



**CENTRO UNIVERSITÁRIO FAMETRO
ENGENHARIA CIVIL**

**ELIAS DAVI ROCHA ALMEIDA
FRANCISCO LUCAS DE SOUSA MACIEL**

**USO DE FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS PARA ANÁLISE E
DIMENSIONAMENTO DE ESTRUTURAS CONVENCIONAIS DE CONCRETO
ARMADO: TEORIA DA GRELHA EM LAJES MACIÇAS**

FORTALEZA

2024

ELIAS DAVI ROCHA ALMEIDA
FRANCISCO LUCAS DE SOUSA MACIEL

USO DE FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS PARA ANÁLISE E
DIMENSIONAMENTO DE ESTRUTURAS CONVENCIONAIS DE CONCRETO
ARMADO: TEORIA DA GRELHA EM LAJES MACIÇAS

Artigo TCC apresentado no dia 5 de junho de 2024 como requisito para a obtenção do grau de bacharel em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Fametro tendo sido aprovado pela banca examinadora composta pelos professores abaixo:

Banca Examinadora

Profº. Me. Márcio Bandeira de Oliveira
Orientador – Centro Universitário Fametro (UNIFAMETRO)

Profº. Me. Kaio Gefferson de Almeida Mesquita
Membro – Centro Universitário Fametro (UNIFAMETRO)

Profº. Me. Edilson Roberto Sales do Nascimento Duarte
Membro - Externo

Ao Profº Me. Márcio Bandeira de Oliveira, por sua dedicação, cuidado e profissionalismo ao orientar-nos durante o desenvolvimento deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

A Deus por me capacitar.

Aos meus pais Nivia da Rocha Cordeiro e Fábio Oliveira de Almeida, que me incentivaram e apoiaram meus esforços durante minha trajetória acadêmica e profissional, e me proporcionaram a estrutura para que pudesse estudar.

À minha namorada, Wany Ellen Pereira de Sousa, que me apoiou durante minha trajetória acadêmica e profissional.

Ao prof^o. Me. Orientador Márcio Bandeira de Oliveira e aos demais professores do curso de Engenharia Civil da instituição que contribuíram com a formação dos meus conhecimentos acadêmicos.

Ao amigo contribuinte, Francisco Lucas de Sousa Maciel, que participou, juntamente comigo, da elaboração deste artigo.

Elias Davi Rocha Almeida

Agradeço primeiramente a Deus e aos meus anjos de guarda por tudo que conquisei nessa caminhada.

A minha mãe Amélia Maria Gomes de Sousa, ao meu tio, Francisco Adriano Gomes de Sousa, ao meu pai, José Lucivaldo dos Santos Maciel e ao meu irmão, Francisco Mesquita de Sousa Neto por acreditarem, orientarem e me apoiarem em todos os momentos da minha vida.

Ao meu tio, Sebastião Mesquita de Souza que me acolheu, orientou e ensinou com os seus costumes antigos a ser um homem de bom caráter praticando a bondade, a caridade e o amor ao próximo.

Aos meus colegas de turma por compartilharem comigo tantos momentos de descobertas e aprendizado e por todo o companheirismo ao longo deste percurso.

Ao meu amigo Elias Davi Rocha Almeida, que fez parte da elaboração deste TCC e ao prof^o. Me. Márcio Bandeira de Oliveira.

Francisco Lucas de Sousa Maciel

USO DE FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS PARA ANÁLISE E DIMENSIONAMENTO DE ESTRUTURAS CONVENCIONAIS DE CONCRETO ARMADO: TEORIA DA GRELHA EM LAJES MACIÇAS

Elias Davi Rocha Almeida¹

Francisco Lucas de Sousa Maciel²

RESUMO

A concepção projetual de uma laje maciça é, normalmente, dada pelo cálculo estrutural através da Tabela de Marcus. Apesar de já existirem tecnologias para auxiliar e acelerar o projeto, este trabalho estuda como podemos utilizar ferramentas computacionais na automatização dos cálculos desse e de outros tipos de estruturas, objetivando a simplificação de metodologias de cálculo. O intuito deste estudo é aumentar a produtividade do projetista, simplificando, por exemplo, os processos de cálculos das solicitações de um determinado pórtico. Utilizando exemplos trabalhados durante a graduação, foram calculadas algumas informações do projeto de modos diferentes, com a finalidade de comparar a viabilidade do uso de softwares que não são normalmente utilizados para este fim, e compará-los a métodos onde pudemos comprovar a eficiência de um software, como Excel, em uma função em que, normalmente não é empregado.

Palavras-chave: Software; Concreto Armado; Lajes; Grelha.

ABSTRACT

The design conception of a solid slab is normally given by the structural calculation using the Marcus' Table. Although technologies already exist to assist and accelerate the project, this work studies how we can use computational tools to automate the calculations of this and other types of structures, aiming to simplify calculation methodologies. The aim of this study is to increase the designer's productivity, simplifying, for example, project information in the different ways, with the purpose of comparing the feasibility of using software that is not normally used for this purpose, and comparing them to methods where we were able to prove the efficiency of software, such as Excel, in a function in which it isn't normally applied.

Key words: Software, Reinforced Concrete, Slabs, Grid.

¹ Graduando do curso de Engenharia Civil pelo Centro Universitário Fаметro – UNIFAMETRO.

² Graduando do curso de Engenharia Civil pelo Centro Universitário Fаметro – UNIFAMETRO.

1 INTRODUÇÃO

O princípio básico que rege o cálculo estrutural é a aplicação das forças nos elementos estruturais e observar o comportamento destes, de modo a prover segurança e baixo custo, levando em conta os materiais de que são feitos. Tal análise demonstra que, “Os materiais, em geral, apresentam comportamentos diferentes quanto à deformação e à ruptura, quando submetidos a ações externas” (GONZALEZ, 1997, p. 09).

Conforme definido pela NBR 6118 (ABNT, 2014), elementos estruturais são “Aqueles cujo comportamento estrutural depende da aderência entre concreto e armadura, e nos quais não se aplicam alongamentos iniciais das armaduras antes da materialização dessa aderência.”

Este artigo objetiva modelar uma edificação utilizando o software TQS, afim de dimensionar uma laje maciça em concreto armado. Em conjunto a isso, calcular as solicitações de Momento Fletor desta laje através da Metodologia de Marcus com uso do Microsoft Excel. Ao encontrar estas solicitações, dimensionar a seção de aço necessária para resolver este carregamento e compará-la ao aço encontrado na modelagem do TQS.

Portanto, faz-se necessária a definição de sua geometria, e aplicação, com as características definidas, a Teoria da Grelha, utilizando o Microsoft Excel para desenvolvimento dos cálculos. Comparando os resultados, ao resultado apresentado pelo software de cálculo estrutural TQS.

Ressalta-se então, a importância de considerar as particularidades de cada método de cálculo, assim como as de cada Software. E, assim, compará-las para que seja definida a eficiência de um software que, normalmente, não é utilizado para cálculo estrutural.

Deste modo, serão analisadas as metodologias de cálculo desenvolvidas a partir do TQS e do Microsoft Excel, de modo a comparar os resultados encontrados em cada software e demonstrar que ferramentas computacionais não convencionais podem ser aplicadas como soluções no dimensionamento de lajes maciças em concreto armado.

2 REFERENCIAL TEÓRICO.

2.1 Estruturas em Concreto Armado.

Estruturas de Concreto Armado é uma das maiores tecnologias da engenharia moderna, combinando a versatilidade do concreto com a resistência do reforço de aço. Portanto, dizemos que a associação de concreto e aço gera uma ligação solidária entre um elemento artificial semelhante a uma pedra (concreto), que resistirá a compressão e outro que vencerá as solicitações de tração. (BOTELHO e MARCHETTI, 2018, p.30)

