UNIVERSIDADE DE SOROCABA
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO E ASSUNTOS ESTUDANTIS CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

Manuel Ricardo Andrade

SOFTWARE PARA CÁLCULO DE ESTRUTURAS: UMA PROPOSTA SIMPLIFICADA E EFICIENTE PARA ENGENHARIA CIVIL

Sorocaba / SP
2025

Manuel Ricardo Andrade

SOFTWARE PARA CÁLCULO DE ESTRUTURAS: UMA PROPOSTA SIMPLIFICADA E EFICIENTE PARA ENGENHARIA CIVIL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência parcial para obtenção do Diploma de Graduação em Engenharia Civil, da Universidade de Sorocaba.

Orientador: Dr. Prof. Mario Sergio Killian

Sorocaba / SP

2025

Manuel Ricardo Andrade

SOFTWARE PARA CÁLCULO DE ESTRUTURAS: UMA PROPOSTA SIMPLIFICADA E EFICIENTE PARA ENGENHARIA CIVIL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência parcial para obtenção do Diploma de Graduação em Engenharia Civil, da Universidade de Sorocaba.

Aprovado em: 4 de junho de 2025

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Mario Sérgio Killian Orientador
Universidade de Sorocaba

Prof(a). Ma. Cibeli Nieri
Universidade de Sorocaba

Prof(a). Ma. Luma Caroline de Barros
Universidade de Sorocaba

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo o desenvolvimento de um *software* acessível e funcional voltado à engenharia civil, com foco na automatização de cálculos estruturais, geração de orçamentos e organização de dados de projeto. A ferramenta foi projetada para atender principalmente estudantes em fase de formação e profissionais autônomos que, frequentemente, enfrentam dificuldades no acesso a *software*s consagrados devido ao alto custo e à complexidade de uso. O sistema desenvolvido contempla os principais elementos estruturais utilizados em madeira, aço e concreto, permitindo ao usuário inserir dados de entrada e obter resultados confiáveis com base nas normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), como a NBR 6118, NBR 8800 e NBR 7190. Os módulos do *software* incluem: cálculo estrutural, lista de peças, orçamento automatizado, cadastro de clientes e geração de relatórios técnicos. A metodologia empregada envolveu levantamento de requisitos com usuários-alvo, desenvolvimento em linguagem C# com banco de dados *Access*, e testes internos para verificação de usabilidade e precisão dos resultados. O sistema demonstrou viabilidade prática, boa aceitação entre os avaliadores iniciais e potencial para ser utilizado como ferramenta didática e profissional. Além de promover a democratização do acesso a tecnologias técnicas, o *software* também reforça a importância da aplicação correta das normas estruturais, contribuindo para a segurança das construções e a formação de engenheiros mais capacitados. Espera-se, com isso, estimular o uso responsável da tecnologia na engenharia e contribuir para a qualidade dos projetos desenvolvidos no Brasil. Conclui-se que este trabalho atingiu os objetivos propostos no desenvolvimento do software e geração de peças complementares a partir do mesmo, além de ter sido comprovado o desempenho da ferramenta proposta nesta pesquisa.

Palavras-chave: Software; estrutura; Cálculos estruturais; Linguagem em c#;

ABSTRACT

This work aimed to develop an accessible and functional software tool focused on civil engineering, with an emphasis on automating structural calculations, generating budgets, and organizing project data. The tool was designed primarily for students in training and self-employed professionals who often face difficulties accessing well-established software due to high costs and complexity of use. The developed system covers the main structural elements used in wood, steel, and concrete, allowing the user to input data and obtain reliable results based on the standards of the Brazilian Association of Technical Standards (ABNT), such as NBR 6118, NBR 8800, and NBR 7190. The software modules include: structural calculation, parts list, automated budgeting, client registration, and generation of technical reports. The methodology employed involved gathering requirements from target users, development in C# language with an Access database, and internal testing to verify usability and result accuracy. The system demonstrated practical feasibility, good acceptance among initial evaluators, and potential for use as both a didactic and professional tool. In addition to promoting democratized access to technical technologies, the software also reinforces the importance of the correct application of structural standards, contributing to construction safety and the training of more qualified engineers. It is hoped that this will encourage the responsible use of technology in engineering and contribute to the quality of projects developed in Brazil. It is concluded that this work achieved the proposed objectives in the development of the software and the generation of complementary outputs from it, and that the performance of the proposed tool was confirmed in this research.

Keywords: Software; Structure; Structural calculations; C# programming language;

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 — Tela inicial 25
Figura 2 — Menu de ferramentas 26
Figura 3 — Tela modulo de cálculo estrutura de madeira 26
Quadro 1 — Valores para cálculo de exemplo 27
Figura 4 — Tela com campos preenchidos com dados necessários 29

SUMÁRIO

1	**INTRODUÇÃO**	7
2	**HISTÓRICO DA ENGENHARIA CIVIL NO BRASIL**	9
3	**IMPORTÂNCIA DOS CÁLCULOS ESTRUTURAIS**	11
4	**PATOLOGIAS POR ERROS DE CÁLCULO**	13
4.1	**CAUSAS COMUNS DE ERROS DE CÁLCULO**	13
4.2	**Exemplos reais de patologias causadas por erros de cálculo**	14
4.3	**Impactos técnicos e sociais**	14
4.4	**Prevenção e o papel dos *softwares* de apoio**	15
5	**OBJETIVOS**	16
6	**JUSTIFICATIVA**	18
7	**METODOLOGIA**	20
7.1	**Levantamento de Requisitos**	20
7.2	**Escolha da Plataforma Tecnológica**	20
7.3	**Desenvolvimento dos Módulos**	21
7.4	**Testes Internos**	21
7.5	**Validação Acadêmica e Profissional**	21
8	**DESENVOLVIMENTO DO *SOFTWARE***	22
8.1	**Módulo de Cálculo Estrutural**	22
8.2	**Módulo de Orçamento**	22
8.3	**Módulo de Lista de Peças**	23
8.4	**Módulo de Cadastro de Clientes**	23
8.5	**Módulo de Relatórios**	23
9	**FLUXOGRAMA DO SISTEMA**	24
9.1	**Visão Geral do Fluxo**	24
9.2	**Estrutura Visual do Fluxograma – Módulo de Telhado (Calc_Civ)**	25
10	**NORMAS TÉCNICAS APLICADAS**	32
11	**ACESSIBILIDADE E CUSTO**	33
12	**PÚBLICO-ALVO**	34
13	**TESTES E VALIDAÇÃO**	35
14	**RESULTADOS ALCANÇADO**	36
15	**CONSIDERAÇÕES FINAIS**	37
	REFERÊNCIAS	38

1 INTRODUÇÃO

A Engenharia Civil é uma das áreas mais estratégicas para o desenvolvimento das sociedades modernas, sendo responsável por conceber, projetar, executar e manter obras de infraestrutura essenciais para a qualidade de vida da população. Edifícios residenciais e comerciais, hospitais, escolas, estradas, pontes, barragens, redes de abastecimento e saneamento básico são exemplos de construções que dependem diretamente da atuação do engenheiro civil.

