

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
CAMPUS APARECIDA DE GOIÂNIA
DEPARTAMENTO DE ÁREA ACADÊMICAS
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE UM DIMENSIONAMENTO DE LAJES
MACIÇAS FEITO NOS SOFTWARES EBERICK E EXCEL**

JOÃO VICTTOR RUFINO DE SOUZA COSTA

Aparecida de Goiânia,
2021



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
SISTEMA INTEGRADO DE BIBLIOTECAS

TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAÇÃO NO REPOSITÓRIO DIGITAL DO IFG - ReDi IFG

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Digital (ReDi IFG), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IFG.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| ☐ Tese | ☐ Artigo Científico |
| ☐ Dissertação | ☐ Capítulo de Livro |
| ☐ Monografia – Especialização | ☐ Livro |
| ☒ TCC - Graduação | ☐ Trabalho Apresentado em Evento |
| ☐ Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor: João Victor Ruyino de Souza Costa

Matrícula: 20141090040131

Título do Trabalho: Estudo comparativo entre um dimensionamento de lajes maciças feito nos softwares Eberick e Excel.

Autorização - Marque uma das opções

- ☒ Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso aberto);
- ☐ Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG somente após a data ____/____/____ (Embargo);
- ☐ Não autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso restrito).

Ao indicar a opção **2 ou 3**, marque a justificativa:

- ☐ O documento está sujeito a registro de patente.
☐ O documento pode vir a ser publicado como livro, capítulo de livro ou artigo.
☐ Outra justificativa: _____

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- obteve autorização de quaisquer materiais incluídos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

Ap. de Goiânia, 08/10/21.
Local Data

João Victor R. Souza Costa

Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
CAMPUS APARECIDA DE GOIÂNIA
DEPARTAMENTO DE ÁREA ACADÊMICAS
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

JOÃO VICTTOR RUFINO DE SOUZA COSTA

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE UM DIMENSIONAMENTO DE LAJES
MACIÇAS FEITO NOS SOFTWARES EBERICK E EXCEL**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás – Câmpus Aparecida de Goiânia como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil e desenvolvido na linha de pesquisa Estruturas sob orientação do Me. Lucas Furtado da Silva.

Aparecida de Goiânia,
2021



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO

SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA INSTITUTO
FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS CÂMPUS
APARECIDA DE GOIÂNIA

Termo de Aprovação

JOÃO VICTTOR RUFINO DE SOUZA COSTA

ESTUDO COMPARATIVO ENTRE O DIMENSIONAMENTO DE LAJES MACIÇAS FEITO NOS SOFTWARES TQS E AUTOCAD/EXCELL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Bacharelado em Engenharia Civil, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás - Campus Aparecida de Goiânia/IFG, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, sob orientação da Prof. Lucas Furtado da Silva.

Aprovado em 2 de agosto de 2021.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Lucas Furtado da Silva

Presidente da banca / Orientador(a)

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Prof.^a Ana Maria B Lemos

Membro

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Prof. Luciano Calaça Alves

Membro

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Aparecida de Goiânia – GO

Documento assinado eletronicamente por:

- Ana Maria Barboza Lemos, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 14/10/2021 12:50:41.
- Luciano Calaca Alves, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 14/10/2021 10:54:14.
- Lucas Furtado da Silva, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 13/10/2021 23:04:43.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 24/08/2021. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifg.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 193561

Código de Autenticação: eb58fd7b1e



Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Avenida Universitária Vereador Vagner da Silva Ferreira, Qd. 1, Lt. 1-A, Parque Itatiaia, APARECIDA DE GOIÂNIA / GO, CEP 74968-755
(62) 3507-5958 (ramal: 5985)

ESTUDO COMPARATIVO ENTRE UM DIMENSIONAMENTO DE LAJES MACIÇAS FEITO NOS SOFTWARES EBERICK E EXCEL¹

João Victtor Rufino de Souza Costa, Instituto Federal de Goiás – IFG
victtor.engenhariaifg@gmail.com

Lucas Furtado, Instituto Federal de Goiás – IFG
furtado-lucas@hotmail.com

RESUMO

Em pleno século 21, é notável a exigência de uma rápida transferência de informação e eficiência nos serviços e produtos comercializados. A entrega rápida de um produto ou serviço com elevada qualidade deixou de ser um diferencial e tornou-se uma necessidade, inclusive na construção civil. Em consequência deste fato, pôde-se observar o surgimento de vários softwares relacionados à elaboração de projetos, dimensionamento de estruturas, orçamento, planejamento e gerenciamento de obras, como uma forma de acelerar a construção. Entre tais softwares destaca-se o Eberick, utilizado para projetos de concreto armado. O Eberick é amplamente utilizado no Brasil, auxilia em praticamente todas as fases de elaboração de um projeto estrutural, proporcionando ao projetista um benefício relevante em termos de eficiência. Diante do exposto, este trabalho se propõe a realizar um estudo comparativo entre um dimensionamento de lajes maciças via os softwares Eberick e Excel, sendo as planilhas, em Excel, desenvolvidas de acordo com metodologia descrita em Carvalho e Filho (2014). Será realizado um mesmo projeto nos dois softwares e serão feitas as comparações em diversos aspectos, e por fim, chegar-se-á a uma conclusão a respeito do uso do Eberick e sua eficiência para a realização de projetos estruturais de lajes maciças.

Palavras-chave: Eberick, Excel, lajes maciças, dimensionamento de lajes maciças, projeto de lajes maciças.

ABSTRACT

In the 21st century, the demand for a rapid transfer of information and efficiency in the services and products marketed is remarkable. The fast delivery of a product or service with high quality is no longer a differential and has become a necessity, even in civil construction. As a result of the fact, it was possible to observe this emergence of various software related to the creation of projects, dimensioning structures, budgeting, planning and management of works, as a way to speed up construction. Among such software, Eberick stands out, used for reinforced concrete projects. Eberick is widely used in Brazil, it helps in practically all phases of the elaboration of a structural project, providing the designer with a relevant benefit in terms of efficiency. Given the above, this work proposes to carry out a comparative study between a design of solid slabs using Eberick and Excel software, and the spreadsheets, in Excel, developed according to the methodology applied in Carvalho and Filho (2014). The same project will be carried out in the two softwares and will be done as comparisons in different aspects, and finally, a conclusion will be reached regarding the use of Eberick and its efficiency for the realization of possible projects of solid slabs.

Keywords: Eberick, Excel, solid slabs, solid slab design, solid slab design.

¹Costa, J.V.R.S. **Estudo comparativo entre um dimensionamento de lajes maciças feito nos softwares Eberick e Excel**. Aparecida de Goiânia: IFG, 2021.

1. INTRODUÇÃO

A produção de um projeto estrutural costumava demandar bastante tempo pois compreende várias etapas. Contudo, segundo Kimura (2007, p. 36), a elaboração de um projeto estrutural pode ser subdividida, de forma simplificada, em quatro etapas principais: concepção estrutural, análise estrutural, dimensionamento e detalhamento, e emissão das plantas finais. Para todas essas etapas há softwares que ajudam a elaboração do projeto estrutural a se tornar mais rápida.

Com relação às etapas que envolvem desenho, verifica-se um avanço significativo de softwares ainda na década de 1950 com a criação dos primeiros CAD's (Computer Aided Design – Desenho Assistido por Computador). Em 1982 a empresa Autodesk criou o software chamado COMDEX, que depois passaria a se chamar AutoCad, mas foi somente com o lançamento da versão AutoCad Release 12 para MS-DOS (1992) e para Windows (1993) que o software se firmou como um dos principais softwares para realização de projetos e desenhos.

Já nas etapas que envolvem as devidas análises e cálculos da estrutura, o principal aliado dos projetistas era o Excel. O software foi desenvolvido por uma equipe gerenciada por Dan Bricklin, conhecido como “pai das planilhas eletrônicas”. O software foi lançado para Macintosh (1985) e para Windows (1987), porém somente em 1993 ele se estabeleceu como o software preferido da maioria dos usuários de softwares de criação de planilhas eletrônicas do mundo todo.

