Anais do Congresso Brasileiro de Iniciação Científica
(https://periodicos.unisanta.br/COB)

ISSN 2317-1316

ACPEC: APRENDER A CALCULAR E PROJETAR NA ÁREA DA ENGENHARIA CIVIL COM FOCO EM ESTRUTURAS BIDIMENSIONAIS PLANAS

ACPEC: LEARNING TO CALCULATE AND DESIGN IN CIVIL ENGINEERING AREA WITH A FOCUS ON TWO-DIMENSIONAL PLANAR STRUCTURES

Gabriel Oliveira Silva, Júlio Cesar de Barros Lins, Isaac Aguiar Oliveira

Universidade Santa Cecília, Faculdade de Engenharia, Curso de Engenharia Civil
E-mail para contato: gabrielp12.go@gmail.com

RESUMO – Durante a formação no curso de engenharia civil, um dos temas abordados na grade curricular é o Cálculo Estrutural. Sendo assim, este projeto tem como objetivo desenvolver um aplicativo que auxilie os alunos e os professores no aprendizado do assunto, com ênfase em estruturas bidimensionais planas. Foi desenvolvido um programa com interface original e exercícios feitos para resolução, estruturados em roteiros de cálculo. Os resultados dos exercícios foram comparados com os valores obtidos em outros softwares como forma de validação. A maior parte dos exercícios resultaram nos valores mínimos de uso, mas demostrou com êxito a resolução de cada caso. O aplicativo não está pronto para entrar no mercado de trabalho, porém apresenta uma prévia de suas funcionalidades.

Palavras-chave: Construção. Estrutura. Dimensionamento. Aprendizado. Aplicativo.

ABSTRACT – During a civil engineering degree, one of the topics covered in the curriculum is Structural Calculation. Therefore, this project aims to develop an application that assists students and teachers in learning the subject, with an emphasis on planar two-dimensional structures. A program was created with an original interface and problem-solving exercises, structured as calculation guides. The results of the exercises were compared with values obtained using other software as a form of validation. Most of the exercises resulted in minimum usage values but successfully demonstrate the resolution of each case. The app is not yet ready for the market, but it offers a preview of its functions.

Keywords: Construction; Structure; Sizing; Learning; Application.

ISSN 2317-1316

1 INTRODUÇÃO

Dentre as etapas presentes no projeto de edificações está o cálculo dos elementos estruturais da obra. De acordo com Kripka (2020), esta fase tem por finalidade definir os esforços e deformações que ocorrem nos elementos estruturais a partir de cargas aplicadas direta e indiretamente sobre elas.

Atualmente, há diversos aplicativos que facilitam e aceleram este processo. Contudo, ter conhecimento dos cálculos manuais é fundamental para entender o processo efetuado pela máquina, aprimorá-lo caso necessário e executá-lo em momentos em que não é possível acessar o aplicativo. Por isso, os cursos de Engenharia Civil apresentam um conteúdo programático de cálculo estrutural na forma de bibliografias, apostilas e seminários.

Apesar da variedade de ferramentas, há alunos que têm dificuldade em compreender este tema e, em alguns casos, prolongam o tempo de graduação por precisarem refazer a disciplina. Uma alternativa adotada em algumas redes de ensino foi a inserção de aulas voltadas ao ensino da utilização de programas de dimensionamento, como o *TQS* e o *Cype3D*. Porém, eles apresentam um foco comercial e carecem de opções didáticas.

Sendo assim, o objetivo deste projeto é desenvolver um aplicativo voltado ao ensino de cálculo e dimensionamento estrutural, apresentando de forma didática e interativa o passo a passo para auxiliar alunos de graduação e formação técnica na compreensão do assunto. As aulas foram montadas em roteiros, com ênfase em estruturas bidimensionais planas, como chapas metálicas e lajes de concreto armado. Posteriormente, eles foram adaptados para serem integrados à linha de código do aplicativo, que apresenta um layout e logotipo próprios. Seus resultados foram verificados para exibir a credibilidade dos cálculos.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A execução foi feita a partir da simulação de estruturas bidimensionais planas comumente vistas na construção de edificações com materiais metálicos ou concreto armado.

Primeiro, foi montada uma apostila digital descrevendo como devem ser calculadas e dimensionadas algumas estruturas. Ela descreve como efetuar as equações e a importância de cada etapa. O arquivo foi elaborado com o uso do aplicativo *Smath Solver* e apresenta desenhos feitos pelos aplicativos *Autodesk AutoCAD* e *Cype3D*.

