



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE ANGICOS
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

RONALDO ROBERTO OLIVEIRA DE SOUZA

**ESTUDO DA METODOLOGIA BIM APLICADA A ESTRUTURA METÁLICA:
INTERAÇÃO REVIT®/ROBOT®**

ANGICOS – RN

2021

RONALDO ROBERTO OLIVEIRA DE SOUZA

**ESTUDO DA METODOLOGIA BIM APLICADA A ESTRUTURA METÁLICA:
INTERAÇÃO REVIT®/ROBOT®**

Trabalho Final de Graduação apresentado a
Universidade Federal Rural do Semi-Árido
como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Wendell Rossine
Medeiros de Souza

ANGICOS – RN

2021

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

S719e Souza, Ronaldo Roberto Oliveira de.
ESTUDO DA METODOLOGIA BIM APLICADA A ESTRUTURA
METÁLICA: INTERAÇÃO REVIT®/ROBOT® / Ronaldo
Roberto Oliveira de Souza. - 2021.
96 f. : il.

Orientador: Wendell Rossine Medeiros de
Souza.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Civil,
2021.

1. BIM. 2. Revit. 3. Robot. 4. Estrutura
metálica. 5. Mezanino. I. Souza, Wendell Rossine
Medeiros de, orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo autor(a).

Biblioteca Campus Angicos

Bibliotecário: Helder Romero Maia Duarte

CRB: 15/873

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISB-UFRSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da Instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

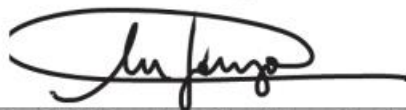
RONALDO ROBERTO OLIVEIRA DE SOUZA

**ESTUDO DA METODOLOGIA BIM APLICADA A ESTRUTURA METÁLICA:
INTERAÇÃO REVIT®/ROBOT®**

Trabalho Final de Graduação apresentado a
Universidade Federal Rural do Semi-Árido
como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Defendida em: **19 / 11 / 2021.**

BANCA EXAMINADORA



Assinado de forma digital por WENDELL
ROSSINE MEDEIROS DE SOUZA:01875503447
Dados: 2021.11.22 14:53:12 -03'00'

Wendell Rossine Medeiros De Souza, Prof. Dr. (UFERSA)
Presidente

Kleber Cavalcanti
Cabral

Assinado de forma digital por
Kleber Cavalcanti Cabral
Dados: 2021.11.22 15:00:22 -03'00'

Kleber Cavalcanti Cabral, Prof. Dr. (UFERSA)
Membro Examinador



Erickson Bruno Moura Bezerra, Bel. Eng. Civil
Membro Examinador

Dedico este trabalho ao meu pai, que não está mais presente fisicamente, mas vive através dos meus sonhos e sem ele nada disso seria possível (*In Memoriam*).

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus, por tudo que já realizei e tenho realizado em minha vida, pela família e amigos que tenho, por me dar forças em momentos difíceis, principalmente no fechamento deste ciclo de graduação.

Agradeço ao meu pai, Reinaldo Roberto de Souza, que para sempre será fonte de inspiração, um modelo como homem e pai, esteve ao meu lado em todos os momentos, principalmente os mais difíceis, sem ele nada disso seria possível. A minha mãe Maria da Conceição Oliveira de Souza, que sempre cuidou de mim com muito amor e carinho, a minha irmã Rayane Carla Oliveira de Souza que como irmã mais velha não poderia ter alguém melhor, um espelho para mim de inteligência, humildade, força e fé.

Agradeço a Todos aqueles que conheci por meio da UFERSA e que tornaram os dias mais felizes ao longo desta caminhada. Meus amigos: Francisco Euzilmar Torres de Farias, Kaio Henrique Gomes Leite, Ana Carolina Vieira da Silva, Matheus da Silva Davi, Paulo Rodolpho dos Santos Teixeira, Gabriel Francisco Costa Freire, Layane Silva de Araujo, Larissa Hellen Alves Fernandes.

Agradeço a meu orientador, Prof (a) Dr. Wendell Rossine Medeiros de Souza, por toda disponibilidade e direcionamento, possibilitando assim a conclusão do referente trabalho.

Agradeço a banca examinadora nas figuras do professor doutor Kleber Cavalcanti Cabral e do Engenheiro Civil Erickson Bruno Moura Bezerra por aceitarem o convite e avaliarem este trabalho.

Por fim, agradeço a toda comunidade UFERSA- CAMPUS ANGICOS. Desde o excelente corpo docente, que agregou e muito meus conhecimentos ajudando na formação de bacharel em Engenharia Civil até os demais servidores que permitem o funcionamento da universidade.

*“Não tema, pois eu o resgatei; eu o chamei
pelo nome; você é meu.”*

Isaías 43:1-2

RESUMO

O BIM (*Building Information Modeling*) é uma metodologia eficaz no armazenamento de informações e fluxo operacional, podendo ser validada através de alguns softwares, como por exemplo os que trabalham com estruturas. Dessa forma, foi elaborada uma modelagem computacional de um mezanino metálico, presente em Pinheiro (2005), empregando tal filosofia por meio da integração do Autodesk Revit ® com o Autodesk Robot ®. Com o Revit ® foi possível criar os modelos: físico e analítico, sendo necessários ajustes que permitiram a exportação para o Robot, no qual a estrutura foi calculada e os esforços foram retirados e comparados com a literatura, além de também serem comparados com as respectivas resistências de cada elemento obtidas através de planilhas Excel ® automatizadas e autorais. Houve também uma transferência do Robot para o Revit a fim de finalizar o projeto e o detalhamento. Por fim, os modelos se mostraram consistentes cumprindo a integração com êxito, os esforços presentes nos elementos possuíram baixas discrepâncias, sendo elas explicáveis, todos os perfis apresentaram resistência suficiente para as ações propostas e a finalização do projeto se deu pelo término do fluxo no Revit, proporcionando os detalhamentos necessários. Como considerações tem-se que o fluxo entre o Revit e o Robot é excelente, porém para estruturas que possuam escada, por exemplo, o processo de ajuste se torna bastante demorado e detalhista, além disso, pelo Robot não conter os critérios da ABNT NBR 8800:2008 no seu banco de dados e precisar de outras ferramentas, a morosidade aumenta ainda mais comparado com outros softwares de mercado que possuam as NBR's nativas.

Palavras-chave: Projeto estrutural. Fluxo de trabalho. Mezanino. Planilha. Modelagem.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Esforços normais nas barras do mezanino.....	75
Tabela 2 – Esforço cortante nas barras do mezanino.....	76
Tabela 3 – Momento fletor nas barras do mezanino.....	77
Tabela 4 – Valores das resistências à compressão.....	79
Tabela 5 - Valores das resistências à cortante.....	81
Tabela 6 - Valores das resistências à flexão.....	82
Tabela 7 – Resumo da resistência e solicitação à compressão dos perfis.....	83
Tabela 8 – Resumo da resistência e solicitação à cisalhamento dos perfis.....	84
Tabela 9 – Resumo da resistência e solicitação à flexão dos perfis.....	85

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mezanino metálico.....	15
Figura 2 - Níveis de detalhamento no BIM.....	19
Figura 3 - Usos do BIM para projetos.....	20
Figura 4 - Inicialização do Autodesk Revit 2020 ®.....	22
Figura 5 - Inicialização do Autodesk Robot Structure Analysis ®.....	23
Figura 6 - Modelo geométrico e analítico no Autodesk Revit ®.....	23
Figura 7 – Tabela 1 da ABNT NBR 8800:2008.....	26
Figura 8 - Comprimento de flambagem.....	29
Figura 9 - Fluxograma FLT.....	30
Figura 10 - Fluxograma FLM.....	31
Figura 11 - Fluxograma FLA.....	31
Figura 12 - Planta do Mezanino.....	33
Figura 13 - Corte Longitudinal e Transversal.....	33
Figura 14 - Seção transversal do perfil utilizado na viga da escada.....	34
Figura 15 - Esquema estrutural do mezanino.....	34
Figura 16 - Seção transversal do perfil das vigas principais.....	35
Figura 17 - Seção transversal do perfil das vigas secundárias.....	36
Figura 18 - Seção transversal do perfil dos pilares.....	36
Figura 19 - Cargas nas vigas da escada.....	36
Figura 20 - Modelo estrutural das vigas da escada.....	37
Figura 21 – Cargas nas vigas secundárias.....	37
Figura 22 - Cargas nas vigas principais.....	37
Figura 23 – Fluxograma inicial.....	38
Figura 24 – Criação de um novo projeto.....	39
Figura 25 – Níveis do projeto.....	40
Figura 26 – Eixos do projeto.....	41
Figura 27 – Inserção dos pilares.....	42
Figura 28 – Inserção das vigas principais.....	43
Figura 29 – Vigas secundárias.....	44
Figura 30 – Inserção da escada.....	45
Figura 31 – Ajustes na escada.....	45
Figura 32 – Criação da laje.....	46

Figura 33 – Modelos de vista.....	47
Figura 34 – Modelo analítico antes dos ajustes.....	48
Figura 35 – Problemas nas vigas analítica da escada.....	49
Figura 36 - Função Ajuste analítico.....	50
Figura 37 – Ajuste analítico na viga da escada.....	50
Figura 38 – Vista lateral direita do modelo analítico.....	51
Figura 39 – Ajuste nas vigas intermediárias da vertical.....	51
Figura 40 – Consistência do modelo analítico.....	52
Figura 41 - Casos de carga padrão do template Gerdau ®.....	53
Figura 42 – Opções para inserir cargas no Revit ®.....	54
Figura 43 – Sistema de coordenadas no Revit ®.....	55
Figura 44 – Integração direta Revit – Robot configurações.....	56
Figura 45 – Erro nas vigas com o perfil em “C”.....	57
Figura 46 – Criação de perfil metálico com auxílio do Robot ®.....	58
Figura 47 – Casos de cargas e combinações no Robot ®.....	58
Figura 48 – Aplicação do peso próprio através do Robot ®.....	59
Figura 49 – Aplicação do modelo de cálculo via Robot ®.....	60
Figura 50 – Procedimento de cálculo no Robot ®.....	60
Figura 51 – Diagrama para barras no Robot ®.....	61
Figura 52 – Coordenadas locais do Robot ®.....	62
Figura 53 – Planilha para dimensionamento a momento fletor em perfis C.....	63
Figura 54 – Níveis utilizados no projeto.....	64
Figura 55 - Perfis modelados antes da exportação para o Robot ®.....	65
Figura 56 – Inserção da escada e vista lateral do mezanino.....	65
Figura 57 – Vista superior do mezanino com a laje.....	67
Figura 58 - Modelo físico e geométrico ajustados.....	68
Figura 59 – Casos de cargas criados.....	68
Figura 60 – Informações para inserir o carregamento dos degraus na viga da escada.....	69
Figura 61 – Carga dos Degraus no Revit ®.....	70
Figura 62 – Ações nas vigas da escada aplicadas no Revit ®.....	71
Figura 63 – Ações inseridas no mezanino através do Revit ®.....	72
Figura 64 – Combinação normal para ELU utilizando o Revit ®.....	73
Figura 67 – Mezanino pós Robot ®.....	86
Figura 68 – Perfis criados no Robot ® presentes no Revit ®.....	86

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
BIM	Building Information of Modelling
CAD	Computer Aided Design
LOD	Level of Detail
MEF	Método dos Elementos Finitos
NBR	Norma Brasileira

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	OBJETIVOS.....	17
2.1	OBJETIVO GERAL	17
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	18
3.1.	BUILDING INFORMATION MODELING (BIM)	18
3.2.	AUTODESK REVIT ®	21
3.3.	AUTODESK ROBOT STRUCTURE ANALYSIS ®	22
3.4.	MODELO ANALÍTICO E GEOMÉTRICO	23
3.5.	CRITÉRIOS DE PROJETO ESTRUTURAL EM AÇO	24
3.5.1.	Método dos estados-limites	24
3.5.1.1.	Estado-limite último	24
3.5.2.	Ações	25
3.5.2.1.	Ações permanentes	25
3.5.2.2.	Ações variáveis	25
3.5.3.	Combinação de ações	25
3.5.3.1.	Combinações últimas normais	26
3.5.4.	Resistência à compressão	27
3.5.5.	Resistência à cisalhamento.....	29
3.5.6.	Resistência à flexão	30
4	METODOLOGIA.....	32
4.1	OBJETO DE ESTUDO	32
4.1.1.	Parâmetros e propriedades dos elementos estruturais	33
4.1.2.	Ações e modelos estruturais de cálculo dos elementos	36
4.1.2.1.	Escada	36
4.1.2.2.	Vigas secundárias	37
4.1.2.3.	Vigas principais.....	37
4.2	METODOLOGIA UTILIZADA.....	38
4.2.1.	Uso do Revit ®	39
4.2.1.1	Criação de um novo projeto	39
4.2.1.2	Configurações iniciais	40
4.2.1.3	Inserção dos pilares metálicos.....	41
4.2.1.4	Inserção das vigas principais e secundárias	42
4.2.1.5	Criação da escada e ajustes necessários	44
4.2.1.6	Criação da laje e ajustes necessários.....	46

4.2.1.7	Modelo analítico.....	46
4.2.1.8	Lançamento das cargas no Revit ®	52
4.2.1.9	Combinações de ELU no Revit ®	55
4.2.1.10	Exportação Revit ® – Robot ®	56
4.2.2	Uso do Robot ®	56
4.2.2.1	Criação dos perfis em “C” no Robot ®	57
4.2.2.2	Aplicação do peso próprio e do modelo estrutural adotado	58
4.2.2.3	Cálculo dos esforços atuantes via Robot ®	60
4.2.2.4	Esforços obtidos no Robot ®	61
4.2.3	Uso do Excel ®	62
4.2.4	Finalização do projeto e do fluxo de trabalho.....	63
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	64
5.1	MODELAGEM UTILIZANDO O REVIT ®.	64
5.1.1	Resultados do modelo geométrico	64
5.1.1.1	Resultado dos níveis	64
5.1.1.2	Resultado dos eixos, pilares, vigas principais e secundárias,.....	64
5.1.1.3	Resultado da inserção da escada e dos ajustes	65
5.1.1.4	Resultado final da laje	66
5.1.2	Modelo analítico.....	67
5.1.2.1	Resultado final do modelo analítico	67
5.1.2.2	Lançamento das cargas no Revit ®	68
5.1.2.3	Combinações de ELU no Revit ®	72
5.2	EXPORTAÇÃO E RESULTADO DO ROBOT ®	73
5.2.1	Cálculo e retirada dos esforços atuantes via Robot ®	73
5.2.1.1	Valores de tração e compressão obtidos no Robot ®	73
5.2.1.2	Valores de esforço cortante obtidos no Robot ®	75
5.2.1.3	Valores de momento fletor obtidos no Robot ®	76
5.3	CÁLCULO E VERIFICAÇÃO DAS RESISTÊNCIAS DOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS DO MEZANINO	78
5.3.1	Resistência à compressão	78
5.3.2	Resistência à Cortante	80
5.3.3	Resistência à flexão	82
5.3.4	Verificação da resistência dos perfis submetido aos esforços	83
5.4	ATUALIZAÇÃO DO MODELO NO REVIT ® E FINALIZAÇÃO DO PROJETO	86
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	88
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	90

1 INTRODUÇÃO

A procura por sistemas “inteligentes” tem sido cada vez mais frequente no mundo da Engenharia Civil. Possuir informações do material, dimensões, etc., facilita muito a atuação dos projetistas e construtores do ramo. Dessa forma, é neste contexto que o BIM (*Building Information Modeling*) entra, esta metodologia permite de maneira eficaz o armazenamento de tais informações e um fluxo operacional entre disciplinas. (BRAUNSTEIN; CAMPOS; CARVALHO, 2017).

No Brasil, a disseminação do BIM ainda é embrionária, porém já existem decretos com fases de implementação do mesmo. O decreto nº10.306, de 2 de abril de 2020 é um dos exemplos e descreve em seu Art. 4º como esse processo será instaurado de tal forma que já em 2021, projetos descritos como de “grande notoriedade” devem ser realizados com tal método. Ainda, é válido ressaltar, que nesta primeira fase a disciplina estrutural está inclusa (BRASIL, 2020).

Porém, segundo Sampaio (2020), os projetos estruturais feitos em BIM requerem do profissional uma atenção especial, pois existem limitações no que diz respeito a interoperabilidade, ferramenta fundamental para a coordenação dos projetos, evitando principalmente incompatibilizações.

E dentre as alternativas construtivas para projetos estruturais, estão as soluções metálicas, majoritariamente representada pelo uso do aço. Os princípios básicos relevantes para o uso deste material em detrimento do concreto estão ligados à autonomia em criar projetos, uma vez que o mesmo permite a utilização de vãos maiores, garante a economia de materiais e mão de obra, proporciona diminuição de cargas de peso próprio em fundações, precisão dimensional, menor locação no canteiro de obras e menor tempo para finalizar a obra (CAROL; RUTMAN, 2014).

Neste contexto, uma das obras em aço mais empregadas nacionalmente são os mezaninos. Eles são uma solução comumente empregada em ampliações e reformas de prédios comerciais, principalmente shoppings (FEIJÓ, 2020). E segundo CBCA (2021), isso ocorre por duas razões principais: leveza e facilidade de execução, principalmente se eles forem inseridos posteriormente à execução da estrutura principal, logo apesar de existirem mezaninos de concreto armado ou madeira, sua estruturação mais frequente é em estrutura de aço. A Figura 1, apresenta este tipo de modelo construtivo.

Figura 1 - Mezanino metálico



Fonte: Google (2021)

Dessa forma, se faz necessário estudos no campo estrutural para entender melhor o fluxo BIM e como utilizar adequadamente esta metodologia. Consequentemente, integrações entre softwares devem ser feitas e analisadas a fim de se conhecer os resultados possíveis e minimizar as discrepâncias, focando na qualidade do projeto e evitando erros que iriam para o campo.

Portanto, para contribuir na comunidade acadêmica, este trabalho utilizou as versões estudantis dos programas em BIM da Autodesk ®: o Revit ® e o Robot ® para compreender os processos por trás deste método, focando na integração, ou seja, comunicação entre os softwares e na análise dos resultados. O primeiro foi usado para conceber um mezanino metálico conforme a bibliografia de Pinheiro (2005) e o segundo para retirar os esforços atuantes em cada elemento e assim, poder verificar as resistências dos perfis.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Elaborar a modelagem computacional de um mezanino metálico empregando a metodologia BIM, por meio do software Autodesk Revit ® e em seguida exportar para o Autodesk Robot ®, no qual será realizada sua análise estrutural e retornar os dados para detalhamento final elaboração de pranchas no Revit ®.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Criar os modelos: físico e analítico do mezanino metálico durante a modelagem e analisar os mesmos;
- Aplicar a metodologia BIM através da exportação e importação do modelo estrutural do Revit ® para o Robot ® e vice-versa;
- Obter e comparar os resultados dos esforços nos elementos estruturais obtidos no Robot ® com os presentes na literatura;
- Elaborar planilhas automatizadas e autorais para verificar as resistências dos perfis estruturais conforme a ABNT NBR 8800/2008, através do Excel ®;
- Detalhar o projeto e gerar as pranchas;

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1. BUILDING INFORMATION MODELING (BIM)

O processo de concepção utilizado em projetos de engenharia vem passando nos últimos anos por diversas transformações. A algumas décadas atrás, o computador começava a ser instaurado como instrumento de auxílio através do modelo chamado CAD (*Computer Aided Design*), algo revolucionário para época e que substituiria o desenho manual, que utilizava lápis, caneta, esquadros, réguas, dentre outras ferramentas. (NETTO, 2020).

Seguindo esta mesma linha de raciocínio com mudanças frequentes ao longo dos anos, surge uma nova metodologia no processo projetual, chamada BIM (*Building Information Modeling*). Este termo, é datado inicialmente na década de 1970, porém, só ganhou popularidade de fato nos anos 2000, por permitir mais produtividade através de sistemas integrados e possibilitar diversas simulações. Consequentemente, existe assim, uma maior variabilidade de soluções, que podem ser testadas, comparadas e apresentadas antes de ir para a construção *in loco* em tempo hábil. Essa forma de processo ganha a cada dia mais notoriedade (LEUSIN, 2018).

Outra vantagem do BIM segundo Ayres (2008), é que as apresentações de cortes, elevações, perspectivas, quantitativos e especificações são feitas através de simples comandos, aumentando também a precisão do processo, pois estas ferramentas são atualizadas instantaneamente. Além disso, a modelagem 3D também está presente, porém por se trabalhar sempre com um grande fluxo de informações o BIM, não deve ser limitado a essa visão tridimensional, pois também pode-se ter dados para análises estruturais e energéticas, por exemplo, assim como sobre código de custos, entre outros (EASTMAN, 2014).

Ainda segundo Eastman (2014), a metodologia BIM trabalha com a ideia de “família” de elementos e não somente uma simples instância individual, gerando uma grande otimização do processo. Esta última, era o que acontecia no modelo CAD, onde os elementos não eram paramétricos, ou seja, conectados entre si e por isso qualquer alteração se tornava um processo longo, trabalhoso e que, consequentemente, atrasava o término do mesmo (AYRES, 2008).

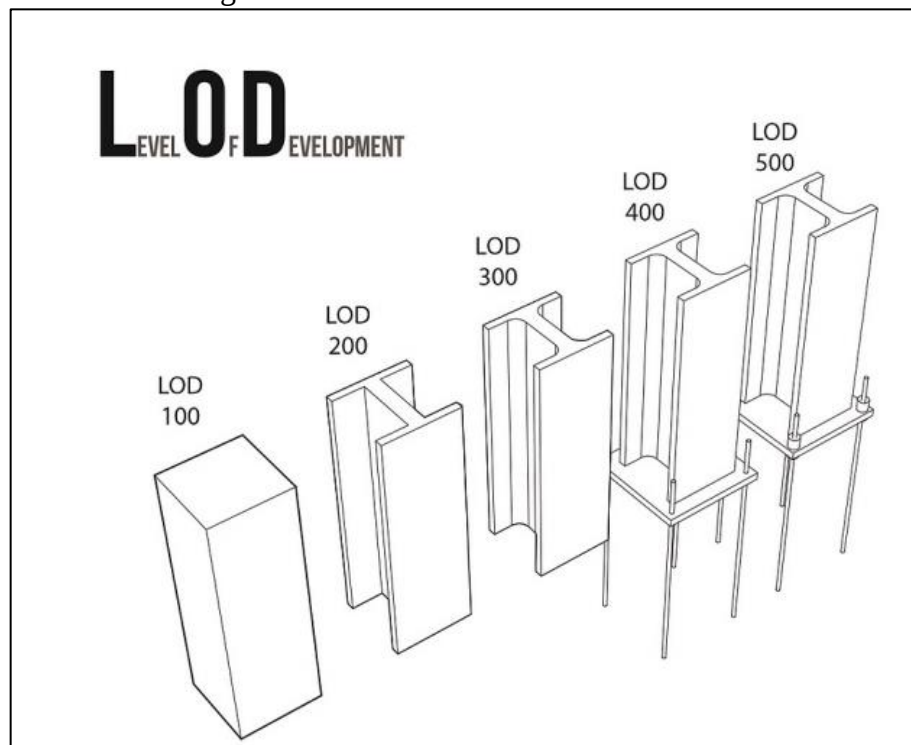
Para Reyes (2020), outro conceito importante é o de “Nível de desenvolvimento”, também conhecido em inglês como “*Level of Detail (LOD)*”, esta definição é usada para classificar as informações que um determinado elemento possui mediante ao seu grau de detalhamento. Ela é importante na comunicação entre arquitetos e engenheiros, além de ser fundamental para a execução da obra, uma vez que quanto mais informações são transmitidas,

menor é a chance de ocorrer falhas sejam de projetos, sejam de execução. Atualmente existem cinco níveis e são eles:

- **LOD100**, é o nível mais simples e seu modelo 3D é usado apenas para localização, tamanho, quantidade e orientação do elemento;
- **LOD200**, inclui-se informações não geométricas;
- **LOD300**, nesta etapa algumas particularidades mais exatas dos elementos são adicionadas;
- **LOD400**, aqui ocorre a inclusão de detalhes como elementos de ligação e conexão;
- **LOD500**, fase mais precisa, contém informações de fabricação, montagem, etc.

A Figura 2, ilustra bem o que foi dito anteriormente:

Figura 2 - Níveis de detalhamento no BIM



Fonte: Reyes (2020)

Outro ponto relevante a ser citado são as principais aplicações da filosofia BIM na área de projetos, que podem ser diversas como: a concepção; documentação; visualização; compatibilização; revisão; análise da eficiência energética; análise de critérios de sustentabilidade; análises de engenharia e extração de quantitativos. A seguir na Figura 3, é possível verificar tais empregabilidade:

Figura 3 - Usos do BIM para projetos



Fonte: Addor *et al.*, (2013).

A interoperabilidade é outro conceito fundamental no estudo do fluxo em BIM, basicamente este termo pode ser entendido como a capacidade de troca de informações entre sistemas, ou melhor, entre softwares que utilizem esta metodologia. Não só a troca é importante, mas também a interpretação destes dados, a posição, os parâmetros, a visualização necessitam de precisão para que se tenha a harmonia desejada nos projetos, principalmente quando se tem uma equipe por trás de cada uma das disciplinas (CBIC, 2016).

Ainda para o autor, cambiar estas informações entre diferentes softwares com uma qualidade completa, ainda não é um processo unificado e fácil de ser realizado, atualmente se tem três formas disso acontecer: pelo formato de proprietários, públicos específicos e o IFC.

Os “Formatos proprietários”, é o melhor por não possuir perdas ou inconsistências, são empregados em integrações diretas, quando os softwares são da mesma empresa desenvolvedora; “Formatos públicos para segmentos específicos”, o principal modelo neste segmento é o “CIS/2 CIM” (*Steel Integration Standard*), que é um formato neutro unicamente criado para projetos estruturais metálicos e “Formatos abertos e públicos, como, no caso, o IFC”, se tratando de BIM, este é o formato mais disseminado, pois não é nativo de nenhum

software, ou seja, é neutro e pode descrever, trocar e compartilhar informações entre quaisquer programa que adote o BIM.

Conforme CBIC (2016), outro termo muito utilizado é o “*Template*”, que significa modelo, porém este não é de exclusividade BIM, a maioria dos softwares já trabalhavam com arquivos padrões a fim de otimizar alguns processos. Basicamente, são configurações prévias e universais, ou seja, que podem ser utilizadas para qualquer tipo de projeto, as principais são: definição das unidades de medida; definição das famílias; carimbos para geração de pranchas, dentre outros.

Dessa forma, dentro dessa nova perspectiva, um dos principais softwares no mercado utilizados atualmente é o Autodesk Revit®, que permite todas estas funções.

3.2. AUTODESK REVIT®

O termo tem origem no inglês “*Revise Instantly*”, cujo significado é “Revise Instantaneamente” (NETTO, 2020). Desenvolvido pela empresa norte-americana Autodesk®, o Revit é um software de modelagem específico para a plataforma BIM, ou seja, possui todas as características descritas anteriormente. Nele permite se trabalhar com todas as disciplinas de arquitetura e engenharia de uma forma unificada, além de possuir potentes ferramentas para detalhamento preciso de elementos, bem como organizar a documentação do projeto. Possui também uma capacidade de associação bidirecional, ou seja, alterações no campo de visualização 2D são replicados em 3D e vice-versa.

Para projetos estruturais, o Revit trabalha com uma disciplina própria chamada “*structure*”, onde se criam o modelo analítico, que é formado juntamente com o modelo físico, conceitos importantes que são utilizados para uma boa análise estrutural em outros softwares específicos que sejam integrados, como por exemplo, o Robot Structural Analysis®. Na Figura 4, é notória a face inicial do software ao solicitar o início do mesmo (AUTODESK, 2021).

Figura 4 - Inicialização do Autodesk Revit 2020 ®



Fonte: Autoria própria (2021).