Posteriormente, com o avanço das tecnologias de programação, iniciou-se a criação de softwares de dimensionamento para a construção civil, onde era possível a unificação das quatro etapas da elaboração de um projeto em um único software, sendo necessário apenas um preparo prévio da planta baixa em um formato CAD. Entre eles tem-se o Eberick (software para projetos de concreto armado), desenvolvido pela empresa AltoQI, fundada em 1989.

Este trabalho visa o dimensionamento de lajes maciças, de um mesmo projeto, utilizando os dois métodos aqui citados, Excel e Eberick, e posteriormente comparar o desempenho e os resultados do Eberick em relação a planilhas desenvolvidas, de acordo com metodologia descrita em Carvalho e Filho (2014), no Excel.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Modelo Estrutural

Segundo Kimura (2007, p. 114), um modelo estrutural é um protótipo que procura simular um edifício real no computador, sendo que existem vários modelos que podem ser usados na análise de edifícios de concreto armado. Tais modelos possuem características particulares que tornam seu uso recomendado para análises específicas em função de parâmetros pertinentes a tais análises.

2.2. Elementos Estruturais

“Elementos Estruturais são peças, geralmente com uma ou duas dimensões preponderantes sobre as demais (vigas, lajes pilares, etc.), que compõem uma estrutura.” (CARVALHO e FILHO, 2014, p. 23).

2.3. Sistemas Estruturais

De acordo com Carvalho e Filho (2014, p. 23), Sistemas Estruturais são o modo como estão arranjados os elementos estruturais.

2.4. Projeto

“Um projeto é um esforço temporário empreendido para criar um produto, serviço ou resultado exclusivo.” (ESPINHA, 2010, p. 4).

Ainda segundo Espinha (2010, p. 6), algumas características básicas de um projeto são: É único, tem início e fim definidos, é progressivo, tem limitação de recursos e tem objetivo claro e viável.

2.4.1. Projeto Estrutural

O Projeto Estrutural determina os elementos estruturais (fundação, pilares e vigas ou alvenaria estrutural, e lajes) que têm como objetivo sustentar a edificação, transmitindo suas cargas acidentais e permanentes ao solo. Através da análise do projeto civil e do estudo das características do solo, é definido o tipo de sistema estrutural mais adequado à obra e que atenda à expectativa do cliente. (CONSTRUTORA ROCHEDO ENGENHARIA).

Para Kimura (2007, p. 36), na elaboração de um projeto estrutural pode-se subdividir o projeto, de forma simplificada, em quatro etapas principais: concepção estrutural, análise estrutural, dimensionamento e detalhamento, e emissão das plantas finais.

2.4.1.1. Concepção estrutural

Etapa da elaboração do projeto estrutural onde ocorre a definição dos dados relacionados aos materiais que serão utilizados, pré-dimensionamento dos elementos, definição das ações que atuarão sobre a estrutura. Segundo Kimura (2007, p. 37), a estrutura deve sempre ser definida por um engenheiro e não existe software que faça isso.

2.4.1.2. Análise estrutural

Etapa da elaboração do projeto estrutural onde se calcula os deslocamentos e os esforços solicitantes via modelo que simula a estrutura real.

2.4.1.3. Dimensionamento e detalhamento

Etapa da elaboração do projeto estrutural que, usando-se da análise estrutural, dimensiona e detalha as armaduras dos elementos estruturais.

2.4.1.4. Emissão de plantas

É a última etapa da elaboração do projeto estrutural que contém os desenhos e especificações de como, na obra, a estrutura deve ser executada.

2.5. Concreto

De acordo com Carvalho e Filho (2014, p. 19), concreto é um material resultante da mistura de água, cimento e agregados.

A Pasta é um material composto de cimento e água, a Argamassa é a mistura dessa pasta com agregado miúdo, e o Concreto Simples é um material composto de argamassa e agregado graúdo.

O Concreto Armado “É obtido por meio da associação entre concreto simples e armadura convenientemente colocada (armadura passiva), de tal modo que ambos resistam solidariamente aos esforços solicitantes”. (CARVALHO e FILHO, 2014, p. 21).

2.6. Lajes

“Lajes são estruturas que realizam a interface entre pavimentos de uma edificação, podendo dar suporte a contrapisos ou funcionar como teto. Geralmente, apoiam-se em vigas, que por sua vez, apoiam-se em pilares e realizam a distribuição adequada da carga da edificação. Sua concepção estrutural é de uma placa em que duas dimensões (comprimento e largura) são muito superiores à terceira, que é a espessura, com cargas transversais a ela e submetida à flexão.” (PEREIRA C., 2019).

2.6.1. Lajes maciças

De acordo com Pereira (2019), a solução clássica em lajes é o tipo maciça. É uma placa formada por concreto armado, responsável por resistir esforços à tração e à compressão.

Segundo Moreira (2018, p. 34), em lajes maciças se um lado possuir mais que o dobro de tamanho do outro, considera-se que essa laje é armada em uma direção, caso contrário, a consideração a ser feita é que a laje seja armada em duas direções, conhecida também como laje armada em cruz.

2.7. Autodesk AutoCAD

O AutoCAD é um software para a realização de desenho técnico, desenvolvido pela Autodesk. Ele visa possibilitar a criação de desenhos técnicos de projetos em computador. Foi lançado em 1982, e passou por várias atualizações, até chegar as versões atuais. Hoje é muito utilizado por profissionais da AEC (arquitetura, engenharia e construção) para a realização da parte de desenho técnico de projetos, como plantas baixas e cortes.

2.8. Eberick

O Eberick é um software para projeto estrutural em concreto armado moldado in-loco e concreto pré-moldado, desenvolvido pela AltoQi, uma empresa de tecnologia aplicada à engenharia que atua no Brasil há mais de 30 anos (MARIANO, 2015, p. 15). O software possui várias versões, sendo a mais popular a V8, que será a versão utilizada nesse trabalho para a realização do projeto estrutural.

Segundo Franceschi (2021), o Eberick possui diversas configurações que permitem ao usuário personalizar o processo de dimensionamento dos elementos estruturais. O dimensionamento é realizado pelo programa de acordo com as instruções normativas, porém, existem diversos parâmetros variáveis de projeto, sendo responsabilidade do projetista definir os valores adotados para tais configurações.

