



UNISUL

UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA

DIONEI HELOI DE SOUZA

PROJETO DE ESTRUTURA METÁLICA EM MEZANINO

Palhoça

2019

DIONEI HELOI DE SOUZA

PROJETO DE ESTRUTURA METÁLICA EM MEZANINO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Engenharia Civil da Universidade
do Sul de Santa Catarina como requisito parcial
à obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Paulo Henrique Wagner, Esp.

Palhoça

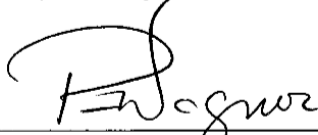
2019

DIONEI HELOI DE SOUZA

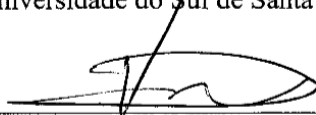
PROJETO DE ESTRUTURA METÁLICA EM MEZANINO

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado à obtenção do título de Engenheiro civil e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia civil a Universidade do Sul de Santa Catarina.

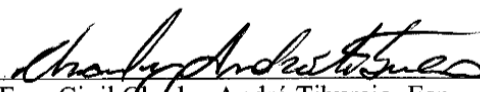
Palhoça, 28 de junho de 2019



Professor e orientador Prof. Paulo Henrique Wagner, Esp.
Universidade do Sul de Santa Catarina



Professor Valdi Henrique Spohr, Ms.
Universidade do Sul de Santa Catarina



Eng. Civil Charles André Tiburcio, Esp.
Bpm Pré moldados

Dedico esta graduação a toda minha família que colaborou e entendeu meu tempo investido nesta caminhada.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todas oportunidades que tive, a meus familiares, colegas e professores que contribuíram para que pudesse chegar nesta etapa.

“Não á vitórias sem sacrifício”
(Fabrício Ferraz, 2016).

RESUMO

A partir da revolução industrial, ocorre uma verdadeira transformação no âmbito da construção civil, levando a mudanças positivas para a evolução da engenharia civil. Com o desenvolvimento dos processos de produção, o emprego do aço na construção civil foi beneficiado, se tornando um material destacado a produzir componentes estruturais de pontes e edifícios, apresentando qualidades admiráveis em resistência e proporcionando celeridade aos procedimentos de construção. O objetivo deste trabalho foi definir e explanar o processo de elaboração de um projeto de um mezanino com cobertura metálica, através de estudo de um caso concreto de uma obra realizada na cidade de Florianópolis. A metodologia apresentada foi a descritiva, oferecendo os passos para o desenvolvimento de um projeto eficiente, barato e seguro para mezaninos com coberturas metálicas, através das NBR's adequadas, utilizando como exemplificação um estudo de caso a respeito de uma obra já realizada. Foi possível concluir que a estrutura metálica utilizando o aço para a renovação do ambiente proposto levou a um projeto interessante e factível que pôde ser executado no tempo adequado, com um resultado eficiente e esteticamente agradável.

Palavras-chave: mezanino; estrutura metálica em aço; construção civil.

ABSTRACT

From the industrial revolution, a transformation takes place in the space of civil construction, leading to positive changes for the evolution of civil engineering. With the development of production processes, the use of steel in civil construction benefited, becoming a material for the construction of components of bridges and buildings, presenting in circulation of energy and providing speed to the construction procedures. The objective of this work was to define and explain the process of elaboration of the project of a work carried out in the city of Florianópolis. Methodology with a descriptive approach, offering the steps for the development of an efficient, cheap and safe vision for mezzanines with metallic roofs, using NBRs, using as example a case study of a bill already made. It was possible to build a metal structure using steel for the generation of data as an interesting and feasible project for the execution of the appropriate time, with an efficient and aesthetically pleasing result for the client.

Keywords: mezzanine; steel structure; construction.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Sistema de elementos estruturais	24
Figura 2 -Tipos de perfis laminados	25
Figura 3 - Ação das linhas de fluxo nas edificações	28
Figura 4 - Condições de pressão em edificações	28
Figura 5 - Mapa das isopletras (NBR 6123)	29
Figura 6 - Ilustração dos espaçamentos s e g entre os furos 1 e 2	37
Figura 7 - Atuação dos regimes a flexão	44
Figura 8 - Ensaio de flambagem	45
Figura 9 - Determinação dos regimes	45
Figura 10 - Pontos contraventamento	49
Figura 11 - Anteprojeto de obra	57
Figura 12 - Projeto de estrutura metálica	58
Figura 13 - Aplicações de Símbolos de soldagem	60
Figura 14 - Esboço inicial	63
Figura 15 - Esboço 3D	63
Figura 16 - Obra antiga	64
Figura 17 - Obra antiga	64
Figura 18 - Projeto arquitetônico antigo	65
Figura 19 - Determinação do novo modelamento em 3D	66
Figura 20 - Massa total mezanino e carregamentos NBR 6120	67
Figura 21- Distribuição da estrutura	68
Figura 22 -Viga intermediária	69
Figura 23 - Sistema viga int.	71
Figura 24 - Cortantes viga int.	71
Figura 25 - Momento fletor viga int.	71
Figura 26 - Deformações viga. int. em “y”	72
Figura 27 - Massa do telhado	80
Figura 28 - Pórtico frontal	90
Figura 29 - Distribuição de carregamentos pórtico central	90
Figura 30 - Carregamentos Hip 01	92
Figura 31- Carreg. normais hip 01	93
Figura 32 - Cortantes Hip 01	93

Figura 33 - Momentos Hip 01	94
Figura 34 - Def. "X" Hip 01	94
Figura 35 - Def. "Y" Hip 01	95
Figura 36 - Carregamentos Hip 03	95
Figura 37 - Normais Hip 03	96
Figura 38 - Cortantes Hip 03	96
Figura 39 - Momentos Hip 03	97
Figura 40 - Def. "x" hipótese 3	97
Figura 41 - Def. "y" hipótese 3	98
Figura 42 - Carregamentos Hip 04	98
Figura 43 - Normais Hip 04	99
Figura 44 - Cortantes Hip 04	99
Figura 45 - Momentos Hip 04	100
Figura 46 - Def. "x" hipótese 4	100
Figura 47 - Def. "y" hipótese 4	101
Figura 48 - Conferência propriedades N3	112
Figura 49 - Cortantes hipótese 4 pórticos FTOOL	129
Figura 50 - Catálogo chumbador CB/CBPL - Walsywa.....	130
Figura 51 - Carregamentos hipótese 01.....	131
Figura 52 - Normais Hipótese 01 tesoura.....	131
Figura 53 - Cortante Hipótese 01 tesoura.....	131
Figura 54 - Momentos Hipótese 01 tesoura.....	132
Figura 55 - Deformações "X" Hipótese 01 tesoura.....	132
Figura 56 - Deformações "Y" Hipótese 01 tesoura.....	132
Figura 57 - Carregamentos hipótese 03.....	133
Figura 58 - Normais Hipótese 03 tesoura.....	133
Figura 59 - Cortantes Hipótese 03 tesoura	133
Figura 60 - Momentos Hipótese 03 tesoura.....	134
Figura 61 - Deformações "X" Hipótese 03 tesoura.....	134
Figura 62 - Deformações "Y" Hipótese 03 tesoura.....	134
Figura 63 - Carregamentos hipótese 04.....	135
Figura 64 - Normais Hipótese 04 tesoura.....	135
Figura 65 - Cortantes Hipótese 04 tesoura	135
Figura 66 - Momentos Hipótese 04 tesoura.....	136

Figura 67 - Deformações "X" Hipótese 04 tesoura.....	136
Figura 68 - Deformações "Y" Hipótese 04 tesoura.....	136
Figura 69 - Modelamento completo 3D	145
Figura 70 - Determinação por software Solidworks	146
Figura 71 - Estrutura subconjunto Solidworks.....	146
Figura 72 - Estrutura peças Solidworks	147
Figura 73 - Estrutura do modulo desenho Solidworks	148
Figura 74 - Detalhe do carimbo desenho Solidworks.....	148
Figura 75 - Detalhamento da peça Solidworks.....	149
Figura 76 - Legenda detalhamento peça.....	149
Figura 77 - Propriedades dimensionais peça.....	150
Figura 78 - Determinação montagem geral	150
Figura 79 - Notas de fabricação e montagem geral.....	151

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Propriedades mecânicas de ligas padrão ASTM conforme NBR 8800/2008.	25
Tabela 2 - Fator topográfico S1	30
Tabela 3 -Valores fator estatístico S3	31
Tabela 4 - Determinação módulos plástico (Z) e coeficiente de forma (Z/W).....	48
Tabela 5 - Parâmetros de Flexotorção.....	49
Tabela 6 - Catálogo chumbador	55
Tabela 7 - Organograma de gerenciamento de códigos de projetos	61
Tabela 8 - Carregamentos NBR 6120	67