3.3. AUTODESK ROBOT STRUCTURE ANALYSIS ®

É um programa desenvolvido pela Autodesk ® que permite modelagem e análise estrutural, oferecendo aos engenheiros estruturais recursos avançados permitindo soluções inclusive para estruturas de grande porte e complexas. Também possui um fluxo de trabalho simples garantindo mais agilidade em todo o processo (AUTODESK, 2021). Pode ser utilizado tanto no plano 2D, quanto em 3D e permite trabalhar com estruturas de madeira, alvenaria estrutural, concreto armado e metálica (PIZA, 2017).

E segundo Reyes (2020), graças a essa flexibilidade de se trabalhar com uma gama variada de estruturas, o Robot ® ganhou notoriedade e se tornou bem popular pelas suas análises que se fundamentam no conceito do Método de Elementos Finitos (MEF), sendo possível analisar o comportamento linear e não linear dos elementos. Com esta ferramenta pode-se verificar estruturas de concreto armado, estruturas metálicas e de madeira (SILVA, 2019).

Outra vantagem de se usar o software é a sua integração com o Revit ®, que permite a transferência tanto do Revit ® para o Robot ®, quanto vice-versa. Além disso, ao se alterar alguma característica no modelo em um dos dois, essa atualização pode ser repassada, e em seguida, caso necessário ser feito ajustes nos modelos físico e analítico (CUNHA; ARAUJO; RIBEIRO, 2019). A Figura 5, mostra a interface inicial do software ao solicitar o início do mesmo.

Figura 5 - Inicialização do Autodesk Robot Structure Analysis ®

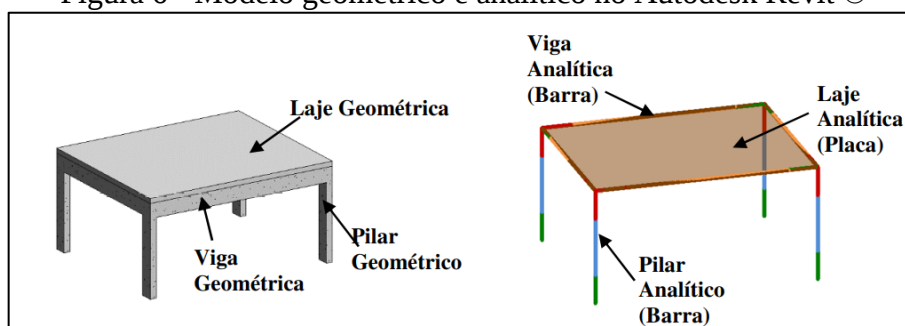


Fonte: Autoria própria (2021).

3.4. MODELO ANALÍTICO E GEOMÉTRICO

Antes de iniciar o projeto estrutural, o calculista deve ter em mãos o projeto arquitetônico, o qual se espera possuir as informações necessárias para que sejam feitas a modelagem e, posteriormente, os cálculos. Neste contexto de transmissão de informações, que se torna constante entre os profissionais, o uso da filosofia BIM é fundamental (BARBOSA; MENEZES, 2015). Assim, ao modelar uma estrutura utilizando o Revit, criam-se dois modelos principais: o físico (representação geométrica do elemento) e o analítico (representação matemática) (RIBEIRO, 2019). A Figura 6, elucida a diferença entre os modelos, além de apresenta-los visualmente em um exemplo literário.

Figura 6 - Modelo geométrico e analítico no Autodesk Revit ®



Fonte: Braunstein, Campos e Carvalho (2017)

Para Braunstein, Campos e Carvalho (2017), o projeto geométrico representa a realidade da estrutura e ele é o mais utilizado para importação em projetos de outras disciplinas para a compatibilização via vínculo IFC (*Industry Foundation Classes*). Já o analítico, que por sua

vez, é representado através de barras, placas e nós é mais utilizado para exportação e análise do comportamento estrutural.

Pode ser necessário alguns ajustes no modelo analítico, após a criação do físico, para alinhar os elementos, assim o Revit ® oferece duas opções: a detecção automática e a projeção. Outro ponto muito importante é que as cargas, assim como as combinações de estado limite podem ser definidos ainda no Revit ® (COSTA, 2020).

3.5. CRITÉRIOS DE PROJETO ESTRUTURAL EM AÇO

3.5.1. Método dos estados-limites

É a forma de dimensionamento adotada na ABNT NBR 8800:2008, a mesma considera situações extremas para verificar se a dada estrutura é segura. Essa verificação se divide em duas vertentes: Estado-limite último e Estado-limite de serviço (FAKURY, 2016). Para Chamberlain Pravia (2013), o estado-limite acontece quando a estrutura atinge um estágio, o qual deixa de desempenhar as funções que fora projetada para suportar, no caso as solicitações atuantes em seus elementos estruturais.

3.5.1.1. Estado-limite último

Tal definição está diretamente associada à segurança da estrutura, caracterizando problemáticas como o colapso, sendo ele total ou parcial e as instabilidades de um elemento isolado ou de um conjunto estrutural (FAKURY, 2016). Já Pfeil (2009), informa que os estados-limites últimos estão intrinsicamente ligados ao ato de cargas excessivas, que, por consequência, leva ao colapso estrutural.

Conforme Chamberlain Pravia (2013), os estados-limites últimos comumente utilizados são: mudança do modelo estrutural para um sistema hipostático; alteração excessiva na plasticidade do material, levando a ruptura; falta de estabilidade causada por deformação.

De acordo com a ABNT NBR 8800 (2008), a base conceitual de cálculo é:

$$R_d \geq S_d \quad (1)$$

Onde:

S_d representa os valores de cálculo dos esforços atuantes obtidos com base nas combinações últimas de ações;

R_d representa os valores de cálculo dos correspondentes esforços resistentes obtidos através de expressões específicas das normas para cada tipo de situação;

3.5.2. Ações

São definidas como tudo que causa tensões e deformações nas estruturas. Seus valores normalmente são de origem probabilística, ou seja, são utilizados valores medianos que são mais prováveis de acontecer (CHAMBERLAIN PRAVIA, 2013). Segundo a ABNT NBR 8681:2003, as ações podem ser divididas em três categorias: (a) ações permanentes; (b) ações variáveis e (c) ações excepcionais.

3.5.2.1. Ações permanentes

Segundo a ABNT NBR 8800:2008, estas acontecem quando se tem valores praticamente constantes durante toda a vida útil. Peso próprio da estrutura e todos os elementos pertencentes fixamente, empuxos permanentes, entre outros. Podem ser determinadas utilizando a ABNT NBR 6120:2019, que informa, os valores de vários materiais utilizados com frequência e quando o valor procurado não estiver presente podem ser utilizados os catálogos de fabricantes (FEIJÓ, 2020).

3.5.2.2. Ações variáveis

Conforme a ABNT NBR 8800:2008, tais ações são caracterizadas por apresentarem variações significativas durante toda a vida útil da construção. Normalmente, elas acontecem decorrente do uso e ocupação da edificação, por exemplo, sobrecarga em pisos e coberturas, ações do vento, dentre outras. Os valores de uso e ocupação podem ser obtidos ao consultar a ABNT NBR 6120:2019, já a ação dos ventos (se for necessária), é encontrada na ABNT NBR 6123:1988 (FEIJÓ, 2020).

3.5.3. Combinação de ações

As ações atuam em uma dada estrutura ao mesmo tempo, desta forma, se faz necessário combiná-las de acordo com a maior probabilidade de elas acontecerem simultaneamente. Tais combinações devem gerar os efeitos mais desfavoráveis, por isso, é importante usar quantas forem necessários de modo a garantir a segurança em relação a todos os estados-limites (CHAMBERLAIN PRAVIA, 2013). Além disso, a ABNT NBR 8800:2008, cita que as combinações dos diferentes valores característicos das ações devem ser ponderadas por coeficientes, para serem consideradas a variabilidades, principalmente na incerteza dos carregamentos e na simultaneidade da ocorrência dos mesmos. Para o estado-limite último são utilizadas as combinações últimas e para o estado-limite de serviço, as combinações de serviço.

3.5.3.1. Combinações últimas normais

A ABNT NBR 8800:2008, define esta combinação com a qual leva em consideração o decorrente uso da estrutura em sua condição definitiva, composta por todos os valores ponderados, tanto as ações permanentes, quanto as variáveis principais e secundárias.

A expressão utilizada está descrita a seguir:

$$F_d = \sum_{i=1}^m (\gamma_{gi} F_{Gi,k}) + (\gamma_{q1} F_{Q1,k}) + \sum_{j=2}^n (\gamma_{qj} \Psi_{0j} F_{Qj,k}) \quad (2)$$

Onde:

F_d é igual a ação de cálculo, em kN;

$F_{Gi,k}$ é igual ao valor característico das ações permanentes, em kN;

$F_{Q1,k}$ é igual ao valor característico da ação variável tomada como principal, em kN;

$F_{Qj,k}$ é igual ao valor característico das demais ações variáveis que podem atuar conjuntamente com a principal, em kN;

γ_{gi} é igual ao coeficiente adimensional de ponderação das ações permanentes;

γ_{q1} é igual ao coeficiente adimensional de ponderação da ação variável principal;

γ_{qj} é igual ao coeficiente adimensional de ponderação das demais ações variáveis;

Ψ_{0j} é o fator adimensional de combinação de ações.

Os coeficientes podem ser consultados na Tabela 1 da ABNT NBR 8800:2008, tal tabela encontra-se presente na Figura 7.

Figura 7 – Tabela 1 da ABNT NBR 8800:2008

Tabela 1 — Valores dos coeficientes de ponderação das ações $\gamma_f = \gamma_{f1} \gamma_{f3}$

Tabela 1 - Coeficientes de ponderação das ações						
Combinações	Ações permanentes (γ_p) ^{a,c}					Indiretas
	Diretas					
	Peso próprio de estruturas metálicas	Peso próprio de estruturas pré-moldadas	Peso próprio de estruturas moldadas no local e de elementos construtivos industrializados e empuxos permanentes	Peso próprio de elementos construtivos industrializados com adições <i>in loco</i>	Peso próprio de elementos construtivos em geral e equipamentos	
Normais	1,25 (1,00)	1,30 (1,00)	1,35 (1,00)	1,40 (1,00)	1,50 (1,00)	1,20 (0)
Especiais ou de construção	1,15 (1,00)	1,20 (1,00)	1,25 (1,00)	1,30 (1,00)	1,40 (1,00)	1,20 (0)
Excepcionais	1,10 (1,00)	1,15 (1,00)	1,15 (1,00)	1,20 (1,00)	1,30 (1,00)	0 (0)
	Ações variáveis (γ_v) ^{a,d}					
	Efeito da temperatura ^b	Ação do vento	Ações truncadas ^e	Demais ações variáveis, incluindo as decorrentes do uso e ocupação		
Normais	1,20	1,40	1,20	1,50		
Especiais ou de construção	1,00	1,20	1,10	1,30		
Excepcionais	1,00	1,00	1,00	1,00		

^a Os valores entre parênteses correspondem aos coeficientes para as ações permanentes favoráveis à segurança; ações variáveis e excepcionais favoráveis à segurança não devem ser incluídas nas combinações.

^b O efeito de temperatura citado não inclui o gerado por equipamentos, o qual deve ser considerado ação decorrente do uso e ocupação da edificação.

^c Nas combinações normais, as ações permanentes diretas que não são favoráveis à segurança podem, opcionalmente, ser consideradas todas agrupadas, com coeficiente de ponderação igual a 1,35 quando as ações variáveis decorrentes do uso e ocupação forem superiores a 5 kN/m², ou 1,40 quando isso não ocorrer. Nas combinações especiais ou de construção, os coeficientes de ponderação são respectivamente 1,25 e 1,30, e nas combinações excepcionais, 1,15 e 1,20.

^d Nas combinações normais, se as ações permanentes diretas que não são favoráveis à segurança forem agrupadas, as ações variáveis que não são favoráveis à segurança podem, opcionalmente, ser consideradas também todas agrupadas, com coeficiente de ponderação igual a 1,50 quando as ações variáveis decorrentes do uso e ocupação forem superiores a 5 kN/m², ou 1,40 quando isso não ocorrer (mesmo nesse caso, o efeito da temperatura pode ser considerado isoladamente, com o seu próprio coeficiente de ponderação). Nas combinações especiais ou de construção, os coeficientes de ponderação são respectivamente 1,30 e 1,20, e nas combinações excepcionais, sempre 1,00.

^e Ações truncadas são consideradas ações variáveis cuja distribuição de máximos é truncada por um dispositivo físico, de modo que o valor dessa ação não possa superar o limite correspondente. O coeficiente de ponderação mostrado nesta Tabela se aplica a este valor-limite.

Fonte: ABNT NBR 8800:2008

3.5.4. Resistência à compressão

Segundo Pfeil (2009), as barras comprimidas estão sujeitas à flambagem, como por exemplo, os pilares, que são os principais elementos associados a este esforço, logo, este estado-limite requer uma atenção especial no dimensionamento. Como visto anteriormente na Equação 1, a força axial de compressão solicitante de cálculo “ N_c, S_d ” deve ser menor que a força axial de compressão resistente de cálculo “ N_c, R_d ” e esta por sua vez pode ser vista na Equação 3 a seguir.

$$N_c, R_d = \frac{Q * \chi * A_g * f_y}{\gamma_{a1}} \quad (3)$$

Onde,

χ : É o fator de redução associado à flambagem global;

Q : É o fator de redução associado à flambagem local;

A_g : Área bruta da seção;

γ_{a1} : 1,10.

O fenômeno da flambagem está associado ao comprimento da barra e da forma da seção transversal, normalmente é a relação entre o comprimento de flambagem da peça e o raio de

giração da seção (propriedade geométrica da peça), esta razão é denominada “índice de esbeltez” (λ). A Equação 4, descreve esta formulação:

$$\lambda = \frac{KL}{r} \quad (4)$$

Onde,

KL : É o comprimento de flambagem da peça;

r : É o raio de giração do elemento.

Para a verificação, é utilizado um índice menor, chamado de índice de esbeltez reduzido (λ_o), presente na Equação 5, seu valor depende do fator de redução da flambagem local (Q), que por sua vez depende se o perfil é do tipo AA, ou seja, apoiado-apoiado ou se é AL, apoiado-livre.

$$\lambda_o = \sqrt{\frac{Q * A_g * f_y}{N_e}} \quad (5)$$

Outro conceito importante é a força de flambagem elástica (N_e), para a flambagem a flexão, ela é dada pela carga crítica de Euler conforme a Equação 6, que depende do módulo de elasticidade do aço, momento de inércia da seção e do comprimento de flambagem.

$$N_e = \left(\frac{\pi^2 * E * I}{K * L} \right) \quad (6)$$

Já na flambagem à torção, depende da elasticidade transversal do aço, raio de giração polar da seção, e constante de empenamento (C_w), como pode ser visto na Equação 7.

$$N_{ez} = \frac{1}{r_o^2} * \left[\frac{\pi^2 * E * C_w}{(KL)^2} + GJ \right] \quad (7)$$

Onde,

r_o : É o raio de giração da seção bruta em relação ao centro de cisalhamento;

E : É o módulo de elasticidade do aço;

C_w : É a constante de empenamento;

G : É o módulo de elasticidade transversal do aço;

J : É o momento de inércia à torção.

O comprimento de flambagem da barra nem sempre é o comprimento real, pode ser um valor maior ou menor dependendo das condições de vínculos presentes nas extremidades da peça. Tais valores podem ser visualizados na Figura 8.

Figura 8 - Comprimento de flambagem

	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
A linha tracejada indica a linha elástica de flambagem						
Valores teóricos de K_x ou K_y	0,5	0,7	1,0	1,0	2,0	2,0
Valores recomendados	0,65	0,80	1,2	1,0	2,1	2,0
Código para condição de apoio	Rotação e translação impedidas Rotação livre, translação impedida Rotação impedida, translação livre Rotação e translação livres					

Fonte: ABNT NBR 8800:2008

Outra exigência é que a esbeltez do elemento não ultrapasse 200, de acordo com a Equação 8, a seguir.

$$\frac{KL}{r} \leq 200 \quad (8)$$

3.5.5. Resistência à cisalhamento

Para Fakury (2016), assim como na resistência à compressão, a verificação ao esforço cortante deve seguir o pressuposto da Equação 1 deste trabalho. Os estados-limites aplicáveis aos elementos submetidos à esforço cortante, considera a possibilidade de escoamento do aço, portanto a resistência à plastificação é verificada, conforme a Equação 9.

$$V_p = 0,60 * A_w * f_y \quad (9)$$

Onde,

V_p : É o esforço cortante de plastificação;

A_w : É a área de cisalhamento;

F_y : Resistência ao escoamento do aço.

Já o outro estado-limite é a flambagem da alma provocada pela parcela de compressão do cisalhamento. A força cortante resistente de cálculo (V_{Rd}) é dada pelo menor valor obtido

entre a situação de plastificação da seção, como na Equação 10 e a situação de flambagem na alma provocada pelo cisalhamento.

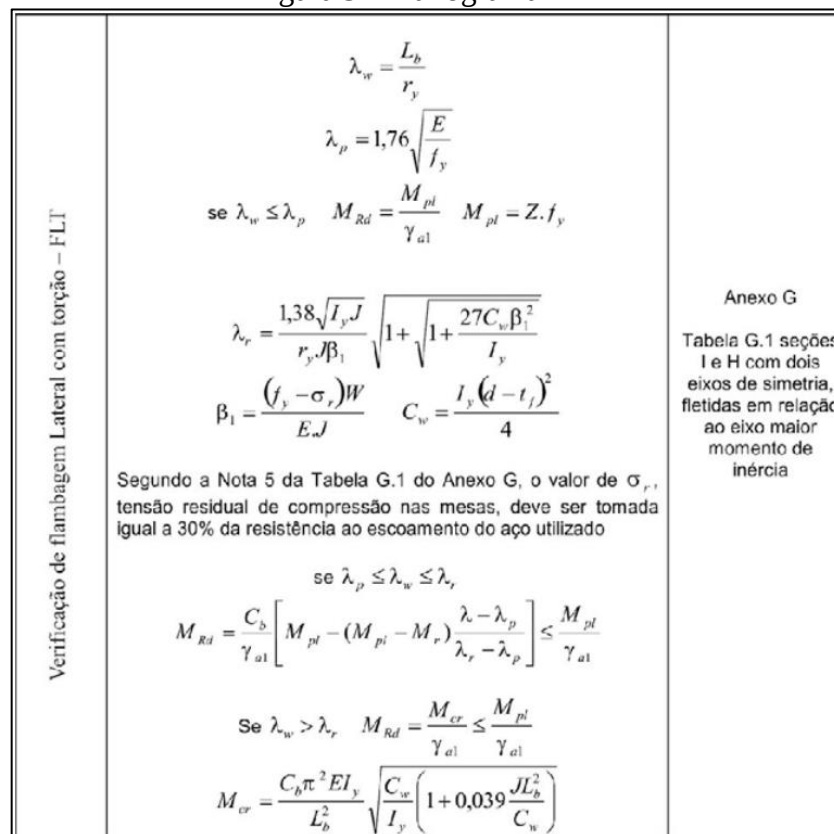
$$VRd = \frac{Vp}{\gamma_{a1}} \quad (10)$$

3.5.6. Resistência à flexão

Segundo a ABNT NBR 8800:2008, O modelo empregado é conforme a Equação 1 e para este dimensionamento são levados em consideração três estados limites últimos: Flambagem lateral com torção (FLT); Flambagem local da mesa (FLM) e a Flambagem local da alma (FLA).

E para Chamberlain Pravia (2013), a flambagem lateral com torção verifica a redução da resistência à flexão por causa da perda de equilíbrio em relação ao plano principal de flexão, culminando em deslocamentos laterais e rotações de torção. A Figura 9 apresenta um fluxograma para este dimensionamento de estado-limite último:

Figura 9 - Fluxograma FLT



Fonte: Chamberlain Pravia (2013)

Já a flambagem local da mesa está associada a diminuição da resistência à flexão pela perda da estabilidade das chapas comprimidas no elemento. A Figura 10, apresenta o fluxograma de verificação deste estado-limite último.

Figura 10 - Fluxograma FLM

Flambagem Local da mesa comprimida – FLM	$\lambda_w = \frac{b}{t}; \lambda_p = 0,38 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$ se $\lambda_w \leq \lambda_p$ $M_{Rd} = \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}}$ $M_{pl} = Z \cdot f_y$ $\lambda_r = 0,83 \sqrt{\frac{E}{(f_y - \sigma_r)}}$ para perfis laminados $\lambda_r = 0,83 \sqrt{\frac{E}{(f_y - \sigma_r) k_c}}$ para perfis soldados se $\lambda_p \leq \lambda_w \leq \lambda_r$ $M_{Rd} = \frac{C_b}{\gamma_{a1}} \left[M_{pl} - (M_{pl} - M_r) \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \right] \leq \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}}$ Se $\lambda_w > \lambda_r$ $M_{Rd} = \frac{M_{cr}}{\gamma_{a1}} \leq \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}}$ $M_{cr} = \frac{0,69E}{\lambda^2} W_c$ para perfis laminados $M_{cr} = \frac{0,90Ek_c}{\lambda^2} W_c$ para perfis soldados
--	---

Fonte: Chamberlain Pravia (2013)

E por fim, a Flambagem local da alma, que está relacionada a redução da resistência à flexão devido a perda da estabilidade das chapas comprimidas do elemento. A Figura 11 mostra o fluxograma de dimensionamento.

Figura 11 - Fluxograma FLA

Flambagem Local da Alma – FLA	$\lambda = \frac{h}{t_w}; \lambda_p = 3,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$ se $\lambda_w \leq \lambda_p$ $M_{Rd} = \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}}$ $M_{pl} = Z \cdot f_y$ $\lambda_r = 5,70 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$ se $\lambda_p \leq \lambda \leq \lambda_r$ $M_{Rd} = \frac{C_b}{\gamma_{a1}} \left[M_{pl} - (M_{pl} - M_r) \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \right] \leq \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}}$ Se $\lambda_w > \lambda_r$ usar o Anexo H – Momento fletor resistente de cálculo de vigas de alma esbelta
-------------------------------	---

Fonte: Chamberlain Pravia (2013)

4 METODOLOGIA

Este trabalho utilizou um estudo numérico como método, com enfoque na metodologia BIM, a fim de explorar os conceitos e analisar objetivamente a qualidade no que tange a aplicabilidade em projetos estruturais com aço, pelo seu caráter prático. Alinhado ao fluxo de informações e a verificação conforme a ABNT NBR 8800:2008.

4.1 OBJETO DE ESTUDO

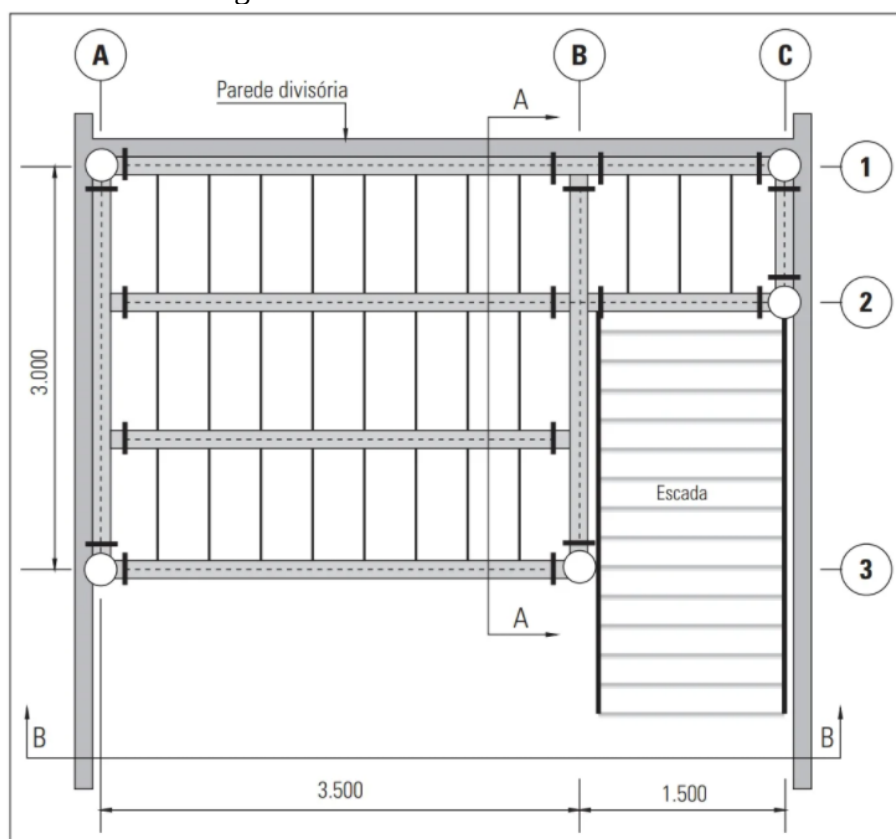
A estrutura estudada foi um mezanino metálico com uma escada de acesso em aço. O mesmo faz parte do livro intitulado “Estruturas metálicas: cálculo, detalhes, exercícios e projetos” do autor Antonio Carlos da Fonseca Bragança Pinheiro, no qual o projeto se encontra no capítulo 10, considerando a 2ª edição do ano de 2005.

Os parâmetros do projeto estão descritos a seguir:

- Mezanino com dimensões de 3.000 mm × 5.000 mm com escada de aço para acesso;
- A distância do piso inferior acabado ao piso do mezanino acabado é 3.310 mm;
- Vigas principais em perfil I laminado;
- Vigas secundárias em perfil C laminado;
- Piso em chapa de aço;
- Escada de aço com degraus em chapa dobrada;
- Vigas longarinas da escada de aço, em perfil C laminado.

Na Figura 12, é possível verificar o anteprojeto de arquitetura proposto pelo autor:

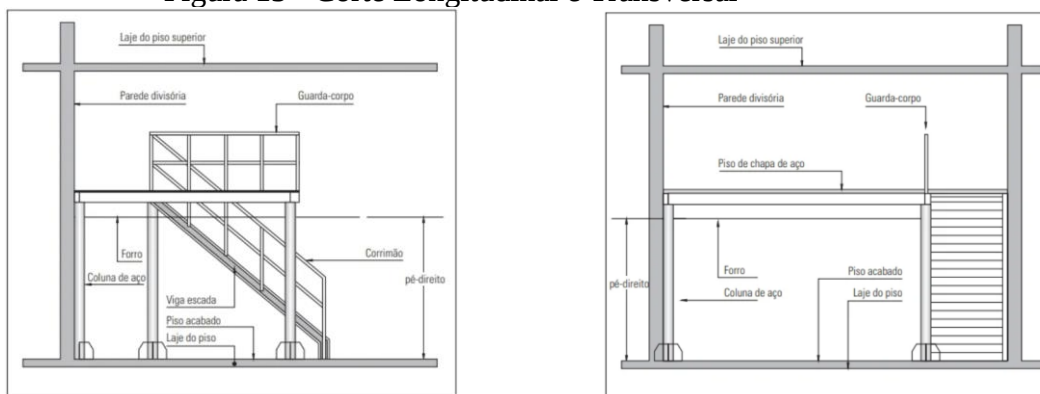
Figura 12 - Planta do Mezanino



Fonte: Pinheiro (2005)

Já a Figura 13, apresentam os cortes longitudinal (AA) e transversal (BB), respectivamente.

