

UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL
ÁREA DO CONHECIMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E ENGENHARIAS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

DIOGO MAFFESSONI

**ANÁLISE DA EFETIVIDADE DO PRÉ-DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL DE
CHING, ONOUYE E ZUBERBUHLER EM LAJES MACIÇAS CONVENCIONAIS**

BENTO GONÇALVES
2018

DIOGO MAFFESSONI

**ANÁLISE DA EFETIVIDADE DO PRÉ-DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL DE
CHING, ONOUYE E ZUBERBUHLER EM LAJES MACIÇAS CONVENCIONAIS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado
como requisito para a obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil na Universidade
de Caxias do Sul.

Orientador Prof. Me. Rodrigo Fabiano
Montemezzo.

BENTO GONÇALVES

2018

DIOGO MAFFESSONI

**ANÁLISE DA EFETIVIDADE DO PRÉ-DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL DE
CHING, ONOUYE E ZUBERBUHLER EM LAJES MACIÇAS CONVENCIONAIS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado
como requisito para a obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil na Universidade
de Caxias do Sul.

Orientador Prof. Me. Rodrigo Fabiano
Montemezzo.

Aprovado em: 01/12/2018

Banca examinadora



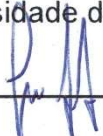
Prof. Me. Rodrigo Fabiano Montemezzo

Universidade de Caxias do Sul



Prof. Me. Luciano Zatti

Universidade de Caxias do Sul



Prof. Me. Gustavo Ribeiro da Silva

Universidade de Caxias do Sul

BENTO GONÇALVES

2018

RESUMO

O pré-dimensionamento estrutural apresenta formulações simples para a determinação das dimensões iniciais dos elementos estruturais de uma edificação, com a intenção de minimizar grandes alterações posteriores. O estudo apresenta métodos de pré-dimensionamento aplicados para o uso em lajes maciças convencionais, bem como as características desse sistema, e a metodologia de cálculo do mesmo. O trabalho analisa lajes de uma edificação comercial situada em Bento Gonçalves – RS. Posteriormente, é feito um comparativo entre os resultados obtidos para a espessura inicial dada pelo pré-dimensionamento e a espessura final alcançada após análise estrutural com auxílio do *software* Eberick® v9. Ao final, o estudo verificou uma grande eficiência do sistema de pré-dimensionamento, com a ressalva para lajes com bordos livres, com estas apresentando maiores diferenças de resultados.

Palavras-chave: Pré-dimensionamento. Lajes convencionais maciças. Análise estrutural. Eficiência. Estudo comparativo.

ABSTRACT

The structural pre-dimensioning presents simple formulations for the determination of the initial dimensions of the structural elements of a building, with the intention of minimizing major subsequent changes. The study presents pre-sizing methods applied for use in conventional solid slabs, as well as the characteristics of this system, and the calculation methodology of the same. The work analyzes slabs of a commercial building located in Bento Gonçalves - RS. Subsequently, a comparison is made between the results obtained for the initial thickness given by the pre-dimensioning and the final thickness reached after structural analysis using the Eberick® v9 software. In the end, the study verified a great efficiency of the pre-sizing system, with the exception for slabs with free edges, with these presenting greater differences of results.

Keywords: Pre-dimensioning. Massive slabs. Structural analysis. Efficiency. Comparative study.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Laje unidirecional	19
Figura 2 - Corte em laje unidirecional.....	20
Figura 3 - Corte em laje nervurada unidirecional.....	21
Figura 4 - Laje nervurada unidirecional	21
Figura 5 - Laje plana	22
Figura 6 - Corte em laje plana	23
Figura 7 - Corte em laje cogumelo	23
Figura 8 - Laje cogumelo.....	24
Figura 9 - Corte em laje bidirecional com vigas.....	25
Figura 10 - Laje bidirecional com vigas	25
Figura 11 - Corte em laje nervurada bidirecional.....	26
Figura 12 - Laje nervurada bidirecional	26
Figura 13 - Laje pré-moldada	27
Figura 14 - Corte 1 em laje pré-moldada.....	28
Figura 15 - Corte 2 em laje pré-moldada.....	28
Figura 16 - Parâmetros para cálculo de vãos efetivos	31
Figura 17 - Ed. Barão do Rio Branco (à dir.) e Ed. San Raffaele (à esq.)	40
Figura 18 - Ed. San Raffaele (à esq.) e Ed. Barão do Rio Branco (à dir.)	41
Figura 19 - Laje de 2º nível de garagem	42
Figura 20 - Laje de 1º nível de garagem	43
Figura 21 - Laje de pavimento térreo	44
Figura 22 - Laje do mezanino.....	45
Figura 23 - Laje de Cobertura	46
Figura 24 - Lajes com espessura insuficientes no 2º nível de garagem.....	50
Figura 25 - Lajes com espessura insuficientes no 1º nível de garagem.....	53
Figura 26 - Lajes com espessura insuficientes no pavimento térreo.....	56
Figura 27 - Lajes com espessura insuficientes no mezanino	59
Figura 28 - Lajes do pavimento de cobertura.....	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Peso específico dos materiais de construção	34
Tabela 2 - Valores para cargas verticais	35
Tabela 3 - Resultados 2º nível de garagem	48
Tabela 4 - Resumo do 2º nível de garagem	51
Tabela 5 - Resultados 1º nível de garagem	51
Tabela 6 - Resumo do 1º nível de garagem	54
Tabela 7 - Resultados do pavimento térreo.....	54
Tabela 8 - Resumo do pavimento térreo	57
Tabela 9 - Resultados do pavimento térreo.....	57
Tabela 10 - Resumo do mezanino	59
Tabela 11 - Resultados do pavimento térreo.....	59
Tabela 12 - Resumo da laje de cobertura	62
Tabela 13 - Dimensionamento de lajes do 2º nível de garagem	63
Tabela 14 - Dimensionamento de lajes do 1º nível de garagem	64
Tabela 15 - Dimensionamento de lajes do pavimento térreo	64
Tabela 16 - Dimensionamento de lajes do pavimento de mezanino	65

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Coeficientes de ponderação γ_c e γ_s	30
Quadro 2 - Classes de agressividade ambiental	32
Quadro 3 - Relação água/cimento e classe de concreto a partir da CAA	32
Quadro 4 - Cobrimento nominal	33
Quadro 5 - Valores para o coeficiente γ_n para lajes em balanço	36
Quadro 6 - Taxas mínimas de armadura de flexão ρ_{min}	38
Quadro 7 - Resumo geral do pré-dimensionamento	62
Quadro 8 - Resumo geral do dimensionamento final	66

LISTA DE SÍMBOLOS

ρ	Massa específica
M_x	Momento fletor no eixo x
M_y	Momento fletor no eixo y
V_x	Esforço cortante no eixo x
V_y	Esforço cortante no eixo y
Φ	Diâmetro
h	Altura da laje
f_{cd}	Valor de resistência de cálculo do concreto
f_{ck}	Valor de resistência característico do concreto
f_{yd}	Valor de resistência de cálculo do aço
f_{yk}	Valor de resistência característico do aço
d	Altura útil da laje
λ	Relação entre profundidade y e profundidade efetiva x
M_d	Momento fletor de cálculo
b_w	Largura unitária (1 m)
α_c	Parâmetro de redução da resistência do concreto na compressão
ρ_{min}	Taxa mínima da armadura de flexão
h	Altura total
f_{ctk}	Resistência característica superior do concreto à tração
W_0	Modulo de resistência da seção transversal bruta do concreto
ξ	Relação entre vão livre e vão de apoio da nervura
l_0	Vão livre da nervura ≤ 100 cm
S	Distância entre o eixo de uma nervura à outra
h_e	Espessura equivalente
h	Espessura total da laje
h_f	Espessura da mesa
a	Vão total
b_f	Largura da mesa da viga T
b_w	Espessura da nervura
β_f, β_w	Relação entre dimensões da seção T
d	Altura útil da seção

ξ_{lim}	Profundidade relativa da linha neutra
σ_{cd}	Tensão de cálculo do concreto
μ_{lim}	Momento limite reduzido
μ	Momento solicitante reduzido
M_d	Momento fletor solicitante de cálculo
ω	Taxa de armadura
A_s	Área de armadura
Δ	Parâmetro geométrico
ε'_s	Deformação na armadura de compressão
σ'_{sd}	Tensão na armadura de compressão
E_s	Modulo de elasticidade do aço (20.000 kN/cm ²)
ω'	Taxa mecânica de armadura dupla
A'_s	Área necessária para armadura dupla
τ_{wd}	Tensão convencional de cisalhamento
Vd	Esforço cortante
τ_{wu}	Tensão de cisalhamento limite
α_v	Coeficiente em função da resistência do concreto
τ_c	Tensão em função da resistência à tração de cálculo do concreto
τ_d	Tensão de cálculo da armadura transversal
A_{sw}	Área de aço para estribos
$A_{sw,min}$	Área de aço mínima para estribos
A_{se}	Área de aço efetivo de projeto
$\emptyset$	Bitola de aço

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

NBR	Norma brasileira
ABNT	Associação brasileira de normas técnicas
ELU	Estado-limite último
CAA	Classe de agressividade ambiental

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 TEMA DA PESQUISA	14
1.2 QUESTÃO DE PESQUISA.....	15
1.3 OBJETIVOS	15
1.3.1 Objetivo principal	15
1.3.2 Objetivos específicos.....	15
1.4 HIPÓTESE	15
1.5 PRESSUPOSTO	15
1.6 PREMISSAS / DELIMITAÇÕES.....	16
1.7 LIMITAÇÕES.....	16
1.8 DELINEAMENTO	16
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
2.1 CONCRETO	17
2.1.1 Definição	17
2.1.2 História do concreto armado.....	18
2.2 LAJES	19
2.2.1 Lajes unidirecionais	19
2.2.2 Lajes nervuradas unidirecionais.....	20
2.2.3 Lajes planas ou lisas.....	22
2.2.4 Lajes cogumelos	23
2.2.5 Lajes bidirecionais com vigas.....	24
2.2.6 Lajes nervuradas bidirecionais.....	26
2.2.7 Lajes de concreto com painéis pré-moldados.....	27
2.3 PRÉ-DIMENSIONAMENTO	28
2.3.1 Lajes maciças convencionais	29
2.4 MÉTODO DE CÁLCULO.....	29

2.4.1 Considerações de cálculo	29
2.4.2 Lajes maciças convencionais	36
3 METODOLOGIA	40
3.1 PRÉ-DIMENSIONAMENTO	41
3.2 DIMENSIONAMENTO	46
4 ANÁLISE DE RESULTADOS	48
4.1 PRÉ-DIMENSIONAMENTO	48
4.1.1 2º Nível de garagem	48
4.1.2 1º Nível de garagem	51
4.1.3 Térreo	54
4.1.4 Mezanino	57
4.1.5 Cobertura	59
4.1.6 Estrutura total	62
4.2 SITUAÇÕES DE CÁLCULO	63
4.2.1 2º Nível de garagem	63
4.2.2 1º Nível de garagem	63
4.2.3 Térreo	64
4.2.4 Mezanino	65
4.2.5 Cobertura	65
4.2.6 Estrutural total	66
5 CONCLUSÃO	67
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	68

1 INTRODUÇÃO

Uma das fases mais importantes de um novo empreendimento, é o período de elaboração do projeto arquitetônico, onde aspectos como disposição e dimensão de ambientes, funcionalidade, e todos outros que venham de encontro a idealizar essa edificação são abordados. Dentro desse processo, é importante que as dimensões sejam projetadas dentro de uma margem em que se espera que as necessidades estruturais sejam atendidas, reduzindo assim as chances de que grandes alterações sejam necessárias, o que além de transtorno e retrabalho, acaba gerando um aumento no custo do projeto.

A utilização do pré-dimensionamento estrutural é usual para essa situação, onde fórmulas simplificadas são utilizadas para pré-dimensionar os elementos através de parâmetros encontrados no projeto arquitetônico. Para o pré-dimensionamento de lajes por exemplo, sua espessura pode ser determinada através da divisão do tamanho do seu vão, por um coeficiente que varia de acordo com o tipo de laje em questão.

Ocorre que em um projeto, inúmeras situações influenciam na espessura de uma laje, como a classe de resistência do concreto utilizado, as variadas utilizações da laje, que gera diferentes carregamentos para cada caso, até mesmo condições de isolamento térmico, acústico ou resistência à altas temperaturas podem alterar o resultado final. Sendo assim, existe a possibilidade de em casos específicos o pré-dimensionamento não apresentar a precisão esperada.

O seguinte trabalho visa analisar as diferenças do pré-dimensionamento em lajes maciças convencionais, quando comparado aos resultados do dimensionamento estrutural.

1.1 TEMA DA PESQUISA

O tema deste estudo envolve conhecimentos de concreto armado, tendo enfoque no dimensionamento e pré-dimensionamento de lajes maciças.

1.2 QUESTÃO DE PESQUISA

O pré-dimensionamento estrutural apresenta boa eficiência, independentemente da característica da laje em que é empregado?

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo principal

Analisar a eficiência do pré-dimensionamento estrutural de Ching, Onouye e Zuberbuhler (2010) em lajes maciças convencionais armadas em duas direções.

1.3.2 Objetivos específicos

- Realizar o pré-dimensionamento em lajes com diferentes dimensões;
- Dimensionar as estruturas pretendidas para os casos em situação ótima, utilizando o *software* Eberick® v9;
- Comparar os diferentes resultados obtidos em cada caso.

1.4 HIPÓTESE

O pré-dimensionamento apresenta formulação simples para determinar as dimensões iniciais dos elementos estruturais em questão, um exemplo disto pode ser visto no método indicado por Ching, Onouye e Zuberbuhler (2010) ao decorrer do trabalho. Com base nessas características, espera-se resultados com baixa precisão nas variadas situações.

1.5 PRESSUPOSTO

Dentre as características conhecidas do pré-dimensionamento, têm-se o fato de não apresentar formulações específicas para diferentes casos, como por exemplo lajes com bordos livres, fato este que pode ser observado nos métodos de Ching, Onouye e Zuberbuhler (2010) descritos mais à frente neste trabalho.

1.6 PREMISSAS / DELIMITAÇÕES

O seguinte trabalho tomará como análise uma edificação com lajes tendo basicamente a mesma planta, porém como a mesma possui estruturas para atividades comerciais e, para fins de garagem, será analisado alguma possível divergência de resultado devido a diferença de carregamento.

1.7 LIMITAÇÕES

Não serão abordados resultados em outras possíveis configurações de plantas que não estejam listados no trabalho. Casos específicos como utilização de concretos ou materiais especiais que também não forem listados, não entrarão em análise. Além disso, não serão dimensionadas as estruturas de fundação e o método de pré-dimensionamento utilizado é determinado por Ching, Onouye e Zuberbuhler (2010), visto que é este o utilizado pelo curso de arquitetura e urbanismo da Universidade de Caxias do Sul.

1.8 DELINEAMENTO

O presente trabalho é dividido em cinco principais partes, sendo elas introdução, revisão bibliográfica, metodologia, análise de resultados e conclusão.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste referencial teórico serão tratados os conceitos relativos às características das estruturas a serem estudadas, posteriormente, os métodos empregados para o dimensionamento destas.

2.1 CONCRETO

2.1.1 Definição

De acordo com Leonhardt e Mönning (1977), o concreto é uma rocha artificial, uma vez que é constituído de agregados (areia e cascalho), cimento e água, podendo também dependendo a necessidade da ocasião, receber o acréscimo de aditivos que interferem em suas características, quando fresco ou endurecido.

Ainda, segundo Leonhardt e Mönning (1977), o concreto é moldado em fôrmas, seu endurecimento começa em poucas horas, atingindo aos 28 dias cerca de 60 a 90% de sua resistência, dependendo do tipo de cimento utilizado. Após endurecido é classificado através de sua massa específica nas categorias:

- a) concreto pesado – $\rho = 2800 - 5000 \text{ kg/m}^3$
- b) concreto normal – $\rho = 2000 - 2800 \text{ kg/m}^3$
- c) concreto leve:

concreto leve estrutural – $\rho = 1200 - 2000 \text{ kg/m}^3$

concreto leve para isolamento térmico – $\rho = 700 - 1600 \text{ kg/m}^3$

Como agregados, podem ser usados insumos naturais ou artificiais, comumente sendo mais utilizados para o concreto normal: areia, cascalho de rio, pedra ou cascalho britado e areia de britagem. Como artificial é possível citar a escória de alto-forno, empregada em concretos leves e normais.

Para água de amassamento, praticamente todas águas são apropriadas, deve-se tomar cuidado apenas com águas provenientes de pântanos e rejeito industrial, além da água do mar, que devido ao seu teor de sal, não é adequada para aplicação em concreto armado, uma vez que ocasionaria corrosão.

Em questão aos aditivos, são encontrados aditivos plastificantes (melhora de trabalhabilidade, aumento de resistência à compressão), retardadores (retarda a pega

do concreto), incorporadores de ar (aumenta capacidade contra o congelamento, e diminui a capacidade à compressão), impermeabilizantes (reduz a permeabilidade da água), aceleradores (agilizam o processo de cura e pega), anticongelantes (diminuem o ponto de congelamento, não podendo serem usados para concretos armados, pois contêm cloretos, que causariam a corrosão da armadura), dentre outros.

2.1.2 História do concreto armado

Leonhardt e Mönning (1977) caracterizam concreto armado como um material de construção composto, onde há barras de aço imersas no concreto formando uma armadura de aço. A ligação entre os materiais ocorre devido à efeitos de natureza mecânica e as propriedades de aderência do cimento.

Segundo Leonhardt e Mönning (1977), o aço é responsável pela absorção dos esforços de tração, uma vez que o concreto apresenta baixa resistência para esse tipo de solicitação. Sendo assim, a armadura deve ser posicionada na zona de tração, permitindo então que a alta resistência do concreto à compressão seja aproveitada pela peça estrutural.

De acordo com Leonhardt e Mönning (1977), o concreto com cal hidráulica e o cimento pozolânico já era de conhecimento dos romanos, porém foi apenas no século XIX na França, que a armadura de aço começou a ser utilizada: em 1855, J.L. Lambot fez o uso de um reforço de ferro na construção de um barco com argamassa de cimento. Em 1861, J. Monier executou um vaso de flores utilizando arame como armadura no concreto, mesmo ano em que F. Coignet fez a publicação dos princípios básicos para as construções em concreto armado.

Já em 1873 foi construída pelo americano W.E. Ward em Nova Iorque uma casa de concreto armado, existente até hoje. Leonhardt e Mönning (1977) ainda citam como pioneiros T. Hyatt, F. Hennebique, G.A. Wayss, M. Koenen e C.W.F. Döhring

Leonhardt e Mönning (1977) destacam ainda que em 1902, foi publicada por Emil Mörsch, a primeira teoria realista sobre o dimensionamento de peças de concreto armado. Em 1907 M. Koenen propôs tensionar as barras de aço para evitar as fissuras no concreto, o que deu origem ao que hoje é conhecido como concreto protendido.

2.2 LAJES

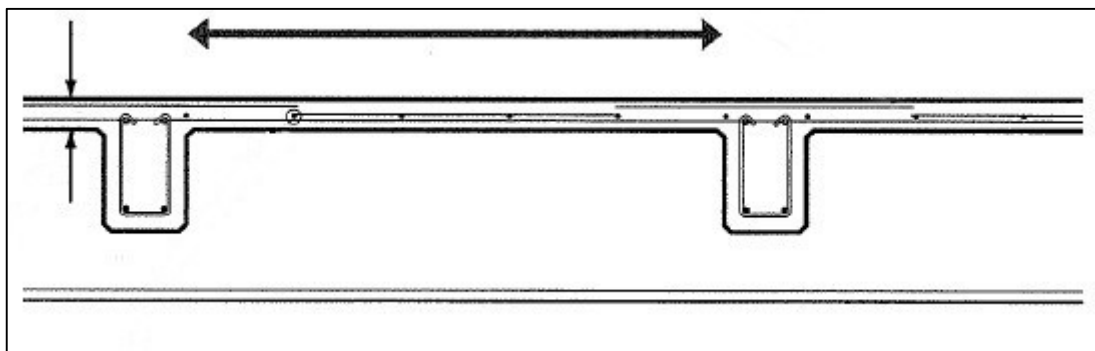
De acordo com Ching, Onouye e Zuberbuhler (2010), lajes de concreto podem ser definidas como estruturas laminares armadas com o intuito de vencer um vão estrutural, sendo classificadas de acordo com o método que cada uma utiliza para esse fim e pelas suas diferentes formas de moldagem.

Algumas dessas classificações, ainda segundo Ching, Onouye e Zuberbuhler (2010), são: lajes unidirecionais, laje nervuradas unidirecionais, lajes planas ou lisas, lajes cogumelos, lajes bidirecionais com vigas, lajes nervuradas bidirecionais e lajes de concreto com painéis pré-moldados.