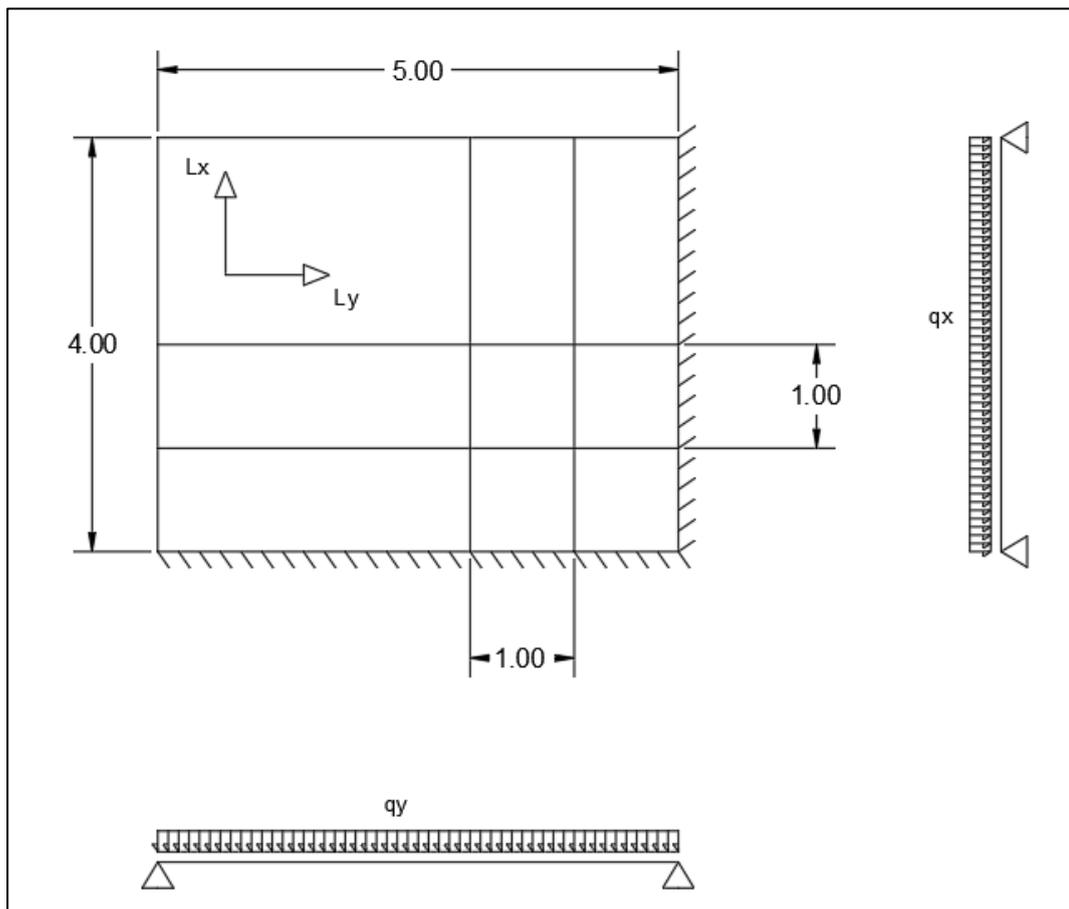
Em primeiro lugar, o concreto armado apresenta uma resistência à compressão excepcional, permitindo-lhe suportar cargas pesadas sem deformação. Isto o torna uma ótima opção para a construção de arranha-céus, pontes, barragens e outros projetos de infraestrutura de grande escala. Aliado a isso, sua moldabilidade facilita projetos complexos, permitindo aos arquitetos concretizar as suas visões criativas com facilidade.

Estruturas de concreto armado apresentam durabilidade notável possuindo uma resistência excelente às intempéries e à corrosão, aliada à resiliência do aço contra a ferrugem que garantem longevidade mesmo em condições ambientais adversas. Esta durabilidade traduz-se em custos de manutenção reduzidos e vida útil prolongada, tornando o concreto armado uma escolha econômica a longo prazo. Em contrapartida, projetos estruturais em concreto armado devem, obrigatoriamente, seguir a NBR 6118 que regulamenta práticas projetuais para esse tipo de estrutura, dito isso, práticas incorretas, tanto em projetos quanto na manutenção dos elementos estruturais podem comprometer a integridade da estrutura e por em risco as vidas de quem utilizará a edificação.

2.2 Teoria da Grelha associada a Tabela de Marcus

O uso de métodos de cálculo simplificados pela Tabela de Marcus proporciona aos calculistas uma visão mais clara do mecanismo da estrutura tornando os projetos mais assertivos (Queiroz et al., 2019). O método de Marcus, segundo Araújo (2010), é um método simplificado baseado na teoria da grelha que a adapta de modo a considerar os efeitos torçores da laje.

Figura 01 – Carregamentos sob a Laje



Fonte: Elaborado pelos autores.

A inclusão desses efeitos no cálculo é feito utilizando de coeficientes calculados baseados no tipo de apoio da laje, geometria da laje e carregamentos exercidos sobre a laje. A armadura de aço de uma estrutura em concreto armado é um aspecto crítico do projeto estrutural, garantindo que a estrutura possa suportar as cargas aplicadas e atender aos requisitos de segurança. O processo envolve determinar a quantidade e configuração necessárias de barras de aço para fornecer resistência e durabilidade adequadas.

Figura 02 – Formulação de Coeficientes de Distribuição das Cargas.

$k_x = \frac{1}{1 + \left(\frac{L}{l}\right)^4}$	$q_x = k_x \cdot q$	<p>q = Carregamento total da laje</p> <p>k_x = Percentual de carga distribuída para X</p> <p>k_y = Percentual de carga distribuída para Y</p> <p>q_x = Quinhão de Carga para X</p> <p>q_y = Quinhão de Carga para Y</p> <p>l = Dimensão Principal da Laje</p> <p>L = Dimensão Secundária da Laje</p>
$k_y = 1 - k_x$	$q_y = k_y \cdot q$	

Fonte: Elaborado pelos autores.

Tabela 01 – Coeficientes por tipo de apoio

Tipo de Apoio da Laje	Coeficiente
<i>Apoio - Apoio</i>	$\frac{1 - (20 \cdot k_x)}{3 \cdot \alpha \cdot \lambda}$
<i>Engaste - Apoio</i>	$\frac{1}{185}$
<i>Engaste - Engaste</i>	$\frac{1}{384}$

Fonte: Elaborado pelos autores.

Para o desenvolvimento dos cálculos de lajes maciças, é aplicável a Metodologia de Marcus que, embora simplificada, resolve lajes retangulares com carga uniforme e bordas apoiadas ou engastadas (PINHEIRO, 1988, p.21). Entretanto após somarmos todas as solicitações a que a laje será submetida, será necessário utilizar-se dos coeficientes da Tabela 01 para dimensionar a porcentagem de carga que será distribuída em cada dimensão da laje afim de encontrar os coeficientes associados aos momentos fletores no sentido X e no sentido Y do elemento.

Figura 03 – Formulação de Coeficientes de Correção de Momentos.

$m_x = \frac{8}{k_x \cdot \beta_x}$	$m_y = \frac{8}{\lambda^2 \cdot k_y \cdot \beta_y}$	<p>m_x = Coeficiente de Correção do Momento Fletor em X</p> <p>m_y = Coeficiente de Correção do Momento Fletor em Y</p> <p>k_x = Percentual de carga distribuída para X</p> <p>k_y = Percentual de carga distribuída para Y</p> <p>λ = Coeficiente referente a Razão entre X e Y</p>
-------------------------------------	---	---

Fonte: Elaborado pelos autores.

Em razão disso, os Momentos calculados pelas equações acima são definidos levando em conta a necessidade de uma correção utilizando os coeficientes m_x e m_y . Os coeficientes das equações apresentadas na figura 02 são devido a laje bi apoiada podendo estes variarem de acordo com o tipo de vínculo da laje nas direções X e Y.

Figura 04 – Formulação de Momentos Corrigidos.

$$M_x = \frac{q \cdot l_x^2}{m_x} \quad M_y = \frac{q \cdot l_y^2}{m_y}$$

Fonte: Elaborado pelos autores.

Encontrados todos os coeficientes necessários para a correção dos Momentos fletores calcula-se M_x e M_y através das equações descritas acima.

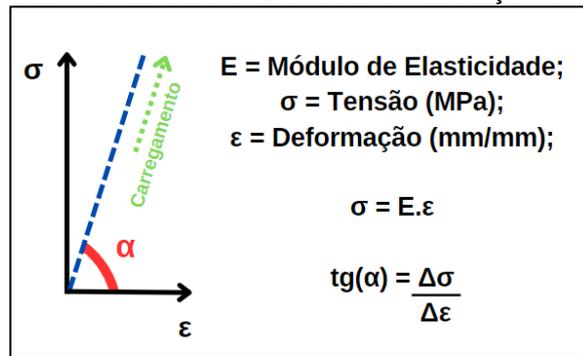
2.3 Teoria da Flexão – Equações para Resolução de Lajes

Define-se a Teoria da Flexão como um princípio básico para cálculo das solicitações às quais um elemento será submetido. Esta permite aos engenheiros analisar o comportamento de uma viga, por exemplo, ao ser submetida a um carregamento. O cálculo de lajes de concreto armado possui uma metodologia semelhante ao de vigas, tendo em vista que utilizamos uma largura de influência de 1,00 metro para dimensionar a laje e, desse modo, definir as solicitações por metro de laje existente em nosso projeto.

Junto a isso, definimos o Módulo de Elasticidade de um material como a relação entre a tensão a qual será submetido e a deformação instantânea, respeitando um limite proporcional pré-definido. (HELENE e NETO, 2002, p.02)

Desse modo, notamos que, para materiais diferentes haverá comportamentos diferentes à medida em que variamos os carregamentos exercidos sobre o elemento estrutural e sua geometria.

Figura 05 – Gráfico do Módulo de Elasticidade em função do carregamento.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Sob essa perspectiva, utilizamos da Teoria da Flexão para cálculo das solicitações de modo a dimensionar, de forma segura, as estruturas de concreto armado. Em construções do mundo antigo, para vencer grandes vãos, era necessário associar arcos, pois os carregamentos eram distribuídos de modo que a estrutura se mantinha firme. Tais limitações construções em pedra levou o ser humano a desenvolver uma pedra artificial chamada de concreto na tentativa de superar tais obstáculos para construir. Entretanto, nota-se que o concreto possui a mesma restrição, portanto fazia-se necessário um novo elemento que pudesse vencer a tração gerada na parte inferior dos elementos estruturais (Marchetti, 2018, p.27).

De tal necessidade, nasce a ideia de utilizar aço na área tracionada afim de reforçar o concreto, fazendo-o suportar, associado ao aço, os esforços tanto compressivos quanto flexivos. Porém, com análises do comportamento de barras de aço próximas às extremidades das vigas e pilares, notou-se a necessidade de aço para vencer forças de cisalhamento que se manifestavam transversalmente ao comprimento longitudinal dos elementos.

Dito isso, após feita a análise da Teoria da Flexão utiliza-se as equações das áreas de aço para identificar quanto de aço será necessário para que a estrutura esteja de acordo com as normas vigentes.

