

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

DIEGO ARMANDO KIRINUS

**USO DE TECNOLOGIA BIM PARA O DETALHAMENTO DE ESTRUTURAS: UM
ESTUDO DE CASO**

**Alegrete
2024**

DIEGO ARMANDO KIRINUS

**USO DE TECNOLOGIA BIM PARA O DETALHAMENTO DE ESTRUTURAS: UM
ESTUDO DE CASO**

Trabalho de Conclusão de Curso II
apresentado ao Curso de Engenharia Civil
da Universidade Federal do Pampa, como
requisito parcial para obtenção do Título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Dr. Alisson Simonetti Milani

**Alegrete
2024**

DIEGO ARMANDO KIRINUS

USO DE TECNOLOGIA BIM PARA O DETALHAMENTO DE ESTRUTURAS: UM ESTUDO DE CASO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 02 de julho de 2024.

Banca examinadora:

Prof. Dr. ALISSON SIMONETTI MILANI - UNIPAMPA - Orientador

Prof. Dr. JAEELSON BUDNY - UNIPAMPA

Prof. Dr. DIEGO ARTHUR HARTMANN - UNIPAMPA



Assinado eletronicamente por **JAEELSON BUDNY, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 16/07/2024, às 08:37, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **ALISSON SIMONETTI MILANI, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 16/07/2024, às 08:40, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **DIEGO ARTHUR HARTMANN, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 16/07/2024, às 17:35, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1491567** e o código CRC **BAB9858F**.

RESUMO

Situado na região da Fronteira Oeste do Rio Grande do Sul, o município de Alegrete, cuja economia é predominantemente agropecuária, enfrenta desafios decorrentes do intenso tráfego de veículos de grande porte associado a uma infraestrutura viária antiquada e deficitária, especificamente na rua Daltro Filho, local do estudo de caso do projeto. A rua utiliza uma ponte para a passagem sobre trilhos, sem acostamento, elevando o risco para pedestres, ciclistas e veículos, afetando a qualidade de vida dos moradores. Para viabilizar uma solução eficaz que concilie a circulação de pedestres e o fluxo veicular, propõe-se a implementação de uma passarela metálica ao lado da ponte, facilitando a movimentação de pedestres. Com a finalidade de otimizar o projeto, garantindo eficiência e precisão nos detalhamentos, adota-se a tecnologia BIM, representada pelo programa Tekla Structures. Dessa forma, assegura-se uma concepção alinhada ao modelo estabelecido pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), reforçando o compromisso com a segurança, funcionalidade e conformidade normativa deste crucial elemento de infraestrutura urbana. O propósito deste estudo é demonstrar as vantagens, dificuldades e os passos a serem executados pelo emprego do conceito BIM (Building Information Modeling), que oferece uma abordagem integrada para o planejamento, projeto, construção e gerenciamento de obras, além de sua capacidade de criar modelos 3D e de apresentar informações de maneira ágil. Elaborou-se um passo a passo para a criação e inserção de elementos e a criação da passarela de maneira virtual, concluindo que o software apresenta uma usabilidade muito eficaz e simplificada, facilitando os passos, apresentando a quantidade de materiais quando utilizadas famílias de elementos, conexões e apresentação para cliente em dispositivo móvel. Ressalta-se apenas uma dificuldade encontrada na realização de novos modelos de ligações e na criação de documentação como pranchas, muito influenciada pela limitada quantidade de material disponível para auxílio, o que dificulta inicialmente, mas pode ser contornado com o avanço de conhecimento sobre o software.

ABSTRACT

Located in the West Border region of Rio Grande do Sul, the municipality of Alegrete, whose economy is predominantly agricultural, faces challenges arising from the intense traffic of large vehicles associated with an outdated and deficient road infrastructure, specifically on Daltro Filho street, site of the project case study. The street uses a bridge for the passage on rails, without shoulder, raising the risk for pedestrians, cyclists and vehicles, affecting the quality of life of residents. To enable an effective solution that reconciles pedestrian circulation and vehicular flow, it is proposed the implementation of a metal walkway next to the bridge, facilitating pedestrian movement. In order to optimize the project, ensuring efficiency and precision in detailing, BIM technology is adopted, represented by the Tekla Structures program. This ensures a design aligned with the model established by the National Department of Transport Infrastructure (DNIT), reinforcing the commitment to safety, functionality and regulatory compliance of this crucial element of urban infrastructure. The purpose of this study is to demonstrate the advantages, difficulties and steps to be performed by using the concept BIM (Building Information Modeling), which offers an integrated approach to planning, design, construction and management of works, beyond its ability to create 3D models and present information in an agile way. It was elaborated a step by step for the creation and insertion of elements and the creation of the walkway in a virtual way, concluding that the software presents a very effective and simplified showing the amount of materials when using element families, connections and presentation to customer on mobile device. It is emphasized only one difficulty found in the realization of new models of connections and in the creation of documentation as planks, much influenced by the limited amount of material available for aid, which initially hinders but can be bypassed with the advancement of knowledge about the software.

Keywords: BIM, Metal Structures, Pedestrian Walkway, TEKLA

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Diagrama de tecnologias BIM: Efeito x Esforço.	17
Figura 2 - Materiais utilizados e respectivas características.	18
Figura 3 - Bielas W, do Modelo PL 15.	20
Figura 4 - Tirantes W, do Modelo PL 15.	20
Figura 5 - Diagonal W, do Modelo PL 15.	21
Figura 6 - Apoio Steeldeck Início e final, do Modelo PL 15.	22
Figura 7 - Apoio Steeldeck vão, do Modelo PL 15.	22
Figura 8 - Apoio Steeldeck Início e final, do Modelo PL 15.	23
Figura 9 - Passarela-Tipo Vão Único	27
Figura 10 - Município de Alegrete - RS.	27
Figura 11 – Local de Instalação da Passarela – Alegrete - RS.	28
Figura 12 - Ponte Osvaldo Carvalho, Alegrete - RS.	28
Figura 13 - Escolha de Ambiente.	29
Figura 14 - Escolher projeto.	30
Figura 15 - Interface Padrão.	30
Figura 16 - Matriz e coordenadas.	32
Figura 17 - Determinação de Fonte e Cor.	33
Figura 18 - Criação de vistas.	34
Figura 19 - Alternação de vistas.	35
Figura 20 - Definição de Perfil.	36
Figura 21 - Detalhe de Montantes.	36
Figura 22 – Banzos.	37
Figura 23 - Travamento de Bordo.	38
Figura 24 - Travamento Superior e Inferior.	39
Figura 25 - Travamento Diagonal (contraventamento).	39
Figura 26 - Diagonais laterais.	40
Figura 27- Detalhe Steel Deck.	41
Figura 28 – Detalhe Malha.	42
Figura 29 – Corte Steel Deck.	42
Figura 30 - Seleção de Ligação.	43
Figura 31 - Propriedades de Ligação.	44
Figura 32 - Seleção de Ligação.	45
Figura 33 - Ligação de Banzo.	46
Figura 34 - Propriedades de Ligações de Banzo.	47
Figura 35 - Detalhe Ligação Diagonais.	48
Figura 36 – Vista 3D no Tekla.	48
Figura 37 - Vista 3D - Estimativa de Obra final (REVIT).	49
Figura 38 - Configuração de Desenho.	50
Figura 39 - Propriedades de Desenho.	51
Figura 40 – Detalhamento Prancha.	52
Figura 41-Edição Layout.	56
Figura 41-Edição Layout.	56

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

BIM - Building Information Modeling

CAD - Computer-Aided Design

OOCAD - Object=Oriented CAD

cap - capítulo

v - volume

org - organizador

coord - coordenador

col - colaborador

mm - milímetros

HTML - Hypertext Markup Language

HTTP - HyperText Transfer Protocol

XML - e**X**tensible **M**arkup **L**anguage

UNIPAMPA - Universidade Federal do Pampa

CAD - Computer Aided Design

AEC - Arquitetura, Engenharia e Construção

BIM - Building Information Modeling

DXF - Drawing eXchange Format

IFC - Industry Foundation Classes

PDF - Portable Document Format

TI - Tecnologia da Informação

DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

SUMÁRIO

RESUMO.....	13
SUMÁRIO	17
1 INTRODUÇÃO	11
1.1 OBJETIVO GERAL.....	12
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	12
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	13
2.1 BIM.....	13
2.2 Vantagens da Utilização do BIM.....	14
2.3 Parâmetros de BIM.....	15
2.3.2 Efetividade x Esforço.....	16
2.3.3 Tekla Corporation.....	17
2.4 Critérios para Passarela.....	18
2.4.1 Ações na Estrutura.....	18
2.4.2 Perfis Metálicos Utilizados.....	19
2.4.2.1 Biela e Tirante.....	19
2.4.2.2 Diagonais.....	21
2.4.2.3 Steeldeck.....	21
2.4.2.4 Montantes.....	22
2.4.3 Ligações.....	23
3 METODOLOGIA	25
3.1 Aspectos Desejados na Elaboração.....	25
3.2 Projeto Passarela.....	26
3.3 Localização da Obra.....	27
3.4 Interface de Trabalho Tekla.....	28
4. PASSOS PARA PREPARAÇÃO DE ESTRUTURAS NO TEKLA	32
4.1 Determinação de Eixos.....	32
4.2 Criação de Vistas.....	33
4.3 Inserção de Elementos.....	35
4.3.1 Colunas Metálicas.....	35
4.3.2 Vigas Metálicas.....	37
4.3.3 Lajes Metálicas.....	40
4.4 Ligação de Elementos.....	42
4.4.1 Ligações de Diagonais e Montantes.....	43
4.4.2 Ligações de Banzo e Diagonal.....	45
4.5 Resultado 3D.....	48
4.6 Criação de Documentos.....	49
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	54
6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	55
7 REFERÊNCIAS.....	56

1 INTRODUÇÃO

O mercado de Engenharia Civil tem passado por mudanças substanciais, especialmente no que diz respeito à adoção de tecnologias que visam aprimorar diversos aspectos do setor. Essas mudanças não se concentram tanto na alteração dos materiais convencionais usados na maioria das obras, mas sim na introdução de ferramentas e abordagens inovadoras. Estas inovações têm como objetivo facilitar a apresentação de projetos, minimizar conflitos por meio da compatibilização, encurtamento no tempo de elaboração de projetos, reduzir o desperdício de materiais e, acima de tudo, buscar eficiência em todos os processos a fim de não comprometer o orçamento da obra.

Uma das tecnologias que exemplifica bem essas inovações é o CAD (Computer Aided Design). Apesar de continuar sendo extremamente útil na criação de projetos, o CAD ainda apresenta limitações quando se trata da representação de projetos por meio de simples traços. Essas representações, embora tenham suas próprias características distintas, muitas vezes não são ideais para abordar um dos maiores desafios na execução de um projeto de construção: a compatibilização entre o projeto arquitetônico e os complementares.

Para abordar os problemas mencionados anteriormente, surge a tecnologia BIM (Building Information Modeling). O BIM oferece soluções centradas na criação de um modelo digital de construção que funciona como um repositório de informações durante todo o ciclo de vida do projeto, desde a concepção até a demolição. Este modelo é compartilhado e colaborativo, permitindo que todas as partes envolvidas no projeto — arquitetos, engenheiros, empreiteiros, proprietários e gerentes de instalações — acessem e atualizem as informações relevantes de forma eficiente e integrada.

Este trabalho aborda a Tecnologia BIM, seus principais conceitos, parâmetros e discute sua aplicação tanto no Brasil quanto no mundo. O estudo destaca as vantagens e desvantagens do BIM, além de explorar alguns programas que utilizam essa tecnologia. Para o desenvolvimento desta pesquisa, será utilizado o programa Tekla, especializado em estruturas e amplamente empregado na indústria da construção para projetos de engenharia civil e estrutural.

O Tekla foi escolhido devido à sua capacidade avançada de Modelagem 3D, que permite aos engenheiros criar modelos detalhados e precisos de estruturas. Além disso, o software é eficaz na detecção de conflitos e inconsistências no projeto, como interferências entre diferentes elementos da estrutura, ajudando a evitar problemas durante a fase de construção. O Tekla também gera automaticamente desenhos de construção, listas de peças, relatórios e outros documentos baseados no modelo 3D, economizando tempo e reduzindo erros de documentação. Além disso, ele permite o gerenciamento eficiente das informações de construção ao longo de todo o ciclo de vida do projeto e oferece recursos de detalhamento e análise estrutural, fundamentais em projetos de engenharia civil e estrutural.

A utilização desta tecnologia será demonstrada por meio do detalhamento de uma passarela de pedestres. Considerando o contexto brasileiro, com rodovias frequentemente congestionadas e muitas vezes não integradas adequadamente ao planejamento urbano, a implementação de passarelas pode eliminar conflitos de travessias urbanas entre pedestres e veículos. O projeto, denominado Passarela Daltro Filho, servirá como estudo de caso para ilustrar os benefícios e a aplicação prática do BIM utilizando o Tekla.

1.1 OBJETIVO GERAL

Realizar a modelagem e detalhamento estrutural utilizando a tecnologia BIM, através de um estudo de caso.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Apresentar conceitos e técnicas sobre a modelagem BIM aplicada a estruturas;
- Realizar o estudo de caso da modelagem e detalhamento de uma passarela metálica;
- Demonstrar os passos realizados na modelagem e detalhamento em BIM;
- Demonstrar as dificuldades enfrentadas e as vantagens obtidas na aplicação do BIM.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 BIM

A Concepção BIM, reúne a ideia de se construir um edifício virtual antes de executá-lo realmente. Ele reúne quase que em sua totalidade dados necessários para a construção do edifício podem ser encontrados na maquete digital criada por esse conceito. O modelo eletrônico torna-se então o banco de dados habilitador de um protótipo de construção verdadeira (NETTO, 2016).

Segundo Eastman *et al.* (2014), o BIM tem suas raízes na pesquisa de projetos suportados por computador há décadas, mas ainda existia uma definição amplamente aceita. O BIM pode ser definido como uma ferramenta de modelagem e um conjunto associado de processos relacionados criação, comunicar e analisar modelos negócios de construção.

De acordo com a *National BIM Standard* (Padrões BIM Nacionais), o conceito BIM envolve a criação e gestão de uma representação digital das características físicas e funcionais de um edifício. O BIM se tornou uma fonte compartilhada e confiável de conhecimento que apoia a tomada de decisões em todas as etapas, desde a fase conceitual inicial de um projeto até o final do seu ciclo de vida útil.

Masotti (2014) explica que o BIM (Building Information Modeling) incorpora várias camadas de informações, referidas como dimensões. O modelo pode ser apresentado em 4D, 5D, 6D, 7D ou até nD, dependendo do contexto do projeto. De acordo com a análise de Neil Calvert (2013) e Masotti (2014), e dito por PEREIRA (2017) existem seis fatores principais. As dimensões do BIM podem ser categorizadas da seguinte maneira:

2D Gráfica – refere-se às dimensões bidimensionais dos diagramas, como planos de negócios e projetos arquitetônicos.

3D Modelagem – introduz uma dimensão espacial aos diagramas, permitindo a visualização dinâmica dos objetos. Modelos 3D são usados para obter uma perspectiva tridimensional de uma empresa, na pré-fabricação de componentes e na simulação de iluminação. No contexto do BIM, cada componente 3D possui atributos específicos e a parametrização os define como partes de uma estrutura virtual, não apenas como representações visuais.

4D Planejamento – adiciona uma dimensão temporal ao modelo, especificando os momentos em que cada item será adquirido, armazenado, preparado, instalado e utilizado. Isso inclui a organização e layout do local,

manutenção, transporte em grupo, equipamentos utilizados e outros aspectos relevantes no cronograma.

5D Orçamento – incorpora uma perspectiva de custos ao modelo, determinando o valor de cada parte do projeto, alocação de recursos para cada fase e seu impacto no orçamento total. Auxilia no controle de metas de trabalho com base nos custos.

6D Sustentabilidade – integra uma perspectiva energética ao modelo, quantificando a energia utilizada na construção e ao longo do ciclo de vida do projeto, bem como seus custos. Relaciona-se ao impacto ambiental do projeto, considerando o consumo de energia e sua eficiência.

7D Gestão – acrescenta uma dimensão operacional ao modelo, permitindo que os usuários finais acessem informações sobre todo o empreendimento, suas características e procedimentos de manutenção em caso de falhas ou defeitos.

Na primeira fase do desenvolvimento da implementação do BIM, é crucial identificar os casos de uso que estejam alinhados com a visão, metas e objetivos do projeto. Esta etapa inicial é onde enfrentamos um dos principais desafios: iniciar o planejamento, definir objetivos, capacidades e realizar análises de risco. Muitas missões e operações podem se beneficiar da integração de metodologias BIM.

2.2 Vantagens da Utilização do BIM

Sem dúvida, um dos principais benefícios da modelagem da informação da construção (BIM) é a capacidade de desenvolver projetos completos e confiáveis, que exigem um planejamento ainda mais profundo para garantir a precisão das especificações técnicas e demais documentos. As edições feitas por um profissional capacitado são atualizadas em tempo real, ou seja, atualizações simultâneas de dados em projetos correlacionados. Dessa forma, evitam-se interferências ou conflitos durante o processo de mudança. Logo os problemas podem ser resolvidos e a compatibilidade garantida imediatamente, antes do início da construção.