2.2.1 Lajes unidirecionais

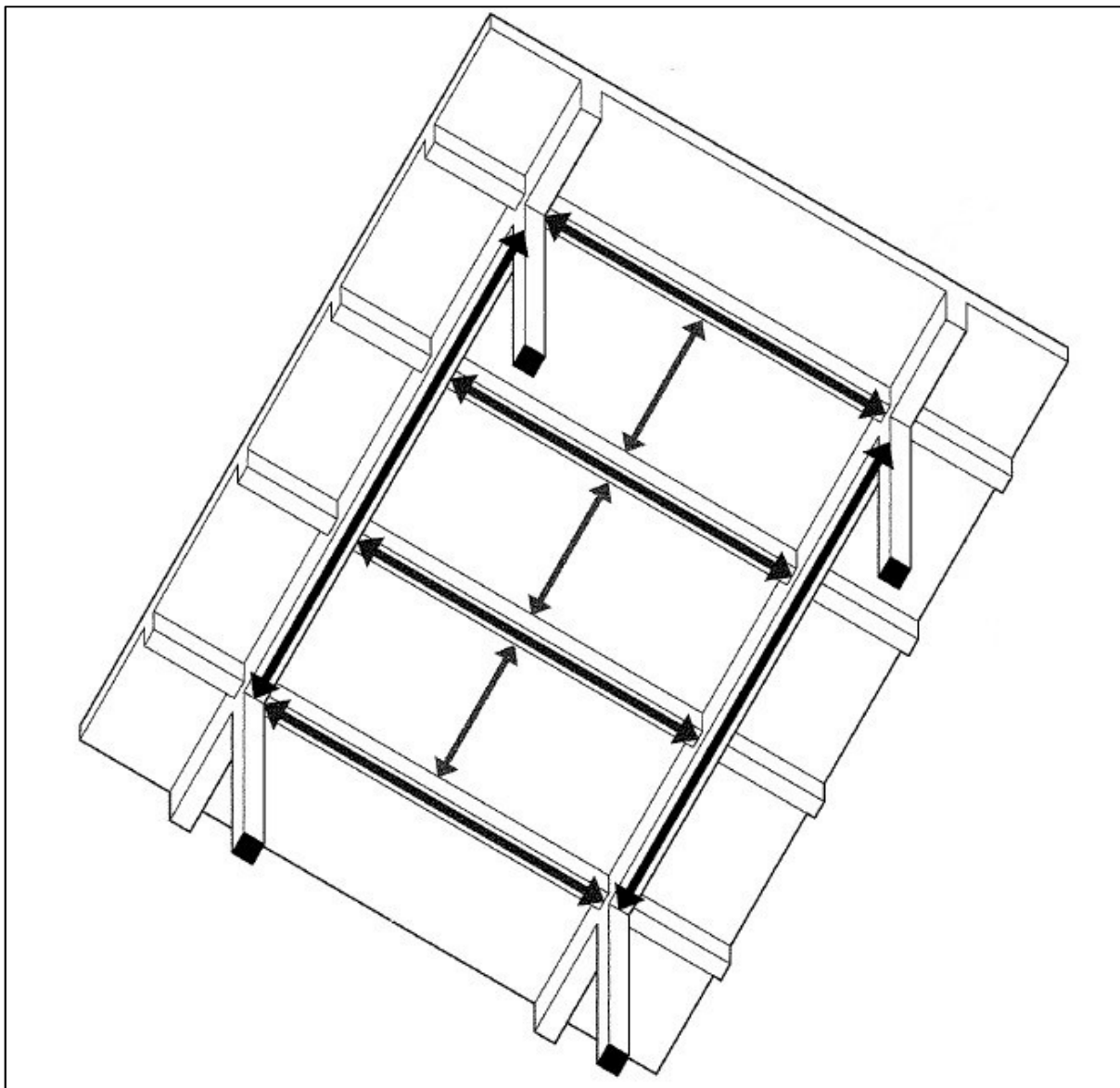
Segundo Ching, Onouye e Zuberbuhler (2010), apresentam espessura uniforme, conforme Figuras 1 e 2, apresentando armadura estrutural em apenas uma direção entre os apoios, essa geralmente a de menor distância entre os possíveis apoios. Indicadas em casos de carregamentos leves e moderados, apresentam capacidade de vencer vãos curtos, entre 1,8 e 5,5 metros. Podem ser constituídas apoiando-as sobre paredes portantes, ou então em vigas de distribuição paralelas que são então sustentadas pelas vigas principais ou por paredes portantes, sendo essa segunda opção mais comum visto que dessa maneira, módulos estruturais maiores são possíveis.

Figura 1 - Laje unidirecional



Fonte: Adaptado de Ching, Onouye e Zuberbuhler (2010)

Figura 2 - Corte em laje unidirecional



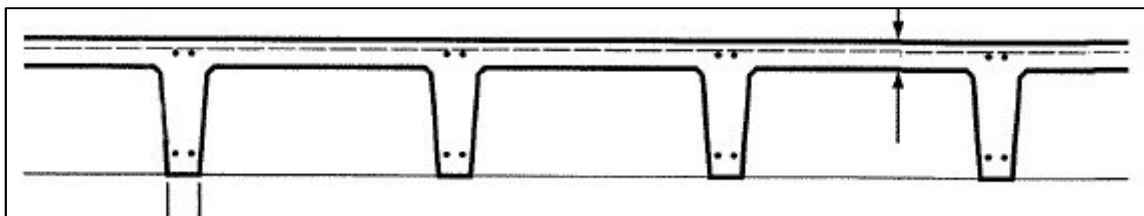
Fonte: Adaptado de Ching, Onouye e Zuberbuhler (2010)

2.2.2 Lajes nervuradas unidirecionais

Conforme Ching, Onouye e Zuberbuhler (2010), são moldadas com um conjunto de nervuras próximas entre si, como uma série de vigas “T”, como ilustrado na Figura 3, apoiadas por sua vez em vigas paralelas. As lajes nervuradas são mais indicadas para carregamentos e vãos maiores se comparados aos correspondentes para lajes unidirecionais, chegando a valores compreendidos entre 4,6 e 10,7 metros, e ao mesmo tempo, oferece um peso próprio reduzido. As nervuras desenvolvem-se geralmente na direção dos maiores vãos, apresentando nervuras de distribuição para atender os menores, podendo inverter esses fatores quando as condições de

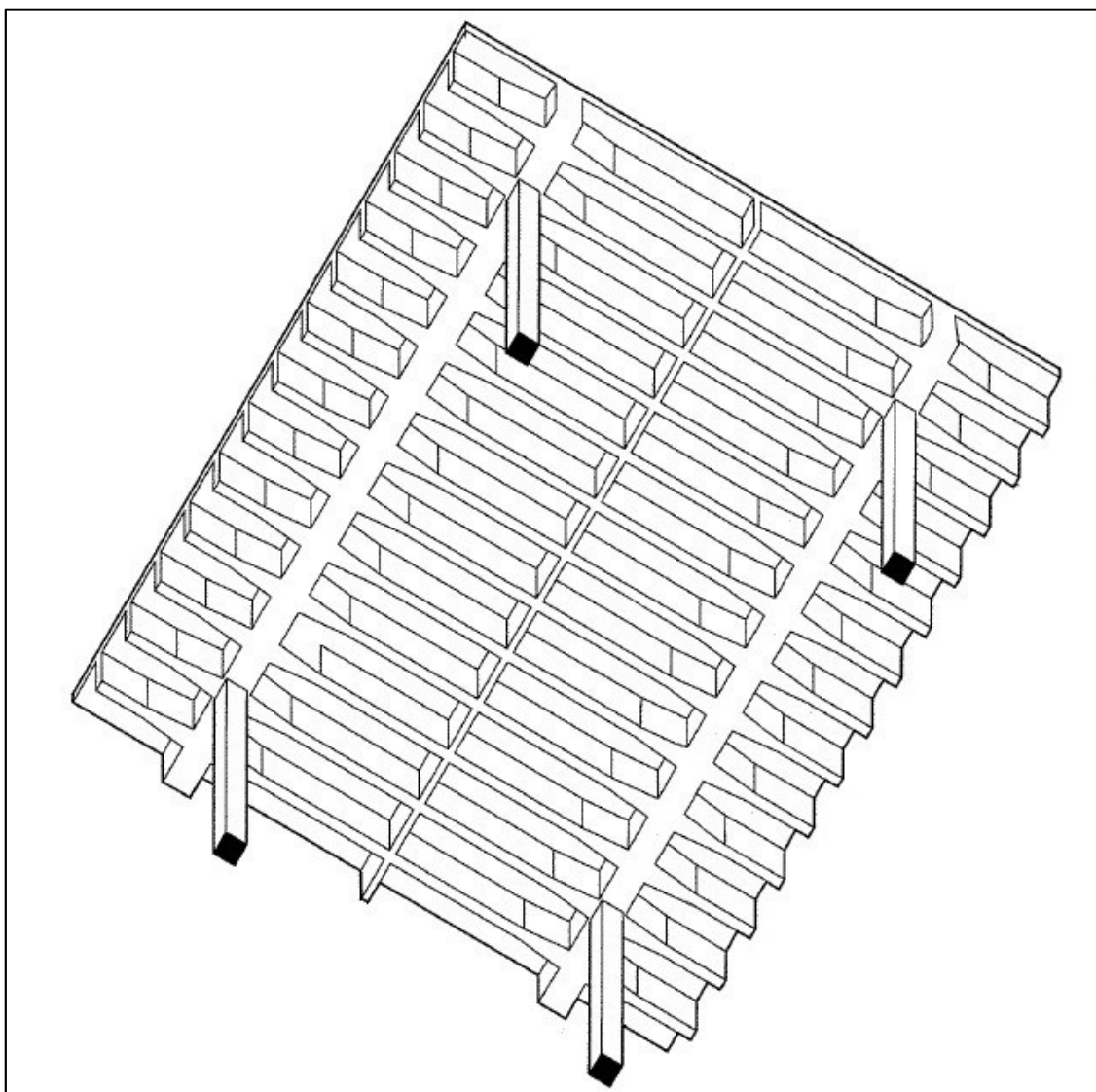
carregamento forem leves, visando um possível aperfeiçoamento econômico. Tal disposição pode ser visualizada na Figura 4.

Figura 3 - Corte em laje nervurada unidirecional



Fonte: Adaptado de Ching, Onouye e Zuberbuhler (2010)

Figura 4 - Laje nervurada unidirecional

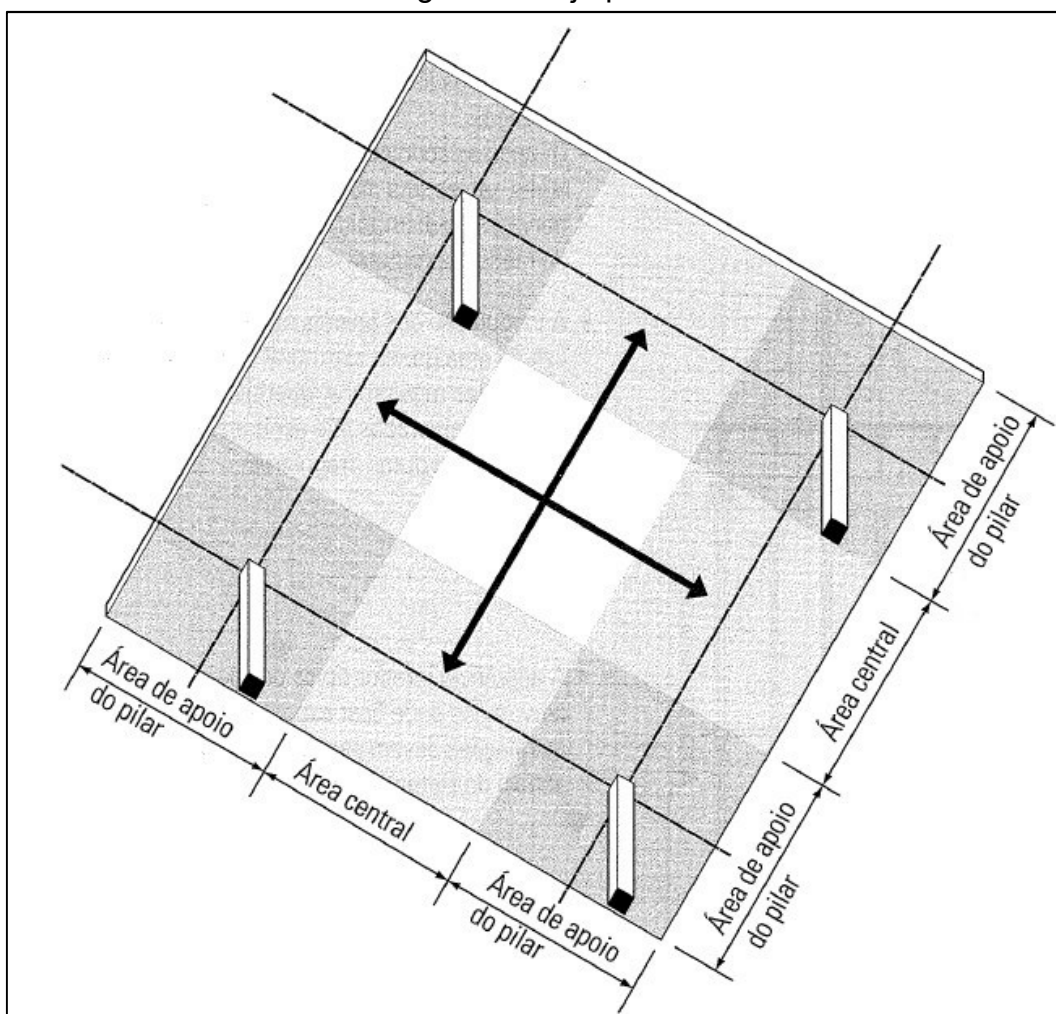


Fonte: Adaptado de Ching, Onouye e Zuberbuhler (2010)

2.2.3 Lajes planas ou lisas

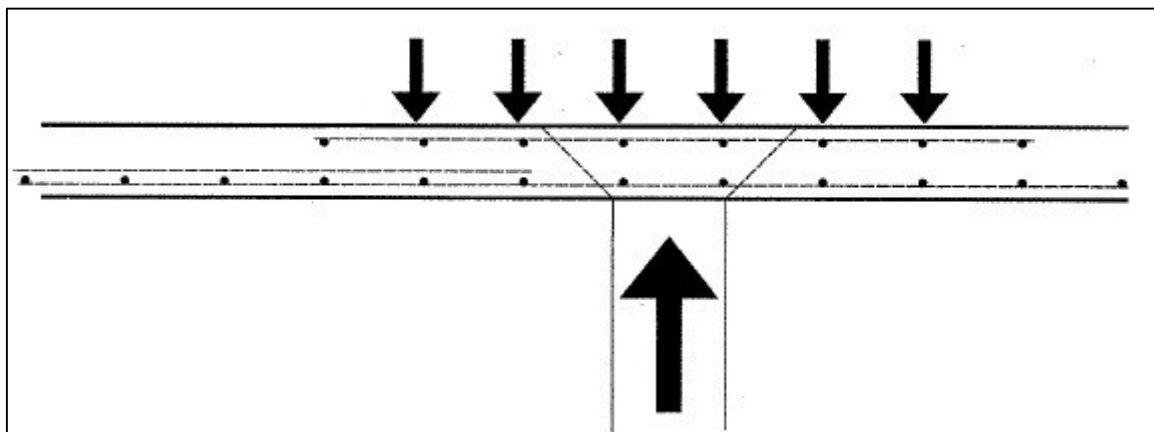
Ching, Onouye e Zuberbuhler (2010), definem como as que apresentam espessura uniforme, são armadas em duas ou mais direções, apoiando-se diretamente em pilares, sem vigas ou nervuras, como pode ser observado nas Figuras 5 e 6. Se adequam principalmente na construção de apartamentos e hotéis, visto que proporcionam flexibilidade a distribuição dos pilares, altura entre pisos aprimorada e simplicidade na execução das fôrmas. Sua espessura é comumente determinada devido à resistência ao cisalhamento apresentada pelo pilar, essa em função à tensão de punção que nesse sistema é bastante alta, devido ao empuxo do pilar sobre a laje. Para esse ponto, é utilizado uma armadura específica a esse propósito junto aos pilares, com o intuito de reduzir a espessura total da laje. Atendem vãos pequenos, de 3,6 a 9,1 metros para carregamentos leves a moderados.

Figura 5 - Laje plana



Fonte: Adaptado de Ching, Onouye e Zuberbuhler (2010)

Figura 6 - Corte em laje plana

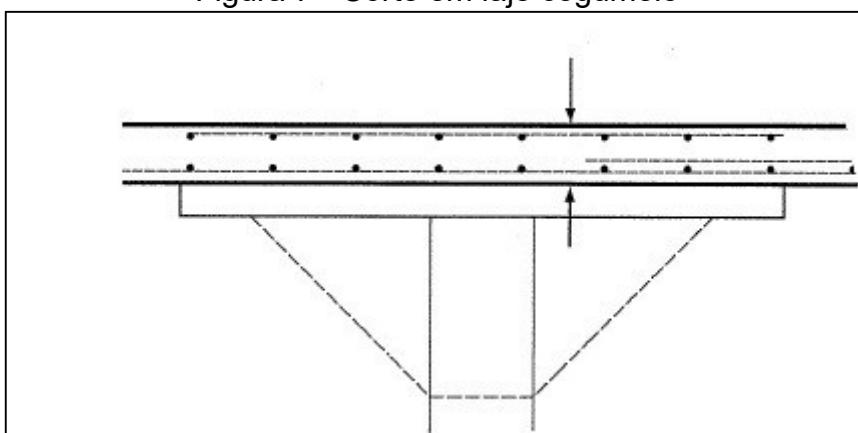


Fonte: Adaptado de Ching, Onouye e Zuberbuhler (2010)

2.2.4 Lajes cogumelos

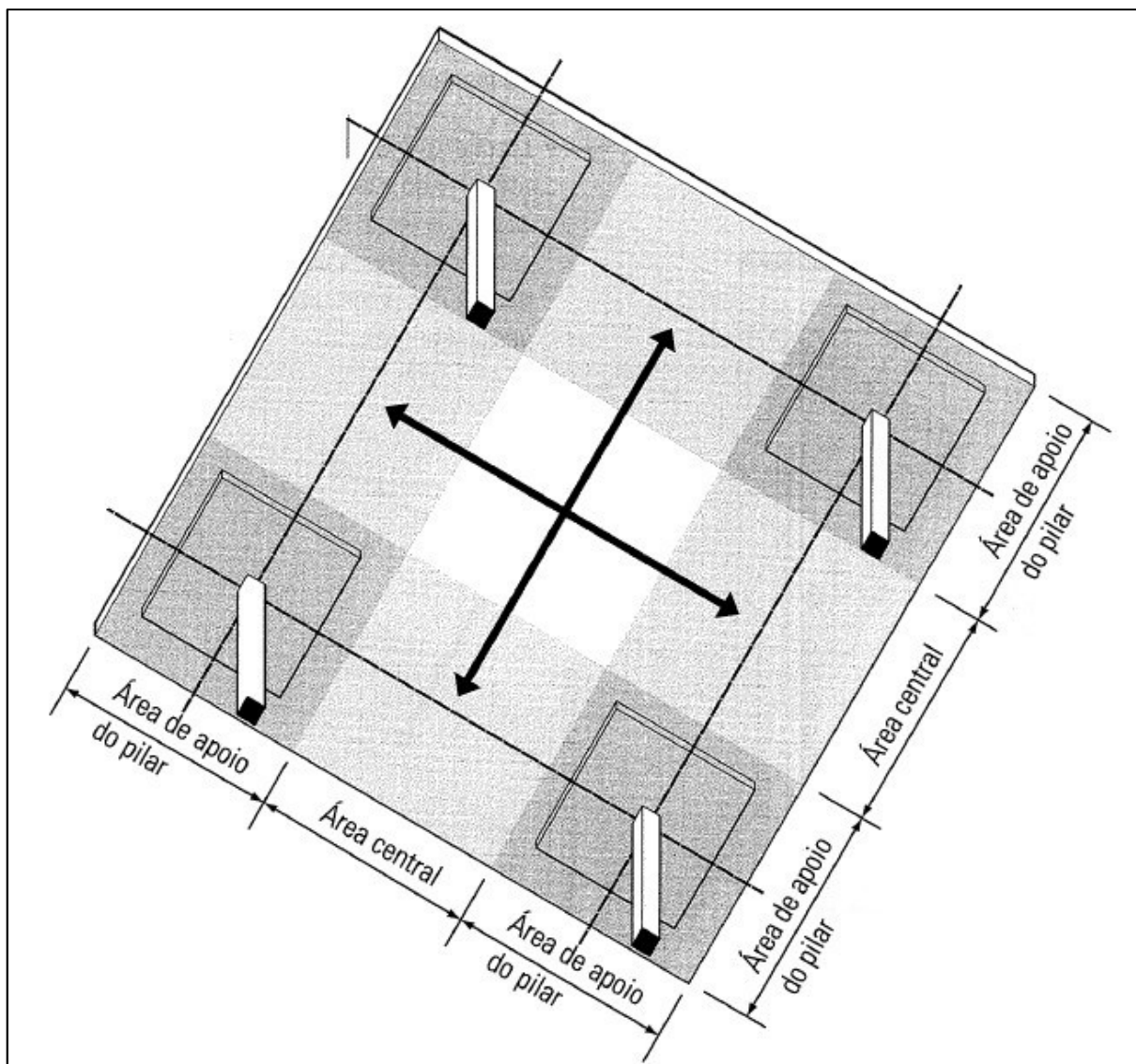
De acordo com Ching, Onouye e Zuberbuhler (2010), são lajes planas com aumento de espessura nas regiões próximas aos pilares, aumentando sua resistência ao cisalhamento e aos momentos. Possuem as chamadas áreas de reforço, que são as regiões da plana onde a espessura é maior visando os ganhos acima citados, essas podem ser notadas nas Figuras 7 e 8. Podem apresentar em conjunto, ou em substituição a essas áreas, o uso de capitéis aumentando assim a resistência ao cisalhamento. Devido as alterações em relação à laje plana, atendem para carregamentos relativamente pesados, vãos maiores, variando entre 6 e 12 metros.