Figura 06 – Equação da Posição da Linha Neutra através da Equação do Momento Solicitante.

$Md = 0,68b_w \cdot x \cdot f_{ctd} \cdot (d - 0,4x)$ $x = 1,25d \cdot \left(1 - \sqrt{\frac{M}{0,425 \cdot d^2 f_{ctd} b_w}}\right)$	$M_d = \text{Momento solicitante de cálculo}$ $b_w = \text{Largura da viga}$ $X = \text{Posição da linha neutra}$ $d = \text{Altura útil}$ $f_{ctd} = \text{Resistência a tração de cálculo do concreto}$
---	---

Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 07 – Formulação de Área de Aço para Vigas e Lajes simplesmente armadas.

$$A_{S_{calculada}} = \frac{M_d}{f_{yd}(d-0,4x)}$$
$$A_{S_{mínima}} = 0,15\% \cdot h$$
$$A_{S_{Momento\ Mínimo}} = \frac{M_{d_{min}}}{f_{yd} \cdot z}$$

Escolher a maior

M_d = Momento Fletor de Cálculo
 f_{yd} = Resistência majorada à tração do Aço
 d = Altura útil da seção transv do elemento
 X = Posição da Linha Neutra
 h = Altura total do elemento
 $M_{d_{min}}$ = Momento Mínimo calculado
 z = Braço de alavanca do Momento Mínimo

Fonte: Elaborado pelos autores.

2.4 Ferramentas Computacionais aplicadas a Estruturas

O uso de ferramentas computacionais para análise, dimensionamento e concepção estrutural revoluciona a metodologia que os engenheiros desenvolvem estes projetos. Esta informatização dos cálculos na engenharia civil pela probabilidade de erros no desenvolvimento de cálculos manuais em obras de grande complexidade, pois isso diminui a confiabilidade dos projetos (Barbosa et al.,2023).

Segundo Plevris e Tsiatas (2018), os métodos mais utilizados para análise e dimensionamento estrutural são o Método do Elemento Finito e o Método dos Elementos de Contorno, sendo o primeiro o mais popular para Análises Estruturais. O software TQS utiliza o Método do Elemento Finito pois permite modelagens mais precisas mesmo em estruturas mais complexas, além de permitir análise de comportamentos sob condições de carregamento distintas.

Contudo, também há opção de utilizar softwares que, inicialmente, não foram desenvolvidos para a engenharia estrutural, como o Microsoft Excel. Tendo em vista que este software permite aos engenheiros desenvolver equações complexas, desenvolver funções comparativas, analíticas e automatizar cálculos que seriam repetitivos que demandariam muito tempo se feitos manualmente. Utilizamos este software para desenvolver a Teoria da Grelha associada a Tabela de Marcus.

3 METODOLOGIA

3.1. Abordagem Metodológica da Pesquisa

Neste capítulo serão apresentadas os procedimentos e a metodologia utilizadas no desenvolvimento deste artigo. Este se classifica como pesquisa aplicada com abordagem quantitativa e qualitativa, utilizando o método hipotético-dedutivo.

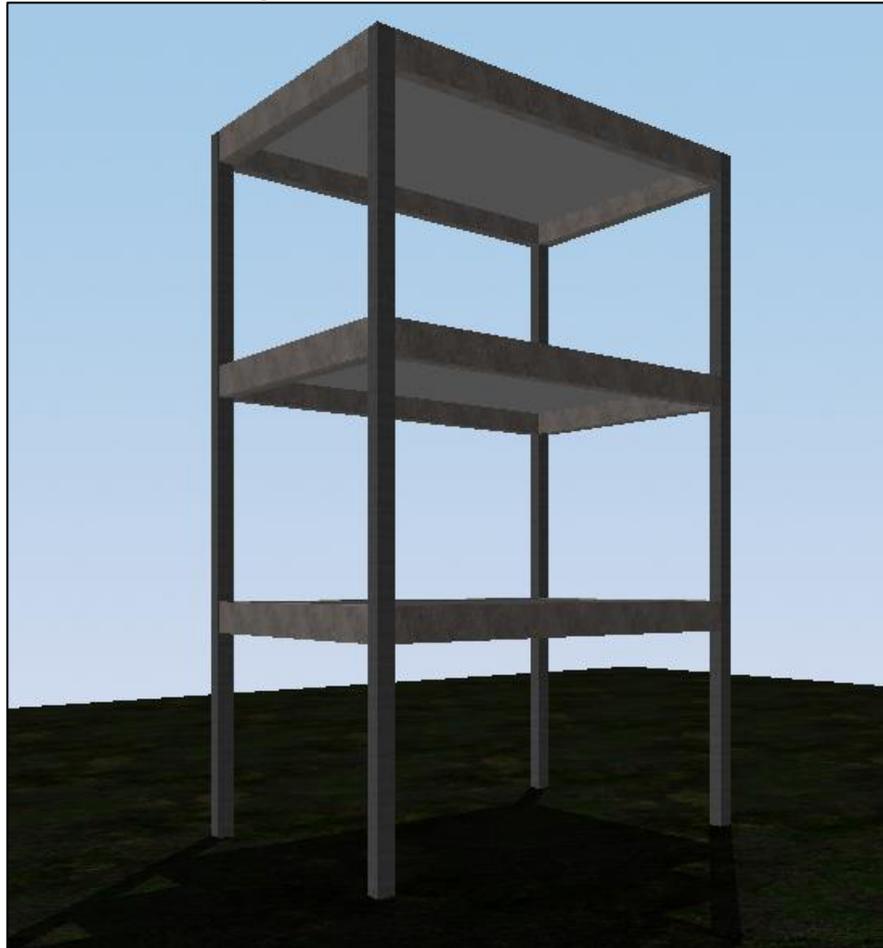
Figura 08 - Etapas da Pesquisa



Fonte: Elaborado pelos autores.

Para o estudo foi elaborado um modelo simplificado de uma estrutura de três pavimentos, conforme a Figura 09, onde definiremos a geometria da edificação e modelaremos com o software de TQS, que se trata de uma Software utilizado para dimensionamento de Estruturas em Concreto Armado, em seguida aplicaremos os carregamentos encontrados ao software Ftool, aplicativo de análise 2D de cargas para estudo de elementos estruturais, para definir os momentos fletores das lajes e, após isso, aplicar a metodologia de cálculo com base na Teoria da Grelha, afim de dimensionar as lajes da edificação utilizando o software Microsoft Excel. Após o dimensionamento feito pelo Excel com auxílio do Ftool, executaremos os cálculos pelo software TQS, objetivando comparar os resultados do Excel aos resultados do TQS.

Figura 09 – Edifício a ser analisado.



Fonte: Elaborado pelos autores.

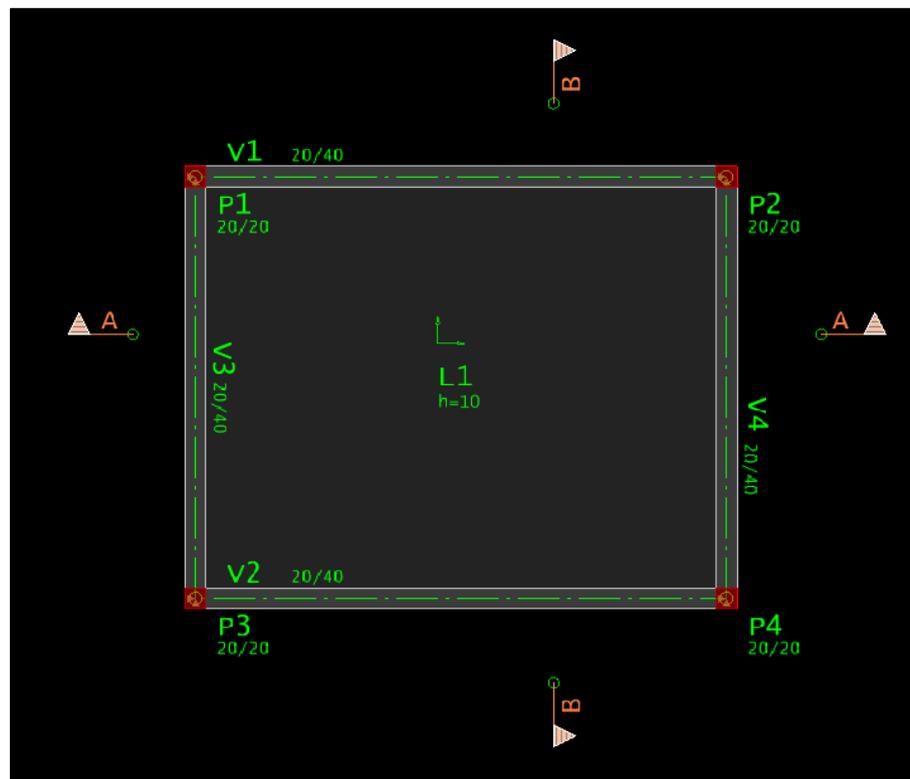
3.2. Dados gerais para o dimensionamento da edificação

As propriedades dos materiais dos elementos estruturais estudados foram fixadas em 25 MPa para a resistência característica à compressão do concreto (F_{ck}), 500 MPa para a resistência ao escoamento característico do aço (F_{yk}). Segundo as orientações da NBR 6118 (ABNT, 2014) no item 7.4.7.6 da Tabela 7.2 (Ver **ANEXO B**), foi usado um cobrimento mínimo para vigas de 3 cm para classe de agressividade II. A laje possui uma espessura de 10 cm, segundo recomendações da NBR 6118 (ABNT, 2014) no item 13.2.4.1 que estabelece as espessuras mínima permitidas para as lajes maciças.

