,00	0,66	0,65	0	0,00	4,31	1,50	5,81	8,13
3,00	0,66	0,65	0	0,00	4,31	1,50	5,81	8,13
3,00	0,66	0,65	0	0,00	4,31	1,50	5,81	8,13
3,00	0,66	0,65	0	0,00	4,31	1,50	5,81	8,13
3,00	0,66	0,65	9,53	1,26	5,57	1,50	7,07	9,90
3,00	0,66	0,65	30,45	0,72	5,03	1,50	6,53	9,15
3,00	0,66	0,65	14,56	1,17	5,48	1,50	6,98	9,78
3,00	0,66	0,65	0	0,00	4,31	2,00	6,31	8,83
3,00	0,66	0,65	0	0,00	4,31	2,00	6,31	8,83
3,00	0,66	0,65	0	0,00	4,31	1,50	5,81	8,13
3,00	0,66	0,65	0	0,00	4,31	1,50	5,81	8,13
3,00	0,66	0,65	0	0,00	4,31	1,50	5,81	8,13
3,00	0,66	0,65	0	0,00	4,31	1,50	5,81	8,13
3,00	0,66	0,65	0	0,00	4,31	1,50	5,81	8,13
3,00	0,66	0,65	14,56	2,07	6,38	1,50	7,88	11,04
3,00	0,66	0,65	11,55	1,26	5,57	1,50	7,07	9,90
3,00	0,66	0,65	0	0,00	4,31	1,50	5,81	8,13
3,00	0,66	0,65	0	0,00	4,31	1,50	5,81	8,13
3,00	0,66	0,65	0	0,00	4,31	1,50	5,81	8,13
3,00	0,66	0,65	0	0,00	4,31	1,50	5,81	8,13
3,00	0,66	0,65	0	0,00	4,31	2,00	6,31	8,83
3,00	0,66	0,65	0	0,00	4,31	2,00	6,31	8,83
3,00	0,66	0,65	0	0,00	4,31	2,00	6,31	8,83
3,00	0,66	0,65	0	0,00	4,31	0,50	4,81	6,73
3,00	0,66	0,65	0	0,00	4,31	1,50	5,81	8,13
3,00	0,66	0,65	0	0,00	4,31	1,50	5,81	8,13
3,00	0,66	0,65	0	0,00	4,31	0,50	4,81	6,73
3,00	0,66	0,65	0	0,00	4,31	1,50	5,81	8,13
3,00	0,66	0,65	0	15,00	19,31	0,50	19,81	27,73
3,00	0,66	0,65	0	0,00	4,31	1,50	5,81	8,13
3,00	0,66	0,65	0	0,00	4,31	0,50	4,81	6,73
3,00	0,66	0,65	0	0,00	4,31	0,50	4,81	6,73

Fonte: Próprio Autor (2022).

Quadro 16 - Cálculo dos esforços cortantes (kN)

Pavimento	Laje	Caso	Lx (m)	λ	Comb. Últ. Normal (kN/m ²)
Pav. Térreo	L1	2B	5,4	1,45	8,99
Pav. Térreo	L2	3	2,3	>2,00	8,34
Pav. Térreo	L3	3	1,7	1,30	8,13
Pav. Térreo	L4	2B	3,8	1,40	8,13
Pav. Térreo	L5	2A	2,8	1,25	8,13
Pav. Térreo	L6	5A	0,9	>2,00	8,13
Pav. Térreo	L7	3	1,8	>2,00	8,13
Pav. Térreo	L8	6	1,8	1,25	8,13
Pav. Térreo	L9	6	1,3	1,40	8,13
Pav. Térreo	L10	5A	1,5	1,20	8,13
Pav. Térreo	L11	3	1,7	1,30	8,13
Pav. Térreo	L12	3	2,7	1,05	9,90
Pav. Superior	L1	4B	5,4	1,45	9,15
Pav. Superior	L2	2B	1,7	>2,00	9,78
Pav. Superior	L3	2B	0,6	>2,00	8,83
Pav. Superior	L4	2B	0,6	>2,00	8,83
Pav. Superior	L5	2A	2,8	1,25	8,13
Pav. Superior	L6	5A	1,4	2,00	8,13
Pav. Superior	L7	5B	2,3	1,55	8,13
Pav. Superior	L8	3	1,3	>2,00	11,04
Pav. Superior	L9	5B	1,7	>2,00	9,90
Pav. Superior	L10	6	3,5	1,15	8,13
Pav. Superior	L11	2B	1,5	1,80	8,13
Pav. Superior	L12	5B	2,3	>2,00	8,13
Pav. Superior	L13	5B	1,3	>2,00	8,13
Pav. Cobertura	L2	4B	5,4	>2,00	8,13
Pav. Cobertura	L3	5B	5,6	>2,00	8,13
Pav. Cobertura	L5	5A	5,2	>2,00	8,13
Pav. Cobertura	L6	5B	2,3	>2,00	27,73
Pav. Cobertura	L7	5A	3,5	1,40	8,13

Fonte: Próprio Autor (2022).

Quadro 17 – (continuação)

v_x (kN)	v_y (kN)	v'_x (kN)	v'_y (kN)	V_x (kN)	V_y (kN)	V'_x (kN)	V'_y (kN)
3,24	1,83	4,74	-	15,73	8,88	23,01	-
4,38	2,17	6,25	3,17	8,40	4,16	11,99	6,08
2,63	2,17	3,90	3,17	3,64	3,00	5,39	4,38
3,20	1,83	4,68	-	9,89	5,66	14,47	-
2,29	2,94	-	4,30	5,22	6,70	-	9,79
4,38	-	6,25	3,17	3,21	-	4,58	2,32
4,38	2,17	6,25	3,17	6,41	3,18	9,15	4,64
-	-	3,00	2,50	-	-	4,39	3,66
-	-	3,21	2,50	-	-	3,39	2,64
2,05	-	3,00	3,16	2,50	-	3,66	3,86
2,63	2,17	3,90	3,17	3,64	3,00	5,39	4,38

2,27	2,17	3,32	3,17	6,07	5,80	8,87	8,47
-	1,44	4,00	-	-	7,11	19,76	-
4,38	1,83	6,15	-	7,28	3,04	10,22	-
4,38	1,83	6,15	-	2,32	0,97	3,26	-
4,38	1,83	6,15	-	2,32	0,97	3,26	-
2,29	2,94	-	4,30	5,22	6,70	-	9,79
2,96	-	4,33	3,17	3,37	-	4,93	3,61
-	1,71	3,73	2,50	-	3,20	6,98	4,68
4,38	2,17	6,25	3,17	6,28	3,11	8,97	4,55
-	1,71	5,00	2,50	-	2,88	8,41	4,21
-	-	2,83	2,50	-	-	8,06	7,12
3,45	1,83	5,05	-	4,21	2,23	6,16	-
-	1,71	5,00	2,50	-	3,20	9,35	4,68
-	1,71	5,00	2,50	-	1,81	5,29	2,64
-	1,44	5,00	-	-	6,32	21,96	-
-	1,71	5,00	2,50	-	7,79	22,78	11,39
4,38	-	6,25	3,17	18,53	-	26,44	13,41
-	1,71	5,00	2,50	-	10,91	31,89	15,95
2,37	-	3,47	3,17	6,75	-	9,88	9,02

Fonte: Próprio Autor (2022).

Quadro 18 - Cálculo dos momentos fletores solicitantes positivos (kN.m/m)

Pavimento	Laje	Caso	Lx (m)	λ	Comb. Últ. Normal (kN/m ²)
Pav. Térreo	L1	2B	5,4	1,45	8,99
Pav. Térreo	L2	3	2,3	>2,00	8,34
Pav. Térreo	L3	3	1,7	1,30	8,13
Pav. Térreo	L4	2B	3,8	1,40	8,13
Pav. Térreo	L5	2A	2,8	1,25	8,13
Pav. Térreo	L6	5A	0,9	>2,00	8,13
Pav. Térreo	L7	3	1,8	>2,00	8,13
Pav. Térreo	L8	6	1,8	1,25	8,13
Pav. Térreo	L9	6	1,3	1,40	8,13
Pav. Térreo	L10	5A	1,5	1,20	8,13
Pav. Térreo	L11	3	1,7	1,30	8,13
Pav. Térreo	L12	3	2,7	1,05	9,90
Pav. Superior	L1	4B	5,4	1,45	9,15
Pav. Superior	L2	2B	1,7	>2,00	9,78
Pav. Superior	L3	2B	0,6	>2,00	8,83
Pav. Superior	L4	2B	0,6	>2,00	8,83
Pav. Superior	L5	2A	2,8	1,25	8,13
Pav. Superior	L6	5A	1,4	2,00	8,13
Pav. Superior	L7	5B	2,3	1,55	8,13
Pav. Superior	L8	3	1,3	>2,00	11,04
Pav. Superior	L9	5B	1,7	>2,00	9,90

Pav. Superior	L10	6	3,5	1,15	8,13
Pav. Superior	L11	2B	1,5	1,80	8,13
Pav. Superior	L12	5B	2,3	>2,00	8,13
Pav. Superior	L13	5B	1,3	>2,00	8,13
Pav. Cobertura	L2	4B	5,4	>2,00	8,13
Pav. Cobertura	L3	5B	5,6	>2,00	8,13
Pav. Cobertura	L5	5A	5,2	>2,00	8,13
Pav. Cobertura	L6	5B	2,3	>2,00	27,73
Pav. Cobertura	L7	5A	3,5	1,40	8,13

Fonte: Próprio Autor (2022).

Quadro 19 – (continuação)

Ux	Uy	U'x	U'y	Mx	My	M'x	M'y
5,12	2,19	10,92	-	13,42	5,74	28,63	-
7,03	1,60	12,50	8,20	3,10	0,71	5,51	3,62
4,0600	2,5000	9,3700	7,8100	0,9544	0,5877	2,2026	1,8359
5,00	2,25	10,75	-	5,87	2,64	12,63	-
4,72	3,89	-	10,16	3,01	2,48	-	6,48
7,03	1,80	12,50	8,12	0,46	0,12	0,82	0,53
7,03	1,60	12,50	8,20	1,85	0,42	3,29	2,16
2,97	1,83	6,67	5,64	0,78	0,48	1,76	1,49
3,32	1,65	7,28	5,70	0,46	0,23	1,00	0,78
3,00	5,65	7,72	7,19	0,55	1,03	1,41	1,32
4,06	2,50	9,37	7,81	0,95	0,59	2,20	1,84
2,94	2,68	7,43	7,18	2,12	1,93	5,36	5,18
3,91	1,26	8,13	-	10,43	3,36	21,68	-
7,03	1,48	12,50	-	1,99	0,42	3,53	-
7,03	1,48	12,50	-	0,22	0,05	0,40	-
7,03	1,48	12,50	-	0,22	0,05	0,40	-
4,72	3,89	-	10,16	3,01	2,48	-	6,48
5,50	1,80	11,35	8,12	0,88	0,29	1,81	1,29
3,80	1,29	8,01	5,69	1,64	0,56	3,45	2,45
7,03	1,60	12,50	8,20	1,31	0,30	2,33	1,53
4,17	0,88	8,33	5,64	1,19	0,25	2,38	1,61
2,65	1,94	6,14	5,51	2,64	1,93	6,12	5,49
5,75	1,68	11,84	-	1,05	0,31	2,17	-
4,17	0,88	8,33	5,64	1,79	0,38	3,58	2,43
4,17	0,88	8,33	5,64	0,57	0,12	1,15	0,78
4,17	0,76	8,33	-	9,89	1,80	19,76	-
4,17	0,88	8,33	5,64	10,64	2,24	21,25	14,39
7,03	1,80	12,50	8,12	15,46	3,96	27,49	17,86
4,17	0,88	8,33	5,64	6,12	1,29	12,22	8,27
3,86	2,53	8,88	7,74	3,85	2,52	8,85	7,71

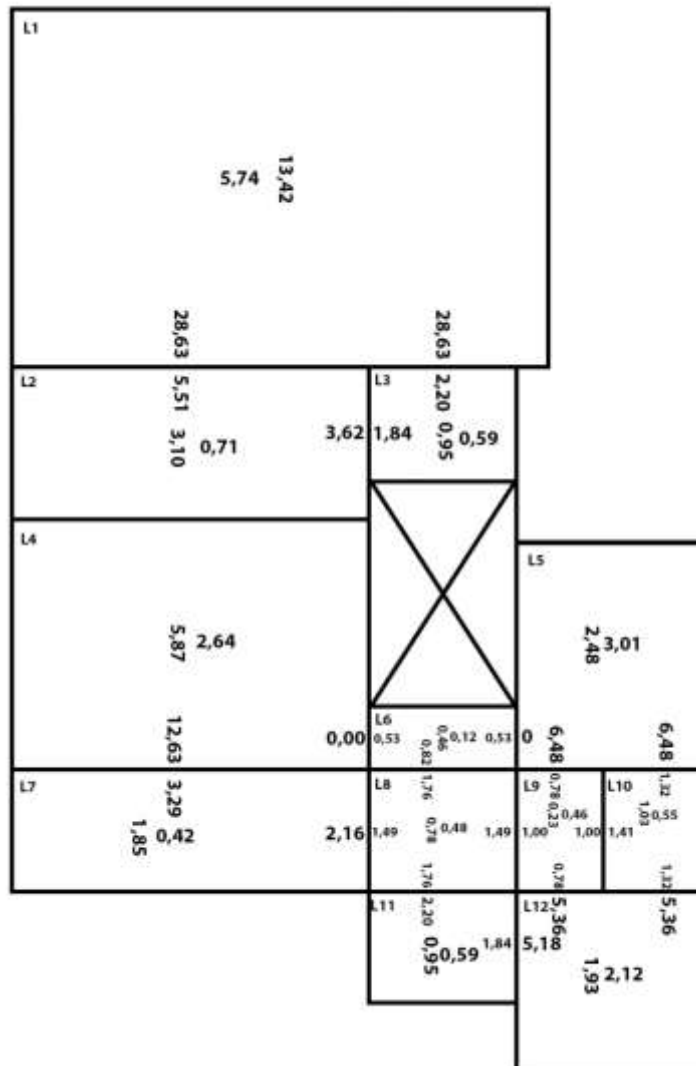
Fonte: Próprio Autor (2022).

Quadro 20 - Cálculo dos momentos de engaste das lajes em balanço (kN.m/m)

Pavimento	Laje	Lx (m)	Ly (m)	Yn	Comb. Últ. Normal (kN/m ²)	Peso parapeito (kN)	M engaste (kN.m)
Pav. Superior	L14	1,1	3,5	1,35	8,83	2,27	11,80
Pav. Superior	L15	1,3	5,4	1,35	8,83	2,27	14,67
Pav. Superior	L16	1,6	8	1,35	8,83	2,27	19,85
Pav. Cobertura	L1	1,6	8	1,35	6,73	1,00	13,66
Pav. Cobertura	L4	0,6	5,6	1,35	6,73	1,00	3,66
Pav. Cobertura	L8	1,1	3,5	1,35	6,73	1,00	7,52
Pav. Cobertura	L9	1,3	5,4	1,35	6,73	1,00	9,71

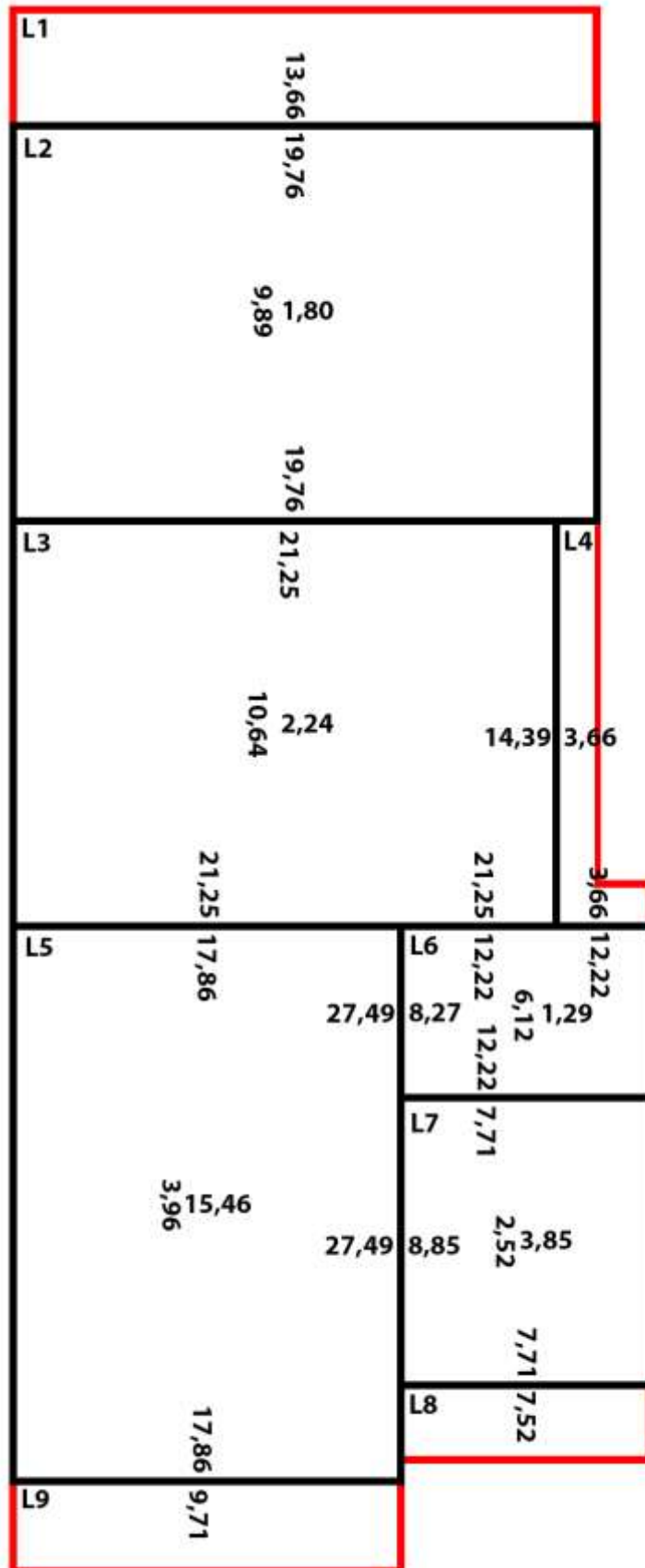
Fonte: Próprio Autor (2022).