Figura 7 - Corte em laje cogumelo



Fonte: Adaptado de Ching, Onouye e Zuberbuhler (2010)

Figura 8 - Laje cogumelo



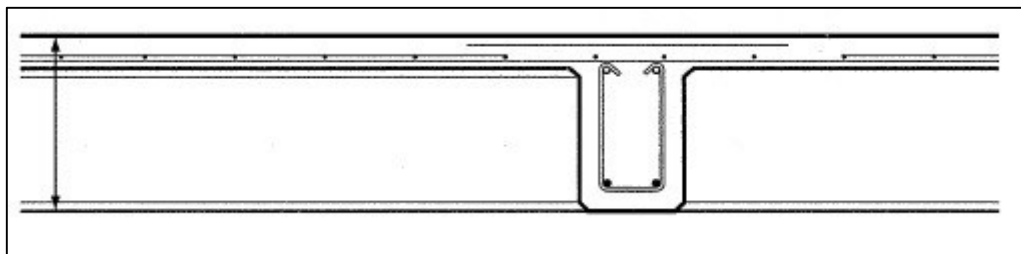
Fonte: Adaptado de Ching, Onouye e Zuberbuhler (2010)

2.2.5 Lajes bidirecionais com vigas

Para Ching, Onouye e Zuberbuhler (2010), as lajes bidirecionais podem ser armadas em duas direções, utilizando vigas e pilares como apoio em todos os quatro lados de sua estrutura. Possuem aplicação para vãos médios, em torno de 4,6 a 9,1 metros, e para carregamentos intermediários à pesados, sendo mais eficazes para vãos praticamente ou perfeitamente quadrados. Essas características são observadas nas Figuras 9 e 10. Sua grande vantagem quando comparada a lajes planas, é a maior resistência às cargas laterais, isso devido a interação dos pilares e das vigas, tornando

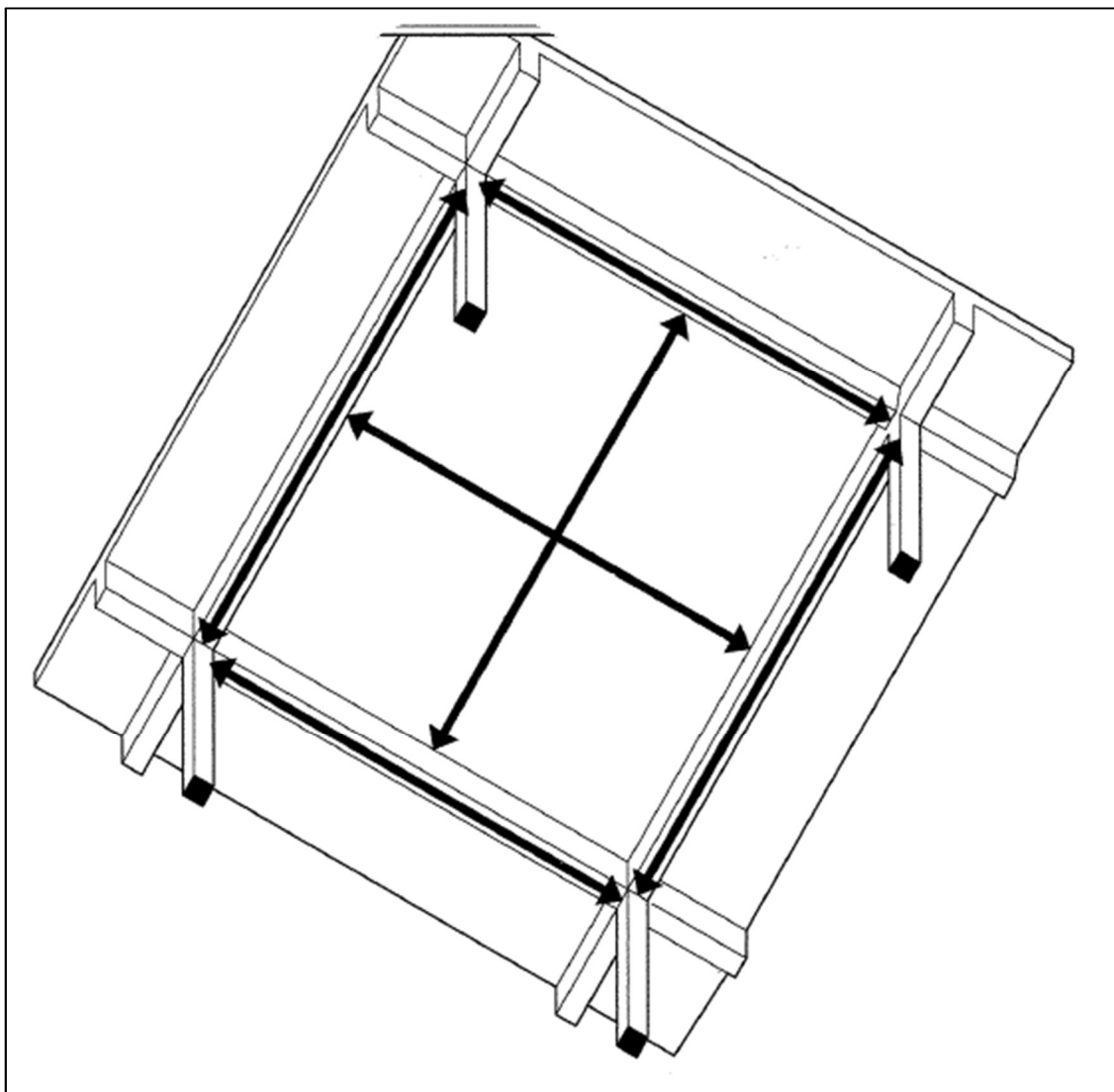
a estrutura mais rígida. Em contrapartida há um maior custo com fôrmas e a ocorrência de altura excessiva do conjunto.

Figura 9 - Corte em laje bidirecional com vigas



Fonte: Adaptado de Ching, Onouye e Zuberbuhler (2010)

Figura 10 - Laje bidirecional com vigas

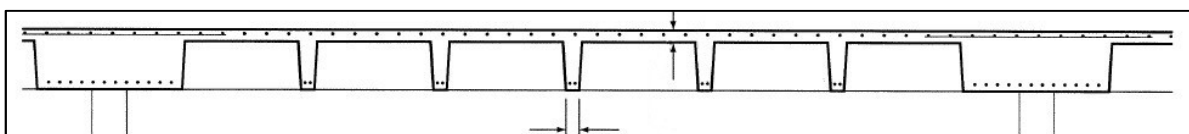


Fonte: Adaptado de Ching, Onouye e Zuberbuhler (2010)

2.2.6 Lajes nervuradas bidirecionais

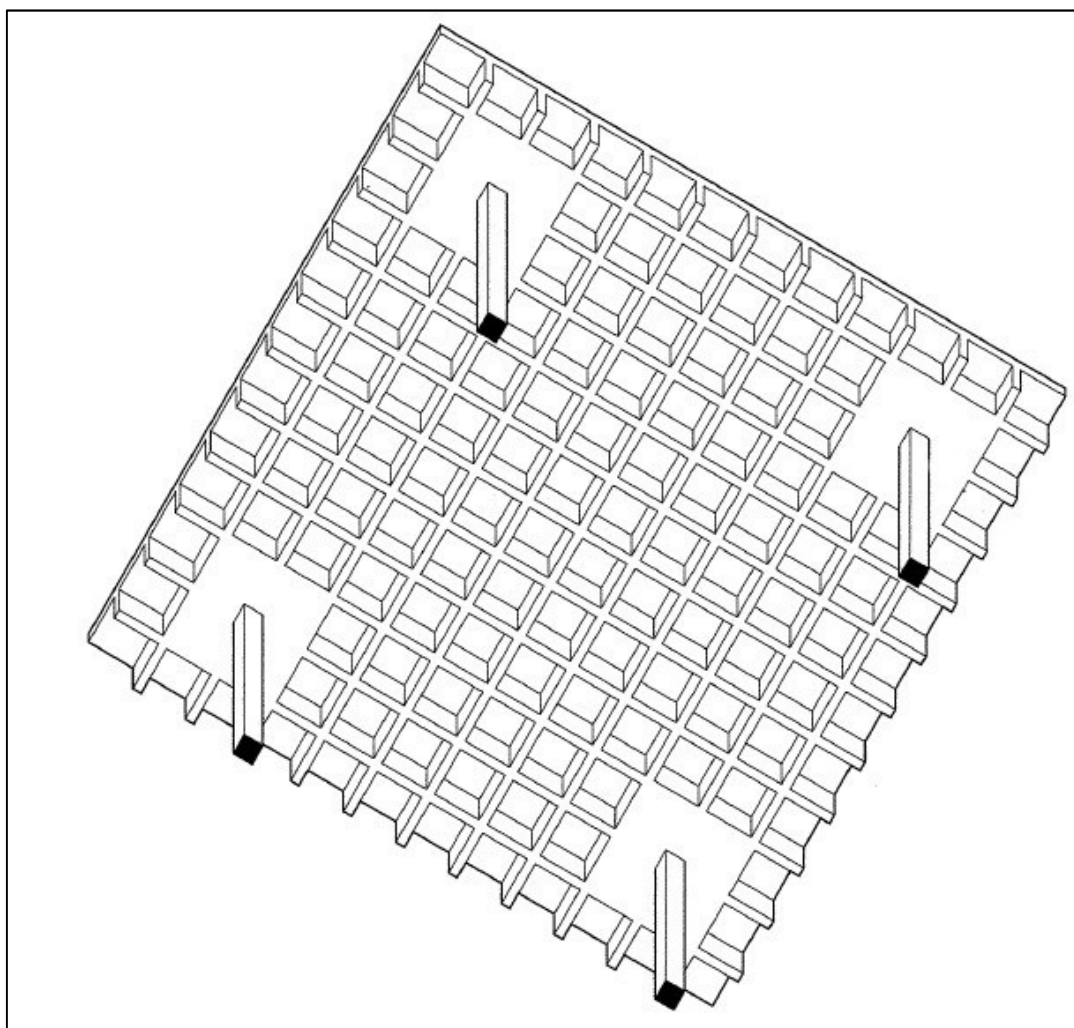
Lajes nervuradas bidirecionais, ou lajes *waffle* segundo Ching, Onouye e Zuberbuhler (2010), apresentam nervuras em duas direções, que são observadas nas Figuras 11 e 12. São mais eficazes que as lajes planas para atender carregamentos pesados e grandes vãos entre 7,3 e 12,2 metros, chegando até 18 metros em casos de pós-tensão.

Figura 11 - Corte em laje nervurada bidirecional



Fonte: Adaptado de Ching, Onouye e Zuberbuhler (2010)

Figura 12 - Laje nervurada bidirecional

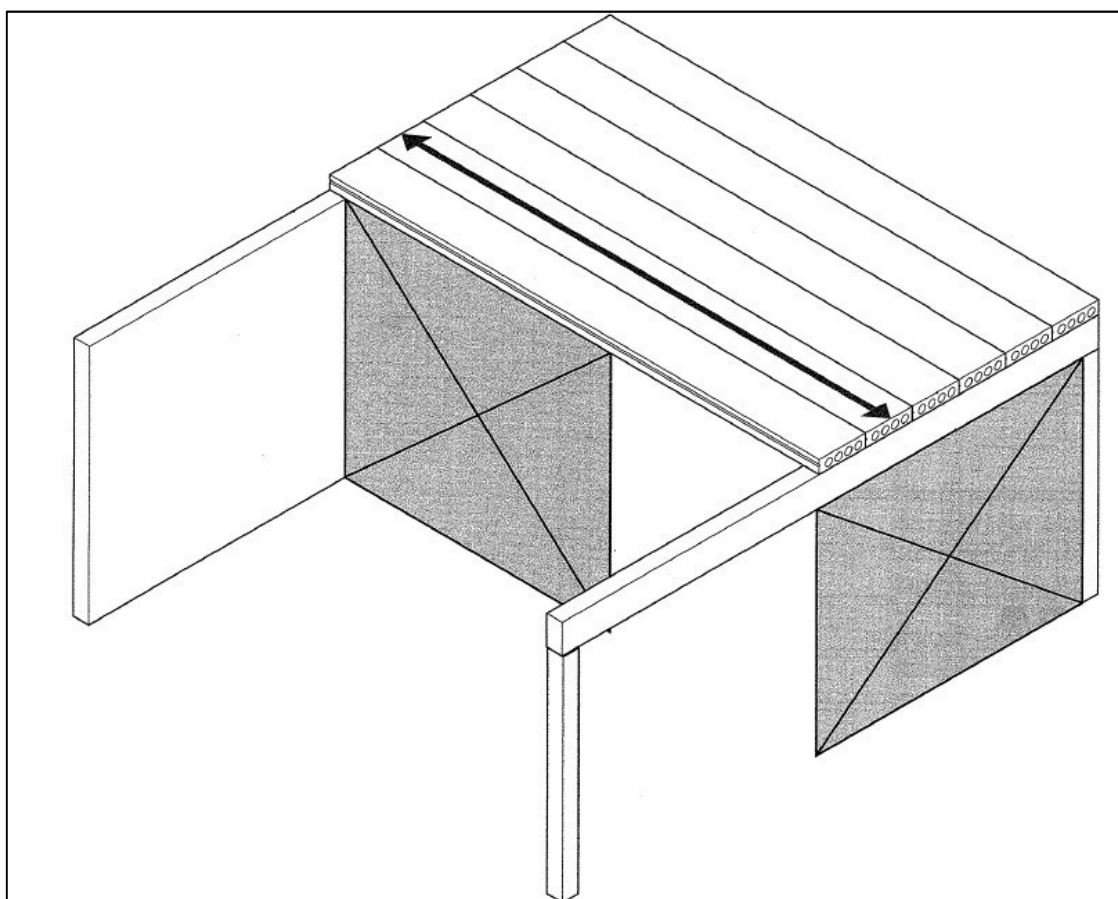


Fonte: Adaptado de Ching, Onouye e Zuberbuhler (2010)

2.2.7 Lajes de concreto com painéis pré-moldados

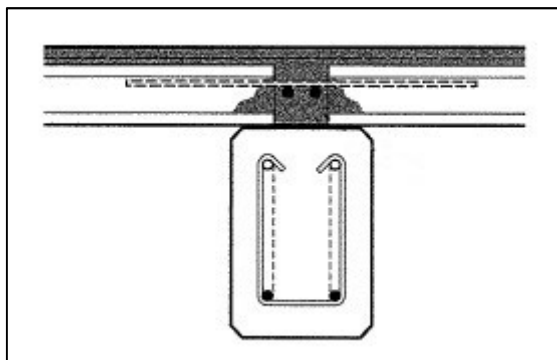
Conforme Ching, Onouye e Zuberbuhler (2010), são elementos planos unidirecionais que podem ser apoiados em vigas de concreto ou paredes portantes, assim como pórticos de aço ou concreto. São fabricadas com concreto de densidade normal, obtendo uma eficiência maior para atingir vãos maiores, uma menor espessura e peso através do pré-tensionamento. Dentre suas vantagens, estão os pontos de que devido a produção em ambiente industrial, aumenta-se a constância nas suas características, além de eliminar o uso de fôrmas na obra. Quando executada com painéis maciços, cobre vãos de 3,6 a 7,3 metros, já com painéis tubados de 3,6 a 11,6 metros. As Figuras 13, 14 e 15 ilustram essas características.

Figura 13 - Laje pré-moldada



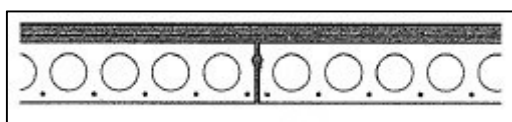
Fonte: Adaptado de Ching, Onouye e Zuberbuhler (2010)

Figura 14 - Corte 1 em laje pré-moldada



Fonte: Adaptado de Ching, Onouye e Zuberbuhler (2010)

Figura 15 - Corte 2 em laje pré-moldada



Fonte: Adaptado de Ching, Onouye e Zuberbuhler. (2010)

2.3 PRÉ-DIMENSIONAMENTO

Segundo Ching, Onouye e Zuberbuhler (2010) é preciso diferenciar projeto e análise de estruturas, tendo a análise estrutural o objetivo de determinar a capacidade de uma estrutura específica em transmitir uma carga conhecida com segurança, sem que haja deformação excessiva ou sobrecarga.

O projeto de estruturas por sua vez, busca determinar a capacidade de transmissão de carga de alguma estrutura, atuando dentro de um sistema de incertezas e arredondamentos, ao mesmo tempo que atenda também o projeto arquitetônico e outras necessidades específicas.

Quando utilizado em elementos horizontais, um dos seus principais objetivos é minimizar a flexão e deflexão. Tendo esse trabalho o objetivo de analisar elementos desse tipo, na sequência serão apresentados os métodos de pré-dimensionamento para os casos das lajes maciças armadas em duas direções, denominadas conforme Ching, Onouye e Zuberbuhler (2010) como lajes bidirecionais com vigas.

2.3.1 Lajes maciças convencionais

De acordo com Ching, Onouye e Zuberbuhler (2010), em lajes maciças têm-se como regra prática para pré-dimensionar a altura das vigas, incluindo aí a espessura da laje, uma vez que ambas são moldadas de maneira conjunta, a razão entre $Vão/16$ expressos em cm. Para o pré-dimensionamento da espessura da laje, os autores indicam a razão de *Perímetro da laje*/180 também em cm, tendo como a menor espessura absoluta, 10 cm.

2.4 MÉTODO DE CÁLCULO

2.4.1 Considerações de cálculo

Segundo Martha (2010), análise estrutural é a etapa do projeto em que são idealizados os comportamentos da estrutura, estes sendo expressos por parâmetros como tensões, deformações e deslocamentos na estrutura. Seu objetivo pode ser expresso como a determinação de esforços internos e externos, e de suas tensões correspondentes, além de determinar os deslocamentos e as equivalentes deformações das estruturas. De maneira resumida, é responsável pela previsão do comportamento da estrutura.

Fusco (2013) define lajes como placas laminares com superfície média plana, com solicitações predominantemente de forças perpendiculares ao seu plano médio. Adotam-se referências no sistema $Oxyz$, tendo o plano Oxy coincidente com o plano médio da placa. Segundo ele, as lajes são dimensionadas essencialmente em função dos momentos fletores M_x e M_y e excepcionalmente em razão dos esforços cortantes V_x e V_y .

Fusco (2013) afirma ainda que para o cálculo dos esforços perpendiculares ao plano das lajes, as mesmas são calculadas isoladamente das vigas que as sustentam, como se estivessem sobre apoios rígidos, ignorando a deformabilidade das vigas.

A NBR 6118:2014 afirma que para o projeto de lajes, qualquer barra da armadura de flexão deve apresentar diâmetro máximo de $h/8$; o espaçamento das barras da armadura principal de flexão deve ser de no máximo 20 cm ou $2h$, escolhendo o menor valor entre essas duas opções; e as armaduras secundárias de

flexão devem ser de no mínimo 20% da armadura principal, tendo espaçamento máximo de 33 cm, com suas emendas atendendo os mesmos critérios que é empregado na armadura principal.

O vão efetivo segundo a mesma NBR, deve ser calculado conforme a Equação 2.1 a seguir:

$$l_{ef} = l_0 + a_1 + a_2 \quad (2.1)$$

com a_1 igual ao menor valor dentre $t_1/2$ e $0,3h$, e a_2 igual ao menor valor dentre $t_2/2$ e $0,3h$, que podem ser melhor compreendidos com o auxílio da Figura 16.