3.3. Definição da geometria da laje em análise

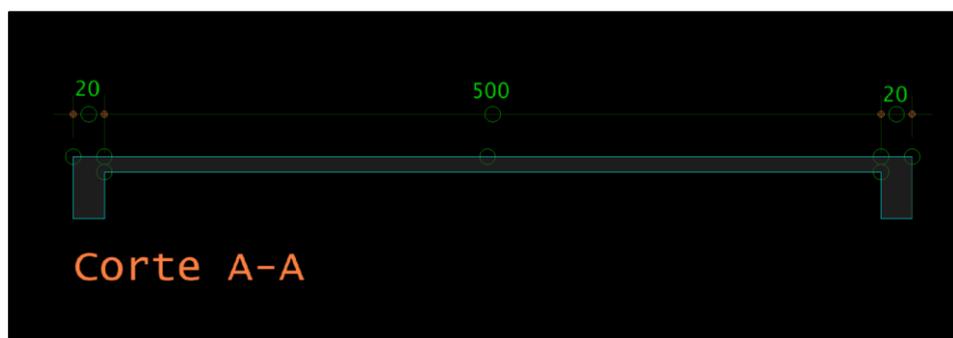
O exemplo prático estudado é definido por uma laje maciça em concreto armado que possui as dimensões de 4,0 x 5,0 m, apoiada em vigas de 20x40 cm, que, por sua vez, está apoiada por pilares de seção transversal de 20x20 cm. Com intuito de facilitar a visualização da peça estudada, podemos observar a Planta baixa e Corte das Figuras 10, 11 e 12.

Figura 10 - Planta baixa do 1º pavimento do edifício a ser analisado.



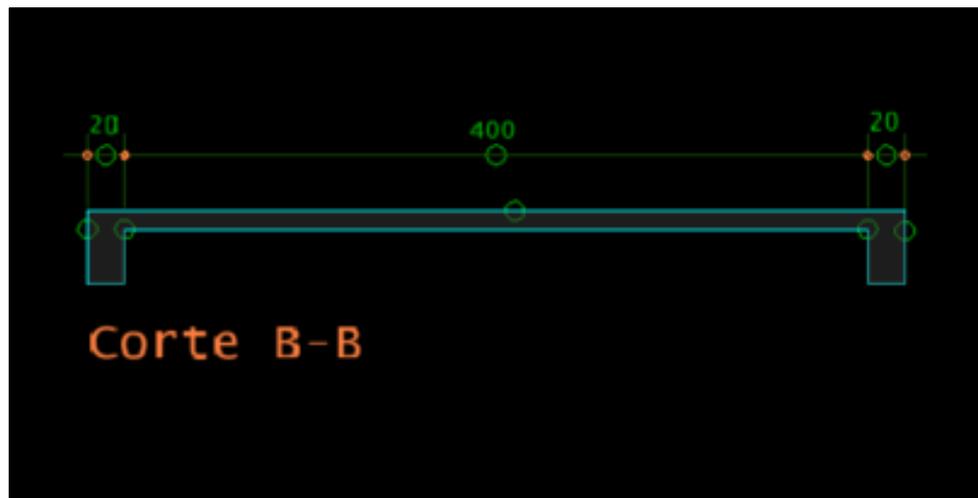
Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 11 – Corte A-A da Edificação no 1º pavimento.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 12 – Corte B-B da Edificação no 1º pavimento.

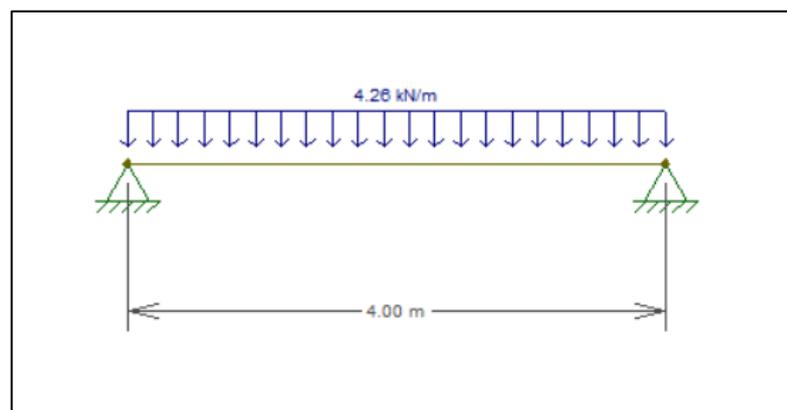


Fonte: Elaborado pelos autores.

3.4. Cargas atuantes na laje

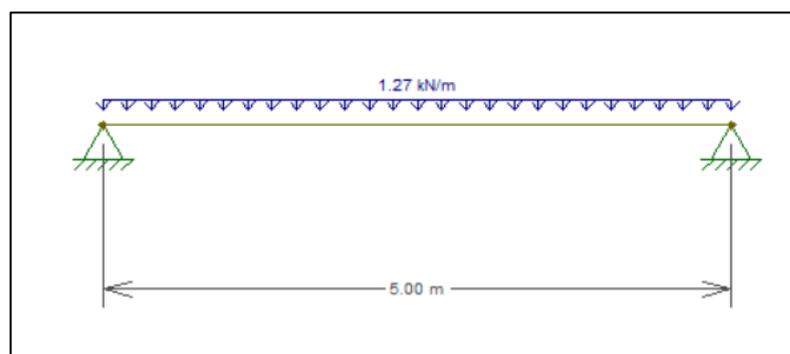
Para o carregamento de uma laje, definimos uma faixa de 1,0 m desta laje para estudar, onde será considerada uma carga de uso de $1,0 \text{ kN/m}^2$, carga acidental de $1,5 \text{ kN/m}^2$, $1,00 \text{ kN/m}^2$ de alvenaria e peso próprio de $2,5 \text{ kN/m}^2$ totalizando $6,0 \text{ kN/m}^2$. Tendo isso em mente, concluímos que o carregamento na laje estudada será de $6,0 \text{ kN/m}$.

Figura 13 - Distribuição dos carregamentos atuantes no eixo X.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 14 - Distribuição dos carregamentos atuantes no eixo Y.



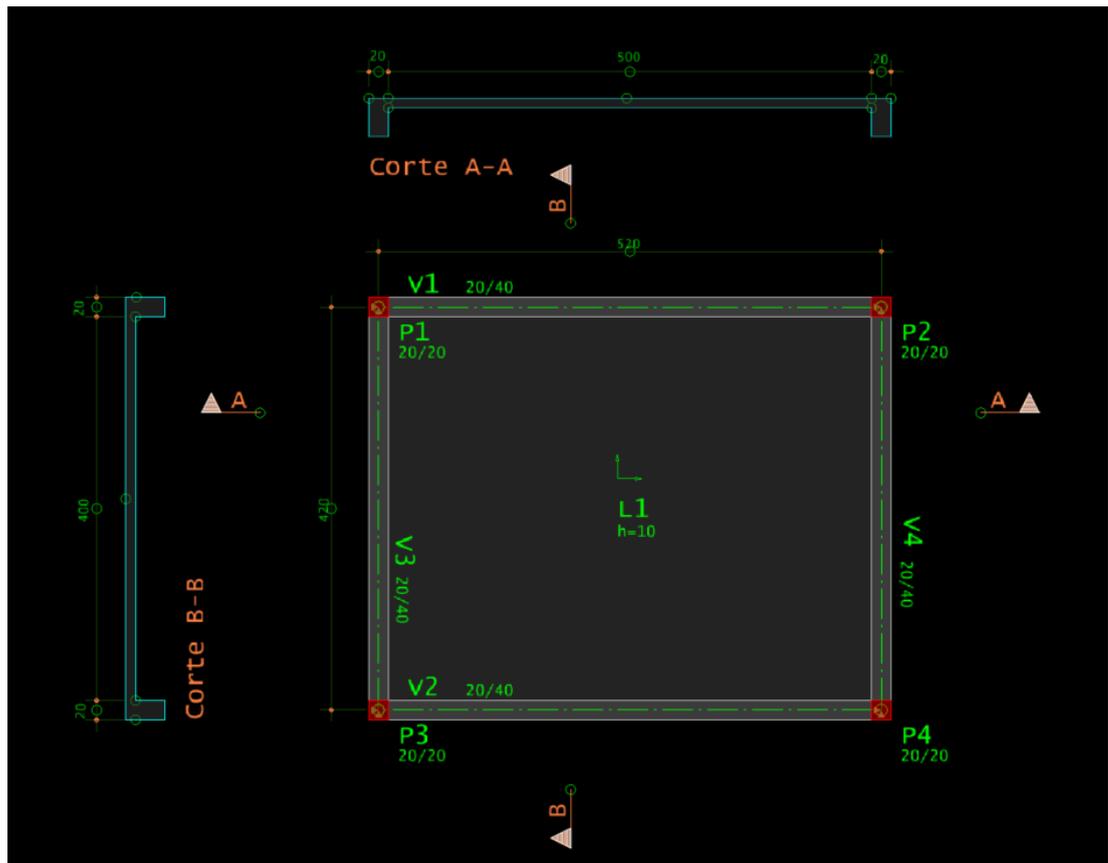
Fonte: Elaborado pelos autores.