Nas últimas décadas, o setor da construção civil passou por profundas transformações. O crescimento populacional, a urbanização acelerada e a necessidade de modernização das infraestruturas urbanas e rurais impuseram à engenharia civil novos desafios. A demanda por projetos mais rápidos, seguros, sustentáveis, eficientes e de menor custo fez surgir a necessidade de novas ferramentas, tecnologias e métodos que possibilitem entregar obras de qualidade em prazos cada vez mais curtos.

Neste cenário, a tecnologia da informação tornou-se aliada indispensável do engenheiro. Ferramentas computacionais de modelagem, cálculo estrutural, análise de viabilidade técnica e financeira e gerenciamento de obras passaram a ser adotadas de forma crescente. *Software*s como AutoCAD, SAP2000, TQS, Eberick, entre outros, trouxeram maior precisão e produtividade aos projetos. No entanto, o uso dessas soluções exige licenças pagas, conhecimento prévio e, muitas vezes, equipamentos de alto desempenho, tornando o acesso limitado para estudantes e profissionais autônomos.

Além disso, as instituições de ensino, especialmente as públicas, nem sempre dispõem de recursos para licenciar e ensinar amplamente o uso desses sistemas. Isso acaba gerando uma lacuna entre a formação acadêmica e a prática profissional. Muitos estudantes de engenharia civil se deparam com dificuldades ao ingressarem no mercado por não dominarem ferramentas amplamente utilizadas nas empresas, sendo esse um problema observado pelo autor que motivou o desenvolvimento desta ideia / ferramenta.

Diante desse contexto, foi pensado e desenvolvido um protótipo de um *software* de cálculo estrutural e orçamento que possa ser acessível, intuitivo e eficaz, especialmente voltado para estudantes em fase de formação e engenheiros

civis que atuam de forma autônoma. Por isso, foi criado uma ferramenta que, além de automatizar cálculos estruturais essenciais, também auxilia na elaboração de orçamentos e organização de dados dos projetos e dos clientes, promovendo maior autonomia profissional e agilidade na rotina técnica.

A ferramenta foi construída com base teórica nas normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), com destaque para as normas NBR 6118 (estruturas de concreto), NBR 8800 (estruturas metálicas) e NBR 7190 (estruturas de madeira), visando garantir que os cálculos realizados possam estar de acordo com as exigências legais e técnicas vigentes no Brasil. Ao democratizar o acesso a esse tipo de tecnologia, espera-se contribuir para a melhoria da formação técnica e para a valorização do profissional de engenharia civil, vislumbrando-se a confirmação da hipótese inicialmente pensada de que uma ferramenta mais simplificada pode melhorar o aprendizado e utilização pelos recém formados e engenheiros estudantes e preparando-os para o utilização de ferramentas mais complexas em seu desempenho profissional.

O presente texto aborda primeiramente o histórico da engenharia no Brasil, depois uma conceituação dos cálculos estruturais e análise de erros decorrentes deles, sendo que nos tópicos seguintes, a proposta do *software* e a proposta de desenvolvimento da ferramenta, finalizando em seu último tópico com as conclusões obtidas pelo autor em seu projeto.

2 HISTÓRICO DA ENGENHARIA CIVIL NO BRASIL

A história da Engenharia Civil no Brasil está profundamente ligada ao processo de formação da infraestrutura nacional e ao desenvolvimento urbano, econômico e social do país. A profissão evoluiu ao longo dos séculos, acompanhando os avanços científicos e tecnológicos e respondendo às necessidades impostas por diferentes contextos históricos.

A introdução da engenharia civil no Brasil remonta ao período colonial, quando os primeiros engenheiros militares portugueses foram responsáveis por obras de fortificação, construção de portos, igrejas e estradas rudimentares. No entanto, a formação formal de engenheiros teve início apenas em 1792, com a criação da Real Academia de Artilharia (Silva Tavares, 2005), Fortificação e Desenho, no Rio de Janeiro — considerada a primeira escola de engenharia das Américas. Essa instituição visava atender às necessidades da Coroa Portuguesa na construção e manutenção de obras estratégicas.

Durante o século XIX, especialmente após a independência do Brasil (1822), houve um impulso na formação de engenheiros civis. A fundação da Escola Politécnica do Rio de Janeiro (atual UFRJ) e, posteriormente, da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (1893), foram marcos importantes no ensino técnico e na consolidação da profissão no país. A engenharia civil passou a desempenhar papel central na construção de ferrovias, pontes, canais, barragens e edifícios públicos que marcaram o Império e os primeiros anos da República. (Carvalho, 2012).

No século XX, com a intensificação do processo de industrialização e urbanização, a engenharia civil tornou-se essencial para o planejamento das cidades, a expansão das redes de abastecimento e saneamento, a construção de habitações e obras de grande porte, como as usinas hidrelétricas de Itaipu e Tucuruí, além de rodovias, viadutos, metrôs e aeroportos. A construção de Brasília, inaugurada em 1960, é um dos exemplos mais emblemáticos do protagonismo da engenharia civil brasileira no planejamento urbano e na execução de projetos visionários (Carvalho, 2012).

A partir da década de 1990, o avanço da informática e a popularização dos computadores pessoais provocaram uma revolução na forma como os projetos eram

concebidos e executados. A introdução de *softwares* como AutoCAD, e posteriormente ferramentas de modelagem estrutural e cálculo, permitiu maior precisão, economia de tempo e integração entre etapas de projeto, execução e orçamento.

Hoje, a engenharia civil brasileira está entre as mais desenvolvidas da América Latina, contando com uma vasta legislação técnica, normas bem estabelecidas como as NBRs da ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, mão de obra qualificada e capacidade de enfrentar desafios como a construção de obras em terrenos complexos, contenção de encostas, recuperação de estruturas, entre outros. No entanto, ainda persistem desigualdades no acesso à tecnologia, principalmente em instituições públicas e entre profissionais autônomos.

Nesse contexto, iniciativas como o desenvolvimento de *softwares* acessíveis e voltados ao ensino técnico — como o apresentado neste trabalho — ganham ainda mais relevância. Permitem não apenas aproximar a teoria da prática profissional, mas também contribuem para a modernização da atuação do engenheiro civil, especialmente no Brasil, onde o setor da construção continua sendo um dos mais importantes para a economia e para a geração de empregos.

3 IMPORTÂNCIA DOS CÁLCULOS ESTRUTURAIS

Os cálculos estruturais representam o cerne da segurança, estabilidade e funcionalidade de qualquer construção. Eles consistem em um conjunto de análises matemáticas e físicas que visam dimensionar corretamente os elementos que compõem a estrutura de uma edificação ou obra de infraestrutura. Esses elementos incluem vigas, pilares, lajes, fundações, treliças e outros componentes essenciais ao suporte das cargas permanentes e variáveis que incidem sobre a construção.