De acordo com a NBR 6118:2014, para a verificação do estado-limite último (ELU), os valores de resistência característica do aço e do concreto devem ser minorados pelos coeficientes de ponderação expressos no Quadro 1.

Quadro 1 - Coeficientes de ponderação γ_c e γ_s

Combinações	Concreto γ_c	Aço γ_s
Normais	1,4	1,15
Especiais ou de construção	1,2	1,15
Excepcionais	1,2	1,0

Fonte: Adaptado de NBR 6118 (2014)

Dentro desse pensamento, para obras normais, a NBR 6118:2014 define as fórmulas 2.2 e 2.3 a seguir para as resistências de cálculos no ELU.

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{1,4} \quad (2.2)$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{1,15} \quad (2.3)$$

Onde:

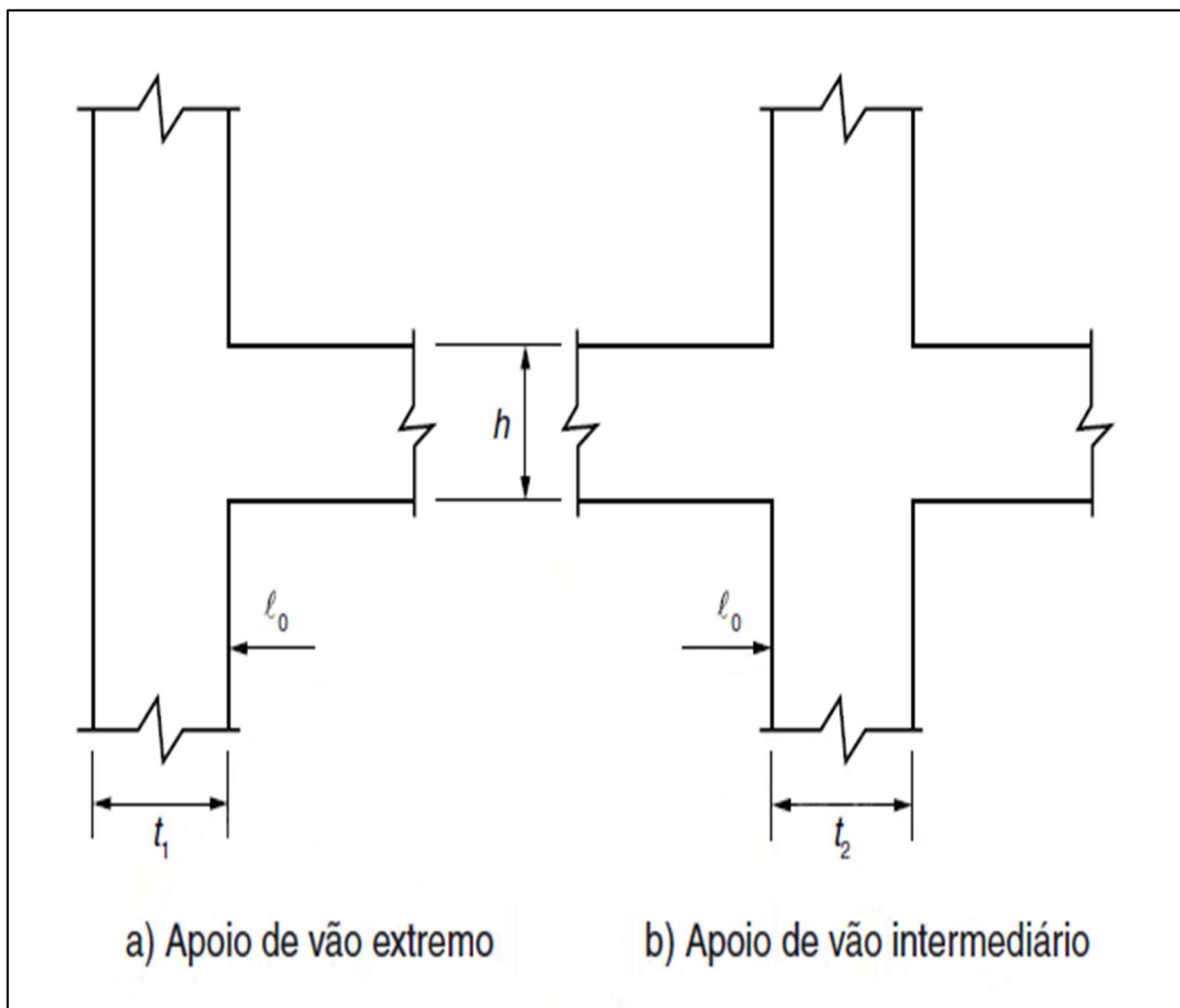
f_{cd} - valor de resistência de cálculo do concreto;

f_{ck} - valor de resistência característico do concreto;

f_{yd} - valor de resistência de cálculo do aço;

f_{yk} - valor de resistência característico do aço.

Figura 16 - Parâmetros para cálculo de vãos efetivos



Fonte: Adaptado de NBR 6118 (2014)

A NBR 6118:2014 classifica quatro níveis de agressividade ambiental (CAA), como pode ser observado no Quadro 2, os quais segundo a mesma, são responsáveis pela perda de qualidade da estrutura ao passar do tempo, devido suas ações físicas e químicas.

Quadro 2 - Classes de agressividade ambiental

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

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

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

^c Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

Fonte: Adaptado de NBR 6118:2014

A partir da CAA, a norma define valores mínimos para a relação água/cimento e a classe de concreto conforme o Quadro 3, e também o cobrimento mínimo, como pode ser visto no Quadro 4.

Quadro 3 - Relação água/cimento e classe de concreto a partir da CAA

Concreto ^a	Tipo ^{b, c}	Classe de agressividade (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	≤ 0,65	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,45
	CP	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,50	≤ 0,45
Classe de concreto (ABNT NBR 8953)	CA	≥ C20	≥ C25	≥ C30	≥ C40
	CP	≥ C25	≥ C30	≥ C35	≥ C40
^a O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 12655. ^b CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado. ^c CP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido.					

Fonte: Adaptado de NBR 6118:2014

Quadro 4 - Cobrimento nominal

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV ^c
		Cobrimento nominal mm			
Concreto armado	Laje ^b	20	25	35	45
	Viga/pilar	25	30	40	50
	Elementos estruturais em contato com o solo ^d	30		40	50
Concreto protendido ^a	Laje	25	30	40	50
	Viga/pilar	30	35	45	55

^a Cobrimento nominal da bainha ou dos fios, cabos e cordoalhas. O cobrimento da armadura passiva deve respeitar os cobrimentos para concreto armado.

^b Para a face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contrapiso, com revestimentos finais secos tipo carpete e madeira, com argamassa de revestimento e acabamento, como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros, as exigências desta Tabela podem ser substituídas pelas de 7.4.7.5, respeitado um cobrimento nominal ≥ 15 mm.

^c Nas superfícies expostas a ambientes agressivos, como reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos, devem ser atendidos os cobrimentos da classe de agressividade IV.

^d No trecho dos pilares em contato com o solo junto aos elementos de fundação, a armadura deve ter cobrimento nominal ≥ 45 mm.

Fonte: Adaptado de NBR 6118:2014

A NBR 6120:1980, classifica as cargas que devem ser utilizadas para o cálculo das estruturas, dividindo-as como:

- carga permanente: a que é constituída pelo peso da estrutura e todos seus elementos permanentes. A mesma norma define os valores mínimos para o peso específico dos materiais comumente usados nas construções, conforme Tabela 1;
- carga acidental: aquela que é proveniente do uso da estrutura (pessoas, móveis, materiais diversos, veículos, entre outros). A Tabela 2 adaptada da norma, mostra os valores a serem usados para os ambientes do projeto utilizado neste estudo.

Tabela 1 - Peso específico dos materiais de construção

(continua)

Materiais		Peso específico aparente (kN/m³)
1 Rochas	Arenito	26
	Basalto	30
	Gneiss	30
	Granito	28
	Mármore e calcário	28
2 Blocos artificiais	Blocos de argamassa	22
	Cimento Amianto	20
	Lajotas cerâmicas	18
	Tijolos furados	13
	Tijolos maciços	18
	Tijolos sílico-calcários	20
3 Revestimentos e concreto	Argamassa de cal, cimento e areia	19
	Argamassa de cimento e areia	21
	Argamassa de gesso	12,5
	Concreto simples	24
	Concreto armado	25
4 Madeiras	Pinho, cedro	5
	Louro, imbuia, pau óleo	6,5
	Guajuvirá, guatambu, grápia	8
	Angico, cabriuva, ipê róseo	10
5 Metais	Aço	78,5
	Alumínio e ligas	28
	Bronze	85
	Chumbo	114
	Cobre	89
	Ferro fundido	72,5
	Estanho	74
	Latão	85
	Zinco	72

(conclusão)

Materiais		Peso específico aparente (kN/m³)
6 Materiais diversos	Alcatrão	12
	Asfalto	13
	Borracha	17
	Papel	15
	Plástico em folhas	21
	Vidro plano	26

Fonte: adaptado da NBR 6120:1980.

Tabela 2 - Valores para cargas verticais

Local		Carga (kN/m²)
Casas de máquinas	(incluindo o peso das máquinas) a ser determinada em cada caso, porém com o valor mínimo de	7,5
Corredores	Com acesso ao público	3
	Sem acesso ao público	2
Escadas	Com acesso ao público	3
	Sem acesso ao público	2,5
Forros	Sem acesso a pessoas	0,5
Garagens e estacionamentos	Para veículos de passageiros ou semelhantes com carga máxima de 25 kN por veículo.	3
Lojas	-	4
Terraços	Sem acesso ao público	2
	Com acesso ao público	3
	Inacessível a pessoas	0,5
	Destinados a heliportos elevados: as cargas deverão ser fornecidas pelo órgão competente do Ministério da Aeronáutica	-

Fonte: adaptado da NBR 6120:1980.

Em sequência, da mesma maneira que anteriormente foi abordada a laje específica desse estudo quanto ao método de pré-dimensionamento, na sequência será analisado o método de cálculo da mesma.

2.4.2 Lajes maciças convencionais

De acordo com Leonhardt e Mönning (1978), lajes armadas em duas direções tem suas cargas transmitidas aos apoios pelo trecho mais curto, através da flexão em duas direções. Quando comparado a lajes com apoios em apenas uma direção, são possíveis maiores esbeltezas nesse caso. Dependendo muito da relação entre os lados da laje, seus momentos principais nos eixos se desenvolvem paralelamente aos bordos, já nos cantos agem em ângulos de 45° e 135°, essas direções determinam o aparecimento de fissuras nas lajes de concreto armado.

Segundo a NBR 6118:2014, as lajes maciças possuem limites a serem respeitados na ordem de:

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

Para as lajes em balanço devem ser multiplicados os esforços solicitantes de cálculo por um coeficiente adicional γ_n conforme expresso no Quadro 5.

Quadro 5 - Valores para o coeficiente 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: Adaptado de NBR 6118:2014

Pela NBR 6118:2014, têm-se para o dimensionamento à flexão simples as fórmulas 2.4 e 2.5.

$$x = \frac{d}{\lambda} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 M_d}{\alpha_c f_{cd} b_w d^2}} \right) \quad (2.4)$$

$$A_s = \frac{\alpha_c \lambda f_{cd} b_w x}{f_{yd}} \quad (2.5)$$

Sendo:

d – altura útil da laje (da face superior da laje até o eixo da armadura);

λ – relação entre profundidade y e profundidade efetiva x no diagrama retangular;

M_d – momento fletor de cálculo;

f_{cd} – valor de resistência de cálculo do concreto;

b_w – largura unitária (1 m);

α_c – parâmetro de redução da resistência do concreto na compressão;

f_{yd} - valor de resistência de cálculo do aço.

Ainda segundo a NBR 6118:2014, para os parâmetros α_c e λ acima citados, têm-se as Equações de 2.6 até 2.9.

$$\lambda = 0,80, \text{ para } f_{ck} \leq 50 \text{ MPa} \quad (2.6)$$

$$\lambda = 0,8 - \left(\frac{f_{ck} - 50}{400} \right), \text{ para } f_{ck} \geq 50 \text{ MPa} \quad (2.7)$$

$$\alpha_c = 0,85, \text{ para } f_{ck} \leq 50 \text{ MPa} \quad (2.8)$$

$$\alpha_c = 0,85 \left[1 - \frac{(f_{ck} - 50)}{200} \right], \text{ para } 50 \leq f_{ck} \leq 90 \text{ MPa} \quad (2.9)$$

A NBR 6118:2014 também afirma que para adotar armadura simples, o momento máximo deve ser dado através da Equação 2.10.

$$M_{d_{lim}} = 0,25 b_w d^2 f_{cd} \quad (2.10)$$

Para determinar a armadura mínima, e para o momento mínimo que a armadura de tração precisa suportar, segundo a NBR 6118:2014, respectivamente as Equações 2.11 e 2.12

$$A_{s_{min}} = \rho_{min} b_w h \quad (2.11)$$

$$M_{d,min} = 0,8 f_{ctk} W_0 \quad (2.12)$$

Onde:

ρ_{min} – taxa mínima da armadura de flexão;

h – altura total;

f_{ctk} – resistência característica superior do concreto à tração;

W_0 – modulo de resistência da seção transversal bruta do concreto.

As taxas mínimas para a armadura de flexão são dadas pela também pela NBR 6118:2014, conforme pode ser observado na Quadro 6.

Quadro 6 - Taxas mínimas de armadura de flexão ρ_{min}

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

Fonte: Adaptado de NBR 6118:2014

Também são dadas pela NBR 6118:2014 as especificações das armaduras máximas, conforme Equação 2.13.

$$A_{s_{max}} = 0,04 b_w h \quad (2.13)$$

3 METODOLOGIA

O presente trabalho, se propõem a analisar estruturalmente lajes baseadas no projeto do Edifício Barão do Rio Branco, a ser executado pela Construtora Poletto Ltda.

A edificação de quatro pavimentos, contará com três subsolos de garagens, e um pavimento térreo provido de mezanino com pré-disposição para quatro lojas, podendo ter essa característica futuramente alterada conforme necessidade. O empreendimento será construído juntamente com o Edifício San Raffaele que conta por sua vez com espaço comercial em seu pavimento térreo, e unidades residências nos demais andares, porém este não será observado neste estudo. Ambos podem ser observados de maneira mais clara nas Figuras 17 e 18.

Figura 17 - Ed. Barão do Rio Branco (à dir.) e Ed. San Raffaele (à esq.)



Fonte: Construtora Poletto Ltda. (2018)

Localizada na região central de Bento Gonçalves, no estado do Rio Grande do Sul, a edificação alvo teve suas lajes alteradas, adaptando pontos como lajes anexas à laje principal que não acrescentariam quanto à análise comparativa dos resultados dos métodos de cálculo e pré-dimensionamento.

Figura 18 - Ed. San Raffaele (à esq.) e Ed. Barão do Rio Branco (à dir.)



Fonte: Construtora Poletto Ltda. (2018)

As Figuras 19 até 23 ilustram as plantas dos pavimentos a serem utilizados no estudo, sendo elas respectivamente:

- a) 2º nível de garagem, com 1230 m²;
- b) 1º nível de garagem, com 1158 m²;
- c) térreo, com 1241 m²;
- d) mezanino, com 765 m²;
- e) cobertura, com 1088 m².

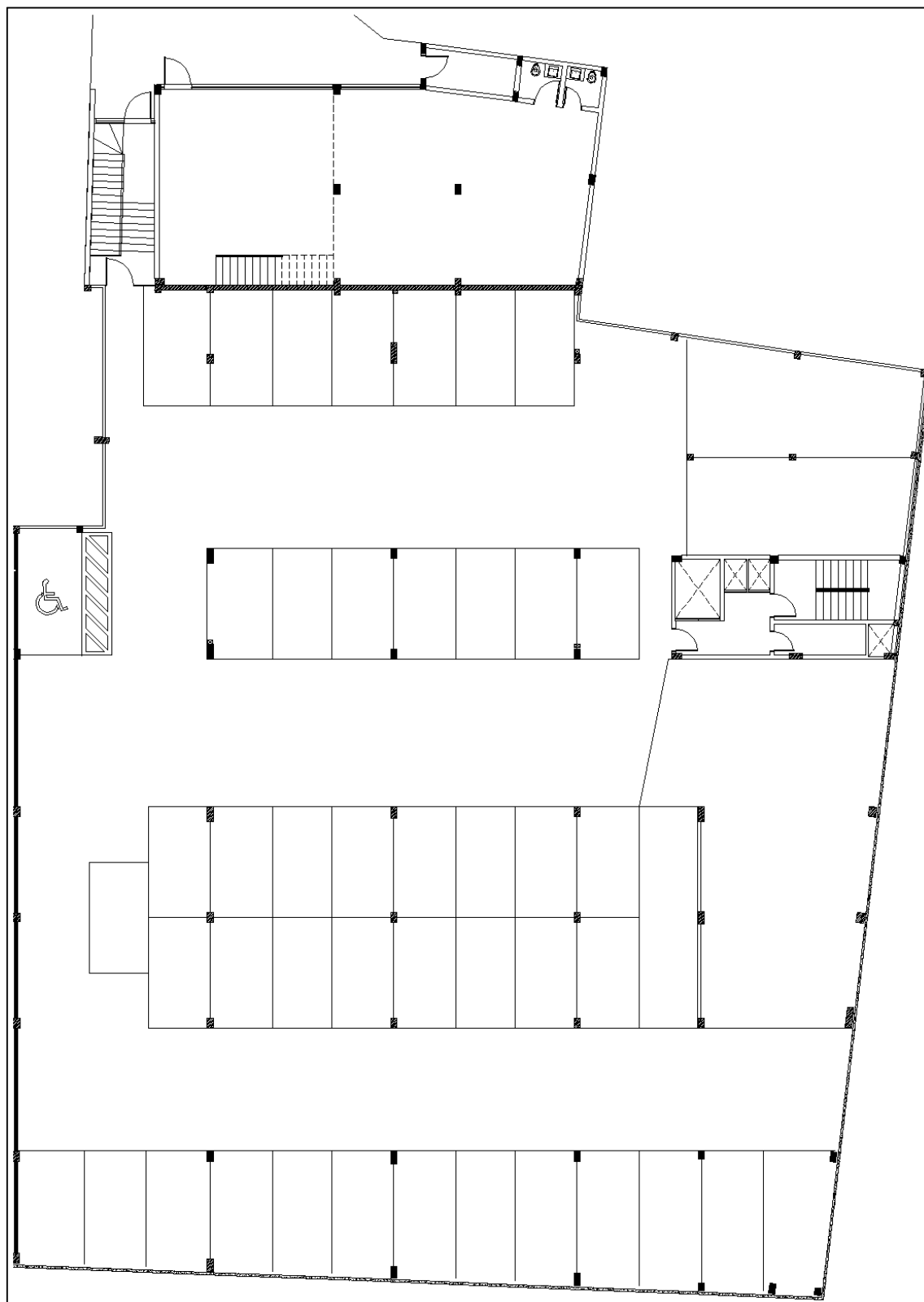
Não foram feitos estudos sobre a laje piso do 3º nível de garagem neste trabalho, sendo esta a que completa a edificação comercial.