Figura 13 - Corte Longitudinal e Transversal



Fonte: Pinheiro (2005)

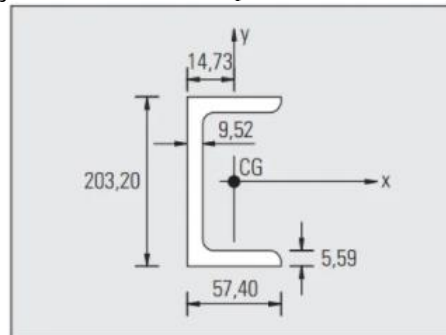
4.1.1. Parâmetros e propriedades dos elementos estruturais

Iniciando pela escada, a mesma possui o comprimento do degrau de 1,20 m, a altura de 3,31 m e o comprimento na projeção horizontal de 5,70 m. Os degraus são feitos com chapa xadrez de 6,3 mm e as vigas longarinas possuem o perfil C 203,20 x 17,10 kg/m. Já as propriedades

geométricas deste perfil estão listadas a seguir e a Figura 14, apresenta a seção transversal do perfil empregado:

- $A = 21,68 \text{ cm}^2$
- $I_x = 1.344,30 \text{ cm}^4$
- $W_x = 132,70 \text{ cm}^3$
- $R_x = 7,87 \text{ cm}$
- $I_y = 54,10 \text{ cm}^4$
- $W_y = 12,94 \text{ cm}^3$
- $R_y = 1,42 \text{ cm}$

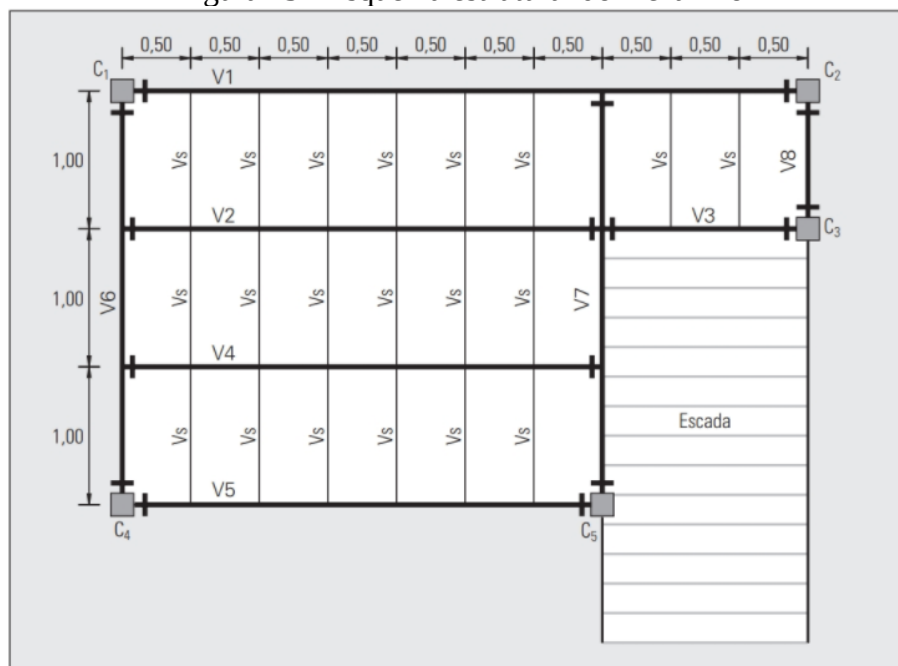
Figura 14 - Seção transversal do perfil utilizado na viga da escada



Fonte: Pinheiro (2005)

Para facilitar o entendimento do projeto, seu esquema estrutural, está presente na Figura 15, nele é possível verificar todas as nomenclaturas dos elementos, bem como suas disposições evidenciadas pelas cotas presentes.

Figura 15 - Esquema estrutural do mezanino

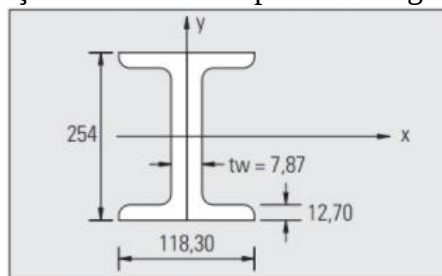


Fonte: Pinheiro (2005)

Para as vigas chamadas de “principais”, representadas na Figura 15 pelos símbolos: “v1, v2, v3, v4, v5, v6, v7 e v8” o perfil utilizado foi o “I 254 x 37,7 kg/m”, cuja as propriedades geométricas estão descritas a seguir e a seção transversal do perfil, é mostrada na Figura 16:

- $A = 48,10 \text{ cm}^2$
- $I_x = 5.081,00 \text{ cm}^4$
- $W_x = 399,80 \text{ cm}^3$
- $R_x = 10,34 \text{ cm}$
- $I_y = 287,20 \text{ cm}^4$
- $W_y = 49,16 \text{ cm}^3$
- $R_y = 2,46 \text{ cm}$

Figura 16 - Seção transversal do perfil das vigas principais

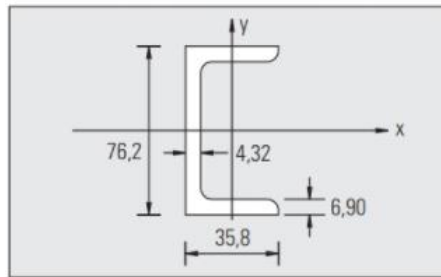


Fonte: Pinheiro (2005)

Posteriormente, as vigas chamadas de “secundárias”, representadas na Figura 15 pela nomenclatura “vs” possuem o perfil “C 76,2 x 6,11 kg/m”, cuja as propriedades geométricas são descritas a seguir, enquanto que a seção transversal do perfil, é mostrada na Figura 17 a seguir:

- $A = 7,78 \text{ cm}^2$
- $I_x = 68,90 \text{ cm}^4$
- $W_x = 18,10 \text{ cm}^3$
- $R_x = 2,98 \text{ cm}$
- $I_y = 8,20 \text{ cm}^4$
- $W_y = 3,32 \text{ cm}^3$
- $R_y = 1,03 \text{ cm}$

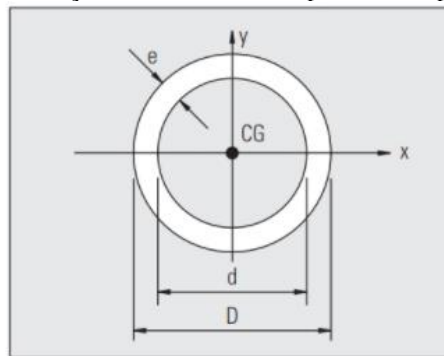
Figura 17 - Seção transversal do perfil das vigas secundárias



Fonte: Pinheiro (2005)

Por fim, as colunas possuem um perfil tubular vazado de $\varnothing 150 \times 5$ mm, conforme a Figura 18, apresentada abaixo, onde “e” vale os 5 mm e “D” os 150 mm:

Figura 18 - Seção transversal do perfil dos pilares



Fonte: Pinheiro (2005)

4.1.2. Ações e modelos estruturais de cálculo dos elementos

4.1.2.1. Escada

Para Pinheiro (2005), as ações atuantes nas vigas da escada estão presentes na Figura 19.

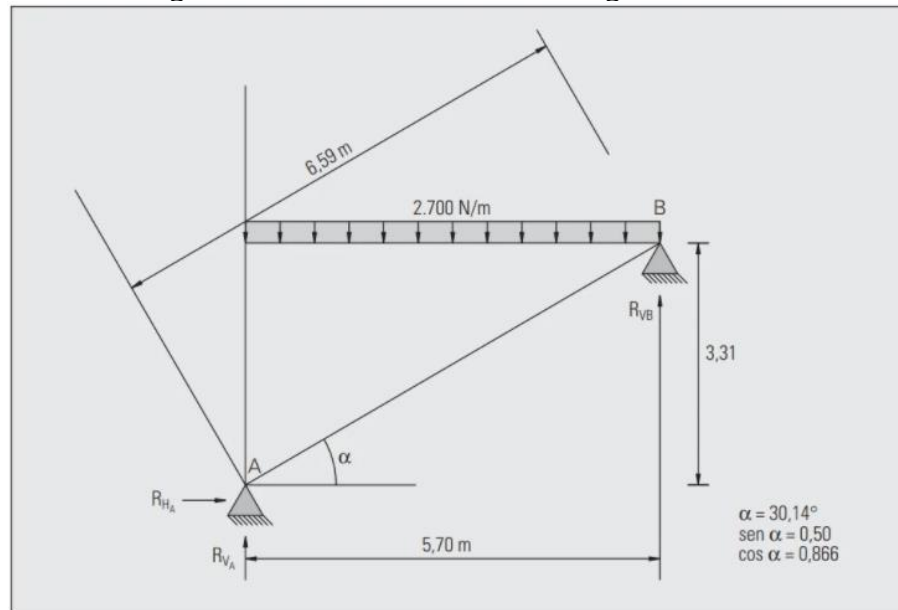
Figura 19 - Cargas nas vigas da escada

Cargas atuantes		
Peso próprio da viga	=	199 N/m
Degraus	=	330 N/m
Corrimão	=	313 N/m
	q	= 842 N/m
Ligações: 10%	q	= 84 N/m
	PP	= 926 N/m
PP	→	900 N/m
SC	→	1.800 N/m
	q_t	= 2.700 N/m

Fonte: Pinheiro (2005)

E o modelo de cálculo é adotado como vigas bi apoiadas, conforme a Figura 20.

Figura 20 - Modelo estrutural das vigas da escada



Fonte: Pinheiro (2005)

4.1.2.2. Vigas secundárias

Segundo Pinheiro (2005), as ações atuantes nas vigas secundárias são definidas como a Figura 21. E o modelo de cálculo é adotado como vigas bi apoiadas.

Figura 21 – Cargas nas vigas secundárias

Peso próprio (PP)	→	61,10 N/m
Ligações: 10% × PP	→	6,10 N/m
		67,10 N/m
Chapa de piso (# 6,3 mm)	→ $497,97 \text{ N/m}^2 \times 0,5 \text{ m}$	= 248,99 N/m
SC	→ $3.000 \text{ N/m}^2 \times 0,5 \text{ m}$	= 1.500 N/m
		$q \approx 1.820 \text{ N/m}$

Fonte: Pinheiro (2005)

4.1.2.3. Vigas principais

Conforme Pinheiro (2005), as ações atuantes nas vigas principais (v1, v2, v3, v4 e v7) estão determinadas na Figura 22, as demais (v5, v6 e v8), não estão expressas na literatura. E o modelo de cálculo de todas é adotado como vigas bi apoiadas.

Figura 22 - Cargas nas vigas principais

Vigas V ₂ e V ₄ (Fig. 10.22)			
PP	→	377 N/m	
Ligações	→	38 N/m	
		$q = 415 \text{ N/m}$	

Viga V ₇ (Fig. 10.24)			
PP	→	377 N/m	
Ligações: 10% x PP	→	38 N/m	
Chapa - $497,97 \text{ N/m} \times 0,5 \text{ m}$	→	248,99 N/m	
Sc - $3.000 \text{ N/m}^2 \times 0,5 \text{ m}$	→	1.500 N/m	
		$q = 2.164 \text{ N/m}$	

Viga V ₃ (Fig. 10.23)			
PP	→	377 N/m	
Ligações 10% x PP	→	38 N/m	
		$q = 415 \text{ N/m}$	

Viga V ₁ (Fig. 10.25)			
PP	→	337 N/m	
Ligações: 10% PP	→	38 N/m	
		$q = 415 \text{ N/m}$	

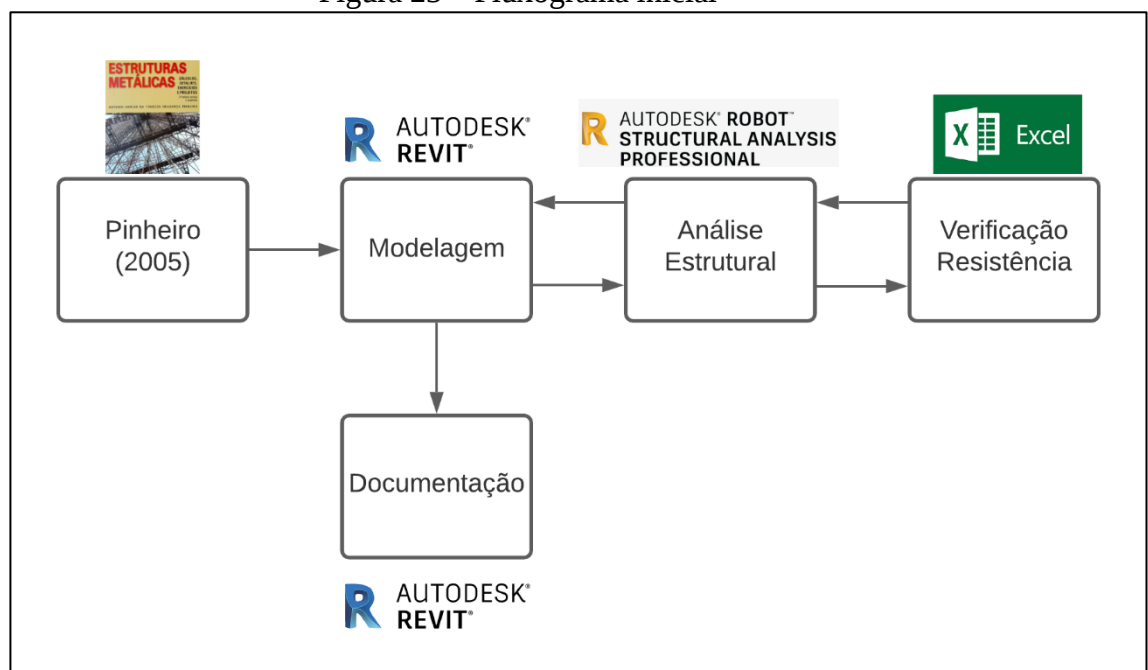
Fonte: Pinheiro (2005)

4.2 METODOLOGIA UTILIZADA

A modelagem foi feita utilizando primordialmente o software Revit ® e a partir da criação dos modelos físicos e analíticos, ocorreu a exportação para o Robot ®. Nele foram retirados os esforços presentes na estrutura e com estes resultados foram utilizadas planilhas Excel ® autorais e automatizadas com o intuito de verificar a resistência dos perfis à estas solicitações conforme a ABNT NBR 8800:2008, caso o perfil não atendesse ele seria modificado. Por fim, posteriormente o fluxo voltou para o Revit ® para ser realizada a documentação.

Ainda no Revit ® foram feitas as documentações e plotagem para finalização do projeto. A Figura 23, traz um fluxograma de forma simplificada para facilitar o entendimento do processo.

Figura 23 – Fluxograma inicial



Fonte: Autoria Própria (2021)

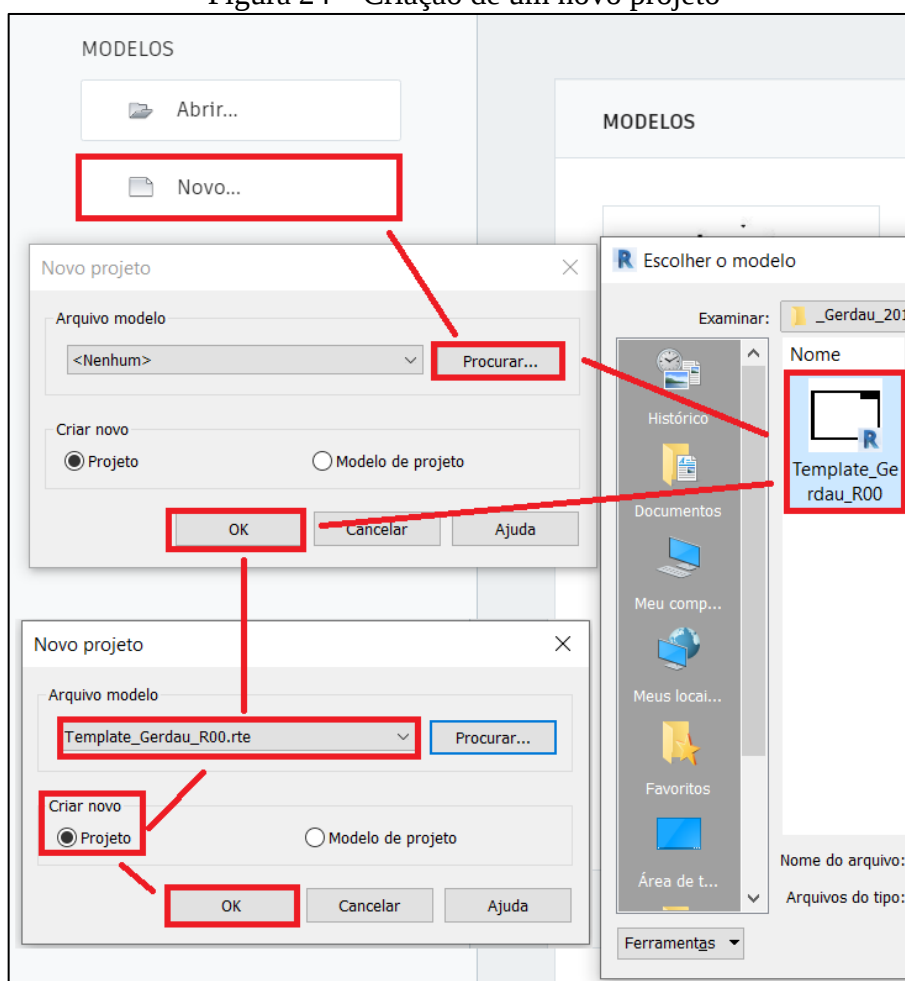
4.2.1. Uso do Revit ®

Para todo o processo foi usada a versão estudantil do software no formato 2020, obtida através da comprovação de vínculo com a Universidade pelo site da desenvolvedora Autodesk ®. Com isso, o Revit ® foi empregado com o objetivo de criar os modelos: físico e analítico, além da documentação do projeto. Para tanto, este trabalho fez uso primeiramente de um *template* personalizado da Gerdau ®, disponível em: [Biblioteca BIM para Construção Metálica | Gerdau](#), empresa esta referência nacional no ramo de elementos em aço, portanto a mesma possuía famílias com perfis utilizados no Brasil, unidades de medidas para este tipo de projeto, dentre outras pré-configurações.

4.2.1.1 Criação de um novo projeto

Para abrir a interface de modelagem do programa, se fez necessário primeiro, ir na opção “Novo”, pois a mesma diz respeito a criação de um novo projeto, caso desta monografia. Em seguida, na opção “Procurar”, foi selecionado o *template* Gerdau ® como descrito no item anterior, com ele selecionado e a opção “projeto” habilitada, o processo para criação de um novo projeto foi finalizado clicando no “Ok”. A metodologia descrita se encontra na Figura 24.

Figura 24 – Criação de um novo projeto



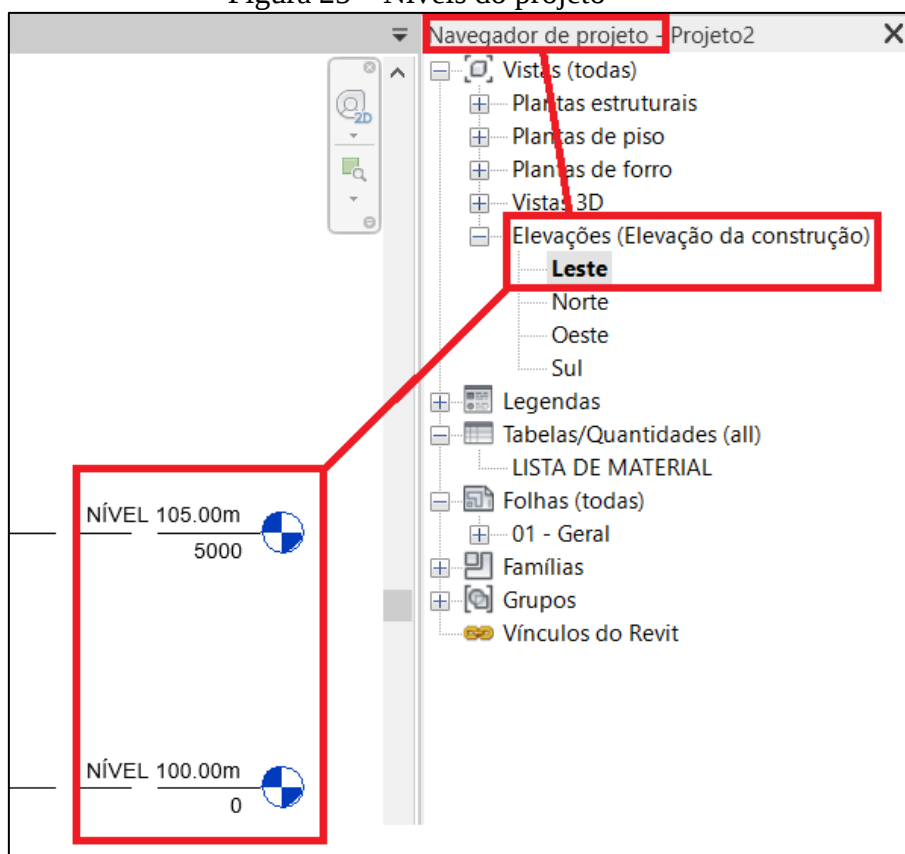
Fonte: Autoria própria (2021)

4.2.1.2 Configurações iniciais

Antes de iniciar a modelagem é de suma importância configurar o software para o mesmo se adequar ao projeto. Portanto, através da tecla “UN” foi possível acessar as unidades de medida, que por padrão do *template* Gerdau® já estava em milímetros, que de fato, é conivente para projetos estruturais em aço.

Em seguida, no “navegador de projeto” e em “elevações” foi aberta uma delas, a “Leste”, como na Figura 25. As elevações são os parâmetros de restrições da estrutura, ou seja, os níveis em que os elementos iniciam e terminam. Por padrão, existiam dois níveis: O nível 100 e o nível 105, que foram modificados.

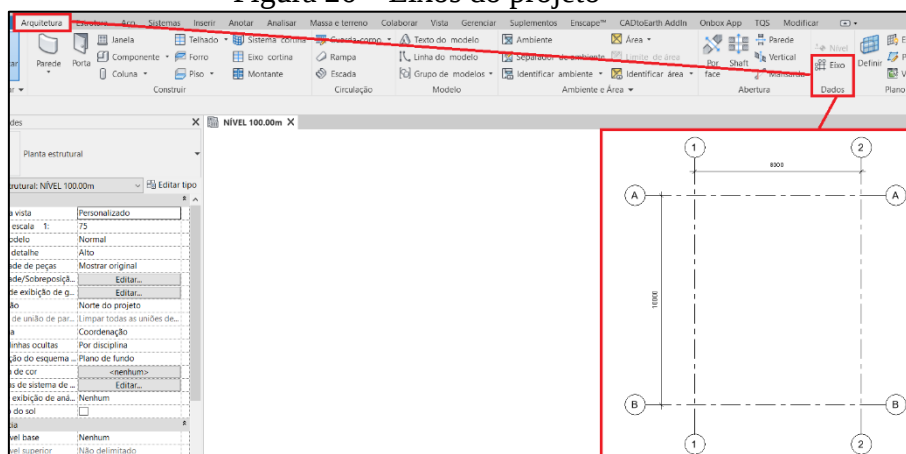
Figura 25 – Níveis do projeto



Fonte: Autoria Própria (2021)

Posteriormente foram criados os eixos do projeto, conforme a Figura 11, para que os elementos estruturais como as vigas e pilares fossem alocados. O modelo já possuía dois eixos criados, como na Figura 26, eles foram aproveitados e editadas apenas as distâncias, enquanto que para a criação de novos se fez necessário ir na aba “Arquitetura”, na opção “dados” e em “eixos”.

Figura 26 – Eixos do projeto



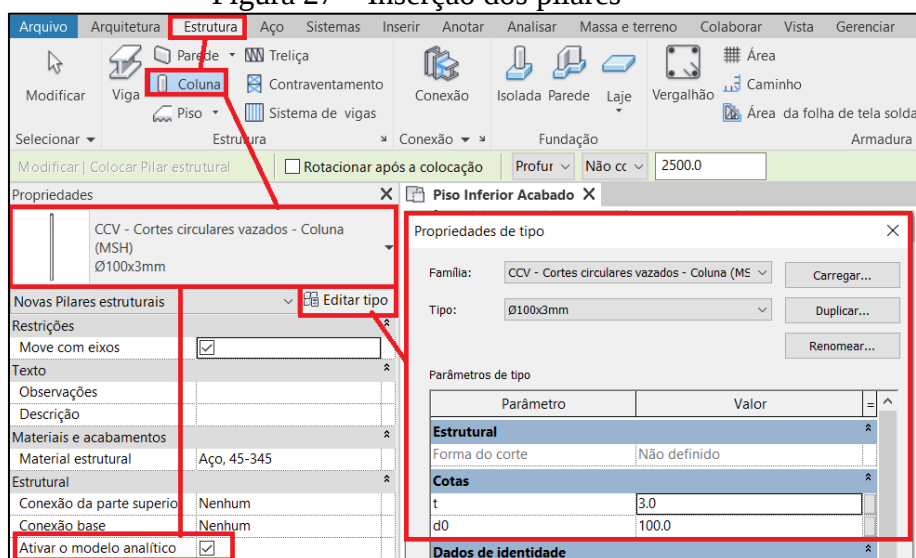
Fonte: Autoria própria (2021)

4.2.1.3 Inserção dos pilares metálicos

Antes de adicionar os elementos estruturais era imprescindível que a opção “ativar modelo analítico”, estivesse selecionada, pois só assim a modelagem do mesmo aconteceria simultaneamente ao físico.

Dessa forma, foram inseridos os pilares, através da aba “estrutura”, opção “coluna”. O perfil adotado para este elemento estrutural foi o tubo circular vazado com $\varnothing 150 \times 5$ mm, como visto no item 4.1.1. No *template* da Gerdau® esta família de perfis possuía a nomenclatura “CCV – Cortes circulares vazados – Coluna (MSH)”, porém a geometria referida não estava presente, sendo assim, se faz necessário alterar os parâmetros de um dos perfis existentes para se adequar ao projeto. O perfil “ $\varnothing 100 \times 3$ mm” foi o escolhido como base, sendo assim, ao acessar a opção “Editar Tipo”, presente na aba “Propriedades”, as cotas foram alteradas conforme a Figura 18, que demonstra tais propriedades geométricas e o perfil foi renomeado para “ $\varnothing 150 \times 5$ mm”. A Figura 27 apresenta o processo o método apresentado nesta seção.

Figura 27 – Inserção dos pilares



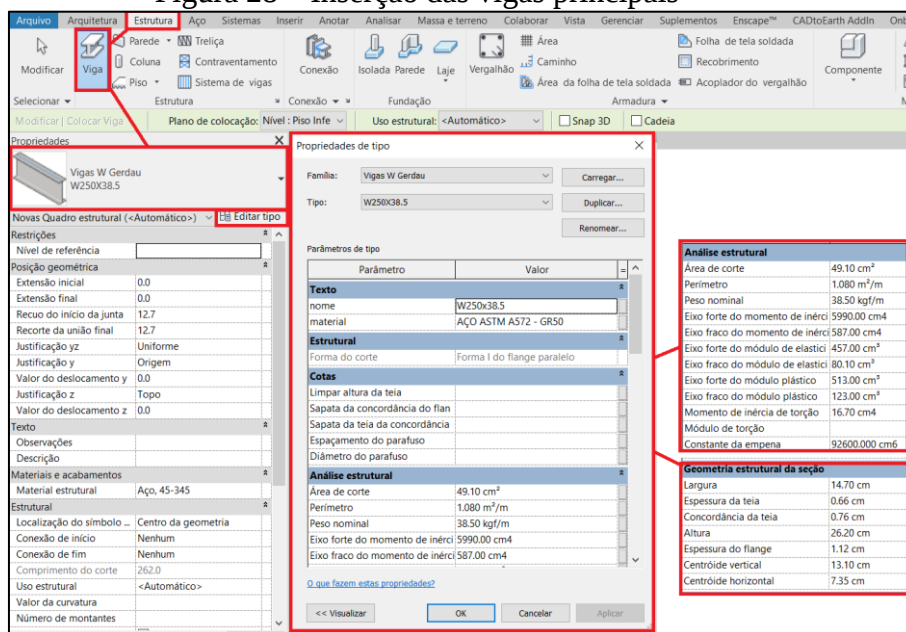
Fonte: Autoria própria (2021)

Com a cota “t” alterada para “5” e o “d0” para “150”, a inserção foi feita com a opção “nos eixos”, que adiciona automaticamente as colunas nas intersecções dos eixos. Como nem todas as intersecções possuem pilares, as que não continham foram retiradas.