Figura 20 - Momento fletores solicitantes não compatibilizados, pavimento térreo.



Fonte: Próprio Autor (2022).

Figura 22 - Momento fletores solicitantes não compatibilizados, pavimento cobertura.



Fonte: Próprio Autor (2022).

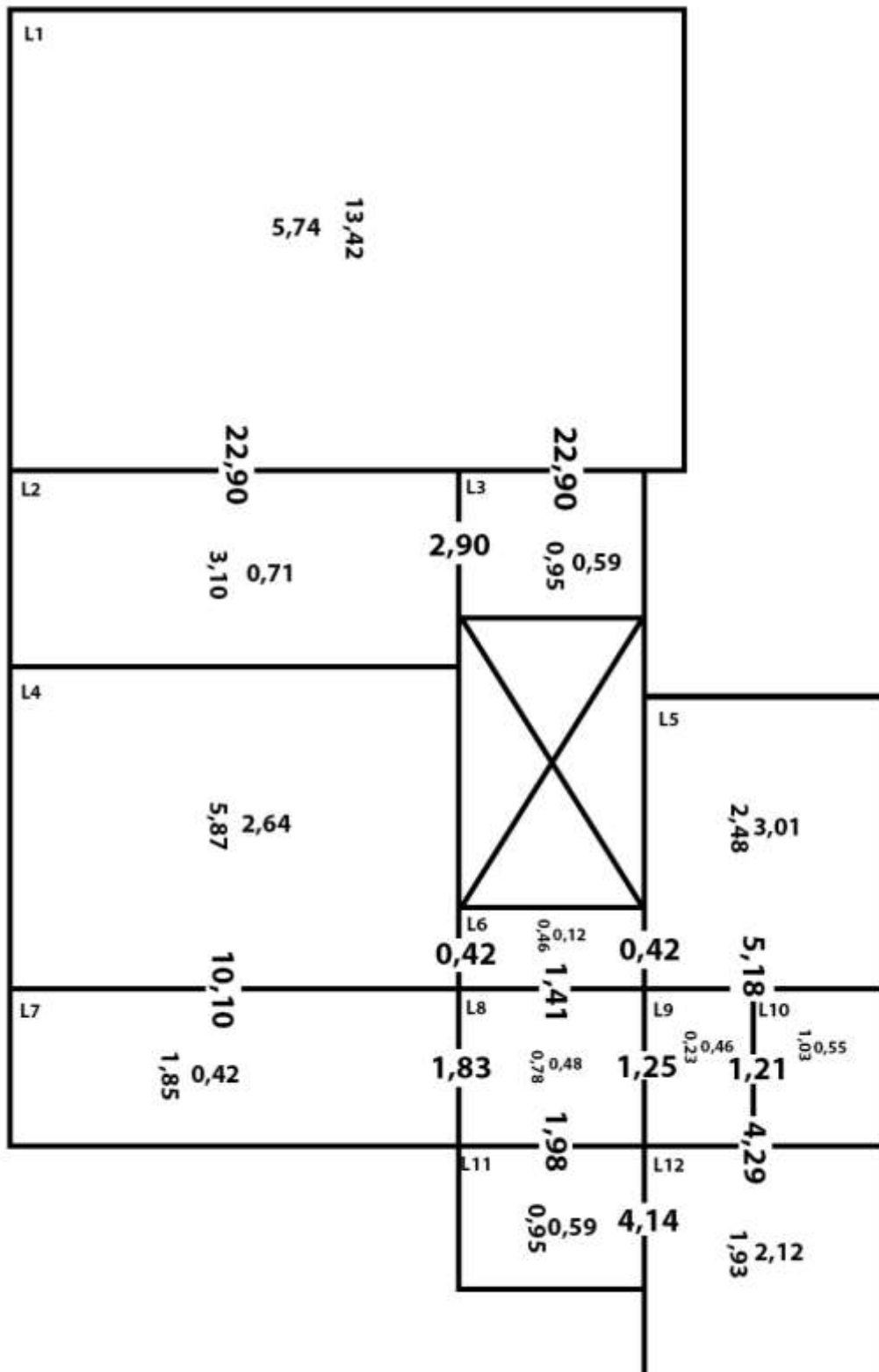
Quadro 21 - Compatibilização de momentos fletores solicitantes negativos (kN.m/m).

Pavimento	Laje	Momento (kN.m/m)	m1+m2/2 (kN.m/m)	m1*0,8 (kN.m/m)	M compatibilizado (kN.m/m)	
Pav. Térreo	L1 - L2	M1	28,63	17,07	22,90	22,90
		M2	5,51			
	L1 - L3	M1	28,63	15,42	22,90	22,90
		M2	2,20			
	L2 - L3	M1	3,62	2,73	2,90	2,90
		M2	1,84			
	L4 - L6	M1	0,53	0,27	0,42	0,42
		M2	0,00			
	L4 - L7	M1	12,63	7,96	10,10	10,10
		M2	3,29			
	L5 - L6	M1	0,53	0,27	0,42	0,42
		M2	0,00			
	L5 - L9	M1	6,48	3,63	5,18	5,18
		M2	0,78			
	L5 - L10	M1	6,48	3,90	5,18	5,18
		M2	1,32			
	L6 - L8	M1	1,76	1,29	1,41	1,41
		M2	0,82			
	L7 - L8	M1	2,16	1,83	1,73	1,83
		M2	1,49			
L8 - L9	M1	1,49	1,25	1,19	1,25	
	M2	1,00				
L8 - L11	M1	2,20	1,98	1,76	1,98	
	M2	1,76				
L9 - L10	M1	1,41	1,21	1,13	1,21	
	M2	1,00				
L9 - L12	M1	5,36	3,07	4,29	4,29	
	M2	0,78				
L10 - L12	M1	5,36	3,34	4,29	4,29	
	M2	1,32				
L11 - L12	M1	5,18	3,51	4,14	4,14	
	M2	1,84				
Pav. Superior	L1 - L2	M1	21,68	12,61	17,34	17,34
		M2	3,53			
	L3 - L4	M1	0,40	0,40	0,32	0,40
		M2	0,40			
	L3 L6	M1	1,29	0,85	1,03	1,03
		M2	0,40			
	L6 - L7y	M1	2,45	1,87	1,96	1,96
		M2	1,29			

	L6 - L7x	M1	3,45	2,63	2,76	2,76
		M2	1,81			
	L5 - L7	M1	6,48	4,97	5,18	5,18
		M2	3,45			
	L7 - L8	M1	2,45	1,99	1,96	1,99
		M2	1,53			
	L7 - L10	M1	6,12	3,87	4,90	4,90
		M2	1,61			
	L8 - L9	M1	2,38	2,36	1,90	2,36
		M2	2,33			
	L9 - L10	M1	6,12	3,87	4,90	4,90
		M2	1,61			
L9 - L12	M1	3,58	2,37	2,86	2,86	
	M2	1,15				
L10 - L11	M1	6,12	4,15	4,90	4,90	
	M2	2,17				
L10 - L12	M1	6,12	4,28	4,90	4,90	
	M2	2,43				
L12 - L13	M1	3,58	2,37	2,86	2,86	
	M2	1,15				
Pav. Cobertura	L2 - L3	M1	21,25	20,51	17,00	20,51
		M2	19,76			
	L3 - L5	M1	21,25	19,56	17,00	19,56
		M2	17,86			
	L3 - L6	M1	21,25	16,74	17,00	17,00
		M2	12,22			
	L5 - L6	M1	27,49	17,88	21,99	21,99
		M2	8,27			
	L5 - L7	M1	27,49	18,17	21,99	21,99
		M2	8,85			
	L6 - L7	M1	12,22	9,97	9,78	9,97
		M2	7,71			

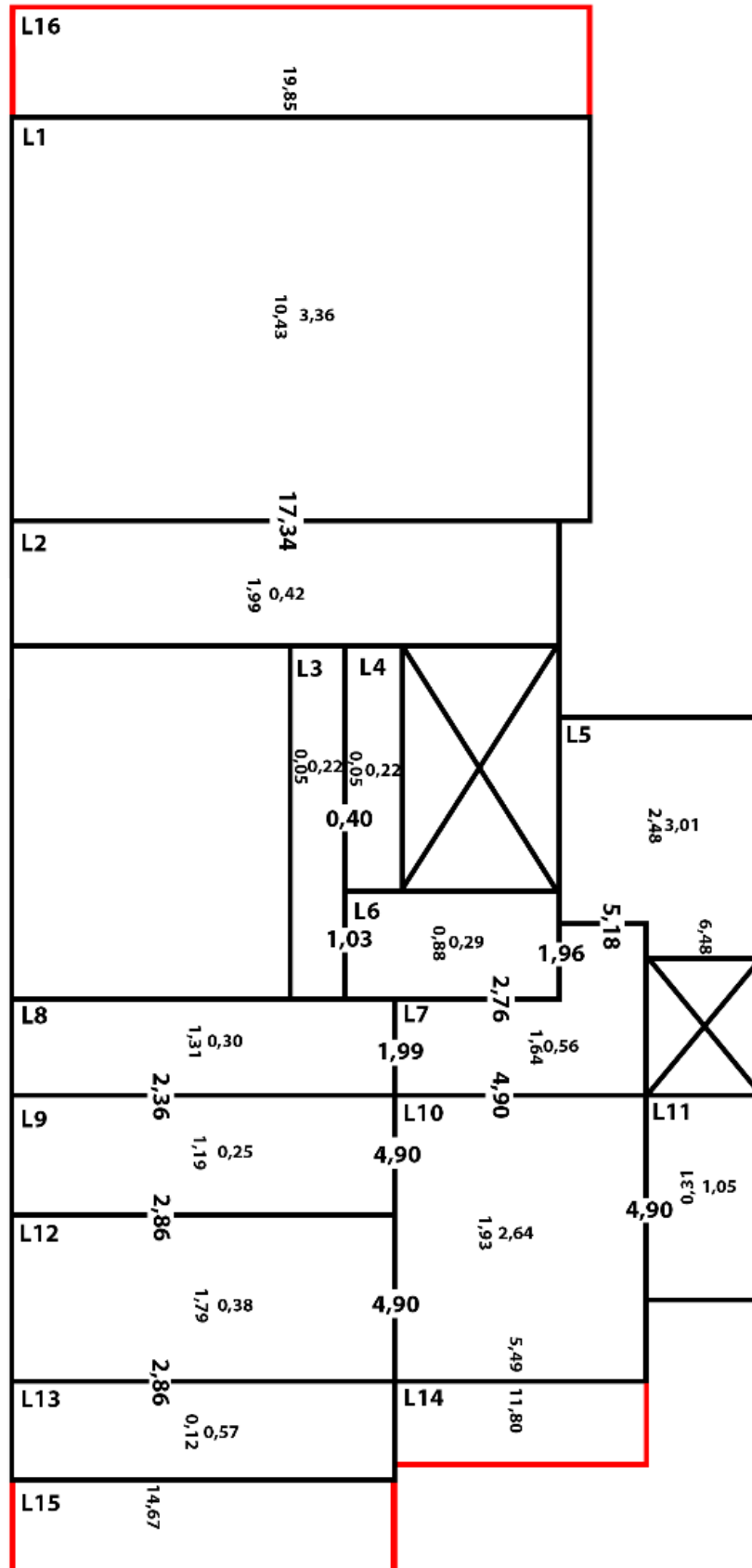
Fonte: Próprio Autor (2022).

Figura 23 - Momento fletores solicitantes compatibilizados, pavimento térreo.



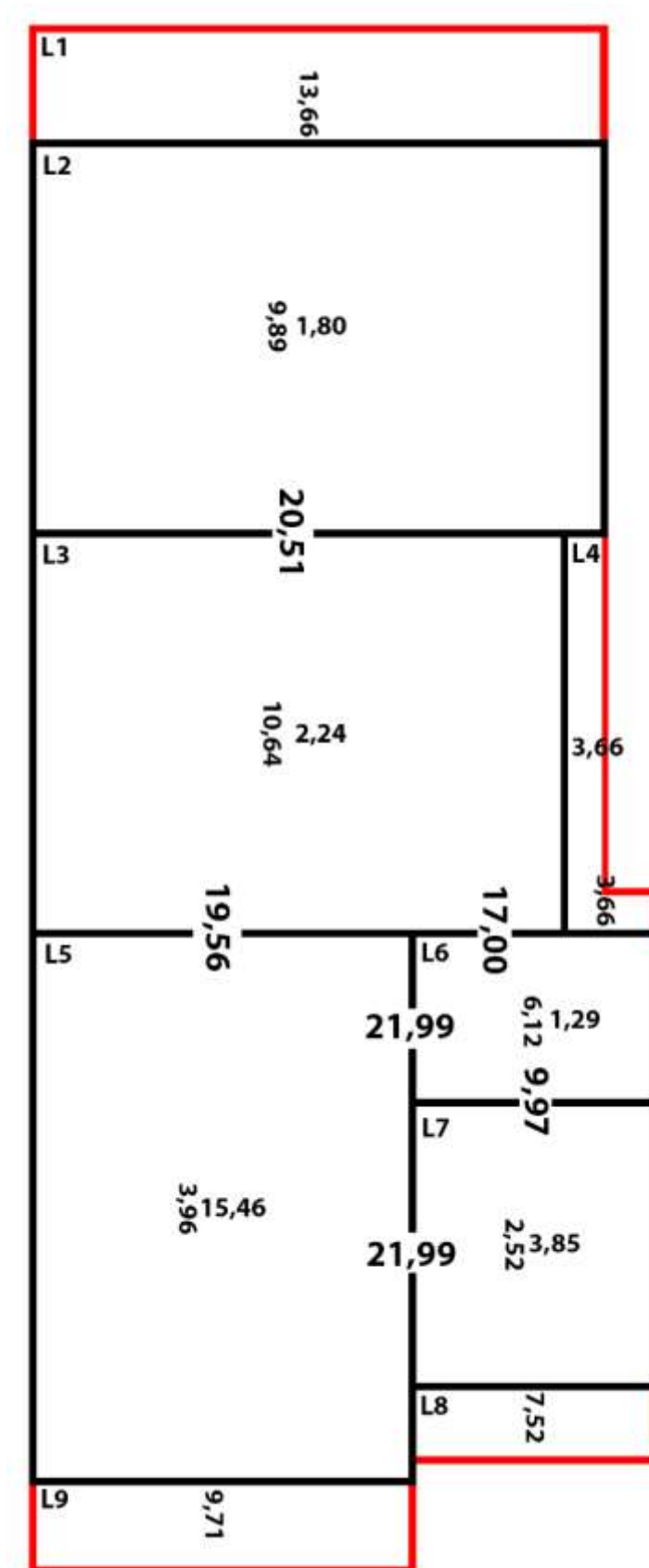
Fonte: Próprio Autor (2022).

Figura 24 - Momento fletores solicitantes compatibilizados, pavimento superior.