3.1 PRÉ-DIMENSIONAMENTO

No primeiro momento, as cinco lajes foram analisadas pelos métodos de pré-dimensionamento de Ching, Onouye e Zuberbuhler (2010) previamente explicado neste estudo, apenas com a diferença de considerar as espessuras mínimas expressas na NBR 6118, visto que o método em questão não é elaborado com base nas normas brasileiras. As lajes foram concebidas no sistema de laje maciça

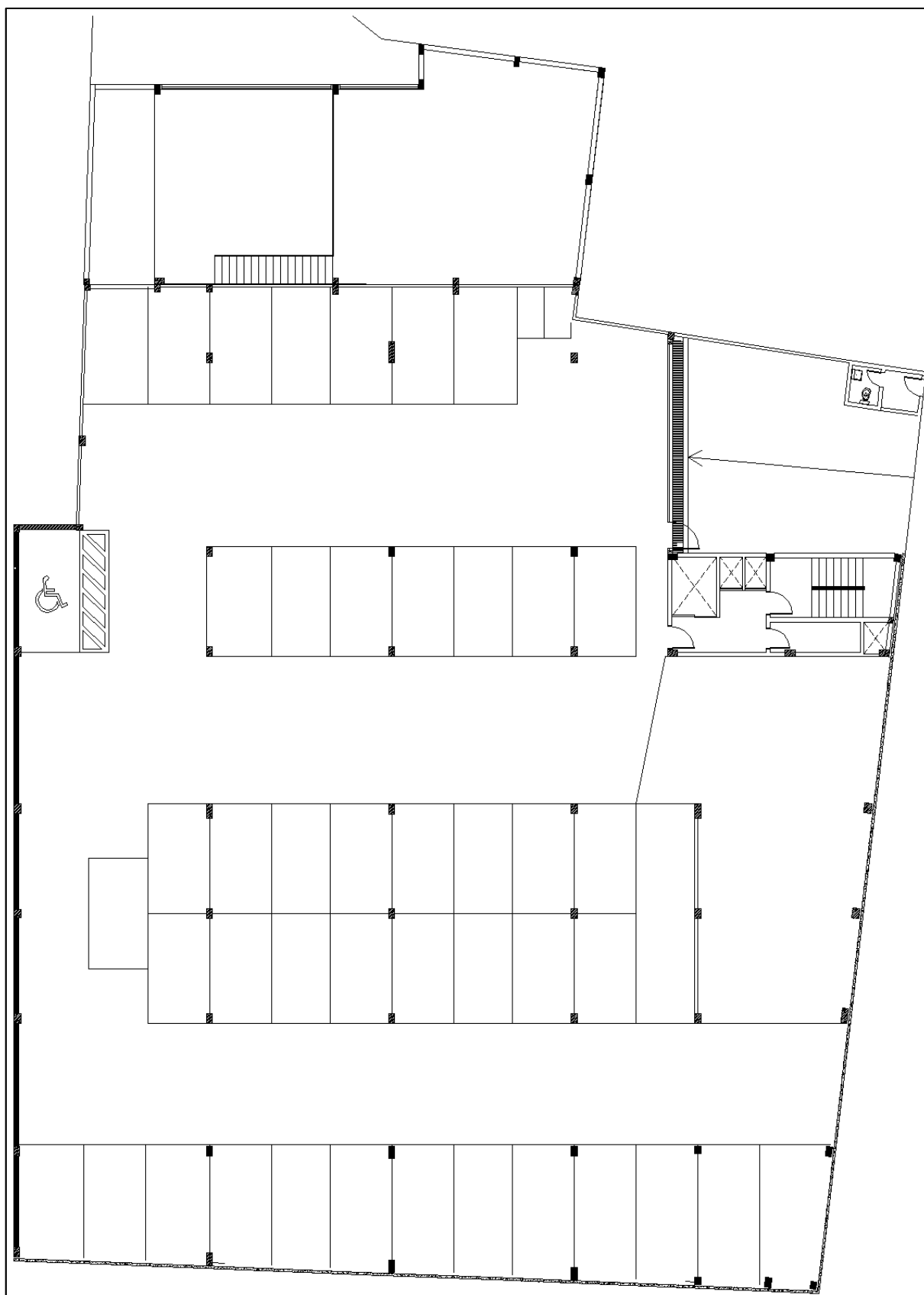
convencional, para situações com variados espaçamentos entre os pilares, adaptando o projeto que originalmente foi executado no sistema de lajes nervuradas.

Figura 19 - Laje de 2º nível de garagem



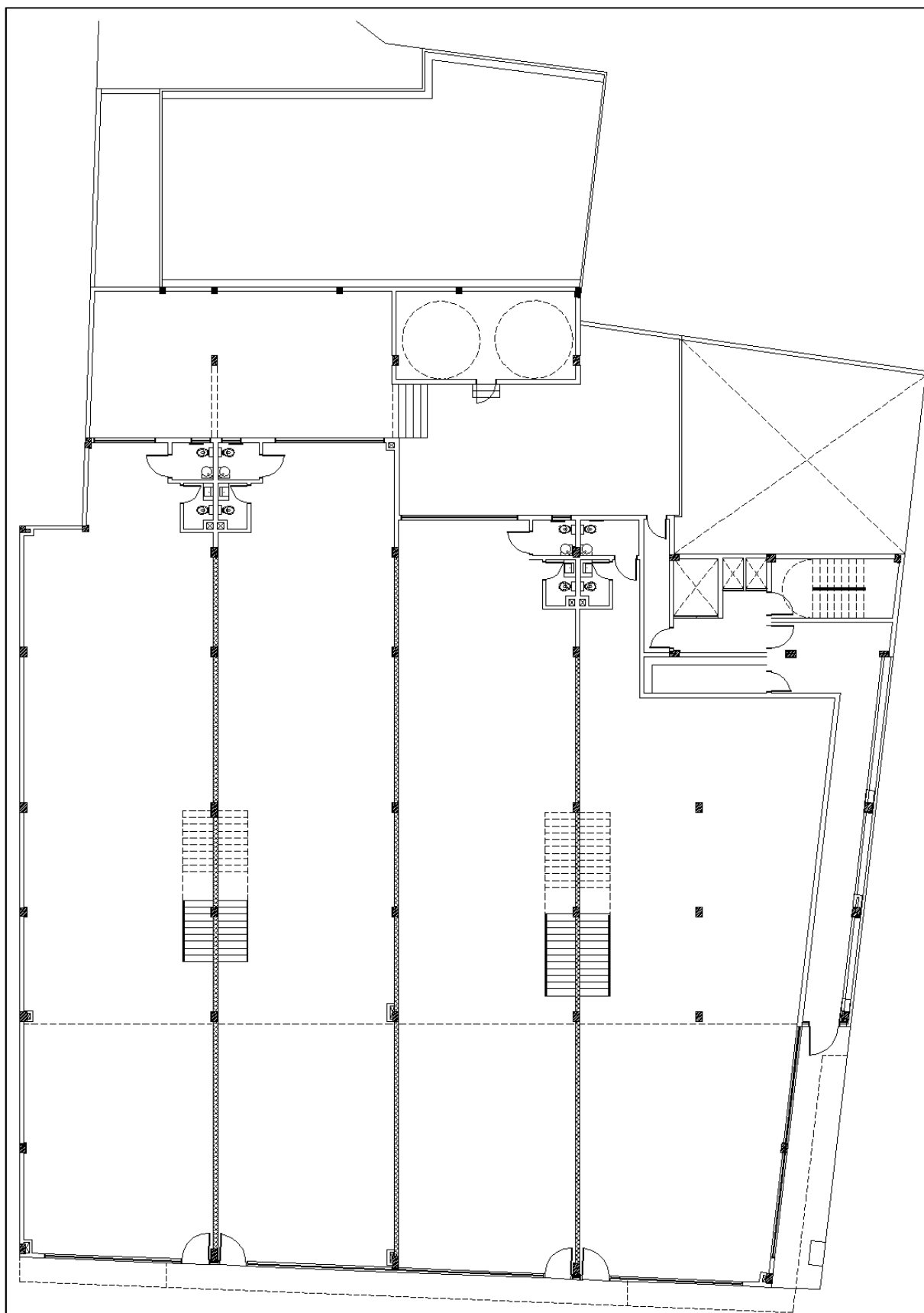
Fonte: Adaptado de Construtora Poletto Ltda. (2018)

Figura 20 - Laje de 1º nível de garagem



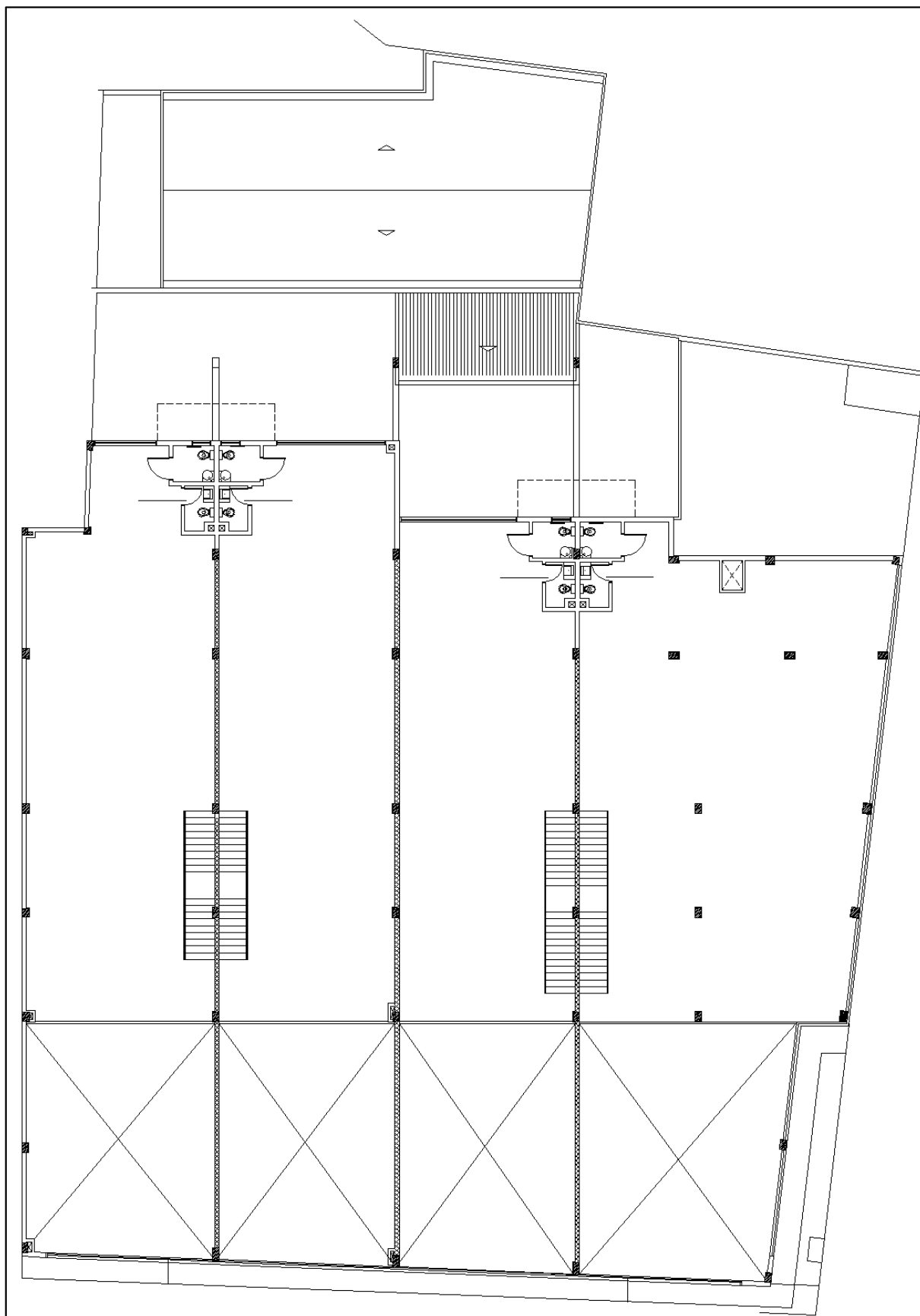
Fonte: Adaptado de Construtora Poletto Ltda. (2018)

Figura 21 - Laje de pavimento térreo



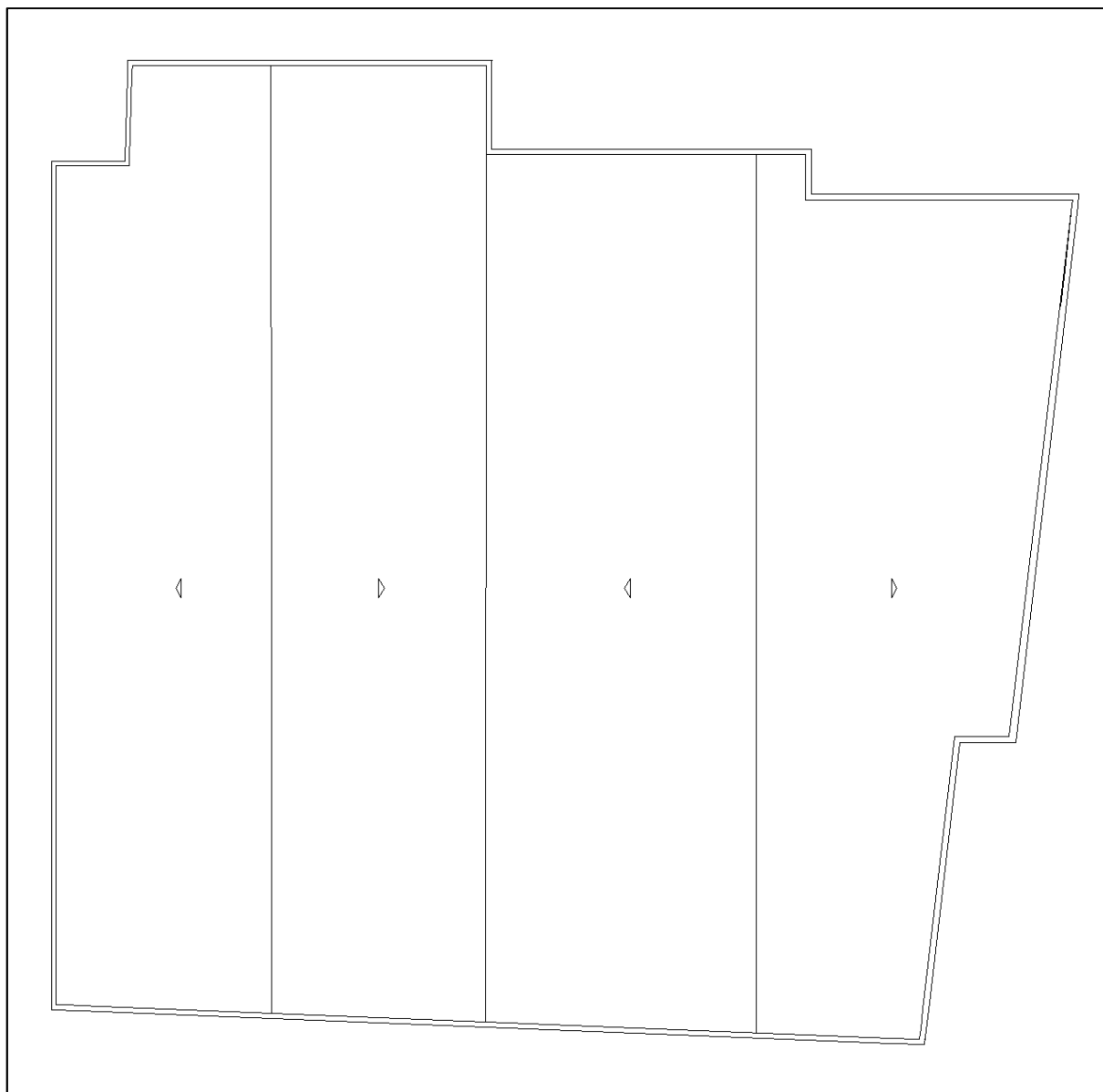
Fonte: Adaptado de Construtora Poletto Ltda. (2018)

Figura 22 - Laje do mezanino



Fonte: Adaptado de Construtora Poletto Ltda. (2018)

Figura 23 - Laje de Cobertura



Fonte: Adaptado de Construtora Poletto Ltda. (2018)

3.2 DIMENSIONAMENTO

Após, com o auxílio do *software* Eberick® v9, as mesmas situações definidas para o pré-dimensionamento, foram executadas pelo método de cálculo mencionado neste trabalho, buscando determinar a eficiência dos valores obtidos pelos pré-dimensionamento do sistema estrutural empregado. Para lançamento em *software* foram utilizados os seguintes parâmetros conforme as normas antes citadas:

- a) Classe de agressividade ambiental moderada (CAA II)
- b) Concreto C25, aço CA-60 para Ø5.0mm e CA-50 para as demais bitolas

- c) Agregado máximo de 19mm
- d) Relação água/cimento 0,60
- e) Cobrimento nominal 25mm

As cargas utilizadas são também expressas conforme as normas apresentadas nesse estudo, sendo elas:

- a) Cargas permanentes
 - a) Concreto 25 kN/m^3
 - b) Alvenaria de vedação 13 kN/m^3
 - c) Contrapiso 21 kN/m^3
- b) Cargas acidentais
 - a) Garagens 3 kN/m^2
 - b) Lojas 4 kN/m^2
 - c) Casa de maquinas $7,5 \text{ kN/m}^2$

4 ANÁLISE DE RESULTADOS

Cada situação teve seus resultados coletados e analisados, que serão então demonstrados neste capítulo.

4.1 PRÉ-DIMENSIONAMENTO

Os resultados obtidos pelo método de pré-dimensionamento foram analisados de maneira individual, por pavimento, e então da estrutura como um todo, como é disposto a seguir.

4.1.1 2º Nível de garagem

No 2º nível de garagem, as espessuras iniciais apresentaram-se insuficientes apenas na laje L21 e na rampa R2, como pode ser observado na Tabela 3 a seguir.

Tabela 3 - Resultados 2º nível de garagem

(continua)

Laje	Pré-dimensionamento	Situação
L1	10 cm	OK
L2	12 cm	OK
L3	13 cm	OK
L4	11 cm	OK
L5	11 cm	OK
L6	10 cm	OK
L7	13 cm	OK
L8	13 cm	OK
L9	11 cm	OK
L10	11 cm	OK
L11	13 cm	OK
L12	13 cm	OK
L13	9 cm	OK

(continuação)

Laje	Pré-dimensionamento	Situação
L14	10 cm	OK
L15	11 cm	OK
L16	15 cm	OK
L17	13 cm	OK
L18	13 cm	OK
L19	9 cm	OK
L20	10 cm	OK
L21	8 cm	X
L22	10 cm	OK
L23	16 cm	OK
L24	16 cm	OK
L25	16 cm	OK
L26	14 cm	OK
L27	13 cm	OK
L28	13 cm	OK
L29	11 cm	OK
L30	14 cm	OK
L31	13 cm	OK
L32	13 cm	OK
L33	11 cm	OK
L34	15 cm	OK
L35	15 cm	OK
L36	15 cm	OK
L37	12 cm	OK
L38	13 cm	OK
L39	14 cm	OK
L40	14 cm	OK
L41	14 cm	OK
L42	12 cm	OK
L43	13 cm	OK

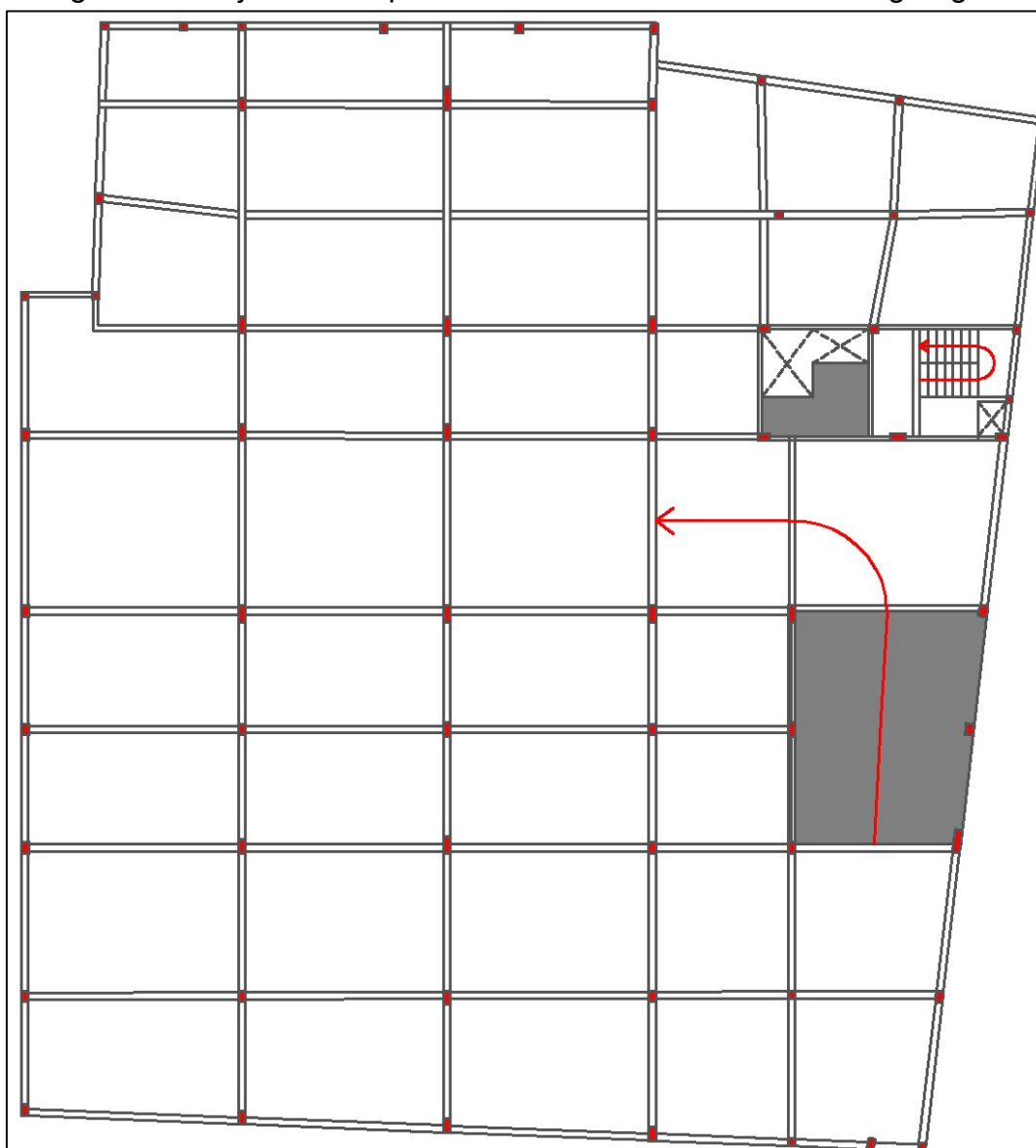
(conclusão)

Laje	Pré-dimensionamento	Situação
L44	15 cm	OK
R1	13 cm	OK
R2	18 cm	X

Fonte: O autor (2018)

A Figura 24 mostra as lajes que não atenderam a situação de cálculo como foi descrito acima, com L21 sendo a menor das lajes destacadas e R2 a maior.