Como destaca Freitas (2014), implementar o método BIM traz uma série de benefícios, em resumo os principais benefícios são:

- Reduzir erros de desenho;
- Fácil alteração de projeto, realizada automaticamente em todo o modelo;
- A construção é mais coerente;
- Mais flexível na implementação;

- Quantidade de material mais precisa;
- Visualização tridimensional da estrutura;
- Melhor compreensão visual do projeto;
- Melhorar a preparação de projetos;
- Modelagem de objetos com determinação de suas propriedades físicas;
- Obtenha facilmente documentos de construção (diagramas, cortes, detalhes, plantas, etc.);
- A estrutura só pode ser modelada uma vez e pode ser utilizada nas mais diversas especialidades e etapas do projeto;
- Consolidar as informações do projeto em um único arquivo eletrônico;
- Alta produtividade;
- Facilidade de projeto e conhecimento das diferentes etapas da construção.

Segundo Freitas (2014), as desvantagens associadas à aplicação deste método resumem-se principalmente em:

- Aquisição de software, que nem sempre é economicamente acessível.
- Mudança de mentalidade necessária.
- Necessidade futura de formação para os usuários, pois nem sempre o profissional técnico em projeto possui habilidades equivalentes na utilização da tecnologia.
- Necessidade de computadores mais potentes e com maior capacidade de memória, sempre atualizados.

2.3 Parâmetros de BIM

Fundamental na elaboração de projeto de tecnologia BIM, a definição de parâmetros para os elementos que consistem no projeto, tais como pilares, paredes, aberturas, entre outros. Estes elementos são introduzidos como Família do elemento de acordo com a Classe a que pertence, sendo definidos angulação, dimensões, material e o comportamentos em detrimento de sua utilização.

Moreira (2008) afirma que modelos paramétricos permitem o relacionamento entre elementos que podem ser identificados visualmente. Quando uma variável é mudada, seu efeito é visto nos elementos relacionados.

2.3.1 Formato IFC

IFC (*Industry Foundation Layers*) é um formato de arquivo de dados orientado a objetos baseado na definição de classes que representam recursos, processos, formulários, etc. usado pelo software aplicativo durante a criação do modelo ou projeto. IFC é um formato não proprietário, de arquitetura aberta e linguagem comum para troca de modelos de diferentes fabricantes (ADDOR et al., 2010).

IFC foram desenvolvidas para criar um grande conjunto de representações de dados consistentes de informações de construção para troca entre software AEC (*Architecture, Engineering and Construction*). Baseia-se nos conceitos e linguagem ISO-STEP EXPRESS em sua definição, com restrições mínimas de idioma.

Embora a maioria dos outros esforços do ISO-STEP tenham se concentrado no intercâmbio detalhado de software em certas áreas técnicas, acredita-se que na indústria da construção isso levará a resultados diferentes entre si e a um conjunto de padrões incompatíveis.

O IFC foi desenvolvido com uma arquitetura extensível, projetada inicialmente para oferecer definições genéricas de objetos e dados. Isso permite a criação de modelos detalhados e suporta fluxos de dados específicos para troca de informações. O objetivo do IFC é gerenciar todas as informações de construção ao longo de seu ciclo de vida, abrangendo desde a viabilidade e planejamento inicial, passando pelo projeto (incluindo análise e simulação), construção, até a operação e manutenção.

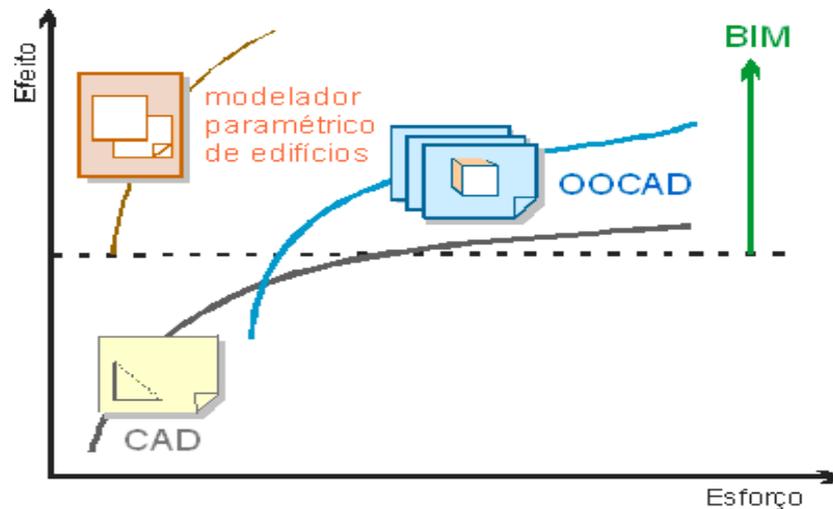
2.3.2 Efetividade x Esforço

A efetividade do BIM refere-se à capacidade do sistema em proporcionar benefícios substanciais na gestão de informações e isso tornou ele uma das soluções mais promissoras atualmente a fim de entregar e suprir as demandas e pressões da engenharia.

A Figura 1 apresenta a efetividade x esforço, comparando as demais tecnologias como CAD, OOCAD e Modelador Paramétrico. Além disso, a linha tracejada horizontal indica o ponto mais baixo de efetividade que podemos considerar como tecnologia BIM. Abaixo desse limite, temos os métodos tradicionais que usam automação em desenhos e tarefas convencionais. Já acima dessa linha, observamos níveis cada vez maiores de eficácia do BIM. As três linhas contínuas mostram o quão

efetivas essas tecnologias específicas podem ser em relação ao esforço empregado em cada uma delas.

Figura 1 - Diagrama de tecnologias BIM: Efeito x Esforço.



Fonte: Moreira (2008)

2.3.3 Tekla Corporation

Proprietária do “TEKLA Structural”, aplicação BIM destinada à construção de estruturas de aço e concreto. Não possui sistema computacional estruturado, mas pode colaborar com programas de computador para esse fim, como Robot, SAP2000, STAAD.pro, entre outros.

Entre as vantagens do Tekla, podemos citar a rapidez, superando as limitações do software de engenharia tradicional para acelerar o progresso do projeto e aumentar os lucros. Ele permite você criar modelos portáteis ricos em detalhes contendo todas as informações necessárias para automatizar a análise estrutural e gerenciar alterações de projeto.

Além de gerar relatórios contábeis vinculados diretamente ao modelo, que são atualizados automaticamente. Assim permitindo gerenciar alterações rapidamente sem criar novos relatórios em caso de discrepâncias. Com isso rapidamente podemos gerar uma série de alternativas e criar uma solução econômica para clientes, ou quaisquer demanda. O que torna o profissional mais competitivo e capaz de participar de forma mais eficaz e com menos esforço. Isso tudo aliado a uma variedade de padrões e normas estabelecidas, tanto nacionais quanto internacionais.

2.4 Critérios para Passarela

As premissas do cálculo são regidas pelas normas da NBR 8800(2008). Baseado no Manual proposto pelo DNIT, “Álbum de projetos – tipo de passarelas para pedestres”. São abordados três modelos estruturais para o estudo do presente trabalho será abordada uma passarela PL15, onde o sufixo representa a distância em metros.

Utilizamos como comportamento geral, que a estrutura é considerada linearmente elástica para fins de obtenção das forças necessárias internos e deslocamentos. A classe de agressividade aceita é III (CAIII) porque inclui a maioria das regiões onde o pavimento está localizado no país.

Os materiais utilizados estão dispostos na Figura 2, assim como suas características.

Figura 2 - Materiais utilizados e respectivas características.

Material	Propriedades	Coefficientes
Perfis Metálicos	<ul style="list-style-type: none"> • Aço ATSM A572 Grau 50 • $f_y = 345 \text{ MPa}$ • $f_u = 450 \text{ MPa}$ 	<ul style="list-style-type: none"> • $\gamma_{a1} = 1,1$ • $\gamma_{a2} = 1,35$
Chapas gusset	<ul style="list-style-type: none"> • Aço ATSM A572 Grau 50 • $f_y = 345 \text{ MPa}$ • $f_u = 450 \text{ MPa}$ 	
Parafusos	<ul style="list-style-type: none"> • ASTM A325M • $f_y = 560 \text{ a } 635 \text{ MPa}$ • $f_u = 725 \text{ a } 825 \text{ MPa}$ 	
Soldas	<ul style="list-style-type: none"> • E70XX • $f_w = 485 \text{ MPa}$ 	<ul style="list-style-type: none"> • $\gamma_{w2} = 1,35$

Fonte:manual DNIT

2.4.1 Ações na Estrutura

O programa, SAP2000, calcula automaticamente o peso próprio dos elementos estruturais, baseado no peso específico dos materiais. Isso inclui o peso dos guarda-corpos estojo de carregamento. O item 6.1 da ABNT 7188:2013 indica uma carga móvel atuante na passarela de 5 kN/m^2 , sem necessidade de realizar alternância de carga, pois o elemento é simplesmente apoiado.

Como os parâmetros de cálculo do vento dependem das características da região onde a obra está localizada, nesta obra os valores utilizados serão em relação ao Município de Alegrete.

Outro parâmetro utilizado no modelo é o efeito da temperatura, onde em relação a mesma é considerado um $\Delta T = 15$. Como a estrutura não está fortemente restringida nos apoios, os esforços devido às variantes de temperatura não representam valores significativos.

2.4.2 Perfis Metálicos Utilizados

2.4.2.1 Biela e Tirante

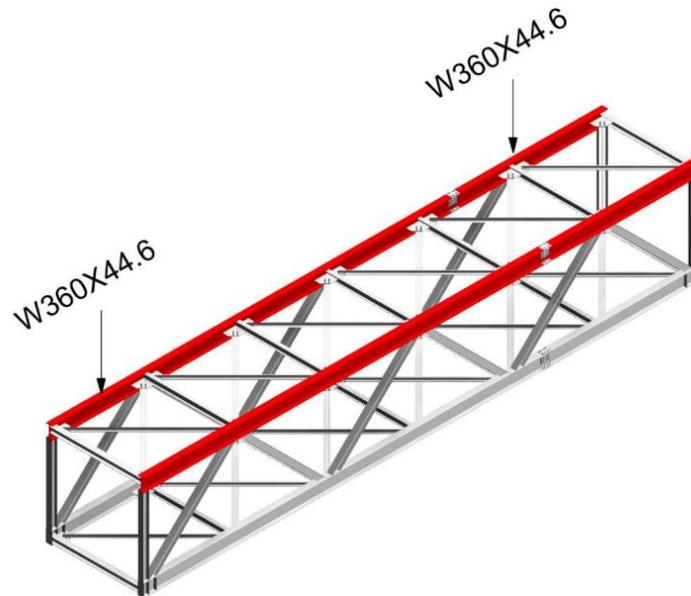
Perfis metálicos são frequentemente utilizados na construção de passarelas devido à sua durabilidade e resistência. Alguns dos perfis metálicos comumente empregados incluem perfil I, são eficazes para suportar cargas pesadas em uma direção vertical, além de perfil U, contudo neste projeto será utilizado o perfil W e L.

As bielas são elementos estruturais usados para resistir a esforços de tração ou compressão em uma estrutura. Em engenharia, o termo "biela" é comumente usado para descrever componentes que suportam forças axiais. No contexto específico deste projeto, as bielas utilizadas têm a seção W360x44,6.

A notação "W" significa Wide Flange (viga de largura flangeada), onde "360" refere-se à altura nominal da seção em milímetros, neste caso, com 360 milímetros de altura. O sufixo "44,6" indica o peso nominal da viga em quilogramas por metro (kg/m), representando a massa por unidade de comprimento da viga. Assim, para

cada metro de comprimento, o peso é aproximadamente 44,6 quilogramas. A Figura 3 ilustra a posição das bielas na estrutura.

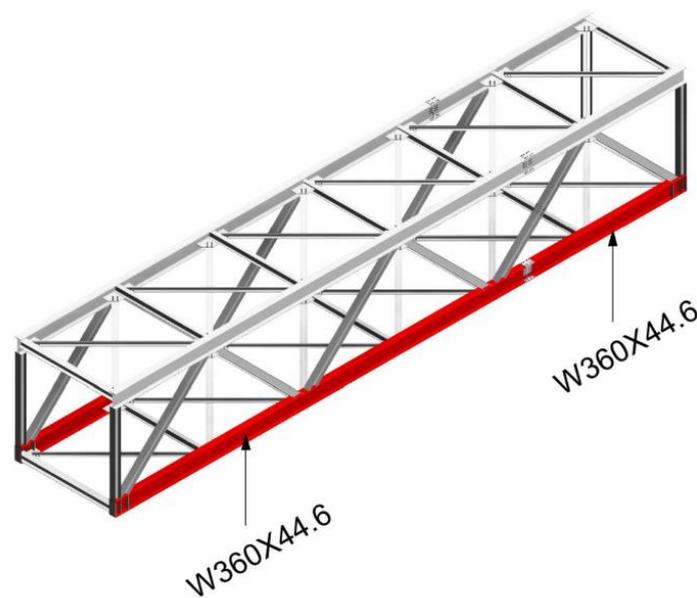
Figura 3 - Bielas W, do Modelo PL 15.



Fonte: Álbum passarelas DNIT

O tirante geralmente se refere a um elemento estrutural projetado para suportar cargas de tração em uma estrutura. Os tirantes utilizados serão de “Sessão” W360x44,6.

Figura 4 - Tirantes W, do Modelo PL 15.

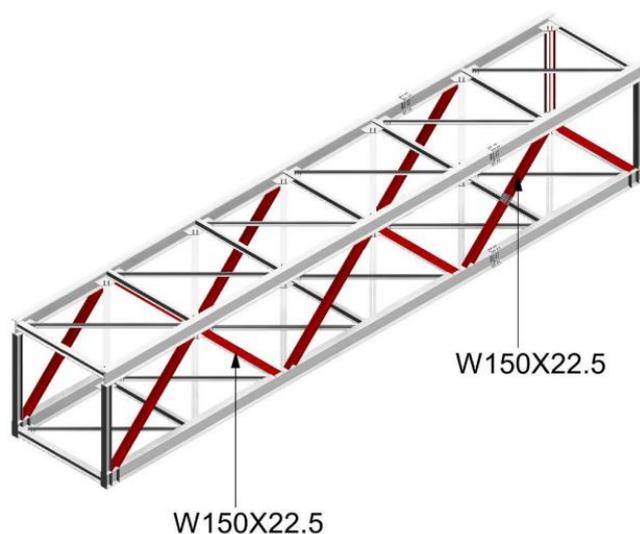


Fonte: Álbum passarelas DNIT

2.4.2.2 Diagonais

As diagonais em uma estrutura metálica desempenham um papel crucial na estabilidade e resistência da estrutura como um todo. Elas são elementos estruturais inclinados que conectam diferentes membros da estrutura, como bielas e tirantes, formando um padrão em ziguezague. A presença de diagonais contribui para a rigidez, estabilização lateral e resistência global da estrutura, especialmente contra forças laterais, como vento ou sismos. A Figura 5 apresenta a diagonal em perfil W150x22.5, utilizado na passarela.

Figura 5 - Diagonal W, do Modelo PL 15.



Fonte: Álbum passarelas DNIT

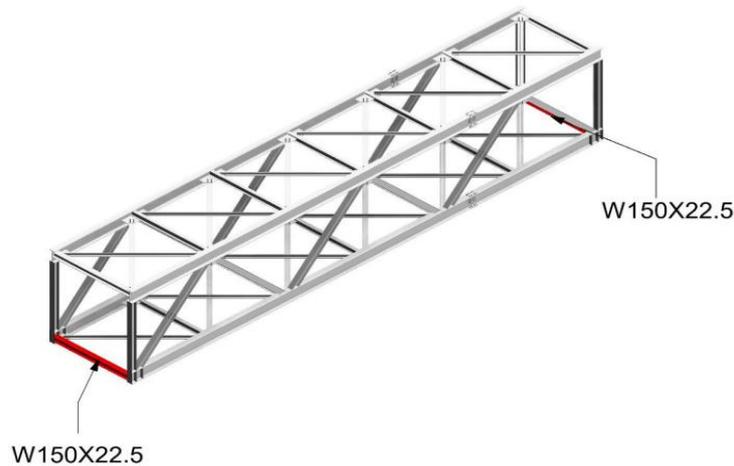
2.4.2.3 Steeldeck

O Steel Deck é um sistema de laje de aço colaborante composto por uma chapa de aço galvanizado (o deck) que atua como fôrma para a laje de concreto ou mesmo metálica. O perfil metálico de apoio é utilizado para apoiar e fixar o Steel Deck durante a construção. O perfil de apoio é projetado para fornecer suporte, ele ajuda a distribuir as cargas uniformemente e a manter o Steel Deck no lugar, ele é fixado à estrutura de suporte, como vigas ou vigotas, por meio de soldagem, parafusos ou outros métodos de fixação apropriados.