3.5. Softwares utilizados

3.5.1. TQS

A edificação foi pré-dimensionada com o auxílio do software TQS onde definimos sua dimensões e geometria de acordo com os critérios da NBR 6118 (ABNT, 2014).

Figura 15 – Concepção Estrutural da Edificação estudada.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Realizado o cálculo e dimensionamento da laje com auxílio do Excel, retornaremos ao TQS para que seja executado o Processamento Global da Estrutura, afim de compará-lo com os resultados obtidos a partir do Excel.

3.5.2. Excel

Durante as disciplinas relacionadas a Cálculo e Dimensionamento Estrutural, estudamos a Teoria da Grelha e a Metodologia de Marcus para cálculo de Lajes Maciças. Utilizamos o Excel para desenvolver esse cálculo com intuito de automatizar o dimensionamento desses elementos e, em futuros trabalhos, de outros elementos estruturais.

Tabela 02 – Dados da Estrutura inseridos no Microsoft Excel.

DIMENSIONAMENTO DE LAJE MACIÇA ARMADA EM 1 DIREÇÃO	
1) PRÉ-DIMENSIONAMENTO	
1.1) Definição da Geometria da Laje:	
Dimensão Principal (x) =	400,0 cm
Dimensão Secundária (y) =	500,0 cm
Coefficiente (λ) =	1,25
1.2) Carregamentos:	
Peso Próprio =	2,5 kN/m ²
Carga de Alvenaria =	1,0 kN/m ²
Carga de Uso =	1,5 kN/m ²
Carga Acidental =	1,0 kN/m ²
Carga Total =	6,0 kN/m ²
OBS.: Considera-se uma Faixa de Influência de 1 metro para cálculo da Laje	
Carga Total por metro = 6,0 kN/m	
2) MOMENTOS FLETORES	
2.1) <i>Momento Fletor Característico na dimensão principal =</i> <i>Por se tratar da Metodologia de Marcus, é necessária a correção dos Momentos Fletores</i>	
2.2) Metodologia de Marcus:	
Quinhão de Carga em x (q _x) =	
Quinhão de Carga em y (q _y) =	
Fator de Correção em x (m _x) =	
Fator de Correção em y (m _y) =	
Momento Fletor Corrigido em x (M _x) =	
Momento Fletor Corrigido em y (M _y) =	

Fonte: Elaborado pelos Autores.

4.RESULTADOS E DISCUSSÃO

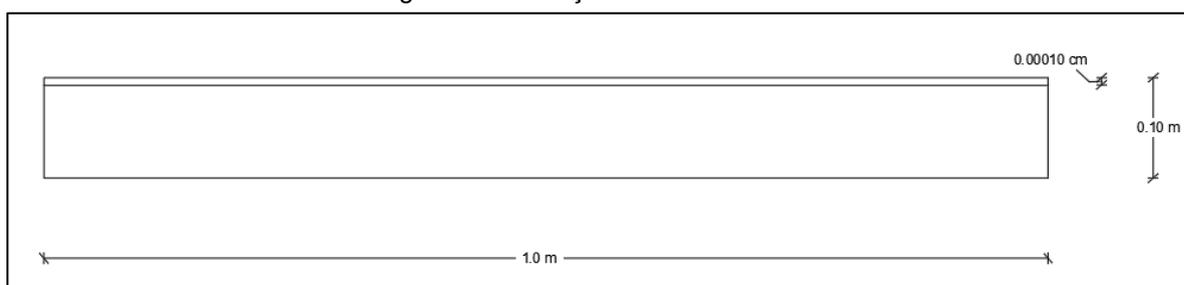
4.1.Análise no Microsoft Excel

Conforme a metodologia citada na NBR 6118 (ABNT, 2014) para dimensionamento de lajes maciças, desenvolvemos uma planilha para cálculo da laje mostrada neste trabalho. Os momentos utilizados foram calculados a partir da Metodologia da Grelha associada a Tabela de Marcus.

A partir destes momentos, aplicamos as formulações citadas neste artigo para o cálculo das áreas de aço necessárias para suportar os carregamentos. Para a carga de $6,50 \text{ kN/m}^2$, após correção pela Metodologia de Marcus, encontramos as cargas $4,26 \text{ kN/m}^2$ para a dimensão X e $1,27 \text{ kN/m}^2$ para a dimensão Y. Utilizamos a dimensão X como principal para esta laje, aplicando $4,26 \text{ kN/m}^2$ para uma faixa de 1 metro de laje, resultando em $4,26 \text{ kN/m}$. Para este caso, obtivemos, pelo Excel, um Momento Fletor de $5,29 \text{ kN.m}$ que será utilizado para dimensionamento do aço.

Anterior ao dimensionamento do aço, a NBR 6118 exige uma majoração de segurança para o momento fletor, dividindo este por 1,4. Esta majoração resultou em $7,41 \text{ kN.m}$ que será aplicado as formulações do dimensionamento de lajes. A etapa seguinte será o cálculo da Linha neutra e, após isso, encontramos a área de aço.

Figura 16 – Posição da Linha Neutra.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Conforme a figura 11, identificamos que a posição da linha neutra nesta laje encontra-se a 0,00010 centímetro do topo da laje. Com esta posição encontrada, podemos encontrar a área de aço para vencer a sollicitação calculada anteriormente.

Com esta informação, encontramos uma área de aço de 0,02840 cm², entretanto a norma exige ainda que verifiquemos outras duas situações, a área de aço através do Momento Mínimo no braço de alavanca e a área de aço dada pela própria norma, calculada através de uma porcentagem da da espessura da laje.

Para o Momento Mínimo, encontramos um braço aproximado de 4,3 cm que gera um momento fletor de 444,59 kN.cm. Resultando em 2,36 cm² de área de aço. Por outro lado, ao aplicarmos 0,15% da espessura da laje encontramos 1,50cm² de área de aço. Deste modo, a norma orienta a escolher a maior dentre as três áreas calculadas, neste caso, a área de aço por Momento Mínimo que resultou em 2,36cm².

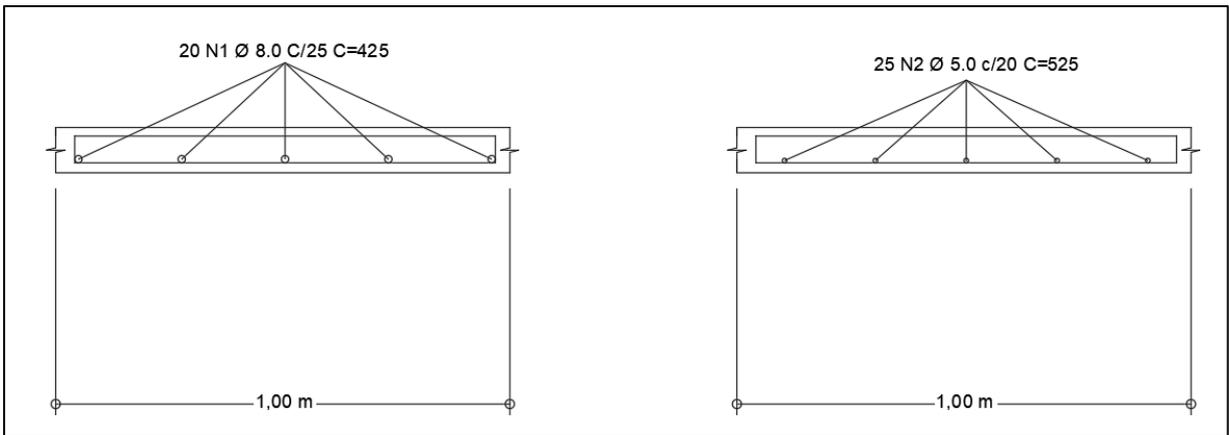
O cálculo acima trata-se do dimensionamento longitudinal da laje estudada, precisamos ainda dimensionar a armadura de distribuição que, diferente da calculada anteriormente, estará no sentido da dimensão Y dessa laje.

O cálculo da armadura de distribuição segue uma metodologia semelhante a da armadura longitudinal, onde também calculamos três áreas e escolhemos a maior entre elas. Para a armadura de distribuição, calculamos um quinto da área de aço longitudinal, metade da área de aço mínima, ou 0,90cm² dados pela NBR 6118.

Portanto teremos que um quinto da área de aço longitudinal resulta em 0,01 cm², metade da área de aço mínima resulta em 0,75 cm² ou 0,90 cm² proveniente da norma. Para este caso, também devemos escolher o maior dentre esses três casos, que será 0,90cm².