2.9. Excel

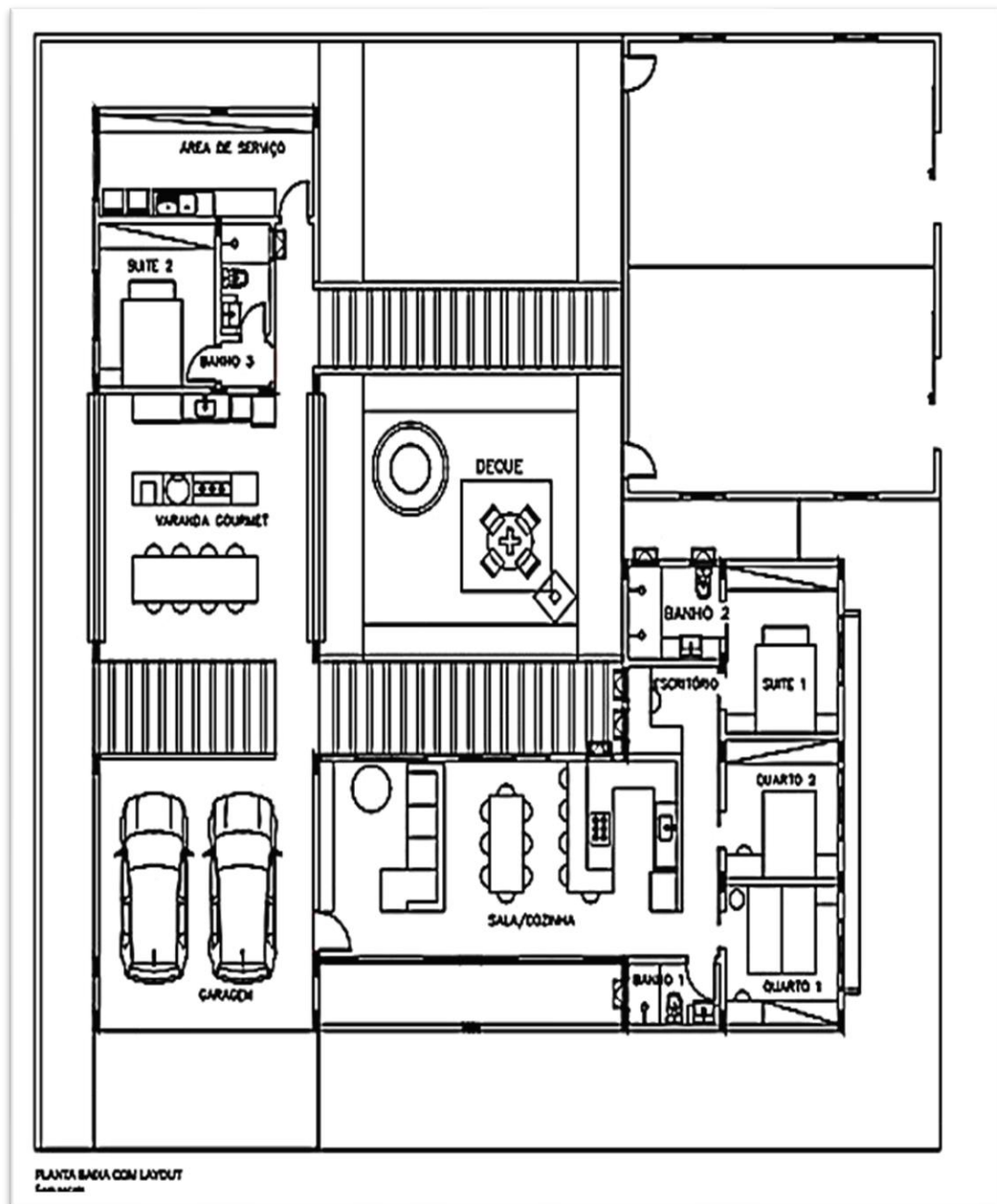
De acordo com Meyer (2013), o Excel ou Microsoft Excel é um software de criação de planilhas eletrônicas. Desenvolvido pela Microsoft em 1987 para computadores que usam o sistema operacional da empresa. Muitas empresas hoje utilizam este programa. Seus recursos incluem uma interface intuitiva e capacitadas ferramentas de cálculo e de construção de gráficos que, tornaram o Excel um dos mais populares programas de computador. Este software oferece aos projetistas a possibilidade de programar planilhas eletrônicas que os ajudem no dimensionamento, análise estrutural e lista de materiais da obra.

3. METODOLOGIA

O primeiro passo adotado para a realização desse trabalho foi a Revisão Bibliográfica, a partir da pesquisa de bibliografias que tratam da elaboração de projetos estruturais, do dimensionamento de lajes maciças e das funções e ferramentas disponíveis cada software que pode ser utilizado.

Concluída a parte de Revisão Bibliográfica, foi escolhido um projeto arquitetônico, apresentado na Figura 1, com base no qual será feito o dimensionamento das lajes. O projeto em questão foi selecionado por se tratar de uma residência térrea de médio padrão, onde o cliente solicitou que as lajes e que toda a estrutura fosse dimensionada para, posteriormente, atender a uma ampliação na qual a edificação passará a ser um sobrado. Assim sendo, a edificação é de fácil entendimento de todos e possui um esquema estrutural expressivo para o presente estudo.

Figura 1: Projeto Arquitetônico - Planta baixa



Fonte: Due Studio Design e Arquitetura

A próxima etapa foi a realização de um estudo dos softwares utilizados, Eberick, AutoCAD e Excel, com objetivo de adquirir o conhecimento necessário para operá-los, conhecendo as ferramentas disponíveis e as principais funções de cada um, o que possibilitou a elaboração dos projetos sem que houvessem erros por insciência a respeito dos softwares por parte do projetista.

Para o início dos projetos, a planta arquitetônica escolhida foi organizada em AutoCAD, com as marcações necessárias para a importação do arquivo em formato DWG para o Eberick, e também a exclusão de informações desnecessárias para o projeto estrutural. Posterior à isso, o primeiro projeto foi feito no software Eberick, sendo que a primeira etapa consistiu no lançamento dos pilares, vigas e lajes, e em seguida foi realizado o

dimensionamento de cada laje. Por fim, foram gerados os detalhes das peças e o memorial de cálculo (dados fornecidos pelo software).

Posterior à essa etapa, foi realizado o dimensionamento das lajes e o memorial de cálculo com o auxílio das planilhas desenvolvidas em Excel, de acordo com a metodologia descrita em Carvalho e Filho (2014).

De acordo com tal metodologia, o pré-dimensionamento da altura das lajes deve ser realizado de acordo com a NBR 6118/1980, enquanto o dimensionamento da laje deve ter como base a NBR 6118/2014. A carga acidental adotada foi retirada da NBR 6120/1980.

Visando a objetividade do presente estudo e economia de tempo no momento da apresentação deste, foram adotadas as seguintes delimitações do tema em questão: a demonstração do dimensionamento de apenas uma laje, visto que para as demais o procedimento adotado seria o mesmo, não agregando nenhuma nova informação ou dado para o estudo; e o dimensionamento da estrutura até as etapas de detalhamento da armadura longitudinal e determinação e verificação das cargas geradas pela laje nas vigas.

Visto que o detalhamento da armadura possui muita influência de preferências do projetista, este trabalho irá realizar uma análise detalhada até a etapa da determinação da área de armadura. As etapas de detalhamento da armadura terão um caráter mais informativo do que analítico em relação as divergências de valores encontradas entre os dois dimensionamentos.

Para o dimensionamento em Excel, adotou-se a metodologia apresentada por Carvalho e Filho (2014) no exemplo 1 de dimensionamento de lajes, onde o dimensionamento das lajes é feito de modo que sejam adotadas para os cálculos, pelo menos duas lajes subsequentes, em razão da armadura longitudinal negativa em comum entre essas lajes. Na planilha desenvolvida foram adotadas duas lajes para os cálculos, e para a apresentação dos dados obtidos foi selecionada apenas uma dessas, em função da objetividade do estudo. As lajes escolhidas foram a L11 e L12, que correspondem à sala/cozinha indicadas na Figura 1. Por possuírem as maiores dimensões do projeto, consequentemente os esforços em tais lajes tendem a ser maiores. A laje que será apresentada, em termos de dados obtidos, será a L11.

Durante a realização de cada etapa dos projetos, foram verificados e anotados os critérios de comparação, que são:

- Análise dos resultados dos esforços, que consiste nas cargas atuantes na laje;
- Análise dos resultados da área de armadura longitudinal (armadura positiva e negativa).

Os dados iniciais de projeto adotados foram:

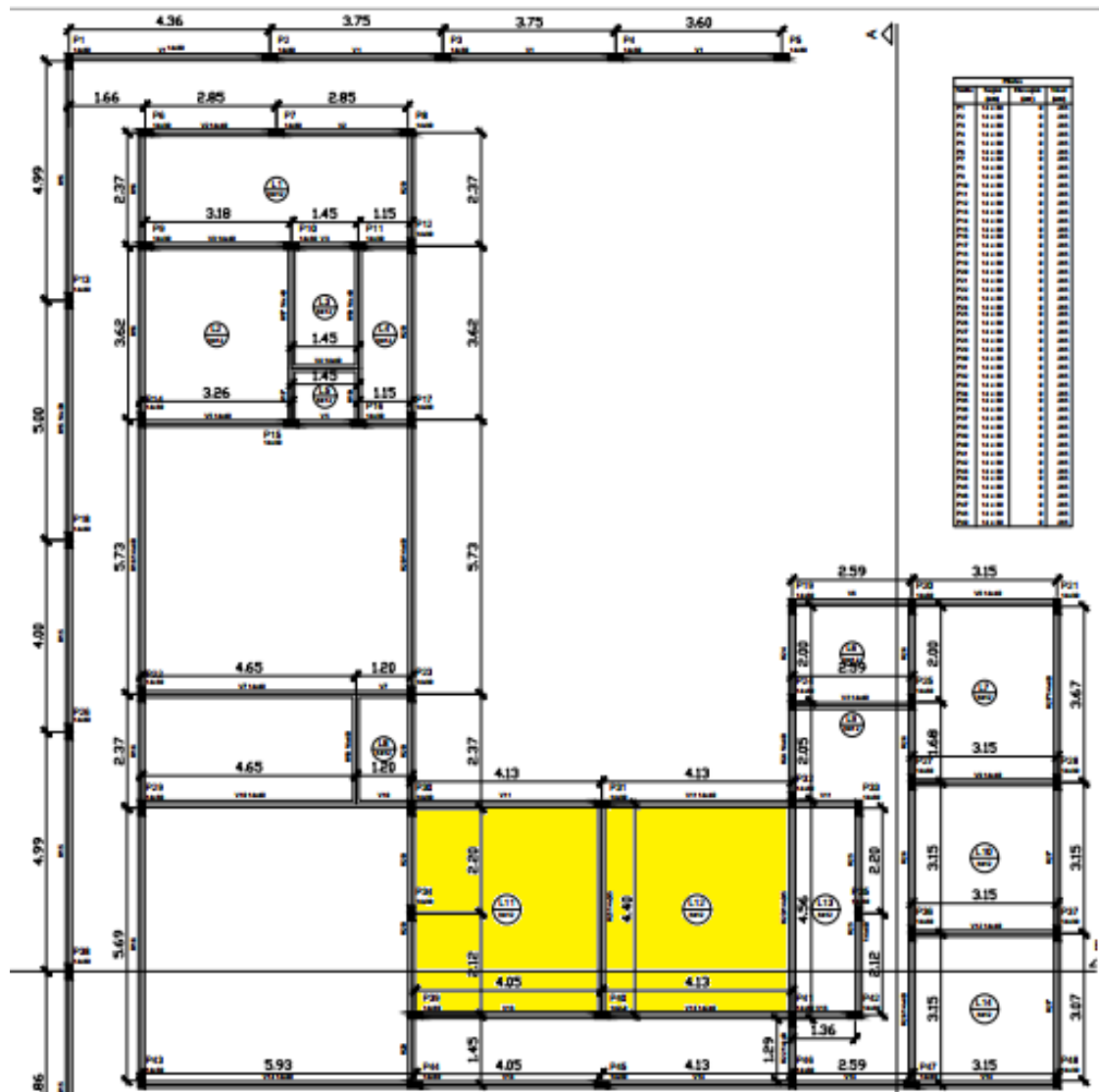
Fck: 30 Mpa	Aço: CA-50
γ_{Concreto} : 25 kN/m ³	Diâmetro inicial (Φ): 10 mm
Cobrimento: 2,5 cm	Escoramento: 14 dias
Classe de agres.: 2	Carga acidental (q): 2,5 kN/m ²
Largura da viga: 14 cm	Piso + Contrapiso: 1,815 kN/m ²
Altura da viga: 40 cm	Coef. de minoração para q (Ψ_1): 1

Para fins de compatibilização com o Eberick V8, a carga de contrapiso já está inserida na carga de piso. E devido à incerteza sobre a utilização das lajes após a ampliação

que o cliente visa fazer, no dimensionamento realizado no Excel, não foi adotado um coeficiente que minore a carga acidental, ou seja, Ψ_1 é igual a 1.

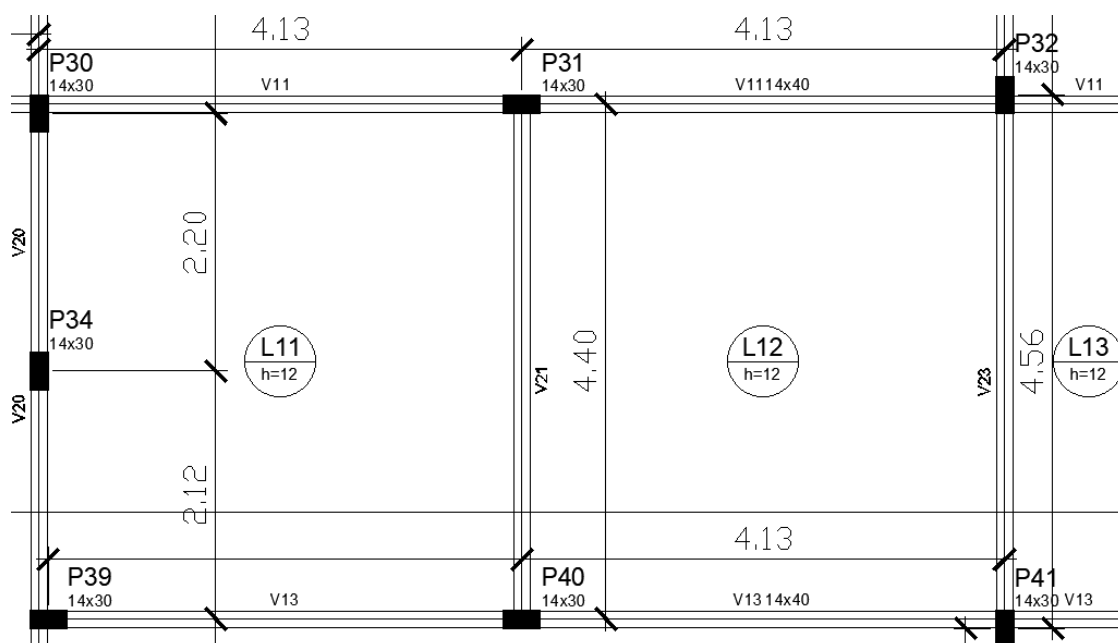
Concluídos os projetos, foi feita a análise comparativa dos dados obtidos nos dois projetos e elaboradas tabelas e comentários com os resultados encontrados para melhor compreensão de tais dados. Em conclusão, foram sintetizados os principais resultados obtidos e explicitadas as vantagens e desvantagens na utilização de cada software para elaboração de um projeto estrutural de dimensionamento de lajes.

Figura 2: Planta de formas



Fonte: Due Studio Design e Arquitetura

Figura 3: Ampliação da planta de formas, correspondente a L11 e L12.



Fonte: Due Studio Design e Arquitetura

Devido ao tamanho da planta de formas não é viável inseri-la inteira neste artigo, pois várias informações não ficariam legíveis. Portanto a figura 2 é ampliação da planta, referente a L11 e L12. (Obs.: Cotas em metros)

Como é visível na figura 2, a altura da laje sugerida foi de 12 cm, porém ao longo dos dimensionamentos (Excel e Eberick), constatou-se que 10 cm é suficiente para a estrutura.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Análise dos resultados dos esforços

Informações importantes:

g1: Peso próprio;

g2: Piso + Contrapiso;

q: Carga accidental.

Na metodologia de Carvalho e Filho (2014), é calculado a flecha para combinação quase permanente e a flecha para carga accidental, sendo que a maior flecha obtida não deve ser maior que a maior entre as flechas limites, ou então a laje deverá ser redimensionada.