4.2.1.4 Inserção das vigas principais e secundárias

Em seguida foram inseridas as vigas, começando pelas chamadas “principais”, o perfil a ser empregado é o “I 254 x 37,70 kg/m”, como visto anteriormente no item 4.1.1. Assim como ocorreu nos pilares, o *template* da Gerdau® não apresentou tal perfil específico, porém possuía a família, logo bastou serem alterados os parâmetros. Desta forma, o perfil “W250x38.5” foi o escolhido para ser alterado, então através da aba “estrutura”, na opção “vigas”, o mesmo foi selecionado e o seu tipo foi editado para se adequar as propriedades geométricas da Figura 16. Foram alterados os parâmetros referentes a “análise estrutural” e a “geometria estrutural da seção”.

Figura 28 – Inserção das vigas principais



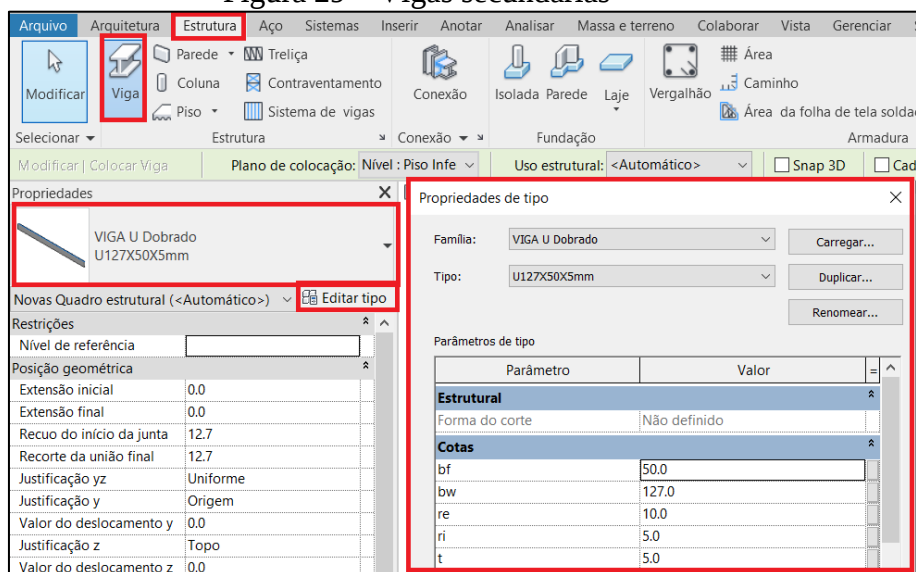
Fonte: Autoria própria (2021)

Definido os parâmetros para inserir as mesmas, se fez necessário ir na aba “estrutura”, em “vigas”, através da opção “linhas”, clicar no centro de um pilar a outro no sentido proposto da Figura 15, até que todas as vigas estivessem presentes.

Já as vigas secundárias, foram concebidas adotando o Perfil C 76,2 x 6,11 Kg/m, como dito anteriormente no item 4.1.1, e da mesma forma, assim como os pilares e as vigas principais este perfil específico não estava presente no *template* Gerdau®, logo foi utilizado o perfil “U127x50x5mm” por ser o que mais se aproximava e seus parâmetros foram alterados seguindo os mesmos critérios feitos anteriormente e baseados na Figura 17. A Figura 29 exemplifica a metodologia para inserção.

Elas estão distanciadas a cada 0,50 m, conforme a Figura 15, sendo assim, com auxílio do próprio cursor partindo do eixo “A”, foi inserido tal valor. As demais foram colocadas através da opção “Deslocamento”, presente na aba “Modificar”, prevendo tal distancia, ou seja, a partir da primeira viga inserida, com esta opção selecionada, foi possível clicar na viga e as demais já apareciam deslocadas.

Figura 29 – Vigas secundárias



Fonte: Autoria própria (2021)

4.2.1.5 Criação da escada e ajustes necessários

Para a escada, a criação foi feita da seguinte forma: através da aba “arquitetura”, se tem a opção “escada” e o tipo presente na literatura não está no *template* Gerdau ®. Desta forma, a solução adotada foi utilizar uma família já pronta de escada metálica com degrau de chapa xadrez e vigas longarinas em perfil I, tal arquivo denominado como “clau metálica.rvt” pode ser acessado livremente através do fórum oficial da Autodesk ®, disponível em: [Solucionado: Escadas - aplicar perfil no suporte lateral - Autodesk Community - International Forums](#).

Feito o download do arquivo e com ele aberto no Revit ®, o mesmo foi selecionado, copiado e transferido para o projeto trabalhado nesta monografia. Com a opção “escada” ativa e o tipo dela agora presente no *template* com o nome “Escada montada Industrial and Assembly 2”, as restrições foram definidas como o “Nível base: Piso Inferior Acabado” e “Nível superior: Piso do Mezanino Acabado”, garantindo desta forma que seu início seria na cota zero e sua altura final estaria compatibilizada com a laje do mezanino a 3.310 mm. Ainda nos parâmetros, foram modificados: o “Número desejado de espelhos”, cuja a literatura utilizada traz como 19 e a “Profundidade real do piso” que é de 30 cm. Utilizando a opção “Reto”, que descreve uma escada sem patamar a mesma foi inserida, respeitando seu comprimento na projeção horizontal de 5,70 m conforme Pinheiro (2005). A Figura 30 representa o que foi dito anteriormente.

A solução adotada foi a seguinte, através da vista leste e da opção “Espelhar: desenhar pelo eixo”, a viga foi criada a partir da “V8”, cuja sua posição pode ser consultada na Figura 15. Dessa forma, a viga criada foi copiada com o nível de referência “Piso do Mezanino Acabado”, o “Deslocamento do nível inicial: -3.310” e o “Deslocamento do nível final: 0”. Para garantir que o modelo analítico estivesse no eixo da viga, a fim de assegurar o comprimento e inclinação real, a opção “Justificação de Pontos” foi utilizada e o eixo central foi selecionado.

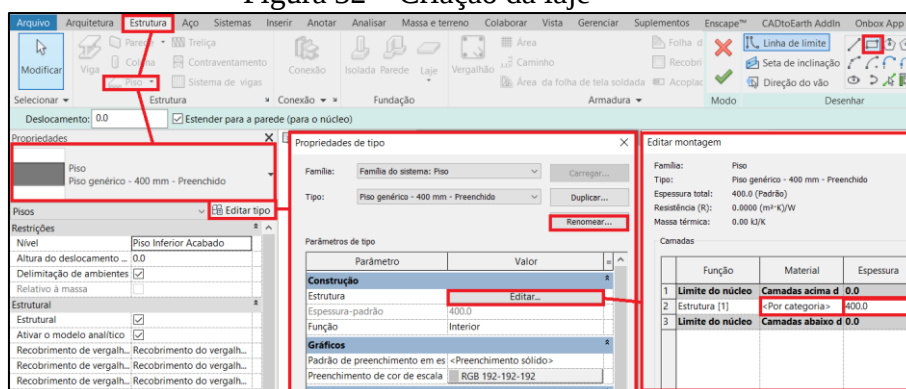
4.2.1.6 Criação da laje e ajustes necessários

Por fim, o último elemento estrutural modelado foi a laje. Através da aba “Estrutural”, na opção “Piso estrutural” (importante que seja essa opção, pois pertence a disciplina de estrutura, existe uma outra alternativa chamada de “Piso arquitetônico”, porém esta pertence a disciplina de arquitetura e não seria possível a criação no modelo analítico), se tem a seleção da mesma.

O piso em chapa de aço como no livro, não está presente no *template* Gerdau®, logo foi escolhido o “Piso Genérico – 400 mm”, sendo necessário alterar seus parâmetros, a opção “Editar tipo” foi aberta, a família foi renomeada para “Piso Chapa de Aço” e a estrutura foi modificada para ter a espessura de 6,3 mm e o material ser o aço.

Para inserir, foi utilizada a opção “Desenhar com retângulo” e a área delimitada, correspondeu a parte interna, ou seja, locada acima das vigas secundárias, a fim de respeitar o “caminho das cargas”, onde a laje descarrega nestas vigas. O processo está na Figura.

Figura 32 – Criação da laje



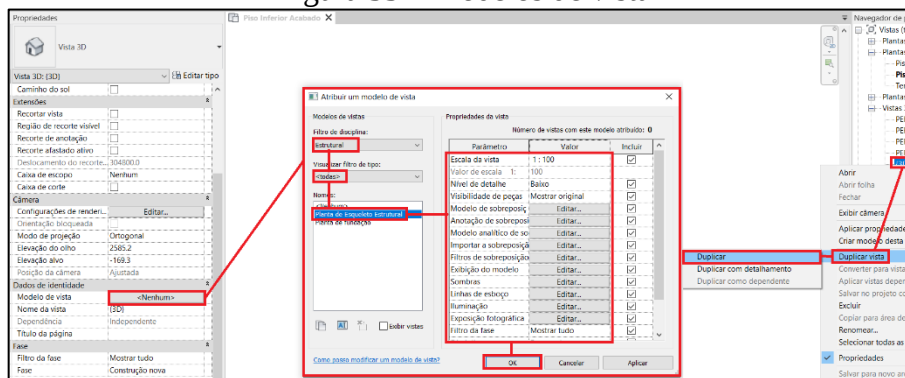
Fonte: Autoria Própria (2021)

4.2.1.7 Modelo analítico

Após a criação do modelo geométrico, se fez necessário visualizar o produto inicial do modelo analítico, que como dito anteriormente foi criado simultaneamente. Para isso, primeiramente no navegador de projetos, a vista chamada “{3D}” foi duplicada através da opção “duplicar vista” e foi renomeada como “Modelo Analítico”. Em seguida, se fez

necessário criar um “modelo de vista” novo que demonstrasse apenas os elementos analíticos, dessa forma em “propriedades” e em “modelo de vista”, foi selecionado a opção “Nenhum” e por padrão do *template* Gerdau®, na disciplina de estrutura, existiam apenas dois modelos: “Planta de esqueleto estrutural” e “Planta de fundação”, como na Figura 33.

Figura 33 – Modelos de vista

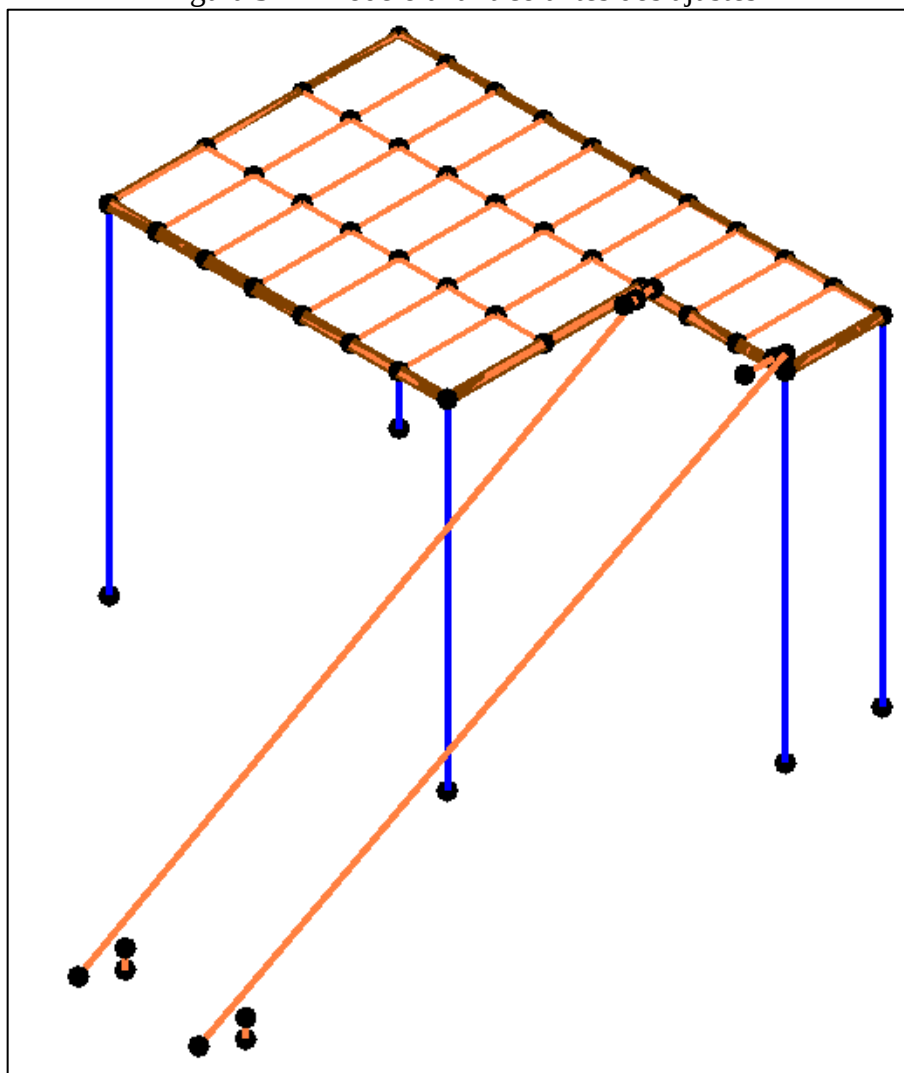


Fonte: Autoria Própria (2021)

Portanto, por isso foi atribuído um novo modelo. Assim, foi selecionada a opção “Planta de Esqueleto Estrutural” e a mesma foi duplicada com o nome “Modelo Analítico”. Dessa forma, foram feitas algumas alterações necessárias, como deixar o nível do detalhamento em “alto”; a categoria de modelos e a de anotação foram desativadas e as opções presentes na “categoria de modelo analítico” foram todas ativadas.

Com o modelo de vista criado e aplicado, o modelo analítico é evidenciado, conforme a Figura 34, nele é possível notar que ajustes precisavam ser feitos, uma vez que alguns “nós”, junções entre barras representadas pela circunferência preenchida na cor preta, não estavam conectados o que geraria inconsistência no modelo e, conseqüentemente, uma análise estrutural errada.

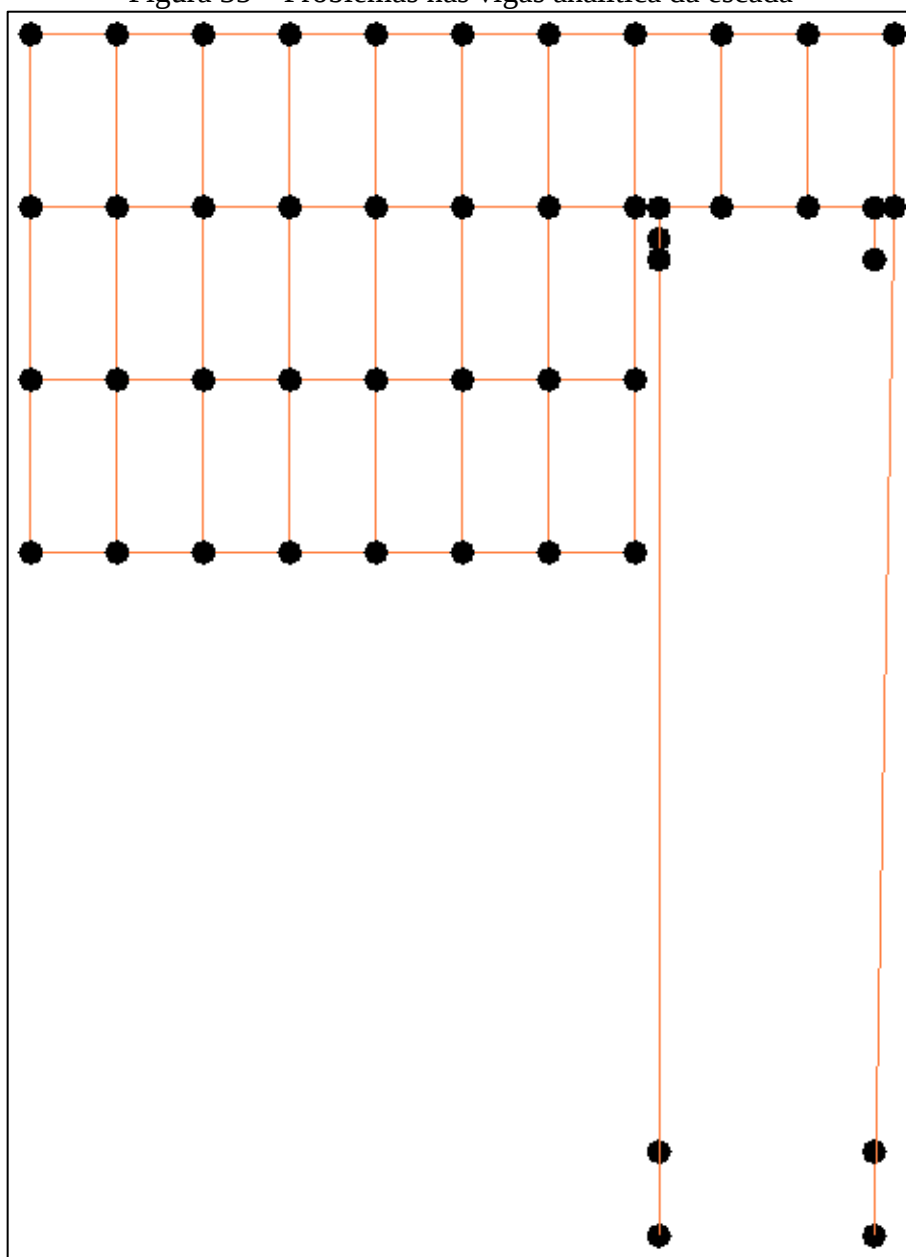
Figura 34 – Modelo analítico antes dos ajustes



Fonte: Autoria Própria (2021)

Para ajustar o modelo, primeiro as linhas finas foram ativadas através da tecla de atalho “TL”, para facilitar o processo. Assim, a Figura 35, mostra o mezanino analítico por uma vista superior, nela é notório o desalinhamento das vigas da escada, causado pela solução adotada na criação das mesmas.

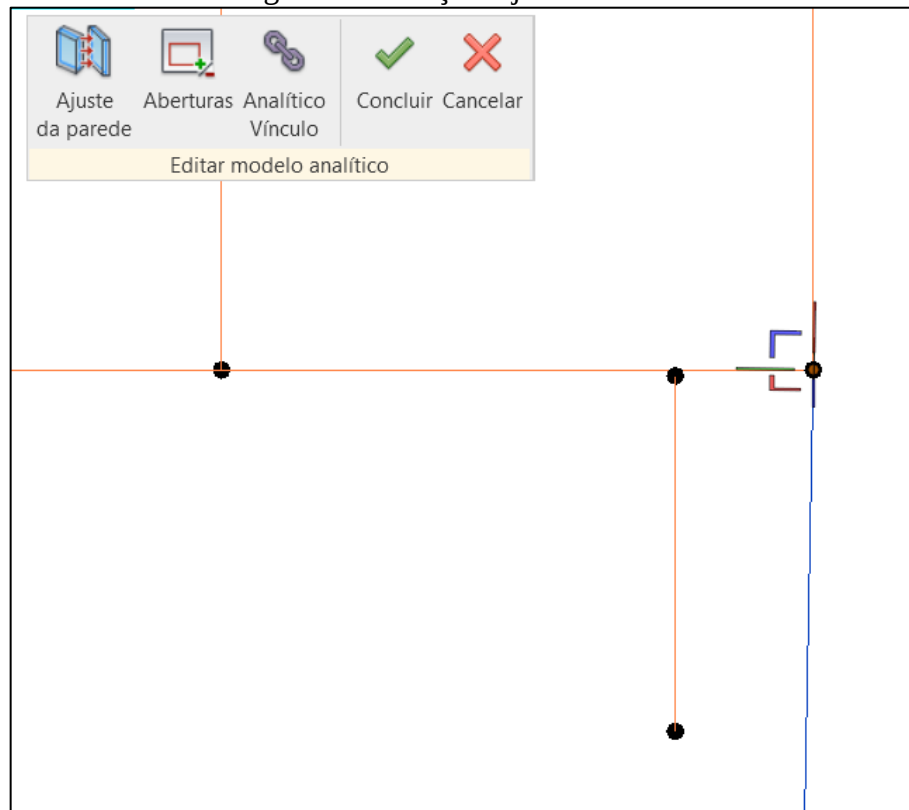
Figura 35 – Problemas nas vigas analítica da escada



Fonte: Autoria Própria (2021)

Ao selecionar a viga analítica direita, ativa-se a opção “Ajuste analítico”, com ela foi possível selecionar o nó que antes estava indo diretamente para a “V3” e realoca-lo para o nó intermediário entre a viga inclinada e a V3, através do clique e arraste possível pelas coordenadas presentes na função, evidenciadas na Figura 36.

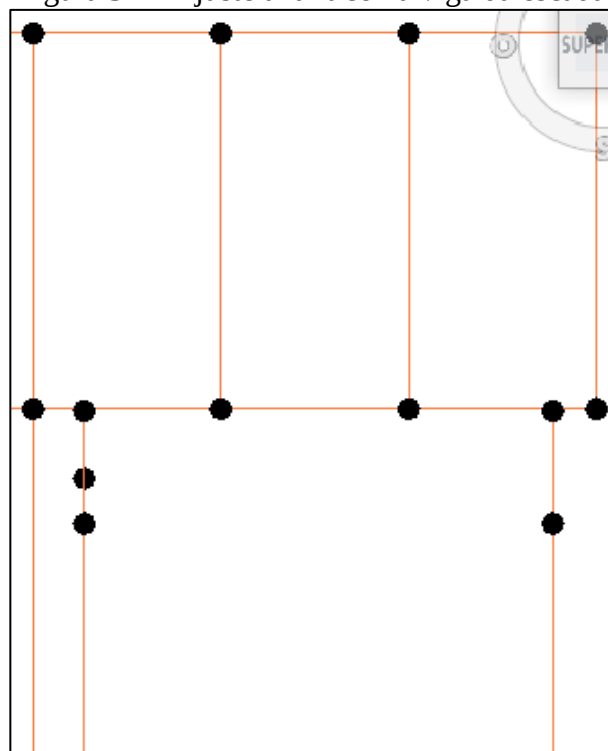
Figura 36 - Função Ajuste analítico



Fonte: Autoria Própria (2021)

Dessa forma, a primeira modificação foi feita e o resultado é encontrado na Figura 37, as demais alterações seguiram o mesmo critério.

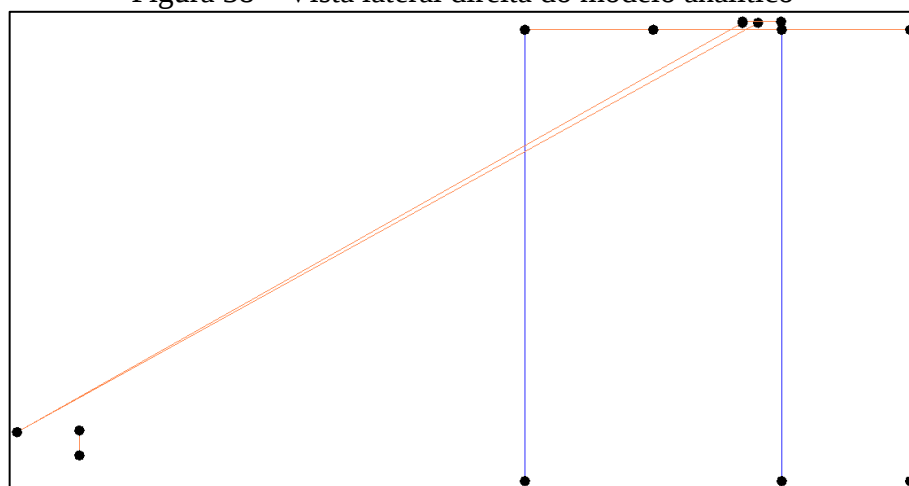
Figura 37 – Ajuste analítico na viga da escada



Fonte: Autoria própria (2021)

Ainda nas vigas analíticas da escada é possível observar no lado esquerdo três nós, enquanto que no lado direito tem-se apenas dois, criando-se uma inconsistência. Para resolver este problema foi utilizada uma vista lateral para primeiro identificar a causa. A Figura 38, mostra tal visualização.

Figura 38 – Vista lateral direita do modelo analítico

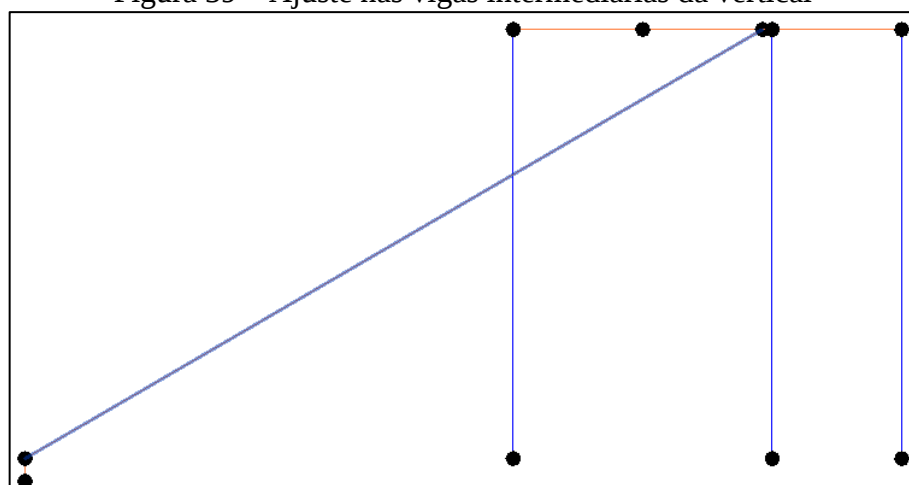


Fonte: Autoria Própria (2021)

Fica evidente, que a viga intermediária da horizontal não está conectada a V3, logo este foi o ajuste consequente feito. Como dito anteriormente, não se tem clareza acerca do comprimento da “viga intermediária”, porém a da escada deve possuir 6,59 m, logo todos os ajustes foram feitos de modo a respeitar esta medida, uma vez que alterações neste comprimento e na inclinação comprometeriam os resultados na análise estrutural.

Outro ajuste a ser feito que pode ser observado também na Figura 38, são as “vigas intermediárias da vertical” que não estão conectadas as vigas inclinadas da escada, portanto foi o próximo ajuste realizado. O resultado da alteração se encontra na Figura 39.

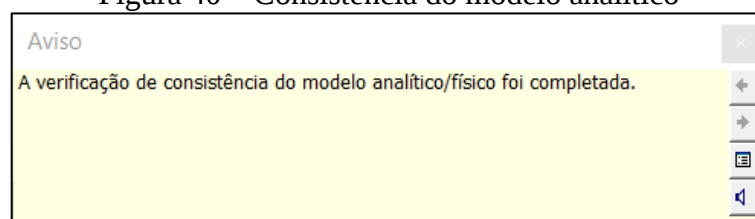
Figura 39 – Ajuste nas vigas intermediárias da vertical



Fonte: Autoria Própria (2021)

Feitos os ajustes, o próprio Revit ® possui uma ferramenta de verificação do modelo analítico, no que tange a sua consistência, para tanto foi acessada tal ferramenta na aba “analisar” e em “consistência”, surgiu a mensagem no canto inferior direito da tela, que pode ser observada na Figura 40, informando que a verificação foi completada e não surgiu nenhum aviso, garantindo assim, que o modelo está pronto para a análise estrutural no Robot ® através da exportação, porém, nesta monografia optou-se ainda pela criação dos casos de carga, lançamento das cargas e combinações pelo próprio Revit ® antes de enviar para o Robot ®.