Serão utilizados dois perfis para o apoio do steeldeck, no início e final do trecho um perfil W150x22.5 e no vão um perfil W150x13, ambas representadas

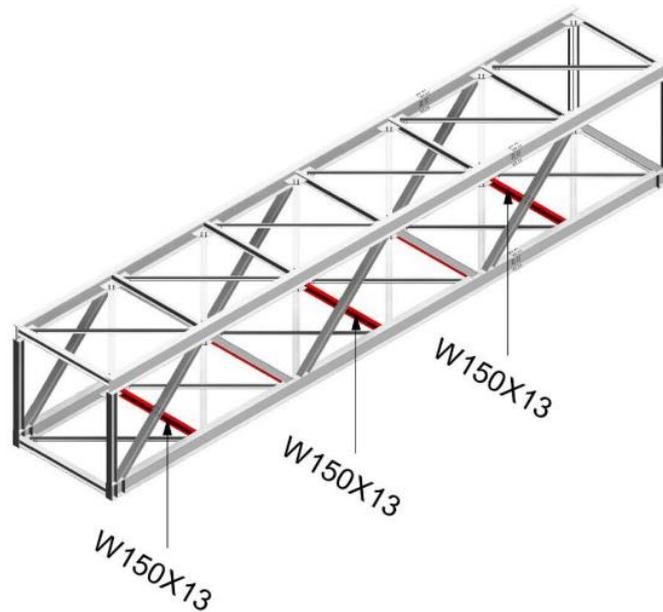
nas Figuras 6 e 7. A fim de realizar o travamento superior temos elementos iguais ao de Steeldeck, a fim de propor reforço e estabilidade incorporados na parte superior da passarela para garantir sua integridade estrutural.

Figura 6 - Apoio Steeldeck Início e final, do Modelo PL 15.



Fonte: Álbum passarelas DNIT

Figura 7 - Apoio Steeldeck vão, do Modelo PL 15.



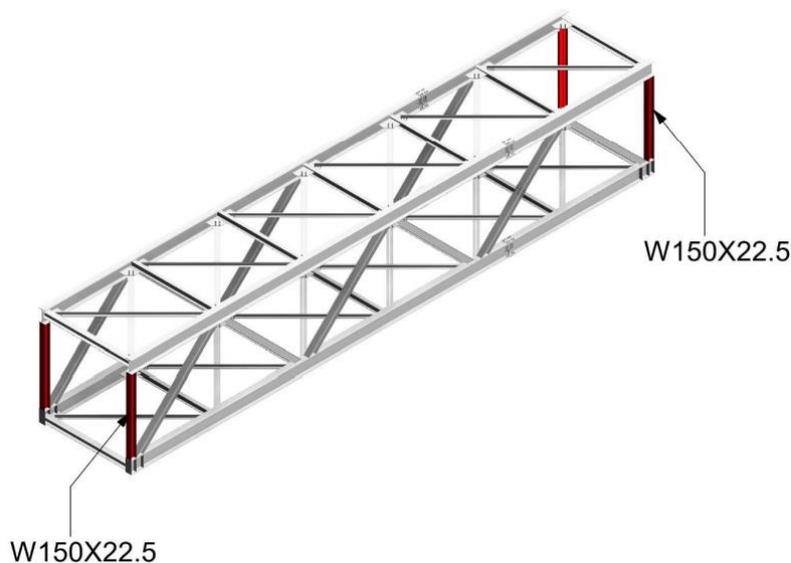
Fonte: Álbum passarelas DNIT

2.4.2.4 Montantes

Os montantes metálicos referem-se a elementos verticais utilizados em sistemas estruturais e são comumente associados a estruturas de paredes, divisórias

ou sistemas de suporte vertical em geral. Os montantes têm a função principal de fornecer suporte vertical em uma estrutura.

Figura 8 - Apoio Steeldeck Início e final, do Modelo PL 15.



Fonte: Álbum passarelas DNIT

2.4.3 Ligações

O termo "ligações" refere-se às conexões entre componentes de um perfil, junções de barras, conexões entre barras e as ligações das barras com elementos externos.

As ligações consistem nos meios e nos elementos de conexão. Os meios de ligação são os dispositivos responsáveis pela união das partes da estrutura. Neste projeto, teremos os seguintes meios de ligação: soldas e parafusos.

Com base nos meios de ligação utilizados, as conexões podem ser categorizadas como soldadas e/ou parafusadas. Nas conexões parafusadas, podem surgir esforços de tração e/ou cisalhamento. Já nas conexões soldadas, podem ocorrer tensões de tração, compressão e/ou cisalhamento.

Nas estruturas metálicas, o contraventamento e o goussets (apoios) são elementos importantes que desempenham papéis separados, mas muitas vezes interdependentes, na estabilidade geral e na durabilidade da estrutura.

Já o Contraventamento é um sistema projetado para resistir a forças horizontais, como vento, que podem causar movimentos laterais em uma estrutura. Garante a estabilidade horizontal da estrutura e evita o seu colapso. As amarrações

podem ser diagonais, verticais ou horizontais e normalmente são instaladas em áreas com cargas laterais significativas.

Os sistemas de contraventamento muitas vezes requerem conexões eficazes para transmitir forças entre os componentes. Ainda temos a ligação entre os módulos e biela, essas que são as principais peças de suporte de carga em compressão. Ao conectar módulos de passarelas metálicas, as bielas podem ser essenciais para resistir à compressão.

3 METODOLOGIA

Neste capítulo estão apresentados os procedimentos e tecnologias utilizados durante a fase de elaboração desde projeto sobre a tecnologia BIM, o qual deve permitir extrair resultados da performance da utilização da plataforma durante a fase de projeto, bem como demonstrar a aplicação da mesma, na investida de viabilizar a utilização do projeto de passarela do DNIT, modelo PL15.

Para a utilização da tecnologia Bim, optou-se por utilizar o software Tekla Structures 2023, inicialmente em sua versão disponibilizada para estudantes, mas na sequência passou a ser utilizado a versão profissional, com uma licença temporária adquirida junto a empresa Trimble, que é a gestora do software. O Tekla é um software paramétrico que apresenta modelagem para áreas distintas da engenharia civil, contudo, tem efetividade maior quando utilizado a fim de modelagem de estruturas metálicas, que será o caso do presente trabalho.

Na sequência de estudo de caso ao presente trabalho, como passo inicial foi solicitado ao idealizador da obra, Prefeitura Municipal De Alegrete, algumas informações a respeito da passarela, como utilização, local da obra, preferência de métodos construtivos, custos esperados e aportados para garantir a execução da mesma, entre outras informações relevantes para a elaboração do projeto.

Assim que coletados e analisados, os dados fornecidos levaram a parte técnica do trabalho. O que levou a utilização de uma passarela de 15 metros de comprimento, em estrutura metálica, assim iniciou-se a leitura do manual de trânsito do DNIT. Esse possui instruções e guias de estruturas similares a que será executada, realizado o alinhamento entre um dos modelos que apresenta o manual, e utilizado o modelo PL-15 como parâmetro para no município de Alegrete.

3.1 Aspectos Desejados na Elaboração

Com o uso específico do software Tekla, pela capacidade de modelagem paramétrica avançada aliada à precisão no detalhamento das estruturas e coordenação entre disciplinas, como arquitetura, estruturas e instalações, resultando em projetos mais integrados e eficientes, eleva a expectativa de resultados. Espera-se, portanto, que a combinação do BIM com o Tekla não apenas melhore a qualidade dos projetos de estruturas metálicas, mas que permeie todas as etapas de projeto e facilite processos posteriores como acompanhamento de execução.

De maneira a nortear a elaboração da metodologia, estão listadas a seguir aspectos nos quais baseiam o estudo:

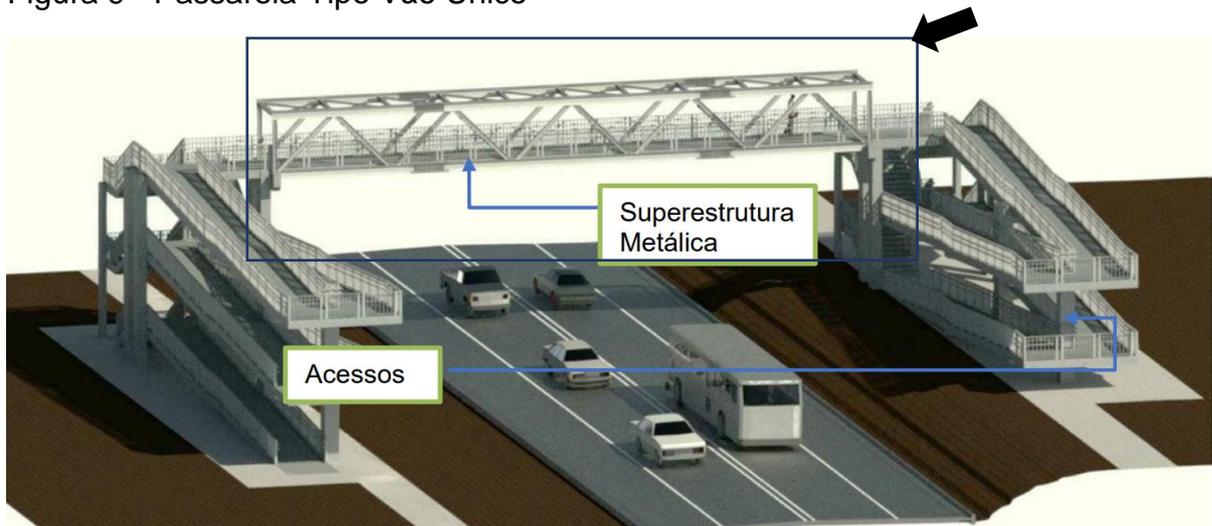
- Adoção de catálogos e componentes de uma biblioteca já existente;
- Modelagem em 3 dimensões do elemento estrutural;
- Eficiência na introdução de informações dos componentes;
- Utilização de um compartilhamento através da nuvem, facilitando a visualização em obra;
- Modelagem de ligações entre os elementos metálicos;
- Elaboração de documentação (pranchas) de visualização para execução e acompanhamento.

3.2 Projeto Passarela

As passarelas são classificadas como Obras de Arte Especiais (OAE) de acordo com o Manual de Projeto de Obras de Arte Especiais (DNER, 1996). Contudo, é fato que, dentro de cada contrato de projeto de passarela, existe padronização desejável do ponto de vista da racionalização da construção e da posterior manutenção dessas estruturas.

Assim que coletados e analisados, os dados fornecidos levaram a parte técnica do trabalho. O que levou a utilização de uma passarela de 15 metros de comprimento, em estrutura metálica. O modelo de referência apresenta também os acessos e seus respectivos métodos construtivos, os quais serão desconsiderados na execução do presente trabalho pois o terreno já realiza essa etapa. Assim, as obras de entorno serão realizadas de acordo com o código de obras do município de Alegrete em um outro projeto, sem relação com o da passarela. Está apresentado na Figura 9 a ideia de projeto a ser executado, já com a desconsideração dos acessos.

Figura 9 - Passarela-Tipo Vão Único



Fonte: Álbum passarelas DNIT

3.3 Localização da Obra

O estudo de caso será realizado no município de Alegrete, no estado do Rio Grande do Sul, Brasil, conforme Figura 10.

Figura 10 - Município de Alegrete - RS.



Fonte: Wikipédia

A obra será realizada lateralmente à Ponte Osvaldo Carvalho (Ponte Seca), pertencente a rua Daltro Filho, Bairro Cidade Alta, com as coordenadas 29°47'16"S 55°48'06"W, conforme demonstrado nas Figuras 11 e 12.

Figura 11 – Local de Instalação da Passarela – Alegrete - RS



Fonte: Google Maps

Figura 12 - Ponte Osvaldo Carvalho, Alegrete - RS.



Fonte: Google Maps

3.4 Interface de Trabalho Tekla

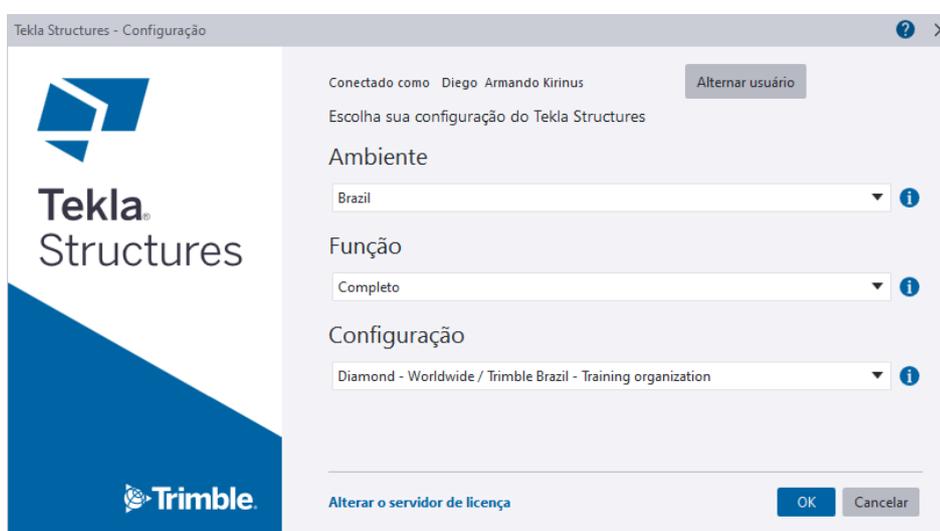
Com o objetivo de demonstrar as facilidades das ferramentas BIM, foi desenvolvido um projeto estrutural, que será executado no município de Alegrete utilizando o Tekla Structures em sua versão profissional.

Neste capítulo, será apresentada uma breve introdução ao software Tekla Structures e uma demonstração de suas funcionalidades básicas. O Tekla Structures

é um software de modelagem BIM que utiliza padrões de CAD para criar estruturas totalmente interativas para projetos de construção.

Ao iniciar o software, a primeira ação necessária é a configuração do ambiente. A Figura 13 apresenta a janela, essa configuração define um conjunto de parâmetros específicos para uma empresa. Onde também podemos determinar quais perfis, materiais e conexões estarão disponíveis nos catálogos do Tekla para utilização durante a modelagem.

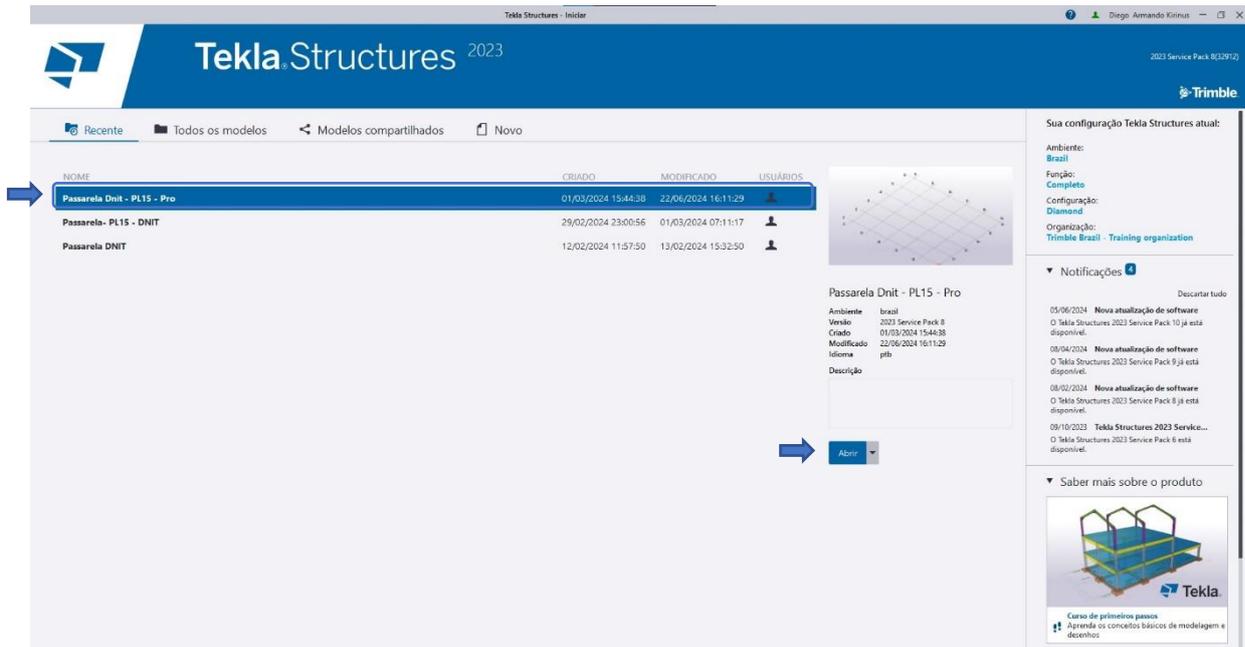
Figura 13 - Escolha de Ambiente.



Fonte: o autor

Os ambientes podem ser encontrados para download na página de downloads da Tekla. Para cada modelo é criada uma pasta individual localizada no diretório, mesmo local onde também é definido um template para o seu modelo, para o presente projeto foi definido um disponibilizado pelo DNIT, que já traz referências e peças de acordo com o tipo de estrutura a ser modelada, está representado o passo a passo na Figura 14.