Fonte: Próprio Autor (2022).

Figura 25 - Momento fletores solicitantes compatibilizados, pavimento cobertura.



Fonte: Próprio Autor (2022).

Quadro 22 - Comparativo de momentos fletores negativos das lajes.

Pavimento	Laje	Cálculo Manual (kN.m/m)	Software Eberick (kN.m/m)	Variação
Pav. Térreo	L1 - L2	22,90	16,43	39%
	L1 - L3	22,90	17,23	33%
	L2 - L3	2,90	12,29	-76%
	L4 - L6	0,42	2,43	-83%
	L4 - L7	10,10	6,45	57%
	L5 - L6	0,42	6,92	-94%
	L5 - L9	5,18	0,27	1820%
	L5 - L10	5,18	2,27	128%
	L6 - L8	1,41	1,02	38%
	L7 - L8	1,83	3,49	-48%
	L8 - L9	1,25	1,40	-11%
	L8 - L11	1,98	4,48	-56%
	L9 - L10	1,21	4,36	-72%
	L9 - L12	4,29	6,27	-32%
	L10 - L12	4,29	5,28	-19%
L11 - L12	4,14	3,29	26%	
Pav. Superior	L1 - L2	17,34	14,58	19%
	L3 - L4	0,40	0,65	-38%
	L3 - L6	1,03	1,32	-22%
	L6 - L7y	1,96	1,59	23%
	L6 - L7x	2,76	4,16	-34%

	L5 - L7	5,18	5,26	-1%
	L7 - L8	1,99	4,21	-53%
	L7 - L10	4,90	4,80	2%
	L8 - L9	2,36	5,27	-55%
	L9 - L10	4,90	3,58	37%
	L9 - L12	2,86	1,99	44%
	L10 - L11	4,90	4,50	9%
	L10 - L12	4,90	6,94	-29%
	L12 - L13	2,86	2,15	33%
Pav. Cobertura	L2 - L3	20,51	14,56	41%
	L3 - L5	19,56	12,40	58%
	L3 - L6	17,00	12,59	35%
	L5 - L6	21,99	21,08	4%
	L5 - L7	21,99	18,53	19%
	L6 - L7	9,97	6,36	57%

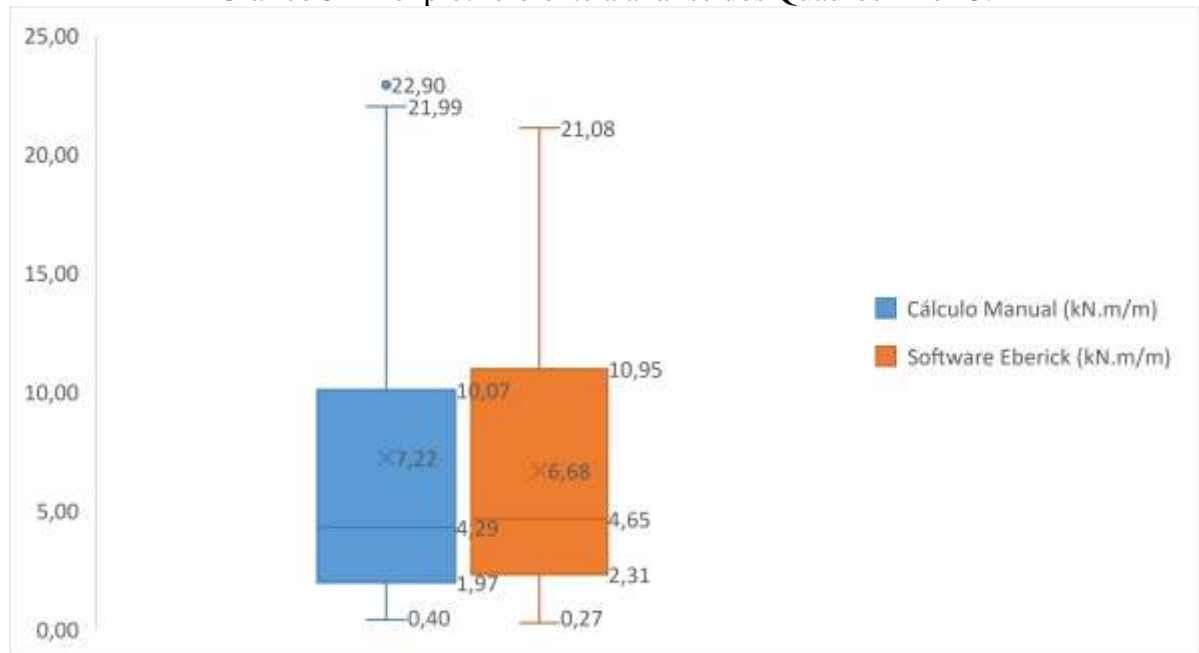
Fonte: Próprio Autor (2022).

Quadro 23 - Análise estatística descritiva para o quadro 22.

	Cálculo Manual (cm ² /m)	Software Eberick (cm ² /m)
Mediana	4,29	4,65
1° quartil	1,97	2,31
3° quartil	10,07	10,95
extremo 1	0,40	0,27
extremo 2	22,90	21,08

Fonte: Próprio Autor (2022).

Gráfico 5 – Boxplot referente a análise dos Quadros 22 e 23.



Fonte: Próprio Autor (2022).

Quadro 24 - Comparativo de momentos fletores positivos das lajes.

Pavimento	Laje	Momentos	Cálculo Manual (kN.m/m)	Software Eberick (kN.m/m)	Variação
Pav. Térreo	L1	Mx	13,42	12,15	10%
		My	5,74	18,20	-68%
	L2	Mx	3,10	5,59	-45%
		My	0,71	0,60	18%
	L3	Mx	0,95	1,76	-46%
		My	0,59	0,00	0%
	L4	Mx	5,87	6,03	-3%
		My	2,64	6,10	-57%
	L5	Mx	3,01	3,12	-4%
		My	2,48	3,00	-17%
	L6	Mx	0,46	0,03	1444%
		My	0,12	2,40	-95%
	L7	Mx	1,85	3,18	-42%
		My	0,42	2,60	-84%
L8	Mx	0,78	0,36	117%	
	My	0,48	1,80	-73%	
L9	Mx	0,46	0,18	154%	
	My	0,23	1,10	-79%	
L10	Mx	0,55	0,00	0%	
	My	1,03	1,70	-39%	
L11	Mx	0,95	0,57	67%	

		My	0,59	0,60	-2%
	L12	Mx	2,12	0,73	191%
		My	1,93	3,60	-46%
Pav. Superior	L1	Mx	10,43	12,73	-18%
		My	3,36	15,80	-79%
	L2	Mx	1,99	20,29	-90%
		My	0,42	12,10	-97%
	L3	Mx	0,22	0,17	32%
		My	0,05	2,30	-98%
	L4	Mx	0,22	0,11	103%
		My	0,05	2,20	-98%
	L5	Mx	3,01	2,83	6%
		My	2,48	4,20	-41%
	L6	Mx	0,88	2,16	-59%
		My	0,29	11,30	-97%
	L7	Mx	1,64	0,16	922%
		My	0,56	5,10	-89%
	L8	Mx	1,31	3,98	-67%
		My	0,30	8,40	-96%
	L9	Mx	1,19	3,85	-69%
		My	0,25	0,50	-50%
	L10	Mx	2,64	1,54	71%
		My	1,93	3,10	-38%
	L11	Mx	1,05	0,41	157%
		My	0,31	0,40	-23%
	L12	Mx	1,79	5,19	-65%
		My	0,38	2,60	-85%
L13	Mx	0,57	5,77	-90%	
	My	0,12	1,70	-93%	
Pav. Cobertura	L2	Mx	9,89	8,54	16%
		My	1,80	9,80	-82%
	L3	Mx	10,64	9,72	9%
		My	2,24	7,40	-70%
	L5	Mx	15,46	11,08	40%
		My	3,96	3,04	30%
	L6	Mx	6,12	2,22	176%
		My	1,29	6,40	-80%
	L7	Mx	3,85	3,21	20%
		My	2,52	1,43	76%

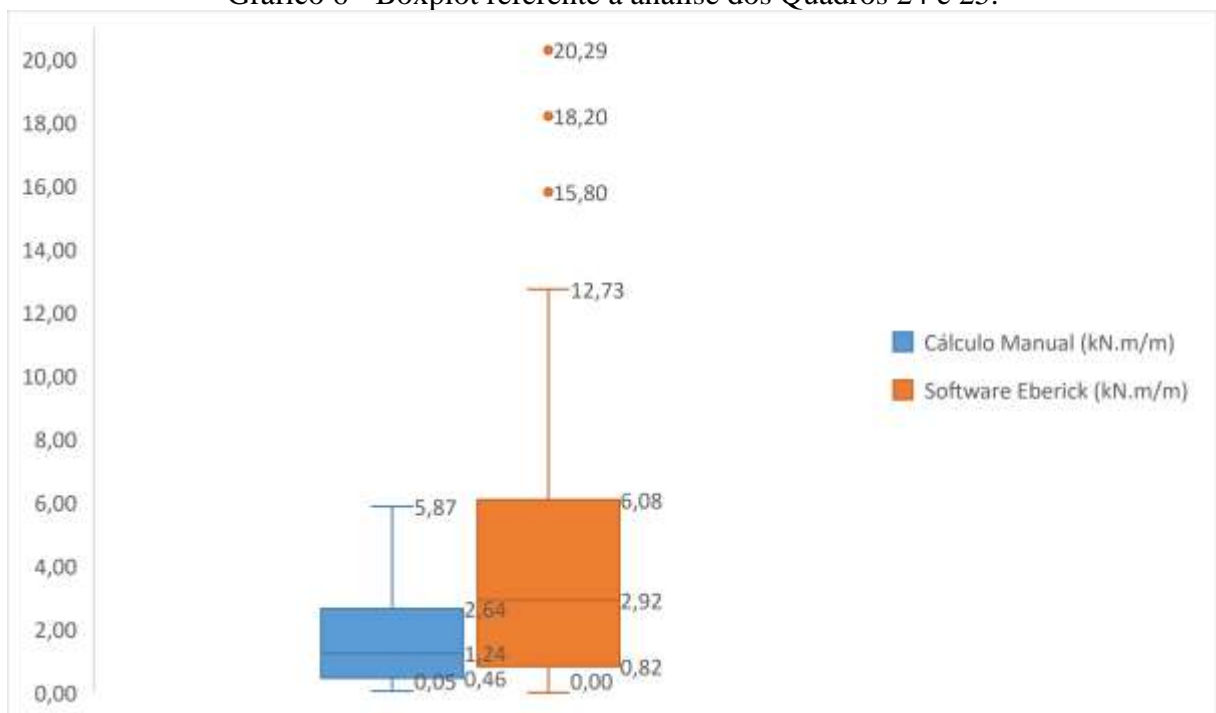
Fonte: Próprio Autor (2022).

Quadro 25 - Análise estatística descritiva para o quadro 24.

	Cálculo Manual (kN.m/m)	Software Eberick (kN.m/m)
Mediana	1,24	2,92
1° quartil	0,46	0,82
3° quartil	2,64	6,08
extremo 1	0,05	0,00
extremo 2	15,46	20,29

Fonte: Próprio Autor (2022).

Gráfico 6 - Boxplot referente a análise dos Quadros 24 e 25.



Fonte: Próprio Autor (2022).

Quadro 26 - Comparativo de momentos fletores de engaste das lajes em balanço.

Pavimento	Laje	Cálculo Manual (kN.m/m)	Software Eberick (kN.m/m)	Variação
Pav. Superior	L14	11,80	12,67	-7%
Pav. Superior	L15	14,67	12,59	16%
Pav. Superior	L16	19,85	14,83	34%
Pav. Cobertura	L1	13,66	11,25	21%
Pav. Cobertura	L4	3,66	3,98	-8%
Pav. Cobertura	L8	7,52	7,86	-4%
Pav. Cobertura	L9	9,71	8,21	18%

Fonte: Próprio Autor (2022).

Quadro 27 - Area de aço das Armaduras Longitudinais Positivas

Pavimento	Laje	Momentos (mm)	d (cm)	b (cm)	h (cm)	Kc (cm ² /kN)	Concreto	AÇO		
Pav. Térreo	L1	Mx	13,42	6,3	9,47	100	12	6,68	C30	CA50
		My	5,74	6,3	9,41	100	12	15,41	C30	CA50
	L2	Mx	3,10	6,3	9,47	100	12	28,91	C30	CA50
		My	0,71	6,3	9,41	100	12	125,36	C30	CA50
	L3	Mx	0,95	6,3	9,47	100	12	93,94	C30	CA50
		My	0,59	6,3	9,41	100	12	150,53	C30	CA50
	L4	Mx	5,87	6,3	9,47	100	12	15,27	C30	CA50
		My	2,64	6,3	9,41	100	12	33,47	C30	CA50
	L5	Mx	3,01	6,3	9,47	100	12	29,79	C30	CA50
		My	2,48	6,3	9,41	100	12	35,66	C30	CA50
	L6	Mx	0,46	6,3	9,47	100	12	193,56	C30	CA50
		My	0,12	6,3	9,41	100	12	745,94	C30	CA50
	L7	Mx	1,85	6,3	9,47	100	12	48,39	C30	CA50
		My	0,42	6,3	9,41	100	12	209,79	C30	CA50
	L8	Mx	0,78	6,3	9,47	100	12	114,54	C30	CA50
		My	0,48	6,3	9,41	100	12	183,43	C30	CA50
	L9	Mx	0,46	6,3	9,47	100	12	196,44	C30	CA50
		My	0,23	6,3	9,41	100	12	390,02	C30	CA50
	L10	Mx	0,55	6,3	9,47	100	12	163,29	C30	CA50
		My	1,03	6,3	9,41	100	12	85,55	C30	CA50
	L11	Mx	0,95	6,3	9,47	100	12	93,94	C30	CA50
		My	0,59	6,3	9,41	100	12	150,53	C30	CA50
	L12	Mx	2,12	6,3	9,47	100	12	42,26	C30	CA50
		My	1,93	6,3	9,41	100	12	45,74	C30	CA50
Pav. Superior	L1	Mx	10,43	6,3	9,47	100	12	8,60	C30	CA50
		My	3,36	6,3	9,41	100	12	26,33	C30	CA50
	L2	Mx	1,99	6,3	9,47	100	12	45,14	C30	CA50
		My	0,42	6,3	9,41	100	12	211,55	C30	CA50
	L3	Mx	0,22	6,3	9,47	100	12	401,00	C30	CA50
		My	0,05	6,3	9,41	100	12	1879,50	C30	CA50
	L4	Mx	0,22	6,3	9,47	100	12	401,00	C30	CA50
		My	0,05	6,3	9,41	100	12	1879,50	C30	CA50

Pav. Cobertura	L5	Mx	3,01	6,3	9,47	100	12	29,79	C30	CA50
		My	2,48	6,3	9,41	100	12	35,66	C30	CA50
	L6	Mx	0,88	6,3	9,47	100	12	102,24	C30	CA50
		My	0,29	6,3	9,41	100	12	308,27	C30	CA50
	L7	Mx	1,64	6,3	9,47	100	12	54,83	C30	CA50
		My	0,56	6,3	9,41	100	12	159,37	C30	CA50
	L8	Mx	1,31	6,3	9,47	100	12	68,37	C30	CA50
		My	0,30	6,3	9,41	100	12	296,40	C30	CA50
	L9	Mx	1,19	6,3	9,47	100	12	75,18	C30	CA50
		My	0,25	6,3	9,41	100	12	351,52	C30	CA50
	L10	Mx	2,64	6,3	9,47	100	12	33,95	C30	CA50
		My	1,93	6,3	9,41	100	12	45,76	C30	CA50
	L11	Mx	1,05	6,3	9,47	100	12	85,19	C30	CA50
		My	0,31	6,3	9,41	100	12	287,72	C30	CA50
	L12	Mx	1,79	6,3	9,47	100	12	49,97	C30	CA50
		My	0,38	6,3	9,41	100	12	233,63	C30	CA50
	L13	Mx	0,57	6,3	9,47	100	12	156,40	C30	CA50
		My	0,12	6,3	9,41	100	12	731,29	C30	CA50
	L2	Mx	9,89	6,3	9,47	100	12	9,06	C30	CA50
		My	1,80	6,3	9,41	100	12	49,07	C30	CA50
	L3	Mx	10,64	6,3	9,47	100	12	8,43	C30	CA50
		My	2,24	6,3	9,41	100	12	39,41	C30	CA50
	L5	Mx	15,46	6,3	9,47	100	12	5,80	C30	CA50
		My	3,96	6,3	9,41	100	12	22,35	C30	CA50
L6	Mx	6,12	6,3	9,47	100	12	14,65	C30	CA50	
	My	1,29	6,3	9,41	100	12	68,52	C30	CA50	
L7	Mx	3,85	6,3	9,47	100	12	23,31	C30	CA50	
	My	2,52	6,3	9,41	100	12	35,09	C30	CA50	

Fonte: Próprio Autor (2022).