Figura 24 - Lajes com espessura insuficientes no 2º nível de garagem



Fonte: O autor (2018)

Observa-se um amplo número de lajes que atenderam a situação de projeto com a espessura inicialmente determinada pelo pré-dimensionamento. Não houve sucesso apenas em uma laje que possui uma de suas extremidades livre e uma das rampas.

A Tabela 4 apresenta então um resumo sobre os resultados do pavimento, que reafirma uma alta eficiência do método.

Tabela 4 - Resumo do 2º nível de garagem

Lajes existentes	Lajes dimensionadas	Lajes não dimensionadas	Eficiência de pré-dimensionamento
46	44	2	95,65%

Fonte: O autor (2018)

4.1.2 1º Nível de garagem

No 1º nível de garagem, a situação se repetiu devido à similaridade de *layout* dos pavimentos, como pode ser observado na Tabela 5 a seguir.

Tabela 5 - Resultados 1º nível de garagem

(continua)

Laje	Pré-dimensionamento	Situação
L1	10 cm	OK
L2	12 cm	OK
L3	13 cm	OK
L4	11 cm	OK
L5	11 cm	OK
L6	10 cm	OK
L7	13 cm	OK
L8	13 cm	OK
L9	11 cm	OK
L10	11 cm	OK
L11	13 cm	OK
L12	13 cm	OK

(continuação)

Laje	Pré-dimensionamento	Situação
L13	9 cm	OK
L14	10 cm	OK
L15	11 cm	OK
L16	15 cm	OK
L17	13 cm	OK
L18	13 cm	OK
L19	9 cm	OK
L20	10 cm	OK
L21	8 cm	X
L22	10 cm	OK
L23	16 cm	OK
L24	16 cm	OK
L25	16 cm	OK
L26	14 cm	OK
L27	13 cm	OK
L28	13 cm	OK
L29	11 cm	OK
L30	14 cm	OK
L31	13 cm	OK
L32	13 cm	OK
L33	11 cm	OK
L34	15 cm	OK
L35	15 cm	OK
L36	15 cm	OK
L37	12 cm	OK
L38	13 cm	OK
L39	14 cm	OK
L40	14 cm	OK
L41	14 cm	OK
L42	12 cm	OK

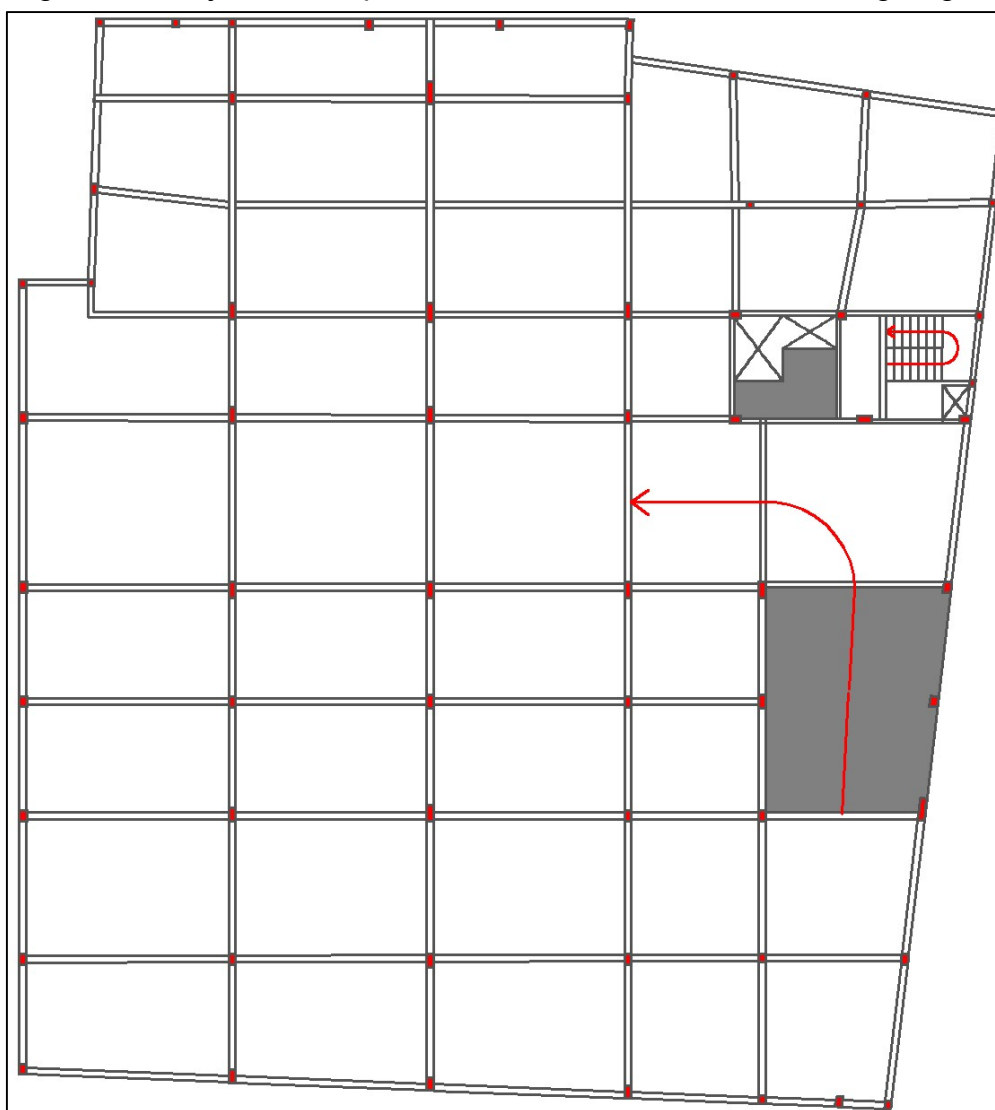
(conclusão)

Laje	Pré-dimensionamento	Situação
L43	13 cm	OK
L44	15 cm	OK
R1	13 cm	OK
R2	18 cm	X

Fonte: O autor (2018)

A Figura 25 destaca as lajes que não atenderam a situação de cálculo como foi descrito acima, com L21 sendo a menor das lajes destacadas e R2 a maior.

Figura 25 - Lajes com espessura insuficientes no 1º nível de garagem



Fonte: O autor (2018)

Da mesma maneira que o pavimento inferior citado anteriormente, pode-se observar um amplo número de lajes que atenderam a situação de projeto com a espessura inicialmente determinada pelo pré-dimensionamento. Não havendo novamente sucesso apenas em uma laje que possui uma de suas extremidades livre e uma das rampas.

A Tabela 6 apresenta um resumo sobre os resultados do pavimento, que reafirma uma alta eficiência do método.

Tabela 6 - Resumo do 1º nível de garagem

Lajes existentes	Lajes dimensionadas	Lajes não dimensionadas	Eficiência de pré-dimensionamento
46	44	2	95,65%

Fonte: O autor (2018)

4.1.3 Térreo

No pavimento térreo, foram três as lajes que tiveram as espessuras iniciais apresentando-se insuficientes para a situação de projeto, como pode ser observado na Tabela 7 a seguir.

Tabela 7 - Resultados do pavimento térreo

(continua)

Laje	Pré-dimensionamento	Situação
L1	10 cm	OK
L2	12 cm	OK
L3	13 cm	OK
L4	11 cm	OK
L5	10 cm	OK
L6	12 cm	OK
L7	13 cm	OK
L8	12 cm	OK
L9	14 cm	OK
L10	11 cm	OK

(continuação)

Laje	Pré-dimensionamento	Situação
L11	8 cm	OK
L12	11 cm	OK
L13	8 cm	OK
L14	15 cm	OK
L15	13 cm	OK
L16	13 cm	OK
L17	9 cm	X
L18	10 cm	OK
L19	8 cm	X
L20	10 cm	X
L21	16 cm	OK
L22	16 cm	OK
L23	16 cm	OK
L24	13 cm	OK
L25	16 cm	OK
L26	14 cm	OK
L27	13 cm	OK
L28	13 cm	OK
L29	11 cm	OK
L30	13 cm	OK
L31	14 cm	OK
L32	13 cm	OK
L33	13 cm	OK
L34	11 cm	OK
L35	12 cm	OK
L36	15 cm	OK
L37	15 cm	OK
L38	15 cm	OK
L39	12 cm	OK
L40	13 cm	OK

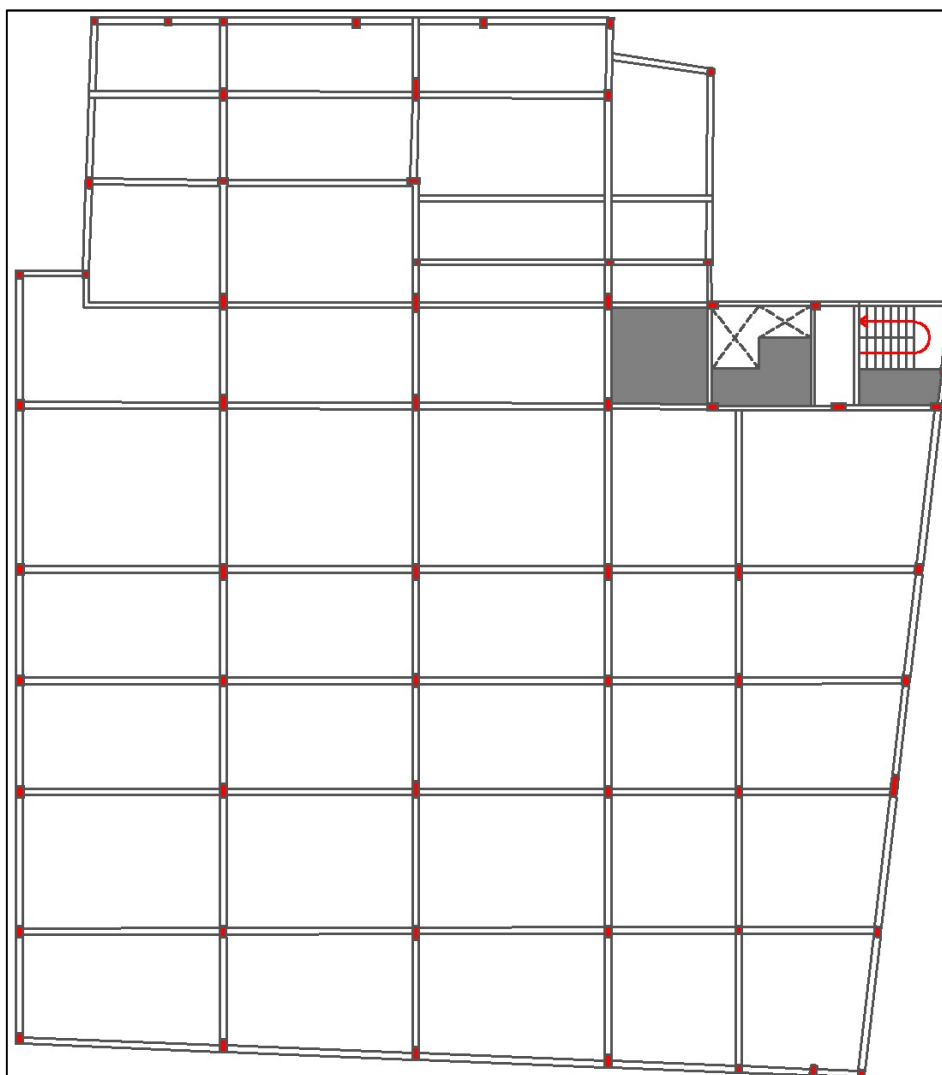
(conclusão)

Laje	Pré-dimensionamento	Situação
L41	14 cm	OK
L42	14 cm	OK
L43	14 cm	OK
L44	12 cm	OK
L45	13 cm	OK

Fonte: O autor (2018)

A Figura 26 destaca essas lajes que não atenderam a situação de cálculo como foi acima evidenciado.

Figura 26 - Lajes com espessura insuficientes no pavimento térreo



Fonte: O autor (2018)

Das lajes destacadas na figura, têm-se da esquerda para a direita a laje L17, L19 e por último a L20.

Novamente, pode-se observar um amplo número de lajes que atenderam a situação de projeto com a espessura inicialmente determinada pelo pré-dimensionamento. Não houve efetividade em três lajes relativamente pequenas, onde a espessura inicial determinada beira a espessura mínima determinada por norma para lajes convencionais.

A Tabela 8 mostra o resumo sobre os resultados do pavimento, onde é perceptível uma eficiência um pouco inferior se comparada com a dos pavimentos inferiores, mas que continua sendo um bom resultado quanto as espessuras iniciais utilizadas.

Tabela 8 - Resumo do pavimento térreo

Lajes existentes	Lajes dimensionadas	Lajes não dimensionadas	Eficiência de pré-dimensionamento
45	42	3	93,33%

Fonte: O autor (2018)

4.1.4 Mezanino

Apesar de ser o pavimento com menor número de lajes, o mezanino apresentou quatro lajes com espessuras iniciais insuficientes para a situação de projeto, como pode ser observado na Tabela 9 a seguir.

Tabela 9 - Resultados do pavimento de mezanino

(continua)

Laje	Pré-dimensionamento	Situação
L1	12 cm	OK
L2	15 cm	OK
L3	11 cm	OK
L4	8 cm	OK
L5	15 cm	OK
L6	13 cm	OK

(conclusão)

Laje	Pré-dimensionamento	Situação
L7	13 cm	OK
L8	9 cm	X
L9	9 cm	X
L10	11 cm	OK
L11	16 cm	OK
L12	16 cm	OK
L13	16 cm	OK
L14	13 cm	OK
L15	16 cm	OK
L16	19 cm	X
L17	19 cm	X
L18	19 cm	OK
L19	16 cm	OK
L20	13 cm	OK
L21	12 cm	OK

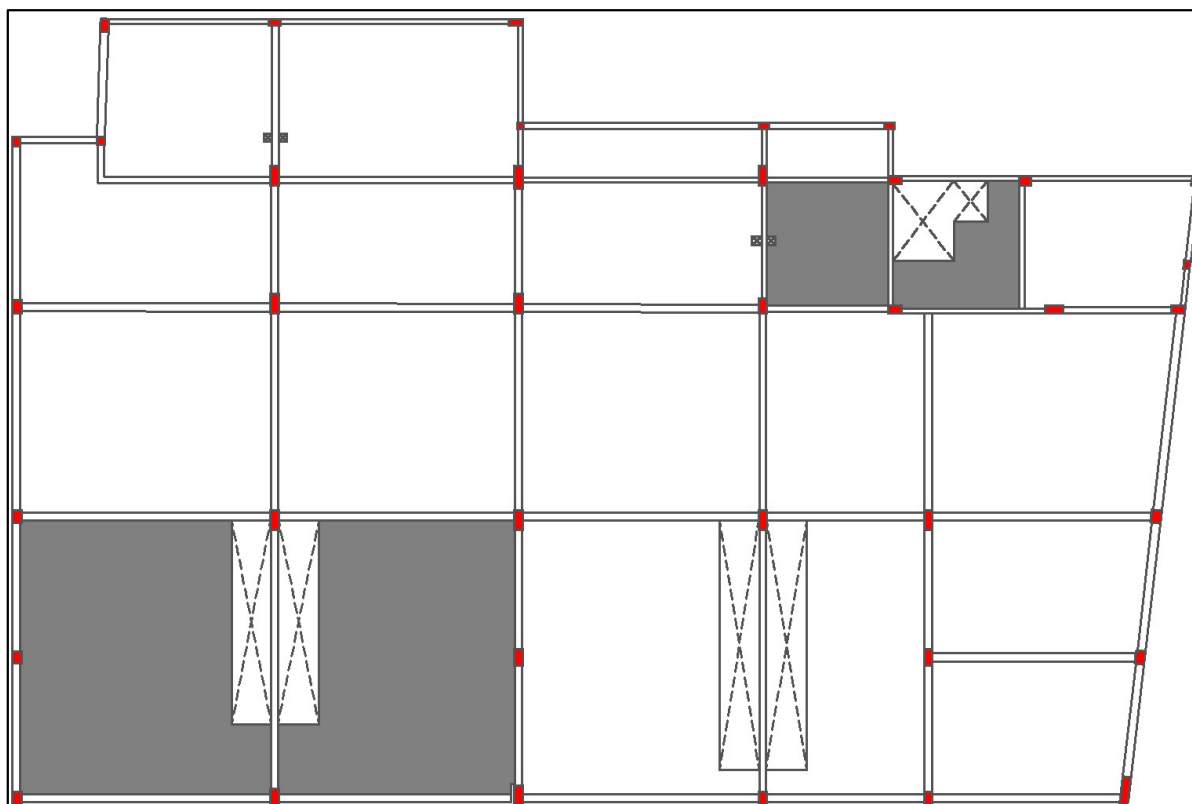
Fonte: O autor (2018)

A Figura 27 destaca ordenadas de cima para baixo e da esquerda para a direita as lajes L8, L9, L16 e L17.

Nota-se novamente lajes com bordas livres dentre as que não alcançaram sucesso no atendimento à situação de cálculo, apesar de duas lajes com estas características terem atendido as especificações com a espessura indicada pelo pré-dimensionamento.

Apesar de continuar com a ampla maioria das lajes atendendo as situações de projeto, fica evidente uma diminuição considerável na eficiência do pré-dimensionamento no pavimento, que pode ter como explicação o aumento de lajes com bordas livres no pavimento, como pode ser observado na Tabela 10.

Figura 27 - Lajes com espessura insuficientes no mezanino



Fonte: O autor (2018)

Tabela 10 - Resumo do mezanino

Lajes existentes	Lajes dimensionadas	Lajes não dimensionadas	Eficiência de pré-dimensionamento
21	17	4	80,95%

Fonte: O autor (2018)

4.1.5 Cobertura

O pavimento de cobertura apresentou resultados positivos em todas lajes de seu pavimento, como pode ser observado na Tabela 11 a seguir.