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Coeficientes de ponderação das ações [$Y=Yf1Yf3$] NBR 8800	32
Quadro 2 - Ações variáveis NBR 8800	33
Quadro 3 - Ações variáveis NBR 8800	33
Quadro 4 - Combinações de ponderações das resistências Y_m	34
Quadro 5 - Deslocamentos máximos NBR 8800	35
Quadro 6 - Coeficiente de flambagem por flexão de elementos isolados	41
Quadro 7 - Valores (b/t) lim.	42
Quadro 8 - Parâmetros para M_{rd}	46
Quadro 9 - Espessura garganta de solda	55
Quadro 10 - Carregamentos mezanino	68
Quadro 11 - Área de influência vigas intermediárias	70
Quadro 12 - Flecha mínima viga intermediária	72
Quadro 13 - Propriedades geométricas viga intermediária	73
Quadro 14 - Coeficientes de ponderação viga intermediária	73
Quadro 15 - Esforços obtidos	74
Quadro 16 - Análise cisalhamento viga intermediária	74
Quadro 17 - Análise momento fletor viga intermediária	75
Quadro 18 - Soldas viga intermediária	78
Quadro 19 - Carga de ventos	79
Quadro 20 - Combinações cobertura	81
Quadro 21 - Locação das dimensões edificação	83
Quadro 22 - Áreas de atuação dos coeficientes de forma externos	84
Quadro 23 - Valores de coeficientes de forma externos	84
Quadro 24 - Coeficientes de forma	85
Quadro 25 - Cálculos esforços solicitantes	85
Quadro 26 - Decomposição de forças na cobertura	86
Quadro 27 - Locação dos esforços no telhado decompostos no modelo 0 graus	86
Quadro 28 - Locação dos esforços no telhado decompostos no modelo 90 graus	87
Quadro 29 - Combinações das ações ELU Hipótese 1	87
Quadro 30 - Combinações das ações ELU Hipótese 3	88
Quadro 31 - Massa fachada vidro	91
Quadro 32 - flechas pórtico	101

Quadro 33 - Propriedades viga W360 x 32,9	102
Quadro 34 - Coeficientes ponderação viga N2.....	103
Quadro 35 - Esforços obtidos	103
Quadro 36 - Tração N2	104
Quadro 37 - Compressão N2	104
Quadro 38 - Cisalhamento N2	106
Quadro 39 - Momentos N2.....	107
Quadro 40 - Solda N2.....	110
Quadro 41- Propriedades N3	111
Quadro 42 - Coef. ponderação N3.....	114
Quadro 43 - Esforços N3	114
Quadro 44 - Compressão N3	115
Quadro 45 - Cisalhamento N3	117
Quadro 46 - Momento N3.....	118
Quadro 47 - Solda N3.....	121
Quadro 48 - Propriedades N4	122
Quadro 49 - Coeficientes Ponderação N4	122
Quadro 50 - Esforços N4	123
Quadro 51 - Tração N4.....	123
Quadro 52 - Compressão N4	124
Quadro 53 -Cisalhamento N4.....	124
Quadro 54 - Soldas N4	125
Quadro 55 - Propriedade N5.....	125
Quadro 56 - Coeficientes de ponderação N5	126
Quadro 57 - Esforços N5	126
Quadro 58 -Tração N5.....	126
Quadro 59 - Compressão N5	127
Quadro 60 - Cisalhamento N5	127
Quadro 61 - Momento N5.....	128
Quadro 62 - Solda N5.....	129
Quadro 63 - Flechas viga atirantada	137
Quadro 64 - Propriedades N1 Tesoura.....	138
Quadro 65 - Coeficientes de ponderação N1	138
Quadro 66 - Esforços N1	139

Quadro 67 - Tração N1	139
Quadro 68 - Compressão N1	140
Quadro 69 - Cisalhamento N1	140
Quadro 70 - Momento N1	141
Quadro 71 - Soldas N1	142
Quadro 72 - Propriedades perfil N2 Tesoura	142
Quadro 73 - Coeficientes ponderação N2.....	143
Quadro 74 - Esforços N2	143
Quadro 75 - Tração N2	143
Quadro 76 - Compressão perfil N2 Tesoura	144
Quadro 77- Soldas N2	144

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	18
1.1 JUSTIFICATIVA.....	20
1.2 OBJETIVOS	21
1.2.1 OBJETIVO GERAL:.....	21
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:.....	21
1.3 METODOLOGIA	21
1.4 LIMITAÇÕES DA PESQUISA	22
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO	22
2 REVISÃO DE LITERATURA	23
2.1 SISTEMA ESTRUTURAL	23
2.2 MATERIAIS	24
2.2.1 PERFIS, BARRAS E CHAPAS	24
2.3 AÇÕES NA ESTRUTURA.....	26
2.3.1 AÇÕES PERMANENTES DIRETAS.....	26
2.3.2 AÇÕES PERMANENTES INDIRETAS.....	27
2.3.3 AÇÕES VARIÁVEIS.....	27
2.3.4 AÇÕES EXCEPCIONAIS	27
2.3.5 AÇÃO DOS VENTOS.....	27
2.3.6 VELOCIDADE DO VENTO	29
2.3.8 COMBINAÇÕES DAS AÇÕES	32
2.4 CONDIÇÕES ESPECÍFICAS PARA DIMENSIONAMENTO DE BARRAS PRISMÁTICAS DE AÇO	34
2.4.1 CONDIÇÕES DOS DESLOCAMENTOS MÁXIMOS.....	35
2.4.2 BARRAS PRISMÁTICAS TRACIONADAS NBR 8800.....	35
2.5 $N_t, s_d \rightarrow$ FORÇA DE TRAÇÃO SOLICITANTE DE CÁLCULO	36
2.5.1 BARRAS PRISMÁTICAS COMPRIMIDAS NBR 8800	38
2.5.1.1 Fator de redução associado a resistência a compressão " χ "	39
2.5.1.2 Fator de redução total associado a flambagem local " Q "	41
2.5.2 BARRAS PRISMÁTICAS COMPRIMIDAS NBR 14762.....	42
2.5.3 BARRAS PRISMÁTICAS SUBMETIDAS A FLEXÃO SIMPLES NBR 8800...	44
2.5.4 BARRAS PRISMÁTICAS SUBMETIDAS AO CORTANTE NBR 8800	51

2.5.5 BARRAS SUBMETIDAS À COMBINAÇÃO DE ESFORÇOS SOLICITANTES NBR 8800.....	53
2.5.6 LIGAÇÕES SODADAS NBR 8800.....	54
2.5.7 DIMENSIONAMENTO DE PARABOLT (CHUMBADOR).....	55
2.6 DETERMINAÇÃO E DESENVOLVIMENTO DO PROJETO	56
2.7 DEFINIÇÃO DO SISTEMA ESTRUTURAL	56
2.8 SELEÇÃO PRELIMINAR DOS ELEMENTOS.....	57
2.9 PROCESSO DE PLANEJAMENTO E CONCEPÇÃO	58
2.10 ESTUDO PRELIMINAR.....	58
2.11 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO	59
2.12 DIMENSIONAMENTO DA ESTRUTURA	59
2.13 PRODUÇÃO DOS PROJETOS DE FABRICAÇÃO	59
2.14 PRODUÇÃO DOS PROJETOS DE MONTAGEM	60
2.15 PRODUÇÃO DOS MEMORIAIS.....	62
3 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO DE UM MEZANINO – ESTUDO DE CASO.	63
4 DIMENSIONAMENTO	67
4.1 AÇÕES DE CARREGAMENTO MEZANINO.....	67
4.1.1 DISTRIBUIÇÃO DA ESTRUTURA.....	67
4.1.2 CÁLCULO DOS CARREGAMENTOS E COMBINAÇÕES DA CARGA NO MEZANINO.	68
4.2 ANÁLISE VIGA INTERMEDIÁRIA	69
4.3 CARREGAMENTOS VIGA INTERMEDIÁRIA.....	70
4.3.1 CÁLCULOS VIGA INTERMEDIÁRIA	72
4.4 ANÁLISE COBERTURA, CARREGAMENTOS E COMBINAÇÕES	78
4.4.1 DIMENSIONAMENTO FORÇA DE VENTOS:.....	78
4.4.2 AÇÕES DE CARREGAMENTO DO VENTO NA COBERTURA E FECHAMENTO LATERAL	80
4.4.3 CÁLCULO DOS CARREGAMENTOS E COMBINAÇÕES DA CARGA NA COBERTURA COM O CARREGAMENTO DE VENTOS	81
4.5 PÓRTICO FRONTAL	90
4.5.1 SISTEMA DE CARREGAMENTOS PÓRTICO FRONTAL.....	90
4.5.2 CARREGAMENTOS PÓRTICO FRONTAL.....	92
4.5.2.1 CARREGAMENTOS HIPÓTESE 01	92