Quadro 28 – (continuação)

Interpolação				
Kc_abaixo	Kc_acima	Ks_abaixo	Ks_acima	Ks interpolado (cm ² /kN)
6	7,2	0,024	0,024	0,0240
11,7	17,4	0,024	0,023	0,0233

34,6	34,6	0,023	0,023	0,0230
17,4	34,6	0,023	0,023	0,0230
34,6	34,6	0,023	0,023	0,0230
34,6	34,6	0,023	0,023	0,0230
34,6	34,6	0,023	0,023	0,0230
34,6	34,6	0,023	0,023	0,0230
34,6	34,6	0,023	0,023	0,0230
34,6	34,6	0,023	0,023	0,0230
34,6	34,6	0,023	0,023	0,0230
8,9	11,7	0,024	0,024	0,0240
34,6	34,6	0,023	0,023	0,0230
7,2	8,9	0,024	0,024	0,0240
34,6	34,6	0,023	0,023	0,0230
5,2	6	0,024	0,024	0,0240
17,4	34,6	0,023	0,023	0,0230
11,7	17,4	0,024	0,023	0,0235
34,6	34,6	0,023	0,023	0,0230
17,4	34,6	0,023	0,023	0,0230
34,6	34,6	0,023	0,023	0,0230

Fonte: Próprio Autor (2022).

Quadro 29 – (continuação)

β	As min (cm ² /m)	As cal (cm ² /m)	As adot (cm ² /m)
0,12	1,21	3,40	3,43
0,06	1,80	1,43	1,87
0,04	1,21	0,75	1,25
0,02	1,80	0,17	1,87
0,02	1,21	0,23	1,25
0,02	1,80	0,14	1,87
0,06	1,21	1,45	1,56
0,04	1,80	0,65	1,87
0,04	1,21	0,73	1,25
0,02	1,80	0,61	1,87
0,02	1,21	0,11	1,25
0,02	1,80	0,03	1,87

0,02	1,21	0,45	1,25
0,02	1,80	0,10	1,87
0,02	1,21	0,19	1,25
0,02	1,80	0,12	1,87
0,02	1,21	0,11	1,25
0,02	1,80	0,06	1,87
0,02	1,21	0,13	1,25
0,02	1,80	0,25	1,87
0,02	1,21	0,23	1,25
0,02	1,80	0,14	1,87
0,02	1,21	0,52	1,25
0,02	1,80	0,47	1,87
0,1	1,21	2,64	2,81
0,04	1,80	0,82	1,87
0,02	1,21	0,48	1,25
0,02	1,80	0,10	1,87
0,02	1,21	0,05	1,25
0,02	1,80	0,01	1,87
0,02	1,21	0,05	1,25
0,02	1,80	0,01	1,87
0,04	1,21	0,73	1,25
0,02	1,80	0,61	1,87
0,02	1,21	0,21	1,25
0,02	1,80	0,07	1,87
0,02	1,21	0,40	1,25
0,02	1,80	0,14	1,87
0,02	1,21	0,32	1,25
0,02	1,80	0,07	1,87
0,02	1,21	0,29	1,25
0,02	1,80	0,06	1,87
0,04	1,21	0,64	1,25
0,02	1,80	0,47	1,87
0,02	1,21	0,26	1,25
0,02	1,80	0,08	1,87
0,02	1,21	0,44	1,25
0,02	1,80	0,09	1,87
0,02	1,21	0,14	1,25
0,02	1,80	0,03	1,87
0,08	1,21	2,51	2,81

0,02	1,80	0,44	1,87
0,1	1,21	2,70	2,81
0,02	1,80	0,55	1,87
0,14	1,21	3,92	4,05
0,04	1,80	0,97	1,87
0,06	1,21	1,52	1,56
0,02	1,80	0,32	1,87
0,04	1,21	0,93	1,25
0,02	1,80	0,62	1,87

Fonte: Próprio Autor (2022).

Quadro 30 – Comparativo das Armaduras Longitudinais Positivas.

Pavimento	Laje	Direção	Cálculo Manual (cm ² /m)	Software Eberick (cm ² /m)	Variação
Pav. Térreo	L1	X	3,43	3,21	7%
		Y	1,87	5,55	-66%
	L2	X	1,25	1,86	-33%
		Y	1,87	0,99	89%
	L3	X	1,25	1,86	-33%
		Y	1,87	0,99	89%
	L4	X	1,56	1,54	1%
		Y	1,87	1,68	11%
	L5	X	1,25	1,23	1%
		Y	1,87	1,33	41%
	L6	X	1,25	0,92	36%
		Y	1,87	2,00	-6%
	L7	X	1,25	1,23	1%
		Y	1,87	1,33	41%
	L8	X	1,25	0,92	36%
		Y	1,87	2,00	-6%
	L9	X	1,25	0,92	36%
		Y	1,87	2,00	-6%
	L10	X	1,25	0,92	36%
		Y	1,87	2,00	-6%
	L11	X	1,25	1,23	1%
		Y	1,87	1,33	41%
	L12	X	1,25	1,23	1%
		Y	1,87	1,33	41%
Pav. Superior	L1	X	2,81	3,37	-17%
		Y	1,87	4,77	-61%
	L2	X	1,25	5,60	-78%
		Y	1,87	3,69	-49%

	L3	X	1,25	0,92	36%	
		Y	1,87	2,00	-6%	
	L4	X	1,25	0,92	36%	
		Y	1,87	2,00	-6%	
	L5	X	1,25	1,23	1%	
		Y	1,87	1,33	41%	
	L6	X	1,25	0,92	36%	
		Y	1,87	3,21	-42%	
	L7	X	1,25	0,92	36%	
		Y	1,87	2,00	-6%	
	L8	X	1,25	1,23	1%	
		Y	1,87	2,37	-21%	
	L9	X	1,25	1,86	-33%	
		Y	1,87	0,99	89%	
	L10	X	1,25	1,54	-19%	
		Y	1,87	1,33	41%	
	L11	X	1,25	1,23	1%	
		Y	1,87	1,33	41%	
	L12	X	1,25	1,32	-6%	
		Y	1,87	1,33	41%	
	L13	X	1,25	1,47	-15%	
		Y	1,87	1,33	41%	
	Pav. Cobertura	L2	X	2,81	2,20	28%
			Y	1,87	2,77	-32%
L3		X	2,81	2,54	10%	
		Y	1,87	2,09	-11%	
L5		X	4,05	2,91	39%	
		Y	1,87	1,35	39%	
L6		X	1,56	1,23	27%	
		Y	1,87	1,78	5%	
L7		X	1,25	1,23	1%	
		Y	1,87	1,43	31%	

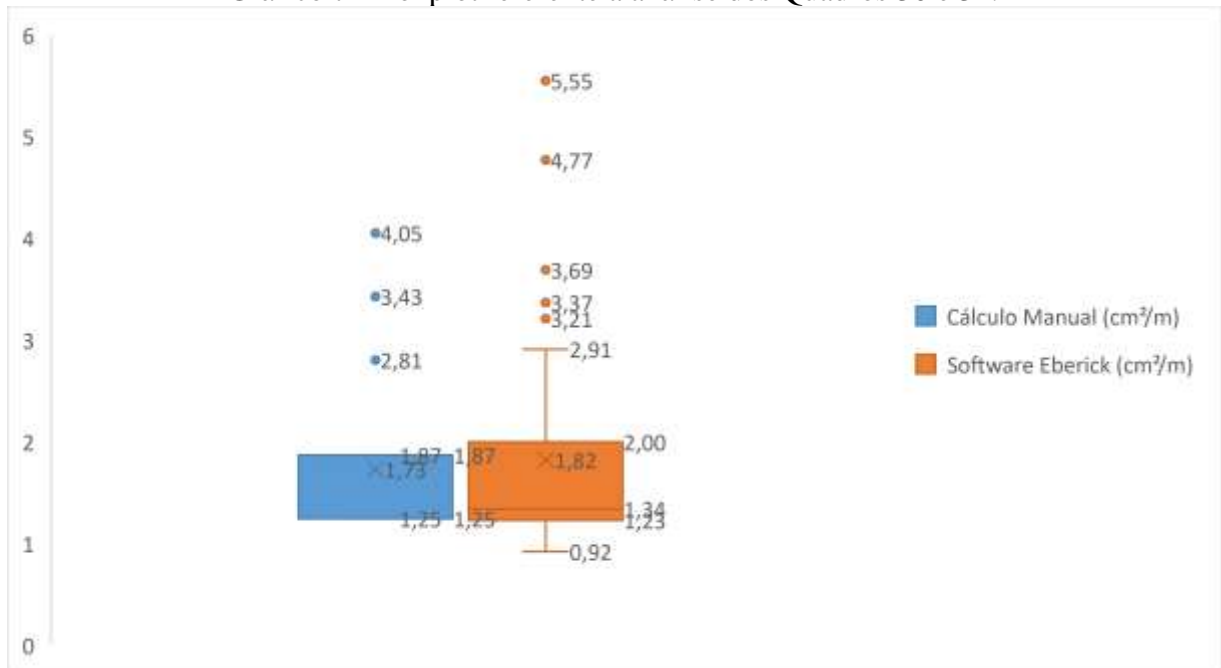
Fonte: Próprio Autor (2022).

Quadro 31 - Análise estatística descritiva para o Quadro 30.

	Cálculo Manual (cm ² /m)	Software Eberick (cm ² /m)
Mediana	1,87	1,34
1° quartil	1,25	1,23
3° quartil	1,87	2,00
extremo 1	1,25	0,92
extremo 2	4,05	5,60

Fonte: Próprio Autor (2022).

Gráfico 7 - Boxplot referente a análise dos Quadros 30 e 31.



Fonte: Próprio Autor (2022).

Quadro 32 - Area de aço das Armaduras Longitudinais Positivas

Pavimento	Lajes	Cálculo Manual (kN.m/m)	(mm)	d (cm)	b (cm)	h (cm)	Kc (cm²/kN)	Concreto	AÇO	
Pav. Térreo	L1 - L2	22,904	6,30	9,185	100,00	12	3,68	C30	CA50	
		22,904	6,30	9,185	100,00	12	3,68	C30	CA50	
	L2 - L3	2,896	6,30	9,185	100,00	12	29,13	C30	CA50	
		0,424	6,30	9,185	100,00	12	198,97	C30	CA50	
	L4 - L7	10,104	6,30	9,185	100,00	12	8,35	C30	CA50	
		0,424	6,30	9,185	100,00	12	198,97	C30	CA50	
	L5 - L9	5,184	6,30	9,185	100,00	12	16,27	C30	CA50	
		5,184	6,30	9,185	100,00	12	16,27	C30	CA50	
	L6 - L8	1,408	6,30	9,185	100,00	12	59,92	C30	CA50	
		1,825	6,30	9,185	100,00	12	46,23	C30	CA50	
	L8 - L9	1,245	6,30	9,185	100,00	12	67,76	C30	CA50	
		1,98	6,30	9,185	100,00	12	42,61	C30	CA50	
	L9 - L10	1,205	6,30	9,185	100,00	12	70,01	C30	CA50	
		4,288	6,30	9,185	100,00	12	19,67	C30	CA50	
	L10 - L12	4,288	6,30	9,185	100,00	12	19,67	C30	CA50	
		4,144	6,30	9,185	100,00	12	20,36	C30	CA50	
	Pav. Superior	L1 - L2	17,344	6,30	9,185	100,00	12	4,86	C30	CA50
			0,4	6,30	9,185	100,00	12	210,91	C30	CA50

	L3 - L6	1,032	6,30	9,185	100,00	12	81,75	C30	CA50	
		1,96	6,30	9,185	100,00	12	43,04	C30	CA50	
	L6 - L7x	2,76	6,30	9,185	100,00	12	30,57	C30	CA50	
		5,184	6,30	9,185	100,00	12	16,27	C30	CA50	
	L7 - L8	1,99	6,30	9,185	100,00	12	42,39	C30	CA50	
		4,896	6,30	9,185	100,00	12	17,23	C30	CA50	
	L8 - L9	2,355	6,30	9,185	100,00	12	35,82	C30	CA50	
		4,896	6,30	9,185	100,00	12	17,23	C30	CA50	
	L9 - L12	2,864	6,30	9,185	100,00	12	29,46	C30	CA50	
		4,896	6,30	9,185	100,00	12	17,23	C30	CA50	
	L10 - L12	4,896	6,30	9,185	100,00	12	17,23	C30	CA50	
		2,864	6,30	9,185	100,00	12	29,46	C30	CA50	
	Pav. Cobertura	L2 - L3	20,505	6,30	9,185	100,00	12	4,11	C30	CA50
			19,555	6,30	9,185	100,00	12	4,31	C30	CA50
		L3 - L6	17	6,30	9,185	100,00	12	4,96	C30	CA50
			21,992	6,30	9,185	100,00	12	3,84	C30	CA50
		L5 - L7	21,992	6,30	9,185	100,00	12	3,84	C30	CA50
			9,965	6,30	9,185	100,00	12	8,47	C30	CA50

Fonte: Próprio Autor (2022).

Quadro 33 – (continuação)

Interpolação				
Kc_abaixo	Kc_acima	Ks_abaixo	Ks_acima	Ks interpolado (cm ² /kN)
3,40	3,7	0,025	0,025	0,025
3,40	3,7	0,025	0,025	0,025
17,40	34,6	0,023	0,023	0,023
34,60	34,6	0,023	0,023	0,023
7,20	8,9	0,024	0,024	0,024
34,60	34,6	0,023	0,023	0,023
11,70	17,4	0,024	0,023	0,023
11,70	17,4	0,024	0,023	0,023
34,60	34,6	0,023	0,023	0,023
34,60	34,6	0,023	0,023	0,023
34,60	34,6	0,023	0,023	0,023
34,60	34,6	0,023	0,023	0,023
34,60	34,6	0,023	0,023	0,023
34,60	34,6	0,023	0,023	0,023
17,40	34,6	0,023	0,023	0,023
17,40	34,6	0,023	0,023	0,023
17,40	34,6	0,023	0,023	0,023
4,60	5,2	0,025	0,024	0,025
34,60	34,6	0,023	0,023	0,023
34,60	34,6	0,023	0,023	0,023

34,60	34,6	0,023	0,023	0,023
17,40	34,6	0,023	0,023	0,023
11,70	17,4	0,024	0,023	0,023
34,60	34,6	0,023	0,023	0,023
11,70	17,4	0,024	0,023	0,023
34,60	34,6	0,023	0,023	0,023
11,70	17,4	0,024	0,023	0,023
17,40	34,6	0,023	0,023	0,023
11,70	17,4	0,024	0,023	0,023
11,70	17,4	0,024	0,023	0,023
17,40	34,6	0,023	0,023	0,023
4,10	4,6	0,025	0,025	0,025
4,10	4,6	0,025	0,025	0,025
4,60	5,2	0,025	0,024	0,024
3,70	4,1	0,025	0,025	0,025
3,70	4,1	0,025	0,025	0,025
7,20	8,9	0,024	0,024	0,024

Fonte: Próprio Autor (2022).

Quadro 34 – (continuação)

β	As min (cm ² /m)	As cal (cm ² /m)	As adot (cm ² /m)	s (cm)
0,2200	1,8	6,23	6,23	5,00
0,2200	1,8	6,23	6,23	5,00
0,0400	1,8	0,73	1,87	16,60
0,0200	1,8	0,11	1,87	16,60
0,1000	1,8	2,64	2,81	11,10
0,0200	1,8	0,11	1,87	16,60
0,0600	1,8	1,31	1,87	16,60
0,0600	1,8	1,31	1,87	16,60
0,0200	1,8	0,35	1,87	16,60
0,0200	1,8	0,46	1,87	16,60
0,0200	1,8	0,31	1,87	16,60
0,0200	1,8	0,50	1,87	16,60
0,0200	1,8	0,30	1,87	16,60
0,0400	1,8	1,07	1,87	16,60
0,0400	1,8	1,07	1,87	16,60
0,0400	1,8	1,04	1,87	16,60
0,1600	1,8	4,64	4,68	6,60
0,0200	1,8	0,10	1,87	16,60
0,0200	1,8	0,26	1,87	16,60
0,0200	1,8	0,49	1,87	16,60

0,0400	1,8	0,69	1,87	16,60
0,0600	1,8	1,31	1,87	16,60
0,0200	1,8	0,50	1,87	16,60
0,0600	1,8	1,23	1,87	16,60
0,0200	1,8	0,59	1,87	16,60
0,0600	1,8	1,23	1,87	16,60
0,0400	1,8	0,72	1,87	16,60
0,0600	1,8	1,23	1,87	16,60
0,0600	1,8	1,23	1,87	16,60
0,0400	1,8	0,72	1,87	16,60
0,1800	1,8	5,58	5,61	5,50
0,1800	1,8	5,32	5,61	5,50
0,1600	1,8	4,52	4,68	6,60
0,2000	1,8	5,99	6,23	5,00
0,2000	1,8	5,99	6,23	5,00
0,1000	1,8	2,60	2,81	11,10

Fonte: Próprio Autor (2022).