Figura 40 – Consistência do modelo analítico

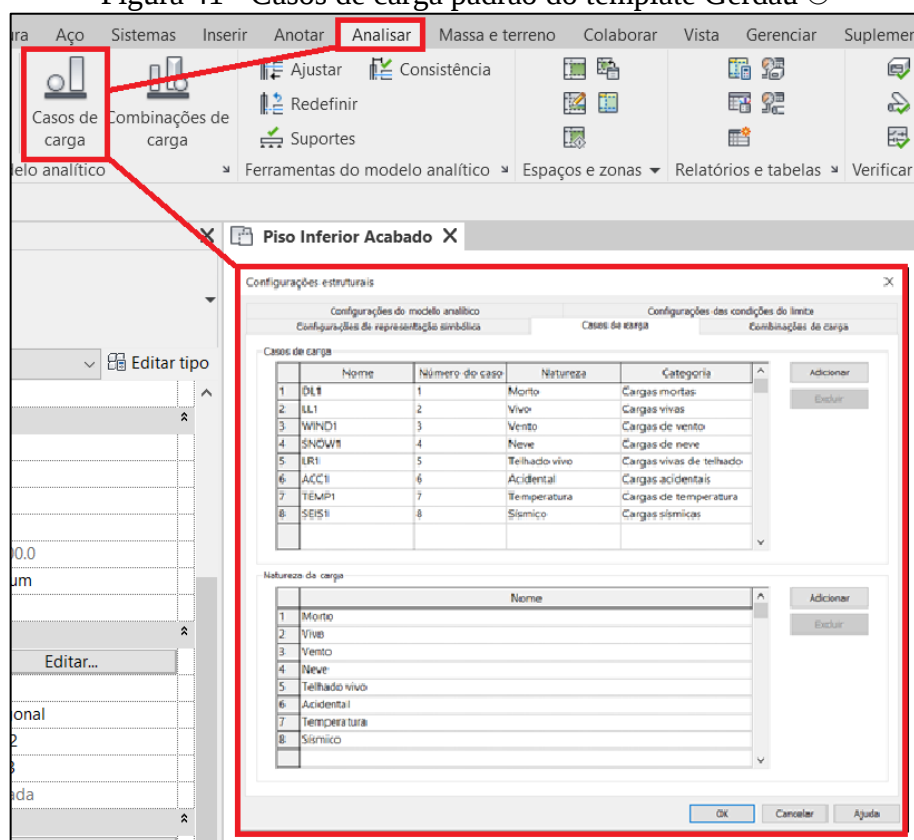


Fonte: Autoria própria (2021)

4.2.1.8 Lançamento das cargas no Revit ®

Para adicionar as ações presente na estrutura, era fundamental que o modelo analítico estivesse ativo primeiramente, portando a vista criada foi aberta. Com ela ativa, inicialmente se fez necessário criar os “Casos de carga”, função esta que se encontra na aba “Analisar”. Por padrão do *template* Gerdau ®, já existem casos criados que se encontram na Figura 41.

Figura 41 - Casos de carga padrão do template Gerdau ®



Fonte: Autoria Própria (2021)

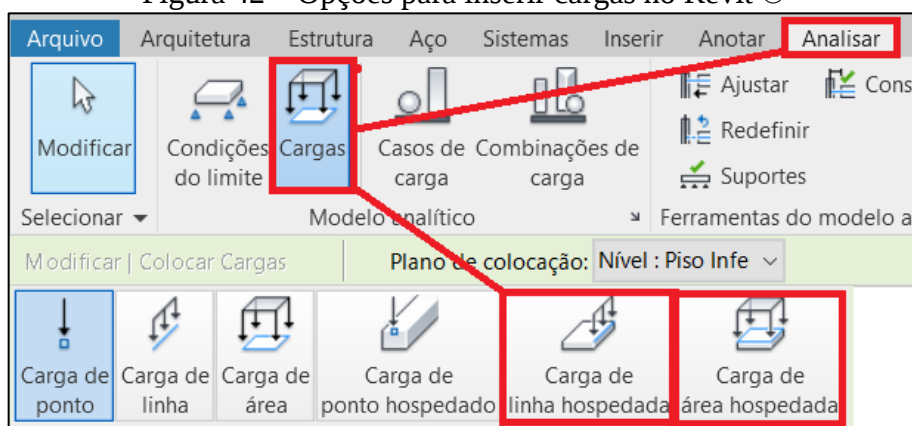
Neste trabalho não se fez uso de nenhum destes casos, sendo outros criados, a fim de obedecer ao dimensionamento proposto na ABNT NBR 8800:2008. Logo, todos foram excluídos, através da seleção dos mesmos em seguida da opção “Excluir”.

Posteriormente, foram feitos três novos casos, através do botão “Adicionar”, o primeiro recebeu o nome de “PP”, que se refere ao peso próprio da estrutura, o segundo “CP” para representar os carregamentos permanentes e o terceiro e último “SC” para identificar a sobrecarga. Os dois primeiros foram classificados como “Morto” em sua “Natureza”, pois tal designação se refere a cargas imutáveis, designação esta que se dá em normas internacionais, as quais o software é baseado e a sobrecarga foi classificada como “Acidental”. Para as “categorias”, ocorreu a mesma situação, os dois primeiros viraram “Cargas mortas” e o último “Cargas acidentais”.

Criado os casos, vale ressaltar primeiro que o peso próprio da estrutura, é reconhecido tanto no Revit ®, quanto no Robot ® ou qualquer outro software que use a metodologia BIM automaticamente, através dos parâmetros, informações e dados presentes nas famílias dos elementos estruturais.

Para as cargas permanentes e a sobrecarga o lançamento deve ser feito manualmente, portanto ainda na aba “Analisar”, na opção “Cargas”, tem-se as seguintes opções, conforme a Figura 42.

Figura 42 – Opções para inserir cargas no Revit ®

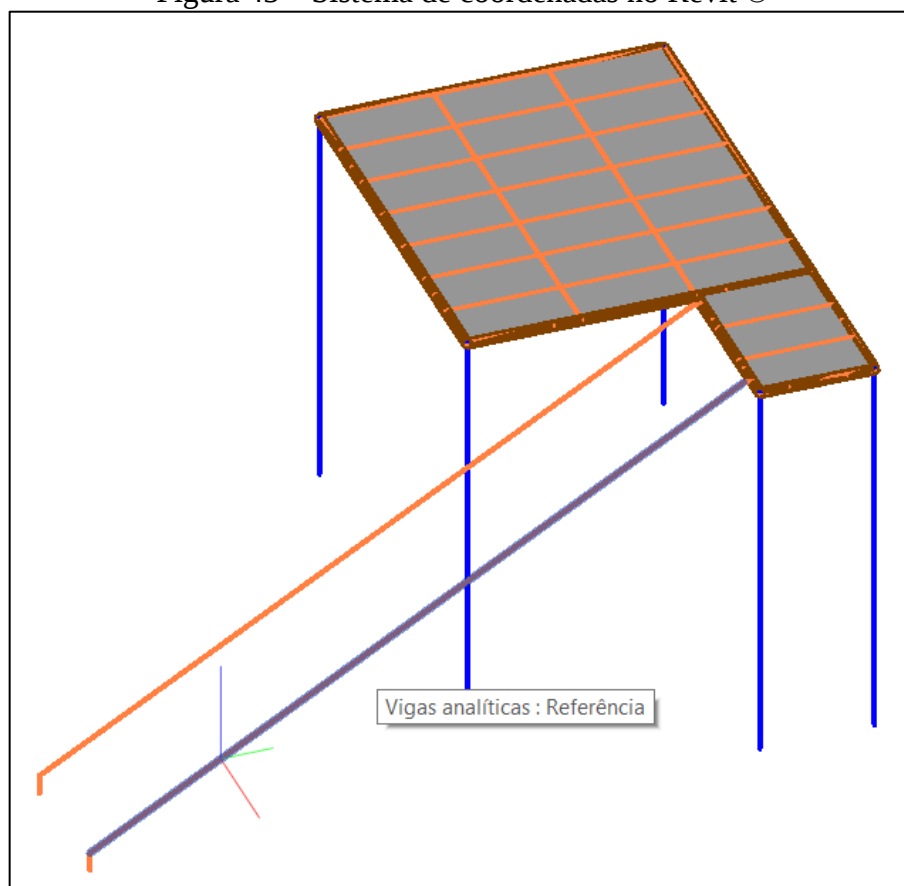


Fonte: Autoria própria (2021)

Nesta monografia, as opções utilizadas foram: “carga de linha hospedada”, que insere uma carga ao longo de uma linha analítica, reconhecida automaticamente; carga de área hospedada, que adiciona uma carga em um piso ou parede estrutural analítico.

Para as vigas da escada, utilizando como base a Figura 19 e a opção “carga de área hospedada”, foram inseridos os carregamentos na mesma. Como exemplo, para adicionar o peso dos degraus, primeiro foi verificado que ao passar o cursor sob a viga analítica, o sistema de coordenadas é revelado e ele é muito importante para entender o sentido das cargas. A Figura 43 revela esta informação. Esse sistema é o mesmo do Robot ® e no pós exportação é possível verificá-lo, desta forma no item seguinte o entendimento é melhor.

Figura 43 – Sistema de coordenadas no Revit ®



Fonte: Autoria própria (2021)

Logo, fica claro que os carregamentos com o sentido para baixo, precisam possuir sinal negativo, indo contrário a coordenada “Z”, representada pela linha azul. Portanto, as configurações que precedem a inserção da carga foram feitas da seguinte forma:

Para as vigas secundárias, seguindo a Figura 17, as ações atuantes são as ligações, o peso da chapa de piso e a sobrecarga. As cargas das ligações foram inseridas como carga de linha hospedada, já a laje e a sobrecarga como carga de área hospedada. Logo, para a primeira ação o processo foi o mesmo descrito anteriormente.

Para inserir a carga de área, a metodologia foi semelhante, com a opção selecionada e ao pôr o cursor acima do piso, o mesmo ficou em destaque e ao pressionar o botão do mouse o carregamento foi adicionado.

4.2.1.9 Combinações de ELU no Revit ®

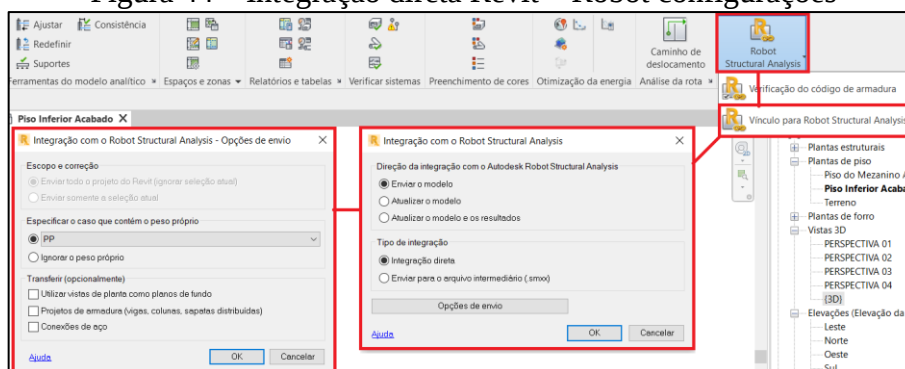
Na aba “Analisar” se tem a opção “combinações de carga”, ao selecioná-la abre-se uma nova janela para criar os casos, por padrão do *template* Gerdau ®, não existe nenhuma combinação criada. Dessa forma, com o botão “Adicionar”, foi inserida a primeira combinação, com o nome “Nova combinação 1”, para renomear, bastou selecionar, apagar e reescrever, modificando para “ELU” (Estado Limite Último). O passo seguinte foi na parte “Editar fórmula

selecionada”, clicando três vezes na opção “Adicionar” foi possível incluir três casos, que são referentes aos três tipos de ações atuantes: Peso próprio, cargas permanentes e sobrecarga.

4.2.1.10 Exportação Revit ® – Robot ®

Para que a exportação ocorresse era imprescindível que os dois softwares estivessem sendo executados simultaneamente e na mesma versão, sendo assim o Robot ® foi iniciado e com isso, voltando para o Revit na aba “Analisar”, em “Análise estrutural” se tem o designer do Robot ® e ao clicar nesta opção se tem duas escolhas, uma intitulada “Verificação do código de armadura”, que é utilizada para projetos em concreto armado, o que não é aplicável a esta monografia e a segunda como “Vínculo para Robot Structural Analysis”, que foi a usada. Ao selecionar esta última opção surgiu a seguinte janela presente na Figura 44.

Figura 44 – Integração direta Revit – Robot configurações



Fonte: Autoria própria (2021)

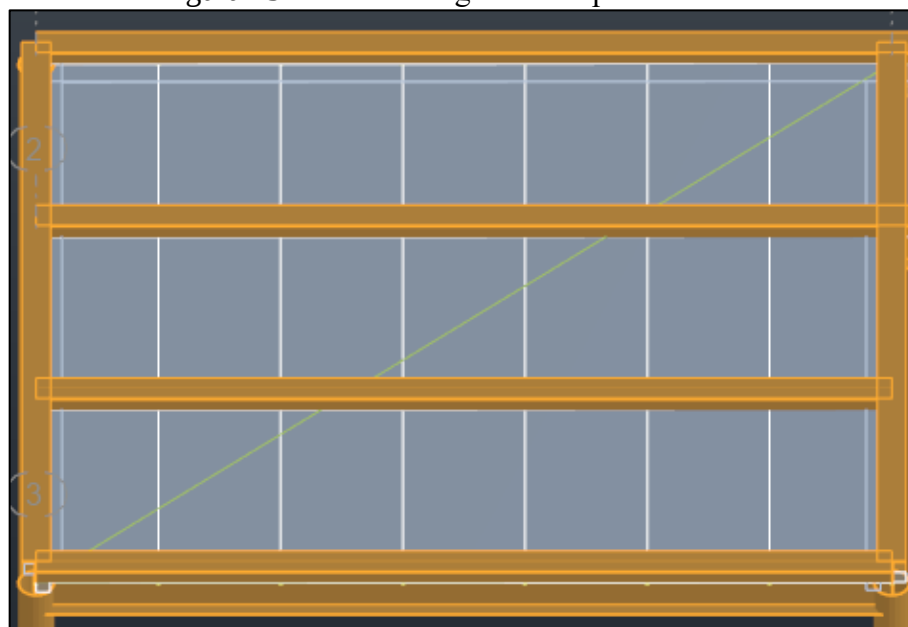
Como é a primeira exportação, a opção “Enviar modelo” foi aplicada e o tipo de integração foi direta, uma vez que a modelagem e a análise foram realizadas pelo mesmo usuário. Dentre as “Opções de envio”, que podem ser consultadas ainda na Figura 44, era importante que o peso próprio estivesse marcado para que assim o Robot ® reconhecesse os valores calculados automaticamente através dos pesos dos elementos descritos em seus parâmetros. As outras opções não eram relevantes para este trabalho.

4.2.2 Uso do Robot ®

Ao concluir todas configurações e executar a exportação, surgiu uma mensagem informando que a integração foi efetuada com êxito e nos relatórios ouve um aviso, citando que os perfis em C não foram identificados. Já ao chegar no Robot ®, a informação é que o programa não reconheceu os perfis ao procurar em seu banco de dados, a solução adotada então, foi criar estes perfis no próprio Robot ® e depois atualizar o modelo no Revit ®.

Utilizando as vigas secundárias como exemplo e com a opção “fôrmas de seção” ativas é possível notar pela Figura 45, que as mesmas de fato não foram carregadas, possuindo apenas a forma unifilar e representadas por linhas brancas.

Figura 45 – Erro nas vigas com o perfil em “C”



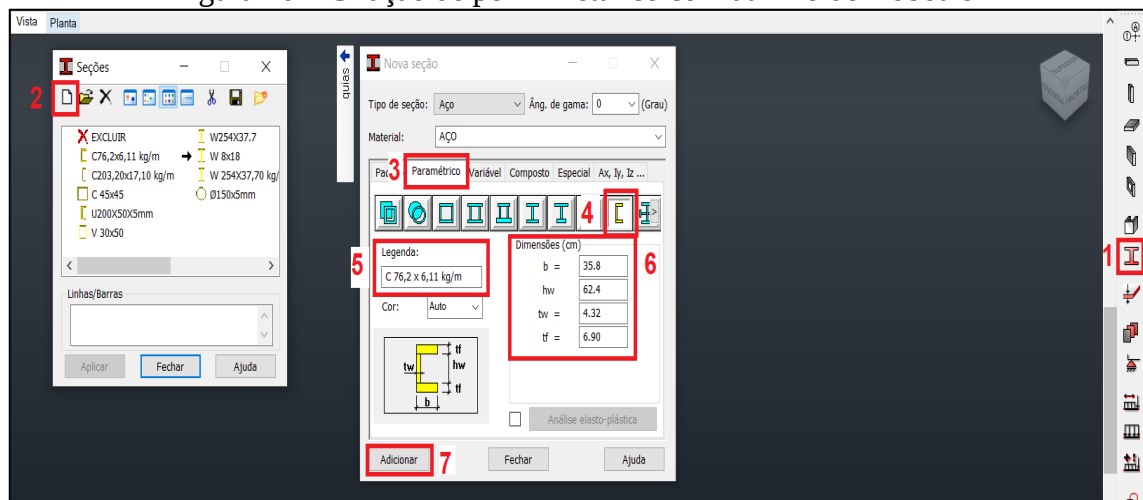
Fonte: Autoria própria (2021)

4.2.2.1 Criação dos perfis em “C” no Robot ®

Para efetuar a criação dos perfis, primeiro no canto inferior direito com auxílio visual de um perfil “I”, foi selecionado esta opção descrita como “Seções da barra”, em seguida na janela aberta denominada “Seções”, foi escolhida o símbolo de um papel em miniatura para um “nova definição de seção”, para a nova seção foi selecionada a aba “Paramétrico”, em seguida se fez necessário escolher o tipo de perfil que mais se adequasse com o que seria criado, logo a opção com o desenho do perfil “c” foi acionada e na legenda foi renomeado para “C 76,2 x 6,11 kg/m”.

Dessa forma, com auxílio da Figura 17, os parâmetros foram alocados e por fim o perfil foi adicionado. Para o perfil presente na escada a metodologia de criação foi a mesma e a Figura 46, descreve tal processo. Já para adicionar, basta selecionar as vigas analíticas e na opção “Seção”, escolher os respectivos perfis para as vigas secundárias e as vigas da escada.

Figura 46 – Criação de perfil metálico com auxílio do Robot ®

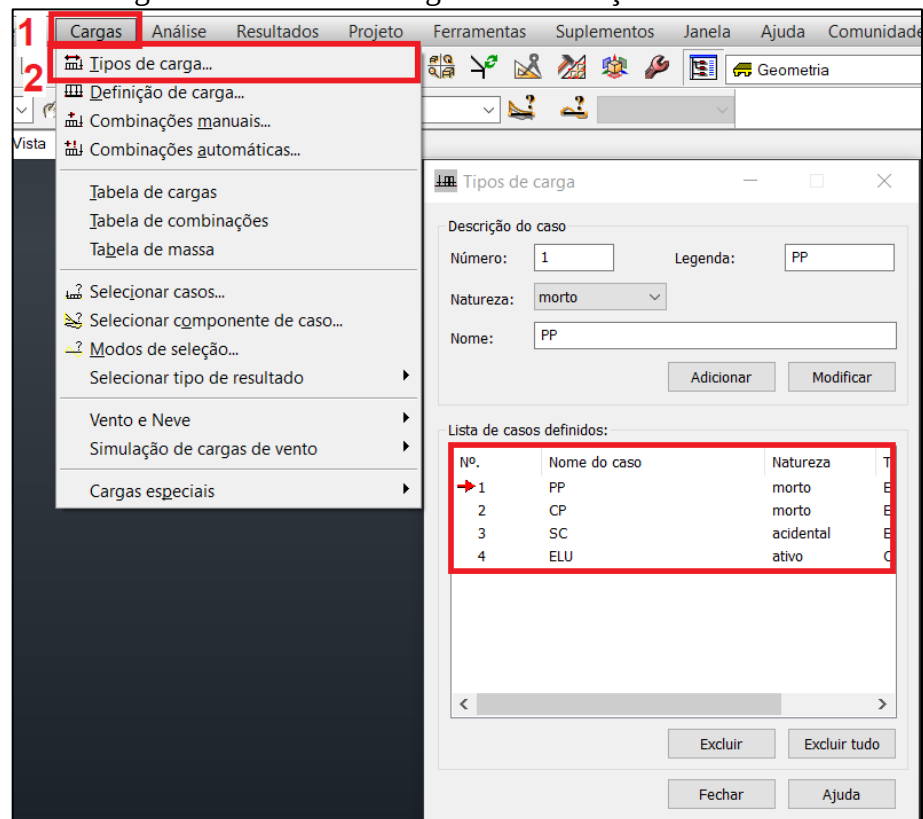


Fonte: Autoria própria (2021)

4.2.2.2 Aplicação do peso próprio e do modelo estrutural adotado

Para averiguar se os casos e combinações foram importados corretamente, na aba “Cargas”, através da opção “Tipos de carga”, foi possível notar que tanto as cargas: “PP”, “CP” e “SC” estavam presentes, assim como a combinação “ELU”, validando assim mais uma vez o fluxo de trabalho entre essas duas ferramentas. A Figura 47, exemplifica tal processo.

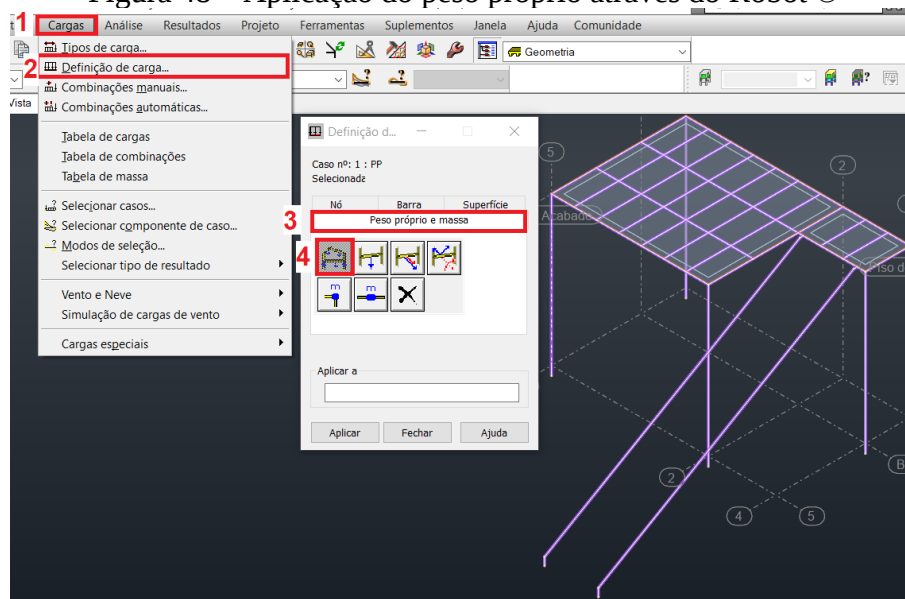
Figura 47 – Casos de cargas e combinações no Robot ®



Fonte: Autoria própria (2021)

Porém ao selecionar somente o peso próprio, o Robot ® não apresentou tal carga nos elementos, por isso, novamente em “Carga”, mas agora em “Definição de carga”, existe a opção “Peso próprio e massa” e nela a alternativa “Peso próprio – PZ para toda estrutura”, evidenciada no passo 4 da Figura 48. Assim, todos os elementos do mezanino ficaram na coloração lilás, revelando que o carregamento foi aplicado.

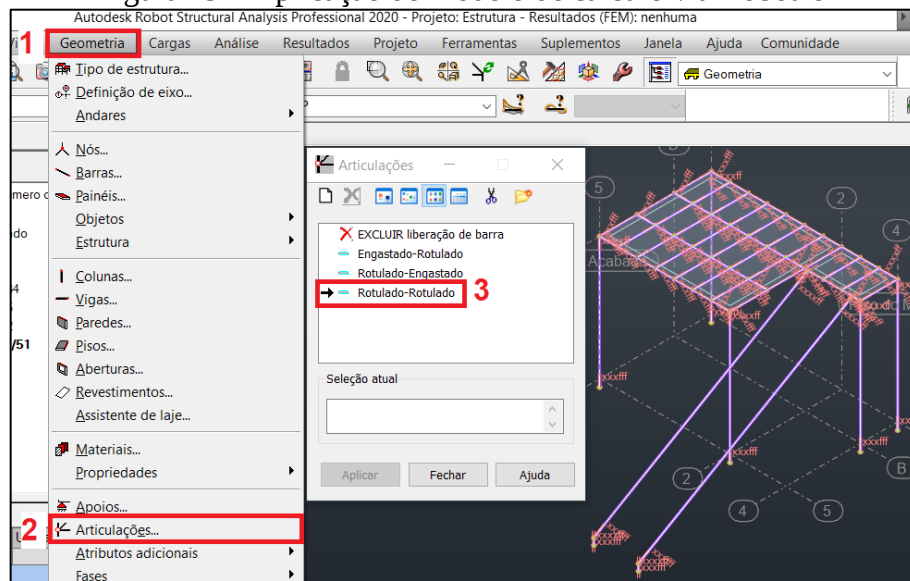
Figura 48 – Aplicação do peso próprio através do Robot ®



Fonte: Autoria própria (2021)

Como visto anteriormente no item 4.1.2, o modelo estrutural dos elementos do mezanino é baseado em articulações, ou seja, componentes bi apoiadas, por isso, com auxílio do cursor da direita para esquerda todo o mezanino foi selecionado e através da aba “Geometria”, em “Articulações”, se gerou uma janela, em que foi possível escolher a opção “Rotulado-Rotulado”, conforme a Figura 49. Após esta operação foi criado o símbolo das rótulas nas ligações dos elementos.

Figura 49 – Aplicação do modelo de cálculo via Robot ®

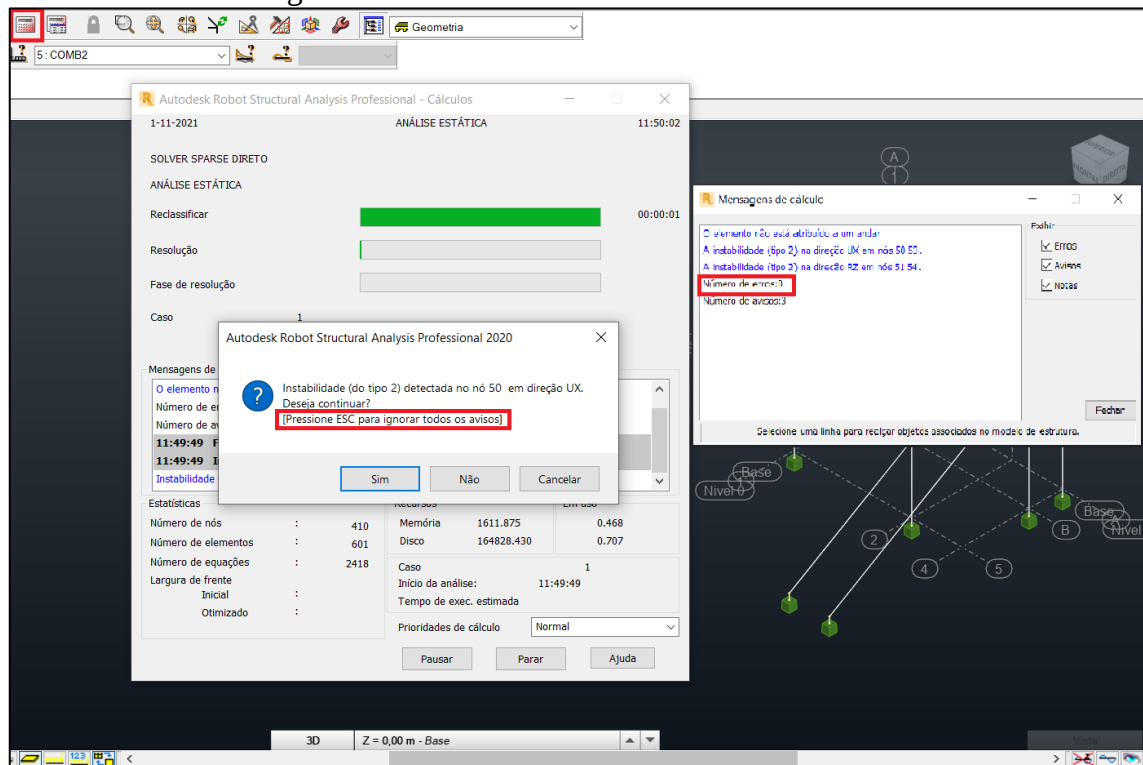


Fonte: Autoria própria (2021)

4.2.2.3 Cálculo dos esforços atuantes via Robot ®

Conforme a Figura 50, a primeira etapa foi clicar no símbolo da calculadora, opção esta denominada de “cálculos”, em seguida o software começou a calcular e gerou uma mensagem de instabilidade em um dos nós, que pôde ser ignorada ao pressionar a tecla “ESC”. Por fim, a janela “Mensagem de cálculo” foi aberta informando que o número de erros foi zero.