4.5.2.2	CARREGAMENTOS HIPÓTESE 03.....	95
4.5.2.3	CARREGAMENTOS HIPÓTESE 04.....	98
4.5.2.4	ANÁLISE DAS FLECHAS.....	101
4.5.3	ANÁLISES DOS PERFIS	102
4.5.3.1	ANÁLISES DO PERFIL N2 – (VIGA W 360 X 32,9)	102
4.5.3.2	ANÁLISES DO PERFIL N3 – PILAR (Tubo retangular # 3,00 x 150 x 150).....	111
4.5.3.3	ANÁLISES DO PERFIL N4 (Tubo retangular # 3,00 x 150 x 150)	121
4.5.3.4	ANÁLISES DO PERFIL N5 (Tubo retangular # 3,00 x 150 x 200)	125
4.5.4	ANÁLISES DOS PARABOLT (CHUMBADORES)	129
4.6	TESOURA ATIRANTADA.....	130
4.6.1	SISTEMA DE CARREGAMENTOS TESOURA ATIRANTADA	130
4.6.1.1	CARREGAMENTOS HIPÓTESE 01.....	131
4.6.1.2	CARREGAMENTOS HIPÓTESE 03.....	132
4.6.1.3	CARREGAMENTOS HIPÓTESE 04.....	135
4.6.1.4	ANÁLISE DAS FLECHAS.....	137
4.6.2	ANÁLISES DOS PERFIS	137
4.6.2.1	ANÁLISES DO PERFIL N1 (Tubo retangular # 3,00 x 150 x 150)	137
4.6.2.2	ANÁLISES DO PERFIL N2 (Tubo retangular # 3,00 x 150 x 150)	142
5	MODELAMENTO E PROJETO	145
6	CONCLUSÃO	152
	REFERÊNCIAS.....	153

1 INTRODUÇÃO

Os processos que mais estimularam o crescimento da ciência foram as guerras. Devido a estas, o homem encontrou problemas de abastecimento dos exércitos em campanha, construiu estradas, canais, fortificações etc. No século XX com o aperfeiçoamento da manufatura, estas produziram relações entre as engenharias. Principalmente na revolução industrial, onde com o rápido crescimento dos equipamentos e produção os processos da construção civil, foram evoluindo com o passar dos tempos.

Com a evolução do sistema de fabricação e pesquisas, foram sendo aprimorados materiais de maior resistência mecânica e tenacidade. Com a entrada destes no mercado, os calculistas foram evoluindo e começou o interesse pelas estruturas metálicas.

No início, estas foram utilizadas em pontes com o advento da revolução industrial, começou-se a generalizar o uso do aço. Para suprir tão grande e rápido crescimento da cidade, a única maneira de satisfazer as exigências do mercado era a verticalização com estrutura metálica, tanto pela resistência ao fogo, como pela maior resistência estrutural e pelo maior aproveitamento dos espaços com grandes vãos.

As primeiras obras em aço datam de 1750, quando se descobriu a maneira de produzi-lo industrialmente. Seu emprego estrutural foi feito na França por volta de 1780, na escadaria do Louvre e no Teatro do Palais Royal. Na Inglaterra, em 1757, executou-se uma ponte de ferro fundido. Porém, a sua grande utilização nos edifícios iniciou por volta de 1812. A primeira obra em que usou aço importado em edifícios no Brasil foi o Teatro Santa Izabel, em Recife em 1876 (MADEIRA, 2009).

Com a globalização do mercado, o valor econômico dos empreendimentos industriais passou a ser um parâmetro muito importante para a construção civil, e, em particular, para empresas que fabricam estruturas metálicas, tornando o mercado cada vez mais competitivo. Os projetos atuais devem combinar três aspectos fundamentais: segurança, economia e durabilidade. Estes aspectos atestam a competitividade de um projeto (MADEIRA, 2009).

Devido aos avanços tecnológicos da siderurgia, a construção civil é hoje um importante setor de consumo de aço em todo o mundo. Atualmente, na construção metálica brasileira, os edifícios industriais são responsáveis por grande parte dos empreendimentos em estruturas metálicas. Nesse importante segmento, as estruturas de um só pavimento são as mais

utilizadas, onde se requer soluções econômicas e versáteis para uma larga faixa de vãos e uma ampla gama de aplicações, tais como: fábricas, depósitos, lojas, academias, ginásios poliesportivos, garagens, hangares etc. (MADEIRA, 2009).

Estruturas metálicas requerem projetos bem elaborados e detalhados. É indispensável à adoção de normas para que os dimensionamentos sobre cargas de vento e sua utilização de trabalho sejam adequados. Quanto aos projetos, estes exigem muitos detalhes para a fabricação, exigindo da equipe um grande conhecimento de desenho técnico. Aos engenheiros envolvidos no processo, também é necessário um grande conhecimento das mais variadas ligas de aço disponíveis no mercado hoje em dia (SAC 350, A 36, ASTM 572, etc.). Estas todas normatizadas com suas respectivas composições químicas podem fornecer diferentes capacidades e as mais variadas propriedades mecânicas e físicas para sua utilização.

Também existe no mercado uma grande variedade de perfis metálicos disponíveis, saber utilizar estes elementos é crucial para que as estruturas não tenham uma massa excessiva (PALOMO, JUNIOR, 2016).

O aço é uma liga metálica constituída basicamente por carbono e ferro, com percentagens de carbono variando entre 0,008 e 2,11%. Entretanto, existe um outro tipo de ligação metálica entre ferro e carbono, que é o ferro fundido. Este apresenta uma diferença na constituição química, onde o teor de carbono entre 2,11% e 6,67%.

A diferença principal entre ambos é que o aço é facilmente deformável por forja, laminação, extrusão, devido a sua ductibilidade, enquanto uma peça em ferro fundido é consideravelmente mais frágil (PALOMO, JUNIOR, 2016).

Com o avanço tecnológico e da indústria, o aço passou a apresentar uma grande vantagem em relação a outros materiais quando aplicados na construção civil. Sendo estas: Alta resistência do material nos diversos estados de tensão (tração, compressão, flexão, etc.), o que permite aos elementos estruturais suportarem grandes esforços, apesar da área relativamente pequena de suas seções, por isso as estruturas de aço, apesar da sua grande densidade (7850 kg/m^3), são mais leves do que elementos produzidos de concreto armado. Os elementos de aço também oferecem uma grande margem de segurança no trabalho, devido ao seu material ser isotrópico e homogêneo, com limites de escoamento, ruptura e módulo de elasticidade bem definidos e confiáveis devido a seu processo de produção nas siderúrgicas. Além disso, os elementos de aço são fabricados em oficinas, de preferência seriados, e sua montagem é bem

mecanizada, permitindo com isso diminuir o prazo final de construção (PALOMO, JUNIOR, 2016).

Por ser uma tecnologia limpa, eficiente e rápida, esta não exige muita mão de obra, porém a pouca deve ser especializada. Com isso, o conceito " construir estrutura metálicas" não envolve somente a atividade "construir".

Com as definições que englobam o conceito de projeto de estruturas metálicas demonstradas, o propósito deste trabalho é abranger e aplicar o conceito demonstrando o processo de projetar uma cobertura de um mezanino metálico.

1.1 JUSTIFICATIVA

Com as centenas de obras compostas por estruturas metálicas que são produzidas/fabricadas mensalmente no Brasil, entender como é o processo de desenvolvimento de um bom projeto que atenda a relação comercial, as normas técnicas e a boa prática de engenharia se torna essencial.

Todo este conjunto instiga e implanta novas tecnologias construtivas no mercado, com o objetivo que ele conheça e venha a confiar nessas novas tecnologias.

Atualmente, somente no ramo de estruturas metálicas, existem diversos fabricantes e conformadores de perfis metálicos, onde estes fornecem uma vasta gama de opções arquitetônicas e formas construtivas. Também como sempre aparece uma nova liga metálica com várias opções de trabalhabilidade dos metais.

Com os conceitos estudados envolvendo os carregamentos isostáticos e hiperestáticos, consegue-se uma boa ferramenta para criar concepções arquitetônicas. Também como atualmente a utilização de planilhas eletrônicas e softwares de elementos finitos (Ansys Workbench, Solidworks) se tornou muito importante.

Juntando todos estes fatores (materiais, métodos de fabricação, concepções arquitetônicas, softwares), consegue-se maior velocidade no processo produtivo no projeto de estruturas metálicas, também como este pacote aliado a tecnologia "BIM" fornece também um grau alto de confiabilidade na produção das estruturas. Pois os projetos poderão ser produzidos com maior confiabilidade e o percentual de erro diminuiu drasticamente. Este mesmo processo também serve para os projetos de instalação e montagem.

Logo, esse estudo se justifica, pois cada vez mais torna-se essencial entender o processo de fabricação de ligas metálicas, assim como sua aplicação em obras, o que será explicitado neste projeto, através de um estudo de caso a respeito da construção de um mezanino metálico.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GERAL:

A completa definição e explanação do processo de elaboração de um projeto de um mezanino com cobertura metálica, através de estudo de um caso concreto.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Explicitar o conteúdo proposto, através de pesquisa bibliográfica que permita entender a linha de pesquisa.
- Desenvolver o procedimento proposto, do estudo e caso a respeito de um mezanino com cobertura metálica, cujo projeto foi seguido pessoal e virtualmente pelo autor desse trabalho.
- Demonstrar os bons resultados práticos, de um estudo extenso e preliminar de um mezanino com cobertura metálica.

1.3 METODOLOGIA

A metodologia, já inicialmente apresentada nos objetivos, é oferecer os passos para o desenvolvimento de um projeto eficiente, barato e seguro para mezaninos com coberturas metálicas, utilizando como exemplificação um estudo de caso a respeito de uma obra já realizada.

O estudo desta proposta tem como objetivo demonstrar o processo ideal para o desenvolvimento do projeto de uma cobertura metálica. Isso foi desenvolvido com as ferramentas que já é de conhecimento, agregados com os conhecimentos de resistência de materiais, estruturas isostáticas, estruturas hiperestáticas, estruturas metálicas e o conhecimento já adquirido em análise por elementos finitos.