ISSN 2317-1316

2.1 Concreto Armado

Para estruturas de concreto armado, o arquivo caracteriza o dimensionamento de lajes maciças. Há quatro modelos diferentes e o cálculo de cada um, apresentando o peso total da estrutura, momentos para cada direção, posição da linha neutra, área de aço necessária e mínima e definição das bitolas. A Figura 1 apresenta uma das fôrmas utilizadas e a Tabela 1 exibe os dados específicos da estrutura, comuns a todos os modelos. Estes dados foram baseados nas informações descritas nas normas ABNT NBR 6120 (2019) e ABNT NBR 6118 (2023).

Figura 1 - Modelos de laje maciça.

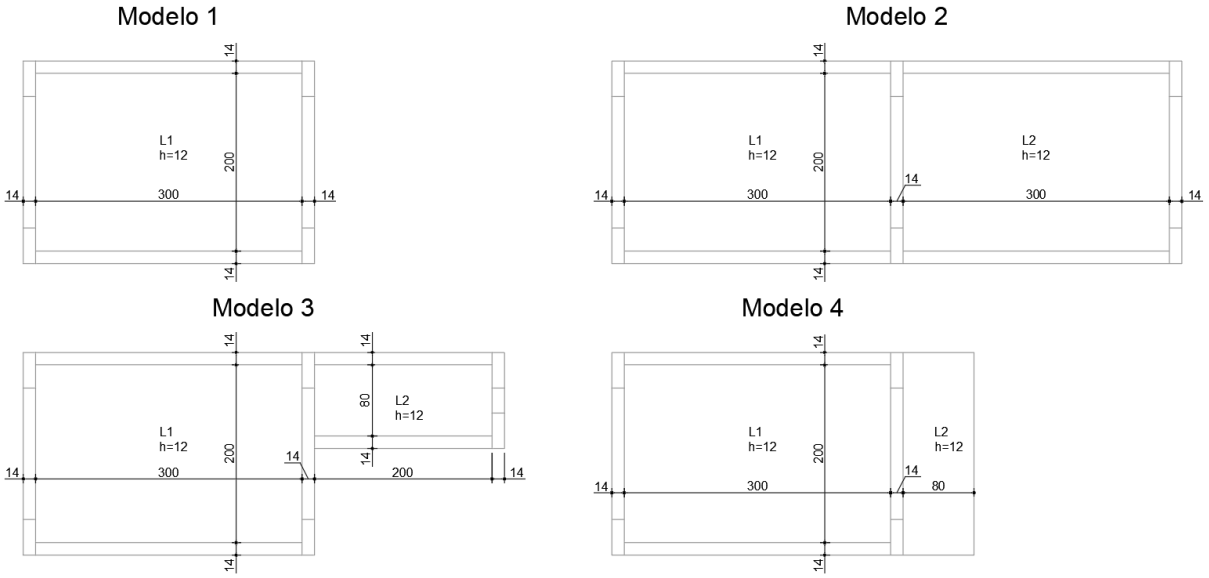


Tabela 1 – Dados para dimensionamento das lajes.

Peso Específico do Concreto	25 kN/m³	Classe de Agressividade Ambiental	Moderada (II)
Classe do Concreto	C30		
Classe do aço	CA50	Espessura da laje	12 cm
Carga do revestimento	1 kN/m²	Carga Variável	1,5 kN/m²

O processo foi executado respeitando as normas citadas anteriormente e o método de cálculo teve como base as literaturas de Carvalho (2024) e Adorna (2021), dimensionando o momento fletor das lajes pelo Método de Marcus.

ISSN 2317-1316

2.2 Estrutura Metálica

Para as estruturas metálicas, o roteiro apresenta o dimensionamento de dois modelos estruturais: uma chapa de base de pilar metálico e um nó de ligação viga-pilar. A chapa de base é submetida a esforços axiais e cortantes, enquanto a chapa de ligação viga-pilar é solicitada exclusivamente por esforço cortante. O processo foi conduzido em conformidade com a ABNT NBR 8800 (2024) e a literatura de Neto (2020), adotando-se o aço ASTM A36. A metodologia contempla a definição dos fatores de cálculo e coeficientes de ponderação, abrangendo a determinação das dimensões geométricas das chapas (área e espessura), a verificação dos estados limites últimos e de serviço, além da validação da resistência das fixações por parafusos M16 A325 e solda de filete E60. Esses e os demais dados são informados na Tabela 2.