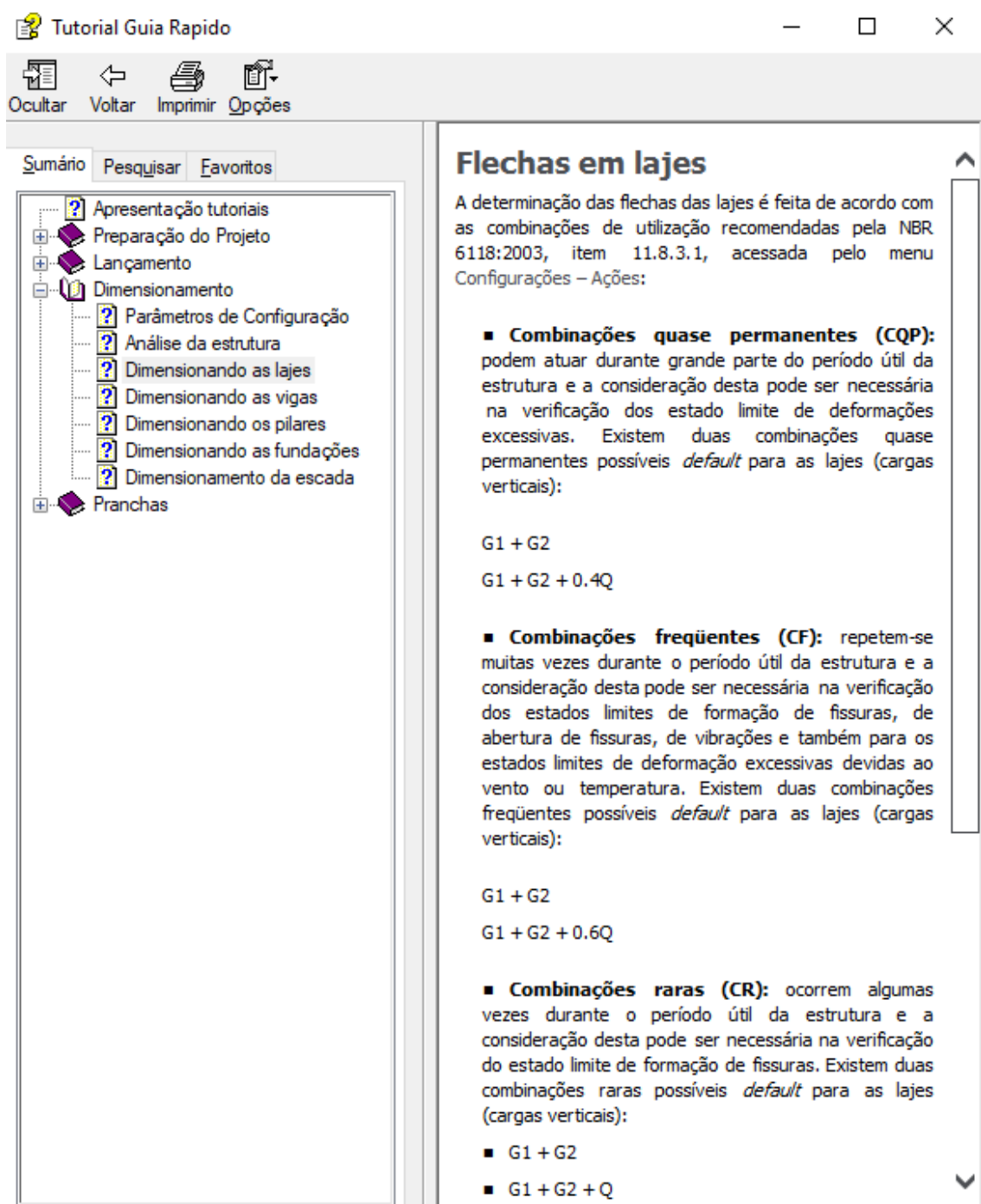
Na metodologia do Eberick, é informado no “Tutorial Guia Rápido”, contido na aba de análise de dimensionamento de lajes, que o software calcula três flechas, considerando três combinações distintas, e então adota-se a maior das flechas, sendo que, assim como na metodologia anterior, a maior flecha obtida não deve ser maior que a maior entre as flechas limites, ou então a laje deverá ser redimensionada.

Em ambas metodologias há a consideração do efeito da fluência, que “é o fenômeno em que surgem deformações, ao longo do tempo, em um corpo solicitado por tensão constante.” (Carvalho e Filho, 2014, pág. 200).

As três combinações utilizadas pelo Eberick no cálculo das flechas são:

- $g1 + g2 + 0,4 * q$
- $g1 + g2 + 0,6 * q$
- $g1 + g2 + 1 * q$

Figura 4: Combinações utilizadas pelo Eberick..



Fonte: Eberick V8 Gold

4.1.1. Análise das flechas

O procedimento para determinação das flechas se inicia com o cálculo do módulo de deformação secante (E_{cs}), descrito no item 8.2.8 da NBR 6118/2014, onde E_{ci} é o módulo de deformação.

$$E_{cs} = \alpha i * E_{ci} \quad (1)$$

Em seguida têm-se o cálculo da flecha elástica (f), da flecha para a carga obtida com a combinação quase permanente (f_{g+q} , flecha imediata) e da flecha para carga accidental (f_q), onde as equações estão descritas na pág. 358 de Carvalho e Filho (2014). Na equação, l_x é o menor vão da laje, h é a espessura da laje e α é o coeficiente para cálculo de flechas elásticas em lajes retangulares submetidas a carregamento uniformemente distribuído.

$$f = \frac{p * l_x^4}{E_{cs} * h^3} * \frac{\alpha}{100} \quad (2); \quad f(g + q) = (g_1 + g_2 + \Psi_1 * q) * \frac{l_x^4}{E_{cs} * h^3} * \frac{\alpha}{100} \quad (3);$$

$$f(q) = \frac{q * l_x^4}{E_{cs} * h^3} * \frac{\alpha}{100} \quad (4).$$

Após esse passo, é feito o cálculo da fluência para a determinação da flecha total no tempo infinito, com equações descritas no item 17.3.2.1.2 da NBR 6118/2014, onde ε é um coeficiente em função do tempo, p' é a taxa geométrica da armadura longitudinal de compressão e αi é o fator que irá multiplicar a flecha imediata para a obtenção da flecha adicional diferida.

$$\alpha i = \frac{\Delta \varepsilon}{1 + 50 * p'} \quad (5)$$

Onde: $\Delta \varepsilon = \varepsilon(\infty) - \varepsilon(t_0)$ (6)

$$\varepsilon(t_0) = 0,68 * 0,996^t * t^{0,32} \quad (7)$$

$\varepsilon(\infty) = 2$ (valor fixo para idade superior a 70 meses)

A flecha total no tempo infinito é dada então por:

$$f_{total, infinito} = f(g + q) * (1 + \alpha i) \quad (8)$$

As equações para flechas limites são encontradas na tabela 13.3 da NBR 6118/2014.

Tabela 1: Valor da flecha máxima, calculada via Excel

$f_{imediate}$ (cm) $g_1 + g_2' + g_2'' + (\Psi_1 * q)$	Flechas elásticas e limites (cm)			
	$f_{total, infinito}$	$f_{total, limite}$	f_q	$f_q, limite$
0,13	0,32	1,10	0,04	0,79

Fonte: Elaborada pelo autor

Tabela 2: Valor da flecha máxima, calculada no Excel, via metodologia do Eberick

Cálculo de flechas no Eberick (cm)		
$f(g1+g2+0,4*q)$	$f(g1+g2+0,6*q)$	$f(g1+g2+q)$
0,26	0,28	0,32

Fonte: Elaborada pelo autor

Na metodologia de Carvalho e Filho (2014), dimensionamento feito no Excel, após a verificação das flechas, adotamos no dimensionamento o valor da maior flecha limite. Já no Eberick, após a verificação das flechas, o valor da maior flecha da laje é multiplicado por um fator de segurança como pode ser visto na figura 4. Na figura é observável que o fator de segurança adotado pelo software é próximo de 3.

Tabela 3: Valor da flecha máxima, calculada via Eberick

Carga (kN/m ²)	Flecha (cm)
6,82	0,95

Fonte: Elaborada pelo autor

Foi verificado então, que a flecha máxima adotada no dimensionamento realizado no Excel, o valor foi superior ao valor adotado no dimensionamento realizado pelo Eberick em 0,15 cm.

4.1.2. Análise dos momentos

Para o entendimento deste tópico faz-se necessário a apresentação dos seguintes conceitos:

M_x é o momento positivo relacionado a X, M_y é um momento positivo relacionado a Y e M_x é o momento o negativo relacionado a X. A laje L11 se enquadra no caso 3, descrito na biografia de Carvalho Filho (2014), tal caso não contém M_{xy} , ou seja, momento negativo relacionado à y;

L_x é o lado com menor vão da laje, enquanto L_y é o lado com o maior vão;

M é o momento;

p é a carga total;

μ é o coeficiente para o cálculo dos momentos máximos em lajes retangulares uniformemente carregadas.