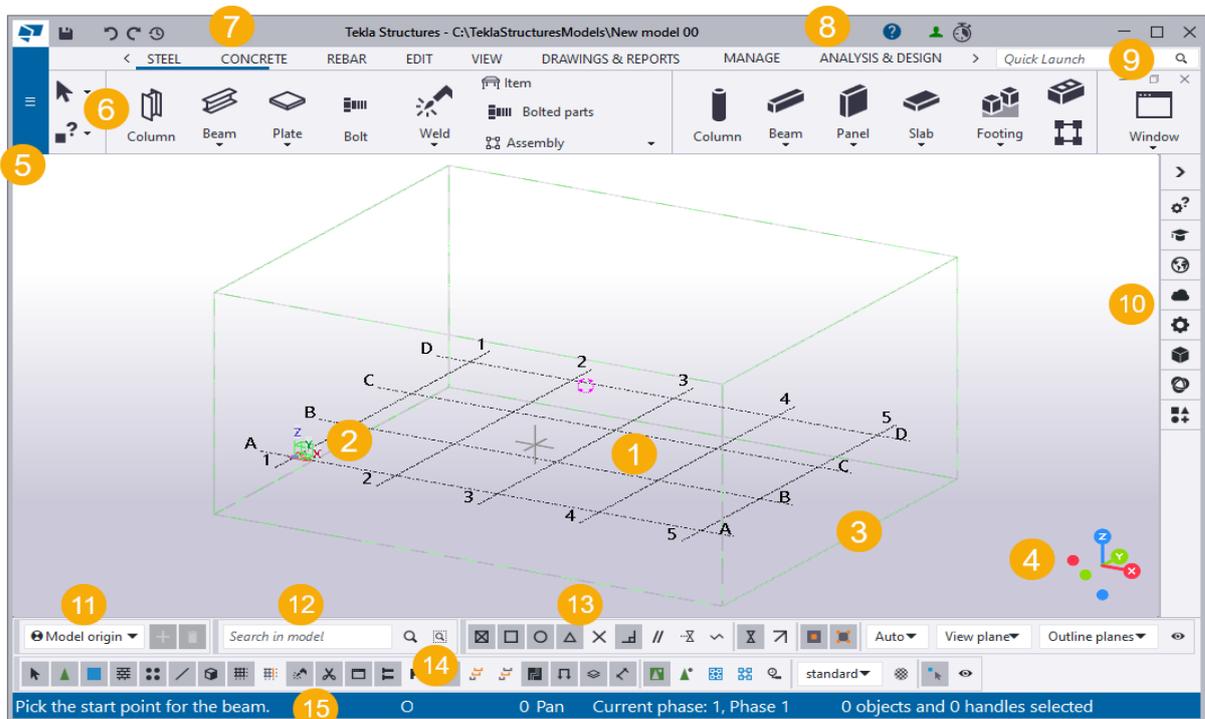
Figura 14 - Escolher projeto.



Fonte: o autor

Ao abrir um modelo no Tekla Structures, uma nova janela é exibida. Por padrão, a interface do usuário apresentará aparência como na Figura 15.

Figura 15 - Interface Padrão.



Fonte: Site Tekla

Onde a numeração faz referência aos números citadas a seguir:

1. Este é o seu modelo do Tekla Structures. Se você estiver iniciando um projeto completamente novo, neste momento você verá apenas a vista padrão do modelo e uma grade vazia;
2. O símbolo do cubo verde representa o sistema de coordenadas global e está localizado na origem global ($x=0, y=0, z=0$);
3. A caixa ao redor da grade representa a área de trabalho. Em uma vista, você pode ver apenas as partes que estão dentro dessa área. Objetos que estão fora da área de trabalho existem no modelo, mas não são visíveis. Você pode reduzir e expandir a área de trabalho conforme necessário. Também é possível ocultar a caixa da área de trabalho;
4. O símbolo de coordenadas com os eixos x, y e z representa o sistema de coordenadas local. Ele também indica a direção do modelo. Clique nos eixos de controle de navegação para rotacionar a vista do modelo de 3D para uma vista em plano selecionado;
5. Onde na parte superior apresenta o título do projeto que está em alteração e a vista que está sendo utilizada. Menu arquivo, representado na figura 10, é onde você pode gerenciar o seu modelo, para tarefas como abrir ou salvar modelos, imprimir, importar ou exportar arquivos, ele também armazena diferentes tipos de catálogos, como o do DNIT que será utilizado, editores, históricos e configurações avançadas;
6. No topo da tela fica a "ribbon", faixa de opções com uma variedade de comandos utilizados para completar o projeto. Você pode personalizar a faixa de opções de acordo com suas necessidades, com a intenção de auxiliar a navegação, está visível a aba cujos comandos estarão visíveis, estando sublinhada por uma linha azul clicando-se com o botão direito do *mouse* sobre a vivo podemos alterar o modo de navegação ou minimizá-la para aumentar o espaço de trabalho além dessas opções também é possível ocultar ou mostrar as abas de comando ou organizá-los arrastando suas necessidades;
7. Por padrão, a barra de acesso rápido contém os ícones de atalho para salvar, desfazer, refazer e histórico de desfazer. Podendo personalizar a barra de acesso rápido conforme necessário.
8. O canto superior direito mostra o nome de usuário e um símbolo verde indicando que está conectado, ou não, e a assinatura ou licença funcionando como esperado;
9. Por ocasião não encontrado o comando ou a caixa de diálogo desejada, pode-se utilizar a Busca Rápida;
10. O painel lateral no lado direito da tela para verificar instruções para o comando de faixa de opções atualmente ativo, visualizar propriedades de objetos, adicionar modelos de referência e componentes, anexar nuvens de pontos, usar consultas personalizadas ou encontrar acesso direto aos serviços online da Tekla;
11. A barra de ferramentas de manuseio do plano de trabalho controla qual plano de trabalho está ativo no momento no modelo;
12. A barra de ferramentas de busca do modelo permite uma busca rápida por objetos em todo o modelo ou dentro dos objetos selecionados no modelo;
13. As chaves de ajuste controlam quais posições é possível selecionar ao criar objetos;
14. As chaves de seleção controlam quais objetos devem ser selecionados;
15. Ao criar objetos, a barra de status indicará como proceder e quando selecionar pontos;

4. PASSOS PARA PREPARAÇÃO DE ESTRUTURAS NO TEKLA

4.1 Determinação de Eixos

Inicialmente foram configurados os eixos conforme o projeto. Ao iniciar um novo modelo, o Tekla automaticamente cria uma malha de eixos retangular e uma vista padrão, representada por linhas tracejadas, essa malha de eixos forma um conjunto tridimensional de planos horizontais e verticais.

Para criar ou editar uma malha de eixos retangular, foram selecionados e definidos os pontos de origem (X, Y e Z) no painel de propriedades, apresentadas na Figura 16. As coordenadas X e Y foram utilizadas 15000 mm e 2500 mm respectivamente, enquanto para coordenadas Z delimitada em 2500 mm determinando a distância da origem do plano de trabalho.

Etiquetas foram adicionadas para nomear cada linha de eixo visível na vista, onde '1' representa a coordenada 0.00 mm e '2' representa a 15000 mm. O mesmo para etiqueta Y, onde 'A' representa a coordenada 0.00mm e 'B' a 2500 mm assim facilitando a identificação no desenho.

Figura 16 - Matriz e coordenadas.



Fonte: o autor

É possível configurar a extensão das linhas de eixo e ajustar a cor e a fonte das etiquetas, como apresenta na Figura 17, foram definidas como cor 0;0;0, que faz referência a cor preta e com uma dimensão de 2000 mm para que fique além dos limites do projeto e facilite a visualização. A fim de evitar edições acidentais, os eixos podem ser bloqueados após definir atributos personalizados. Ao modificar uma malha de eixos, as alterações são destacadas em amarelo, e para atualizar a área de

trabalho da vista, basta selecionar a opção 'Adaptar área de trabalho ao modelo inteiro'. Essas funcionalidades garantem precisão e eficiência na criação de estruturas metálicas no Tekla Structures.

Figura 17 - Determinação de Fonte e Cor.

Extensões da linha

Esquerda/Baixo

X 2000.00 mm

Y 2000.00 mm

Z 2000.00 mm

Direita/Alto

X 2000.00 mm

Y 2000.00 mm

Z 2000.00 mm

Origem

Plano de eixos magnéticos

Cor dos eixos

Cor 0 0 0

Tamanho e cor dos rótulos dos eixos

Tamanho da fonte 12

Cor da fonte 0 0 0

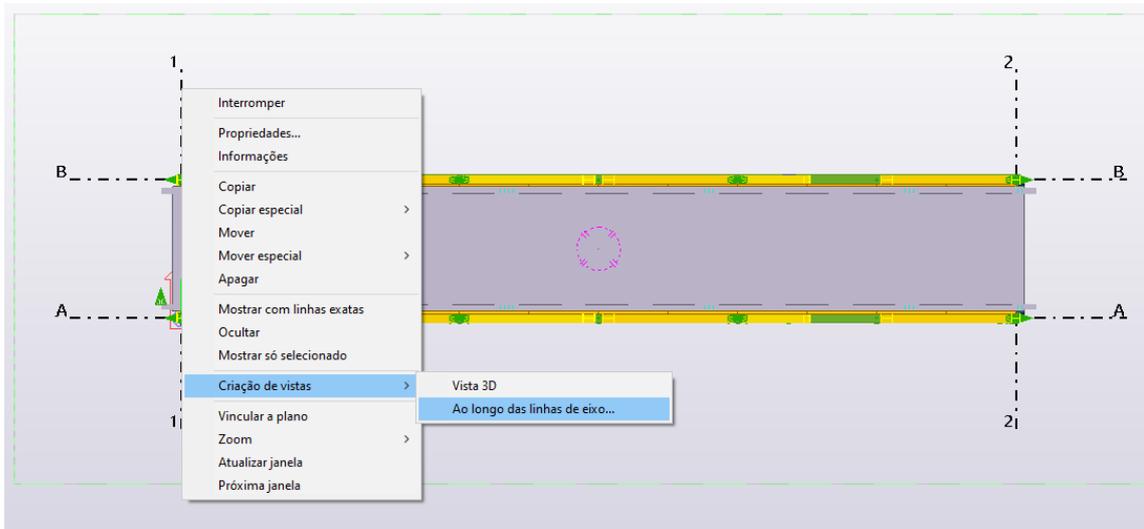
Mais

Fonte: o autor

4.2 Criação de Vistas

A vista representa o modelo a partir de uma localização específica. Iniciando a criação de vistas de elevação e planos emprega-se as linhas de eixo como referência. Primeiramente, utiliza-se a malha de eixos com o botão direito do *mouse* e escolha 'Criação de vistas – Ao longo das linhas de eixo...'. E então está criada a vista tanto para eixos retangulares quanto radiais. Como demonstra a Figura 18.

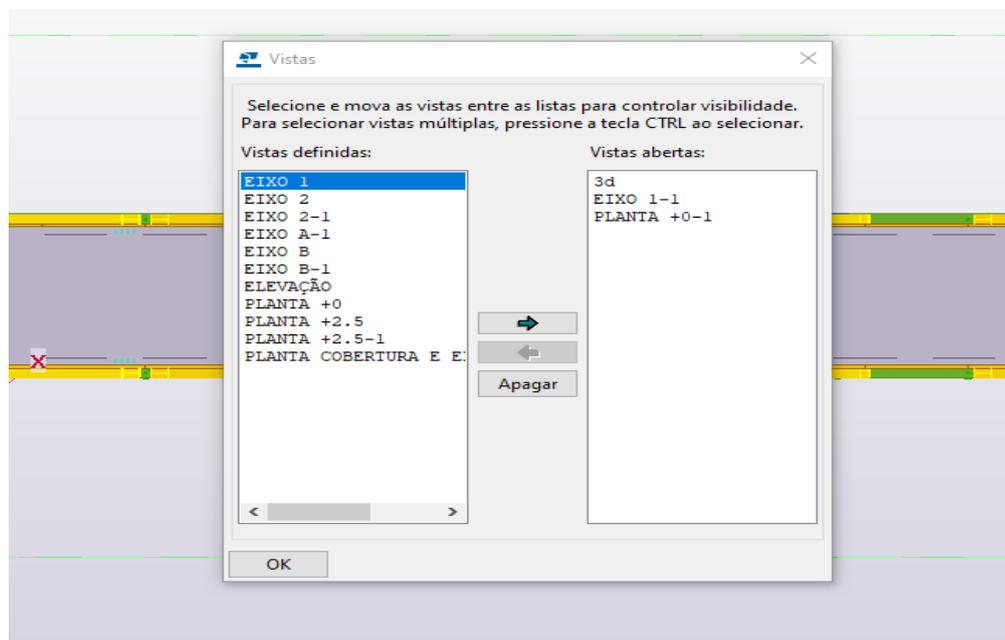
Figura 18 - Criação de vistas.



Fonte: o autor

Ao identificar-se a necessidade de ajustes como número de vistas, nomes e propriedades podem ser editadas conforme necessário para garantir a correta introdução dos elementos, após, as vistas são geradas automaticamente. Abre-se então a janela de vistas, listando as não abertas à esquerda e as abertas à direita, assim é possível abrir ou fechar uma vista movendo-a de um lado para o outro. O software permite um máximo de 9 vistas abertas simultaneamente e cada vista possui um plano de visualização onde os eixos são visíveis. Ao selecionar uma peça em uma das vistas, ela será destacada em todas as outras vistas abertas.

Figura 19 - Alternação de vistas.



Fonte: o autor

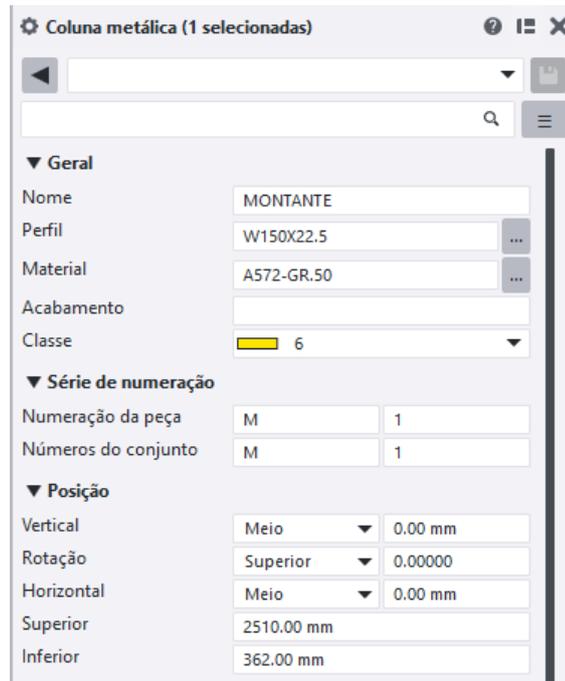
4.3 Inserção de Elementos

4.3.1 Colunas Metálicas

Com a criação de vistas e eixos, é possível iniciar a colocação de elementos estruturais metálicos. Primeiramente, cria-se as colunas metálicas acessando a janela de vistas e selecionando a vista no nível 0 (PLANTA +0). Na janela de barra de ferramentas, deve-se selecionar a aba 'Aço'. Em seguida, as propriedades da coluna são editadas pressionando a tecla Shift e clicando sobre a coluna no painel de propriedades.

No painel de propriedades ao lado, é possível alterar o nome da peça, o perfil, o material, a classe, além de outras informações, conforme ilustrado na Figura 20. Inicialmente, inserem-se os montantes utilizando as propriedades de perfil W150X22.5 e, na aba Material, seleciona-se o aço A572-GR.50, mantendo a posição inicial e alterando apenas o nível superior para 2510 mm e o inferior para 362 mm.

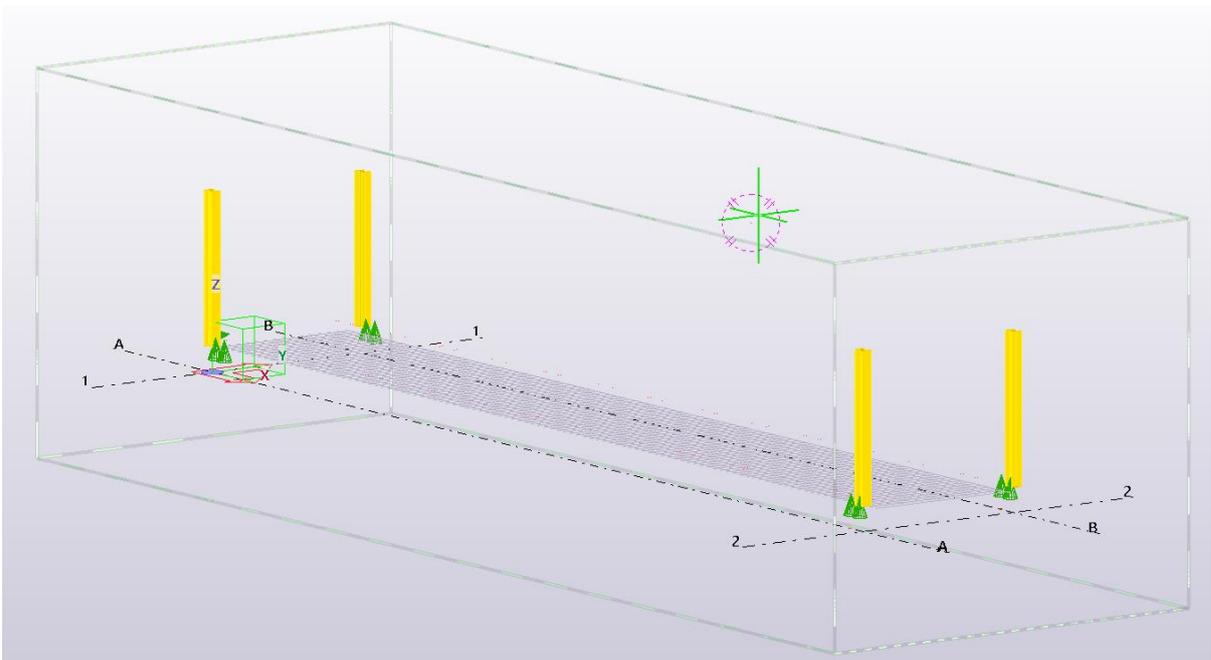
Figura 20 - Definição de Perfil.