Tabela 2 – Dados do aço para o dimensionamento das chapas.

Peso específico do aço	7,85ft/m³
Módulo de elasticidade do aço	200 Gpa
Escoamento do aço A36	250 Mpa
Cargas	Axial: 300kN
	Cortante: 50kN e 100kN

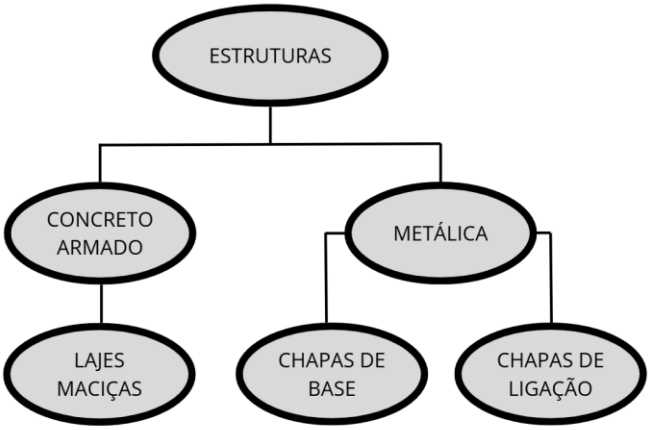
2.3 Desenvolvimento do Aplicativo

Ao finalizar a Apostila, o conteúdo foi adaptado e inserido em um código de programação para criar o software. A aparência do aplicativo foi montada com o auxílio do *Figma*, um site de acesso gratuito usado para montagem de interfaces e molde de programas. Ele funciona no sistema operacional *Microsoft Windows* e foi feito utilizando *Tauri*, uma ferramenta de programação que simplifica e agiliza a montagem dos códigos, utilizando as linguagens de programação *Typescript* e *Rust*.

O aplicativo mostra as aulas divididas em categorias e armazenadas em pastas, como é representado no fluxograma abaixo (Figura 2). Esta caracterização foi feita para que, após a finalização do projeto, seja possível uma expansão do conteúdo com outros tipos de estruturas, materiais e áreas de execução.

ISSN 2317-1316

Figura 2 - Fluxograma dos Arquivos das Aulas.



Durante a aula, cada etapa é explicada e o usuário precisará assinalar a alternativa correta para passar para a próxima etapa, recebendo um aviso caso a resposta esteja errada. Esta regra segue até o final do exercício, em que exibirá uma tabela com a quantidade de tentativas feitas em cada questão.

2.4 Verificação de Dados

Para validação dos cálculos efetuados, os modelos foram comparados com os desenvolvidos nos softwares *TQS* e *Cype3D*. Os dois programas analisaram as estruturas modeladas e seus resultados foram comparados com os exibidos no aplicativo do projeto, com o objetivo de trazer valores semelhantes.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Roteiro de Cálculo

A partir do *Smath Solver*, na versão 1.5.0.9678, o passo a passo de cada modelo foi feito de forma semiautomática. Ou seja, ao inserir os dados preliminares, as equações são calculadas imediatamente, com os valores e unidades compatíveis. Entretanto, certas etapas exigem uma interferência do usuário para continuidade, como a análise de tabelas e definição do tipo de equação utilizada em cada situação.

Para facilitar a compreensão, foi alterada a aparência das caixas de texto, conforme a seguinte categorização:

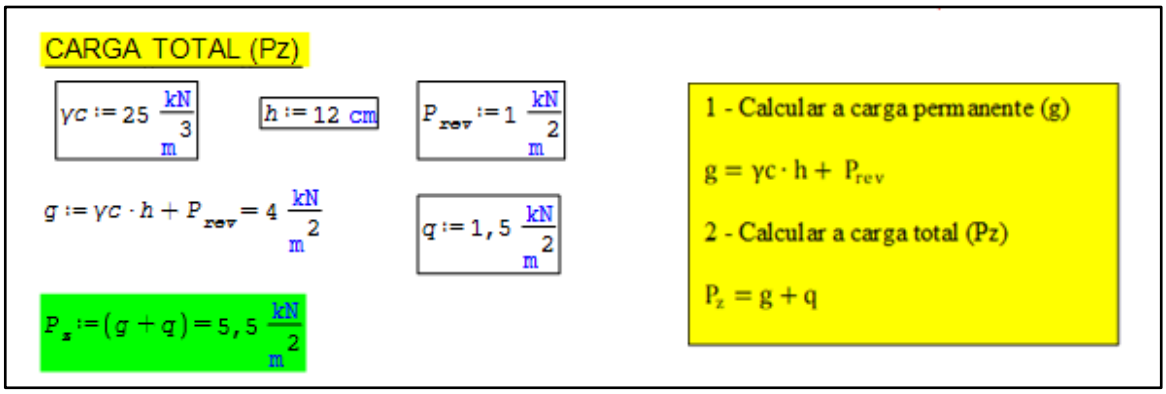
- Fundo vazio e sem borda: Cálculo automatizado;