Quadro 35 - Comparativo das áreas de aço das Armaduras Longitudinais Negativas.

Pavimento	Lajes	Cálculo Manual (cm ² /m)	Software Eberick (cm ² /m)	Variação
Pav. Térreo	L1 - L2	6,23	5,30	18%
	L1 - L3	6,23	3,24	92%
	L2 - L3	1,87	2,92	-36%
	L4 - L6	1,87	1,78	5%
	L4 - L7	2,81	3,32	-15%
	L5 - L6	1,87	1,37	37%
	L5 - L9	1,87	1,19	57%
	L5 - L10	1,87	1,44	30%
	L6 - L8	1,87	2,15	-13%
	L7 - L8	1,87	1,45	29%
	L8 - L9	1,87	1,78	5%
	L8 - L11	1,87	1,48	26%
	L9 - L10	1,87	1,78	5%
	L9 - L12	1,87	1,78	5%
L10 - L12	1,87	1,44	30%	
L11 - L12	1,87	3,89	-52%	
Pav. Superior	L1 - L2	4,68	2,87	63%
	L3 - L4	1,87	0,00	186935%
	L3 - L6	1,87	1,58	18%
	L6 - L7y	1,87	1,58	18%

	L6 - L7x	1,87	5,65	-67%
	L5 - L7	1,87	4,32	-57%
	L7 - L8	1,87	1,74	7%
	L7 - L10	1,87	3,26	-43%
	L8 - L9	1,87	1,56	20%
	L9 - L10	1,87	2,20	-15%
	L9 - L12	1,87	1,43	31%
	L10 - L11	1,87	1,61	16%
	L10 - L12	1,87	0,98	91%
	L12 - L13	1,87	1,21	55%
Pav. Cobertura	L2 - L3	5,61	4,08	38%
	L3 - L5	5,61	8,87	-37%
	L3 - L6	4,68	3,16	48%
	L5 - L6	6,23	3,68	69%
	L5 - L7	6,23	3,62	72%
	L6 - L7	2,81	2,97	-6%

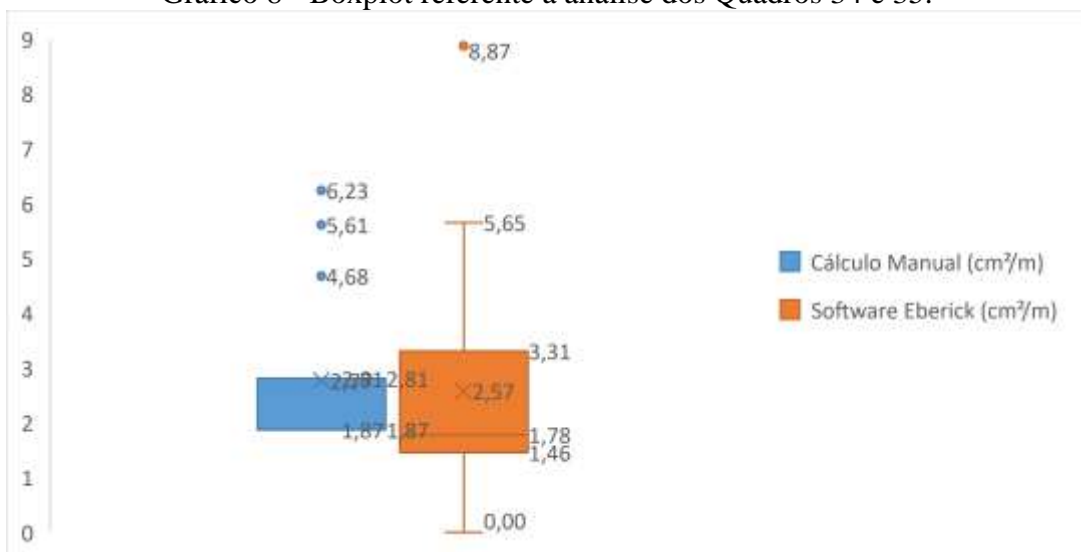
Fonte: Próprio Autor (2022).

Quadro 36 - Análise estatística descritiva para o Quadro 35.

	Cálculo Manual (cm ² /m)	Software Eberick (cm ² /m)
Mediana	1,87	1,78
1° quartil	1,87	1,46
3° quartil	2,81	3,31
Menor valor	1,87	0,00
Maior valor	6,23	8,87

Fonte: Próprio Autor (2022).

Gráfico 8 - Boxplot referente a análise dos Quadros 34 e 35.



Fonte: Próprio Autor (2022).

Quadro 37 - Area de aço das Armaduras das lajes em balanço

Pavimento	Laje	Cálculo Manual (kN.m/m)	(mm)	d (cm)	b (cm)	h (cm)	Kc (cm ² /kN)	Concreto	AÇO
Pav. Superior	L14	11,80	6,3	11,69	100	12	11,57	C30	CA50
Pav. Superior	L15	14,67	6,3	11,69	100	12	9,31	C30	CA50
Pav. Superior	L16	19,85	6,3	11,69	100	12	6,88	C30	CA50
Pav. Cobertura	L1	13,66	6,3	11,69	100	12	9,99	C30	CA50
Pav. Cobertura	L4	3,66	6,3	11,69	100	12	37,29	C30	CA50
Pav. Cobertura	L8	7,52	6,3	11,69	100	12	18,14	C30	CA50
Pav. Cobertura	L9	9,71	6,3	11,69	100	12	14,07	C30	CA50

Fonte: Próprio Autor (2022).

Quadro 38 – (continuação)

Interpolação				
Kc_abaixo	Kc_acima	Ks_abaixo	Ks_acima	Ks interpolado (cm ² /kN)
8,9	11,7	0,024	0,024	0,0240
8,9	11,7	0,024	0,024	0,0240
6	7,2	0,024	0,024	0,0240
8,9	11,7	0,024	0,024	0,0240
34,6	34,6	0,023	0,023	0,0230
17,4	34,6	0,023	0,023	0,0230
11,7	17,4	0,024	0,023	0,0236

Fonte: Próprio Autor (2022).

Quadro 39 – (continuação)

β	As min (cm ² /m)	As calc primaria (cm ² /m)	As primaria adot (cm ² /m)	s (cm)
0,08	1,21	2,42	2,49	12,50
0,08	1,21	3,01	3,12	10,00
0,12	1,21	4,08	4,36	7,10
0,08	1,21	2,81	3,12	10,00
0,02	1,21	0,72	1,25	20,00
0,04	1,21	1,48	1,56	20,00
0,06	1,21	1,96	2,18	14,20

Fonte: Próprio Autor (2022).

Quadro 40 - Comparativo das Áreas de aço das Armaduras das lajes em balanço.

Pavimento	Lajes	Cálculo Manual (cm ² /m)		Software Eberick (cm ² /m)		Variação	
		As primario	As secundário	As primario	As secundário	Delta principal (%)	Delta secundario (%)
		Pav. Superior	L14	2,49	1,25	2,00	0,92
Pav. Superior	L15	3,12	1,56	1,86	0,99	68%	57%
Pav. Superior	L16	4,36	1,25	2,11	0,99	107%	26%
Pav. Cobertura	L1	3,12	1,56	1,86	0,99	68%	57%
Pav. Cobertura	L4	1,25	0,98	2,9	1,01	-57%	-3%
Pav. Cobertura	L8	1,56	0,98	1,53	1,23	2%	-20%
Pav. Cobertura	L9	2,18	1,09	1,86	0,99	17%	10%

Fonte: Próprio Autor (2022).

TCC MEMORIAL
FINALIZADO.xlsx

ANEXO A – Resumo dos Quadros utilizados nos roteiros de cálculo

Quadro 41 - Características das barras de aço.

Fios	Barras ϕ (mm)	Diâmetro (cm)	Peso (daN/m – kgf/m)	Perímetro (cm)	Área (cm ²)
3,2	–	0,32	0,063	1,00	0,080
4,0	–	0,40	0,100	1,25	0,125
5,5	5,5	0,55	0,186	1,73	0,240
6,3	6,3 (1/4")	0,63	0,248	2,00	0,315
8,0	8,0 (5/16")	0,80	0,393	2,50	0,500
10,0	10,0 (3/8")	1,0	0,624	3,15	0,800

Fonte: Carvalho e Figueredo (2016).

Quadro 42 – (continuação)

Fios	Barras ϕ (mm)	Diâmetro (cm)	Peso (daN/m – kgf/m)	Perímetro (cm)	Área (cm ²)
–	12,5 (1/2")	1,25	0,988	4,00	1,250
–	16,0 (5/8")	1,60	1,570	5,00	2,000
–	20,0 (3/4")	2,0	2,480	6,30	3,150
–	22,5 (7/8")	2,25	3,120	7,10	4,000
–	25,0 (1")	2,50	3,930	8,00	5,000
–	32,0 (1,25")	3,20	6,240	10,0	8,000

Fonte: Carvalho e Figueredo (2016).

Quadro 43 - Valores dos coeficientes V_x , V_y , V'_y , V'_x para os casos 1, 2A e 2B.

Tabela 2.2a									
REAÇÕES DE APOIO EM LAJES COM CARGA UNIFORME									
$\lambda = \frac{\ell_y}{\ell_x}$	Tipo								$\lambda = \frac{\ell_y}{\ell_x}$
	v_x	v_y	v_x	v_y	v'_y	v_x	v'_x	v_y	
1,00	2,50	2,50	1,83	2,75	4,02	2,75	4,02	1,83	1,00
1,05	2,62	2,50	1,92	2,80	4,10	2,82	4,13	1,83	1,05
1,10	2,73	2,50	2,01	2,85	4,17	2,89	4,23	1,83	1,10
1,15	2,83	2,50	2,10	2,88	4,22	2,95	4,32	1,83	1,15
1,20	2,92	2,50	2,20	2,91	4,27	3,01	4,41	1,83	1,20
1,25	3,00	2,50	2,29	2,94	4,30	3,06	4,48	1,83	1,25
1,30	3,08	2,50	2,38	2,95	4,32	3,11	4,55	1,83	1,30
1,35	3,15	2,50	2,47	2,96	4,33	3,16	4,62	1,83	1,35
1,40	3,21	2,50	2,56	2,96	4,33	3,20	4,68	1,83	1,40
1,45	3,28	2,50	2,64	2,96	4,33	3,24	4,74	1,83	1,45
1,50	3,33	2,50	2,72	2,96	4,33	3,27	4,79	1,83	1,50
1,55	3,39	2,50	2,80	2,96	4,33	3,31	4,84	1,83	1,55
1,60	3,44	2,50	2,87	2,96	4,33	3,34	4,89	1,83	1,60
1,65	3,48	2,50	2,93	2,96	4,33	3,37	4,93	1,83	1,65
1,70	3,53	2,50	2,99	2,96	4,33	3,40	4,97	1,83	1,70
1,75	3,57	2,50	3,05	2,96	4,33	3,42	5,01	1,83	1,75
1,80	3,61	2,50	3,10	2,96	4,33	3,45	5,05	1,83	1,80
1,85	3,65	2,50	3,15	2,96	4,33	3,47	5,09	1,83	1,85
1,90	3,68	2,50	3,20	2,96	4,33	3,50	5,12	1,83	1,90
1,95	3,72	2,50	3,25	2,96	4,33	3,52	5,15	1,83	1,95
2,00	3,75	2,50	3,29	2,96	4,33	3,54	5,18	1,83	2,00
> 2,00	5,00	2,50	5,00	2,96	4,33	4,38	6,25	1,83	> 2,00

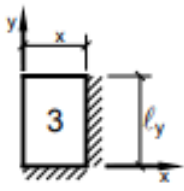
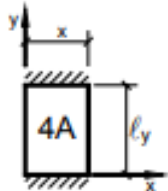
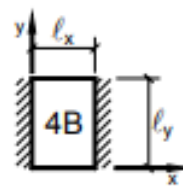
Elaborada por L.M. Pinheiro, conforme o processo das áreas da NBR 6118.

$v = v \frac{p \ell_x}{10}$ $p =$ carga uniforme $\ell_x =$ menor vão

(*) Alívios considerados pela metade, prevendo a possibilidade de engastes parciais.

Fonte: Pinheiro (2007).

Quadro 44 - Valores dos coeficientes V_x , V_y , V'_y , V'_x para os casos 3, 4A e 4B.

Tabela 2.2b									
REAÇÕES DE APOIO EM LAJES COM CARGA UNIFORME									
$\lambda = \frac{\ell_y}{\ell_x}$	Tipo								$\lambda = \frac{\ell_y}{\ell_x}$
									
	v_x	v'_x	v_y	v'_y	v_x	v'_y	v'_x	v_y	
1,00	2,17	3,17	2,17	3,17	1,44	3,56	3,56	1,44	1,00
1,05	2,27	3,32	2,17	3,17	1,52	3,66	3,63	1,44	1,05
1,10	2,36	3,46	2,17	3,17	1,59	3,75	3,69	1,44	1,10
1,15	2,45	3,58	2,17	3,17	1,66	3,84	3,74	1,44	1,15
1,20	2,53	3,70	2,17	3,17	1,73	3,92	3,80	1,44	1,20
1,25	2,60	3,80	2,17	3,17	1,80	3,99	3,85	1,44	1,25
1,30	2,63	3,90	2,17	3,17	1,88	4,06	3,89	1,44	1,30
1,35	2,73	3,99	2,17	3,17	1,95	4,12	3,93	1,44	1,35
1,40	2,78	4,08	2,17	3,17	2,02	4,17	3,97	1,44	1,40
1,45	2,84	4,15	2,17	3,17	2,09	4,22	4,00	1,44	1,45
1,50	2,89	4,23	2,17	3,17	2,17	4,25	4,04	1,44	1,50
1,55	2,93	4,29	2,17	3,17	2,24	4,28	4,07	1,44	1,55
1,60	2,98	4,36	2,17	3,17	2,31	4,30	4,10	1,44	1,60
1,65	3,02	4,42	2,17	3,17	2,38	4,32	4,13	1,44	1,65
1,70	3,06	4,48	2,17	3,17	2,45	4,33	4,15	1,44	1,70
1,75	3,09	4,53	2,17	3,17	2,53	4,33	4,18	1,44	1,75
1,80	3,13	4,58	2,17	3,17	2,59	4,33	4,20	1,44	1,80
1,85	3,16	4,63	2,17	3,17	2,63	4,33	4,22	1,44	1,85
1,90	3,19	4,67	2,17	3,17	2,72	4,33	4,24	1,44	1,90
1,95	3,22	4,71	2,17	3,17	2,78	4,33	4,26	1,44	1,95
2,00	3,25	4,75	2,17	3,17	2,83	4,33	4,28	1,44	2,00
> 2,00	4,38	6,25	2,17	3,17	5,00	4,33	5,00	1,44	> 2,00

Elaborada por L.M. Pinheiro, conforme o processo das áreas da NBR 6118.

$v = v \frac{p \ell_x}{10}$ $p =$ carga uniforme $\ell_x =$ menor vão

(*) Alívios considerados pela metade, prevendo a possibilidade de engastes parciais.

Fonte: Pinheiro (2007).

Quadro 45 - Valores dos coeficientes V_x , V_y , V'_y , V'_x para os casos 5A, 5B e 6.