Fonte: o autor

Para definir as configurações, deve-se clicar nas interseções entre eixos para posicionar o montante. Ao selecionar a peça, é possível ajustar sua posição em relação ao plano e ao eixo de inserção pressionando a tecla Alt juntamente com as setas do teclado.

Figura 21 - Detalhe de Montantes.



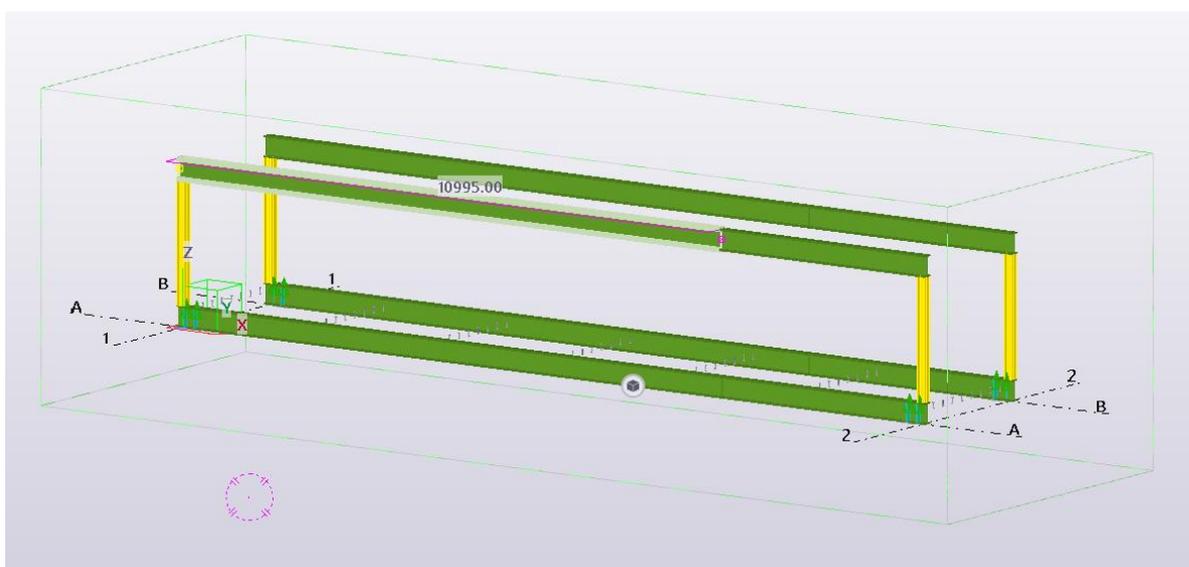
Fonte: o autor

4.3.2 Vigas Metálicas

As vigas metálicas são elementos estruturais amplamente utilizados na construção civil devido à sua alta resistência e versatilidade. Estas vigas oferecem uma excelente relação entre peso e resistência, permitindo a construção de estruturas mais leves e com maior capacidade de carga. Além disso, as vigas metálicas possuem alta durabilidade e resistência à corrosão, especialmente quando tratadas com revestimentos protetores. Elas também são fáceis de fabricar e montar, o que acelera o processo de construção.

Para inserir um banzo inferior e superior no projeto, na aba barra de ferramentas, deve-se selecionar o comando 'vigas' mantendo a tecla Shift pressionada enquanto se clica no comando, o que abrirá o painel de propriedades. Para os banzos inferior e superior, adota-se o perfil W360X44.6 com aço A572-GR.50. Com as propriedades definidas, selecionam-se os pontos de início e fim entre os eixos desejados. Considerando que os banzos possuem 11m de comprimento, será utilizada uma ligação com chapa parafusada em ambos. Desta forma, um banzo terá 10995mm e outro 4147mm, conforme ilustrado na Figura 22. Para este fim, é possível definir manualmente o ponto de início e especificar um valor correspondente.

Figura 22 – Banzos.



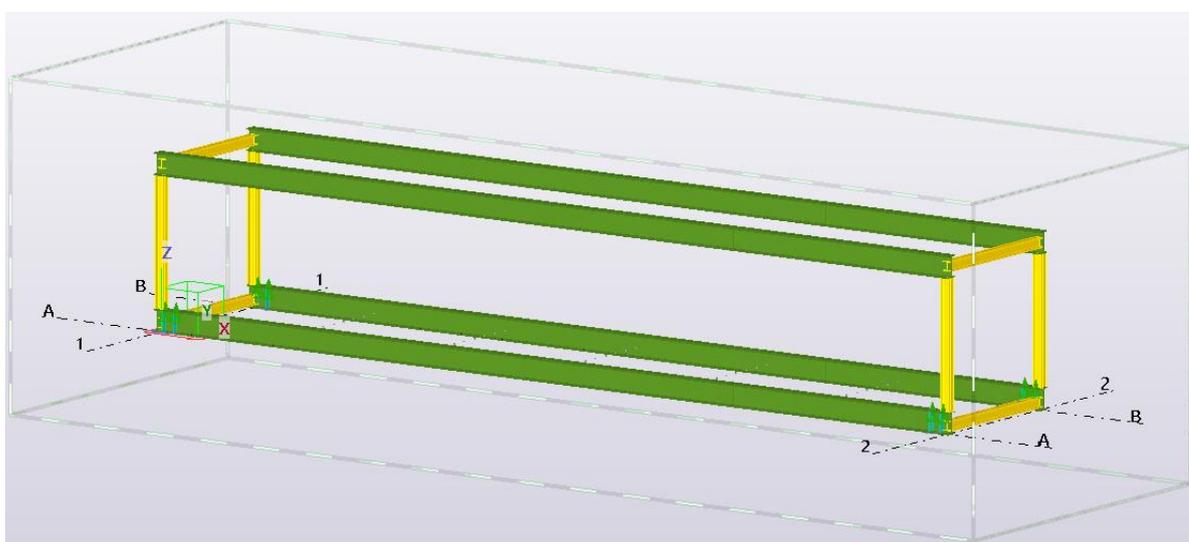
Fonte: o autor

Para ajustar a posição de uma peça, utiliza-se o atalho Alt + setas do teclado. Para copiar uma viga do eixo Y para o eixo X, utiliza-se o comando "Copiar Especial"

com a opção de rotação. Na janela que se abre, define-se um ponto de referência, ajusta-se o ângulo de rotação e o número de cópias desejadas. Ao clicar em "Copiar", a cópia será criada na posição especificada. Caso as vigas se sobreponham às colunas, essa sobreposição pode ser facilmente corrigida utilizando o comando de corte da peça disponível no software.

Ao inserir travamentos de bordo, o procedimento é semelhante. Para o travamento de bordo superior, adota-se o perfil W150X22.5 com aço A572-GR.50, seguindo a classe 6. Seleciona-se o início e o fim entre os eixos 'A' e 'B', resultando em um comprimento de 249.31 mm, conforme ilustrado na Figura 23.

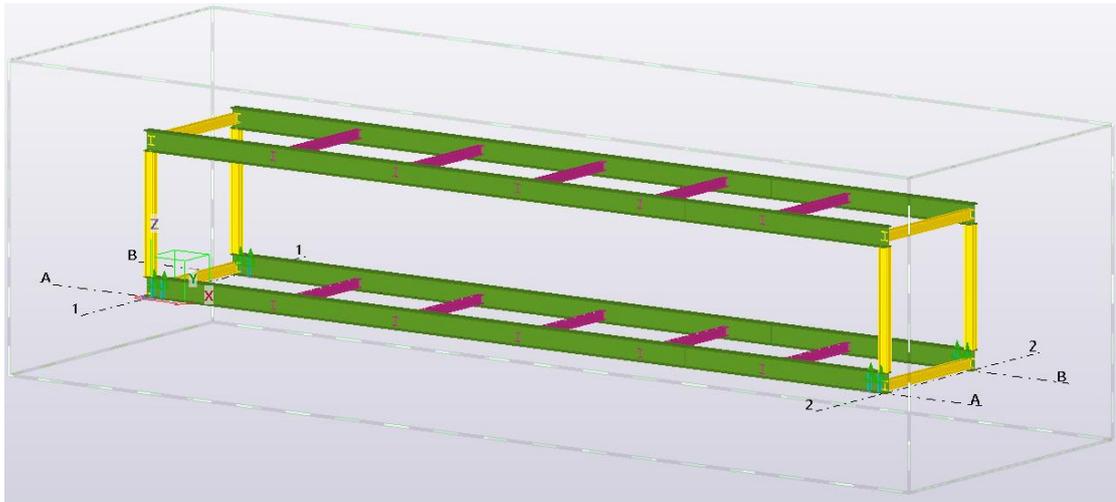
Figura 23 - Travamento de Bordo.



Fonte: o autor

Após a inserção dos travamentos de bordo, o procedimento se repete para os travamentos superiores e inferiores internos. Com perfis diferentes, adota-se para o travamento superior um perfil W150X13 e aço A572-GR.50, com a mudança para classe 9. Seleciona-se na barra de ferramentas a aba editar e inserir pontos a partir de um ponto, colocando-os a cada 2500 mm, resultando em 5 travamentos e 6 vãos que deverão ser diagonalmente preenchidos no próximo passo, a fim de completar o contraventamento da estrutura. Isso cria uma passarela conforme a Figura 24.

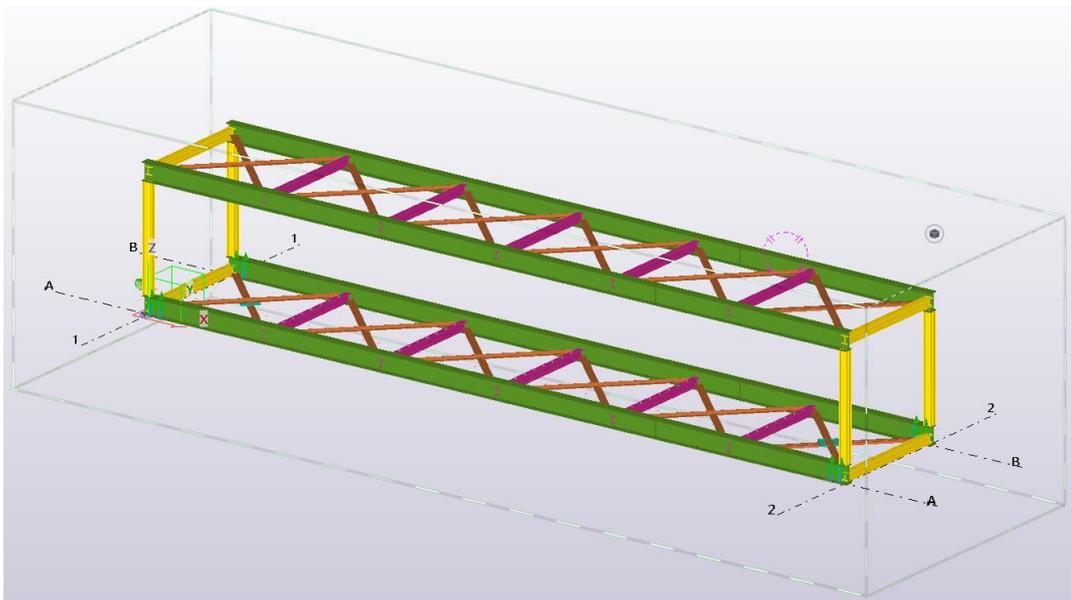
Figura 24 - Travamento Superior e Inferior.



Fonte: o autor

Utilizando os pontos previamente incluídos, realiza-se o travamento diagonal superior e inferior, também conhecido como contraventamento, que tem a função crucial de aumentar a rigidez e estabilidade da estrutura. Esse tipo de travamento é essencial para resistir às forças laterais, como ventos, que podem causar deslocamentos horizontais e torções indesejadas. Ao inserir elementos diagonais, cria-se um sistema de triangulação que distribui as cargas de forma mais eficiente e uniforme, prevenindo deformações excessivas e colapsos estruturais. Para esse fim, foram adotadas cantoneiras para os travamentos diagonais superiores e inferiores com perfil L63.5X7.44 e aço A36, conforme demonstrado na Figura 25.

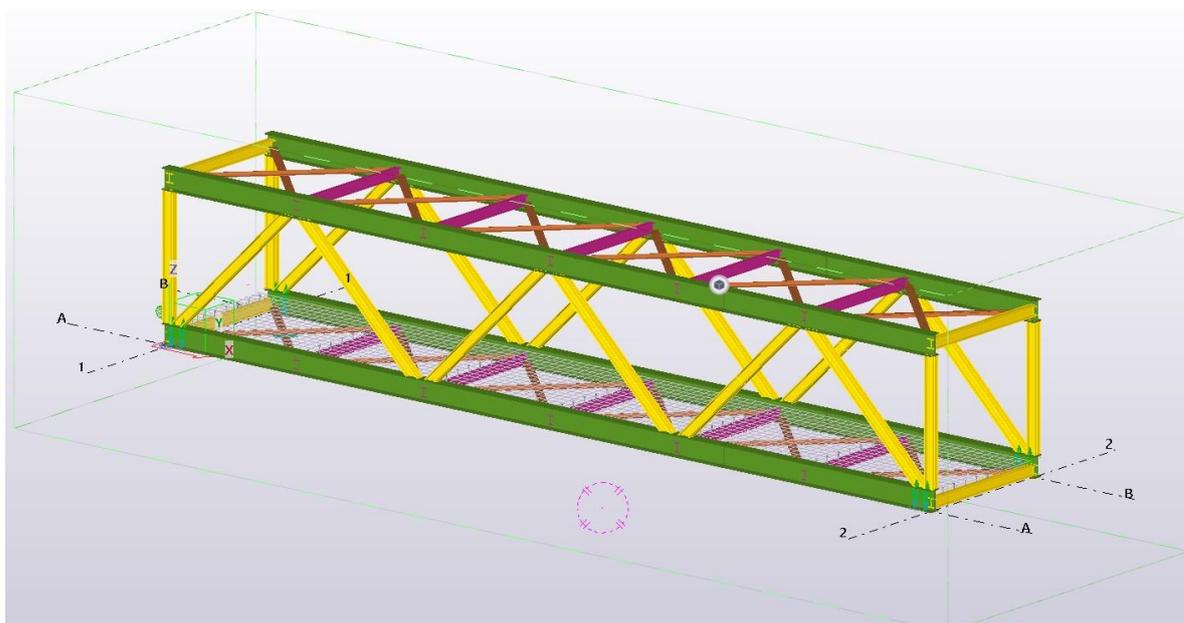
Figura 25 - Travamento Diagonal (contraventamento).



Fonte: o autor

O mesmo procedimento é aplicado para os montantes de diagonais laterais, onde foram utilizados perfis W150X22.5 e aço A572-GR.50, iniciando nos eixos '1' e '2' do nível 0 até encontrar o nível 2500mm no ponto 2500mm lateralmente. Eles se encontram no vão central, a 7500mm de distância do início e do final da passarela, resultando em um montante com comprimento de 3184.44mm, conforme representado na Figura 26

Figura 26 - Diagonais laterais.



Fonte: o autor

4.3.3 Lajes Metálicas

A introdução da laje no software Tekla, segue o mesmo padrão de vigas e pilares. O tipo escolhido para ser executada no projeto foi o Steel Deck, contamos com a utilização de uma família disponibilizada pelo template do DNIT, contudo, com as configurações ajustadas de acordo com o projeto de dimensionamento realizado previamente, assim tabuleiro é composto por laje tipo *steeldeck*, onde foi incorporada a guia de balizamento e a seção transversal típica tem dimensões 2,5 x 2,5 m.

O Steel Deck é uma laje composta por uma telha de aço galvanizado e uma camada de concreto. O aço, excelente material para trabalhar a tração, é utilizado no formato de uma telha trapezoidal que serve como fôrma para concreto durante a concretagem e como armadura positiva para as cargas de serviço.

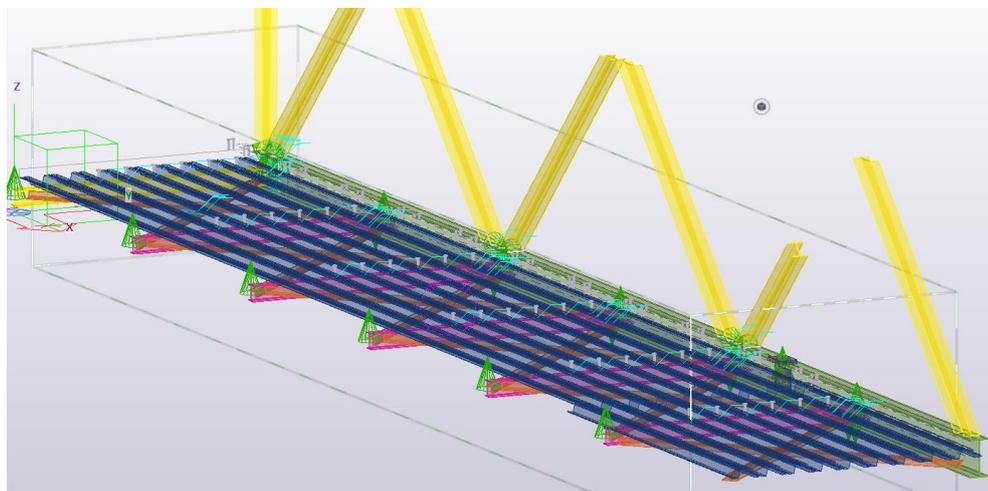
O Steel Deck possui nervuras largas e com a utilização de conectores de cisalhamento (stud bolts) permite a interação do concreto com o aço o que possibilita o cálculo de vigas mistas, permitindo uma redução do peso da estrutura.