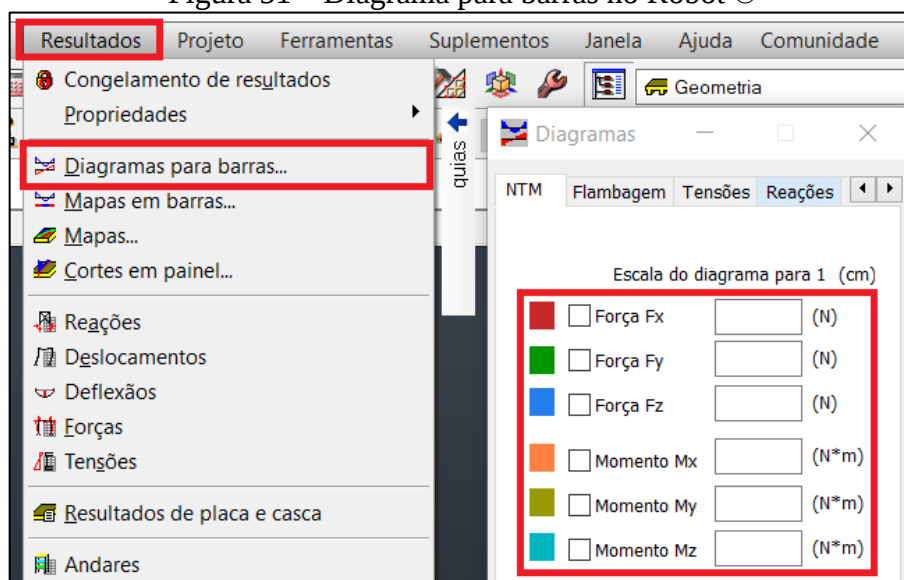
Figura 50 – Procedimento de cálculo no Robot ®



Fonte: Autoria própria (2021)

Com a estrutura calculada, se fez necessário retirar os esforços atuantes: Normal, Cortante e Fletor. Para isso, na aba “Resultados” e em “Diagrama para barras” foi possível escolher quais os resultados para serem exibidos, conforme a Figura 51. Vale ressaltar que a combinação do “ELU” estava ativada.

Figura 51 – Diagrama para barras no Robot ®

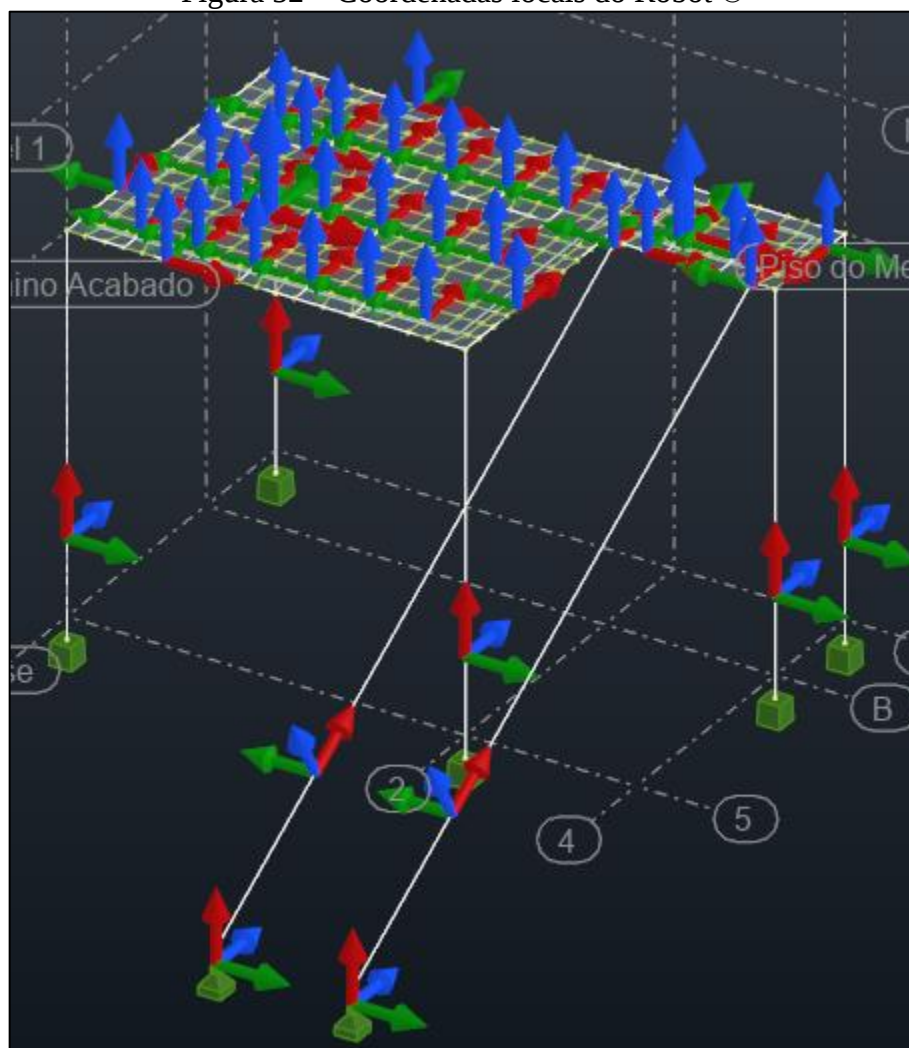


Fonte: Autoria própria (2021)

4.2.2.4 Esforços obtidos no Robot ®

Primeiramente, o Robot ® trabalha com um sistema de coordenadas local, que pode ser vista a sua disposição na Figura 52. Nela é possível notar três coordenadas: x (representada em vermelho), y (em verde) e z (em azul), e é notório que o eixo x sempre atua no eixo longitudinal as barras, enquanto que os eixos y e z trabalham perpendicular, a partir disso, para melhor entendimento utilizando a viga da escada como exemplo, se nota que a força em x corresponde ao esforço normal, a força em z ao esforço cortante e o momento em y, o momento fletor.

Figura 52 – Coordenadas locais do Robot ®



Fonte: Autoria própria (2021)

4.2.3 Uso do Excel ®

Ao ter acesso a todos os esforços atuantes em todas as barras da estrutura, planilhas automatizadas autorais foram criadas e utilizadas para verificar a resistência dos perfis com base na ABNT NBR 8800:2008, ou seja, nos critérios demonstrados e adotados na seção 3.5 deste trabalho. As análises feitas foram realizadas em três planilhas, um para cada tipo de perfil empregado no projeto: com seção I, C e tubular circular vazado. Um exemplo de uma das planilhas utilizadas está presente na Figura 53.

Figura 53 – Planilha para dimensionamento a momento fletor em perfis C

Dados		Geometria		FLM		FLT	
Aço fy 25,0 kN/cm ² G 7700 kN/cm ² E 20000 kN/cm ²		d 203 mm bf 57 mm tw 5,6 mm tf 9,5 mm h 184 mm A 21,8 cm ² Ix 1.344 cm ⁴ Wx 133 cm ³ rx 7,87 cm Zx 156,0 cm ³ Iy 54 cm ⁴ Wy 13 cm ³ ry 1,58 cm Zy 25,9 cm ³ rt 2,20 cm It 4,00 cm ⁴ Cw 2.809 cm ⁶ x0 3,35 cm		λ 6,04 λp 10,75 λr 28,06 Mp 39,0 kNm Mr 23,2 kNm Mcr 501,6 kNm MRd 35,5 kNm		λ 18,99 λp 49,78 λr 174,15 Mp 39,0 kNm Mr 23,2 kNm Mcr 876,1 kNm MRd 35,5 kNm	
Perfil Laminados U 203 x 17,1		FLA λ 32,95 λp 106,35 λr 161,22 Mp 39,0 kNm Mr 33,2 kNm Alma Não Esbelta MRd 35,5 kNm		Momento Fletor MRdx 35,5 kNm		Esforço Cortante λ 32,95 λp 69,57 λr 86,65 Vp 170,4 kN VRdy 154,9 kN	
Flambagem Lateral Lb 30 cm Cb 1,000							
Esforço Cortante kv 5,00							

Fonte: Autoria própria (2021)

As verificações foram cumpridas para o dimensionamento à compressão, à esforço cortante e à momento fletor e os critérios empregados estão dispostos no item 3.5.4 deste trabalho. Todos os elementos estruturais possuíram resistência suficiente, portanto, os perfis empregados podem ser utilizados e os resultados estão dispostos na seção 5, no item 5.3.4.

4.2.4 Finalização do projeto e do fluxo de trabalho

Após todos os processos ditos anteriormente serem feitos, o modelo foi atualizado seguindo a opção que leva este título presente na Figura 44. Ao retomar para o Revit ®, o mezanino trouxe consigo as vigas em “C” atualizadas e as fundações adicionadas, porém estas precisaram ser alteradas por não serem coniventes com a realidade de projeto. Sendo assim, o processo focou no modelo físico, foram inseridos detalhes arquitetônicos como o guarda corpo (modificado para uma família tubular retangular), o forro, luminária e o piso térreo e as novas fundações para em seguida ser realizado o processo de plotagem, ou seja, montagem da prancha para impressão. O resultado final está presente no Anexo A.

O forro foi inserido através da aba “arquitetura”, na opção “forro” e como a literatura não descreve o tipo utilizado, foi considerado um forro de gesso. Já a luminária foi adicionada através da aba “arquitetura”, na opção componente. Por fim, para o piso térreo o processo é o mesmo da inserção de laje, porém agora sim foi utilizada a opção “piso arquitetônico”.

Além disso, na opção “nova folha” foi gerada um tamanho A4, a qual foi utilizada para a prancha final. A fundação foi consertada alterando a família para uma menor presente no Template Gerdau ®, já a base do pilar com os parafusos, chumbadores e enrijecedores foram adicionados na aba “aço”, na opção “conexão”.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

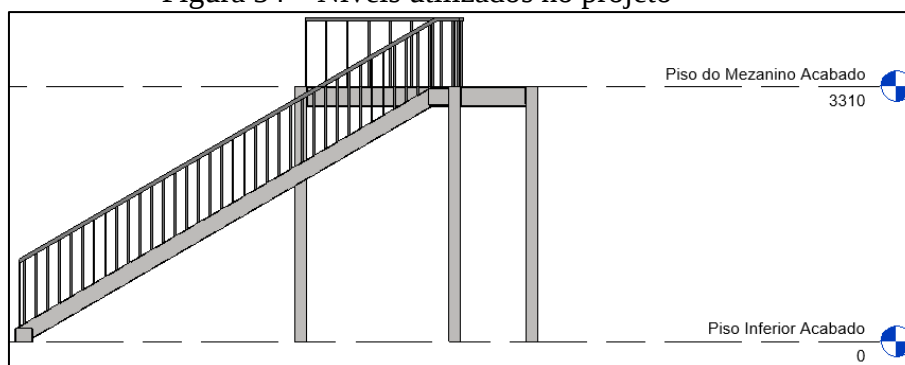
5.1 MODELAGEM UTILIZANDO O REVIT ®.

5.1.1 Resultados do modelo geométrico

5.1.1.1 Resultado dos níveis

Como demonstrado no item 4.2.1.2, os níveis finais para o projeto estão na Figura 54, que apresenta a vista elevação AA. Os mesmos são produtos da alteração dos níveis padrão do *template*, o chamado “Piso inferior acabado” referenciou a cota zero, ou seja, a restrição inferior utilizada para os pilares e a escada, ao passo que o “Piso do Mezanino Acabado” fez referência a laje do mezanino finalizada na cota 3310 mm e serviu como restrição superior dos pilares e das vigas principais, de forma a atender os critérios do projeto proposto por Pinheiro (2005).

Figura 54 – Níveis utilizados no projeto



Fonte: Autoria própria (2021)

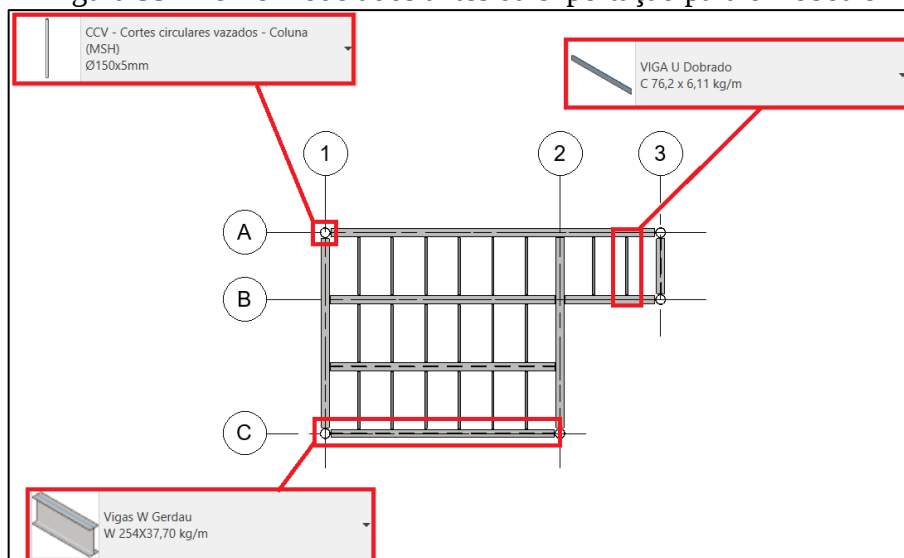
5.1.1.2 Resultado dos eixos, pilares, vigas principais e secundárias,

Os eixos foram modificados a fim de se adequar aos parâmetros do projeto proposto por Pinheiro (2005), logo os verticais foram representados por números em sequência 1,2 e 3 e os horizontais sequenciados por letras do alfabeto em caixa alta A, B e C. É válido ressaltar que estas representações são regidas por uma NBR específica: a ABNT NBR 6492:2021, que trata justamente das representações em projetos de arquitetura. Os mesmos estão presentes na Figura 55, que neste item faz referência ao projeto antes da integração com o Robot.

Nela ainda é notório a presença dos pilares já alterados para o perfil final proposto pela literatura, representados pelo “CCV – Cortes circulares vazados – Coluna (MSH) com Ø150x5 mm, evidenciando que não houve problemas para a inserção dos mesmos. Da mesma forma, se tem as vigas principais apresentadas por “Vigas W Gerdau W 254x37,7 kg/m” e essa diferença na nomenclatura entre “W” e “I”, tem origem no fato destes perfis serem de padrão americano, onde o “W”, vem de “Wide Flange” (Mesa larga), porém a seção em si tem o formato em “I”,

logo nacionalmente são conhecidos por esta letra. Já as vigas secundárias ainda estavam baseadas no perfil “U Dobrado”, que posteriormente apresentaram problemas.

Figura 55 - Perfis modelados antes da exportação para o Robot ®



Fonte: Autoria própria (2021)

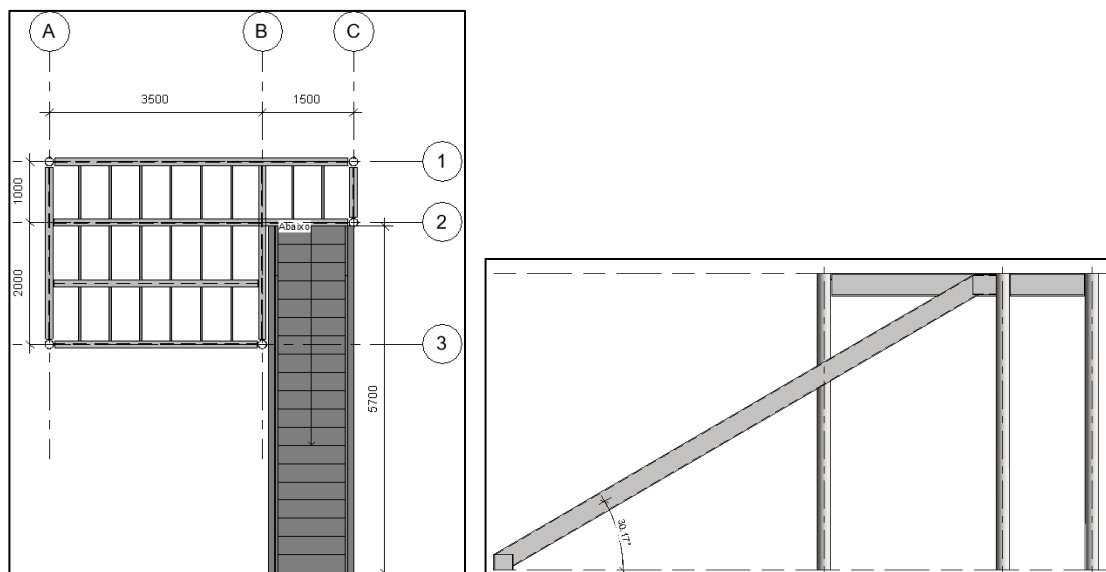
5.1.1.3 Resultado da inserção da escada e dos ajustes

Conforme o método descrito no item 4.2.1.5, a escada foi inserida e precisou de alguns ajustes.

Após inserir as vigas longarinas em perfil C, as mesmas ficaram com um comprimento inclinado de 6.586,4 mm, que é muito próximo ao da literatura, descrito como 6,59 m. Outro ponto importante a ser analisado é a inclinação da mesma, descrito por Pinheiro (2005) como “30,14°”, partindo da horizontal, o resultado obtido na modelagem foi de “30,17°”, também muito próximo. Já outra observação foram as inserções criadas da mesma viga no sentido horizontal para se conectar a “V3” e a vertical para se conectar a fundação. O produto da inserção pós ajustes com o comprimento da projeção horizontal correto está na Figura 56 e uma vista lateral apresentando a angulação da mesma.

A literatura também não traz os comprimentos desta parte na horizontal e nem da vertical, sendo assim, os valores para este trabalho foram obtidos através da compatibilização da mesma com os níveis, e portanto, a altura da viga posicionada na vertical ficou com 174,2 mm e a posicionada na horizontal ficou com 310 mm.

Figura 56 – Inserção da escada e vista lateral do mezanino

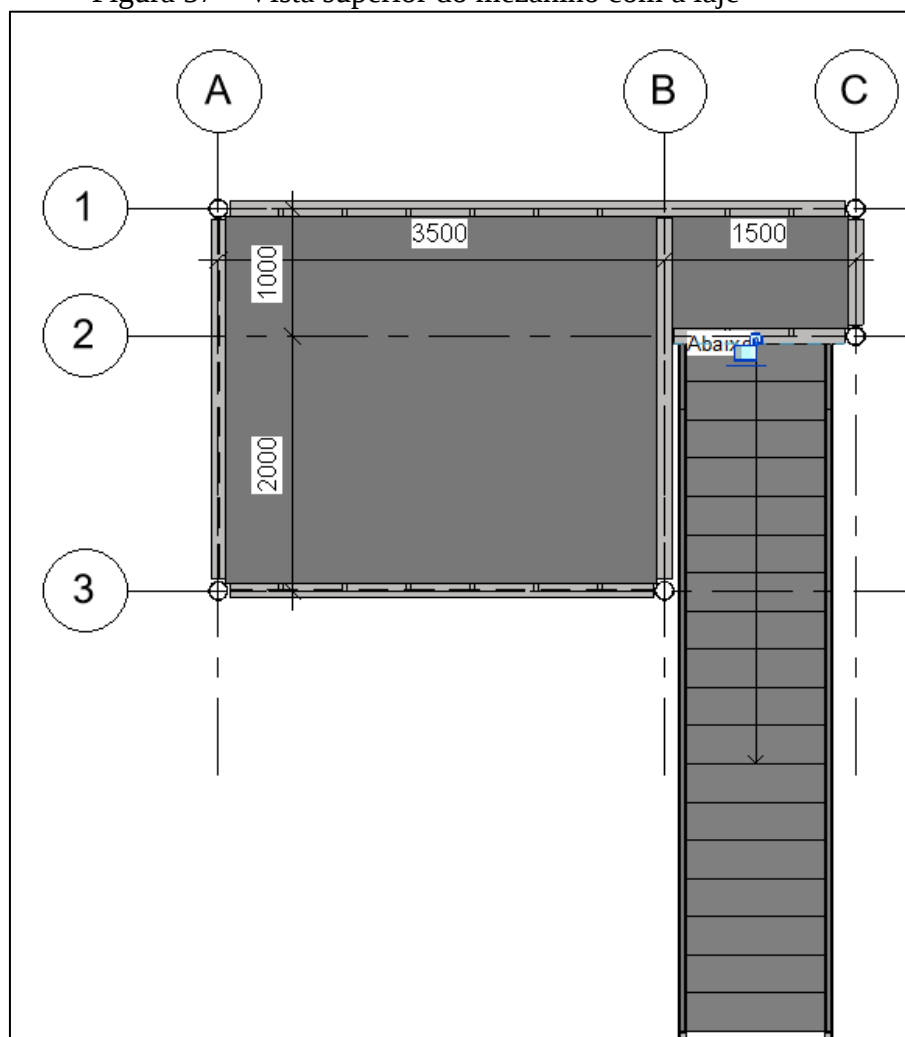


Fonte: Autoria Própria (2021)

5.1.1.4 Resultado final da laje

De acordo com o item 4.2.1.6, a laje foi criada e ajustada, o resultado final está na Figura 57. Nela é possível observar a laje acima das vigas secundárias a fim de descarregar nas mesmas e promover a análise correta, além da mesma já apresentar o material e a espessura final.

Figura 57 – Vista superior do mezanino com a laje



Fonte: Autoria Própria (2021)

5.1.2 Modelo analítico

5.1.2.1 Resultado final do modelo analítico

Após todas as alterações necessárias, os modelos físico e analítico podem ser vistos na Figura 58. A mesma apresenta o modelo físico primeiro ao lado do analítico para que aqui fique clara a distinção dos dois, como o primeiro apresenta todos os elementos com suas respectivas geometrias e o segundo apenas o formato unifilar. A versão analítica após ajustes se apresentou consistente com os nós conectados as barras e linhas, ou seja, uma estrutura monolítica e pronta para as análises de cálculo.

Figura 58 - Modelo físico e geométrico ajustados



Fonte: Autoria Própria (2021)

5.1.2.2 Lançamento das cargas no Revit ®

Como descrito no item 4.2.1.8, os casos de cargas: PP, CP e SC foram criados como na Figura 59 e lançados de forma definitiva de acordo com os descritos a seguir.

Figura 59 – Casos de cargas criados

Configurações estruturais

Configurações do modelo analítico

Configurações de representação simbólica

Configurações das condições do limite

Casos de carga

Combinções de carga

Casos de carga

	Nome	Número do caso	Natureza	Categoria
1	PP	1	Morto	Cargas mortas
2	CP	2	Morto	Cargas mortas
3	SC	3	Acidental	Cargas acidentais

Adicionar

Excluir

Natureza da carga

	Nome
1	Morto
2	Vivo
3	Vento
4	Neve
5	Telhado vivo
6	Acidental
7	Temperatura
8	Sísmico
9	Nova natureza 1

Adicionar

Excluir

OK Cancelar Ajuda

Fonte: Autoria Própria (2021)

Primeiramente nas vigas presentes na escada, a Figura 60, apresenta um dos carregamentos inseridos. Trata-se de uma “CP” (Carga Permanente), o qual a orientação foi para projeto, o mesmo era uma carga uniforme e o valor foi inserido na parte de “forças”, em “Fz 1”, foi de “-0,33”, portanto sendo ela referente aos degraus, negativo pois o sentido é para

baixo, logo contrário ao eixo “z” e este formato de valor pois a unidade padrão do Revit estava em “kN/m”. O resultado desta inserção está na Figura 62.

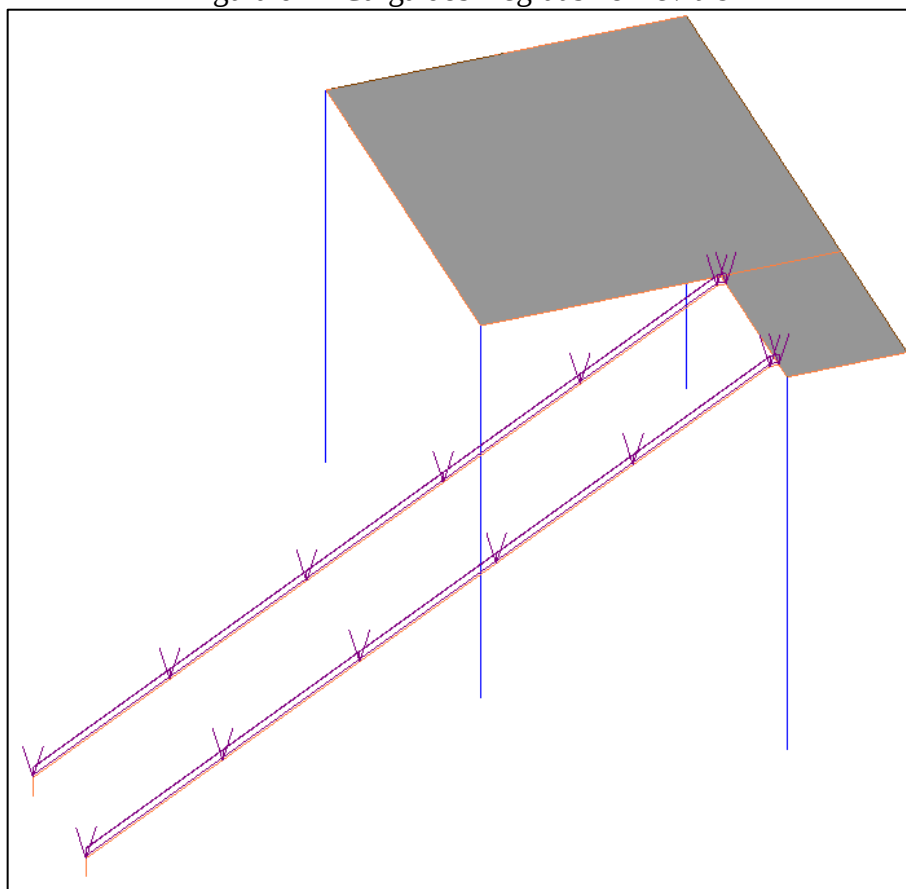
Figura 60 – Informações para inserir o carregamento dos degraus na viga da escada

Propriedades	
Cargas de linha	
Carga de linha 1	
Cargas de linha (1)	Editar tipo
Análise estrutural	
Caso de carga	CP (2)
Natureza	Morto
Orientar para	Projeto
Carga uniforme	☒
Carga projetada	☐
Forças	
Fx 1	0.00 kN/m
Fy 1	0.00 kN/m
Fz 1	-0.33 kN/m

Fonte: Autoria própria (2021)

Já a Figura 61 mostra o mezanino na versão analítica, pois somente nela é possível a adição das cargas, com o carregamento proposto inserido representado por uma linha com espécies de setas para baixo. Um ponto relevante é que o programa não apresentou os valores do carregamento no próprio mezanino, o que dificultou o reconhecimento das cargas, pois tais elementos possuíam mais de uma ação atuante, além disso, como a inserção é feita apenas com um clique na barra, o usuário precisa se atentar, pois mais de um clique resulta em um carregamento duplicado. Além disso, as cargas foram adicionadas não só nas vigas inclinadas, mas também nas que faziam junção com as principais.