ISSN 2317-1316

- Fundo vazio e borda preta: Valor determinado pelo calculista;
- Fundo amarelo e texto comum: Explicação da etapa de cálculo;
- Fundo amarelo e texto sublinhado: Título da etapa de cálculo;
- Fundo verde: Resposta da etapa atual.

A Figura 3 a seguir mostra uma parte do processo de cálculo das lajes maciças, exemplificando o uso da categorização das caixas de texto.

Figura 3 – Exemplo de Categorização das Caixas de Texto no Smath Solver



Com os exercícios finalizados, foi elaborada uma planta para exibir as armações utilizadas para cada estrutura

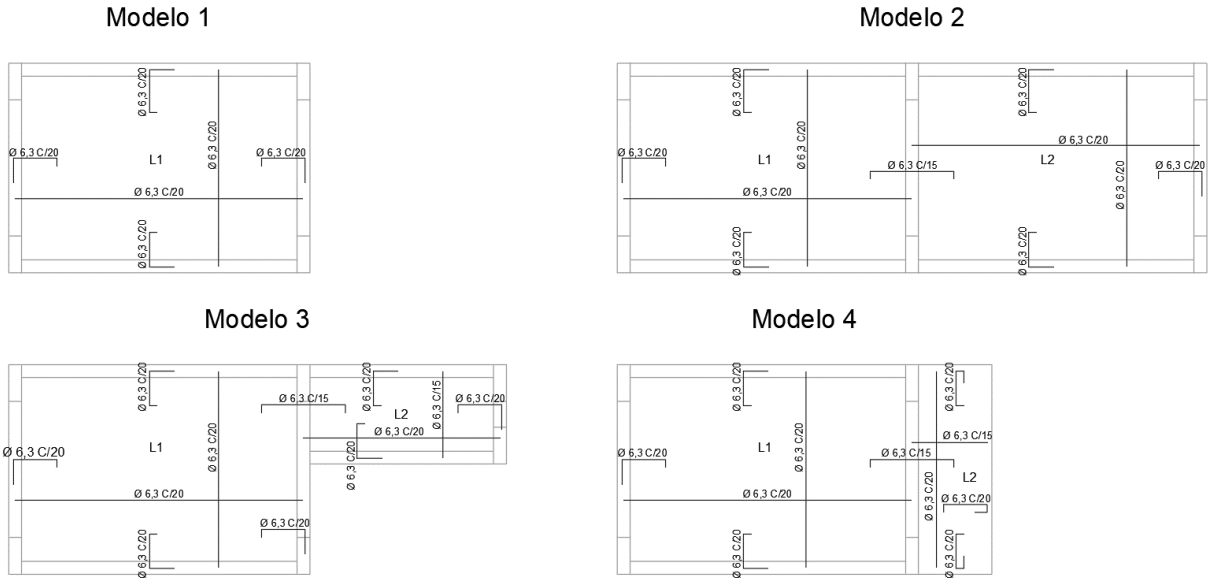
3.1.1 CONCRETO ARMADO

A Figura 4 mostra os valores referentes às lajes maciças. Em todas as ocasiões, a armadura utilizada foi referente à armação mínima da estrutura, pois os esforços solicitados não geraram um momento fletor alto o suficiente para superar os critérios mínimos.

No processo de cálculo, o fator de resistência dos materiais, tanto característico como o calculado, e a carga total são semelhantes nos quatro modelos. Isto ocorre porque esses valores estão interligados com os dados preliminares de cada exercício. Como estes dados são comuns para todos os modelos, os resultados também são.