Tabela 2.2c									
REAÇÕES DE APOIO EM LAJES COM CARGA UNIFORME									
$\lambda = \frac{\ell_y}{\ell_x}$	Tipo								$\lambda = \frac{\ell_y}{\ell_x}$
	5A			5B			6		
	v_x	v'_x	v'_y	v'_x	v_y	v'_y	v'_x	v'_y	
1,00	1,71	2,50	3,03	3,03	1,71	2,50	2,50	2,50	1,00
1,05	1,79	2,63	3,08	3,12	1,71	2,50	2,62	2,50	1,05
1,10	1,88	2,75	3,11	3,21	1,71	2,50	2,73	2,50	1,10
1,15	1,96	2,88	3,14	3,29	1,71	2,50	2,83	2,50	1,15
1,20	2,05	3,00	3,16	3,36	1,71	2,50	2,92	2,50	1,20
1,25	2,13	3,13	3,17	3,42	1,71	2,50	3,00	2,50	1,25
1,30	2,22	3,25	3,17	3,48	1,71	2,50	3,08	2,50	1,30
1,35	2,30	3,36	3,17	3,54	1,71	2,50	3,15	2,50	1,35
1,40	2,37	3,47	3,17	3,59	1,71	2,50	3,21	2,50	1,40
1,45	2,44	3,57	3,17	3,64	1,71	2,50	3,28	2,50	1,45
1,50	2,50	3,66	3,17	3,69	1,71	2,50	3,33	2,50	1,50
1,55	2,56	3,75	3,17	3,73	1,71	2,50	3,39	2,50	1,55
1,60	2,61	3,83	3,17	3,77	1,71	2,50	3,44	2,50	1,60
1,65	2,67	3,90	3,17	3,81	1,71	2,50	3,48	2,50	1,65
1,70	2,72	3,98	3,17	3,84	1,71	2,50	3,53	2,50	1,70
1,75	2,76	4,04	3,17	3,87	1,71	2,50	3,57	2,50	1,75
1,80	2,80	4,11	3,17	3,90	1,71	2,50	3,61	2,50	1,80
1,85	2,85	4,17	3,17	3,93	1,71	2,50	3,65	2,50	1,85
1,90	2,89	4,22	3,17	3,96	1,71	2,50	3,68	2,50	1,90
1,95	2,92	4,28	3,17	3,99	1,71	2,50	3,72	2,50	1,95
2,00	2,96	4,33	3,17	4,01	1,71	2,50	3,75	2,50	2,00
> 2,00	4,38	6,25	3,17	5,00	1,71	2,50	5,00	2,50	> 2,00

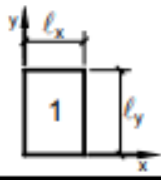
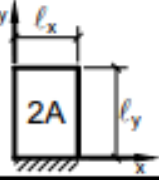
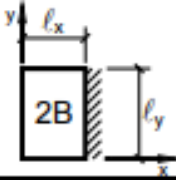
Elaborada por L.M. Pinheiro, conforme o processo das áreas da NBR 6118.

$v = v \frac{p \ell_x}{10}$ $p =$ carga uniforme $\ell_x =$ menor vão

(*) Alívios considerados pela metade, prevendo a possibilidade de engastes parciais.

Fonte: Pinheiro (2007).

Quadro 46 - Valores dos coeficientes U_x , U_y , U'_y , U'_x para os casos 1, 2A e 2B.

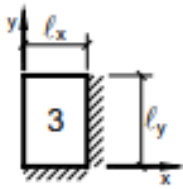
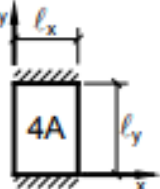
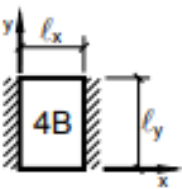
Tabela 2.3a									
MOMENTOS FLETORES EM LAJES COM CARGA UNIFORME									
Tipo				Tipo					
$\lambda = \frac{\ell_y}{\ell_x}$	μ_x	μ_y	μ_x	μ_y	μ'_y	μ_x	μ'_x	μ_y	$\lambda = \frac{\ell_y}{\ell_x}$
1,00	4,23	4,23	2,91	3,54	8,40	3,54	8,40	2,91	1,00
1,05	4,62	4,25	3,26	3,64	8,79	3,77	8,79	2,84	1,05
1,10	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.

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

Fonte: Pinheiro (2007).

Quadro 47 - Valores dos coeficientes U_x , U_y , U'_x , U'_y para os casos 3, 4A e 4B.

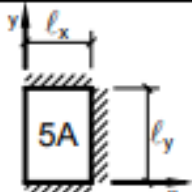
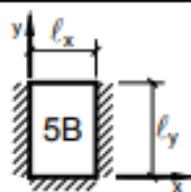
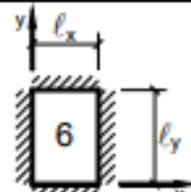
Tabela 2.3b											
MOMENTOS FLETORES EM LAJES COM CARGA UNIFORME											
Tipo											Tipo
$\lambda = \frac{l_y}{l_x}$	μ_x	μ'_x	μ_y	μ'_y	μ_x	μ_y	μ'_y	μ_x	μ'_x	μ_y	$\lambda = \frac{l_y}{l_x}$
1,00	2,69	6,99	2,69	6,99	2,01	3,09	6,99	3,09	6,99	2,01	1,00
1,05	2,94	7,43	2,68	7,18	2,32	3,23	7,43	3,22	7,20	1,92	1,05
1,10	3,19	7,87	2,67	7,36	2,63	3,36	7,87	3,35	7,41	1,83	1,10
1,15	3,42	8,28	2,65	7,50	2,93	3,46	8,26	3,46	7,56	1,73	1,15
1,20	3,65	8,69	2,62	7,63	3,22	3,56	8,65	3,57	7,70	1,63	1,20
1,25	3,86	9,03	2,56	7,72	3,63	3,64	9,03	3,66	7,82	1,56	1,25
1,30	4,06	9,37	2,50	7,81	3,99	3,72	9,33	3,74	7,93	1,49	1,30
1,35	4,24	9,65	2,45	7,88	4,34	3,77	9,69	3,80	8,02	1,41	1,35
1,40	4,42	9,93	2,39	7,94	4,69	3,82	10,00	3,86	8,11	1,33	1,40
1,45	4,58	10,17	2,32	8,00	5,03	3,86	10,25	3,91	8,13	1,26	1,45
1,50	4,73	10,41	2,25	8,06	5,37	3,90	10,49	3,96	8,15	1,19	1,50
1,55	4,86	10,62	2,16	8,09	5,70	3,90	10,70	4,00	8,20	1,14	1,55
1,60	4,99	10,82	2,07	8,12	6,03	3,89	10,91	4,04	8,25	1,08	1,60
1,65	5,10	10,99	1,99	8,14	6,35	3,85	11,08	4,07	8,28	1,03	1,65
1,70	5,21	11,16	1,91	8,15	6,67	3,81	11,24	4,10	8,30	0,98	1,70
1,75	5,31	11,30	1,85	8,16	6,97	3,79	11,39	4,12	8,31	0,95	1,75
1,80	5,40	11,43	1,78	8,17	7,27	3,76	11,53	4,14	8,32	0,91	1,80
1,85	5,48	11,55	1,72	8,17	7,55	3,72	11,65	4,15	8,33	0,87	1,85
1,90	5,56	11,67	1,66	8,18	7,82	3,67	11,77	4,16	8,33	0,83	1,90
1,95	5,63	11,78	1,63	8,19	8,09	3,60	11,83	4,16	8,33	0,80	1,95
2,00	5,70	11,89	1,60	8,20	8,35	3,52	11,88	4,17	8,33	0,76	2,00
> 2,00	7,03	12,50	1,60	8,20	12,50	3,52	11,88	4,17	8,33	0,76	> 2,00

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

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

Fonte: Pinheiro (2007).

Quadro 48 - Valores dos coeficientes U_x , U_y , U'_x , U'_y para os casos 5ª, 5B e 6.

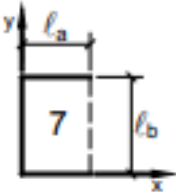
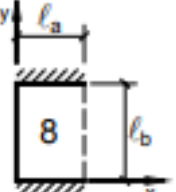
Tabela 2.3c													
MOMENTOS FLETORES EM LAJES COM CARGA UNIFORME													
Tipo													Tipo
$\lambda = \frac{l_y}{l_x}$	μ_x	μ'_x	μ_y	μ'_y	μ_x	μ'_x	μ_y	μ'_y	μ_x	μ'_x	μ_y	μ'_y	$\lambda = \frac{l_y}{l_x}$
1,00	2,02	5,46	2,52	6,17	2,52	6,17	2,02	5,46	2,02	5,15	2,02	5,15	1,00
1,05	2,27	5,98	2,56	6,46	2,70	6,47	1,97	5,56	2,22	5,50	2,00	5,29	1,05
1,10	2,52	6,50	2,60	6,75	2,87	6,76	1,91	5,65	2,42	5,85	1,98	5,43	1,10
1,15	2,76	7,11	2,63	6,97	3,02	6,99	1,84	5,70	2,65	6,14	1,94	5,51	1,15
1,20	3,00	7,72	2,65	7,19	3,16	7,22	1,77	5,75	2,87	6,43	1,89	5,59	1,20
1,25	3,23	8,31	2,64	7,36	3,28	7,40	1,70	5,75	2,97	6,67	1,83	5,64	1,25
1,30	3,45	8,59	2,61	7,51	3,40	7,57	1,62	5,76	3,06	6,90	1,77	5,68	1,30
1,35	3,66	8,74	2,57	7,63	3,50	7,70	1,55	5,75	3,19	7,09	1,71	5,69	1,35
1,40	3,86	8,88	2,53	7,74	3,59	7,82	1,47	5,74	3,32	7,28	1,65	5,70	1,40
1,45	4,05	9,16	2,48	7,83	3,67	7,91	1,41	5,73	3,43	7,43	1,57	5,71	1,45
1,50	4,23	9,44	2,43	7,91	3,74	8,00	1,35	5,72	3,53	7,57	1,49	5,72	1,50
1,55	4,39	9,68	2,39	7,98	3,80	8,07	1,29	5,69	3,61	7,68	1,43	5,72	1,55
1,60	4,55	9,91	2,34	8,02	3,86	8,14	1,23	5,66	3,69	7,79	1,36	5,72	1,60
1,65	4,70	10,13	2,28	8,03	3,91	8,20	1,18	5,62	3,76	7,88	1,29	5,72	1,65
1,70	4,84	10,34	2,22	8,10	3,95	8,25	1,13	5,58	3,83	7,97	1,21	5,72	1,70
1,75	4,97	10,53	2,15	8,13	3,99	8,30	1,07	5,56	3,88	8,05	1,17	5,72	1,75
1,80	5,10	10,71	2,08	8,17	4,02	8,34	1,00	5,54	3,92	8,12	1,13	5,72	1,80
1,85	5,20	10,88	2,02	8,16	4,05	8,38	0,97	5,55	3,96	8,18	1,07	5,72	1,85
1,90	5,30	11,04	1,96	8,14	4,08	8,42	0,94	5,56	3,99	8,24	1,01	5,72	1,90
1,95	5,40	11,20	1,88	8,13	4,10	8,45	0,91	5,60	4,02	8,29	0,99	5,72	1,95
2,00	5,50	11,35	1,80	8,12	4,12	8,47	0,88	5,64	4,05	8,33	0,96	5,72	2,00
> 2,00	7,03	12,50	1,80	8,12	4,17	8,33	0,88	5,64	4,17	8,33	0,96	5,72	> 2,00

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

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

Fonte: Pinheiro (2007).

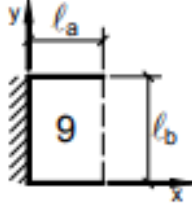
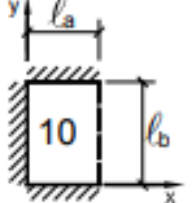
Quadro 49 - Valores dos coeficientes U_x , U_y , $U'y$, $U'x$ para os casos 7 e 8.

Tabela 2.3d									
MOMENTOS FLETORES EM LAJES COM CARGA UNIFORME									
Tipo							Tipo		
$\gamma = \frac{l_a}{l_b}$	μ_x	μ_y	μ_{yb}	μ_x	μ_y	μ_{yb}	μ'_y	μ'_{yb}	$\gamma = \frac{l_a}{l_b}$
0,30	11,33	15,89	28,44	10,44	14,22	25,55	41,89	77,00	0,30
0,35	10,63	15,60	27,19	8,85	12,86	22,37	35,69	62,94	0,35
0,40	9,94	15,31	25,94	7,25	11,50	19,19	29,50	48,88	0,40
0,45	9,13	14,48	24,47	6,22	10,39	16,82	25,89	41,36	0,45
0,50	8,32	13,64	23,00	5,20	9,28	14,44	22,28	33,84	0,50
0,55	7,58	12,95	21,56	4,57	8,35	12,82	19,64	28,76	0,55
0,60	6,83	12,25	20,11	3,94	7,42	11,19	17,00	23,67	0,60
0,65	6,21	11,59	18,71	3,46	6,76	9,94	15,26	20,55	0,65
0,70	5,59	10,92	17,31	2,98	6,10	8,69	13,51	17,43	0,70
0,75	5,09	10,24	15,86	2,61	5,54	7,77	12,28	15,38	0,75
0,80	4,59	9,55	14,41	2,23	4,98	6,84	11,05	13,33	0,80
0,85	4,16	9,09	13,61	1,96	4,65	6,15	10,12	11,91	0,85
0,90	3,73	8,63	12,80	1,68	4,31	5,46	9,19	10,49	0,90
0,95	3,39	8,14	11,94	1,47	3,97	4,96	8,45	9,49	0,95
1,00	3,05	7,64	11,08	1,26	3,62	4,45	7,71	8,48	1,00
1,05	3,05	7,94	11,31	1,23	3,68	4,45	7,80	8,48	1,05
1,10	3,06	8,24	11,55	1,19	3,74	4,46	7,88	8,47	1,10
1,15	3,06	8,53	11,78	1,16	3,80	4,47	7,97	8,46	1,15
1,20	3,07	8,83	12,01	1,12	3,86	4,47	8,05	8,46	1,20
1,25	3,03	9,01	12,12	1,09	3,90	4,47	8,09	8,46	1,25
1,30	3,00	9,19	12,22	1,06	3,93	4,47	8,13	8,46	1,30
1,35	2,97	9,38	12,33	1,03	3,97	4,48	8,17	8,46	1,35
1,40	2,94	9,56	12,43	0,99	4,01	4,48	8,20	8,45	1,40
1,45	2,91	9,74	12,54	0,96	4,05	4,49	8,24	8,45	1,45
1,50	2,88	9,92	12,64	0,92	4,08	4,49	8,28	8,45	1,50
1,55	2,84	10,04	12,69	0,90	4,09	4,49	8,29	8,45	1,55
1,60	2,81	10,16	12,74	0,88	4,10	4,49	8,29	8,45	1,60
1,65	2,77	10,29	12,80	0,86	4,11	4,49	8,30	8,45	1,65
1,70	2,74	10,41	12,85	0,84	4,12	4,49	8,30	8,45	1,70
1,75	2,70	10,53	12,90	0,82	4,13	4,50	8,31	8,45	1,75
1,80	2,66	10,65	12,95	0,80	4,13	4,50	8,31	8,45	1,80
1,85	2,63	10,77	13,00	0,78	4,14	4,50	8,32	8,45	1,85
1,90	2,59	10,90	13,06	0,76	4,15	4,50	8,32	8,45	1,90
1,95	2,56	11,02	13,11	0,74	4,16	4,50	8,33	8,45	1,95
2,00	2,52	11,14	13,16	0,72	4,17	4,50	8,33	8,45	2,00
> 2,00	2,52	12,50	13,16	0,72	4,17	4,50	8,33	8,45	> 2,00

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

$m = \mu \frac{p \ell^2}{100}$ $p =$ carga uniforme $\ell =$ menor valor entre ℓ_a e ℓ_b

Quadro 50 - Valores dos coeficientes U_x , U_y , U'_x , U'_y para os casos 9 e 10.