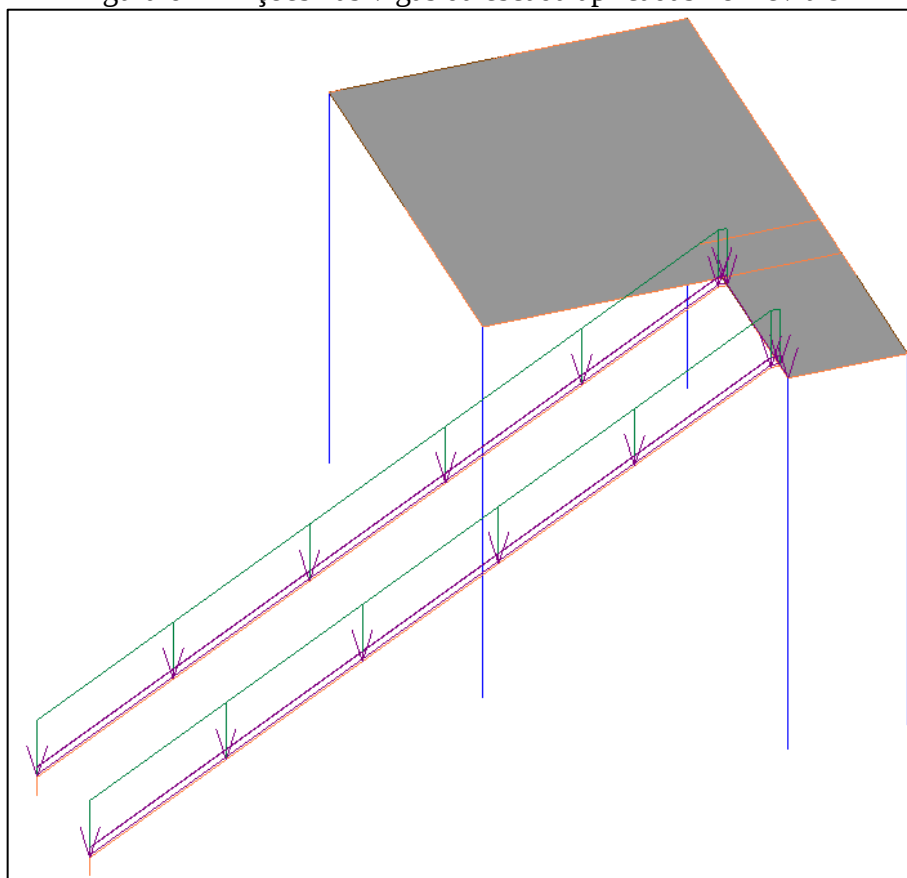
Figura 61 – Carga dos Degraus no Revit ®



Fonte: Autoria própria (2021)

As demais cargas como: corrimão, ligações e sobrecarga foram aplicadas seguindo a mesma linha de raciocínio, a única diferença se encontravam nos valores, onde “Fz 1”, foi “-0,313 kN/m”, “-0,084 kN/m” e “-1,8 kN/m” respectivamente. O resultado final de todas as ações na viga da escada se encontra na Figura 62. Como dito anteriormente, com todos os carregamentos juntos existe uma dificuldade de reconhecimento individual dos mesmos, porém os que possuem maior valor são representados com linhas de maior altura.

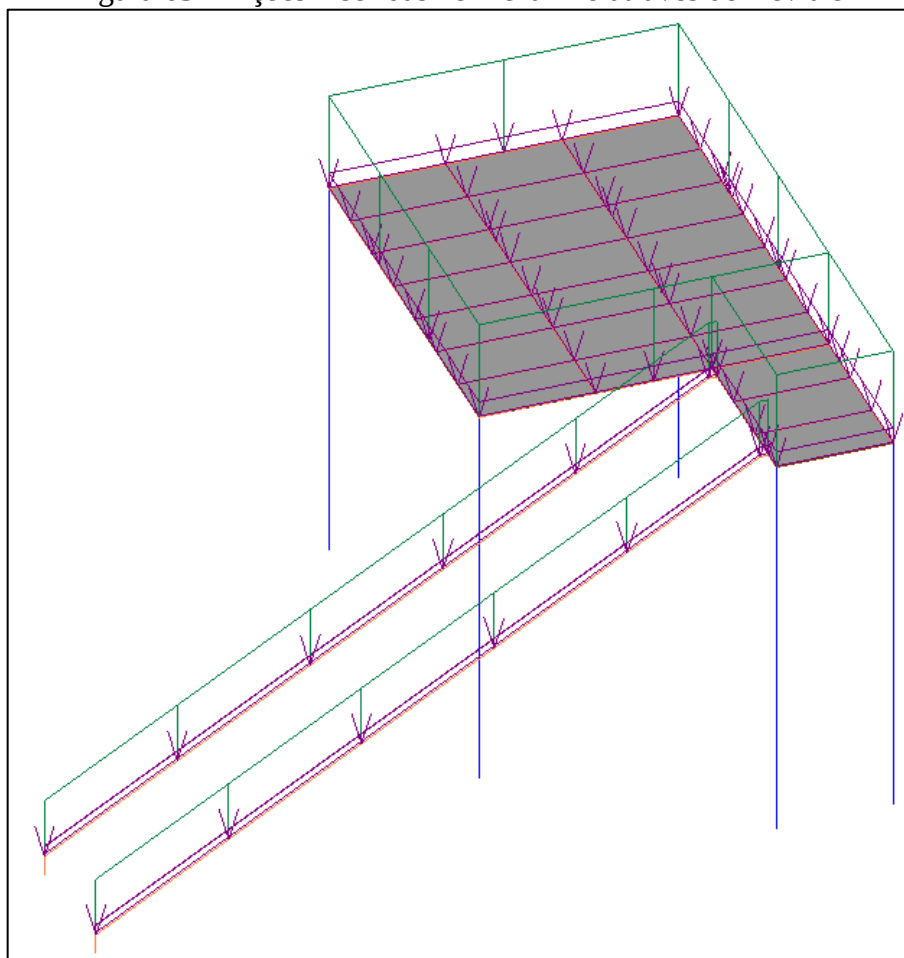
Figura 62 – Ações nas vigas da escada aplicadas no Revit ®



Fonte: Autoria própria (2021)

Os demais elementos seguiram a mesma metodologia de inserção e o resultado final está na Figura 63. Nela, através desta vista isométrica é notória a presença de todos os carregamentos nas vigas da escada, nas principais, nas secundárias e nas lajes. Por possuir os maiores valores as sobrecargas presentes nos projetos são mais fáceis de serem reconhecidas, logo estão na cor verde.

Figura 63 – Ações inseridas no mezanino através do Revit ®



Fonte: Autoria própria (2021)

5.1.2.3 Combinações de ELU no Revit ®

A combinação normal última considerada para este trabalho está descrita na Figura 66. De acordo com a Equação 2 deste trabalho, se fez necessário consultar a Tabela 1 da ABNT NBR 8800:2008 para substituir os valores dos coeficientes ponderadores tanto das ações permanentes, quanto variáveis. Tal tabela pode ser vista na Figura 7, onde fica claro que para as ações permanentes o coeficiente é de 1,40, pois a ação variável, no caso a sobrecarga não é maior que 5 kN/m² conforme a alínea “c” e a sobrecarga é 1,50 por ser de uso e ocupação.

Figura 64 – Combinação normal para ELU utilizando o Revit ®

Fonte: Autoria própria (2021)

5.2 EXPORTAÇÃO E RESULTADO DO ROBOT ®

5.2.1 Cálculo e retirada dos esforços atuantes via Robot ®

5.2.1.1 Valores de tração e compressão obtidos no Robot ®

O programa, considera tração os resultados negativos e compressão os resultados positivos, com auxílio da Tabela 1, é possível verificar tais respostas obtidas. O autor Pinheiro (2005), não informa na bibliografia ou melhor não considera o esforço normal atuando em todas as barras, sendo assim a comparação só pôde ser feita nas vigas da escada e nos pilares “C1 e C2”. Além disso, para esta monografia apenas foram considerados os esforços normais de compressão, os de tração necessitavam de informações sobre furos e ligações pilar-viga e viga-viga, as quais o autor não trouxe, inclusive não há na bibliografia nenhum exemplo de tração em qualquer uma das barras, portanto, não haveria possibilidade de estudo comparativo destes resultados e o mesmo foi desconsiderado.

Na primeira coluna da Tabela estão representadas as nomenclaturas dos elementos: “VE” se refere a viga da escada; “VP”, as vigas principais; “VS”, as vigas secundárias e “C” aos pilares. A numeração foi atribuída da esquerda para direita e de cima para baixo. Dentre os resultados, se tem os valores da literatura base, do software usado e a comparação entre os mesmos através do erro relativo percentual, tais variações são decorrentes pelas condições de

redistribuição dos esforços, onde o software consegue fazer o cálculo de forma mais precisa, analisando pelo MEF e espacialmente.

Esse tipo de diferença nos resultados está presente em outros trabalhos já citados anteriormente e que levam o mesmo princípio, como é o caso do Costa (2020), que dentre outros, pode ser consultado nas referências bibliográficas desta monografia. Além disso, na modelagem foram consideradas vigas de junção entre as longarinas e principal, assim como as longarinas e fundação da escada. Já para o pilar indicado, a variação foi considerada com base no maior valor obtido, a fim de garantir que na verificação da resistência o mesmo suporte ao maior esforço apresentado.

Tabela 1 – Esforços normais do mezanino

ELEMENTO	NORMAL			
	LIVRO (SÓ COMPRESSÃO) [N]	ROBOT [N]		VARIAÇÃO (SÓ COMPRESSÃO) [%]
		MÍN (FX)	MÁX (FX)	
VE1	-5409,89	6957,15	-5668,58	4,56
VE2	-5409,89	8950,86	-3674,86	32,07
VP1	-	96,91	-2653,82	-
VP2	-	2010,15	21,78	-
VP3	-	3053,28	-179,67	-
VP4	-	175,45	-1,66	-
VP5	-	141,19	-184,48	-
VP6	-	98,25	-185,12	-
VP7	-	1582,94	68,62	-
VP8	-	169,69	-769,75	-
VS1	-	9,72	-17,61	-
VS2	-	1,14	-21,8	-
VS3	-	41,73	-36,36	-
VS4	-	13,27	-55,64	-
VS5	-	30,25	-79,69	-
VS6	-	61,31	-63,91	-
VS7	-	99,28	17,08	-
VS8	-	1,09	-140,61	-
VS9	-	10,59	-20,47	-
VS10	-	16,61	-31,8	-
VS11	-	27,08	-41,64	-
VS12	-	26,8	-64,11	-
VS13	-	19,95	-72,41	-
VS14	-	14,44	-52,7	-
VS15	-	7,52	-11,22	-
VS16	-	6,45	-13,67	-
VS17	-	5,91	-36,59	-
VS18	-	6,22	-16,53	-
VS19	-	5,23	-36,61	-
VS20	-	35,34	-2,8	-
C1	-21226,62	-27727,84	-28497,04	34,25
C2	-	-25520,73	-26289,93	-
C3	-	-15507,42	-16276,63	-
C4	-	-17982,33	-18751,54	-
C5	-	-23933,11	-24702,31	-

Fonte: Autoria própria (2021)

5.2.1.2 Valores de esforço cortante obtidos no Robot ®

Tais resultados podem ser visualizados na Tabela 2, assim como o esforço normal, a bibliografia não traz o esforço cortante em todas as barras. Para as vigas principais, Pinheiro (2005), apresenta o valor apenas da viga mais solicitada que é a “VP1”

Tabela 2 – Esforço cortante nas barras do mezanino

ELEMENTO	CORTANTE			
	LIVRO [N]	ROBOT [N]		VARIAÇÃO (%)
		MÍN (FZ)	MÁX (FZ)	
VE1	10773	10860,1	10860,03	0,81
VE2	10773	10860,1	10860,03	0,81
VP1	18142,78	24756,6	15147,62	16,51
VP2	-	10872,5	10678,3	-
VP3	-	14941,1	17436,38	-
VP4	-	10448,4	10447,58	-
VP5	-	5523,36	5505,41	-
VP6	-	-12573	12464,91	-
VP7	-	24972,5	18418,95	-
VP8	-	-795,88	773,8	-
VS1	1274	-1120,1	1048,19	17,72
VS2	1274	1088,97	922,5	27,59
VS3	1274	1141,21	952,68	25,22
VS4	1274	1116,55	882,52	30,73
VS5	1274	1140,67	952,4	25,24
VS6	1274	1116,44	961,11	24,56
VS7	1274	1159,47	1182,83	7,16
VS8	1274	1146,24	1160,69	8,89
VS9	1274	1023,14	1101,29	13,56
VS10	1274	-905,94	1007,2	20,94
VS11	1274	-954,83	1078,42	15,35
VS12	1274	-888,8	1023,91	19,63
VS13	1274	-967,34	1070,95	15,94
VS14	1274	1025,47	1095,06	14,05
VS15	1274	1118,56	1250,02	1,88
VS16	1274	1049,56	1122,84	11,86
VS17	1274	1122,89	1149,36	9,78
VS18	1274	1073,17	1109,19	12,94
VS19	1274	1107,11	1126,14	11,61
VS20	1274	1092,12	1139,47	10,56
C1	-	0	0	-
C2	-	0	0	-
C3	-	0	0	-
C4	-	0	0	-
C5	-	0	0	-

Fonte: Autoria própria (2021)

5.2.1.3 Valores de momento fletor obtidos no Robot ®

Os esforços de momento fletor podem ser visualizados na Tabela 3, assim como os esforços apresentados anteriormente, o momento fletor também não foi verificado em todas as barras por Pinheiro (2005), novamente apenas a viga principal mais solicitada foi apresentada.

Tabela 3 – Momento fletor nas barras do mezanino

ELEMENTO	MOMENTO FLETOR			
	LIVRO [N]	ROBOT [N]		VARIAÇÃO (%)
		MÍN (MY)	MÁX (MY)	
VE1	15351,53	0	17881,99	16,48
VE2	15351,53	0	17881,97	16,48
VP1	24649,55	0	34019,9	38,01
VP2	-	0	10026,21	-
VP3	-	0	3094,01	-
VP4	-	0	9711,12	-
VP5	-	0	5230,85	-
VP6	-	0	12005,17	-
VP7	-	0	23559,44	-
VP8	-	0	227,48	-
VS1	318,5	0	343,8	7,94
VS2	318,5	0	324,26	1,81
VS3	318,5	0	338,14	6,17
VS4	318,5	0	325,18	2,1
VS5	318,5	0	338,08	6,15
VS6	318,5	0	332,4	4,36
VS7	318,5	0	358,36	12,51
VS8	318,5	0	351,48	10,35
VS9	318,5	0	343,71	7,92
VS10	318,5	0	312,66	1,83
VS11	318,5	0	330,83	3,87
VS12	318,5	0	314,36	1,3
VS13	318,5	0	329,13	3,34
VS14	318,5	0	340,44	6,89
VS15	318,5	0	367,65	15,43
VS16	318,5	0	335,06	5,2
VS17	318,5	0	348,87	9,54
VS18	318,5	0	335,28	5,27
VS19	318,5	0	344,41	8,14
VS20	318,5	0	346,45	8,78
C1	-	0	0	-
C2	-	0	0	-
C3	-	0	0	-
C4	-	0	0	-
C5	-	0	0	-

Fonte: Autoria própria (2021)

5.3 CÁLCULO E VERIFICAÇÃO DAS RESISTÊNCIAS DOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS DO MEZANINO

Como dito na seção 4, foram utilizadas planilhas Excel ® autorais automatizadas, e a fim de buscar métodos mais próximos à vida profissional, as propriedades geométricas usadas foram retiradas dos catálogos da Gerdau ®, mas que possuem praticamente os mesmos valores das tabelas utilizadas na bibliografia.

5.3.1 Resistência à compressão

Os valores de resistência à compressão estão elucidados na Tabela 4, comparando-os com os da Tabela 1, é notório que todas as barras passaram na verificação. Outra observação importante é que se teve um erro relativo muito alto no que tange as vigas da escada, tal diferença se deu, pois, a bibliografia considera apenas o eixo “x” na flambagem global, enquanto que a planilha Excel ® considerou todos, conforme o item 3.5.4. Dessa forma, o eixo “y”, que possui menor momento de inércia resultou na menor carga crítica e por isso foi utilizada no cálculo.

As vigas principais e secundárias não são analisadas por Pinheiro (2005) e assim não foi possível fazer comparações, porém as colunas possuem valores referências e ao comparadas com as obtidas na planilha, a variação é muito baixa, justificada por aproximações de cálculo do software como dito anteriormente.

Tabela 4 – Valores das resistências à compressão

ELEMENTO	EXCEL	REFERÊNCIA	VARIAÇÃO
	Nc,Rd (kN)	Nn (kN)	(%)
VE1	20	254,54	92,87
VE2	20	254,54	92,87
V1	492	-	-
V2	492	-	-
V3	492	-	-
V4	492	-	-
V5	492	-	-
V6	492	-	-
V7	492	-	-
V8	492	-	-
VS1	107	-	-
VS2	107	-	-
VS3	107	-	-
VS4	107	-	-
VS5	107	-	-
VS6	107	-	-
VS7	107	-	-
VS8	107	-	-
VS9	107	-	-
VS10	107	-	-
VS11	107	-	-
VS12	107	-	-
VS13	107	-	-
VS14	107	-	-
VS15	107	-	-
VS16	107	-	-
VS17	107	-	-
VS18	107	-	-
VS19	107	-	-
VS20	107	-	-
C1	415,2	428,49	3,1
C2	415,2	428,49	3,1
C3	415,2	428,49	3,1
C4	415,2	428,49	3,1
C5	415,2	428,49	3,1

Fonte: Autoria própria (2021)

5.3.2 Resistência à Cortante

A Tabela 5, apresenta as resistências de cálculo ao cisalhamento e com ela foi possível fazer algumas análises. As vigas da escada possuíram um resultado consideravelmente diferente da referência, isto se deu, pois, como dito anteriormente esta monografia utilizou os catálogos da Gerdau ® para retirada dos valores das propriedades geométricas dos perfis e a causa de tal variação é por conta de uma inversão entre a largura da alma e a largura da mesa, o que a bibliografia apresenta como uma, o catálogo evidencia como sendo a outra. Ainda analisando o livro do Pinheiro (2005), em sua tabela “E.3 – Perfil C”, o mesmo faz concordância com os valores da Gerdau ®. Desta forma, os valores do catálogo foram utilizados gerando este erro relativo.

As variações nas vigas secundárias e principais são mínimas, sendo justificáveis por aproximações, já os pilares não possuem tal esforço, portanto não houve verificações para estes elementos.

Tabela 5 - Valores das resistências à cortante

ELEMENTO	EXCEL	REFERÊNCIA	VARIÇÃO
	VRd (kN)	Vn (kN)	(%)
VE1	170,5	263,73	35,35
VE2	170,5	263,73	35,35
V1	272,6	245,33	11,12
V2	272,6	245,33	11,12
V3	272,6	245,33	11,12
V4	272,6	245,33	11,12
V5	272,6	245,33	11,12
V6	272,6	245,33	11,12
V7	272,6	245,33	11,12
V8	272,6	245,33	11,12
VS1	44,9	40,36	11,25
VS2	44,9	40,36	11,25
VS3	44,9	40,36	11,25
VS4	44,9	40,36	11,25
VS5	44,9	40,36	11,25
VS6	44,9	40,36	11,25
VS7	44,9	40,36	11,25
VS8	44,9	40,36	11,25
VS9	44,9	40,36	11,25
VS10	44,9	40,36	11,25
VS11	44,9	40,36	11,25
VS12	44,9	40,36	11,25
VS13	44,9	40,36	11,25
VS14	44,9	40,36	11,25
VS15	44,9	40,36	11,25
VS16	44,9	40,36	11,25
VS17	44,9	40,36	11,25
VS18	44,9	40,36	11,25
VS19	44,9	40,36	11,25
VS20	44,9	40,36	11,25
C1	-	-	-
C2	-	-	-
C3	-	-	-
C4	-	-	-
C5	-	-	-

Fonte: Autoria própria (2021)

5.3.3 Resistência à flexão

A Tabela 6 a seguir mostra os valores da referência bibliografia, da planilha Excel ® e da variação comparando os dois resultados. Para as vigas da escada, a diferença entre valores foi baixa, sendo produto de uma discrepância no “Zx” do livro e do catálogo Gerdau ®, para o primeiro o valor considerado é de 148, 62 cm³, enquanto que para o segundo é de 156 cm³. A mesma explicação se dá para as vigas principais, onde para Pinheiro (2005), o valor de “Zx” foi de 447,78 cm³ e para o catálogo Gerdau ®, 473 cm³.

As colunas metálicas não possuem esforços de flexão atuando, logo, o autor não considerou e o mesmo serve para este trabalho.

Tabela 6 - Valores das resistências à flexão

ELEMENTO	EXCEL	REFERÊNCIA	VARIAÇÃO
	MRd (kN.m)	Mn (kN.m)	(%)
VE1	35,5	37,156	4,46
VE2	35,5	37,156	4,46
V1	107,5	111,944	3,97
V2	107,5	111,944	3,97
V3	107,5	111,944	3,97
V4	107,5	111,944	3,97
V5	107,5	111,944	3,97
V6	107,5	111,944	3,97
V7	107,5	111,944	3,97
V8	107,5	111,944	3,97
VS1	4,8	5,068	5,29
VS2	4,8	5,068	5,29
VS3	4,8	5,068	5,29
VS4	4,8	5,068	5,29
VS5	4,8	5,068	5,29
VS6	4,8	5,068	5,29
VS7	4,8	5,068	5,29
VS8	4,8	5,068	5,29
VS9	4,8	5,068	5,29
VS10	4,8	5,068	5,29
VS11	4,8	5,068	5,29
VS12	4,8	5,068	5,29
VS13	4,8	5,068	5,29
VS14	4,8	5,068	5,29
VS15	4,8	5,068	5,29
VS16	4,8	5,068	5,29
VS17	4,8	5,068	5,29
VS18	4,8	5,068	5,29
VS19	4,8	5,068	5,29
VS20	4,8	5,068	5,29
C1	-	-	-

C2	-	-	-
C3	-	-	-
C4	-	-	-
C5	-	-	-

Fonte: Autoria própria (2021)

5.3.4 Verificação da resistência dos perfis submetido aos esforços

As Tabelas a seguir, apresentam um resumo comparativo das resistências dos perfis metálicos, valores estes obtidos com auxílio de planilhas Excel ® e as solicitações de cálculos, obtidos pelo Robot ®. Para o perfil resistir as ações atuantes precisa que sua resistência seja maior que a solicitação presente no mesmo, se essa prerrogativa for verdadeira, o perfil atende, caso contrário, não está apto para o projeto. Ao fazer essa verificação com a metodologia proposta nesta monografia, todos os perfis atenderam, além disso, foi verificado também, o percentual de “uso” dos perfis, ou seja, quanto da resistência do perfil está sendo solicitada. As consequências das afirmativas feitas, estão nas Tabelas 7, 8 e 9.

Tabela 7 – Resumo da resistência e solicitação à compressão dos perfis

ELEMENTO	COMPRESSÃO				
	RESISTÊNCIA	SOLICITAÇÃO		PERFIL ATENDE?	Nc,Sd/Nc,Rd
	Nc,Rd (kN)	Nc,Sd (kN) [MÍN]	Nc,Sd (kN) [MÁX]		(%)
VE1	20	-	-5,67	SIM	28,35
VE2	20	-	-2,67	SIM	13,35
V1	492	-	-2,65	SIM	0,54
V2	492	-	-	-	-
V3	492	-	-0,18	SIM	0,04
V4	492	-	0	SIM	0
V5	492	-	-0,18	SIM	0,04
V6	492	-	-0,19	SIM	0,04
V7	492	-	-	-	-
V8	492	-0,17	-0,77	SIM	0,16
VS1	107	-	-0,02	SIM	0,02
VS2	107	0	-0,02	SIM	0,02
VS3	107	-	-0,04	SIM	0,04
VS4	107	-	-0,06	SIM	0,06
VS5	107	-	-0,08	SIM	0,07
VS6	107	-	-0,06	SIM	0,06
VS7	107	-	-	-	-
VS8	107	0	-0,14	SIM	0,13
VS9	107	-0,01	-0,02	SIM	0,02
VS10	107	-0,02	-0,03	SIM	0,03
VS11	107	-0,03	-0,04	SIM	0,04
VS12	107	-0,03	-0,06	SIM	0,06
VS13	107	-	-0,07	SIM	0,07
VS14	107	-	-0,05	SIM	0,05
VS15	107	-0,01	-0,01	SIM	0,01

VS16	107	-	-0,01	SIM	0,01
VS17	107	-	-0,04	SIM	0,04
VS18	107	-	-0,02	SIM	0,02
VS19	107	-	-0,04	SIM	0,04
VS20	107	-	0	SIM	0
C1	415,2	-27,73	-28,5	SIM	6,86
C2	415,2	-25,52	-26,29	SIM	6,33
C3	415,2	-15,51	-16,28	SIM	3,92
C4	415,2	-17,98	-18,75	SIM	4,52
C5	415,2	-23,93	-24,7	SIM	5,95

Fonte: Autoria própria (2021)

Tabela 8 – Resumo da resistência e solicitação à cisalhamento dos perfis

CORTANTE							
ELEMENTO	RESISTÊNCIA	SOLICITAÇÃO		PERFIL ATENDE?		PERCENTUAL	
	VRd (kN)	VSd (kN) [-]	VSd (kN) [+]	[-]	[+]	Vsd/Vrd (%) [-]	Vsd/Vrd (%) [+]
VE1	170,5	-10,86	10,86	SIM	SIM	-6,37	6,37
VE2	170,5	-10,86	10,86	SIM	SIM	-6,37	6,37
V1	272,6	-24,76	15,15	SIM	SIM	-9,08	5,56
V2	272,6	-10,87	10,68	SIM	SIM	-3,99	3,92
V3	272,6	-14,94	17,44	SIM	SIM	-5,48	6,4
V4	272,6	-10,45	10,45	SIM	SIM	-3,83	3,83
V5	272,6	-5,52	5,51	SIM	SIM	-2,02	2,02
V6	272,6	-12,57	12,46	SIM	SIM	-4,61	4,57
V7	272,6	-24,97	18,42	SIM	SIM	-9,16	6,76
V8	272,6	-0,8	0,77	SIM	SIM	-0,29	0,28
VS1	44,9	-1,12	1,05	SIM	SIM	-2,49	2,34
VS2	44,9	-1,09	0,92	SIM	SIM	-2,43	2,05
VS3	44,9	-1,14	0,95	SIM	SIM	-2,54	2,12
VS4	44,9	-1,12	0,88	SIM	SIM	-2,49	1,96
VS5	44,9	-1,14	0,95	SIM	SIM	-2,54	2,12
VS6	44,9	-1,12	0,96	SIM	SIM	-2,49	2,14
VS7	44,9	-1,16	1,18	SIM	SIM	-2,58	2,63
VS8	44,9	-1,15	1,16	SIM	SIM	-2,56	2,58
VS9	44,9	-1,02	1,1	SIM	SIM	-2,27	2,45
VS10	44,9	-0,91	1,01	SIM	SIM	-2,03	2,25
VS11	44,9	-0,95	1,08	SIM	SIM	-2,12	2,41
VS12	44,9	-0,89	1,02	SIM	SIM	-1,98	2,27
VS13	44,9	-0,97	1,07	SIM	SIM	-2,16	2,38
VS14	44,9	-1,03	1,1	SIM	SIM	-2,29	2,45
VS15	44,9	-1,12	1,25	SIM	SIM	-2,49	2,78
VS16	44,9	-1,05	1,12	SIM	SIM	-2,34	2,49
VS17	44,9	-1,12	1,15	SIM	SIM	-2,49	2,56
VS18	44,9	-1,07	1,11	SIM	SIM	-2,38	2,47
VS19	44,9	-1,11	1,13	SIM	SIM	-2,47	2,52
VS20	44,9	-1,09	1,14	SIM	SIM	-2,43	2,54
C1	-	-	-	-	-	-	-
C2	-	-	-	-	-	-	-

C3	-	-	-	-	-	-	-
C4	-	-	-	-	-	-	-
C5	-	-	-	-	-	-	-

Fonte: Autoria própria (2021)