Tabela 11 - Resultados do pavimento de cobertura

(continua)

Laje	Pré-dimensionamento	Situação
L1	12 cm	OK
L2	15 cm	OK

(continuação)

Laje	Pré-dimensionamento	Situação
L3	11 cm	OK
L4	8 cm	OK
L5	15 cm	OK
L6	13 cm	OK
L7	13 cm	OK
L8	9 cm	OK
L9	11 cm	OK
L10	11 cm	OK
L11	16 cm	OK
L12	16 cm	OK
L13	16 cm	OK
L14	13 cm	OK
L15	16 cm	OK
L16	14 cm	OK
L17	13 cm	OK
L18	13 cm	OK
L19	11 cm	OK
L20	13 cm	OK
L21	14 cm	OK
L22	13 cm	OK
L23	13 cm	OK
L24	11 cm	OK
L25	12 cm	OK
L26	15 cm	OK
L27	15 cm	OK
L28	15 cm	OK
L29	12 cm	OK
L30	13 cm	OK
L31	14 cm	OK
L32	14 cm	OK

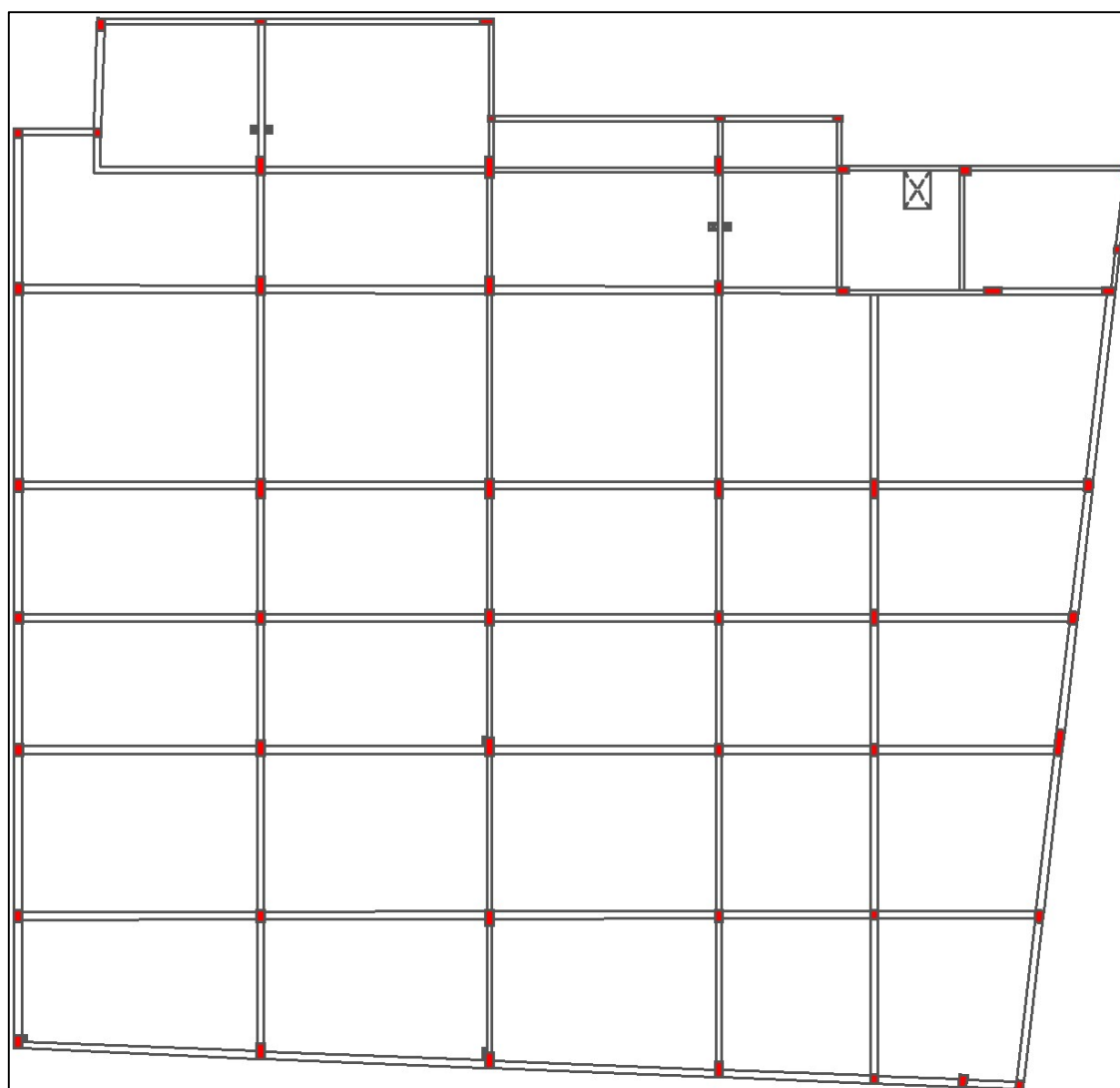
(conclusão)

Laje	Pré-dimensionamento	Situação
L33	15 cm	OK
L34	12 cm	OK
L35	13 cm	OK

Fonte: O autor (2018)

A disposição das lajes do pavimento pode ser observada na Figura 28 a seguir onde nota-se, diferente das lajes inferiores, a ausência de lajes com bordas livres.

Figura 28 - Lajes do pavimento de cobertura



Fonte: O autor (2018)

Neste caso então houve uma total eficiência do método do pré-dimensionamento, como é visto na Tabela 12 em sequência.

Tabela 12 - Resumo da laje de cobertura

Lajes existentes	Lajes dimensionadas	Lajes não dimensionadas	Eficiência de pré-dimensionamento
35	35	0	100,00%

Fonte: O autor (2018)

4.1.6 Estrutura total

Analisando a estrutura como um todo, têm-se um bom índice de atendimento à situação de projeto, chegando próximo à 95% de sucesso nas lajes com espessuras inicialmente definidas pelo pré-dimensionamento, conforme indica o Quadro 7.

Quadro 7 - Resumo geral do pré-dimensionamento

	Lajes existentes	Lajes dimensionadas	Lajes não dimensionadas	Eficiência de pré-dimensionamento
2º Pav de garagem	46	44	2	95,65%
1º Pav de garagem	46	44	2	95,65%
Térreo	45	42	3	93,33%
Mezanino	21	17	4	80,95%
Cobertura	35	35	0	100,00%
Total	193	182	11	94,30%

Fonte: O autor (2018)

Como mencionado anteriormente, dentre as onze lajes que não atenderam o projeto com sua espessura inicial, seis possuem extremidades com bordas livres, fato

que dentro de um contingente total de onze lajes com bordas livres significa uma efetividade inferior à 50% das lajes com esta característica neste projeto.

4.2 SITUAÇÕES DE CÁLCULO

Conforme dito anteriormente, após o processo de pré-dimensionamento e verificação através de *software* para o atendimento ou não das necessidades estruturais, as lajes com espessura insuficientes foram testadas até uma espessura que por fim atendessem os esforços que a ela eram solicitados, chegando nos resultados a seguir.

4.2.1 2º Nível de garagem

No 2º Nível de garagem, após o dimensionamento das duas lajes que não atenderam a situação de cálculo, os resultados expressos na Tabela 13 a seguir foram encontrados.

Tabela 13 - Dimensionamento de lajes do 2º nível de garagem

Laje	Pré-dimensionamento	Análise	Espessura final	Aumento
L21	8 cm	→	9 cm	+12,50%
R2	18 cm	→	21 cm	+16,67%

Fonte: O autor (2018)

Pode-se notar um aumento um pouco significativo em termos de porcentagem, porém em espessura nota-se que o pré-dimensionamento ficou bem próximo ao valor final encontrado com o auxílio do Eberick® v9.

4.2.2 1º Nível de garagem

Devido à similaridade de planta destaca anteriormente entre o 1º e 2º nível de garagem, resultados parecidos foram encontrados, podendo ser verificados a seguir na Tabela 14.

Tabela 14 - Dimensionamento de lajes do 1º nível de garagem

Laje	Pré-dimensionamento	Análise	Espessura final	Aumento
L21	8 cm	→	10 cm	+25,00%
R2	18 cm	→	22 cm	+22,22%

Fonte: O autor (2018)

Ainda que em termos de espessura o pré-dimensionamento não tenha ficado tão distante do resultado final, ao analisar percentualmente uma diferença significativa é visível neste caso.

4.2.3 Térreo

O pavimento térreo por sua vez, apesar da diferença de carregamento proveniente da utilização da estrutura, que até então eram destinadas a garagens nos pavimentos inferiores e agora passam a ser utilizados como lojas comerciais, manteve o mesmo padrão nos resultados, conforme Tabela 15.

Tabela 15 - Dimensionamento de lajes do pavimento térreo

Laje	Pré-dimensionamento	Análise	Espessura final	Aumento
L17	9 cm	→	11 cm	+22,22%
L19	8 cm	→	10 cm	+25,00%
L20	10 cm	→	11 cm	+10,00%

Fonte: O autor (2018)

Novamente, uma grande proximidade entre os resultados de espessura é notada, com o nível percentual se mantendo similar ao dos pavimentos anteriores mesmo que neste, onde as espessuras menores causam uma tendência a apresentar percentuais maiores de correção, uma vez que uma unidade de centímetros aqui corresponde a uma maior fatia de espessura se compara à lajes do pavimentos

inferiores que em alguns casos partiram de dezoito centímetros, o que não ocorreu neste andar.

4.2.4 Mezanino

O pavimento do mezanino apresentou casos distintos, duas lajes apresentaram comportamento parecidos com os níveis inferiores, e outra duas tiveram seus resultados com diferenças mais expressivas comparadas a estas primeiras, como é observado na Tabela 16.

Tabela 16 - Dimensionamento de lajes do pavimento de mezanino

Laje	Pré-dimensionamento	Análise	Espessura final	Aumento
L8	9 cm	→	10 cm	+11,11%
L9	9 cm	→	11 cm	+22,22%
L16	19 cm	→	27 cm	+42,10%
L17	19 cm	→	26 cm	+36,84%

Fonte: O autor (2018)

Os casos das lajes L16 e L17 foram os que apresentaram maior disparidade entre pré-dimensionamento e dimensionamento, fato este que mais uma vez pode ser explicado devido ao fato de ambas apresentarem grandes bordas livres em uma de suas extremidades.

4.2.5 Cobertura

O pavimento de cobertura não teve alterações e suas espessuras, pois como informado anteriormente no subcapítulo destinado aos resultados do pré-dimensionamento, o pavimento apresentou 100% de eficiência do método.

4.2.6 Estrutural total

Tomando a estrutura em sua totalidade, os resultados das lajes que tiveram suas espessuras alteradas para atender os esforços atuantes nas mesmas, ficaram na faixa próxima a 20 % de aumento em relação ao determinado por pré-dimensionamento como observado no Quadro 8 a seguir.

Quadro 8 - Resumo geral do dimensionamento final

	Laje	Pré-dimensionamento	→	Espessura final	Aumento
2º Pav de garagem	L21	8 cm	→	9 cm	+12,50%
	R2	18 cm	→	21 cm	+16,67%
1º Pav de garagem	L21	8 cm	→	10 cm	+25,00%
	R2	18 cm	→	22 cm	+22,22%
Térreo	L17	9 cm	→	11 cm	+22,22%
	L19	8 cm	→	10 cm	+25,00%
	L20	10 cm	→	11 cm	+10,00%
Mezanino	L8	9 cm	→	10 cm	+11,11%
	L9	9 cm	→	11 cm	+22,22%
	L16	19 cm	→	27 cm	+42,10%
	L17	19 cm	→	26 cm	+36,84%
Aumento Médio					+22,35%

Fonte: O autor (2018)

Nota-se que a maior parte das lajes teve um aumento de no máximo 3 cm, o que dentro da finalidade inicial do pré-dimensionamento, que consiste em evitar grandes alterações do projeto arquitetônico inicial em termos de dimensões dos ambientes, significa um ótimo resultado. Como destacado anteriormente, as lajes L16 e L17 destoaram das demais, apresentando uma alteração que pode interferir na ideia inicial para utilização do ambiente em questão.

5 CONCLUSÃO

Visto os resultados mostrados no capítulo anterior, a primeira constatação a ser feita é de que o pré-dimensionamento é uma ótima ferramenta para se utilizar nas fases iniciais de projeto. Com cerca de 95% das lajes tendo suas necessidades atendidas já com a espessura inicial definida pelo método, o mesmo demonstra ótima resposta no que diz respeito a evitar demasiadas alterações no projeto arquitetônico inicial. Além disto, também gera uma diminuição no tempo utilizado para o próprio dimensionamento através no *software*, visto que mesmo para as lajes que necessitam de alteração, menos análises para alterações são necessárias, uma vez que as espessuras inicialmente testadas já estarão mais próximas do resultado final, algo que ficou evidente com o fato da maior parte das lajes que necessitaram ajustes, não terem sido alteradas em mais de 3 cm. Dado que por sua vez significa que não houve mudanças de espessura que interferiram na questão arquitetônica na maior porção de lajes que não atenderam a situação de cálculo com as dimensões iniciais do pré-dimensionamento.

O método se justifica com ótima eficiência quando para as lajes em geral. A ressalva a ser feita é de que em casos com bordas livres, o mesmo apresentou eficiência inferior à 50%, mesmo que ainda auxilie a diminuir a diferença entre a espessura inicial e a final.

Realizadas novas pesquisas bibliográficas após análises de resultado, o ponto a ser visto como sugestão e de que seja adotado o método desenvolvido por Cunha (2014), onde apesar de continuar sendo um pré-dimensionamento o autor cita equações que levem em consideração carregamentos e características de apoios de lajes, para então resolver os maiores problemas apresentados pelos resultados deste estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento**, Rio de Janeiro, ABNT, 2014, 238 p.

_____. **NBR 6120: Cargas para o cálculo das edificações**, Rio de Janeiro, ABNT, 1980, 6 p.

CHING, Francis D.K.; ONOUYE, Barry S.; ZUBERBUHLER, Douglas. **Sistemas estruturais ilustrados: Padrões, sistemas e projeto**. Porto Alegre: Bookman, 2010. 320 p.

CUNHA, Jesiel. **Estruturas de concreto armado**. Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Civil, 198 p. Apostila, 2014.

FUSCO, Péricles Brasiliense. **TÉCNICA DE ARMAR AS ESTRUTURAS DE CONCRETO**. 2. ed. São Paulo: Pini, 2013. 391 p.

LEONHARDT, Fritz; MÖNNIG, Eduard. **Construções de concreto, volume 1: Princípios básicos do dimensionamento de estruturas de concreto armado**. Rio de Janeiro: Interciência, 1977. 336 p.

LEONHARDT, Fritz; MÖNNIG, Eduard. **Construções de concreto, volume 3: Princípios básicos sobre a armação de estruturas de concreto armado**. Rio de Janeiro: Interciência, 1978. 288 p.

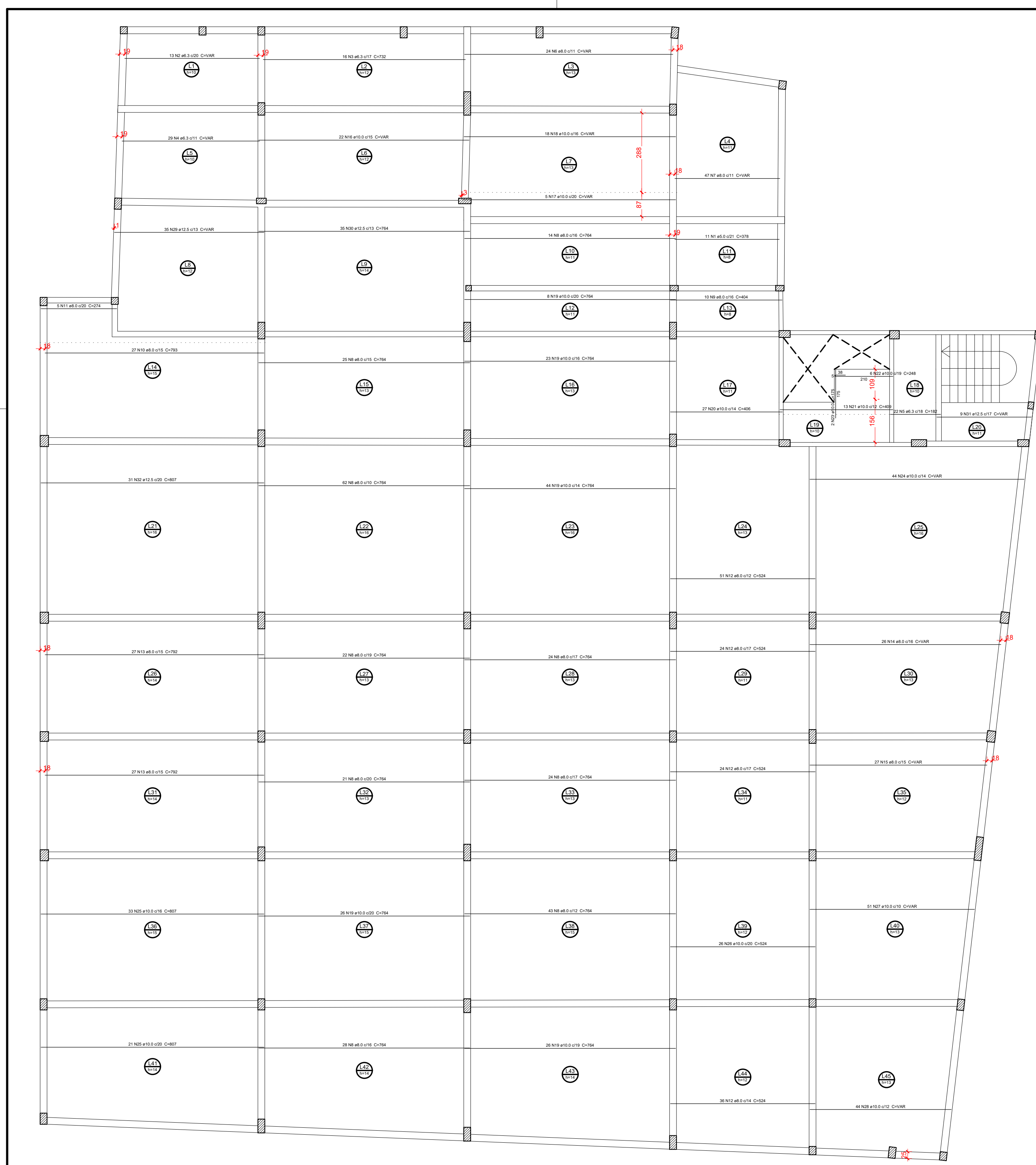
MARTHA, Luiz Fernando. **Análise de estruturas: conceitos e métodos básico**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010. 524 p.

APÊNDICE A



Planta do 2º andar

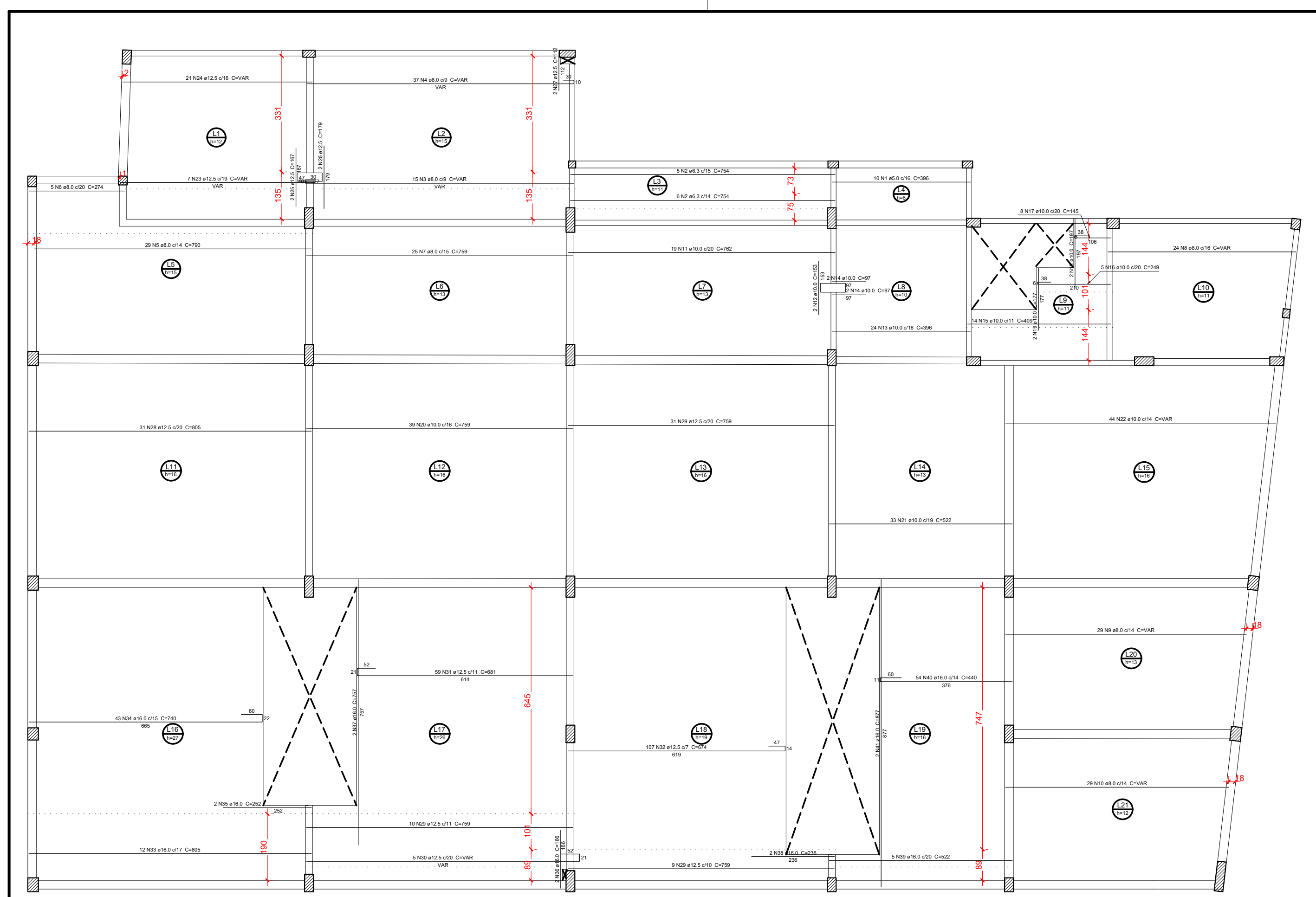
Item	Descrição	Quantidade	Valor Unitário	Valor Total
1	101	1	100,00	100,00
2	102	1	100,00	100,00
3	103	1	100,00	100,00
4	104	1	100,00	100,00
5	105	1	100,00	100,00
6	106	1	100,00	100,00
7	107	1	100,00	100,00
8	108	1	100,00	100,00
9	109	1	100,00	100,00
10	110	1	100,00	100,00
11	111	1	100,00	100,00
12	112	1	100,00	100,00
13	113	1	100,00	100,00
14	114	1	100,00	100,00
15	115	1	100,00	100,00
16	116	1	100,00	100,00
17	117	1	100,00	100,00
18	118	1	100,00	100,00
19	119	1	100,00	100,00
20	120	1	100,00	100,00
21	121	1	100,00	100,00
22	122	1	100,00	100,00
23	123	1	100,00	100,00
24	124	1	100,00	100,00
25	125	1	100,00	100,00
26	126	1	100,00	100,00
27	127	1	100,00	100,00
28	128	1	100,00	100,00
29	129	1	100,00	100,00
30	130	1	100,00	100,00
31	131	1	100,00	100,00
32	132	1	100,00	100,00
33	133	1	100,00	100,00
34	134	1	100,00	100,00
35	135	1	100,00	100,00
36	136	1	100,00	100,00
37	137	1	100,00	100,00
38	138	1	100,00	100,00
39	139	1	100,00	100,00
40	140	1	100,00	100,00
41	141	1	100,00	100,00
42	142	1	100,00	100,00
43	143	1	100,00	100,00
44	144	1	100,00	100,00
45	145	1	100,00	100,00
46	146	1	100,00	100,00
47	147	1	100,00	100,00
48	148	1	100,00	100,00
49	149	1	100,00	100,00
50	150	1	100,00	100,00
51	151	1	100,00	100,00
52	152	1	100,00	100,00
53	153	1	100,00	100,00
54	154	1	100,00	100,00
55	155	1	100,00	100,00
56	156	1	100,00	100,00
57	157	1	100,00	100,00
58	158	1	100,00	100,00
59	159	1	100,00	100,00
60	160	1	100,00	100,00
61	161	1	100,00	100,00
62	162	1	100,00	100,00
63	163	1	100,00	100,00
64	164	1	100,00	100,00
65	165	1	100,00	100,00
66	166	1	100,00	100,00
67	167	1	100,00	100,00
68	168	1	100,00	100