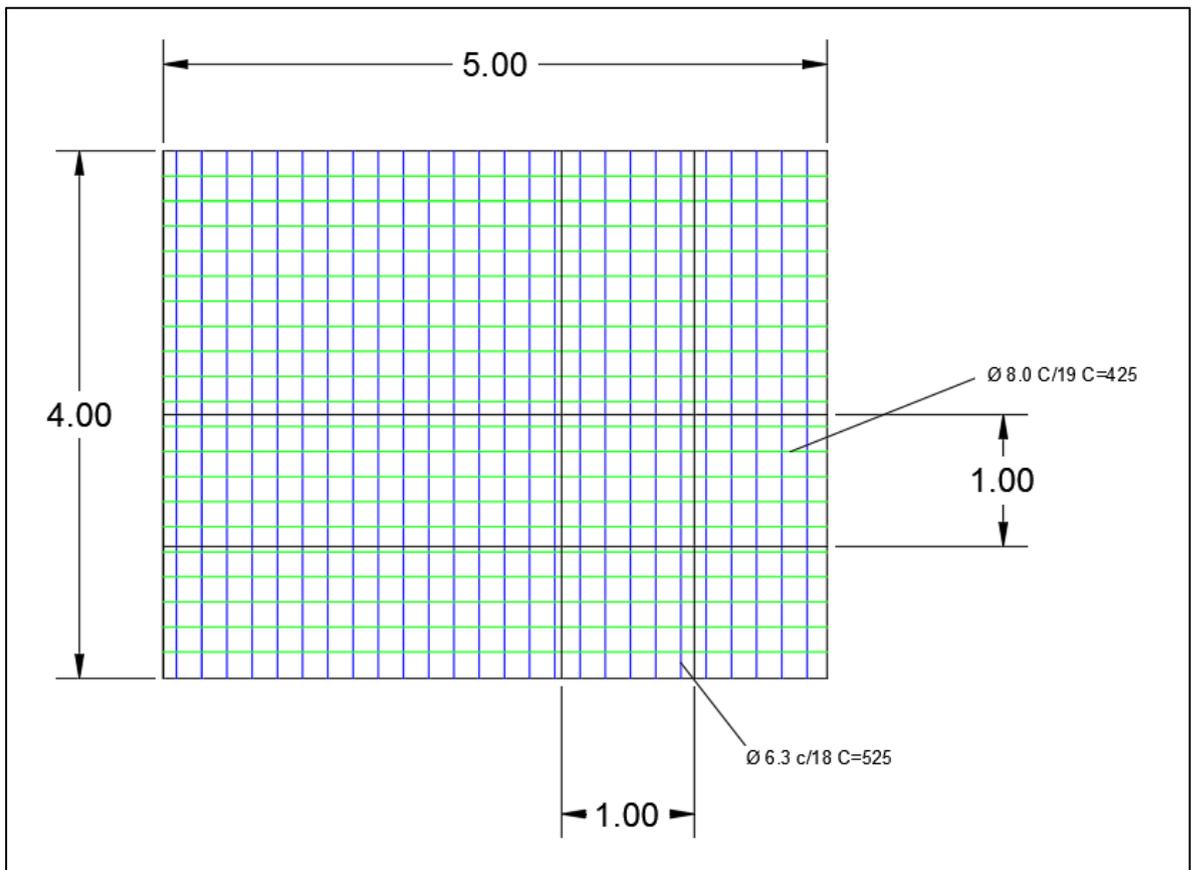
O passo seguinte do cálculo foi detalhar o elemento estrutural a partir das áreas definidas. Dito isso tivemos, para uma faixa de 1,0 m, 5 barras de 8,0mm como armadura longitudinal e barras de 5,0 mm espaçadas a cada 20,0 cm para armadura de distribuição. Na prática, a laje terá 20 barras de 8,0 mm no sentido da dimensão X e 25 barras de 5,0 mm no sentido da dimensão Y.

Figura 17 – Detalhamento da armadura da laje.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 18 – Detalhamento da Grelha da laje.



Fonte: Elaborado pelos Autores.

Tabela 03 – Metodologia de Marcus calculada através do Microsoft Excel.

DIMENSIONAMENTO DE LAJE MACIÇA ARMADA EM 1 DIREÇÃO	
1) PRÉ-DIMENSIONAMENTO	
1.1) Definição da Geometria da Laje:	
Dimensão Principal (x) =	400,0 cm
Dimensão Secundária (y) =	500,0 cm
Coefficiente (λ) =	1,25
1.2) Carregamentos:	
Peso Próprio =	2,5 kN/m ²
Carga de Alvenaria =	1,0 kN/m ²
Carga de Uso =	1,5 kN/m ²
Carga Acidental =	1,0 kN/m ²
Carga Total =	6,0 kN/m ²
OBS.:	Considera-se uma Faixa de Influência de 1 metro para cálculo da Laje
<i>Carga Total por metro =</i>	<i>6,0 kN/m</i>
2) MOMENTOS FLETORES	
<i>2.1) Momento Fletor Característico na dimensão principal =</i>	<i>12,00 kN.m</i>
<i>Por se tratar da Metodologia de Marcus, é necessária a correção dos Momentos Fletores</i>	
2.2) Metodologia de Marcus:	
Quinhão de Carga em x (q _x) =	4,26
Quinhão de Carga em y (q _y) =	1,74
Fator de Correção em x (m _x) =	18,14
Fator de Correção em y (m _y) =	28,34
<i>Momento Fletor Corrigido em x (M_x) =</i>	<i>5,29 kN.m</i>
<i>Momento Fletor Corrigido em y (M_y) =</i>	<i>3,39 kN.m</i>
3) DIMENSIONAMENTO A FLEXÃO DA LAJE	
3.1) Dados Iniciais da Laje:	
Cobrimento =	3,0 cm
Espessura da Laje (h) =	10,0 cm
Largura (b _w) =	100,0 cm
Estimativa de Aço Longitudinal (Ø _{long}) =	0,63 cm
Cob + Ø _{long} /2 =	4 cm
Altura útil (d) =	7,0 cm
Resistência Característica do Concreto (f _{ck}) =	25,0 MPa
Resistência Característica do Aço (f _{yk}) =	500,0 MPa
3.2) Momento Fletor de Cálculo:	
3.2.1) Dimensão X:	
Momento Fletor de Cálculo M _d (x) =	7,41 kN.m
Resistência de Cálculo do Concreto (f _{cd}) =	1,79 MPa
Resistência de Cálculo do Aço (f _{yd}) =	43,5 MPa
Posição da Linha Neutra da Peça =	0,92039 cm
Área de Aço Calculada =	2,56949 cm ²
3.2.2) Dimensão Y:	
Momento Fletor de Cálculo M _d (y) =	4,74 kN.m
Resistência de Cálculo do Concreto (f _{cd}) =	1,79 MPa
Resistência de Cálculo do Aço (f _{yd}) =	43,5 MPa
Posição da Linha Neutra da Peça =	0,57710 cm
Área de Aço Calculada =	1,61112 cm ²

Fonte: Elaborado pelos Autores.

Tabela 04 – Verificações para Lajes Maciças com Excel.

4) VERIFICAÇÕES	
4.1) Elemento Simplesmente Armado (Dimensão X):	
4.1.1) Se $x/d \leq 0,45$, Elemento será simplesmente armado:	<i>Simplesmente Armado</i>
4.1.2) Armadura Mínima por Norma:	<i>1,50 cm²</i>
4.1.3) Armadura Mínima por Momento Fletor Mínimo:	<i>2,36 cm²</i>
Módulo de Resistência da Seção Transv bruta (W0) =	0,001667 m ³
Resistência característica Superior do Concreto a Tração (fctk,sup) =	3334,5 MPa
Braço aproximado do Momento (z) =	4,3 cm
Momento Mínimo Calculado (Md,min) =	444,59 kN.cm
4.2) Elemento Simplesmente Armado (Dimensão Y):	
4.2.1) Se $x/d \leq 0,45$, Elemento será simplesmente armado:	<i>Simplesmente Armado</i>
4.2.2) Armadura Mínima por Norma:	<i>1,50 cm²</i>
4.2.3) Armadura Mínima por Momento Fletor Mínimo:	<i>0,38 cm²</i>
Módulo de Resistência da Seção Transv bruta (W0) =	0,000267 m ³
Resistência característica Superior do Concreto a Tração (fctk,sup) =	3334,5 MPa
Braço aproximado do Momento (z) =	4,3 cm
Momento Mínimo Calculado (Md,min) =	71,13 kN.cm
5) DETALHAMENTO	
Armadura Longitudinal:	2,57 cm²
Área de Aço Calculada =	<i>2,57 cm²</i>
Área de Aço Mínima por Norma =	<i>1,50 cm²</i>
Área de Aço Mínima por Momento Mínimo =	<i>2,36 cm²</i>
Bitola Escolhida =	8,00 mm
N° de Barras =	6,0 barras
Espaçamento =	19,0 cm
Área da Barra Escolhida =	<i>0,5024 cm²</i>
Armadura de Distribuição:	1,61 cm²
Área de Aço Calculada =	<i>1,61 cm²</i>
Área de Aço Mínima / 2 =	<i>0,75 cm²</i>
Área Mínima por norma =	<i>0,90 cm²</i>
Bitola Escolhida =	6,30 mm
Espaçamento =	19,0 cm
Área da Barra Escolhida =	<i>0,3116 cm²</i>