Tabela 9 – Resumo da resistência e solicitação à flexão dos perfis

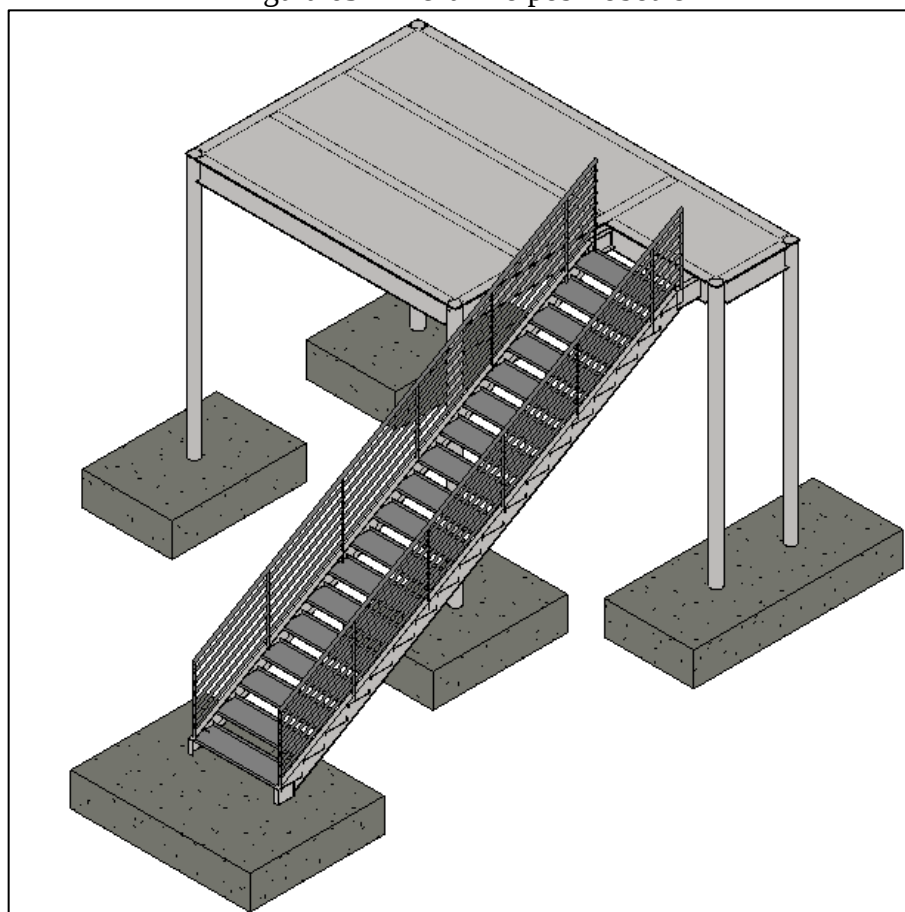
ELEMENTO	FLEXÃO			
	RESISTÊNCIA	SOLICITAÇÃO	PERFIL ATENDE?	MSd/MRd (%)
	MRd (kN.m)	MSd (kN.m)		
VE1	35,5	17,88	SIM	50,37
VE2	35,5	17,88	SIM	50,37
V1	107,5	34,02	SIM	31,65
V2	107,5	10,03	SIM	9,33
V3	107,5	3,09	SIM	2,87
V4	107,5	9,71	SIM	9,03
V5	107,5	5,23	SIM	4,87
V6	107,5	12,01	SIM	11,17
V7	107,5	23,56	SIM	21,92
V8	107,5	0,23	SIM	0,21
VS1	4,8	0,34	SIM	7,08
VS2	4,8	0,32	SIM	6,67
VS3	4,8	0,34	SIM	7,08
VS4	4,8	0,33	SIM	6,88
VS5	4,8	0,34	SIM	7,08
VS6	4,8	0,33	SIM	6,88
VS7	4,8	0,36	SIM	7,5
VS8	4,8	0,35	SIM	7,29
VS9	4,8	0,34	SIM	7,08
VS10	4,8	0,31	SIM	6,46
VS11	4,8	0,33	SIM	6,88
VS12	4,8	0,31	SIM	6,46
VS13	4,8	0,33	SIM	6,88
VS14	4,8	0,34	SIM	7,08
VS15	4,8	0,37	SIM	7,71
VS16	4,8	0,34	SIM	7,08
VS17	4,8	0,35	SIM	7,29
VS18	4,8	0,34	SIM	7,08
VS19	4,8	0,34	SIM	7,08
VS20	4,8	0,35	SIM	7,29
C1	-	-	-	-
C2	-	-	-	-
C3	-	-	-	-
C4	-	-	-	-
C5	-	-	-	-

Fonte: Autoria própria (2021)

5.4 ATUALIZAÇÃO DO MODELO NO REVIT ® E FINALIZAÇÃO DO PROJETO

O resultado da atualização do modelo, partindo do Robot ® para o Revit ® se encontra na Figura 67, nela é notório o problema nas fundações.

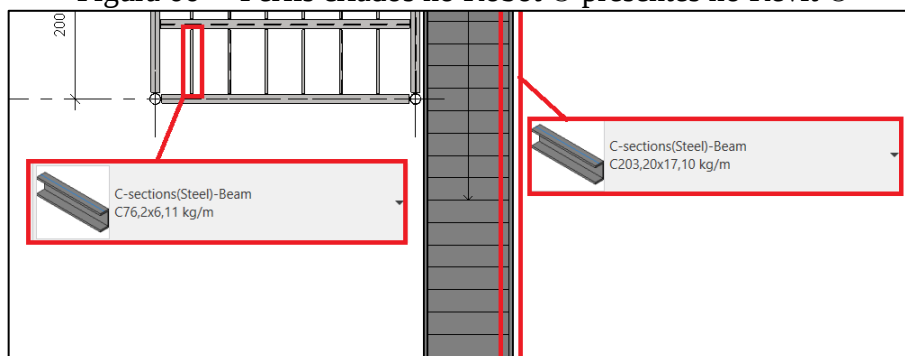
Figura 65 – Mezanino pós Robot ®



Fonte: Autoria própria (2021)

Já a Figura 68, apresentam as vigas: da escada e secundárias, com os perfis em C, criadas no Robot ® e transferidas para o Revit ®, validando mais uma vez êxito no fluxo de informações, descritas como “C-section(Steel)-Beam” e as respectivas geometrias.

Figura 66 – Perfis criados no Robot ® presentes no Revit ®



Fonte: Autoria própria (2021)

A documentação foi dividida em cinco partes: a planta de locação dos pilares, a planta baixa, a elevação 1-1 e dois detalhamentos da base do pilar. As mesmas podem ser consultadas nos Anexos desta monografia.

Começando pela planta de locação dos pilares, a mesma apresenta as distâncias entre os eixos dos mesmos, bem como a numeração descrita da esquerda para a direita e de cima para baixo como pede a ABNT NBR 8800:2008, além da presença de uma rosa dos ventos (nesta monografia simbólica, pois a literatura não apresenta o norte verdadeiro), pensada para auxiliar na execução.

Já a planta baixa, apresenta as cotas e nomenclaturas das vigas da escada, principais e secundárias, para identificação das mesmas. A elevação 1-1, descrita assim por seguir o eixo 1, apresenta os níveis acabados, além da altura do forro em relação ao piso acabado (pé direito), a folga para luminária, o corrimão, o guarda corpo, a viga da escada, os pilares metálicos e o piso acabado.

Por fim, o detalhamento realizado não foi robusto e sim feito de forma a apresentar essa possibilidade no Revit ®. Então, a título de exemplo, as Figuras 73 e 74 mostram os detalhamentos da placa base do pilar, ligada a uma fundação. Na primeira é notório que é uma vista isométrica, ou seja, em perspectiva e a outra é uma vista superior possuindo mais informações que ajudam na execução do projeto.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve como objetivo principal elaborar a modelagem computacional de um mezanino metálico empregando a metodologia BIM, por meio do software Autodesk Revit®, e em seguida exportar para o Autodesk Robot®, onde foi realizada a análise estrutural, além de retornar os dados para detalhamento final elaboração de pranchas no Revit® finalizando o fluxo.

Dessa forma, o propósito foi alcançado com êxito, porém é válido ressaltar que para utilização desse método em projetos coordenados, ou seja, que possuem diversas disciplinas juntas e com equipes diferentes em cada uma delas, é extremamente importante uma alta precisão na modelagem e diversas revisões no modelo analítico, o que mais prolonga ainda mais o processo. A integração com outro software para detalhamento, compatibilização com outras disciplinas em um mesmo projeto, comparativo entre a norma americana presente no Robot® e a ABNT NBR 8800:2008, são sugestões para continuações futuras baseadas neste trabalho.

Já para os objetivos específicos propostos neste trabalho, tem-se:

- Os modelos: físico e analítico criados se mostraram majoritariamente consistentes, porém tiveram que passar por ajustes, principalmente no que tange a criação da escada. Dessa forma, fica claro que este elemento específico requer uma atenção especial do projetista e torna a modelagem do projeto mais duradoura.
- O fluxo BIM, através da integração direta se mostrou excelente, não houve perda de informações no processo, garantindo a segurança do câmbio. Tanto os parâmetros dos perfis, quanto as cargas, combinações feitas no Revit® foram transferidos para o Robot®, quanto os vínculos e os novos perfis criados no Robot® foram transferidos de volta para o Revit®. Portanto, a metodologia se mostrou eficiente.
- Os resultados obtidos pelo Robot® foram semelhantes a literatura, divergindo apenas por questões de método (o programa trabalha com MEF e a literatura com cálculo manual), aproximações numéricas, etc. A principal problemática da metodologia apresentada nesta monografia é o fato do software Robot® não possuir a norma nacional, precisando de outras ferramentas para realizar este processo, o que torna o trabalho mais demorado. Fica como sugestão para novas monografias com a mesma linha de raciocínio desta o cálculo das ligações e verificação à esforço normal de tração.

- Na verificação via planilhas autorais Excel ®, todos os perfis estavam aptos as solicitações propostas garantindo com sucesso através os critérios da ABNT NBR 8800:2008, norma em vigor no ato desta monografia.
- Por fim, apesar desta monografia não apresentar um detalhamento robusto do projeto, ficou claro que o Revit ® é uma excelente ferramenta para este objetivo, podendo chegar a níveis de precisão com LOD 500, como visto anteriormente. O trabalho utilizou a base do pilar como exemplo e o resultado foi satisfatório, sendo assim, fica como sugestão todo o detalhamento do projeto utilizando o Revit ®, podendo integrar com outro software Autodesk ®, o chamado Advance Steel ®.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADDOR, Miriam *et al* (org.). **Guia AsBea Boas Práticas em BIM**: estruturação do escritório de projeto para a implantação do bim. ESTRUTURAÇÃO DO ESCRITÓRIO DE PROJETO PARA A IMPLANTAÇÃO DO BIM. 2013. Disponível em:
<http://www.asbea.org.br/userfiles/manuais/a607fdeb79ab9ee636cd938e0243b012.pdf>. Acesso em: 05 out. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS ABNT NBR 8800:2008 – **Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios**. Rio de Janeiro, 2008.

AUTODESK. **Sobre a integração**. 2021 Disponível em: Revit - Robot Integration | Revit Products | Autodesk Knowledge Network. Acesso em 10 ago. 2021.

AUTODESK. **Sobre o Modelo Analítico**. 2021 Disponível em: O modelo analítico estrutural | Produtos Revit 2022 | Autodesk Knowledge Network. Acesso em 10 ago. 2021.

AUTODESK. **Sobre o Revit**. 2021 Disponível em: Revit para engenharia e projeto estrutural | Autodesk. Acesso em 10 ago. 2021.

AUTODESK. **Sobre o Robot**. 2021 Disponível em: Robot Structural Analysis Professional | Download & Pricing (autodesk.com). Acesso em 10 ago. 2021.

AYRES, Cervantes Filho. **Utilização do CAD-BIM para projeto de alvenaria de blocos de concreto**. 2008. 07 f. VIII Workshop Brasileiro Gestão do Processo de Projetos na Construção de Edifícios. São Paulo, 2008. Disponível em:
http://www.arquitetura.eesc.usp.br/workshop08/secundarias/ANAIS/Artigo_08.pdf . Acesso dia: 10 ago. 2021.

BARBOSA, Edy Jones Maciel; MENEZES, Gilda Lucia Bakker Batista de. INTEROPERABILIDADE ENTRE AUTODESK ROBOT STRUCTURAL ANALYSIS E REVIT. In: X CONGRESSO NORTE NORDESTE DE PESQUISA E INOVAÇÃO, 10., 2015, Acre. **Anais [...]** . Acre: Ifac, 2015. p. 6034-6038.

BRAUNSTEIN, Felipe Aguiar; CAMPOS, Claudia Maria de Oliveira; CARVALHO, Claudio Ribeiro. **EMPREGO DE MODELO COMPUTACIONAL INTEGRADO NA PLATAFORMA BIM NA ANÁLISE DE ESTRUTURAS DE CONCRETO**. In: CILAMCE, 38., 2017, Florianópolis. Anais [...] . Florianópolis: Abmec, 2017. p. 2-18.

CAROL, J. J.; RUTMAN, Jacques. *Estruturas Metálicas: Projetos e Detalhes*. São Paulo: J. J. Carol Editora, 2014.

CHAMBERLAIN PRAVIA, Zacarias M. **Projeto e Cálculo de Estruturas de Aço – Edifício Industrial Detalhado**. Elsevier. Rio de Janeiro, 2013.

COSTA, Gabriel Louiz Silva da. **ANÁLISE COMPARATIVA DA EXECUÇÃO DE PROJETO DE ELEMENTOS ESTRUTURAIS ENTRE A FORMA MANUAL E COM UTILIZAÇÃO DA INTEGRAÇÃO REVIT/ROBOT**. 2020. 123 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Centro de Engenharias, Universidade Federal Rural do Semi Árido, Mossoró, 2020. Disponível em: https://repositorio.ufersa.edu.br/bitstream/prefix/6447/1/GabriellSC_MONO.pdf. Acesso em: 30 set. 2021.

CUNHA, Alice de Mello; ARAÚJO, Thiago Thielmann; RIBEIRO, Danielle Malvaris. Método BIM: análise estrutural para um galpão metálico, utilizando revit & robot. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO, 2., 2019, Campinas. **II SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO**. [S.L.]: Antac, 2019. p. 1-6.

EASTMAN, Chuck. et al. **Manual de Bim: um guia de modelagem da informação da construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e incorporadores**. Tradução de Cervantes Gonçalves Ayres Filho, et al. Porto Alegre: Bookman, 2014.

FAKURY, Ricardo H.; SILVA, Ana Lydia Reis; CALDAS, Rodrigo Barreto. **Dimensionamento de elementos estruturais de aço e mistos de aço e concreto**. 1ª ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2016.

FEIJÓ, Nícolas. **Comparação de soluções estruturais para um mezanino em estrutura metálica com a utilização de software comercial para dimensionamento**. 2020. 116 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2020.

FONSECA, Antonio Carlos da; PINHEIRO, Bragança. **Estruturas metálicas: cálculos, detalhes, exercícios e projetos**. 2.ed. rev. ampli. ed. São Paulo : Blucher, 2005. 301 . p.

LEUSIN, Sergio Roberto. **Gerenciamento e Coordenação de Projetos BIM**. Grupo GEN, 2018. 9788595153820. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595153820/>. Acesso em: 10 ago 2021.

NETTO, C. C. **AUTODESK® REVIT® ARCHITECTURE 2020 - CONCEITOS E APLICAÇÕES**. Editora Saraiva, 2020. 9788536532929. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536532929/>. Acesso em: 2021 ago. 10.

PFEIL, W., PFEIL M. **Estruturas de Aço – Dimensionamento Prático**. 8º ed. Rio de Janeiro, 2009.

PIZA, Isabella Faria. **Roteiro de modelagem estrutural utilizando a tecnologia BIM, desde a modelagem no Revit até a análise estrutural no Robot**. 2017. 83 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2017.

RIBEIRO, Renan & Junior, Kleos. (2019). **BIM no projeto de estruturas de concreto armado: estudos de caso em Revit e Robot**. 1. 1-19.

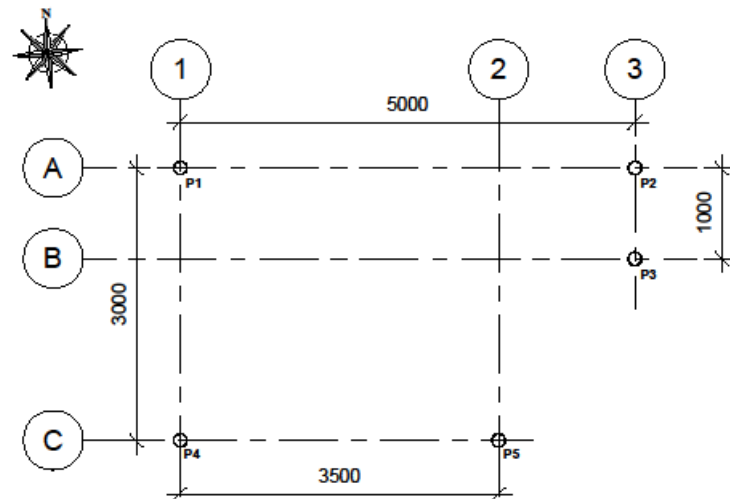
REYES, Nicolas Hernandez. **A DINÂMICA BIM NA CONSTRUÇÃO METÁLICA**. 2020. 134 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil - Construções Civas, Instituto Politécnico de Leiria, Leiria, 2020.

SAMPAIO, Alcínia Zita. **METODOLOGIA BIM E INTEROPERABILIDADE**. In: CONFERENCIAS IADIS IBERO-AMERICANAS WWW/INTERNET E COMPUTAÇÃO

APLICADA 2020, 17., 2020, Lisboa. Anais [...] . Lisboa: Paula Miranda, Cristiano Costa, Pedro Isaías e Flávia Maria Santoro, 2020. p. 101-108.

SILVA, João Pedro Reis. **Incorporação das Armaduras no Projeto de Estruturas em BIM**. 2019. 77 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado Integrado em Engenharia Civil, na Área de Especialização em Estruturas, Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra, Coimbra, 2019. Disponível em: <https://eg.uc.pt/bitstream/10316/93580/1/INCORPORA%c3%87%c3%83O%20DAS%20ARMADURAS%20NO%20PROJETO%20DE%20ESTRUTURAS%20EM%20BIM.pdf>. Acesso em: 02 out. 2021.

ANEXO A – PLANTA DE LOCAÇÃO DOS PILARES



Locação dos pilares

1 : 50

Autodesk Revit

www.autodesk.com/revit

TFG
Mezanino
metálico

Planta de Locação dos Pilares

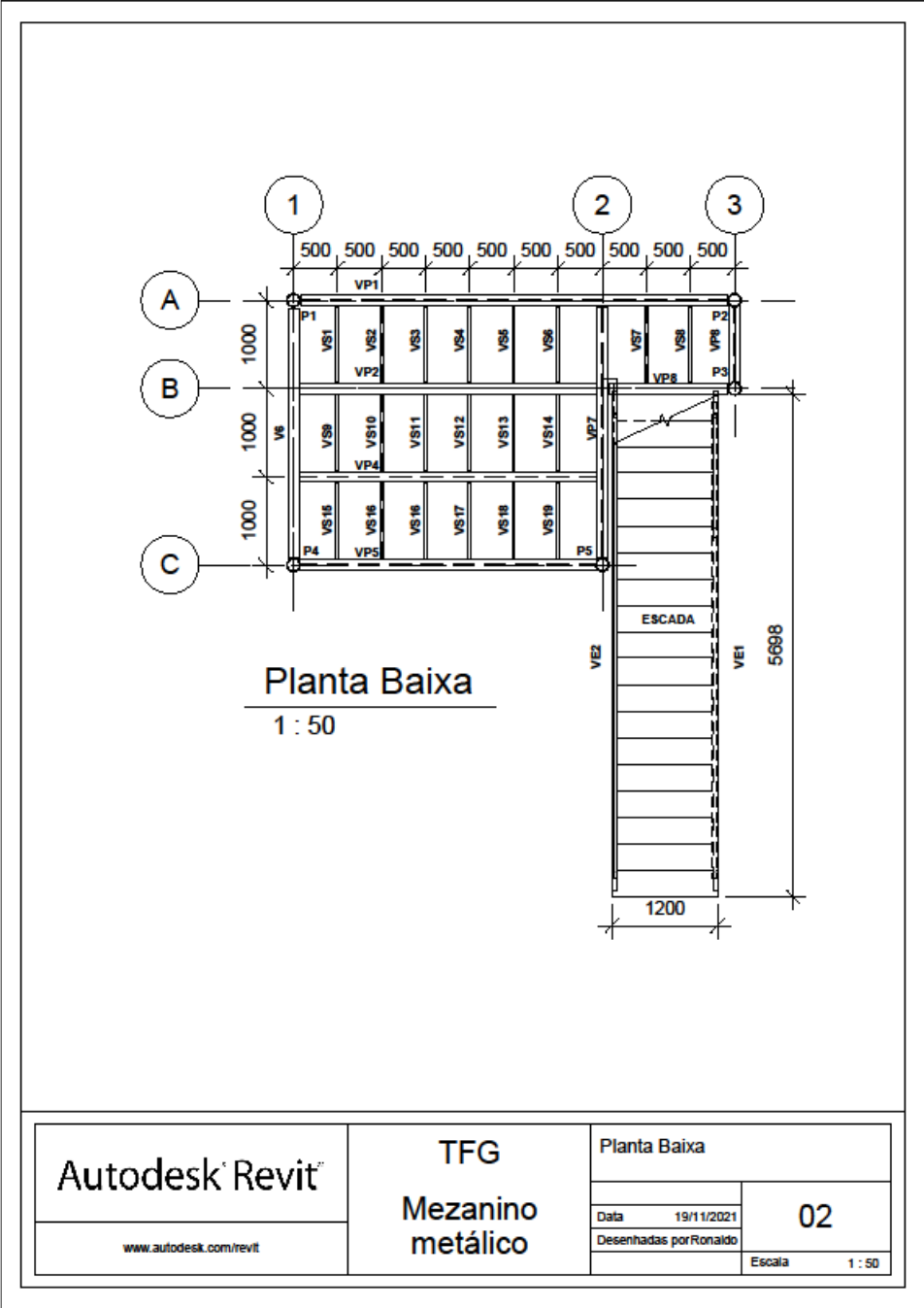
Data 19/11/2021

Desenhadas por Ronaldo

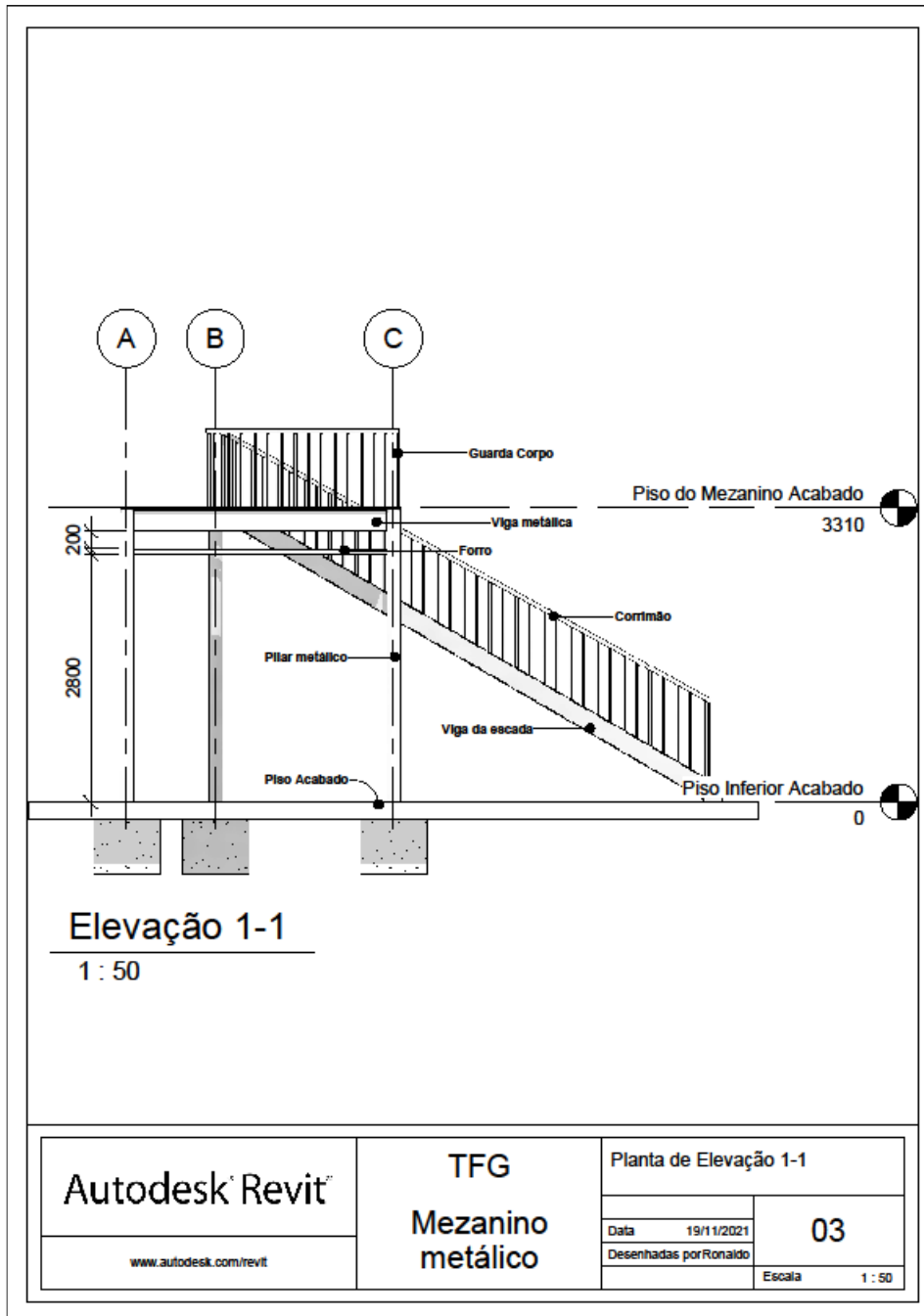
01

Escala 1 : 50

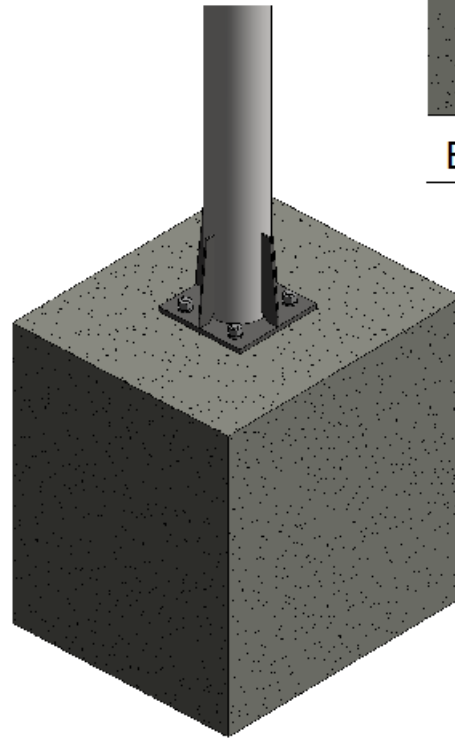
ANEXO B – PLANTA BAIXA



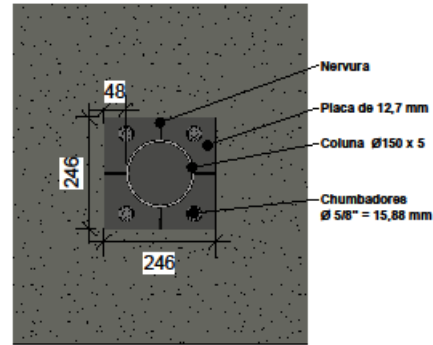
ANEXO C – PLANTA DE ELEVAÇÃO 1-1



ANEXO D – DETALHAMENTOS



Base de pilar - Isométrico



Base pilar - Vista sup.

Autodesk® Revit™	TFG Mezanino metálico	Detalhamentos	
		Data 19/11/2021 Desenhadas por Ronaldo	04
		Escala	
www.autodesk.com/revit			