Posição X	Y ₁	X	Y ₂	Y ₃	Y ₄	Y ₅	Y ₆	Y ₇	Y ₈	Y ₉	Y ₁₀	Y ₁₁	Y ₁₂	Y ₁₃	Y ₁₄	Y ₁₅	Y ₁₆	Y ₁₇	Y ₁₈	Y ₁₉	Y ₂₀	Y ₂₁	Y ₂₂	Y ₂₃	Y ₂₄	Y ₂₅	Y ₂₆	Y ₂₇	Y ₂₈	Y ₂₉	Y ₃₀	Y ₃₁	Y ₃₂	Y ₃₃	Y ₃₄	Y ₃₅	Y ₃₆	Y ₃₇	Y ₃₈	Y ₃₉	Y ₄₀	Y ₄₁	Y ₄₂	Y ₄₃	Y ₄₄	Y ₄₅	Y ₄₆	Y ₄₇	Y ₄₈	Y ₄₉	Y ₅₀	Y ₅₁	Y ₅₂	Y ₅₃	Y ₅₄	Y ₅₅	Y ₅₆	Y ₅₇	Y ₅₈	Y ₅₉	Y ₆₀	Y ₆₁	Y ₆₂	Y ₆₃	Y ₆₄	Y ₆₅	Y ₆₆	Y ₆₇	Y ₆₈	Y ₆₉	Y ₇₀	Y ₇₁	Y ₇₂	Y ₇₃	Y ₇₄	Y ₇₅	Y ₇₆	Y ₇₇	Y ₇₈	Y ₇₉	Y ₈₀	Y ₈₁	Y ₈₂	Y ₈₃	Y ₈₄	Y ₈₅	Y ₈₆	Y ₈₇	Y ₈₈	Y ₈₉	Y ₉₀	Y ₉₁	Y ₉₂	Y ₉₃	Y ₉₄	Y ₉₅	Y ₉₆	Y ₉₇	Y ₉₈	Y ₉₉	Y ₁₀₀	Y ₁₀₁	Y ₁₀₂	Y ₁₀₃	Y ₁₀₄	Y ₁₀₅	Y ₁₀₆	Y ₁₀₇	Y ₁₀₈	Y ₁₀₉	Y ₁₁₀	Y ₁₁₁	Y ₁₁₂	Y ₁₁₃	Y ₁₁₄	Y ₁₁₅	Y ₁₁₆	Y ₁₁₇	Y ₁₁₈	Y ₁₁₉	Y ₁₂₀	Y ₁₂₁	Y ₁₂₂	Y ₁₂₃	Y ₁₂₄	Y ₁₂₅	Y ₁₂₆	Y ₁₂₇	Y ₁₂₈	Y ₁₂₉	Y ₁₃₀	Y ₁₃₁	Y ₁₃₂	Y ₁₃₃	Y ₁₃₄	Y ₁₃₅	Y ₁₃₆	Y ₁₃₇	Y ₁₃₈	Y ₁₃₉	Y ₁₄₀	Y ₁₄₁	Y ₁₄₂	Y ₁₄₃	Y ₁₄₄	Y ₁₄₅	Y ₁₄₆	Y ₁₄₇	Y ₁₄₈	Y ₁₄₉	Y ₁₅₀	Y ₁₅₁	Y ₁₅₂	Y ₁₅₃	Y ₁₅₄	Y ₁₅₅	Y ₁₅₆	Y ₁₅₇	Y ₁₅₈	Y ₁₅₉	Y ₁₆₀	Y ₁₆₁	Y ₁₆₂	Y ₁₆₃	Y ₁₆₄	Y ₁₆₅	Y ₁₆₆	Y ₁₆₇	Y ₁₆₈	Y ₁₆₉	Y ₁₇₀	Y ₁₇₁	Y ₁₇₂	Y ₁₇₃	Y ₁₇₄	Y ₁₇₅	Y ₁₇₆	Y ₁₇₇	Y ₁₇₈	Y ₁₇₉	Y ₁₈₀	Y ₁₈₁	Y ₁₈₂	Y ₁₈₃	Y ₁₈₄	Y ₁₈₅	Y ₁₈₆	Y ₁₈₇	Y ₁₈₈	Y ₁₈₉	Y ₁₉₀	Y ₁₉₁	Y ₁₉₂	Y ₁₉₃	Y ₁₉₄	Y ₁₉₅	Y ₁₉₆	Y ₁₉₇	Y ₁₉₈	Y ₁₉₉	Y ₂₀₀	Y ₂₀₁	Y ₂₀₂	Y ₂₀₃	Y ₂₀₄	Y ₂₀₅	Y ₂₀₆	Y ₂₀₇	Y ₂₀₈	Y ₂₀₉	Y ₂₁₀	Y ₂₁₁	Y ₂₁₂	Y ₂₁₃	Y ₂₁₄	Y ₂₁₅	Y ₂₁₆	Y ₂₁₇	Y ₂₁₈	Y ₂₁₉	Y ₂₂₀	Y ₂₂₁	Y ₂₂₂	Y ₂₂₃	Y ₂₂₄	Y ₂₂₅	Y ₂₂₆	Y ₂₂₇	Y ₂₂₈	Y ₂₂₉	Y ₂₃₀	Y ₂₃₁	Y ₂₃₂	Y ₂₃₃	Y ₂₃₄	Y ₂₃₅	Y ₂₃₆	Y ₂₃₇	Y ₂₃₈	Y ₂₃₉	Y ₂₄₀	Y ₂₄₁	Y ₂₄₂	Y ₂₄₃	Y ₂₄₄	Y ₂₄₅	Y ₂₄₆	Y ₂₄₇	Y ₂₄₈	Y ₂₄₉	Y ₂₅₀	Y ₂₅₁	Y ₂₅₂	Y ₂₅₃	Y ₂₅₄	Y ₂₅₅	Y ₂₅₆	Y ₂₅₇	Y ₂₅₈	Y ₂₅₉	Y ₂₆₀	Y ₂₆₁	Y ₂₆₂	Y ₂₆₃	Y ₂₆₄	Y ₂₆₅	Y ₂₆₆	Y ₂₆₇	Y ₂₆₈	Y ₂₆₉	Y ₂₇₀	Y ₂₇₁	Y ₂₇₂	Y ₂₇₃	Y ₂₇₄	Y ₂₇₅	Y ₂₇₆	Y ₂₇₇	Y ₂₇₈	Y ₂₇₉	Y ₂₈₀	Y ₂₈₁	Y ₂₈₂	Y ₂₈₃	Y ₂₈₄	Y ₂₈₅	Y ₂₈₆	Y ₂₈₇	Y ₂₈₈	Y ₂₈₉	Y ₂₉₀	Y ₂₉₁	Y ₂₉₂	Y ₂₉₃	Y ₂₉₄	Y ₂₉₅	Y ₂₉₆	Y ₂₉₇	Y _{298</}
-----------	----------------	---	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	-----------------------

PCO	Conteúdo médio (%)	C (%)	Si (%)	P (ppm)	S (ppm)
CA30	8,3	268,1		98,3	
	8,8	4125,2		1396,5	
	10,8	2666,3		990,7	
	12,8	131,8		781,8	
CA40	5,9	49,8		7	

INSTITUIÇÃO: UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL		FRANCHA
DISCIPLINA: TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO II		
OBRA: ED. BARÃO DO RIO BRANCO		
LOCAL: BENTO GONÇALVES, RS		
ESCALA: 1:100	PROJETO: ESTRUTURAL	3
DATA: NOVEMBRO/2018		
ACADEMICO: DIDOT HAFSESSONI		ARMARÇÃO POSITIVA DAS LAJES DO PAVIMENTO TÉRREO (EXO 2)



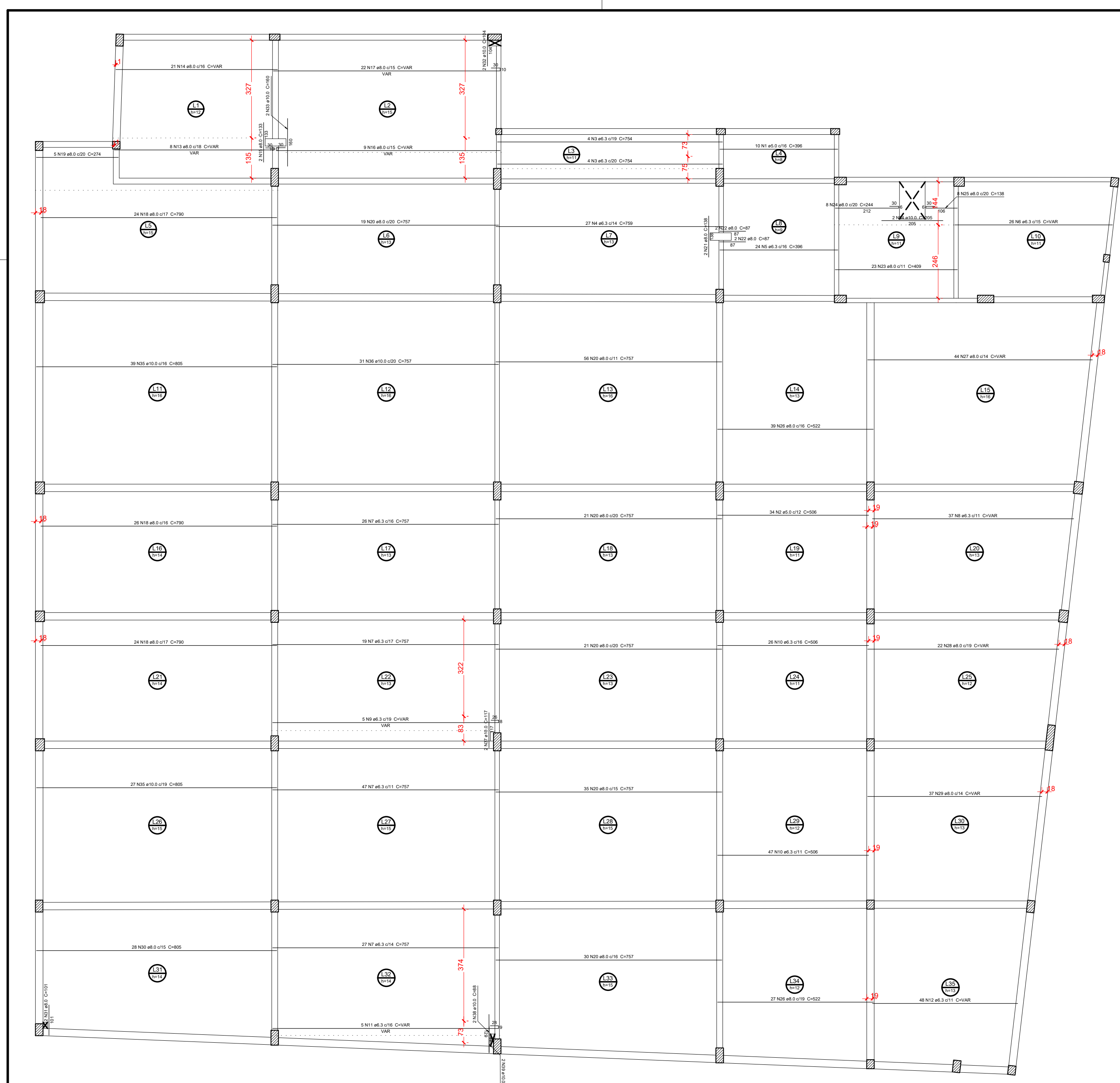
Relação de ageo

Ado	N	SWN	SWN	CLM	ET/CLM
Caseiro	2	8,0	20	178	22,5
1	5	8,0	15	178	24,0
2	5	8,0	15	178	24,0
3	5	8,0	15	178	24,0
4	5	8,0	20	178	22,5
5	5	8,0	20	178	22,5
6	5	8,0	20	178	22,5
7	5	8,0	20	178	22,5
8	5	8,0	20	178	22,5
9	5	8,0	20	178	22,5
10	5	8,0	20	178	22,5
11	10	10	10	172	144,7
12	10	10	10	172	144,7
13	10	10	24	180	150,0
14	10	10	24	180	150,0
15	10	10	24	180	150,0
16	10	10	24	180	150,0
17	10	10	24	180	150,0
18	10	10	24	180	150,0
19	10	10	24	180	150,0
20	10	10	24	180	150,0
21	10	10	24	180	150,0
22	10	10	24	180	150,0
23	10	10	24	180	150,0
24	10	10	24	180	150,0
25	10	10	24	180	150,0
26	10	10	24	180	150,0
27	10	10	24	180	150,0
28	10	10	24	180	150,0
29	10	10	24	180	150,0
30	10	10	24	180	150,0
31	10	10	24	180	150,0
32	10	10	24	180	150,0
33	10	10	24	180	150,0
34	10	10	24	180	150,0
35	10	10	24	180	150,0
36	10	10	24	180	150,0
37	10	10	24	180	150,0
38	10	10	24	180	150,0
39	10	10	24	180	150,0
40	10	10	24	180	150,0
41	10	10	24	180	150,0
42	10	10	24	180	150,0
43	10	10	24	180	150,0
44	10	10	24	180	150,0
45	10	10	24	180	150,0
46	10	10	24	180	150,0
47	10	10	24	180	150,0
48	10	10	24	180	150,0
49	10	10	24	180	150,0
50	10	10	24	180	150,0
51	10	10	24	180	150,0
52	10	10	24	180	150,0
53	10	10	24	180	150,0
54	10	10	24	180	150,0
55	10	10	24	180	150,0
56	10	10	24	180	150,0
57	10	10	24	180	150,0
58	10	10	24	180	150,0
59	10	10	24	180	150,0
60	10	10	24	180	150,0
61	10	10	24	180	150,0
62	10	10	24	180	150,0
63	10	10	24	180	150,0
64	10	10	24	180	150,0
65	10	10	24	180	150,0
66	10	10	24	180	150,0
67	10	10	24	180	150,0
68	10	10	24	180	150,0
69	10	10	24	180	150,0
70	10	10	24	180	150,0
71	10	10	24	180	150,0
72	10	10	24	180	150,0
73	10	10	24	180	150,0
74	10	10	24	180	150,0
75	10	10	24	180	150,0
76	10	10	24	180	150,0
77	10	10	24	180	150,0
78	10	10	24	180	150,0
79	10	10	24	180	150,0
80	10	10	24	180	150,0
81	10	10	24	180	150,0
82	10	10	24	180	150,0
83	10	10	24	180	150,0
84	10	10	24	180	150,0
85	10	10	24	180	150,0
86	10	10	24	180	150,0
87	10	10	24	180	150,0
88	10	10	24	180	150,0
89	10	10	24	180	150,0
90	10	10	24	180	150,0
91	10	10	24	180	150,0
92	10	10	24	180	150,0
93	10	10	24	180	150,0
94	10	10	24	180	150,0
95	10	10	24	180	150,0
96	10	10	24	180	150,0
97	10	10	24	180	150,0
98	10	10	24	180	150,0
99	10	10	24	180	150,0
100	10	10	24	180	150,0

AGD	DMM (mmol)	C TOTAL mmol	PESO + 13 % mg
LM20	6.5	8.9	232.3
	8.0	1208.8	389.8
	10.0	1143.7	775.2
	12.5	995.0	2055.9
	16.0	724.3	1267.4
CR20	9.0	38.8	0.7

PESO TOTAL mg	
CR20	4726.7
LM20	8.9

INSTITUIÇÃO: UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL			FRANCHA 4
DISCIPLINA: TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO II			
OBRA: ED. BARÃO DO RIO BRANCO			
LOCAL: BENTO GONÇALVES, RS			
ESCALA: 1:100	PROJETO: ESTRUTURAL	DATA: NOVEMBRO/2018	
ACADEMICO: DIOGO MAFFESSINI			
			ARMATIZAÇÃO POSITIVA DAS LAJES DO PAVIMENTO DE MEZANINO (BOX X)



AÇO	n	STAT	STAT	STAT	STAT	STAT
C40D	1	0,3	34	100	1720	1720
	2	0,3	13	38	1720	1720
	4	0,3	27	73	2030	2030
	5	0,3	10	10	1720	1720
	6	0,3	10	10	1720	1720
	7	0,3	10	10	9000	9000
	8	0,3	5	5	1720	1720
	9	0,3	5	5	1720	1720
	10	0,3	5	5	1720	1720
	11	0,3	5	5	1720	1720
	12	0,3	5	5	1720	1720
	13	0,3	5	5	1720	1720
	14	0,3	5	5	1720	1720
	15	0,3	5	5	1720	1720
	16	0,3	5	5	1720	1720
	17	0,3	22	70	1720	1720
	18	0,3	14	44	1720	1720
	19	0,3	5	5	1720	1720
	20	0,3	5	5	1720	1720
	21	0,3	5	5	1720	1720
	22	0,3	5	5	1720	1720
	23	0,3	23	69	1720	1720
	24	0,3	8	24	1720	1720
	25	0,3	8	24	1720	1720
	26	0,3	8	24	1720	1720
	27	0,3	8	24	1720	1720
	28	0,3	28	84	1720	1720
	29	0,3	28	84	1720	1720
	30	0,3	28	84	1720	1720
	31	0,3	28	84	1720	1720
	32	0,3	2	6	1720	1720
	33	0,3	2	6	1720	1720
	34	0,3	2	6	1720	1720
	35	0,3	2	6	1720	1720
	36	0,3	2	6	1720	1720
	37	0,3	2	6	1720	1720
	38	0,3	2	6	1720	1720
	39	0,3	2	6	1720	1720
	40	0,3	2	6	1720	1720
	41	0,3	2	6	1720	1720
	42	0,3	2	6	1720	1720
	43	0,3	2	6	1720	1720
	44	0,3	2	6	1720	1720
	45	0,3	2	6	1720	1720
	46	0,3	2	6	1720	1720
	47	0,3	2	6	1720	1720
	48	0,3	2	6	1720	1720
	49	0,3	2	6	1720	1720
	50	0,3	2	6	1720	1720

ACO	SMU (mm)	C TOTAL (kg)	PESO = 13 % (kg)
CAPO	6.3	3208.4	507.1
	8.0	3773.8	1620.0
	10.0	782.3	520.4
CAPO	8.0	211.8	35.9
PESO TOTAL (kg)			
CAPO		2788.4	
CAPO		35.6	

INSTITUIÇÃO: UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL			FRANCHA
DISCIPLINA: TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO II			
OBRA: ED. BARÃO DO RIO BRANCO			5
LOCAL: BENTO GONÇALVES, RS			
ESCALA: 1:100	PROJETO: ESTRUTURAL	DATA: NOVEMBRO/2018	
ACADEMICO: DIOGO MAFFESSINI			
			ARMAZENAGEM POSITIVA DAS LAJES DO PAVIMENTO DE COBERTURA (EIXO X)