ISSN 2317-1316

Figura 4 – Armação das Lajes conforme Smath Studio

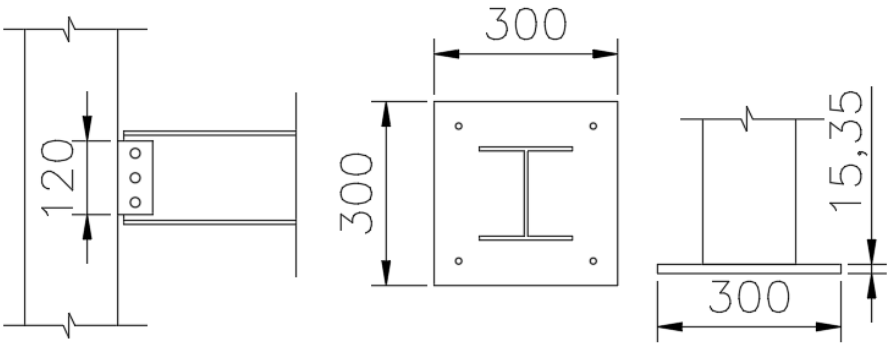


3.1.2 ESTRUTURAS METÁLICAS

Para as chapas metálicas de base de pilares e de ligação viga-pilar, foram calculadas a área e espessura mínima, os chumbadores e as soldas para a fixação conforme o carregamento teórico de projeto. Na chapa de base, submetida a uma compressão axial de 300 kN e cortante de 50 kN, adotou-se um perfil W 150x22,5 em aço A36 sobre uma chapa de 25x25 cm. O dimensionamento resultou em uma espessura mínima de 15,69 mm para suportar a tensão de contato no concreto, além de quatro chumbadores M16 e solda de filete de 6 mm. Já para a ligação viga-pilar, sujeita a um esforço cortante de 100 kN, adotou-se uma chapa de alma com 12 cm de altura e 8 mm de espessura, fixada por três parafusos M16 A325 e solda de filete de 6 mm. A Figura 5 apresenta os detalhes geométricos e os resultados obtidos para as chapas metálicas dimensionadas.

ISSN 2317-1316

Figura 5 – Resultados das chapas de base e de ligação conforme Smath Studio



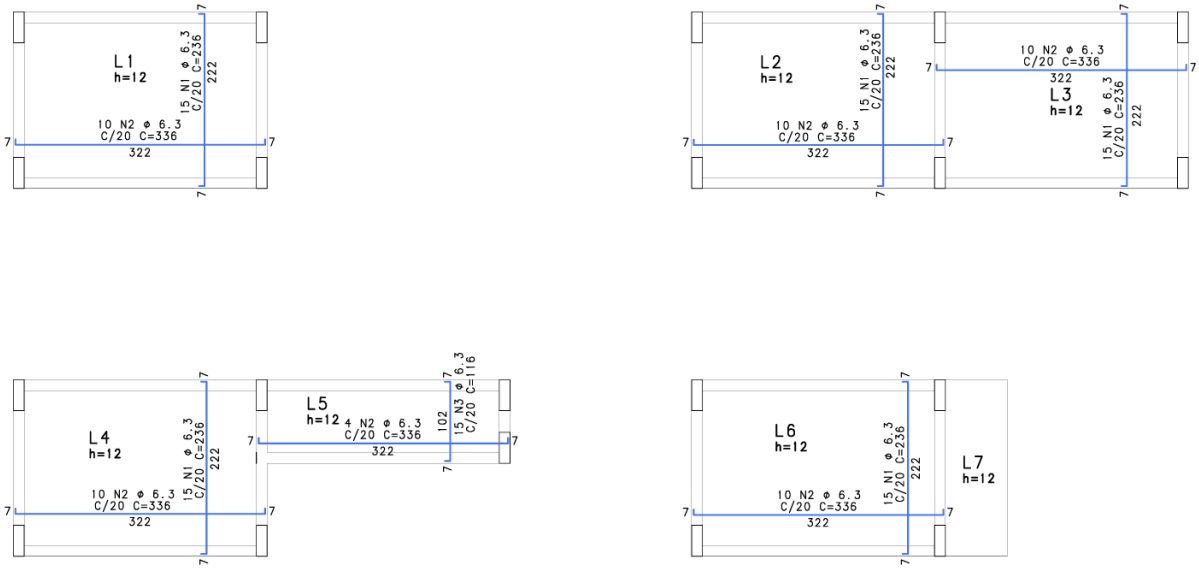
3.2 Verificação de Resultados

Para validar e comparar os valores obtidos, os modelos foram construídos em softwares de cálculo estrutural presentes no mercado.