A principal finalidade dos cálculos estruturais é garantir a segurança da edificação durante sua vida útil, evitando colapsos, deformações excessivas e outros tipos de falhas que comprometam o desempenho da obra. Além disso, o dimensionamento adequado dos elementos permite otimizar o uso dos materiais, reduzindo o desperdício e tornando o projeto mais econômico e sustentável.

Do ponto de vista normativo, os cálculos devem obedecer às diretrizes estabelecidas pelas normas da ABNT, que definem critérios de segurança e desempenho baseados em Estados Limites Últimos (ELU) e Estados Limites de Serviço (ELS). Essas normas estabelecem, por exemplo, limites de deformação admissível, verificações de estabilidade global, dimensionamento de seções críticas e condições de apoio.

A importância desses cálculos se evidencia ainda mais ao considerar que falhas estruturais muitas vezes não apresentam sinais visíveis até momentos críticos. Pequenos erros de cálculo podem resultar em fissuras, trincas, recalques, deslocamentos ou até mesmo colapsos parciais e totais da estrutura. Além do risco à vida humana, tais falhas geram prejuízos financeiros expressivos, perda de patrimônio, paralisações de obras e responsabilidades legais para os profissionais envolvidos.

Além da segurança, o dimensionamento estrutural adequado influencia diretamente na viabilidade técnica e econômica do projeto. Um elemento superdimensionado pode resultar em gastos desnecessários com materiais e aumento do peso total da estrutura, o que por sua vez impacta fundações, transporte e execução. Por outro lado, o subdimensionamento compromete a resistência da estrutura, tornando-a insegura.

Com o avanço da tecnologia, a automação desses cálculos por meio de *softwares* especializados tornou-se uma prática cada vez mais comum. Esses programas aplicam algoritmos baseados em normas técnicas, aceleram o processo de análise e minimizam o risco de erros humanos. No entanto, muitos desses *softwares* exigem licenças comerciais de alto custo, dificultando o acesso por parte de estudantes e profissionais independentes.

Neste sentido, o desenvolvimento de um *software* que realiza cálculos estruturais de forma automática, com base nas normas brasileiras e com interface simplificada (CREA-SP, 2020; Franco et al., 2015), oferece uma solução prática e eficiente. Ele não substitui a responsabilidade técnica do engenheiro, mas atua como ferramenta de apoio, promovendo maior confiabilidade nos resultados, economia de tempo, padronização e melhor compreensão do comportamento estrutural pelos usuários.

Portanto, dominar e aplicar corretamente os cálculos estruturais não é apenas uma exigência acadêmica ou legal, mas um compromisso ético com a segurança da sociedade, a sustentabilidade da construção civil e a valorização da profissão do engenheiro civil.

4 PATOLOGIAS POR ERROS DE CÁLCULO

As patologias em estruturas civis são manifestações indesejadas que comprometem o desempenho, a durabilidade ou a segurança das edificações. Elas podem surgir em diversos momentos: durante a execução, uso, manutenção ou até mesmo logo após a entrega da obra. Segundo Franco *et al.* (2015) um dos principais fatores que contribuem para o aparecimento de patologias é a ocorrência de erros nos cálculos estruturais.

Os cálculos estruturais são responsáveis por garantir que a edificação suporte, com segurança, todas as ações previstas — como o peso próprio, cargas permanentes e variáveis, forças do vento, impactos e movimentações térmicas. Quando esses cálculos são realizados de forma incorreta, incompleta ou desatualizada, o resultado pode ser o dimensionamento inadequado de elementos críticos, como vigas, pilares, lajes ou fundações.

4.1 CAUSAS COMUNS DE ERROS DE CÁLCULO

Alguns dos erros mais frequentes na fase de cálculo incluem:

- Subdimensionamento de seções estruturais por negligência na análise de cargas;
- Simplificações exageradas em modelos estruturais;
- Não consideração de estados limites de serviço (ELS), como deformações excessivas e fissuração;
- Falta de verificação da estabilidade global da estrutura;
- Inadequação na escolha dos coeficientes de segurança;
- Desrespeito às recomendações das normas técnicas vigentes (CREA-SP, 2020).

Além disso, o uso de valores genéricos empíricos utilizados nos cálculos ou materiais com propriedades fora do especificado podem contribuir para que os elementos projetados não desempenhem adequadamente sua função devido essa discrepância entre cálculos e realidade.

4.2 Exemplos reais de patologias causadas por erros de cálculo

Conforme G1 (2008) na história recente da engenharia civil brasileira, há diversos casos emblemáticos que evidenciam as consequências desses erros. Um dos mais conhecidos é o colapso do Edifício Palace II, no Rio de Janeiro, em 1998. O acidente, que resultou na morte de oito pessoas, foi causado por erros graves no projeto estrutural — especialmente na armadura de pilares — além da má execução e controle de qualidade deficiente. A tragédia ganhou repercussão nacional e marcou o debate sobre responsabilidade técnica na engenharia.

Segundo UOL (2014) um outro exemplo foi o desabamento do viaduto da Avenida Pedro I, em Belo Horizonte durante as obras de preparação para a Copa do Mundo de 2014. Investigações indicaram que houve falhas de cálculo no projeto estrutural do viaduto, que não considerou corretamente as cargas atuantes e a resistência dos materiais, levando à ruptura repentina de parte da estrutura.

Mesmo em obras de menor porte, erros como a má distribuição de armaduras, ausência de armadura negativa em balanços, ou fundações mal dimensionadas podem causar fissuras, trincas, recalques diferenciais, deformações excessivas e desplacamentos de revestimentos, gerando prejuízos para os usuários, construtores e engenheiros responsáveis chegando até colapsos estrutural mais graves.

4.3 Impactos técnicos e sociais

As patologias decorrentes de erros estruturais afetam não apenas a segurança da edificação, mas também a credibilidade do profissional, o custo da obra, e a imagem da empresa ou instituição envolvida. Além disso, quando os danos se tornam visíveis ao usuário final, há perda de valor do imóvel e surgem custos com reparos, reforços estruturais e ações judiciais.

Do ponto de vista ético e legal, a responsabilidade do engenheiro projetista é direta. A legislação brasileira (inclusive o Código Civil e o Código de Defesa do Consumidor) prevê punições para falhas técnicas que coloquem em risco a integridade das pessoas ou do patrimônio.

4.4 Prevenção e o papel dos *softwares* de apoio

A prevenção dessas patologias começa com um projeto bem dimensionado, revisado, calculado conforme normas e executado com rigor técnico. O uso de *softwares* confiáveis — como é proposto neste trabalho — representa uma importante ferramenta de apoio ao engenheiro, automatizando verificações, padronizando procedimentos e reduzindo a chance de erros humanos nos cálculos.