Os momentos encontrados via Excel utilizaram-se das equações 7.18 à 7.21 de Carvalho e Filho (2014), e como a única diferença entre as equações é o μ , pode-se resumir tais equações a apenas uma, que é:

$$M = \mu * p * \frac{Lx^2}{100} \quad (9)$$

Tabela 4: Valores dos momentos, calculados via Excel.

Mx (kN.m/m)	My (kN.m/m)	Xx (kN.m/m)	Xx (kN.m/m)
5,15	3,21	10,81	-

Fonte: Elaborada pelo autor

Tabela 5: Valores dos momentos, calculados via Eberick.

Mx (kN.m/m)	My (kN.m/m)	Xx (kN.m/m)
7,62	8,19	9,18

Fonte: Elaborada pelo autor

Obs.: A esbelteza encontrada no Excel foi de 1,07 e para efeito de cálculos foi aproximada para 1,10. Isso se deve ao fato de que o valor 1,07 não é disposto na tabela com os valores de μ . (Quadro 7.3, 7.4 e 7.5 de Carvalho e Filho (2014)).

Figura 5: Tabela para os coeficientes μ

λ	Caso 1		Caso 2			Caso 3		
	μ_x	μ_y	μ_x	μ_y	μ_y	μ_x	μ_x	μ_y
1,00	4,41	4,41	3,07	3,94	8,52	3,94	8,52	3,07
1,05	4,80	4,45	3,42	3,78	8,79	4,19	8,91	2,84
1,10	5,18	4,49	3,77	3,90	9,18	4,43	9,30	2,76

Fonte: Carvalho e Filho (2014)

Para os momentos positivos, Mx e My, calculados pelo Eberick, foram verificadas divergências nos valores, respectivamente, em kN.m/m, de 2,47 e 4,98. Enquanto para o momento negativo, Xx, a divergência foi de -1,63 kN.m/m.

O programa AltoQi Eberick calcula os pavimentos através de um modelo em analogia de grelha que integra as lajes e as vigas em uma estrutura única, obtendo resultados muito próximos da análise destes pavimentos pelo método dos elementos finitos. (Eng.º Jano d'Araujo Coelho – Engenheiro da AltoQi).

Com base na afirmação acima, vê-se que os métodos utilizados são diferentes, logo é esperado uma divergência de valores nos dimensionamentos.

4.2. Análise da armadura

Informações importantes:

As é a área de armadura;

b_w é a largura da viga;

d é a altura útil mínima da viga;

f_{cd} é a resistência do concreto dividida por um coeficiente de minoração igual a 1,4;

f_d é a resistência do aço dividida por um coeficiente de minoração igual a 1,15;

M_d é o momento.

4.2.1. Análise da área da armadura longitudinal

Antes do cálculo da área de armadura, é determinado os valores de KMD e de KZ.

KZ é encontrado, uma vez em posse do valor de KMD, no quadro 3.1 de Carvalho e Filho (2014).

KMD pode ser obtido através da equação 3.44 de Carvalho e Filho (2014, p. 140):

$$KMD = \frac{M_d}{b_w * d^2 * f_{cd}} \quad (10)$$

Uma vez determinado o valor de KZ, pode-se encontrar a área de armadura longitudinal através da equação 3.46 de Carvalho e Filho (2014, p. 144):

$$A_s = \frac{M_d}{KZ * d * f_d} \quad (11)$$

Tabela 6: Valor da área de armadura, calculada via Excel.

Momento	Mx	My	Xx
kN.m/m	5,15	3,21	10,81
A_s (cm ² /m)	2,93	1,97	6,02

Fonte: Elaborada pelo autor

Tabela 7: Valor da área de armadura, calculada via Eberick.

Momento	Mx	My	Xx
kN.m/m	7,62	8,19	9,18
A_s (cm ² /m)	2,58	3,18	3,19

Fonte: Elaborada pelo autor

Foi observado uma divergência na área de armadura ($\text{Área}_{\text{Eberick}} - \text{Área}_{\text{Excel}}$) para Mx, My e Xx, com valores em cm²/m, iguais a: -0,35; 1,21 e -2,83; respectivamente.

4.2.2. Análise do espaçamento entre as barras longitudinais

Tabela 8: Valor do espaçamento entre armadura longitudinal positiva, calculada via Excel.

Momento	Mx	My
kN.m/m	5,15	3,21
S_{final} (cm)	17	20

Fonte: Elaborada pelo autor

Tabela 9: Valor do espaçamento entre armadura longitudinal negativa, calculada via Excel.

Lajes	L1-L2
Espaçamento (cm)	13

Fonte: Elaborada pelo autor

Tabela 10: Valor do espaçamento entre armadura longitudinal positiva, calculada via Eberick.

Momento	Mx	My
kN.m/m	7,62	8,19
S_{final} (cm)	19	15

Fonte: Elaborada pelo autor

Tabela 11: Valor do espaçamento entre armadura longitudinal negativa, calculada via Eberick

Lajes	L1-L2
Espaçamento (cm)	20

Fonte: Elaborada pelo autor

Foi observado uma divergência no espaçamento da armadura ($S_{Eberick} - S_{Excel}$) para Mx, My e Xx, com valores em cm, iguais a: 2,00; -5,00 e -7,00, respectivamente.

4.2.3. Análise do comprimento das barras longitudinais

Tabela 12: Valor do comprimento da armadura longitudinal positiva, calculada via Excel.

Lx (cm)	Ly (cm)
415	442

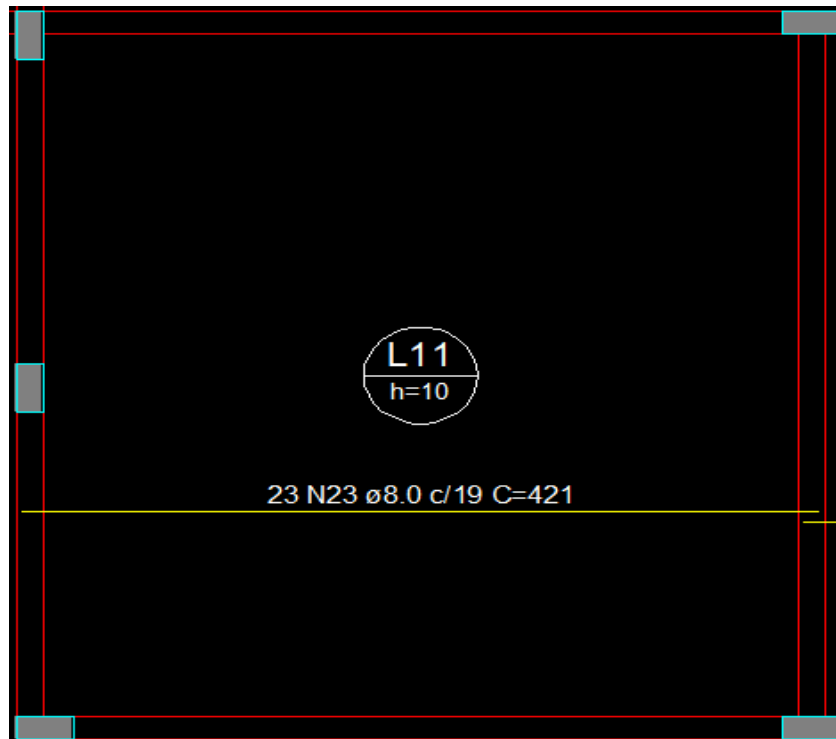
Fonte: Elaborada pelo autor

Tabela 13: Valor do comprimento da armadura longitudinal negativa, calculada via Excel.