3.2.1 CONCRETO ARMADO

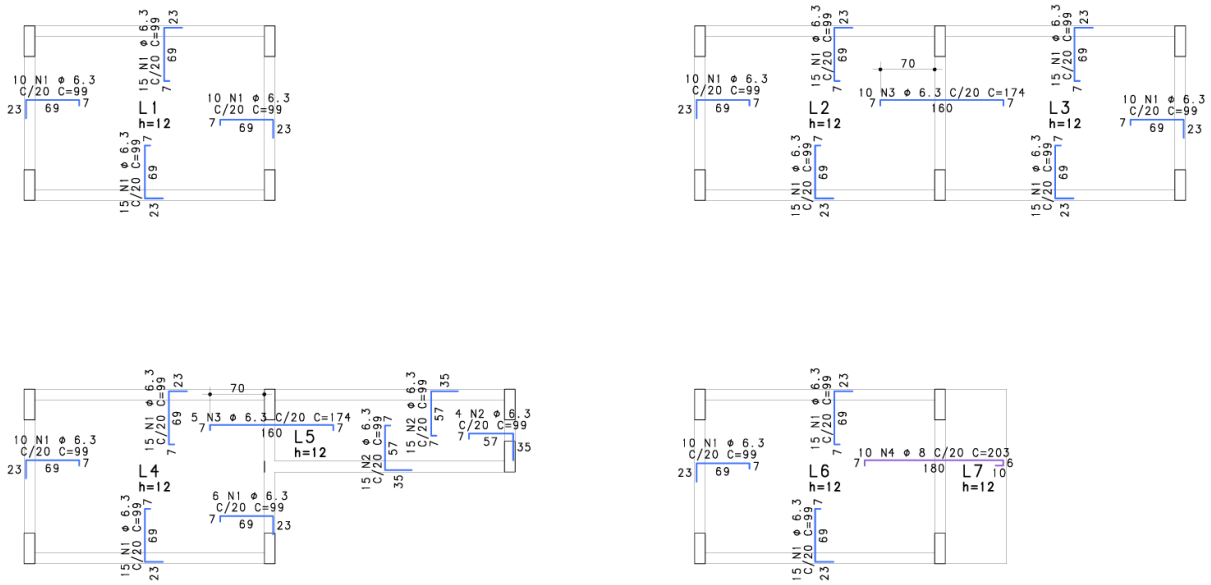
As lajes foram feitas no programa *TQS*, na versão 25.14. Seu dimensionamento foi feito pelo processo simplificado, com base na ABNT NBR 6118 e o cálculo dos esforços foi executado pelo processo elástico utilizando o Método de Czerny. As Figuras 6 e 7 mostram os resultados gerados pelo software.

Figura 6 – Armação Positiva das Lajes conforme TQS



ISSN 2317-1316

Figura 7 – Armação Negativa das Lajes conforme TQS



Ao comparar, nota-se que a armação positiva gerada pelo *TQS* só se diferencia nas lajes L5, que possui um espaçamento menor na direção principal, e L7, que não possui armação positiva. Já para as armaduras negativas, o *TQS* forneceu uma armação diferente entre as lajes dos modelos 2, 3 e 4. O restante dos dados apresenta-se com valores semelhantes. A Tabela 3 apresentada a seguir demostra de forma mais prática a comparação de dados. Para interpretação, considere a direção "x" como eixo horizontal e a direção "y" como eixo vertical das lajes.

Tabela 3 – Comparação da armação das lajes.

Armação	Fonte dos Dados	Modelo 1	Modelo 2		Modelo 3		Modelo 4	
		L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7
Positiva (direção x)	Smath Studio	Ø 6,3 C/20	Ø 6,3 C/20	Ø 6,3 C/20	Ø 6,3 C/20	Ø 6,3 C/20	Ø 6,3 C/20	Ø 6,3 C/15
	TQS	Ø 6,3 C/20	Ø 6,3 C/20	Ø 6,3 C/20	Ø 6,3 C/20	Ø 6,3 C/20	Ø 6,3 C/20	-
Positiva (direção y)	Smath Studio	Ø 6,3 C/20	Ø 6,3 C/20	Ø 6,3 C/20	Ø 6,3 C/20	Ø 6,3 C/15	Ø 6,3 C/20	Ø 6,3 C/20
	TQS	Ø 6,3 C/20	Ø 6,3 C/20	Ø 6,3 C/20	Ø 6,3 C/20	Ø 6,3 C/20	Ø 6,3 C/20	-
Negativa (borda)	Smath Studio	Ø 6,3 C/20	Ø 6,3 C/20	Ø 6,3 C/20	Ø 6,3 C/20	Ø 6,3 C/20	Ø 6,3 C/20	Ø 6,3 C/20
	TQS	Ø 6,3 C/20	Ø 6,3 C/20	Ø 6,3 C/20	Ø 6,3 C/20	Ø 6,3 C/20	Ø 6,3 C/20	-
Negativa (entre lajes)	Smath Studio	-	Ø 6,3 C/15		Ø 6,3 C/15		Ø 6,3 C/15	
	TQS	-	Ø 6,3 C/20		Ø 6,3 C/20		Ø 8 C/20	