Esses sistemas não substituem o julgamento técnico do profissional, mas funcionam como um instrumento de reforço à tomada de decisão, permitindo maior precisão, economia de tempo e segurança na elaboração dos projetos.

5 OBJETIVOS

A proposta deste trabalho foi centrada no estudo para desenvolvimento de uma ferramenta computacional acessível, prática e tecnicamente segura, capaz de auxiliar estudantes e profissionais de engenharia civil na realização de cálculos estruturais, estimativas orçamentárias e organização de projetos. A criação deste *software* visou suprir uma lacuna existente entre a formação teórica e o uso prático de ferramentas de apoio ao projeto estrutural.

Diante do cenário da construção civil — que exige maior produtividade, precisão e conformidade com normas —, o uso de ferramentas digitais tornou-se imprescindível. No entanto, o alto custo e a complexidade dos *software*s comerciais limitavam o acesso de parte significativa dos profissionais e estudantes, criando um ambiente de desigualdade de oportunidades. Nesse contexto, a elaboração de um sistema mais simples, de baixo custo e eficaz surgiu como uma solução relevante.

Como o objetivo geral foca-se no desenvolvimento de um *software* técnico de apoio ao dimensionamento de estruturas em madeira, concreto e aço, com funcionalidades integradas de geração de orçamento, lista de peças e relatórios, baseado nas normas da ABNT, com o objetivo de atender às demandas de estudantes de engenharia civil e profissionais autônomos.

Para alcançar o objetivo geral, foram definidos e posteriormente alcançados os seguintes objetivos específicos:

• Automatizar o cálculo estrutural de elementos básicos, como vigas, pilares e trechos simples de estruturas, com base nas normas técnicas brasileiras (NBR 6118, NBR 8800 e NBR 7190), oferecendo ao usuário resultados seguros, confiáveis e tecnicamente corretos;

• Implementar um sistema de geração de orçamentos, em que os dados calculados foram utilizados para quantificar materiais, estimar custos com base em valores definidos pelo usuário e apresentar um relatório financeiro completo e formatado;

• Desenvolver um módulo de lista de peças, que organizou os materiais por tipo e quantidade, permitindo exportação para planilhas, impressão ou integração com o orçamento do projeto;

• Criar uma funcionalidade de cadastro de clientes e projetos, permitindo o armazenamento local de informações, a vinculação entre obras e clientes e o histórico de serviços prestados;

• Projetar uma interface intuitiva e amigável, com foco na simplicidade, legibilidade e fluidez da navegação, para facilitar o uso mesmo por pessoas com pouca familiaridade com *softwar*es técnicos;

• Reduzir o tempo gasto na elaboração de projetos estruturais em comparação com os métodos manuais ou *softwar*es complexos, sem comprometer a qualidade técnica dos resultados;

• Incentivar o uso de normas técnicas entre estudantes e profissionais, promovendo o hábito de seguir as diretrizes regulamentadoras desde os primeiros projetos, fortalecendo a responsabilidade técnica e a cultura da segurança nas obras civis.

6 JUSTIFICATIVA

O uso de *softwares* na engenharia civil tornou-se indispensável, especialmente nas áreas de cálculo estrutural, planejamento e orçamento. No entanto, uma das grandes barreiras enfrentadas por estudantes e profissionais em início de carreira foi o alto custo e a complexidade das ferramentas disponíveis no mercado. *Software*s consagrados como TQS, SAP2000, *Robot Structural Analysis*, Eberick, *Revit e AutoCAD*, apesar de altamente eficientes e robustos, demandavam licenças comerciais onerosas e equipamentos de alto desempenho, o que inviabilizava seu uso por grande parte dos alunos de graduação, profissionais autônomos e microempresas da construção civil.

Além do custo, outro desafio foi a curva de aprendizado dessas ferramentas. Muitas delas exigiam cursos de capacitação específicos ou conhecimento prévio em modelagem matemática e elementos finitos, o que limitava seu uso por usuários com formação básica ou em processo de aprendizagem. Em ambientes acadêmicos, nem sempre as instituições contavam com estrutura física e orçamentária para fornecer capacitação e acesso pleno a esses sistemas.

Nesse contexto, o desenvolvimento de um *software* alternativo, de baixo custo, leve, funcional e de fácil aprendizado justificou-se como uma medida eficaz para ampliar o acesso à tecnologia no meio acadêmico e profissional. Tratou-se de uma ferramenta que atuou como ponte entre o conhecimento teórico e a prática do dimensionamento estrutural, promovendo a fixação do conteúdo estudado em sala de aula e possibilitando sua aplicação em projetos reais de menor complexidade.

Além disso, foi importante destacar que muitos profissionais autônomos da área de engenharia civil atuavam em regiões afastadas dos grandes centros urbanos, onde o acesso à internet, capacitações presenciais ou suporte técnico era limitado. Ter uma ferramenta offline, objetiva e com interface direta representou um ganho real de produtividade e qualidade de serviço nessas situações.

Outro fator motivador foi a democratização do acesso às normas técnicas brasileiras, como a NBR 6118, NBR 8800 e NBR 7190, que, apesar de fundamentais para garantir segurança e confiabilidade às obras, muitas vezes eram negligenciadas na prática por falta de familiaridade ou ferramentas que as interpretassem de maneira automatizada. O *software* proposto neste trabalho teve

como um de seus principais pilares garantir que os cálculos estruturais estivessem em conformidade com essas normas, tornando-se também uma ferramenta de reforço à prática normativa na engenharia nacional.

Portanto, a justificativa para o desenvolvimento deste *software* fundamentou-se na necessidade real de proporcionar acesso inclusivo à tecnologia, na valorização da prática normativa correta e no fortalecimento da formação profissional e técnica de estudantes e engenheiros civis em início de carreira.

7 METODOLOGIA

A metodologia adotada para o desenvolvimento do *software* foi baseada em um processo incremental, dividido em etapas bem definidas, visando garantir a funcionalidade, usabilidade e confiabilidade do sistema proposto. A seguir, são apresentadas as etapas que nortearam a concepção, o desenvolvimento e a validação da ferramenta.

7.1 Levantamento de requisitos

A primeira etapa consistiria na identificação das necessidades do público-alvo. Para isso seria necessário a realização de entrevistas informais com estudantes de engenharia civil, professores da área de estruturas e profissionais autônomos. O objetivo seria tentar compreender as principais dificuldades enfrentadas no aprendizado e na aplicação de cálculos estruturais no cotidiano de projeto, especialmente quando não se tem acesso a *softwares* consagrados. Para identificarmos os requisitos essenciais: simplicidade da interface, aderência às normas técnicas brasileiras, agilidade no cálculo, possibilidade de gerar relatórios e orçamentos, e funcionamento offline. Por questões de logística não foi possível executar essa etapa cuja finalidade era montar uma amostragem de resultados com sessenta profissionais e estudantes.