Lajes	L1-L2
Comprimento (cm)	285

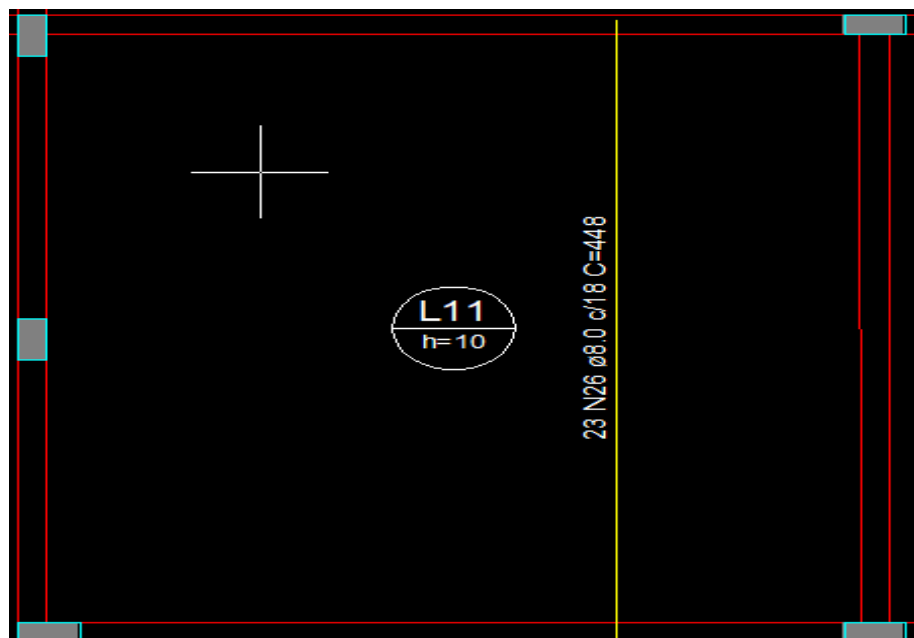
Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 6: Valor do comprimento da armadura longitudinal positiva em x, calculada via Eberick.



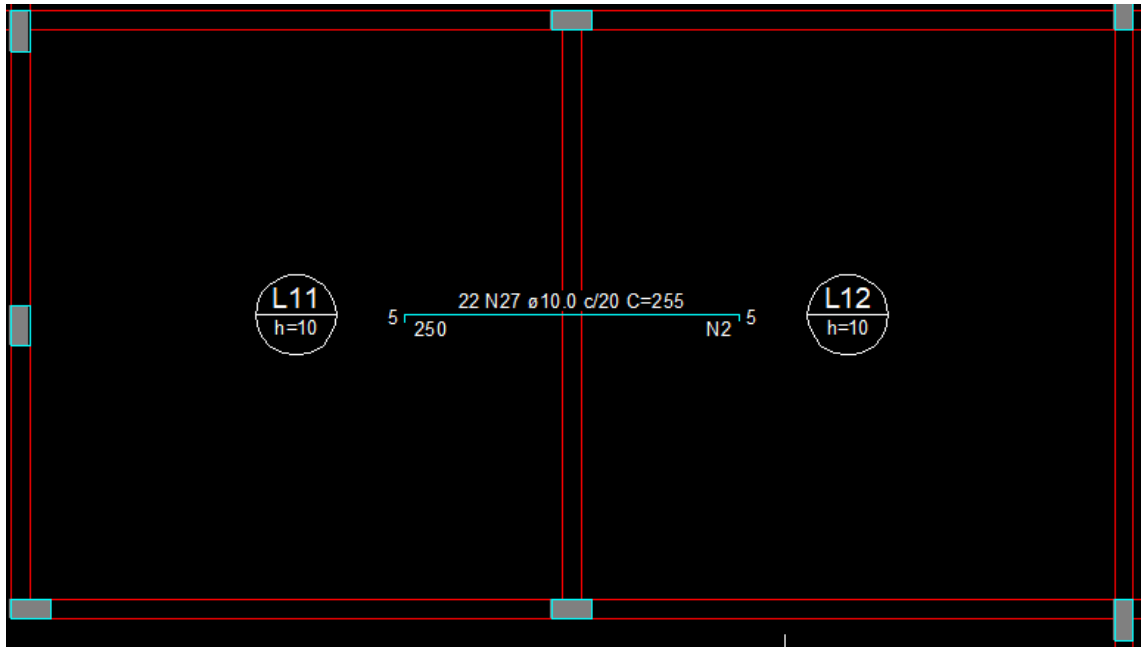
Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 7: Valor do comprimento da armadura longitudinal positiva em y, calculada via Eberick.



Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 8: Valor do comprimento da armadura longitudinal negativa, calculada via Eberick.



Fonte: Elaborada pelo autor

Foi observado uma divergência no comprimento da armadura ($S_{\text{Eberick}} - S_{\text{Excel}}$) para $L_{X\text{positiva}}$, $L_{Y\text{positiva}}$ e L_{negativa} , com valores em cm, iguais a: 6,00; 6,00 e -30,00, respectivamente.

4.2.4. Análise do número de barras longitudinais

Tabela 14: Valor do número de barras da armadura longitudinal, calculada via Excel.

Armadura positiva	
$L_x: N_{\text{barras}}$	21
$L_y: N_{\text{barras}}$	26
Armadura negativa	
N_{barras}	34

Fonte: Elaborada pelo autor

Obs: Para o número de barras longitudinais positivas, no Eberick, ver figuras do tópico 4.2.3.

Foi observado uma divergência no número de barras da armadura positiva ($C_{\text{Eberick}} - C_{\text{Excel}}$) para $L_{X\text{positiva}}$, $L_{Y\text{positiva}}$ e L_{negativa} , com valores em cm, iguais a: 2; -3 e -12,00, respectivamente.

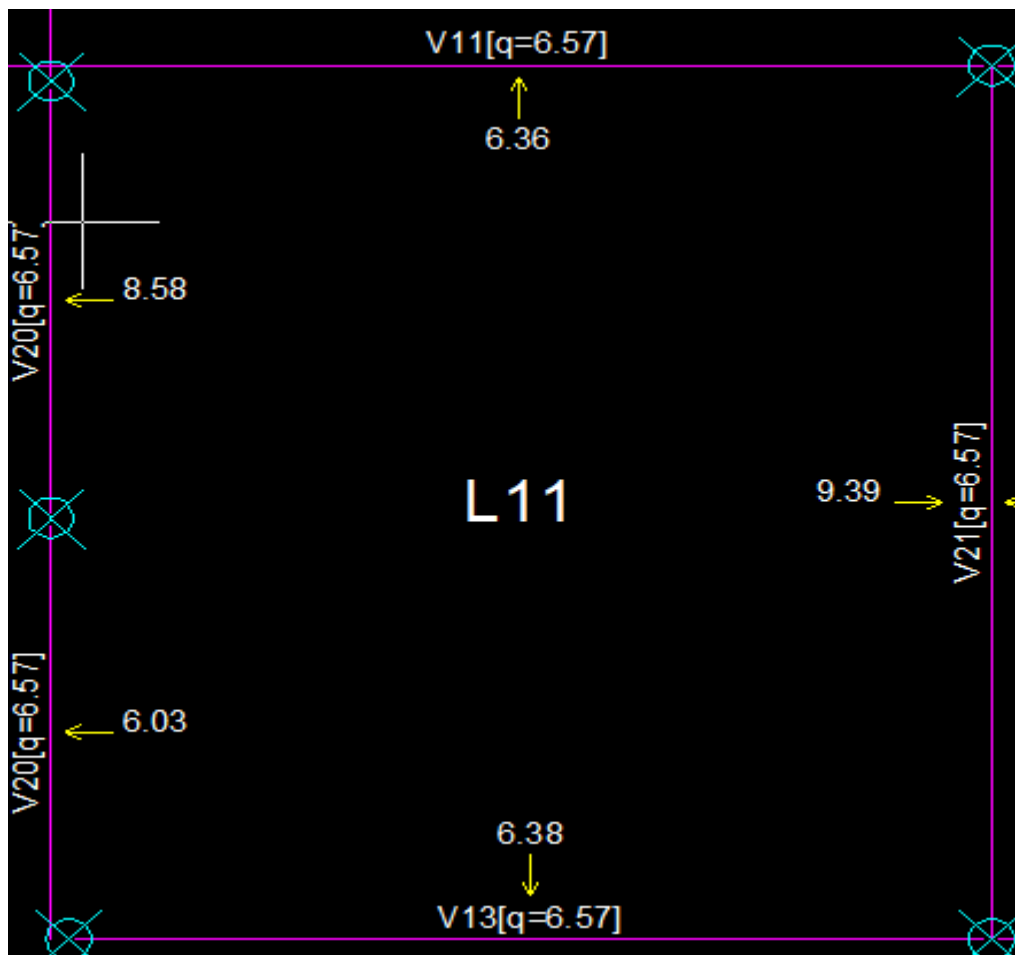
4.3. Análise dos resultados das cargas descarregadas nas vigas pela laje.