3.2.2 ESTRUTURAS METÁLICAS

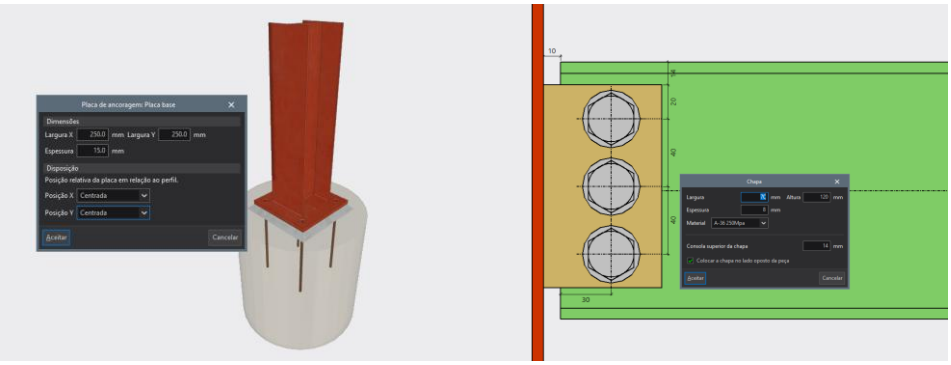
As chapas foram verificadas no *Cype3D*, versão 2027.a, com os mesmos parâmetros e coeficientes adotados no roteiro de cálculo. Para a chapa de ligação viga-pilar, a verificação

ISSN 2317-1316

apresentou concordância integral, o software forneceu a mesma espessura e as mesmas dimensões obtidas analiticamente.

Na chapa de base, houve uma pequena diferença de espessura. No *Smath Studio* resultou em 15,691 mm, enquanto o *Cype3D* adotou 15 mm. A diferença é de 0,691 mm, equivalente a aproximadamente 4,40% em relação ao valor calculado, ou seja, a espessura do software ficou cerca de 4,40% inferior. Essa variação provavelmente decorre de algum coeficiente de resistência considerado no cálculo da espessura da chapa. As demais verificações da chapa de base permaneceram semelhantes. A Figura 8 mostra a visualização dos dimensionamentos retirados do *Cype3D*.

Figura 8 – Visualização dos resultados retirados do Cype3D

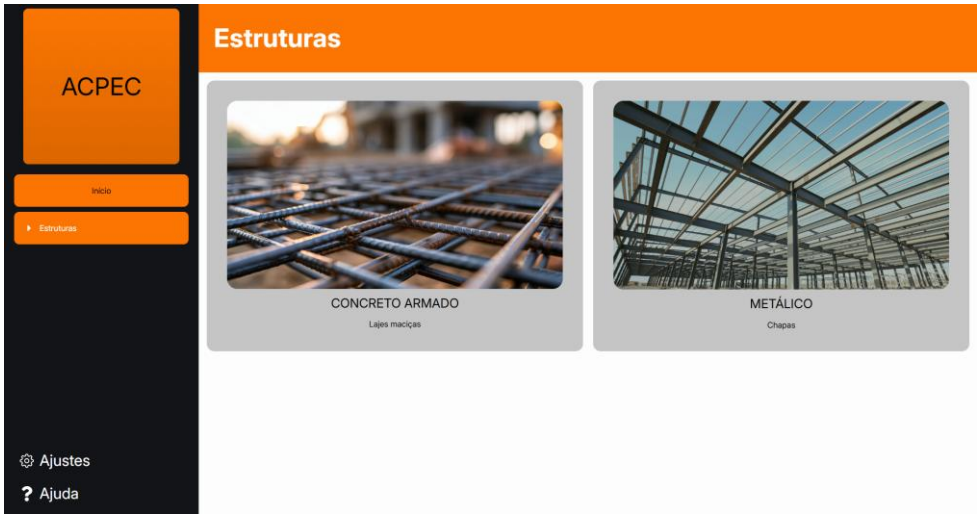


3.3 Desenvolvimento do Aplicativo

Com o uso do website *Figma*, foi montada a aparência do aplicativo. A paleta de cores utilizada foi laranja, cinza claro e preto e recebeu o nome de ACPEC, uma sigla proveniente da frase “aprender a calcular e projetar na área da engenharia civil”. A Figura 9 apresenta o *layout* da página inicial, exibindo o logotipo do software e as pastas de arquivos, que seguem o fluxograma já apresentado na Figura 2.