Tabela 2.3e												
MOMENTOS FLETORES EM LAJES COM CARGA UNIFORME												
Tipo									Tipo			
$\gamma = \frac{\ell_a}{\ell_b}$	μ_x	μ'_x	μ_y	μ_{yb}	μ_x	μ'_x	μ_y	μ_{yb}	μ'_y	μ'_{yb}	$\gamma = \frac{\ell_a}{\ell_b}$	
< 0,30	-12,50	50,00	0,78	6,22	-12,50	50,00	2,11	8,67	14,56	37,00	< 0,30	
0,30	-7,33	43,08	0,78	6,22	-4,89	38,33	2,11	8,67	14,56	37,00	0,30	
0,35	-5,17	39,98	1,89	7,89	-2,57	33,08	3,18	9,74	14,84	35,53	0,35	
0,40	-3,00	36,87	3,00	9,56	-0,25	27,83	4,25	10,81	15,13	34,06	0,40	
0,45	-1,78	33,89	3,62	10,54	0,54	23,94	4,53	10,77	14,26	31,21	0,45	
0,50	-0,56	30,91	4,24	11,52	1,32	20,04	4,80	10,72	13,40	28,36	0,50	
0,55	0,25	28,02	4,62	11,82	1,62	17,40	4,86	9,99	12,48	25,26	0,55	
0,60	1,06	25,13	5,00	12,11	1,92	14,76	4,92	9,25	11,56	22,17	0,60	
0,65	1,47	22,90	5,25	12,12	1,91	12,91	4,68	8,55	10,81	19,63	0,65	
0,70	1,88	20,66	5,49	12,12	1,90	11,06	4,43	7,84	10,06	17,08	0,70	
0,75	2,06	18,84	5,61	11,81	1,82	9,86	4,14	7,15	9,42	15,17	0,75	
0,80	2,23	17,02	5,72	11,50	1,73	8,65	3,86	6,45	8,77	13,25	0,80	
0,85	2,26	15,59	5,66	11,05	1,64	7,78	3,59	5,86	8,19	11,87	0,85	
0,90	2,28	14,16	5,60	10,59	1,54	6,91	3,33	5,26	7,60	10,49	0,90	
0,95	2,25	12,99	5,48	10,07	1,40	6,25	3,11	4,81	7,12	9,50	0,95	
1,00	2,21	11,82	5,36	9,55	1,25	5,59	2,88	4,35	6,64	8,51	1,00	
1,05	2,33	11,91	5,72	9,91	1,25	5,59	2,98	4,37	6,82	8,50	1,05	
1,10	2,45	12,00	6,08	10,27	1,24	5,58	3,08	4,39	6,99	8,50	1,10	
1,15	2,57	12,08	6,44	10,62	1,24	5,58	3,18	4,41	7,17	8,49	1,15	
1,20	2,69	12,17	6,80	10,98	1,24	5,57	3,27	4,43	7,34	8,48	1,20	
1,25	2,67	12,20	7,09	11,20	1,20	5,57	3,34	4,44	7,44	8,48	1,25	
1,30	2,64	12,22	7,37	11,42	1,17	5,57	3,41	4,45	7,54	8,47	1,30	
1,35	2,62	12,25	7,55	11,64	1,14	5,57	3,49	4,46	7,64	8,47	1,35	
1,40	2,59	12,28	7,93	11,85	1,11	5,58	3,56	4,47	7,73	8,47	1,40	
1,45	2,57	12,31	8,22	12,07	1,09	5,58	3,63	4,48	7,83	8,46	1,45	
1,50	2,54	12,33	8,50	12,29	1,06	5,58	3,70	4,49	7,93	8,46	1,50	
1,55	2,56	12,35	8,68	12,37	1,04	5,58	3,74	4,49	7,97	8,46	1,55	
1,60	2,58	12,36	8,86	12,45	1,01	5,58	3,77	4,49	8,00	8,46	1,60	
1,65	2,59	12,38	9,04	12,53	0,99	5,57	3,81	4,49	8,04	8,46	1,65	
1,70	2,61	12,39	9,22	12,61	0,97	5,57	3,84	4,49	8,08	8,46	1,70	
1,75	2,63	12,41	9,41	12,68	0,95	5,57	3,88	4,50	8,12	8,46	1,75	
1,80	2,65	12,42	9,59	12,76	0,93	5,57	3,92	4,50	8,15	8,45	1,80	
1,85	2,67	12,44	9,76	12,84	0,91	5,57	3,95	4,50	8,19	8,45	1,85	
1,90	2,68	12,45	9,94	12,92	0,88	5,56	3,99	4,50	8,23	8,45	1,90	
1,95	2,70	12,47	10,13	13,00	0,86	5,56	4,02	4,50	8,26	8,45	1,95	
2,00	2,72	12,48	10,31	13,08	0,84	5,56	4,06	4,50	8,30	8,45	2,00	
> 2,00	2,72	12,48	12,50	13,08	0,84	5,56	4,17	4,50	8,33	8,45	> 2,00	

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

$m = \mu \frac{p \ell^2}{100}$ $p =$ carga uniforme $\ell =$ menor valor entre ℓ_a e ℓ_b

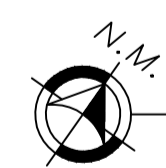
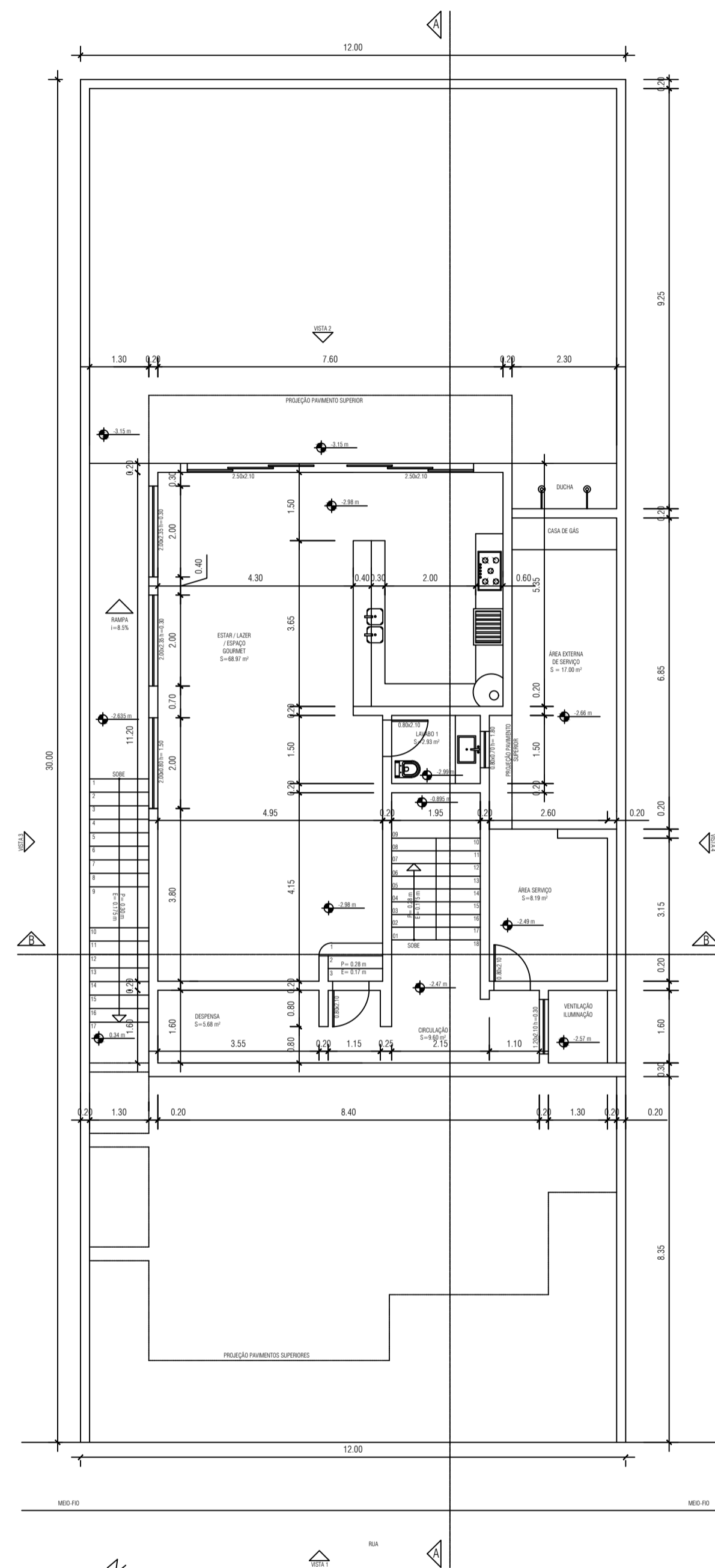
Fonte: Pinheiro (2007).

Quadro 51 - Valores de Ks e Kc para flexão simples em seção retangular.

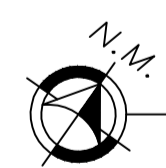
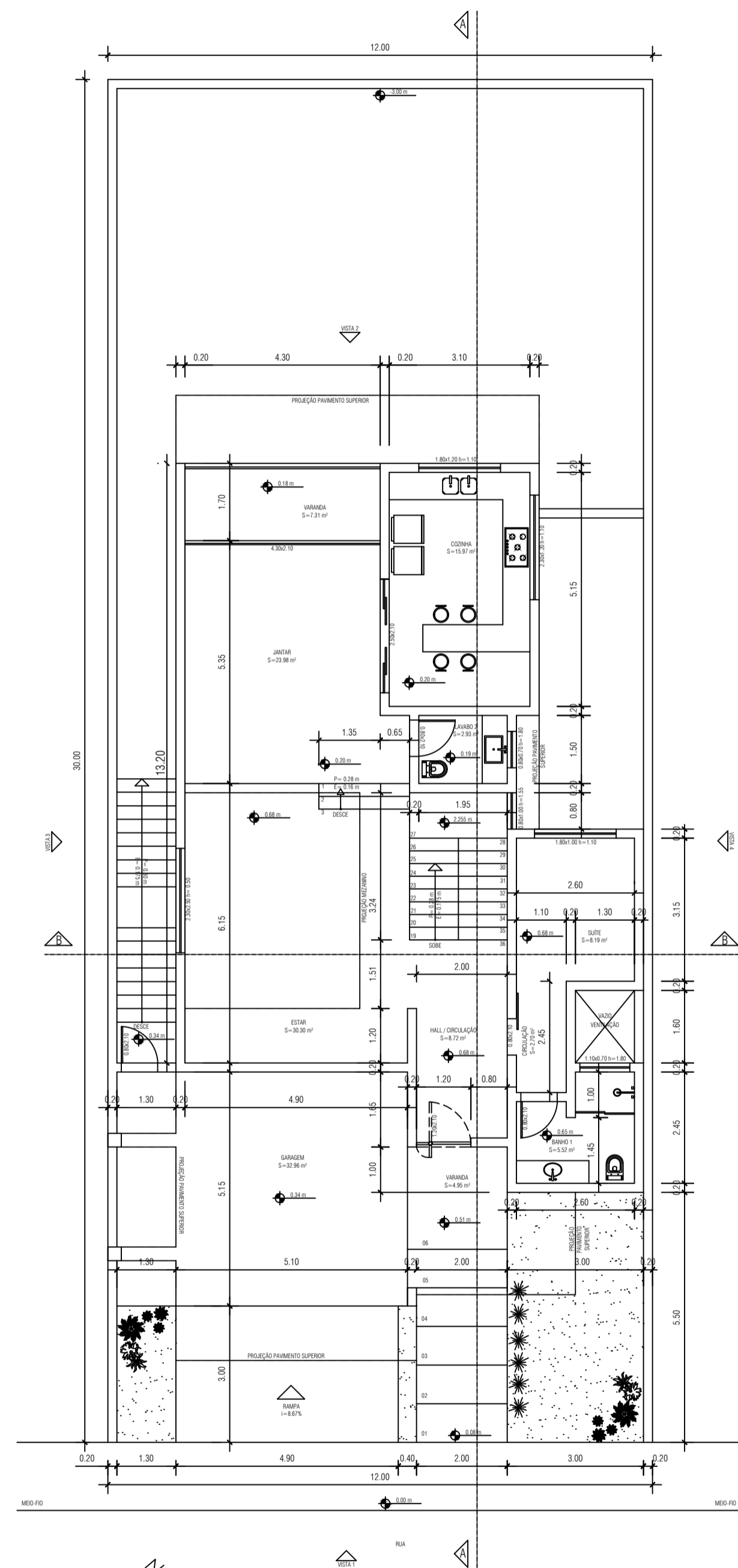
Tabela 1.1													
FLEXÃO SIMPLES EM SEÇÃO RETANGULAR - ARMADURA SIMPLES													
$\beta_c = \frac{x}{d}$	$k_c = \frac{bd^2}{M_d} \text{ (cm}^2/\text{kN)}$									$k_s = \frac{A_s d}{M_d} \text{ (cm}^2/\text{kN)}$			D O M I N I O
	C10	C15	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50	CA-25	CA-50	CA-60	
0,02	103,8	69,2	51,9	41,5	34,6	29,7	25,9	23,1	20,8	0,046	0,023	0,019	2
0,04	52,3	34,9	26,2	20,9	17,4	15,0	13,1	11,6	10,5	0,047	0,023	0,020	
0,06	35,2	23,4	17,6	14,1	11,7	10,1	8,8	7,8	7,0	0,047	0,024	0,020	
0,08	26,6	17,7	13,3	10,6	8,9	7,6	6,7	5,9	5,3	0,048	0,024	0,020	
0,10	21,5	14,3	10,7	8,6	7,2	6,1	5,4	4,8	4,3	0,048	0,024	0,020	
0,12	18,0	12,0	9,0	7,2	6,0	5,2	4,5	4,0	3,6	0,048	0,024	0,020	
0,14	15,6	10,4	7,8	6,2	5,2	4,5	3,9	3,5	3,1	0,049	0,024	0,020	
0,16	13,8	9,2	6,9	5,5	4,6	3,9	3,4	3,1	2,8	0,049	0,025	0,021	
0,18	12,3	8,2	6,2	4,9	4,1	3,5	3,1	2,7	2,5	0,050	0,025	0,021	
0,20	11,2	7,5	5,6	4,5	3,7	3,2	2,8	2,5	2,2	0,050	0,025	0,021	
0,22	10,3	6,8	5,1	4,1	3,4	2,9	2,6	2,3	2,1	0,050	0,025	0,021	
0,24	9,5	6,3	4,7	3,8	3,2	2,7	2,4	2,1	1,9	0,051	0,025	0,021	
0,26	8,8	5,9	4,4	3,5	3,0	2,5	2,2	2,0	1,8	0,051	0,026	0,021	
0,28	8,3	5,5	4,1	3,3	2,8	2,4	2,1	1,8	1,7	0,052	0,026	0,022	
0,30	7,8	5,2	3,9	3,1	2,6	2,2	2,0	1,7	1,6	0,052	0,026	0,022	
0,32	7,4	4,9	3,7	3,0	2,5	2,1	1,8	1,6	1,5	0,053	0,026	0,022	
0,34	7,0	4,7	3,5	2,8	2,3	2,0	1,8	1,6	1,4	0,053	0,027	0,022	
0,36	6,7	4,5	3,3	2,7	2,2	1,9	1,7	1,5	1,3	0,054	0,027	0,022	
0,38	6,4	4,3	3,2	2,6	2,1	1,8	1,6	1,4	1,3	0,054	0,027	0,023	
0,40	6,1	4,1	3,1	2,5	2,0	1,8	1,5	1,4	1,2	0,055	0,027	0,023	
0,42	5,9	3,9	3,0	2,4	2,0	1,7	1,5	1,3	1,2	0,055	0,028	0,023	
0,438	5,7	3,8	2,9	2,3	1,9	1,6	1,4	1,3	1,1	0,056	0,028	0,023	
0,44	5,7	3,8	2,8	2,3	1,9	1,6	1,4	1,3	1,1	0,056	0,028		
0,46	5,5	3,7	2,7	2,2	1,8	1,6	1,4	1,2	1,1	0,056	0,028		
0,48	5,3	3,5	2,7	2,1	1,8	1,5	1,3	1,2	1,1	0,057	0,029		
0,50	5,2	3,4	2,6	2,1	1,7	1,5	1,3	1,1	1,0	0,058	0,029		
0,52	5,0	3,3	2,5	2,0	1,7	1,4	1,3	1,1	1,0	0,058	0,029		
0,54	4,9	3,2	2,4	2,0	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	0,059	0,029		
0,56	4,7	3,2	2,4	1,9	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	0,059	0,030		
0,58	4,6	3,1	2,3	1,9	1,5	1,3	1,2	1,0	0,9	0,060	0,030		
0,60	4,5	3,0	2,3	1,8	1,5	1,3	1,1	1,0	0,9	0,061	0,030		
0,628	4,4	2,9	2,2	1,8	1,5	1,3	1,1	1,0	0,9	0,061	0,031		
0,64	4,3	2,9	2,2	1,7	1,4	1,2	1,1	1,0	0,9	0,062			
0,68	4,2	2,8	2,1	1,7	1,4	1,2	1,0	0,9	0,8	0,063			
0,72	4,0	2,7	2,0	1,6	1,3	1,2	1,0	0,9	0,8	0,065			
0,76	3,9	2,6	2,0	1,6	1,3	1,1	1,0	0,9	0,8	0,066			
0,772	3,9	2,6	1,9	1,5	1,3	1,1	1,0	0,9	0,8	0,067			

Elaborada por Alessandro L. Nascimento e Libânio M. Pinheiro.
De acordo com a NBR 6118:2003.
Diagrama retangular de tensões no concreto, $\gamma_c = 1,4$ e $\gamma_s = 1,15$.
Para $\gamma_c \neq 1,4$, multiplicar b por $1,4/\gamma_c$ antes de usar a tabela.