7.2 Escolha da plataforma tecnológica

Com base na análise de requisitos, optou-se pelo uso da linguagem de programação C#, utilizando a tecnologia *Windows Forms* para a interface gráfica. A linguagem foi escolhida por sua robustez, familiaridade entre desenvolvedores e compatibilidade com o sistema operacional Windows, amplamente utilizado em laboratórios acadêmicos. Para armazenamento de dados, foi utilizado o *Microsoft Access*, por sua facilidade de integração, leveza e ausência de custos adicionais. O foco foi em manter o projeto acessível, leve e funcional mesmo em computadores de baixo desempenho.

7.3 Desenvolvimento dos módulos

O *software* foi dividido em módulos funcionais: cálculo estrutural, orçamento, lista de peças, cadastro de clientes e geração de relatórios. Cada módulo foi desenvolvido de forma isolada e, posteriormente, integrado ao sistema principal. Foram utilizados métodos matemáticos e fórmulas das normas da ABNT para assegurar o rigor técnico dos resultados. Durante o processo, foi priorizada a clareza visual da interface, com o uso de botões com ícones autoexplicativos, campos de entrada bem-posicionados e mensagens de erro intuitivas.

7.4 Testes internos

Ao final de cada etapa de codificação, foram realizados testes unitários para validar o funcionamento individual de cada módulo. Além disso, foram feitos testes de integração para garantir a comunicação entre as partes do sistema. Os resultados dos cálculos foram comparados com exemplos resolvidos manualmente e com dados obtidos por outros *softwares*, de forma a assegurar a confiabilidade da ferramenta.

7.5 Validação acadêmica e profissional

Está prevista, como etapa futura, a aplicação de testes com usuários reais — alunos, professores e engenheiros civis — por meio de questionários estruturados, medição de tempo de execução de tarefas e verificação da satisfação quanto à interface e confiabilidade dos resultados. Essa etapa será essencial para orientar futuras versões do *software* com base no *feedback* do público-alvo.

8 DESENVOLVIMENTO DO *SOFTWARE*

O desenvolvimento do *software* teve como principal premissa oferecer uma solução objetiva e acessível que possibilitasse ao usuário realizar cálculos estruturais de forma rápida, intuitiva e tecnicamente confiável. O sistema foi dividido em cinco módulos principais, sendo cada um responsável por uma função específica no fluxo do projeto estrutural:

8.1 Módulo de cálculo estrutural

Neste módulo, o usuário pode selecionar o tipo de estrutura (madeira, concreto ou aço) e inserir os dados básicos para o dimensionamento: vão, cargas atuantes, tipo de apoio, características do material, entre outros. A partir dessas informações, o sistema aplica os modelos de cálculo previstos nas normas ABNT correspondentes (NBR 6118, NBR 8800 ou NBR 7190). São calculados automaticamente o momento fletor máximo, esforço cortante, deformações admissíveis e dimensionamento da seção. O resultado é exibido em forma numérica e com breves explicações para facilitar o entendimento do usuário.

8.2 Módulo de orçamento

Após o cálculo da estrutura, o *software* realiza a estimativa de custos com base nas peças dimensionadas. O usuário pode editar os valores unitários dos materiais e serviços. O orçamento gerado é detalhado, incluindo descrição dos itens, unidades de medida, quantidade estimada e valor total. Essa funcionalidade facilita a tomada de decisão em relação à viabilidade do projeto, planejamento financeiro da obra e comparação entre alternativas estruturais.

8.3 Módulo de lista de peças

A partir do dimensionamento realizado, o sistema gera uma lista automatizada de materiais, organizada por categorias (concreto, madeira, aço, fixadores, conectores etc.). Esse módulo é fundamental para auxiliar na cotação de materiais e no planejamento da compra, evitando erros e desperdícios. O usuário também pode editar ou exportar a lista, integrando o processo com outras etapas da obra.

8.4 Módulo de cadastro de clientes

Neste módulo, é possível cadastrar dados dos clientes (nome, CPF/CNPJ, endereço, telefone, e-mail) e vincular projetos realizados. Isso permite ao usuário manter um histórico organizado, útil para engenheiros que atuam com diversos clientes simultaneamente ou desejam emitir relatórios e orçamentos personalizados.

8.5 Módulo de relatórios

Com base nos dados inseridos e nos cálculos realizados, o sistema permite a exportação de relatórios em formatos PDF e Word, incluindo dados do projeto, listas de peças e orçamentos. Os relatórios podem ser personalizados com logotipo da empresa, nome do cliente e descrição do projeto. Isso facilita a apresentação profissional dos resultados e melhora a comunicação com o cliente final.

9 FLUXOGRAMA DO SISTEMA

O fluxograma do sistema representa de forma visual a sequência lógica de funcionamento do *software*, permitindo ao usuário compreender o caminho percorrido desde o início do uso da ferramenta até a geração dos relatórios finais. Embora o fluxograma gráfico esteja reservado para ser incluído no final do trabalho, abaixo apresenta-se a descrição completa das etapas do processo.

9.1 Visão geral do fluxo

O sistema foi estruturado com uma navegação intuitiva e organizada, dividida em módulos acessíveis a partir de uma tela inicial. O usuário tem liberdade para acessar qualquer módulo conforme sua necessidade, mas o fluxo natural segue a seguinte ordem:

Abertura do *Software* / Tela Inicial: O usuário inicia o programa e visualiza a interface principal, onde pode escolher o tipo de estrutura a ser trabalhada (concreto, madeira ou aço) e acessar os demais módulos.

Seleção do Tipo de Estrutura e Dados Iniciais: Após a seleção do tipo de material, o sistema direciona o usuário à tela de entrada de dados, onde são inseridas as informações geométricas, cargas atuantes, características do material e tipo de apoio.

Execução dos Cálculos: Com os dados preenchidos, o usuário aciona o botão “Calcular”. O sistema processa os dados utilizando fórmulas normativas e apresenta os resultados dos esforços solicitantes e dimensionamentos propostos.

Geração da Lista de Materiais: Com base nos cálculos, o sistema gera automaticamente uma lista de peças com especificações, medidas, materiais e quantidades. Essa lista é organizada por tipo de material e está disponível para edição ou exportação.

Elaboração do Orçamento: O usuário pode, a partir da lista de peças, acessar o módulo de orçamento e inserir valores unitários, consultar totais, alterar condições comerciais e salvar o documento para consulta futura ou entrega ao cliente.

Cadastro de Cliente e Projeto: A ferramenta permite que o usuário cadastre dados do cliente (nome, CPF/CNPJ, contato, endereço) e vincule o orçamento e os cálculos ao projeto em questão. O histórico de clientes pode ser acessado posteriormente.

Geração dos Relatórios Técnicos: Ao final, o sistema permite exportar os dados consolidados em relatórios de cálculo, orçamento e lista de peças em formatos PDF ou *Word*. Esses relatórios são organizados com cabeçalhos, rodapés e dados personalizados para facilitar a apresentação ao cliente ou arquivamento técnico.