Dentre as muitas vantagens para a construção, destacam-se as seguintes: alta qualidade de acabamento da laje; dispensa escoramento e reduz os gastos com desperdício de material; facilidade de instalação e maior rapidez construtiva.

As lajes serão do Tipo Steel deck MF-75 ou similar, com espessura da chapa de 0,95 mm, espessura da laje 15 cm, sendo a capa de concreto executada com concreto $f_{ck} = 25$ MPa e malha superior de Q-196. Dessa forma é possível a execução sem a necessidade de escoramento, isso considerando o local de execução e o grande vão da obra.

Para aplicar no software selecionamos a família e aplicamos no ponto inicial, no caso eixo '1-A', após a primeira instalada, selecionamo-la e clicamos com o botão direito a fim de copiar e repetir até o eixo '2'. Temos então as 'formas' aplicadas, sem a concretagem representada na Figura 27.

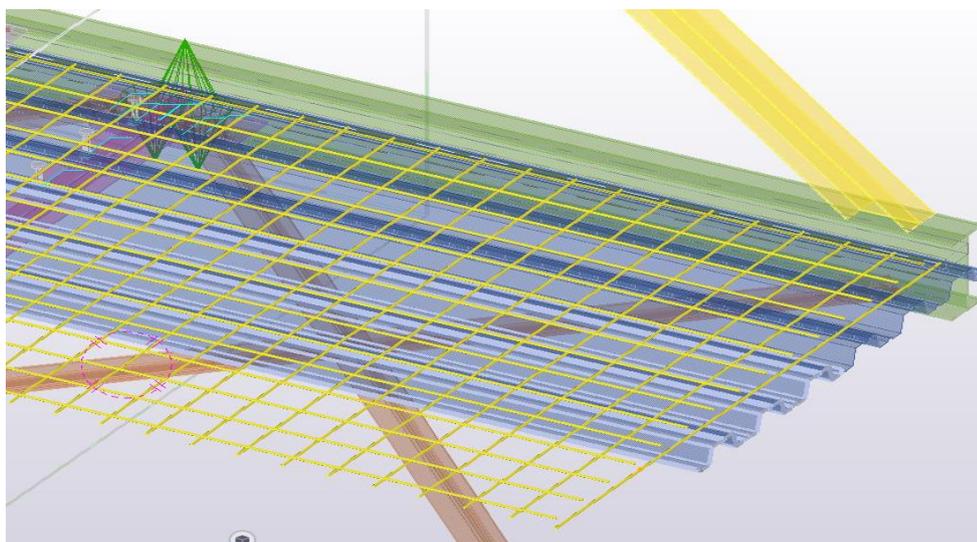
Figura 27- Detalhe Steel Deck.



Fonte: o autor

A Figura 28 mostra o detalhe da colocação da malha superior de Q-196, onde a sua colocação acontece quando selecionarmos a aba 'armadura' e também a opção 'tela' e selecionamos as formas de *steel deck* já posicionadas no projeto, que servem de referência para a armadura na propriedade de configuração instauramos as referentes a malha Q196.

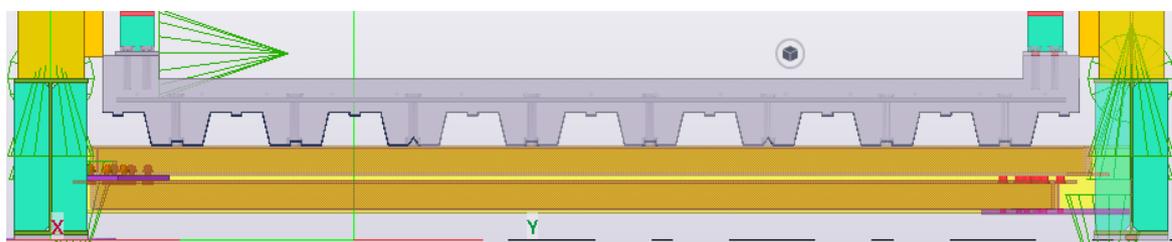
Figura 28 – Detalhe Malha.



Fonte: o autor

Por fim na Figura 29, temos uma vista frontal e podemos avaliar o resultado final da instalação da laje concretada.

Figura 29 – Corte Steel Deck.



Fonte: o autor.

4.4 Ligação de Elementos

A criação de ligações em estruturas metálicas oferece inúmeras vantagens, destacando-se pela precisão e eficiência no processo de modelagem e detalhamento. Este software permite a criação de conexões complexas com um alto nível de detalhe, garantindo que todas as especificações técnicas sejam atendidas com rigor, além de facilitar a coordenação entre as diferentes disciplinas envolvidas, reduzindo erros e retrabalhos. Além disso, a capacidade de gerar desenhos e relatórios automaticamente a partir do modelo 3D agiliza a produção de documentação necessária para a fabricação e montagem, logo melhora a visualização do projeto, permitindo a identificação precoce de possíveis conflitos ou problemas de design, o

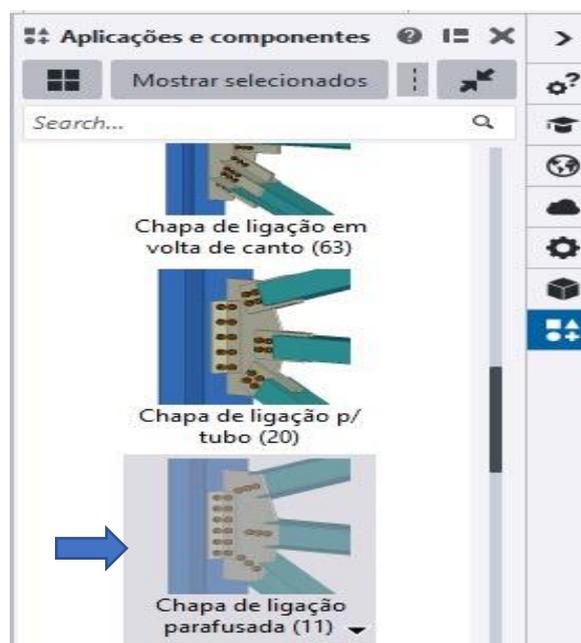
que contribui para a otimização do processo construtivo e para a entrega de projetos mais seguros e econômicos.

4.4.1 Ligações de Diagonais e Montantes

Com os modelos estruturais como Montantes, Banzos e demais lançados e recortados no software corretamente, podemos iniciar as ligações entre as mesmas. De início realizamos entre as diagonais e montantes. Para isso será utilizada uma Placa Gousset, de perfil CH12.5 e Aço A36 e parafusos com diâmetro de $\varnothing=12,70\text{mm}$ e comprimento de 137.38 mm.

A fim de realizar uma ligação parafusada no software Tekla, primeira abra a caixa de aplicações e componentes. Em seguida, selecione a macro "chapa de ligação parafusada" ou a macro número 11, como representada na Figura 28.

Figura 30 - Seleção de Ligação.



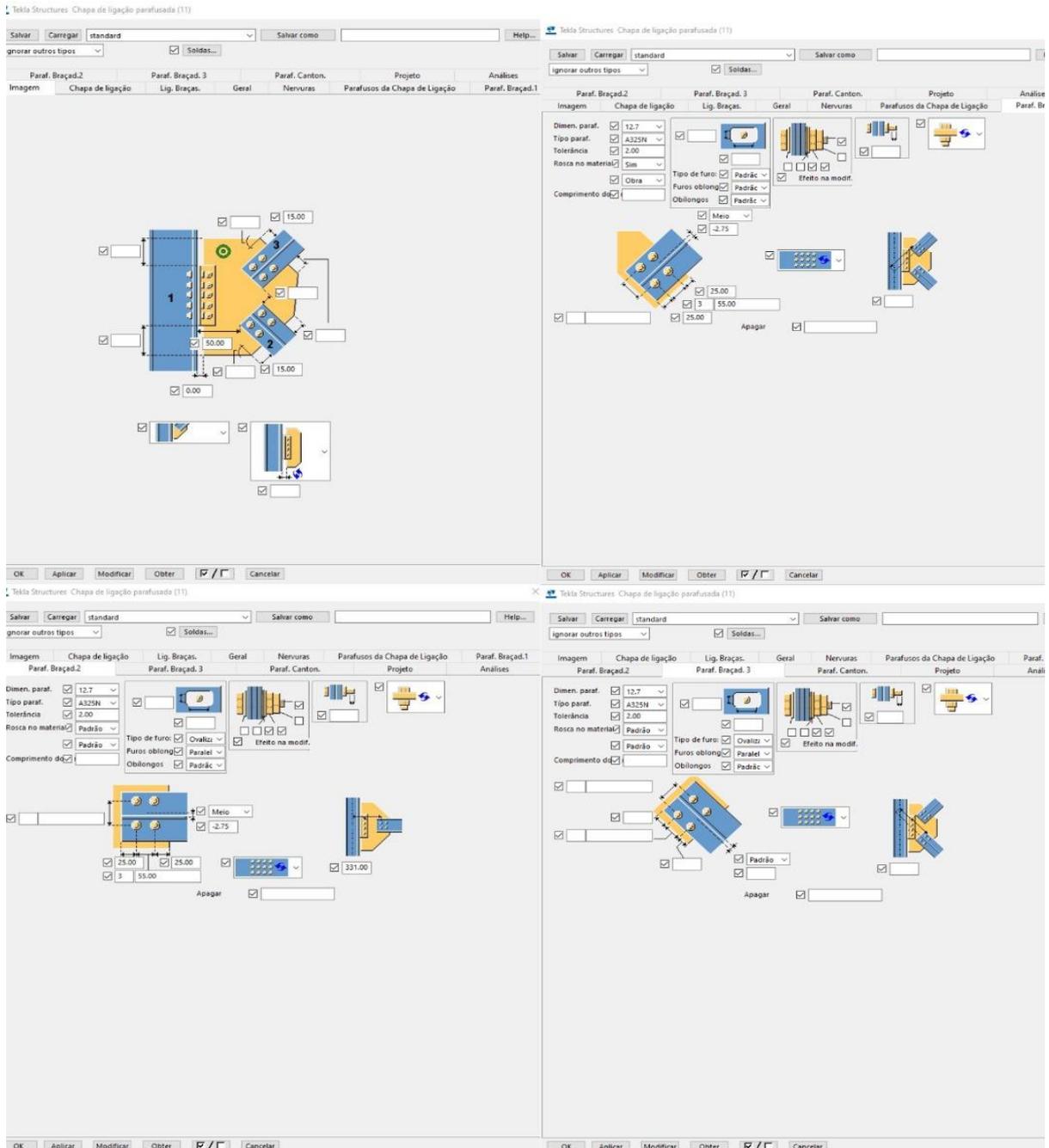
Fonte: o autor

Conforme as instruções fornecidas no campo de orientações, escolha a peça principal, que neste caso é o montante de perfil. Posteriormente, selecione a peça diagonal, que corresponde ao perfil em L.

Então com um clique duplo sobre a peça lançada para abrir a caixa de propriedades da macro, e configuramos os limites que compõem a geometria da chapa de ligação, ajustando a espessura da chapa, sua posição na treliça, e a largura

e altura da chapa conforme as informações fornecidas previamente em projeto de dimensionamento, o qual não será abordado no presente projeto.

Figura 31 - Propriedades de Ligação.



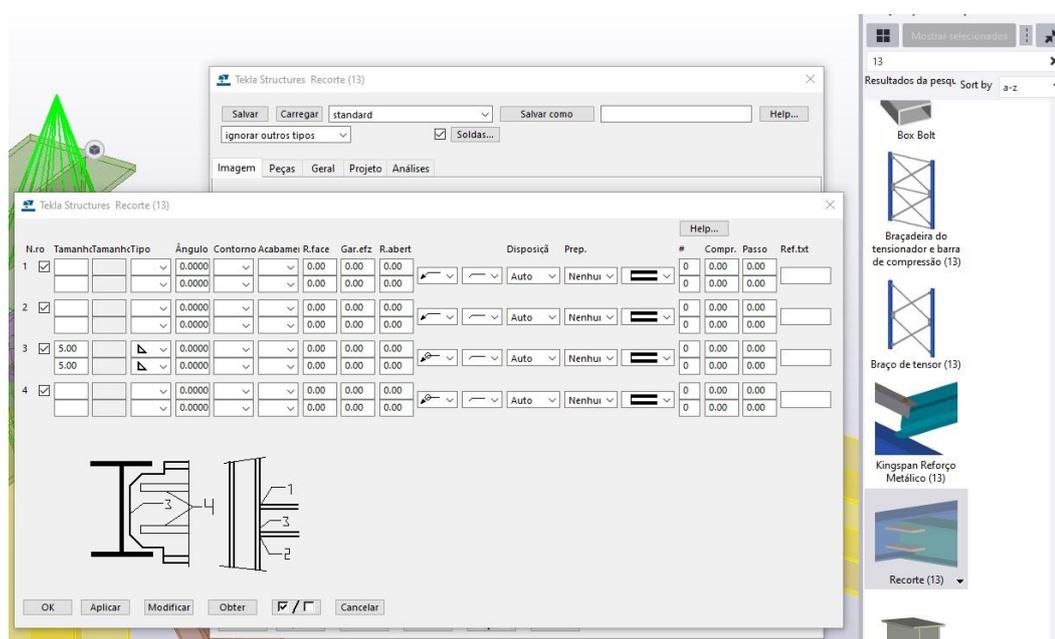
Fonte: o autor

As figuras com fundo branco indicam mais opções de configuração, permitindo ajustar a geometria da ligação de forma automática e precisa. Após definir a geometria e o posicionamento da chapa, iniciamos a configuração das soldas, onde será

necessário configurar duas opções de solda: a primeira é a solda da chapa Goussset no banzo de perfil, a segunda é a solda da chapa no perfil do travamento.

Seguimos o mesmo padrão da ligação parafusada, sendo que iremos utilizar o tipo de solda 'recorte 13', de acordo com a Figura 30. Isso se repete para as demais ligações entre estes elementos, sempre considerando que podemos configurar o primeiro, salvar a configuração e carrega-la para as demais, garantindo uma eficiência e diminuindo as chances de erros ou divergências entre eles.

Figura 32 - Seleção de Ligação.



Fonte: o autor

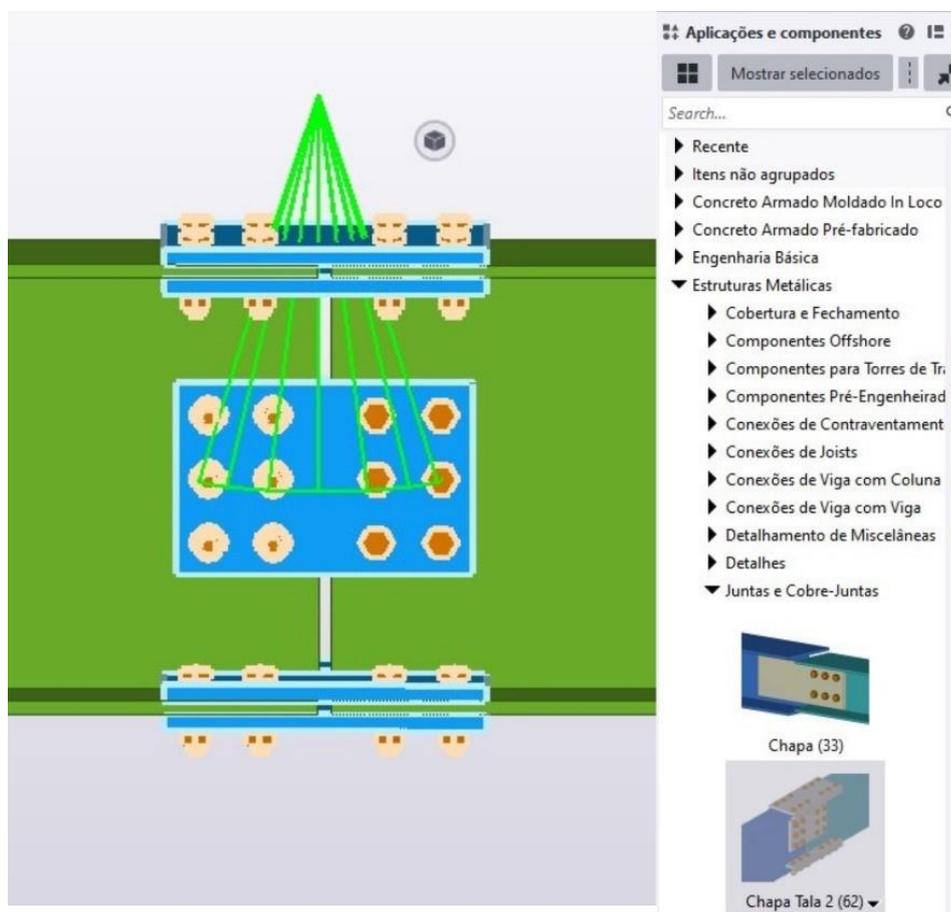
4.4.2 Ligações de Banzo e Diagonal

Para garantir que a passarela alcance o comprimento total de 15m, é imprescindível que os banzos possuam uma conexão intermediária. Esta conexão intermediária é crucial para assegurar a integridade estrutural e a continuidade da passarela ao longo de toda a sua extensão. Devido às exigências específicas de construção e montagem, é necessário realizar um recorte no elemento de montante diagonal. Esse recorte permite uma melhor adaptação e ajuste dos componentes, garantindo a precisão e a estabilidade necessárias para a estrutura final.