1.4 LIMITAÇÕES DA PESQUISA

O seguinte trabalho propõe um estudo de caso a respeito de uma obra utilizando estrutura metálica para a construção de um mezanino com cobertura. Serão utilizados os dados disponíveis na literatura para discutir a maneira correta para o manuseio e construção deste tipo de obra, assim como será levantado um relatório expositivo a respeito da obra utilizada como material do estudo. Por se tratar de um estudo de caso expositivo, este pode se tornar limitado no que concerne à discussão dos elementos já utilizados nesta obra em questão.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho constitui-se por cinco capítulos, estruturados conforme a sequência abaixo:

No primeiro capítulo, apresenta-se uma introdução ao tema, a justificativa para o estudo, os objetivos pretendidos, a metodologia utilizada e as limitações da pesquisa.

No segundo capítulo expõe uma breve revisão bibliográfica, definindo aspectos gerais das normas ABNT NBR que tratam sobre o assunto pertinente, para a compreensão dos procedimentos necessários à concepção do projeto de uma cobertura metálica descrita no estudo de caso.

No terceiro capítulo são descritos os materiais utilizados e a sequência de atividades necessárias para o desenvolvimento de um projeto estrutural de um mezanino com cobertura metálica.

O quarto capítulo compreende todo o programa experimental, ou seja, o estudo de caso em si, caracterizando cada etapa necessária para a construção e finalização da obra.

Por fim, o quinto capítulo traz as conclusões e recomendações obtidas no trabalho.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Esta revisão consiste em demonstrar a concepção teórica para fundamentar o dimensionamento de uma estrutura metálica de pequeno porte.

Com o progresso tecnológico da siderurgia, a utilização de estruturas metálicas na construção de edificações, sejam residenciais, comerciais ou industriais, vem sendo cada vez mais utilizadas no Brasil. Uma das principais razões é a facilidade de construção e organização do canteiro de obras, possibilitando construções mais rápidas e com menor desperdício financeiro e de material. Outra vantagem está na compatibilidade com diversos tipos de materiais, como madeiras, tijolos, lajes, painéis e muitos outros.

A estrutura metálica abordada neste trabalho apresenta elementos simples de concepção, como vigas, pilares e terças. Para que a estrutura suporte as necessidades em que é submetida em sua vida útil, foram utilizados cálculos para seu dimensionamento de acordo com as determinações da norma NBR 8800/2008.

Nos próximos tópicos serão apresentados os procedimentos para composição do sistema estrutural, determinação dos carregamentos necessários para o projeto estrutural metálico, os materiais e elementos que compõem a estrutura e o dimensionamento da estrutura metálica.

2.1 SISTEMA ESTRUTURAL

A definição do sistema estrutural do dimensionamento inicia-se pelo levantamento das cargas (massa, sobre cargas), posteriormente o dimensionamento das vigas que ancoram a modulação de painéis wall. Estas vigas, em suas reações, transferem os esforços para o pórtico principal, cujo este é dimensionado na sequência.

é uma etapa inicial de projeto e sua escolha adequada proporciona benefícios para o conjunto da obra, como: menor peso da estrutura, facilidade de fabricação, rapidez de montagem e menor custo. Este pode ser definido a partir da avaliação do projeto.

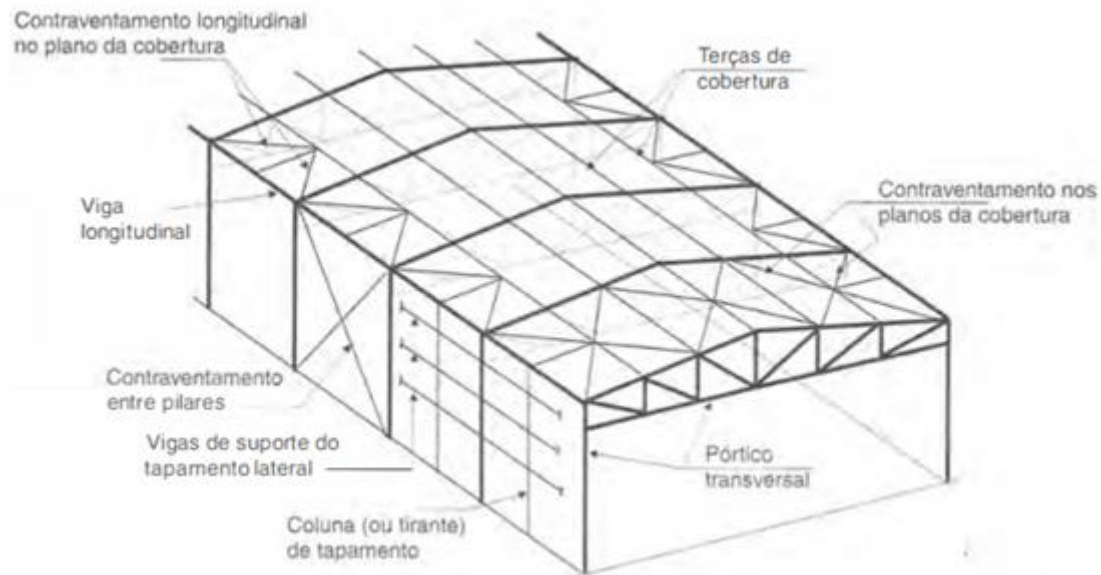
A definição do sistema estrutural consiste na concepção do modelo a ser dimensionado.

Pfeil- Pfeil (2010) Os elementos estruturais podem ser concebidos por modelos planos de elementos (tirantes, colunas, vigas) que formam pórticos, ligados por solda, parafusos

etc. Compostos elementos secundários "sistema de pisos para edificações" (vigas, chapas steel deck etc.)

Estes elementos podem formar sistema de elementos bidimensionais na figura 1.

Figura 1- Sistema de elementos estruturais



Fonte: Pfeil- Pfeil (2010)

2.2 MATERIAIS

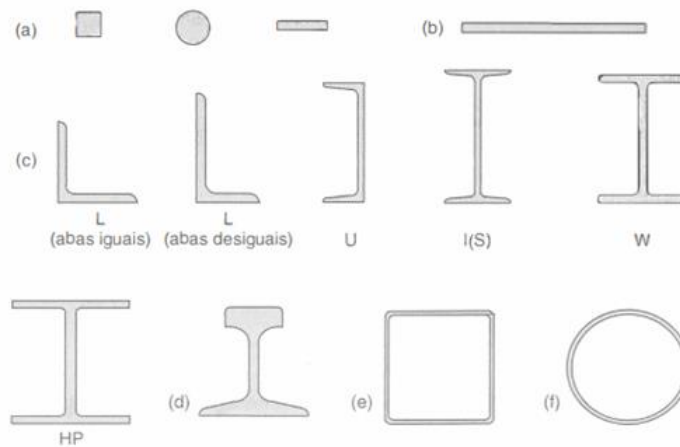
Os elementos que normalmente compõem uma estrutura metálica, que atendem a NBR 8800/2008 e satisfazem a necessidade deste trabalho são elementos de aço do tipo laminado, soldado e forjado. Estes podem ser identificados por sua:

- Geometria definida (perfil, barras, chapa);
- Composição química;
- Propriedades mecânicas.

2.2.1 PERFIS, BARRAS E CHAPAS

Os produtos estruturais laminados produzidos pelas usinas são fornecidos sob a forma de perfis, barras e chapas, como mostra a Figura 2.

Figura 2 -Tipos de perfis laminados



Fonte: Pfeil- Pfeil (2010).

Os perfis soldados são formados pela associação de chapas ou perfis laminados simples por ligações soldadas. Os produtos de aço são divididos em duas categorias, conforme as tabelas 1 a seguir:

Tabela 1- Propriedades mecânicas de ligas padrão ASTM conforme NBR 8800/2008.

Classificação	Denominação	Produto	Grupo/grau	f_y (MPa)	f_u (MPa)
Aços-carbono	A-36	Perfis	1, 2 e 3	250	400 a 550
		Chapas e Barras	$t < 200$ mm		
	A-500	Perfis	Grupo 4	230	310
				290	400
Aços de baixa liga e alta resistência mecânica	A-572	Perfis	Grupos 1, 2 e 3	Grau 42	290
				Grau 50	345
		Chapas e Barras	Grau 42 ($t \leq 150$ mm)	290	415
				Grau 50 ($t \leq 100$ mm)	345
Aços de baixa liga e alta resistência mecânica resistentes à corrosão atmosférica	A-242	Perfis	Grupo 1	345	485
			Grupo 2	315	460
		Chapas e Barras	$t < 19$ mm	345	480
			$19 \text{ mm} < t < 37,5$ mm	315	460
			$37,5 \text{ mm} < t < 100$ mm	290	435
	A-588	Perfis	Grupos 1 e 2	345	485
		Chapas e Barras	$t \leq 100$ mm	345	480

Fonte: Pfeil- Pfeil (2010).

Conforme a ABNT NBR 8800/2008, devem ser adotados os valores de propriedades mecânicas abordados abaixo.