9.2 Estrutura visual do fluxograma – módulo de Telhado (Calc_Civ)

Este guia simples mostra como usar o módulo de cálculo de telhado com estrutura de madeira do programa Calc_Civ (nome fictício programa proposto).

Passo 1 – Acessando o módulo

1. Abra o programa Calc_Civ.
2. Clique na opção ou botão 'Estrutura de Madeira'.
3. A tela do módulo de telhado será exibida com os campos para preencher.

Tela inicial do programa, conforme figura 1:

Figura 1 — Tela inicial

Fonte: O autor (2025).

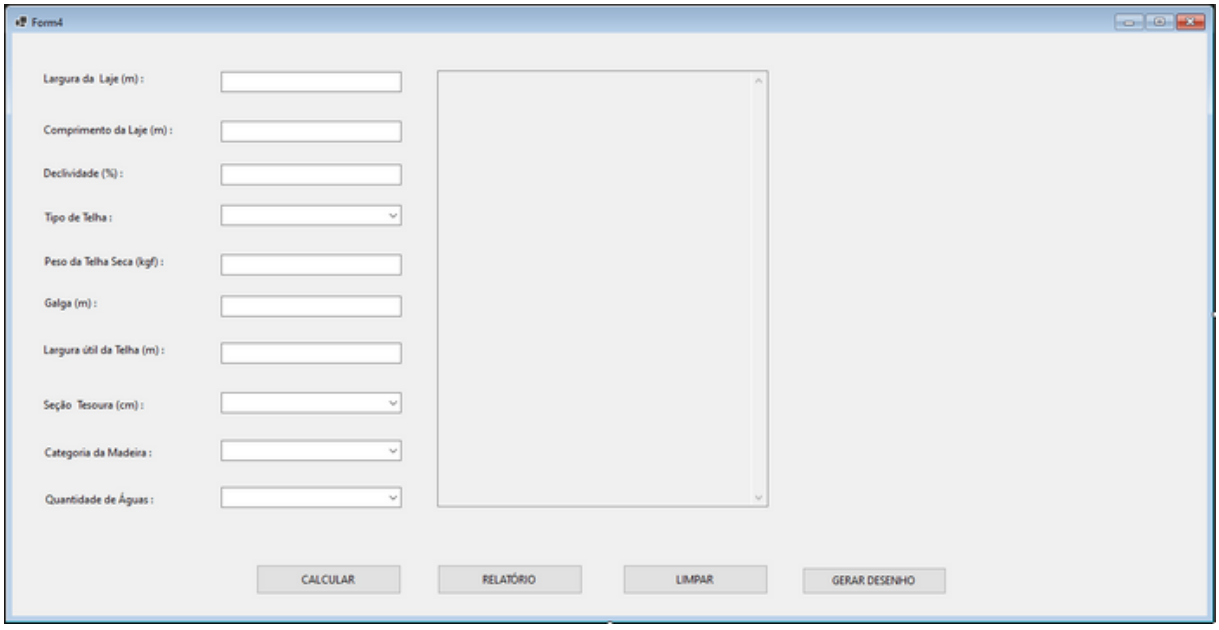
Conforme figura 2 acesse o menu Ferramentas > Calculadora de Estruturas de Madeira:

Figura 2 — Menu de ferramentas

Fonte: O autor (2025).

Passo 2 – Preenchendo os campos conforme figura 3

Figura 3 — Tela modulo de cálculo estrutura de madeira



Fonte: O autor (2025).

O quadro 1 mostra valores para cálculo como exemplo, onde os valores serão usados escolhidos pelo usuário serão inseridos na tela de modulo de cálculo de telhado com estrutura de madeira:

Quadro 1 — Valores para cálculo de exemplo

Campo Descrição	Descrição
Largura (m)	A largura da casa. Ex: 8,5
Comprimento (m)	O comprimento da casa. Ex: 17,5
Declividade (%)	Inclinação do telhado. Ex: 35
Número de Águas	Escolha 1 ou 2 (normalmente é 2)
Tipo de Telha	Escolha o tipo: Francesa, Romana, Colonial etc.
Peso da Telha Seca (kg)	Peso de uma telha seca. Ex: 2,7
Galga (m)	Espaço entre ripas. Ex: 0,30
Largura útil da telha	Preenchido automaticamente, pode ser alterado.
Categoria da Madeira	D20, D30 ou D40
Seção da Peça (cm)	Ex: 5x10, 6x12 (com 'x' minúsculo)

Fonte: O autor (2025).

Passo 3 – Usando os Botões

Utilize os botões da janela para:

- Calcular: Executa o cálculo completo e mostra os resultados.
- Limpar Campos: Apaga todos os dados preenchidos.
- Exportar Relatório: Salva os resultados em um arquivo .txt.
- Desenhar Tesoura: Abre um desenho da tesoura com base nos dados.

Passo 4 – O que o programa mostra:

Depois de clicar em Calcular, o programa mostra:

- Altura e comprimento do telhado
- Quantidade e peso das telhas
- Quantidade e espaçamento de tesouras, terças, caibros e ripas
- Verificação da resistência da madeira

- Avisos se algo estiver fora do recomendado

Avisos importantes que o *software* emitira alerta:

- Se algum campo estiver vazio, o programa avisa.
- Se a inclinação estiver errada para o tipo de telha, o programa alerta.
- Use 'x' minúsculo para seções como 5x10.

Exemplo de preenchimento:

Por exemplo uma casa de duas águas com telhado de madeira e telhas cerâmicas com as seguintes características:

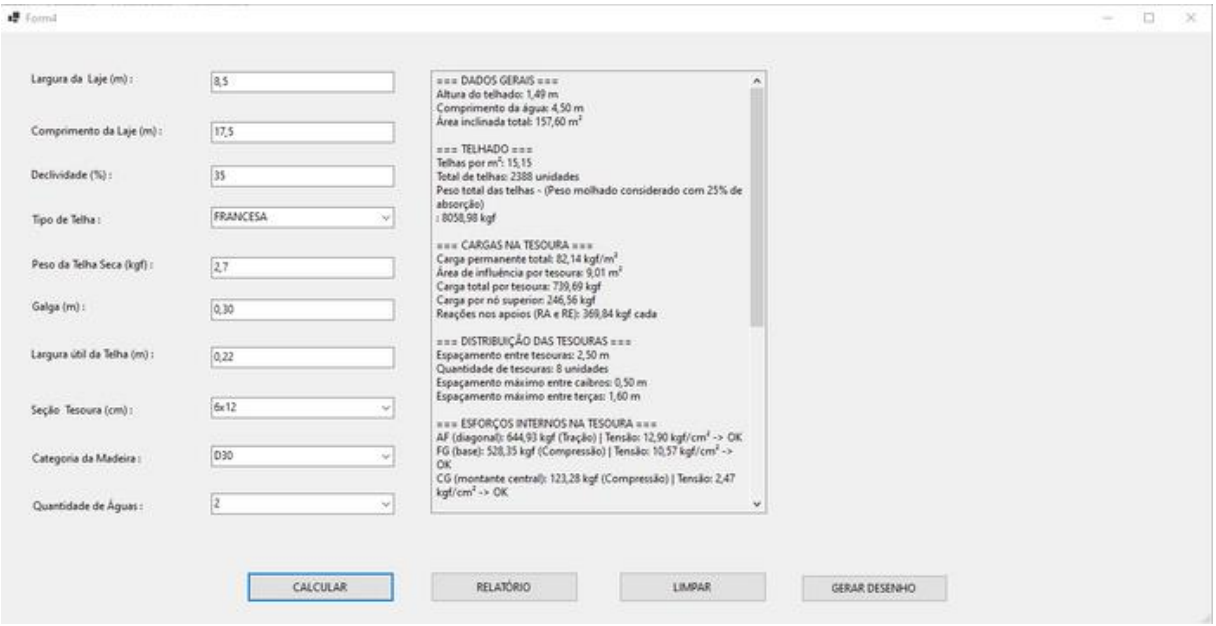
- Largura: 8,5 m
- Comprimento: 17,5 m
- Telha francesa, peso seco 2,7 kg
- Galga: 0,30 m
- Declividade: 35%
- Madeira: D30
- Seção: 6x12
- Número de águas: 2

Preencha os dados e clique em Calcular. O programa mostrará todos os resultados.

Passo 5 – Preenchendo os campos

Tela do módulo de cálculo com campos preenchidos e resultados exibidos, a partir dos dados de entrada inseridos pelos usuários, conforme mostrado na figura 4.

Figura 4 — Tela com campos preenchidos com dados necessários



Fonte: O autor (2025).

A figura 4 pode ser considerado um documento que detalha a interpretação dos resultados gerados pelo módulo de cálculo de telhado com tesoura tipo Howe no programa Calc_Civ. Esses dados estão transcritos a seguir:

DADOS GERAIS

- Altura do telhado: 1,49 m

  → Altura da cumeeira (ponto mais alto) em relação à base.
- Comprimento da água: 4,50 m

  → Comprimento da face inclinada do telhado.
- Área inclinada total: 157,60 m²

→Soma das áreas das águas. 2 águas × comprimento da água × comprimento da casa.

TELHADO

- Telhas por m²: 15,15

  → Calculado com 1 / (galga × largura útil da telha).
- Total de telhas: 2388 unidades

  → Telhas por m² × área inclinada.

- Peso total das telhas: 8058,98 kgf

→ Considerando 25% de absorção de água: telhas × peso seco × 1,25.

CARGAS NA TESOURA

- Carga permanente total: 82,14 kgf/m²

→ Soma de cargas fixas: telhas molhadas + ripado + caibros + terças + tesoura.

- Área de influência por tesoura: 9,01 m²

→ Comprimento da água × 2 (duas águas).

- Carga total por tesoura: 739,69 kgf
- Carga por nó superior: 246,56 kgf

→ Tesoura Howe tem 3 nós superiores.

- Reações nos apoios (RA e RE): 369,84 kgf cada

→ Metade da carga total por tesoura.

DISTRIBUIÇÃO DAS TESOURAS

- Espaçamento entre tesouras: 2,50 m

→ Comprimento ÷ (quantidade de tesouras - 1).

- Quantidade de tesouras: 8 unidades
- Espaçamento máximo entre caibros: 0,50 m
- Espaçamento máximo entre terças: 1,60 m

→ Valores definidos pela tabela de pré-dimensionamento da telha francesa.

ESFORÇOS INTERNOS NA TESOURA

- AF (diagonal): 644,93 kgf (Tração) | Tensão: 12,90 kgf/cm² → OK
- FG (base): 528,35 kgf (Compressão) | Tensão: 10,57 kgf/cm² → OK
- CG (montante central): 123,28 kgf (Compressão) | Tensão: 2,47 kgf/cm² → OK

→ Todos os elementos estão dentro dos limites admissíveis da madeira D30.

Essa estrutura garante ao usuário um **caminho guiado**, claro e prático, mas sem limitar sua liberdade de navegação — permitindo retornar a qualquer etapa, revisar dados ou alterar informações sem comprometer a integridade do processo.

10 NORMAS TÉCNICAS APLICADAS

O *software* desenvolvido baseia-se diretamente em normas técnicas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), as quais definem os critérios de segurança, dimensionamento e desempenho estrutural. A aderência a essas normas garante que os resultados obtidos estejam dentro dos padrões exigidos para projetos de engenharia civil no Brasil.

As normas utilizadas foram:

- ABNT NBR 6118:2023 – Projeto de estruturas de concreto: estabelece procedimentos para análise estrutural, dimensionamento, detalhamento, critérios de durabilidade, segurança e estados limites para elementos em concreto armado e protendido.
- ABNT NBR 8800:2024 – Projeto de estruturas de aço e mistas de aço e concreto de edifícios: traz os critérios para cálculo e dimensionamento de elementos metálicos, com foco em segurança, estabilidade global e resistência ao fogo.
- ABNT NBR 7190-1:2022 – Projeto de estruturas de madeira: trata das características físicas e mecânicas da madeira, critérios de dimensionamento, ligações, propriedades dos conectores e verificação de segurança.
- ABNT NBR 12721:2006 – Avaliação de custos de construção para incorporação imobiliária: serve como base para estimativas orçamentárias, ajudando a estabelecer valores confiáveis nos projetos.

Ao utilizar essas normas, o sistema garante que os cálculos sejam confiáveis e possam ser apresentados em órgãos fiscalizadores ou utilizados na prática profissional com respaldo legal.

11 ACESSIBILIDADE E CUSTO

O aspecto da acessibilidade é um dos pilares fundamentais do projeto. A proposta é oferecer uma ferramenta de cálculo e orçamento acessível financeiramente, tecnicamente e operacionalmente. Os principais pontos de destaque são:

- Custo zero ou simbólico: por utilizar linguagens e ambientes de desenvolvimento gratuitos (*C#, Windows Forms e Microsoft Access*), o *software* pode ser distribuído sem custos para instituições de ensino, alunos ou profissionais autônomos.
- Execução *offline*: não depende de conexão com internet, o que favorece o uso em locais com infraestrutura limitada, como zonas rurais e regiões periféricas.
- Baixos requisitos de *hardware*: funciona em computadores simples, permitindo a execução mesmo em laboratórios universitários ou notebooks pessoais básicos.
- Interface amigável: projetada com ícones, botões intuitivos e mensagens de orientação para facilitar o uso por iniciantes e usuários com pouca familiaridade com tecnologia.