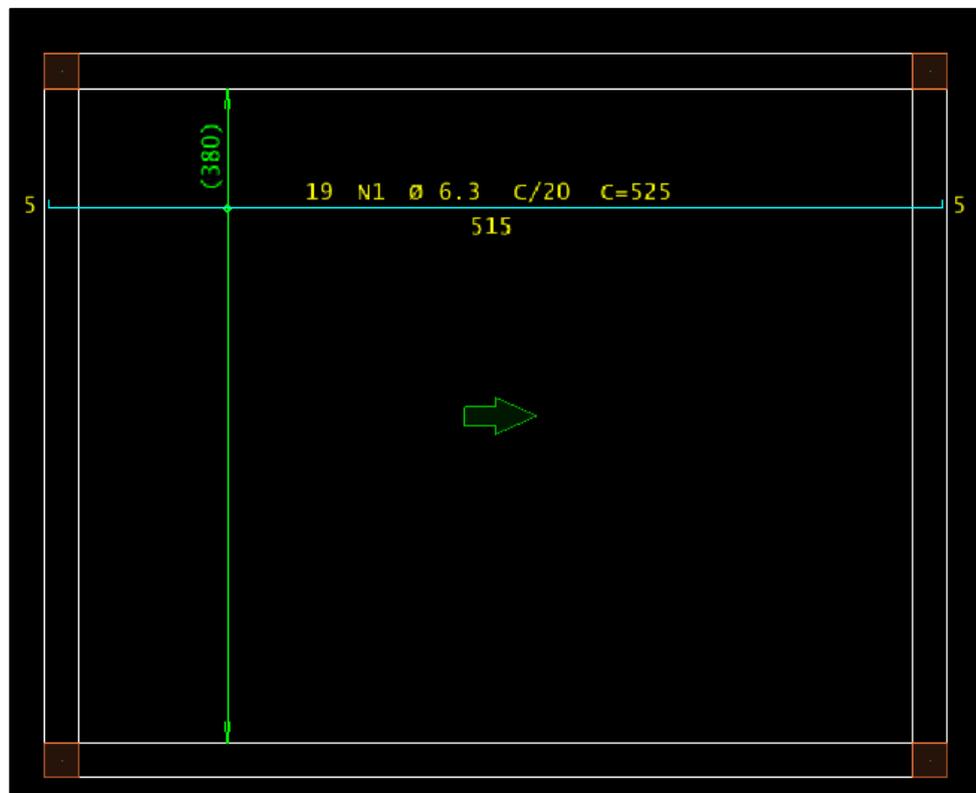
Fonte: Desenvolvido pelos Autores.

4.2. Dimensionamento à flexão no Software TQS

O dimensionamento com o TQS se dá através da modelagem em 3D da edificação definindo, dentro do software, especificações projetuais, como materiais, cobrimentos, cargas excepcionais e outras informações importantes que influenciarão o dimensionamento da estrutura.

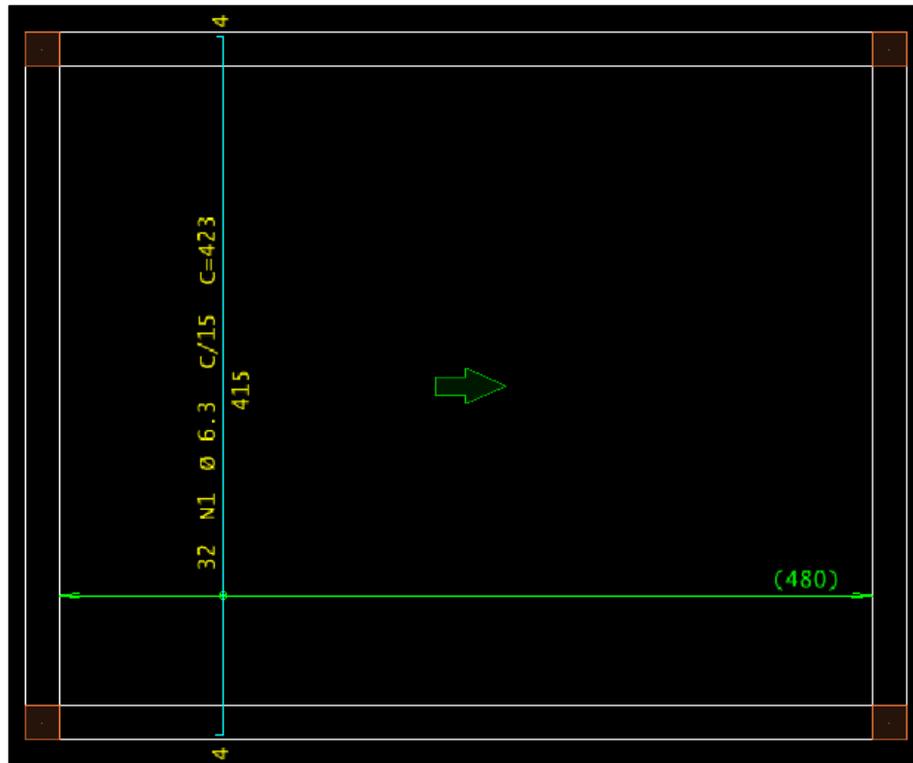
Dito isso, ao lançarmos a estrutura estudada encontramos, para o Momento Fletor Positivo da laje estudada, uma armadura principal composta 32 barras de 6,3 mm de 4,23 m espaçadas a cada 15 cm, e uma secundária de 19 barras de 6,3 mm com comprimento total de 5,25 m espaçadas a cada 20 cm.

Figura 19 – Armadura Positiva Principal.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 20 – Armadura Positiva Secundária.

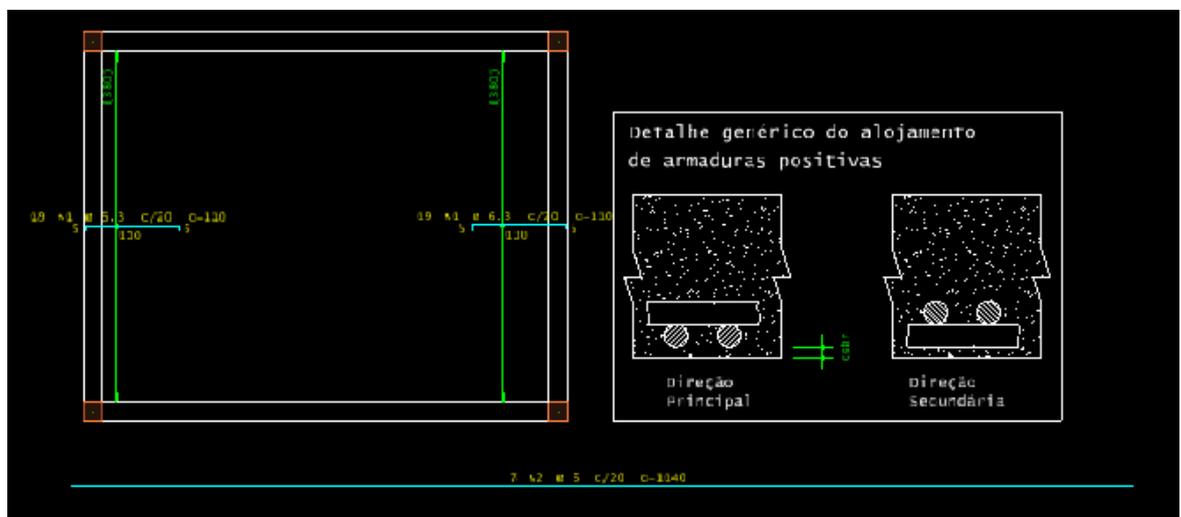


Fonte: Elaborado pelos autores.

Além destas, foi dimensionada uma armadura de borda nos encontros de laje com vigas, ocasionada por um momento negativo existente nessa região. O software resultou em 19 barras de 6,3 mm com comprimento total de 1,10 m espaçadas a cada 15 cm, em ambos os lados da dimensão X, e 32 barras de 6,3 mm com comprimento total de 1,10 m espaçadas a cada 20 cm.

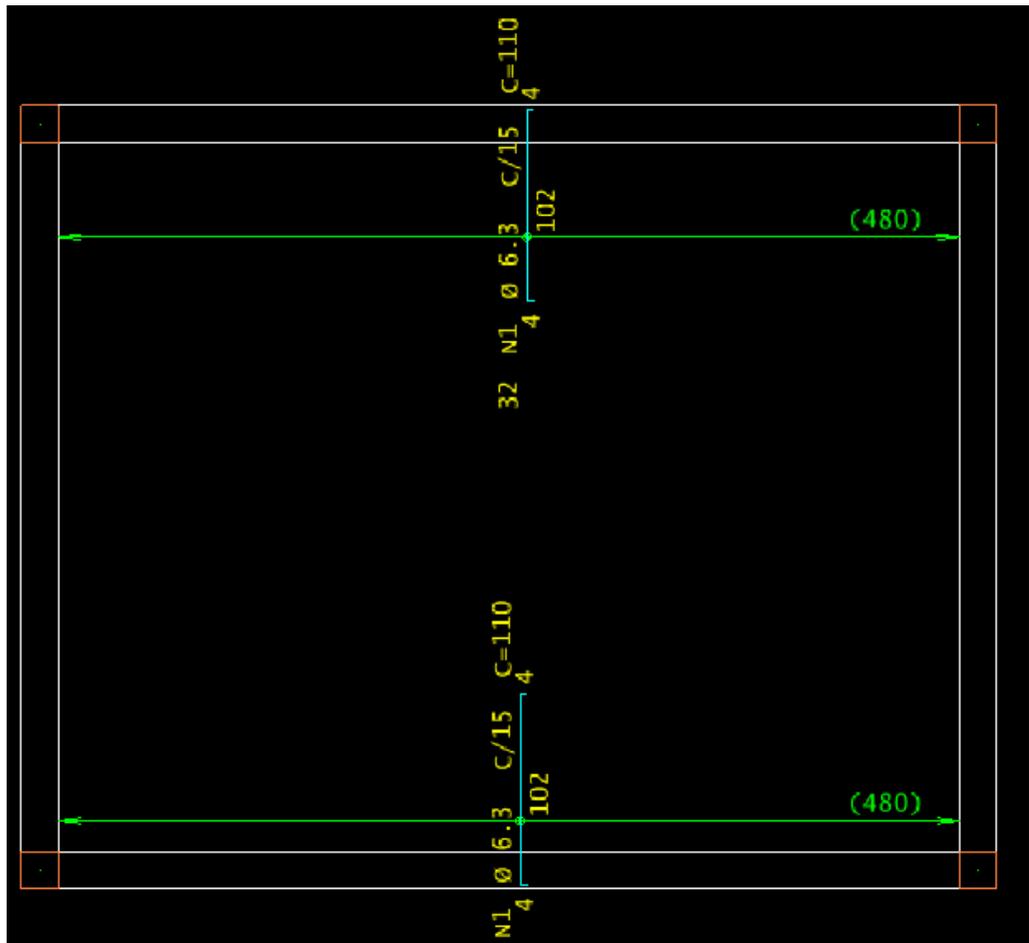
Complementando esta armadura de borda, o TQS inseriu uma armadura de distribuição onde serão amarradas as barras ao redor da laje.