- a) Módulo de elasticidade; $\rightarrow E = E_s = 200.000 \text{ Mpa}$
- b) Coeficiente de Poisson $\rightarrow \nu = 0,3$
- c) Módulo de elasticidade transversal $\rightarrow G = 77000 \text{ Mpa}$
- d) Coeficiente de dilatação térmica $\rightarrow \beta_a = 1,2 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
- e) Massa específica $\rightarrow \rho_a = 7850 \text{ Kg/m}^3$

2.3 AÇÕES NA ESTRUTURA

O levantamento das ações na estrutura é uma das primeiras análises a serem elaboradas posteriormente a definição das premissas e da concepção. Este processo é elaborado pela definição das ações permanentes, cujo podem ser classificadas como:

- Permanentes diretas:
- Permanentes indiretas:

Também como, é levantado as ações variáveis e ações excepcionais. Conforme sua definição, estas podem ser obtidas através das seguintes normas:

ABNT NBR 8800/2008: projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios;

ABNT NBR 8681/2003: ações e segurança nas estruturas: procedimento;

ABNT NBR 6123/1988: forças devido ao vento em edificações: procedimento;

ABNT NBR 6120/1980: cargas para o cálculo de estruturas de edificações.

Com isto, segue as definições delas conforme a NBR 8800/2008

2.3.1 AÇÕES PERMANENTES DIRETAS

Massa da estrutura e massa dos elementos construtivos fixos. As densidades do aço e outros materiais podem ser extraídos com base na NBR 6120.

2.3.2 AÇÕES PERMANENTES INDIRETAS

Estas são constituídas pelas deformações impostas por retração, dilatações e deformações, deslocamentos e imperfeições geométricas. (NBR 8800/2008).

2.3.3 AÇÕES VARIÁVEIS

estas apresentam variações significativas durante a vida útil da construção e são constituídas pelas cargas acidentais decorrentes do uso, ocupação da edificação, ações do vento etc. (NBR 8800/2008)

2.3.4 AÇÕES EXCEPCIONAIS

Estas, tem a duração extremamente curta e probabilidade muito baixa de ocorrência durante a vida da construção. Porém devem ser consideradas nos projetos de determinadas estruturas.

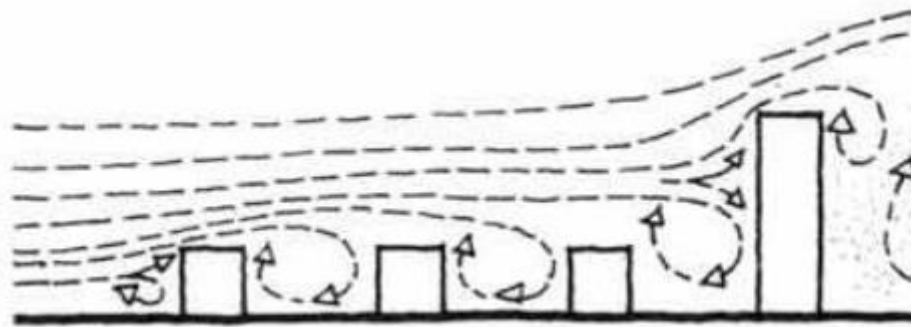
2.3.5 AÇÃO DOS VENTOS

A ação dos ventos tem uma influência muito importante nos carregamentos acidentais das estruturas em geral. Pois ela é determinada em função da área de da velocidade característica do vento “ V_k ”. (NBR 6123/1988). Quanto maior a velocidade, maior a pressão do vento conforme a expressão abaixo que a determina:

$$q = 0,613 * V_k^2$$

O vento deve ser compreendido como o movimento de uma massa de ar devido as variações de temperatura e pressão conforme figura 3.

Figura 3 - Ação das linhas de fluxo nas edificações



Fonte: Leão-Aragão (2013).

Estas ações e linhas de fluxo formam combinações que produzem condições favorável e desfavoráveis a edificação sujeita a estas ações conforme figura 4 abaixo;

Figura 4 - Condições de pressão em edificações



Fonte: Leão-Aragão (2013).

Estas ações são classificadas como:

- Barlavento: Região onde sobra o vento em relação a edificação
- Sobrepressão: Pressão efetiva acima da pressão atmosférica de referência (sinal positivo)
- Sota-vento: Região oposta àquela de onde sopra o vento em relação à edificação
- Sucção: Pressão efetiva abaixo da pressão atmosférica de referência (sinal negativo)

Nas estruturas metálicas, esta deve ser analisada com maior cautelas, pois devido o aço possuir propriedades mecânicas superiores ao concreto, ter alta resistência a tração, o volume de aço é bem menor. E consequentemente sua massa. Ou seja, em um breve comparativo, um galpão com área de 1000,00 m² tem uma massa própria com uma faixa de variação de 40 a 50% menor.

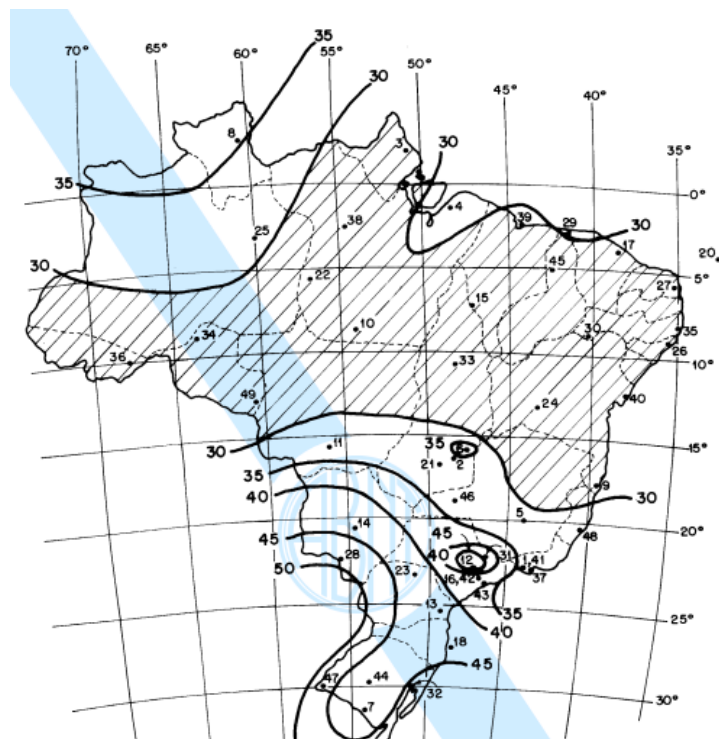
2.3.6 VELOCIDADE DO VENTO

Segundo a NBR 6123/1988, a velocidade do vento é determinada na equação da velocidade característica “ V_k ” onde nesta, é multiplicado os fatores de cálculo e a velocidade básica do vento. Onde segue-se demonstrando cada um a seguir:

- Velocidade básica do vento, “ V_o ”:

É definida através do mapa de isopletas que cujo é encontrado na NBR 6123/1988. Para encontrar a mesma, basta saber a localização onde a obra será construída e retirar o módulo dela. A máxima é determina em m/s e considerada em um intervalo de 3 s em um período de 50 anos conforme figura 5.

Figura 5 - Mapa das isopletas (NBR 6123)



Fonte: NBR 6123/1988

Velocidade básica do vento “ V_K ”

Ela é obtida através da velocidade básica e dos fatores S_1 , S_2 e S_3 . Determinada sob a seguinte equação conforme a NBR 6123/1988

$$V_K = V_0 * S_1 * S_2 * S_3$$

Os fatores citados anteriormente são classificados

Fator topográfico (S_1): Este fator é determinado em função da variação topográfica do terreno.

Tabela 2 - Fator topográfico S_1

Classe A	Terreno plano ou fracamente acidentado: $S_1 = 1,0$
Classe B	Taludes ou morros (para definição de valores idem a item 5.2 da norma): S_2
Classe C	Vales profundos protegidos do vento em qualquer direção: $S_3 = 0,9$

Fonte: NBR 6123/1988

Fator (S_2):

Este fator é determinado em função do efeito combinado da rugosidade do terreno e da variação da velocidade do vento com a altura do terreno e das dimensões da edificação ou parte da edificação em consideração. E pode ser classificado em 5 categorias:

- Categoria 1: Superfícies lisas de grandes dimensões com mais de 5 km de extensão, medida na direção e sentido do vento incidente.
- Categoria 2: Terrenos abertos em nível ou aproximadamente em nível, com poucos obstáculos isolados. Com altura média abaixo de 1,0 metro.
- Categoria 3: Terrenos planos ou isolados com obstáculos, tais como sabes e muros, pouco quebra ventos de árvores, edificações baixas e esparsas. Com altura média do topo dos obstáculos de 3,0 metros.

- Categoria 4: Terrenos cobertos por obstáculos numerosos e pouco espaçados, zona florestal industrial ou urbanizada. Com altura média do topo dos obstáculos de 10 metros

- Categoria 5: Terrenos cobertos por obstáculos numerosos, grandes, altos e pouco espaçados.

Fator (S₃):

Este fator é baseado em conceitos estatísticos e considera o grau de segurança requerido e a vida útil da edificação demonstrado na tabela 3.