Seguindo o modelo de ligação dos elementos anteriores, o template fornecido pelo DNIT apresenta a ligação de cobrejunta, nomeada de chapa tala 2 (62), apresentada na Figura 31. Após selecionar a ligação, realizamos a seleção das duas

seções dos banzos a unir, o Tekla automaticamente detecta uma posição e configuração genérica.

Figura 33 - Ligação de Banzo.

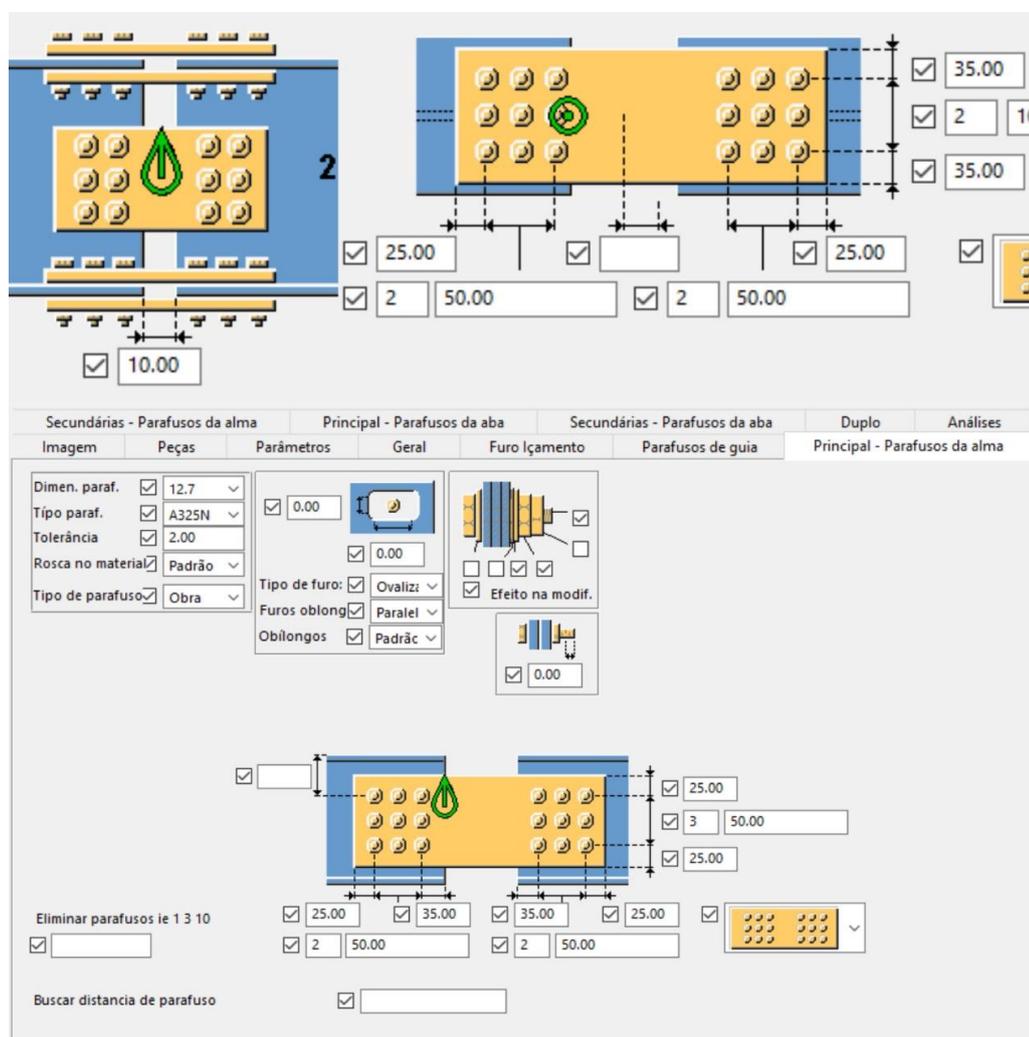


Fonte: o autor

Com um duplo clique no elemento de ligação entramos nas configurações e aplicamos o detalhamento previamente calculado, com um espaçamento entre banzos de 10mm. Para o aparafusamento da alma foram utilizados parafuso com diâmetro de $\varnothing=12.70\text{mm}$, do tipo A325N. sendo utilizados 9 parafusos para fixação em cada lado da chapa de 8mm de espessura. Reservando uma distância de 25mm entre borda externa e eixo do parafuso externo e 50mm entre eixos de parafuso externo e interno, além de 35mm entre eixo de parafuso interno e borda interna.

Para a alma foram considerados 35mm de borda para ambos na direção y e 25mm para ambos na direção x, continuando com as mesma características e quantidade de parafusos, entretanto as chapas tanto internas quanto externa passaram a ser ter $e=12,70\text{mm}$ de espessura.

Figura 34 - Propriedades de Ligações de Banzo.

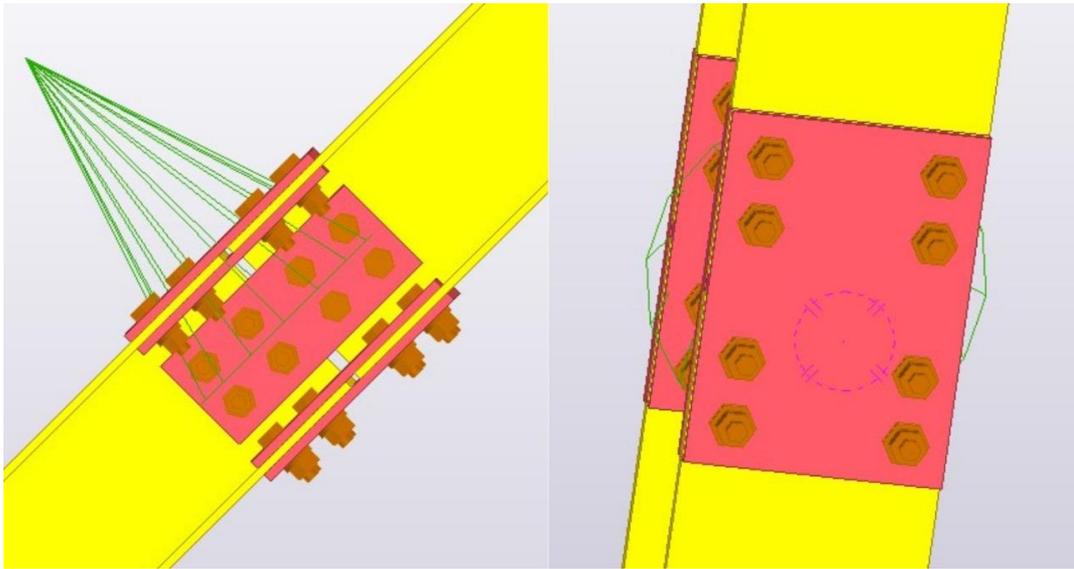


Fonte: o autor

Para finalizar a etapa de ligações temos a ligação entre as diagonais, que possuem a mesma característica dos banzos, com a ligação de 'Cobrejuntas 2 (62)', contudo com propriedades diferentes, iniciando já pela chapa de ligação que possui 6.35mm de aço A36, com um espaçamento entre banzos de 10mm, para o aparafusamento da alma foram utilizados também parafuso com diâmetro de $\varnothing=12.70\text{mm}$, do tipo A325N. sendo utilizados 9 parafusos para fixação.

Reservando uma distância de 25mm entre borda externa e eixo do parafuso externo e 50mm entre eixos de parafuso externo e interno, além de 25mm entre eixo de parafuso interno e borda interna em relação ao eixo X. De modo que ao longo do eixo Y a relação entre fileira inferior e superior de parafusos possui 40mm. As abas diferenciam-se por possuir chapa interna e externa com $e=8\text{mm}$ de espessura, o resultado da ligação está representada na Figura 33.

Figura 35 - Detalhe Ligação Diagonais.

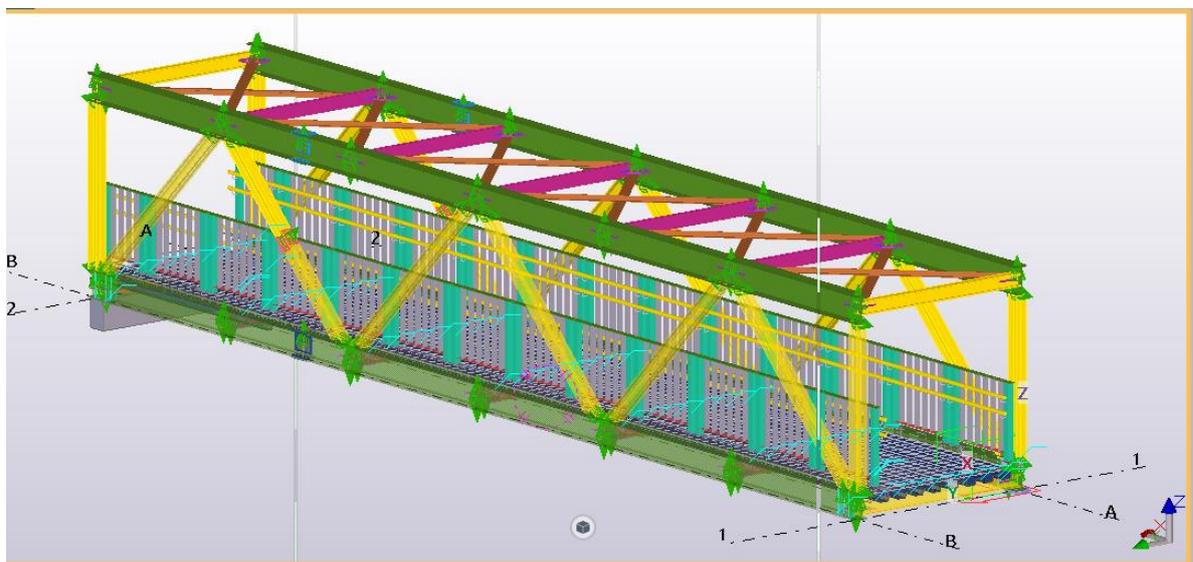


Fonte: o autor

4.5 Resultado 3D

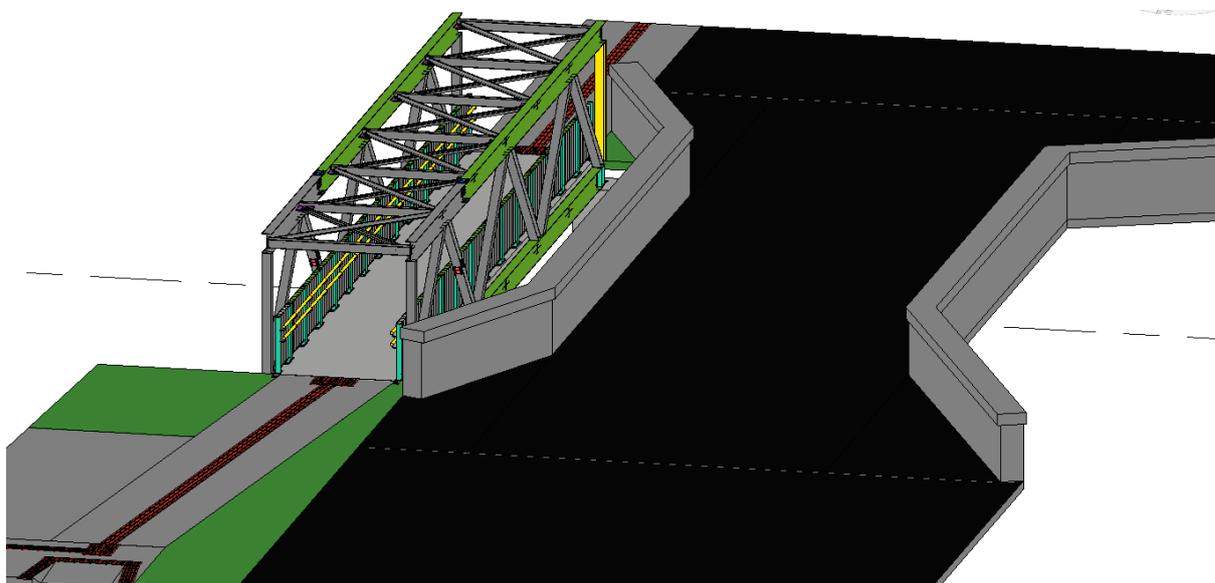
Como uma das principais vantagens da utilização da tecnologia BIM é a parametrização de elementos e assim a automatização de vistas e análises em 3 dimensões, é apresentado nas Figuras 36 e 37 abaixo o resultado final da modelagem da passarela, primeira no Tekla e a segunda já no software REVIT, com a compatibilização entre os acessos, ponte vigente e passarela a ser executada .

Figura 36 – Vista 3D no Tekla.



Fonte: o autor

Figura 37 - Vista 3D - Estimativa de Obra final (REVIT).



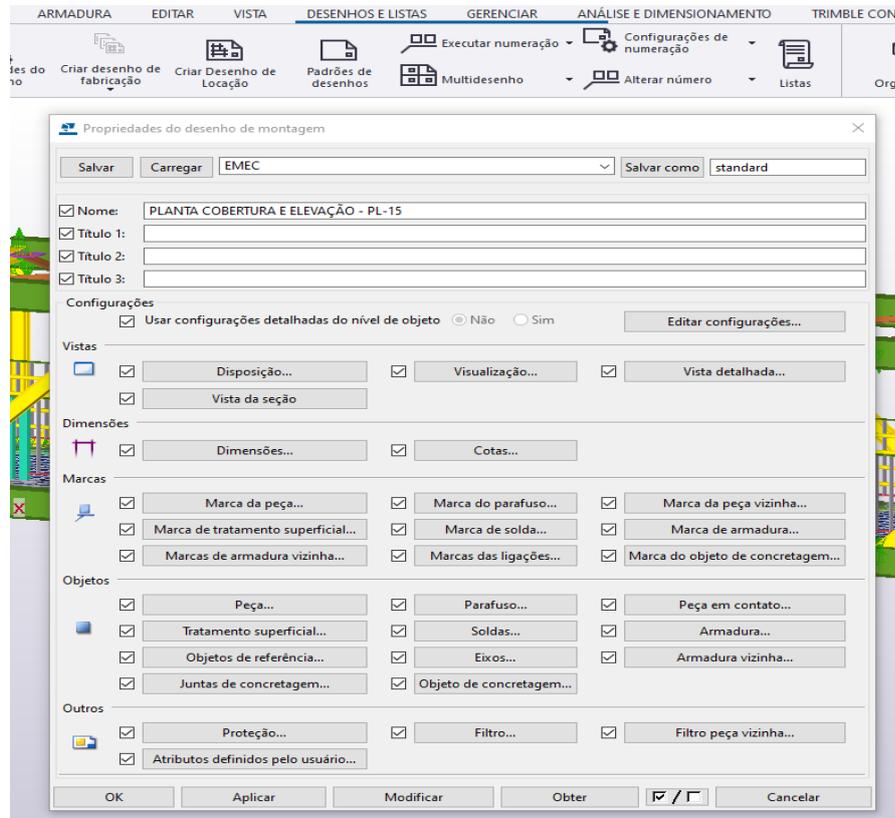
Fonte: o autor

4.6 Criação de Documentos

Nesta etapa de extração de desenhos, contamos com a licença Diamond do Tekla Structures. Inicialmente para configurar as propriedades do desenho, acesse a aba "Desenhos e Listas" e selecione "Propriedades do Desenho". Esta função determina quais tipos de desenhos estarão disponíveis.

Para aumentar a produtividade e evitar a necessidade de configurar cada desenho individualmente, é recomendável configurar essas propriedades previamente. Dessa forma, elas serão aplicadas a todos os desenhos criados, sem a necessidade de alterarmos individualmente, como podemos visualizar na Figura 38.