Tabela 15: Valor das cargas descarregadas nas vigas pela laje, calculada via Excel.

Viga	V11	V13	V20	V21
Carga (kN/m ²)	5,15	5,15	6,70	11,62

Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 9: Valor das cargas descarregadas nas vigas pela laje, calculada via Eberick.



Fonte: Elaborada pelo autor

Foi observado uma divergência no valor das cargas ($C_{\text{Eberick}} - C_{\text{Excel}}$) atuantes nas vigas, com valores em kN/m², mostrados na tabela abaixo:

Tabela 16: Tabela comparativa dos valores das cargas descarregadas nas vigas pela laje.

Cargas descarregadas nas vigas pela laje L11 (kN/m ²)			
Viga	Excel	Eberick	Divergência
V11	5,15	6,36	1,21
V13	5,15	6,38	1,23
V20	6,7	7,31	0,61
V21	11,62	9,39	-2,23

Fonte: Elaborada pelo autor

5. Conclusão

É nítido que há diferenças consideráveis nos dimensionamentos de lajes maciças realizados via Excel e via Eberick, sendo que a maior parte das divergências nos dimensionamentos é devida ao cálculo dos momentos, onde tais incongruências de valores são repassadas para as demais etapas do dimensionamento, gerando um “efeito cascata”.

A divergência em relação ao valor da flecha máxima, nos dois dimensionamentos, é mínima, e tendo em vista que em ambos os dimensionamentos a altura da laje teve igual valor, a interferência do valor da flecha também é mínima nas etapas posteriores ao dimensionamento desta.

É plausível afirmar que o dimensionamento via Eberick preza pela segurança da estrutura, mas em contrapartida apresenta um resultado no qual a quantidade de materiais necessários para execução da estrutura é maior. É verificado que somente no dimensionamento das armaduras longitudinais negativas a segurança da estrutura perde seu posto de destaque, visto que os valores encontrados são inferiores aos valores obtidos pela metodologia de Carvalho e Filho (2014).

Tanto o projeto de dimensionamento de lajes maciças realizado no Excel quanto o realizado no Eberick fornecem valores confiáveis em relação a NBR 6118 e outras bibliografias utilizadas nesse trabalho, e as diferenças de valores se devem a metodologias adotadas por cada um desses métodos de projeto.

REFERÊNCIAS

- ALTOQI. **Tutorial_EB_Básico**. Help.AltoQI, 2018. Disponível em: <http://help.altoqi.com.br/Tutorial_EB_Basico/#pageid=introducao_basico>. Acesso em: 24 de ago. de 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações**. Rio de Janeiro, 1980.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro, 1980.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2014.
- BANKI, A. L. Modelos de análise de lajes de concreto armado. **AltoQI**, 2013. Disponível em: < <http://faq.altoqi.com.br/content/245/588/pt-br/modelos-de-an%C3%A1lise-de-lajes-de-concreto-armado.html>>. Acesso em: 26 ago. de 2021.
- BOTELHO, M. H. C.; MARCHETTI, O. **Concreto armado, eu te amo**. 8. ed. São Paulo: Pini, 2015.
- CARGAS para projetos estruturais NBR 6120. **Portal do Projetista**. Disponível em: < <https://portaldoprojetista.com.br/cargas-para-projetos-estruturais-nbr-6120/>>. Acesso em: 26 ago. de 2021.
- CARVALHO, Roberto Chust; FIGUEIREDO FILHO, Jasson Rodrigues. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado: segundo a NBR 6118:2014**. 4. ed. São Carlos: EdUFSCar, 2014.
- COELHO, J. A. Os projetos elaborados com o Eberick são superdimensionados? **AltoQI**, 2013. Disponível em: < <http://faq.altoqi.com.br/content/256/630/pt-br/os-projetos-elaborados-com-o-eberick-s%C3%A3o-superdimensionados.html>>. Acesso em: 28 ago. de 2021.
- FRANCESCHI, Lucas. **Principais configurações de dimensionamento no Eberick**. QI Suporte, 2021.
- GIUGLIANI, Eduardo. **Estruturas de Concreto Armado: Tabelas de Apoio**. Porto Alegre: Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. Disponível em: < https://www.politecnica.pucrs.br/professores/giugliani/ARQUITETURA_-_Sistemas_Estruturais_II/99_Tabelas_de_Apoio.pdf>. Acesso em: 26 ago. de 2021.
- HISTÓRIA dos softwares: O AutoCAD e suas contribuições para as engenharias e arquitetura. **Razor computadores**, 2020. Disponível em: <<https://razorcomputadores.com.br/blog/tecnologia/historia-do-autocad/>>. Acesso em: 15 fev. de 2021.
- KIMURA, Alio Ernesto. **Informática aplicada em estruturas de concreto armado: cálculo de edifícios com o uso de sistemas computacionais**. 1. Ed. São Paulo: Pini, 2007.
- MARIANO, M.A.C. **Aplicação e análise da utilização do software Eberick em um projeto residencial popular**. São Paulo: UNESP, 2015.

MEYER, Maximiliano. O que é Excel? **Aprender Excel**, 2013. Disponível em: <<https://www.aprenderexcel.com.br/2013/tutoriais/o-que-e-excel>>. Acesso em: 14 fev. de 2021.

MOREIRA, H. F. **Análise comparativa do dimensionamento de uma estrutura em concreto armado com a utilização de softwares**. Orientador: Tiago de Moraes Faria Novais. 2018. 77f. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, UNIFOR. Minas Gerais. 2018. Disponível em: <http://rangelage.com.br/wp-content/uploads/2019/06/TCC_An%C3%A1lise-Comparativa-dimensionamento-softwares.pdf>. Acesso em: 15 fev. de 2021.

PEREIRA, Caio. Laje: O que é e principais tipos. **Escola Engenharia**, 2019. Disponível em: <<https://www.escolaengenharia.com.br/laje/>>. Acesso em: 21 fev. de 2021.

PROJETO estrutural. **Rochedo Engenharia**, 2021. Disponível em: <<http://www.rochedoengenharia.eng.br/servicos/projeto-estrutural-sorocaba.php>>. Acesso em: 16 fev. de 2021.

QUEM foi o grande responsável e quando surgiu o Excel?. **Terra**, 2017. Disponível em: <<https://www.terra.com.br/noticias/dino/quem-foi-o-grande-responsavel-e-quando-surgiu-o-excel,f349de3e51654d2473aa2528c45f9e37bmsffnfi.html#:~:text=A%20vers%C3%A3o%20do%20Microsoft%20Excel,dos%20usu%C3%A1rios%20do%20mundo%20todo>>. Acesso em: 15 fev. de 2021.



**INSTITUTO FEDERAL
DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA**
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
GOIÁS

Documento Digitalizado Público

TCC Versão Final

Assunto: TCC Versão Final
Assinado por: Gracielly Prado
Tipo do Documento: Documento de Oficialização da Demanda
Situação: Finalizado
Nível de Acesso: Público
Tipo do Conferência: Cópia Simples

Documento assinado eletronicamente por:

- **Gracielly Silva Prado, AUX EM ADMINISTRACAO**, em 19/10/2021 09:46:48.

Este documento foi armazenado no SUAP em 19/10/2021. Para comprovar sua integridade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifg.edu.br/verificar-documento-externo/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 209720

Código de Autenticação: 9d2c836f0d