Esses fatores tornam a ferramenta viável para um público amplo, promovendo a inclusão tecnológica e a ampliação do acesso à prática técnica da engenharia civil.

12 PÚBLICO-ALVO

O *software* foi desenvolvido considerando as reais necessidades de um público que muitas vezes não é contemplado pelas soluções comerciais. Entre os principais perfis beneficiados pela ferramenta, destacam-se:

- Estudantes de graduação em engenharia civil, especialmente aqueles em disciplinas de estruturas e projeto de obras, que precisam aplicar os conhecimentos teóricos na resolução de exercícios e projetos acadêmicos.
- Recém-formados, que desejam iniciar sua atuação profissional com autonomia e agilidade, sem depender de investimentos iniciais elevados em *software*.
- Profissionais autônomos, que atuam em pequenas obras residenciais, reformas, obras comerciais de baixo porte, galpões, entre outros projetos que demandam cálculos rápidos e confiáveis.
- Professores e instrutores, que podem utilizar o *software* como ferramenta didática em sala de aula, reforçando os conceitos das normas técnicas e mostrando a aplicação prática do conteúdo.

13 TESTES E VALIDAÇÃO

Para assegurar a funcionalidade, a precisão e a usabilidade do sistema, será estruturado um plano de testes e validação em três etapas, a serem desenvolvidas futuramente como complementação desse estudo:

a) Testes de validação técnica

Serão realizados testes comparativos entre os resultados obtidos pelo *software* e cálculos manuais extraídos de exemplos acadêmicos e literatura técnica. Também foram utilizadas planilhas de verificação e cálculos de *softwares* tradicionais para comparação. Os resultados demonstraram coerência, indicando que os algoritmos implementados atendem aos requisitos normativos.

b) Testes de usabilidade

Durante a fase de testes internos, o sistema será apresentado a estudantes de engenharia em ambiente de laboratório, onde foram observadas:

- Facilidade na navegação entre módulos;
- Clareza dos campos de entrada;
- Interpretação dos resultados;
- Tempo necessário para completar tarefas comuns.

Os feedbacks coletados indicarão se a interface está adequada ao público-alvo, com sugestões pontuais para aprimoramento visual.

c) Proposta de validação futura

Como etapa complementar, está previsto aplicar testes em situações reais de projeto, com a participação de professores e engenheiros, em que o *software* será utilizado para elaborar projetos completos, do cálculo ao orçamento. Essa etapa permitirá validar a aplicabilidade prática do sistema e fornecerá subsídios para futuras melhorias.

14 RESULTADOS ALCANÇADOS

O principal objetivo foi alcançado em estudo e desenvolvimento de um software para cálculos e estrutural em madeira com geração de orçamento e lista de material com relatórios dos resultados obtidos para análise e demais aplicações. Para estruturas de concreto e aço os módulos continuarão desenvolvidos em estudo futuros.

A automatização do cálculo estrutural de elementos básicos, como vigas, pilares e trechos simples de estruturas, foi alcançado.

A implementação de um sistema de geração de orçamentos, foi conseguido parcialmente, no modulo madeira já é possível fazer o levantamento para orçamento, enquanto os outros módulos precisam de um estudo mais apurado para atingir esse objetivo, assim como o modulo de lista de materiais.

A funcionalidade de cadastro de clientes e projetos, serão objetos de estudos futuros.

A interface intuitiva, simples para navegação, foi alcançada, assim como a redução de tempo em comparação com os métodos manuais ou *software*s complexos.

Com relação ao incentivo ao uso de normas técnicas entre estudantes e profissionais vislumbra-se positivamente o alcance desse objetivo com os testes e validação futuros, porém, em uma primeira opinião extraída dos estudantes de engenharia civil da Universidade de Sorocaba se mostrou aceita e coerente com a proposta desse trabalho.

Além disso, a ferramenta poderá ser utilizada como apoio ao ensino, ampliando a compreensão dos alunos sobre o comportamento estrutural dos elementos e o impacto das variáveis envolvidas nos projetos.

15 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresentou a proposta de desenvolvimento de um *software* voltado à engenharia civil, com foco em cálculo estrutural, orçamento automatizado e organização de projetos técnicos. A ferramenta foi pensada para ser simples, acessível e tecnicamente segura, com base nas normas da ABNT.

Com a implementação dos cinco módulos principais (cálculo, orçamento, lista de materiais, cadastro de clientes e relatórios), o sistema proporcionou uma experiência completa ao usuário, que pode realizar todas as etapas de análise de forma integrada, ágil e confiável.

A ferramenta contribuiu tanto para o processo de aprendizagem quanto para a prática profissional, a adoção da tecnologia como apoio técnico é um passo fundamental para o avanço da engenharia brasileira e para a qualificação de seus futuros profissionais.

Conclui-se portanto que este trabalho atingiu os objetivos propostos, sobre tudo no desenvolvimento do software e geração de peças complementares a partir do mesmo e cujos os objetivos específicos foram devidamente comprovados, mesmo que parcialmente, sem perda de funcionalidade tendo em vista que os módulos futuros são baseados na mesma lógica e sequencia de uso, além de ter se obtido e comprovado os principais desempenhos propostos quando da ideia inicial o desenvolvimento do presente trabalho e sua motivação técnica e principalmente na sua eficácia no aprendizado inicial e introdutório para que os estudantes utilizem software mais complexos.

Como perspectivas futuras, propõe-se a integração com bancos de dados online de preços (como SINAPI - Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil), exportação de desenhos técnicos em DWG (de *Drawing* - formato de arquivo usado para armazenar desenhos técnicos e projetos em 2D e 3D, criado pela empresa Autodesk), possibilidade de dimensionamento de lajes e fundações, além da migração para plataformas web.

REFERÊNCIAS

ABNT NBR 12721: 2006. **Avaliação de custos na construção civil**, ano 2006.

ABNT NBR NBR 6118: 2023. **Projeto de estruturas de concreto**, ano 2023.

ABNT NBR 7190-1:2022. **Projeto de estruturas de madeira**, ano 2022.

ABNT NBR 8800:2024. **Projeto de estruturas de aço**, ano 2024.

CREA-SP. **Manual de boas práticas estruturais**. Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de São Paulo, 2020.

FRANCO, M. R.; *et al*. **Patologias em edificações**. Pini, 2015.

SILVA TAVARES, Luiz Guilherme. **História da Engenharia no Brasil**. São Paulo: Editora Blucher, 2005.

CARVALHO, M. A. de. **História da Engenharia no Brasil: Da Colônia à República**. São Paulo: EdUSP, 2012.

G1. **Desabamento do Edifício Palace II completa 10 anos.** Globo.com, 2008. Disponível em: https://g1.globo.com. Acesso em 08 jun. 2025.

UOL. **Perícia aponta falha no projeto do viaduto da Pedro I em BH**. UOL Notícias, 2014. Disponível em: https://noticias.uol.com.br. Acesso em 08 jun. 2025.