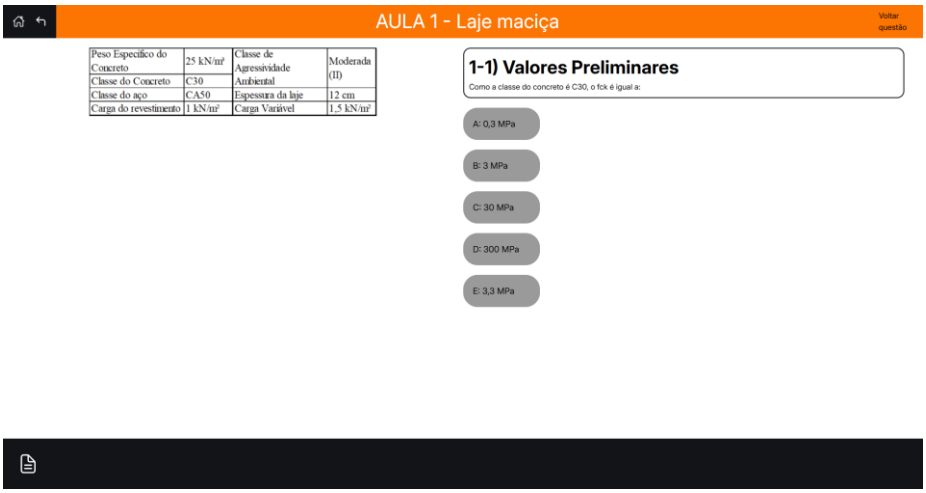
ISSN 2317-1316

Figura 9 – Página Inicial do Aplicativo



Na pasta das aulas, o dimensionamento dos modelos foi adaptado para um formato de perguntas e respostas alternativas, com uma explicação teórica em cada etapa de cálculo. Como mostra a Figura 10, o lado esquerdo da tela foi dedicado a mostrar imagens, tabelas e equações, enquanto o lado direito exibe textos e as alternativas das questões. Na parte de cima, o ícone de "casa" leva à página inicial e o "voltar" para a pasta com as aulas da estrutura em estudo. Na parte de baixo, o ícone "papel" apresenta os resultados que já foram obtidos durante a execução do dimensionamento.

Figura 10 – Questionário de Aulas do Aplicativo



4 CONCLUSÃO

ISSN 2317-1316

Apesar das diferenças entre os resultados do dimensionamento feitos pelo *Smath Studio* e os valores obtidos na verificação, a construção dos exercícios foi finalizada com êxito. A programação piloto do aplicativo foi concluída e está funcionando corretamente. Entretanto, o produto não está pronto para entrar em uso nas instituições de ensino pois é fundamental que haja mais exemplos de exercícios com dados variados. Além disso, o aplicativo precisa se expandir para ter aulas de dimensionamento de outros tipos de estrutura e outros materiais. Agradecemos aos nossos familiares e amigos pelo incentivo, ao colaborador por auxiliar nas etapas de programação e aos professores e ao orientador que contribuíram na pesquisa e construção do artigo.

5 DECLARAÇÃO DE USO DE IA

Durante a elaboração deste trabalho, utilizou-se a ferramenta *ChatGPT* versão GPT-5.6 para correção gramatical. O conteúdo gerado foi revisado, adaptado e validado pelos autores, que assumem total responsabilidade pelo texto final.

6 REFERÊNCIAS

ADORNA, Diego Da Luz et al. Concreto Armado: Vigas e Lajes. Porto Alegre: Grupo A, 2021.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR 6120: Ações para cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR 8800: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. Rio de Janeiro: ABNT, 2024.

CARVALHO, Roberto Chust; FILHO, Jasson Rodrigues De Figueiredo. Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado Segundo a NBR 6118:2023. 5. ed. São Carlos: EdUFSCar, 2024.

KRIPKA, Moacir. Análise estrutural para engenharia civil e arquitetura: estruturas isostáticas. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2020.

NETO, Jary De Xerez; DA CUNHA, Alex Sander. Estruturas Metálicas: manual prático para projetos, dimensionamento e laudos técnicos. São Paulo: Oficina de Textos, 2022.