Tabela 3 -Valores fator estatístico S₃

Grupo	Descrição	S ₃
1	Edificações cuja ruína total ou parcial pode afetar a segurança ou possibilidade de socorro a pessoas após uma tempestade destrutiva (hospitais, quartéis de bombeiros e de forças de segurança, centrais de comunicação, etc.)	1,10
2	Edificações para hotéis e residências. Edificações para comércio e indústria com alto fator de ocupação	1,00
3	Edificações e instalações industriais com baixo fator de ocupação (depósitos, silos, construções rurais, etc.)	0,95
4	Vedações (telhas, vidros, painéis de vedação, etc.)	0,88
5	Edificações temporárias. Estruturas dos grupos 1 a 3 durante a construção	0,83

Fonte: NBR 6123/1988

Determinação da Pressão Dinâmica

Conforme citado anteriormente, A pressão dinâmica, segundo a NBR 6123/1988, é determinada pela equação:

$$q = 0,613 * V k^2$$

Sendo q em N/m² e V k em m/s.

2.3.7 Coeficientes de Pressão Externa e Interna

A força de vento depende da diferença de pressão nas faces opostas da parte da edificação, com isto é necessário o coeficiente de pressão externa Δp_e e interna Δp_i para determinar esta diferença de pressão, produzindo a seguinte equação conforme NBR 6123/1988:

$$\Delta p = \Delta p_e - \Delta p_i$$

Quanto as combinações dos coeficientes de pressão externa e interna são feitas utilizando coeficientes de forma têm valores definidos para diferentes tipos de construção na NBR6123/1988, que foram obtidos através de estudos experimentais em túneis de vento. A força devida ao vento através dos coeficientes de forma pode ser expressa por:

$$F = \Delta p * q * A$$

2.3.8 COMBINAÇÕES DAS AÇÕES

Para determinar os carregamentos que atuam em uma estrutura é necessário realizar a combinações das ações. Conforme a NBR 8800/2008, estas, são determinadas pelos quadros 1, 2, 3 e 4 a seguir.

Quadro 1 - Coeficientes de ponderação das ações [$Y=Y_{f1}Y_{f3}$] NBR 8800

Combinações	Ações permanentes (γ_g) ^{1) 3)}					
	Diretas					Indiretas
	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)

Fonte: NBR 8800

Quadro 2 - Ações variáveis NBR 8800

	Ações variáveis (γ_q) ^{1) 4)}			
	Efeito da temperatura ²⁾	Ação do vento	Ações truncadas ⁵⁾	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

Fonte: NBR 8800

Quadro 3 - Ações variáveis NBR 8800

Ações		γ_{Ω} ^a		
		ψ_0	ψ_1 ^d	ψ_2 ^e
Ações variáveis causadas pelo uso e ocupação	Locais em que não há predominância de pesos e de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, nem de elevadas concentrações de pessoas ^{b)}	0,5	0,4	0,3
	Locais em que há predominância de pesos e de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, ou de elevadas concentrações de pessoas ^c	0,7	0,6	0,4
	Bibliotecas, arquivos, depósitos, oficinas e garagens e sobrecargas em coberturas (ver B.5.1)	0,8	0,7	0,6
Vento	Pressão dinâmica do vento nas estruturas em geral	0,6	0,3	0
Temperatura	Variações uniformes de temperatura em relação à média anual local	0,6	0,5	0,3
Cargas móveis e seus efeitos dinâmicos	Passarelas de pedestres	0,6	0,4	0,3
	Vigas de rolamento de pontes rolantes	1,0	0,8	0,5
	Pilares e outros elementos ou subestruturas que suportam vigas de rolamento de pontes rolantes	0,7	0,6	0,4
^a Ver alínea c) de 4.7.5.3. ^b Edificações residenciais de acesso restrito. ^c Edificações comerciais, de escritórios e de acesso público. ^d Para estado-limite de fadiga (ver Anexo K), usar ψ_1 igual a 1,0. ^e Para combinações excepcionais onde a ação principal for sismo, admite-se adotar para ψ_2 o valor zero.				

Fonte: NBR 8800

Quadro 4 - Combinações de ponderações das resistências γ_m

Combinações	Aço estrutural ¹⁾		Concreto γ_c	Aço das armaduras γ_s
	Escoamento, flambagem e instabilidade γ_{a1}	Ruptura γ_{a2}		
Normais	1,10	1,35	1,40	1,15
Especiais ou de construção	1,10	1,35	1,20	1,15
Excepcionais	1,00	1,15	1,20	1,00

¹⁾ Inclui o aço de fôrma incorporada, usado nas lajes mistas de aço e concreto, de pinos e parafusos.

Fonte: NBR 8800

Após todas as combinações levantadas, temos a seguinte equação de combinação demonstrada na equação a seguir:

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

Onde:

$F_{Gi,k}$ → Representa os valores característicos das ações permanentes;

$F_{Q1,k}$ → É o valor característico da ação especial;

$F_{Qj,k}$ → Representa os valores característicos das ações variáveis que podem atuar concomitantemente com a ação variável especial;

$\Psi_{0j,ef}$ → Representa a combinação de efetivos de cada uma das ações variáveis que pode atuar concomitantemente com a ação variável especial F_{Q1} .

2.4 CONDIÇÕES ESPECÍFICAS PARA DIMENSIONAMENTO DE BARRAS PRISMÁTICAS DE AÇO

Segundo a NBR 8800/2008, que considera os estados limites últimos, estes elementos, submetidos a ações estáticas, devem satisfazer a condição de desigualdade, expressa

pela equação, atender aos limites de esbeltez e devem manter os deslocamentos elásticos verticais e horizontais dentro dos limites específicos (5):

$$Rd > Sd$$

Onde:

$Rd \rightarrow$ É o valor resistente de cálculo;

$Sd \rightarrow$ É o valor solicitação de cálculo.

2.4.1 CONDIÇÕES DOS DESLOCAMENTOS MÁXIMOS

Conforme a NBR 8800/2008, os deslocamentos ou flechas devem atender estas condições conforme sua classificação de utilização demonstrados no quadro 5.

Quadro 5 - Deslocamentos máximos NBR 8800

Descrição	δ ¹⁾
- Travessas de fechamento	$L/180$ ²⁾
	$L/120$ ^{3) 4)}
- Terças de cobertura ⁷⁾	$L/180$ ⁵⁾
	$L/120$ ⁶⁾
- Vigas de cobertura ⁷⁾	$L/250$ ⁸⁾
- Vigas de piso	$L/350$ ⁸⁾
- Vigas que suportam pilares	$L/500$ ⁸⁾

Fonte: NBR 8800/2008

2.4.2 BARRAS PRISMÁTICAS TRACIONADAS NBR 8800

Para as barras prismáticas submetidas à força axial de tração, incluindo as ligadas por pino. Deverão atender a condição determinada pela equação:

$$N_{t,sd} \leq N_{t,Rd}$$

Onde:

2.5 $Nt, sd \rightarrow$ FORÇA DE TRAÇÃO SOLICITANTE DE CÁLCULO

$Nt, Rd \rightarrow$ Forma de tração resistente de cálculo

Para determinar esta solicitação, segundo a NBR 8800/2008, deve-se analisar o escoamento da secção bruta e o escoamento da secção líquida. Utilizando o menor módulo como referência.

a) Para escoamento da seção bruta

$$Nt, Rd = \frac{Ag fy}{\gamma a1}$$

b) Para ruptura da seção líquida

$$Nt, Rd = \frac{Ae fu}{\gamma a2}$$

Onde:

$Ag \rightarrow$ É a área bruta da seção transversal da barra;

$Ae \rightarrow$ É a área líquida efetiva da seção transversal da barra, determinada conforme

5.2.3;

$fy \rightarrow$ É a resistência do escoamento do aço.

- A área líquida efetiva é determinada pela equação:

$$Ae = CtAn$$

Onde:

$An \rightarrow$ É a área líquida da barra, determinada conforme 5.2.4;

$Ct \rightarrow$ É um coeficiente de redução da área líquida, determinado conforme 5.2.5.

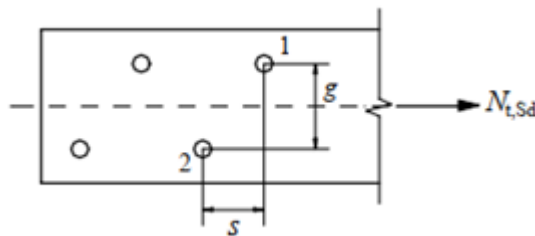
O item 5.2.4 da NBR 8800 determina as seguintes condições:

5.2.4.1 Em regiões com furos, feitos para ligação ou qualquer outra finalidade, a área líquida, A_n , de uma barra é a soma dos produtos da espessura pela largura líquida de cada elemento. Calculada como segue:

- Em ligações parafusadas, a largura dos furos deve ser considerada 2,0 mm maior que a dimensão máxima desses furos, definida em 6.3.6, perpendicular à direção da força aplicada (alternativamente, caso possa garantir que os furos sejam executados com broca, pode-se usar a largura igual a dimensão máxima)
- No caso de uma série de furos distribuídos transversalmente ao eixo da barra, em diagonal a esse eixo ou ziguezague, a largura líquida dessa parte da barra deve ser calculada deduzindo-se da largura bruta a soma das larguras de todos os furos em cadeia, e somando-se para cada linha ligando dois furos a quantidade $\frac{s^2}{4g}$, sendo s e g , respectivamente, os espaçamentos longitudinal e transversal (gabarito) entre esses dois furos (figura 6);
- A largura líquida crítica daquela parte da barra será obtida pela cadeia de furos que produza a menor das larguras líquidas, para as diferentes possibilidades de linhas de ruptura.
- Para cantoneiras, o gabarito “ g ” dos furos em abas opostas deve ser considerado igual à soma dos gabaritos medidos a partir da aeras da cantoneira, subtraída de sua espessura.
- Na determinação da área líquida de seção que compreenda soldas de tampão ou soldas de filete em furos, a área do metal da solda deve ser desprezada.