Figura 21 – Armadura Negativa Principal.



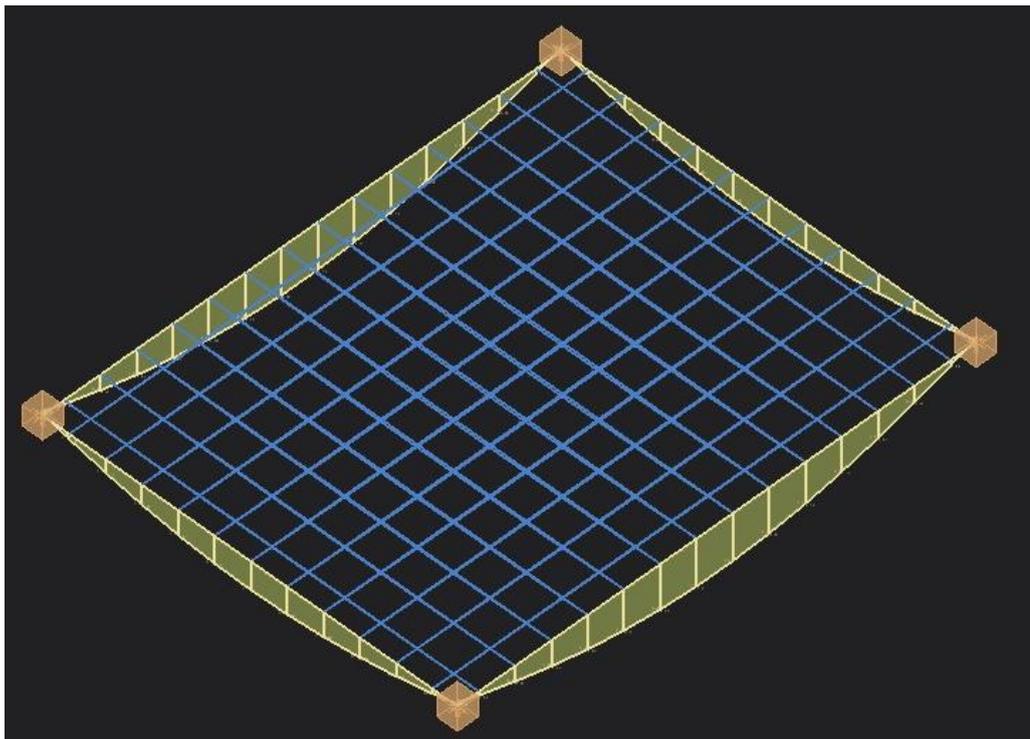
Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 22 – Armadura Negativa Secundária.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 23 – Comportamento da Grelha do TQS.



Fonte: Elaborado pelos autores.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Baseado no estudo entende-se que as armaduras nos dois sentidos, em ambos os casos, atuam juntas suportando uma a outra. Isto é a armadura em Y auxilia a armadura em X, resultando em uma solidarização da estrutura.

Entretanto nota-se uma diferença entre as metodologias pois, ao analisar com o Microsoft Excel, grande parte da solitação foi distribuída na direção X que, neste estudo definimos como principal. Tal distribuição propiciou uma armadura em Y menor se compararmos com o encontrado pelo TQS, pois software já considera, dentro do seu método, a solidarização da estrutura, ou seja, há uma distribuição mais igual das armaduras entre as direções X e Y.

A escolha da bitola das barras também é algo a ser notado, tendo em vista que por causa da armadura em X ser maior no cálculo feito pelo Excel, foi necessário instalar uma barra mais robusta, neste caso com diâmetro igual a 8,0 mm. E contrapartida, na dimensão Y, uma barra de 5,0 mm já foi suficiente para suprir a necessidade da laje.

Desenvolvendo com o TQS, por causa da distribuição mais uniforme das armaduras, foi escolhida a barra com diâmetro igual a 6,3 mm, que já foi suficiente para suportar os carregamentos de ambas as direções.

Além disso, o software TQS analisa também outros carregamentos que solicitam a laje estudada, podemos notar barras de 6,3 mm instaladas nos encontros da laje com as vigas. Estas armaduras estão colocadas para suportar os momentos negativos mínimos gerados nesses encontros, afim de evitar fissuras na região. Somado a isso, pode-se notar barras de 5,0 mm que serão utilizadas para amarração dessa armadura de bordas que o TQS coloca como previsão para simplificar a execução desse projeto. Diante disso, concluímos que em virtude da análise do Excel ser discretizada, distribuímos mais carga na dimensão principal, já no TQS a distribuição desse aço nas dimensões X e Y é feita de modo que temos áreas de aço semelhantes nas duas direções.

A partir deste estudo, conclui-se que analisando de qualquer das metodologias aplicadas neste artigo, podemos calcular e dimensionar lajes maciças corretamente e com precisão e segurança. Embora as metodologias obtenham resultados diferentes se analisarmos as dimensões X e Y separadamente, ao analisar a laje como um todo os resultados encontrados tem uma semelhança considerável. É notório, também, que ferramentas computacionais como o Microsoft Excel são importantes no dia-a-dia de um engenheiro de estruturas, pois auxiliam em cálculos mais complexos que são comuns em nossa rotina de trabalho.

- **Sugestões de Trabalhos Futuros:**

- ✓ Uso de Ferramentas Computacionais para Dimensionamento de Vigas e Pilares em Concreto Armado;
- ✓ Estudo comparativo do Dimensionamento de Estruturas de Concreto Armado com Eberick e com Microsoft Excel;
- ✓ Uso de Ferramentas Computacionais para Dimensionamento de Elementos em Concreto Protendido.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, J. M. **Curso de Concreto Armado**. Rio Grande: Editora Dunas, 2014. v. 4
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro: ABNT, 2014 Versão Corrigida: 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6120: Ações para o cálculo de estruturas de edificações**. Rio de Janeiro: ABNT, 2023 Versão Corrigida: 2019.
- BOTELHO, M. H. C.; MARCHETTI, O. **Concreto armado eu te amo: volume I**. 10. ed. - São Paulo: Blucher, 2019.
- DOS SANTOS, GENILTON CLÁUDIO RANGEL. **FERRAMENTA COMPUTACIONAL PARA DIMENSIONAMENTO E DETALHAMENTO DE LAJES MACIÇAS ISOLADAS E CONTÍNUAS DE ACORDO COM NBR 6118:2014**. Orientador: Prof. Me. Francisco Rosendo Sobrinho. 2019. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) - UFERSA, Mossoró, 2019.
- NETO, Antonio Acacio de Melo; HELENE, Paulo Roberto do Lago. **Módulo de Elasticidade: Dosagem e Avaliação de Modelos de Previsão do Módulo de Elasticidade de Concretos**. Instituto Brasileiro do Concreto - 44º Congresso Brasileiro, Belo Horizonte, 17 maio 2002.
- PLEVRIS, Vagelis; TSIATAS, George C. **Computational Structural Engineering: Past Achievements and Future Challenges**. *Frontiers in Built Environment*, [S. l.], v. 4, p. 4-21, 10 abr. 2018. DOI <https://doi.org/10.3389/fbuil.2018.00021>. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fbuil.2018.00021/full>. Acesso em: 14 maio 2024.
- QUEIROZ, Daniel Pessanha De et al.. **Momentos em lajes maciças de acordo com os métodos de marcus, bares, czerny e analogia de grelha**. Anais I CONIMAS e III CONIDIS... Campina Grande: Realize Editora, 2019. Disponível em: <<https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/63681>>. Acesso em: 08/05/2024 20:52

ANEXOS

ANEXO A – TABELA 2 DO ITEM 5.4 DA NBR 6120/2019

Tabela 2 – Alvenarias

Alvenaria	Espessura nominal do elemento cm	Peso - Espessura de revestimento por face kN/m ²		
		0 cm	1 cm	2 cm
ALVENARIA DE VEDAÇÃO				
Bloco de concreto vazado (Classe C – ABNT NBR 6136)	6,5	1,0	1,4	1,8
	9	1,1	1,5	1,9
	11,5	1,3	1,7	2,1
	14	1,4	1,8	2,2
	19	1,8	2,2	2,6
Bloco cerâmico vazado (Furo horizontal - ABNT NBR 15270-1)	9	0,7	1,1	1,6
	11,5	0,9	1,3	1,7
	14	1,1	1,5	1,9
	19	1,4	1,8	2,3

ANEXO B – TABELA 7.2 DO ITEM 7.4.7.6 DA NBR 6118/2023

Tabela 7.2 – Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e o cobrimento nominal para $\Delta c = 10$ mm

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

ANEXO C – TABELA 12.1 DO ITEM 12.4.1 DA NBR 6118/2023

Tabela 12.1 – Valores dos coeficientes 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