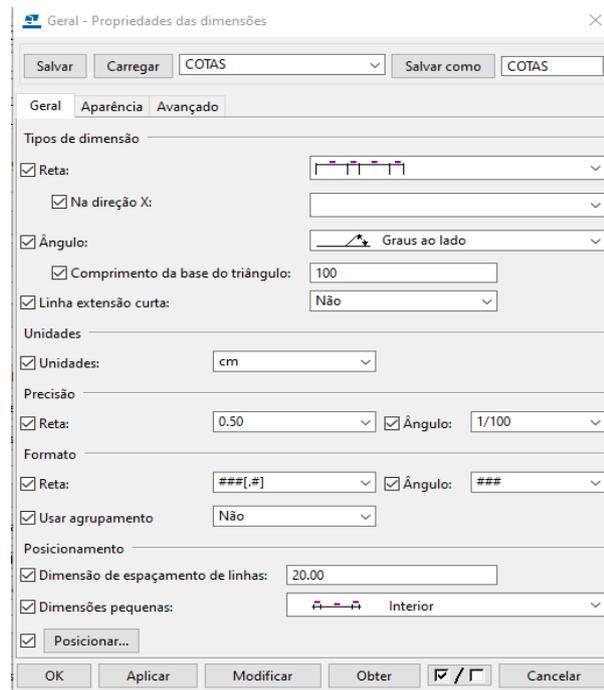
Figura 38 - Configuração de Desenho.



Fonte: fonte

Podemos acessar as propriedades do desenho de locação e realizar alterações em três níveis. O nível mais alto corresponde ao nível do desenho e pode ser modificado por meio da janela "Propriedades de Desenhos Gerais" e suas sub-janelas. Alterações neste nível alteram as propriedades globais, afetando todo o desenho, nele identificamos a unidade utilizada no modelo e aplicá-la aos desenhos como exemplificado na Figura 39 abaixo.

Figura 39 - Propriedades de Desenho.



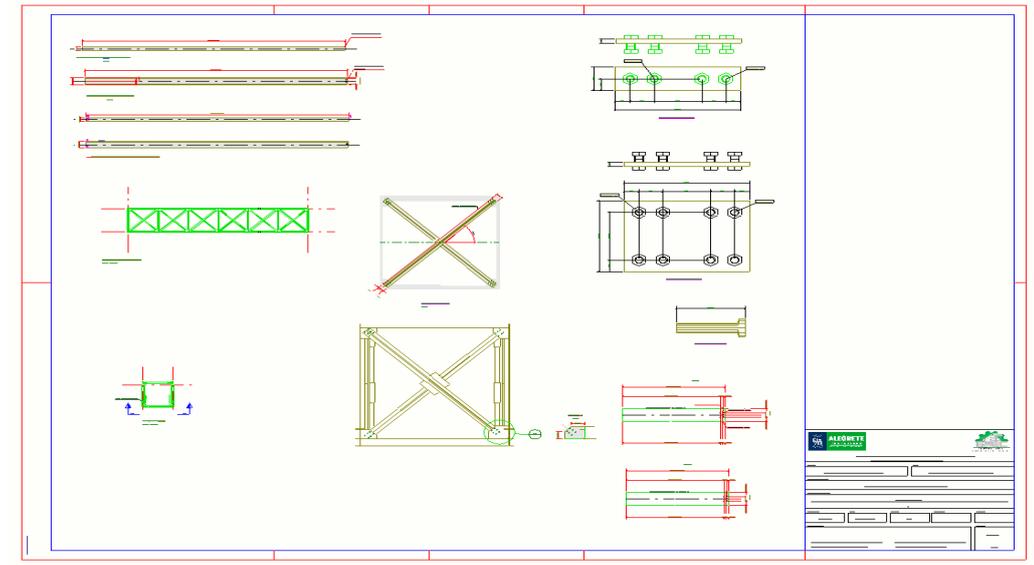
Fonte: o autor

Ainda sobre a Figura 39, na aba "Aparência", podemos modificar as propriedades das linhas, alterando o formato da extremidade. Na aba "Peças", é possível definir quais peças fora dos eixos serão cotadas no desenho.

Para criar um desenho de locação, selecionamos a opção correspondente e escolhemos uma ou mais vistas para as quais desejamos que o desenho seja criado. Em "Opções", escolhemos entre criar um desenho por vista, um desenho contendo todas as vistas selecionadas, ou um desenho vazio. Nesta janela, também é possível acessar a janela de propriedades do desenho geral.

Para visualizar o resultado, selecionamos a vista, por exemplo, a planta na elevação, marcamos a opção para abrir o desenho e clicamos no botão "Criar" e teremos um desenho semelhante ao da Figura 40.

Figura 40 – Detalhamento Prancha.



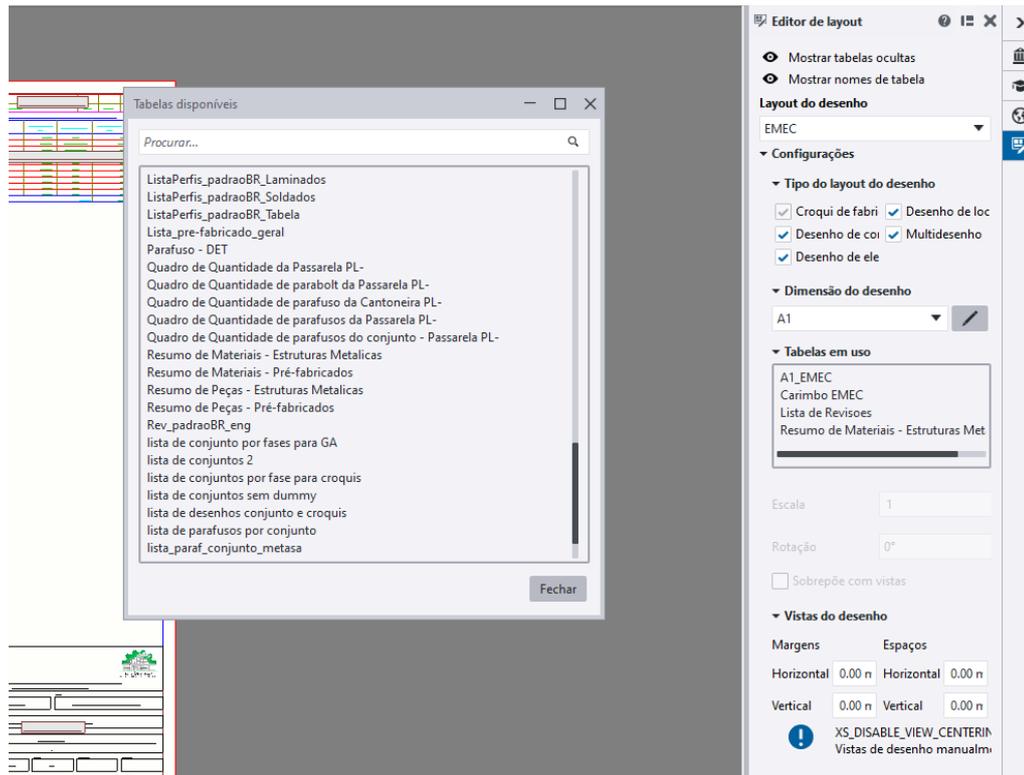
Fonte: o autor

Clicando duas vezes na área de trabalho do desenho, também é possível acessar a janela de propriedades do desenho geral.

O próximo nível que pode ser modificado é o nível da vista, este guia mostra como configurar as propriedades do desenho geral de forma eficiente e produtiva no Tekla Structures, garantindo que todas as configurações necessárias sejam aplicadas a todos os desenhos de locação criados.

E o último nível é diretamente no layout da prancha, onde com um duplo clique no entorno da folha, podemos editar individualmente algumas opções de selo, lista de figuras, lista de materiais, lista de vistas, numeração de página, nomenclatura de página e inúmeras outras características, como por exemplo na Figura 41 abaixo.

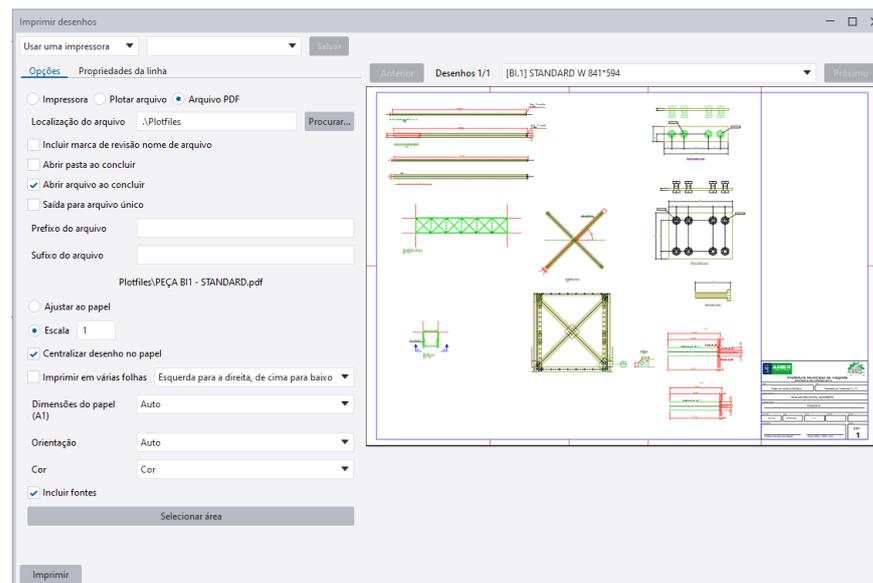
Figura 41 – Edição Layout.



Fonte: o autor

Com as alterações prontas e a criação e desenhos concluídas, podemos imprimir a prancha, tendo também como opções a criação de um arquivo PDF, de acordo com o demonstrado na Figura 42 abaixo.

Figura 41 – Impressão.



Fonte: o autor

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Uma das grandes vantagens do Tekla Structures é a ampla lista de catálogos e materiais disponíveis, que proporciona aos usuários uma vasta gama de opções para escolher, além de permitir a criação de novos modelos exclusivos para o seu projeto manualmente. Essa diversidade é crucial para garantir que os projetos atendam às especificações e normas técnicas exigidas, além de oferecer flexibilidade na escolha dos componentes mais adequados para cada estrutura. Embora a elaboração das ligações possa apresentar certa dificuldade inicial, o nível de detalhamento alcançado permite que as conexões sejam representadas com alta fidelidade à realidade, garantindo a integridade estrutural e a precisão do projeto.

O sistema de eixos e posições do Tekla Structures é outra característica que contribui significativamente para a redução de erros durante a criação de modelos. Essa funcionalidade permite um posicionamento preciso dos elementos estruturais, facilitando o alinhamento e a integração de diferentes componentes. Além disso, a diferenciação das fases de projeto oferece uma visão organizada e detalhada do progresso do trabalho, permitindo um acompanhamento mais eficiente e a identificação de áreas que necessitam de ajustes.

Adicionalmente, embora a análise estrutural não tenha sido utilizada neste específico, Tekla Structures oferece capacidades robustas para a criação de modelos de análise, permitindo que os usuários avaliem o desempenho das estruturas sob diversas condições de carga. A excelente disponibilidade de carregar modelos acessíveis em dispositivos móveis e a possibilidade de abri-los em qualquer aparelho com acesso à internet acrescentam uma camada de conveniência e flexibilidade, facilitando a colaboração e a revisão de projetos em qualquer lugar. Por todas essas razões, recomenda-se fortemente o Tekla Structures para quem deseja desenvolver projetos de estruturas metálicas com precisão, eficiência e praticidade.

6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Com base nas questões abordadas após a conclusão deste trabalho e visando o desenvolvimento e continuação das ideias apresentadas em aplicações futuras, sugestões como prosseguimento:

- Testar a metodologia do BIM, aliado à fotogrametria por drones para o acompanhamento de um empreendimento real;
- Verificar a aplicabilidade da produção de documentação de evolução do as built de uma obra;
- Acompanhamento de execução e comparação com detalhes elaborados;
- Utilização da metodologia por parte do setor público, agilizando processos.

7 REFERÊNCIAS

Aqui estão as referências organizadas em ordem alfabética:

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14323: Dimensionamento de estruturas de aço em situação de incêndio. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14762: Dimensionamento de estruturas de aço constituído por perfis formados a frio. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16239: Proteção contra corrosão de estruturas de aço - Pintura de estruturas de aço. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6123: Forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8681: Ações e segurança nas estruturas - Procedimento. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8800: Emenda 1 à NBR 8800:2008 - Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. Rio de Janeiro, 2020.

CBCA. **Ligações.** 2016. Disponível em: <http://site.ufvjm.edu.br/icet/files/2016/07/ligacoes-cbca-1.pdf>. Acesso em: 27 jun. 2024.

DE, N.; PEREIRA, J. **Utilização da tecnologia BIM no desenho arquitetônico: Um estudo de caso.** Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 2020. Disponível em: https://www2.ufrb.edu.br/bcet/components/com_chronoforms5/chronoforms/uploads/tcc/20190415211917_2017.X_-_TCC_Nilton_Pereira_Utilizao_da_Tecnologia_Bim_no_Desenho_Arquitetnico_um_Estudo_de_Caso.pdf. Acesso em: 20 dez. 2023.

DNIT. **Álbum de Projetos – Tipo de Passarelas para pedestres. Volume 1 – Desenhos.** Disponível em: <https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-manuais/outros-documentos/VOLUME01ALBUMPASSARELASIPR748.pdf>. Acesso em: 10 dez. 2023.

DNIT. **Álbum de Projetos – Tipo de Passarelas para pedestres, Volume 2 – Memória de Cálculo.** Disponível em: https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-manuais/vigentes/748-ipr_748_volume_02_album_passarelas_2_edicao-1.pdf. Acesso em: 10 dez. 2023.

DUARTE, E. A. **Tipos de Ligações**. 2015. Disponível em: <https://estruturas.ufpr.br/wp-content/uploads/2015/05/Cap1-TiposdeLigações.pdf>. Acesso em: 27 jun. 2024.

EASTMAN, C. et al. **Manual de BIM: Um guia de modelagem da informação da construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e incorporadores**. Porto Alegre: Bookman, 2014.

Ficheiro: Locator map of Alegrete in Rio Grande do Sul.svg – Wikipédia, a enciclopédia livre. Disponível em: https://pt.m.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Locator_map_of_Alegrete_in_Rio_Grande_do_Sul.svg. Acesso em: 8 jul. 2024.

Foreword National Building Information Modeling Standard™. [s.l: s.n.]. Disponível em: https://buildinginformationmanagement.wordpress.com/wp-content/uploads/2011/06/nbimsv1_p1.pdf. Acesso em: 3 abr. 2024.

FREITAS, João Gonçalo Andrade. **Metodologia BIM: uma nova abordagem, uma nova esperança**. Dissertação de Mestrado, Universidade da Madeira (Portugal), 2014.

GOV, BR. **Estratégia para disseminação de BIM**. Disponível em: <https://www.gov.br/mdic/pt-br/assuntos/competitividade-industrial/building-information-modelling-bim/26-11-2018-estrategia-BIM-BR-2.pdf>. Acesso em: 12 dez. 2023.

LOPES, Felipe Ferreira. **Desenvolvimento de aplicativos de apoio a etapa de projeto detalhado em estruturas metálicas: um estudo de caso**. Monografia de Especialização, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2018. Disponível em: https://riut.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/19308/1/CT_CEGDP_2013_1_7.pdf. Acesso em: 20 dez. 2023.

MOREIRA, Thomaz P. F. **A influência da parametrização dos softwares CADD arquiteturalis no processo de projeção arquitetônica**. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, UnB, 2008. 180p.

MT - MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES DNRE - DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM DIRETORIA DE DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO DIVISÃO DE CAPACITAÇÃO TECNOLÓGICA. **Manual de Projeto de Obras-de-Arte Especiais**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-manuais/vigentes/698-manual-de-projeto-de-obras-de-arte-especiais-1.pdf>. Acesso em: 5 dez. 2023.

NAHIME, B. de O.; NETTO, A. B.; AKASAKI, J. L.; SANTOS, I. S. dos; ALMEIDA, D. G.; GUIMARÃES, K. M.; SILVA, L. A.; SILVA, C. de **A. Aplicação da metodologia BIM e dos princípios da construção enxuta em obra comercial / Application of the BIM methodology and the principles of left construction in commercial work**. Brazilian Journal of Development, v. 6, n. 8, p. 60187–60194, 2020. DOI: 10.34117/bjdv6n8-437. Disponível em:

<https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/15301>. Acesso em: 8 jul. 2024.

O uso do BIM como ferramenta na gestão da construção civil. Universidade Federal de Minas Gerais. [s.l: s.n.]. Disponível em: https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUBD-AQ4FVH/1/monografia___luciano_rodrigues_costa_rev.2.pdf. Acesso em: 8 jul. 2024.

PEREIRA, Nilton de Jesus. **Utilização da tecnologia BIM no desenho arquitetônico: Um estudo de caso.** Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 2020. Disponível em: https://www2.ufrb.edu.br/bcet/components/com_chronoforms5/chronoforms/uploads/tcc/20190415211917_2017.X_-_TCC_Nilton_Pereira_Utilizao_da_Tecnologia_Bim_no_Desenho_Arquitetnico_um_Estudo_de_Caso.pdf. Acesso em: 20 dez. 2023.

ROUX, A.; ADDOR, M.; DARDES DE ALMEIDA CASTANHO, M.; CAMBIAGHI, H.; MARTIN DELATORRE, J. P.; SAMPAIO NARDELLI, E.; LOMPETA DE OLIVEIRA, A. **Colocando o "i" no BIM.** *arq.urb*, n. 4, p. 104–115, 2010. Disponível em: <https://www.revistaarqurb.com.br/arqurb/article/view/207>. Acesso em: 8 jul. 2024.

Tekla Structures 2024: General Interface Overview. Disponível em: https://support.tekla.com/doc/tekla-structures/2024/gen_interface_overview. Acesso em: 27 jun. 2024.