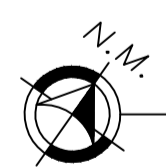
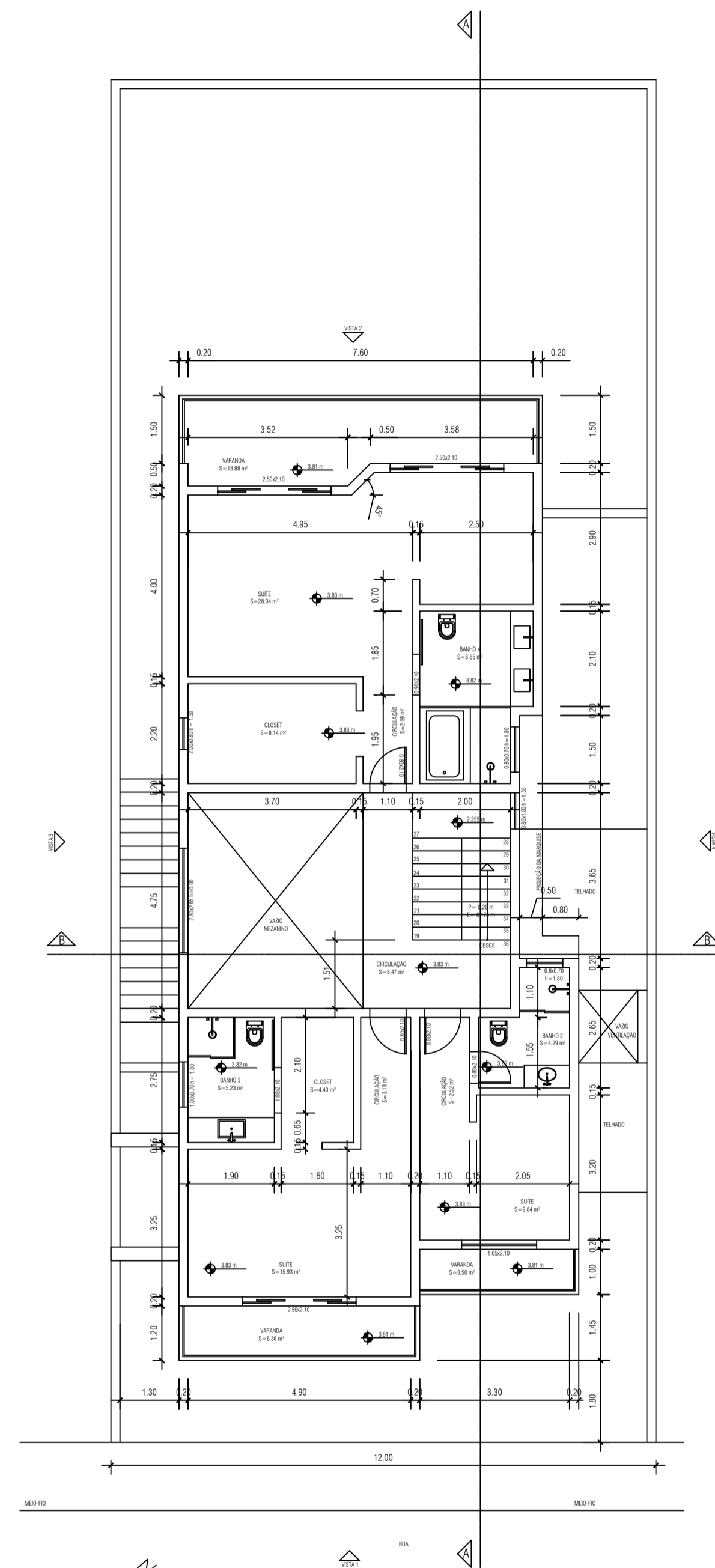
Fonte: Pinheiro (2007).



PLANTA BAIXA - PAVIMENTO INFERIOR
Escala 1:50 ÁREA= 116.95 m²

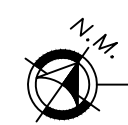
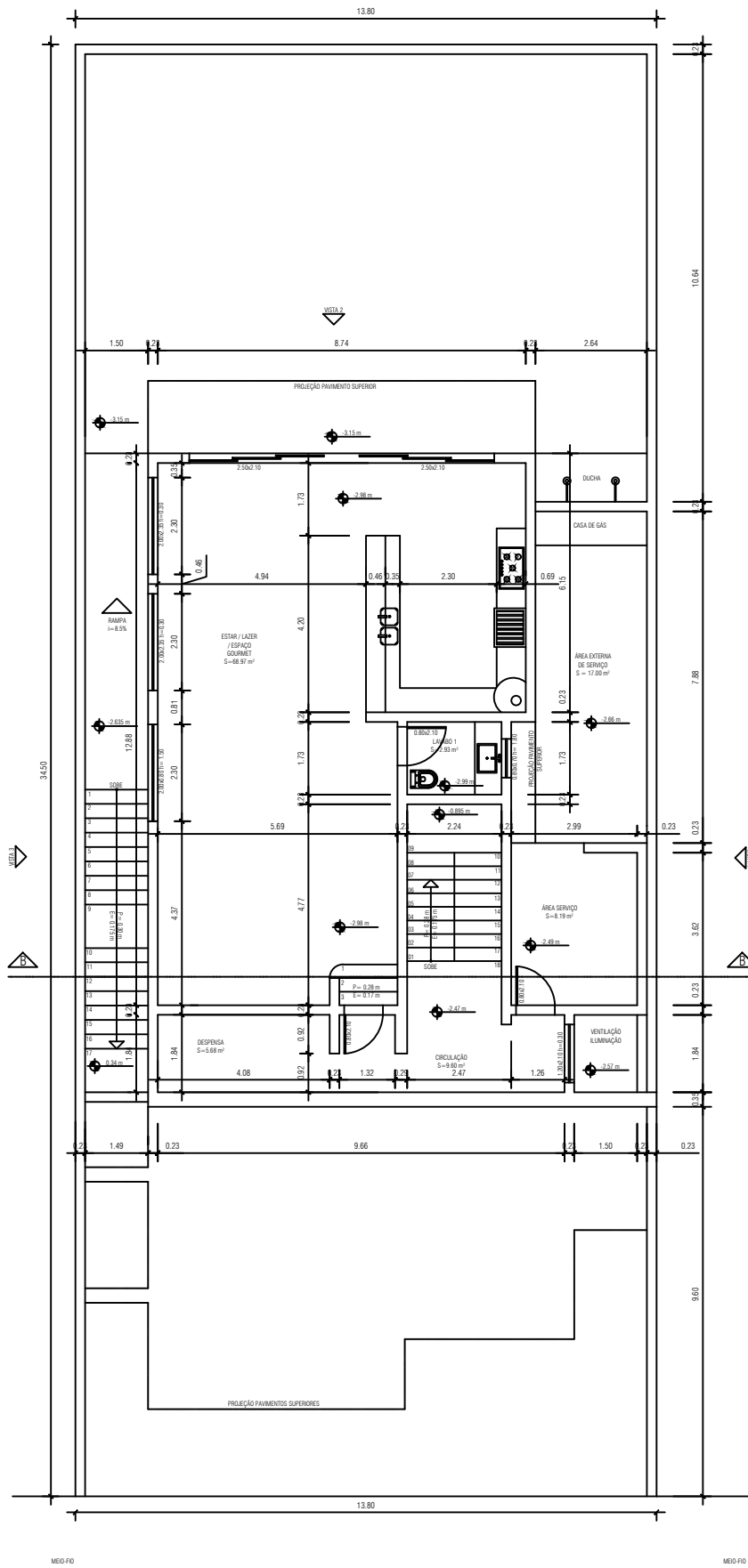


PLANTA BAIXA - PAVIMENTO TÉRREO
Escala 1:50 ÁREA= 127.44 m²

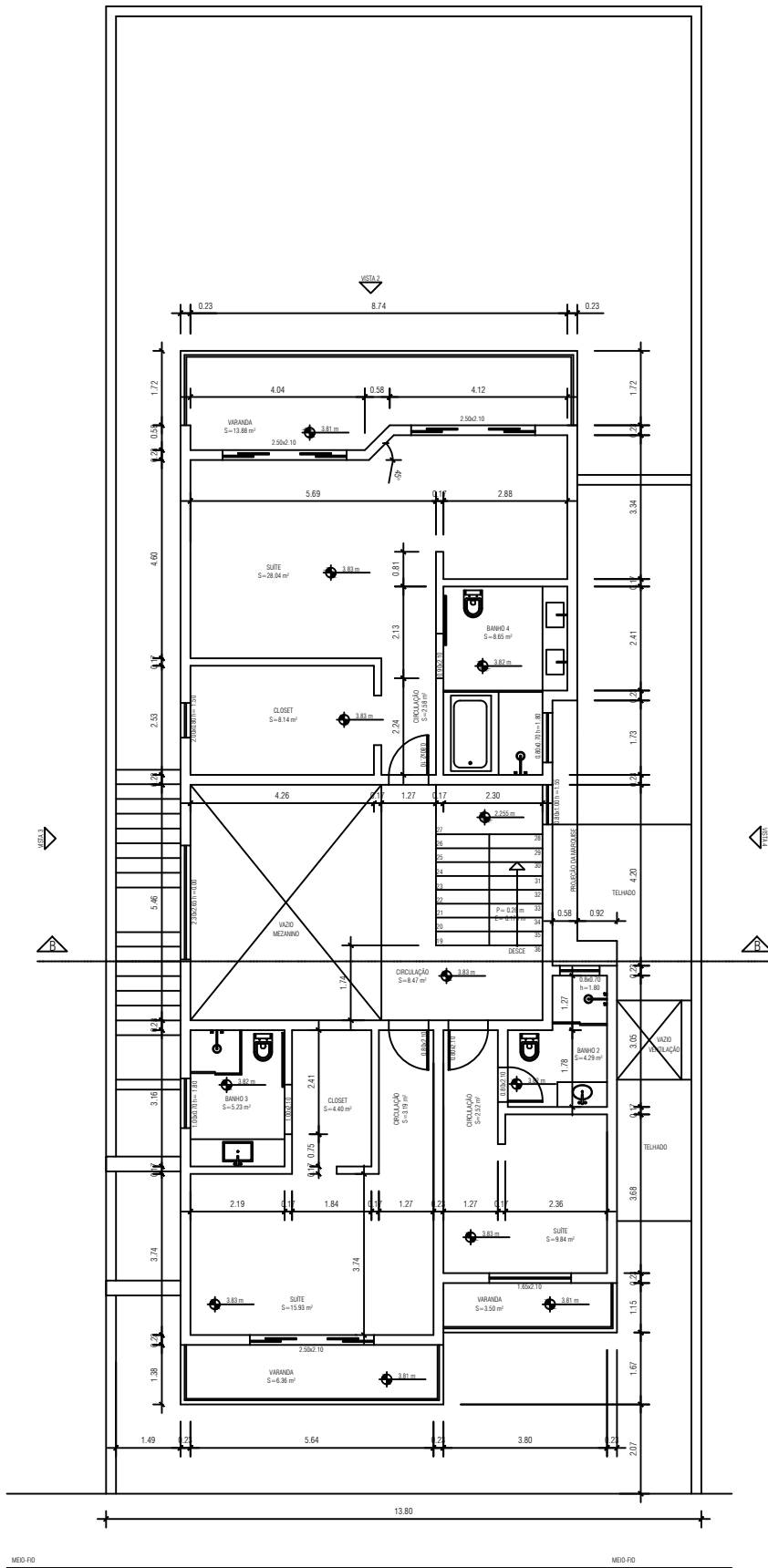


PLANTA BAIXA - PAVIMENTO SUPERIOR
Escala 1:50 ÁREA= 172.40 m²

ENDEREÇO:	
PROPRIETÁRIO:	CPF/CGC:
CORREDOR ZONAL: URBANA	
CATEGORIA DE USO:	
SITUAÇÃO:	
ÁREAS:	
ÁREA DE PROJEÇÃO	183.89 m ²
ÁREA A CONSTRUIR	445.18 m ²
ÁREA A DESCONSTRUIR	25.26 m ²
ÁREA LÍQUIDA	419.92 m ²
TAXA DE OCUPAÇÃO	51.08%
APROVAÇÕES:	
IDENTIFICAÇÃO: ANEXO B	
TÍTULO: PROJETO ARQUITETÔNICO	
ESCALAS: INDICADAS	
PLANTA Nº 01	
DATA: XX/XX/2022	



PLANTA BAIXA - PAVIMENTO INFERIOR
 S/Escala ÁREA= 116.95 m²

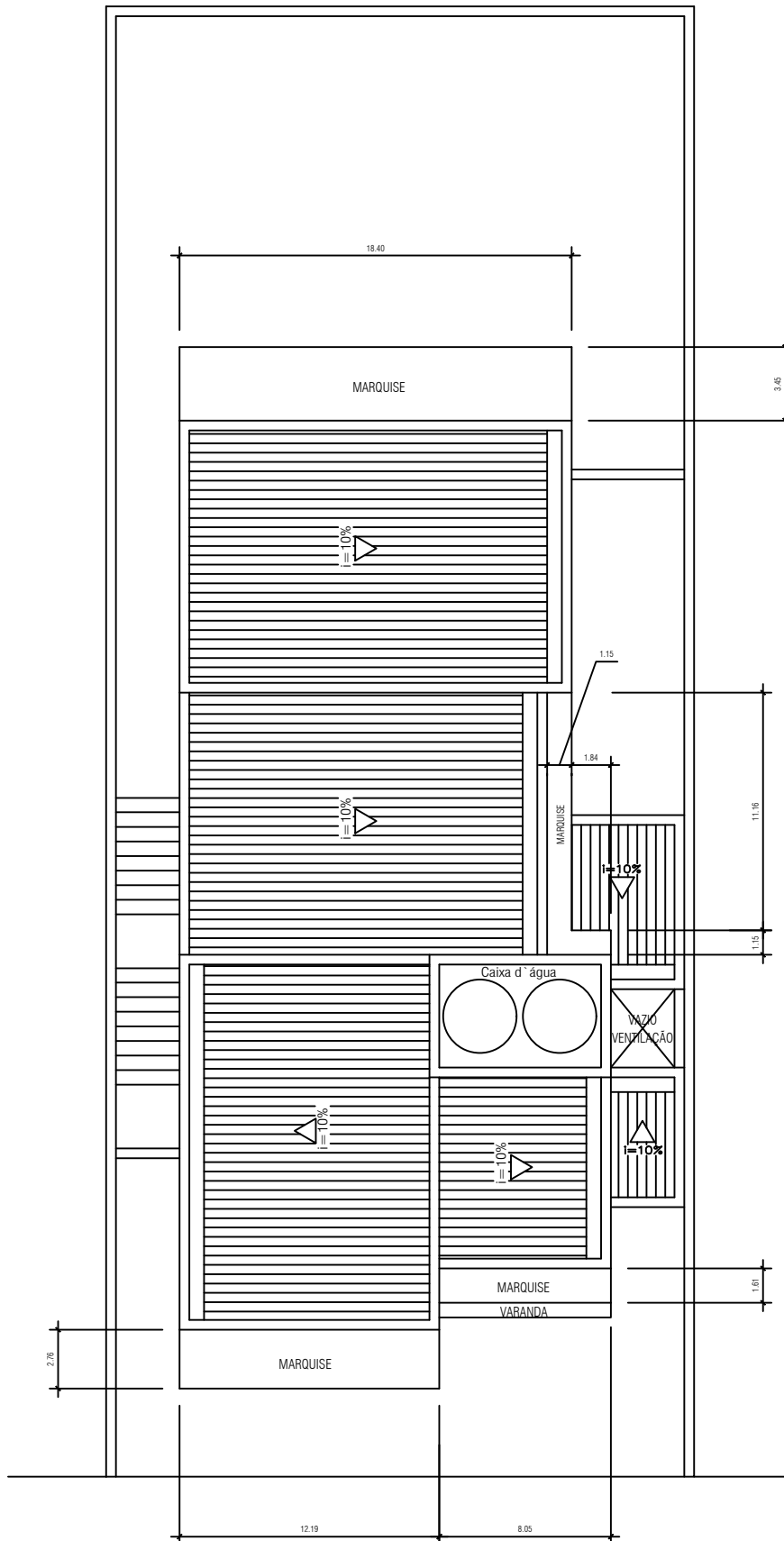


MEO FO

MEO FO



PLANTA BAIXA – PAVIMENTO SUPERIOR
 S/escala AREA= 172.40 m²



PLANTA BAIXA - COBERTURA