Na figura 6, verifica-se os espaçamentos.

Figura 6 - Ilustração dos espaçamentos s e g entre os furos 1 e 2



Fonte: NBR 8800

A equação universal para a “ A_n ” pode ser expressa também da seguinte forma:

$$A_n = A_y - n(db + 0,2 + folga)t + i\left(\frac{S^2}{4g}\right)t$$

Onde:

$A_y \rightarrow$ Área bruta

$Db \rightarrow$ Diâmetro parafuso

$t \rightarrow$ Espessura da chapa

$i \rightarrow$ Número de diagonais na linha

$S \rightarrow$ Espaçamento horizontal

$g \rightarrow$ Espaçamento vertical

O Coeficiente de redução da área líquida “ C_t ” tem os seguintes valores conforme NBR 8800/2008

- a) Quando a força de tração for transmitida diretamente para cada um dos elementos da seção transversal da barra, por soldas ou parafusos:

$$C_t = 1,00$$

- b) Quando a força de tração for transmitida somente por soldas transversais:

$$C_t = \frac{A_c}{A_g}$$

2.5.1 BARRAS PRISMÁTICAS COMPRIMIDAS NBR 8800

Para as barras prismáticas comprimidas a condição abaixo deve ser atendida

$$N_{c,sd} \leq N_{c,Rd}$$

Onde:

$N_{c,sd}$ = Força de compressão solicitante de cálculo.

$N_{c,Rd}$ = Forma de compressão resistente de cálculo.

Para determinar esta solicitação, segundo a NBR 8800/2008, deve-se associar aos estados limites últimos de instabilidade por flexão, torsão ou Flexotorção e flambagem local. Determinado pela expressão:

$$N_{c,Rd} = \frac{\chi * Q * A_g * F_y}{\gamma_{a1}}$$

Onde:

- χ = Fator de redução associado a resistência a compressão
- Q = Fator de redução total associado a flambagem local
- A_g = Área bruta da secção transversal da barra
- F_y = Tensão de escoamento da liga metálica em utilização

Com isto, seguimos para as equações de cada elemento que compõe a equação de resistência a compressão.

2.5.1.1 Fator de redução associado a resistência a compressão “ χ ”

Este determina-se pelas seguintes expressões:

• Para $\lambda_0 \leq 1,5 \therefore \chi = 0,658^{\lambda_0^2}$

• Para $\lambda_0 \geq 1,5 \therefore \chi = \frac{0,877}{\lambda_0^2}$

Sendo:

$$\lambda_0 = \frac{\sqrt{Q * A_g * F_y}}{N_e}$$

Onde:

$N_e \rightarrow$ É a força axial de flambagem elástica obtida pelas equações abaixo:

a) Flambagem por flexão em relação ao eixo central da inércia “x” da seção transversal:

$$N_{ex} = \frac{\mu^2 E I_x}{(K_x L_x)^2}$$

b) Flambagem por flexão em relação ao eixo central da inércia “y” da seção transversal:

$$N_{ey} = \frac{\mu^2 E I_y}{(K_y L_y)^2}$$

c) Para flambagem por torção em relação ao eixo longitudinal “z”:

$$N_{ez} = \frac{1}{r_o^2} \left[\frac{\mu^2 E C_w}{(K_z L_z)^2} + GJ \right]$$

d) As barras submetidas a força axial de compressão, na quais os elementos componentes da seção transversal possuem relações entre largura e espessura (relações b/t) que não superam os valores de $\left(\frac{b}{t}\right)_{lim}$, tem o fator de redução total “Q” igual a 1,00.

Onde:

$K_x L_x \rightarrow$ É o comprimento de flambagem por flexão em relação ao eixo x (o coeficiente de flambagem K_x é dado em E.2.1);

$I_x \rightarrow$ É o momento de inércia da seção transversal em relação ao eixo x;

$K_y L_y \rightarrow$ É o comprimento de flambagem por flexão em relação ao eixo “y” (o coeficiente de flambagem K_y é dado em E.2.1);

$I_y \rightarrow$ É o momento de inércia da seção transversal em relação ao eixo “y”

$K_z L_z \rightarrow$ É o comprimento de flambagem por torção (o coeficiente de flambagem K_z é dado em E.2.2);

$C_w \rightarrow$ É a constante de empenamento da seção transversal;

$G \rightarrow$ É o módulo de elasticidade transversal do aço;

$J \rightarrow$ É a constante de torção da seção transversal;

$r_o \rightarrow$ É o raio de giração polar da seção bruta em relação ao centro de cisalhamento, dado por:











$$r_o = \sqrt{(r_x^2 + r_y^2 + x_0^2 + y_0^2)}$$

Onde r_x e r_y são os raios de giração em relação aos eixos centrais x e y, respectivamente, e x_0 e y_0 são as coordenadas do centro de cisalhamento na direção dos eixos centrais x e y, respectivamente, em relação ao centro geométrico da seção.

No quadro 6, verifica-se os coeficientes vínculos.

Sendo:

Quadro 6 - Coeficiente de flambagem por flexão de elementos isolados

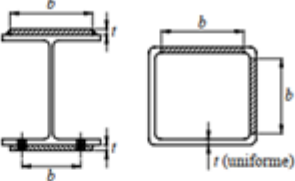
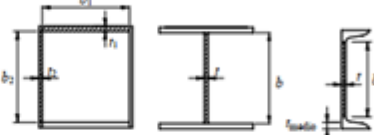

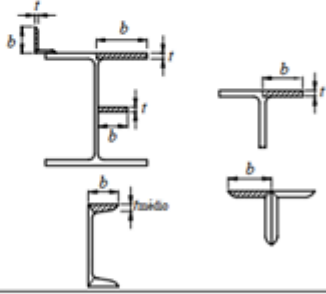


	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
A linha tracejada indica a linha elástica de flambagem						
Valores teóricos de K_x ou K_y	0,5	0,7	1,0	1,0	2,0	2,0
Valores recomendados	0,65	0,80	1,2	1,0	2,1	2,0
Código para condição de apoio	 Rotação e translação impedidas  Rotação livre, translação impedida  Rotação impedida,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

Fonte: NBR 8800

2.5.1.2 Fator de redução total associado a flambagem local “Q”

Este é definido pela relação entre largura e espessura relações $(b/t)_{lim}$. Sendo determinado pelas seguintes condições conforme o anexo “F” da NBR 8800/2008. Demonstrados no quadro 7.

Quadro 7 - Valores (b/t) lim.

Elementos	Grupo	Descrição dos elementos	Alguns exemplos com indicação de b e t	$(b/t)_{lim}$
AA	1	<ul style="list-style-type: none"> - Mesas ou almas de seções tubulares retangulares - Lamelas e chapas de diafragmas entre linhas de parafusos ou soldas 		$1,40 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$
	2	<ul style="list-style-type: none"> - Almas de seções I, H, ou U - Mesas ou almas de seção caixão - Todos os demais elementos que não integram o Grupo 1 		$1,49 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$
AL	3	- Abas de cantoneiras simples ou múltiplas providas de chapas de travessamento		$0,45 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$
	4	<ul style="list-style-type: none"> - Mesas de seções I, H, T ou U laminadas - Abas de cantoneiras ligadas continuamente ou projetadas de seções I, H T ou U laminadas ou soldadas - Chapas projetadas de seções I, H, T ou U laminadas ou soldadas 		$0,56 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$
	5	- Mesas de seções I, H T ou U soldadas ¹⁾		$0,64 \sqrt{\frac{E}{(f_y / k_c)}}$
	6	- Almas de seções T		$0,75 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$

Fonte: NBR 8800

2.5.2 BARRAS PRISMÁTICAS COMPRIMIDAS NBR 14762

Para as barras prismáticas comprimidas a condição abaixo deve ser atendida

$$N_{c,sd} \leq N_{c,Rd}$$

Onde:

$N_{c,sd}$ = Força de compressão solicitante de cálculo

$N_{c,Rd}$ = Forma de compressão resistente de cálculo

Para determinar esta solicitação, segundo a NBR 8800/2008, deve-se associar aos estados limites últimos de instabilidade por flexão, torsão ou Flexotorção e flambagem local. Determinado pela expressão abaixo.

$$N_{c,Rd} = \frac{\chi * A_{ef} * F_y}{\gamma}$$

Onde:

- $\gamma = 1,20$
- χ = Fator de redução associado a resistência a compressão
- A_{ef} = Área bruta da secção transversal da barra
- F_y = Tensão de escoamento da liga metálica em utilização

Com isto, seguimos para as equações de cada elemento que compõe a equação de resistência a compressão

Fator de redução associado a resistência a compressão “ χ ”

Este determina-se pelas seguintes expressões:

- Para $\lambda_0 \leq 1,5$: $\chi = 0,658^{\lambda_0^2}$

- Para $\lambda_0 \geq 1,5$: $\chi = \frac{0,877}{\lambda_0^2}$

Sendo:

$$\lambda_0 = \left(\frac{A * f_y}{N_e} \right)^{0,5}$$

Onde:

N_e → É a força axial de flambagem elástica obtida pelas equações abaixo:

e) Flambagem por flexão em relação ao eixo central da inércia “x” da seção transversal:

$$N_{ex} = \frac{\mu^2 E I_x}{(K_x L_x)^2}$$

f) Flambagem por flexão em relação ao eixo central da inércia “y” da seção transversal:

$$N_{ey} = \frac{\mu^2 EI_y}{(K_y L_y)^2}$$

g) Para flambagem por torção em relação ao eixo longitudinal “z”:

$$N_{ez} = \frac{1}{r_o^2} \left[\frac{\mu^2 E C_w}{(K_z L_z)^2} + GJ \right]$$

2.5.3 BARRAS PRISMÁTICAS SUBMETIDAS A FLEXÃO SIMPLES NBR 8800

Para as barras prismáticas comprimidas a condição abaixo deve ser atendida

$$M_{sd} \leq M_{rd}$$

Onde:

M_{sd} = Momento fletor solicitante de cálculo

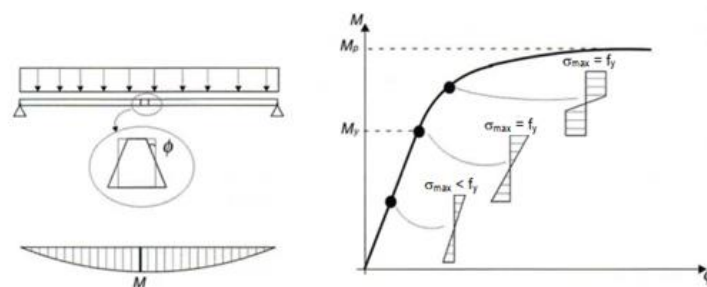
M_{rd} = Momento fletor resistente de cálculo

Onde no estado limite de utilização, deve-se analisar:

- Plastificação
- Flambagem local
- Flambagem lateral com torção

Também como, na flexão devemos atentar em qual regime de trabalho a tensão de flexão irá atuar, se ela atuará no regime elástico, inelástico ou plástico. Demonstrado na figura 7.

Figura 7 - Atuação dos regimes a flexão



Fonte: Pfeil- Pfeil (2010)

- Índice de esbeltez

Ele avalia se a flambagem de um elemento comprimido é local ou global. Com esta determinação, pode-se verificar a condição ou facilidade deste elemento flambar ou encurvar. Demonstrado na figura 8.

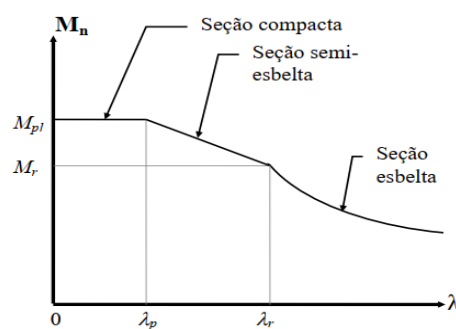
Figura 8 - Ensaio de flambagem



Fonte: RIBBELER (2010)

No mesmo também consegue identificar os regimes da secção esbelta (regime elástico), semi esbelta (regime inelástico [flambagem + plastificação]) ou secção compacta (regime plástico). Demonstrado na figura 9.

Figura 9 - Determinação dos regimes



Fonte: Pfeil- Pfeil (2010)

Com isto, conforme a NBR 8800/2008, o momento resistente de cálculo é determinado conforme os anexos “G” e “H. Considerando estados-limites últimos de

flambagem lateral com torção (FLT), flambagem local da mesa comprimida (FLM) e a flambagem local da alma (FLA). Demonstrados no quadro 8.

Quadro 8 - Parâmetros para Mrd

Tipo de seção e eixo de flexão	Estados-límites aplicáveis	M_r	M_{cr}	λ	λ_p	λ_r
Seções I e H com dois eixos de simetria e seções U não sujeitas a momento de torção, fletidas em relação ao eixo de maior momento de inércia	FLT	$(f_y - \sigma_r)W$ Ver Nota 5 a seguir	Ver Nota 1 a seguir	$\frac{L_b}{r_y}$	$1,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$	Ver Nota 1 a seguir
	FLM	$(f_y - \sigma_r)W$ Ver Nota 5 a seguir	Ver Nota 6 a seguir	$\frac{b}{t}$ Ver Nota 8 a seguir	$0,38 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$	Ver Nota 6 a seguir
	FLA	$f_y W$	Viga de alma esbelta (Anexo H)	$\frac{h}{t_w}$	$3,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$	$5,70 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$
Seções caixão e tubulares retangulares, duplamente simétricas, fletidas em relação a um dos eixos de simetria que seja paralelo a dois lados	FLT Ver Nota 7 a seguir	$(f_y - \sigma_r)W$ Ver Nota 5 a seguir	$\frac{2,00 C_b E}{\lambda} \sqrt{J A}$	$\frac{L_b}{r_y}$	$\frac{0,13 E}{M_{pt}} \sqrt{J A}$	$\frac{2,00 E}{M_r} \sqrt{J A}$
	FLM	$f_y W_{ef}$ Ver Nota 4 a seguir	$\frac{W_{ef}^2}{W} f_y$ Ver Nota 4 a seguir	$\frac{b}{t}$ Ver Nota 8 a seguir	$1,12 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$	$1,40 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$
	FLA	$f_y W$	-	$\frac{h}{t_w}$	Ver Nota 10 a seguir	$5,70 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$

Fonte: NBR 8800

Onde:

a) (Nota 1)

$$\lambda_r = \frac{1,38 * \sqrt{I_y} * J}{r_y * J * \beta_1} * \sqrt{1} + \sqrt{1 + \frac{27 * C_W * \beta_1}{I_x}}$$

$$M_{cr} = \frac{C_b * \pi^2 * E * I_y}{L b^2} * \frac{\sqrt{C_W}}{I_y} * \left(1 + 0,039 * \frac{J * L b^2}{C_W} \right)$$

b) (Nota 8) $\rightarrow \left[\frac{b}{t} \right]$ é relação entre largura e espessura aplicável a mesa do perfil, no caso de seções I e H com um eixo de simetria $\left[\frac{b}{t} \right]$ refere-se a mesa comprimida (para mesas de seções I e H, “b” é a metade da largura total para mesas de seções U, a largura total,

para seções tubulares retangulares, a largura da parte plana e para perfis caixão, a distância livre entre almas).

c) (Nota 6) → Para perfis laminados:

$$M_{cr} = \frac{0,69}{\lambda^2} * W_c ; \lambda_r = 0,83 * \sqrt{\frac{E}{(f_y - \sigma_r)}}$$

d) Para seções caixão:

$$\lambda_p = 3,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

e) Para seções tubulares retangulares:

$$\lambda_p = 2,42 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

Com isto, o momento fletor resistente de cálculo para tipos de seção e eixos de flexão se define pelas seguintes situações demonstradas abaixo para o estado limite FLT.

a) Se:

$$\lambda \leq \lambda_p \rightarrow M_{Rd} = \frac{M_{Pl}}{\gamma_{a1}}$$

b) Se:

$$Se \lambda_p < \lambda \leq \lambda_r \rightarrow M_{Rd} = \frac{C_b}{\gamma_{a1}} * \left[M_{pl} - (M_{pl} - M_r) \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \right]$$

c) Se:

$$\lambda > \lambda_r \rightarrow M_{Rd} = \frac{M_{cr}}{\gamma_{a1}} \leq \frac{M_{Pl}}{\gamma_{a1}}$$

Onde:

- Momento Fletor plastificação = $[M_{pl} = Z * f_y]$
- Momento fletor correspondente ao início do escoamento = $[M_r = W * 0,7 * f_y]$
- Momento fletor de flambagem elástica = $\left[M_{cr} = \frac{C_b * \pi^2 * E * I_y}{L b^2} * \sqrt{\frac{C_w}{I_y}} * \right.$

$$\left. \left(1 + 0,039 * \frac{I_t * L b^2}{C_w} \right) \right]$$

Sendo:

I_t = Momento de inércia a torção uniforme do perfil

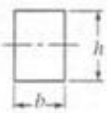
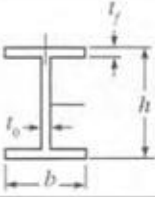

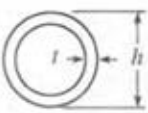
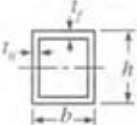
C_w = Constante de empenamento do perfil

C_b = Fator de modificação do diagrama de momento fletor não uniforme, podendo adotar conservativamente $C_b=1,0$

Z = Módulo de resistência plástico

Onde:

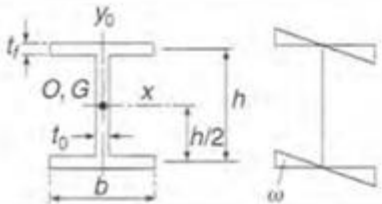
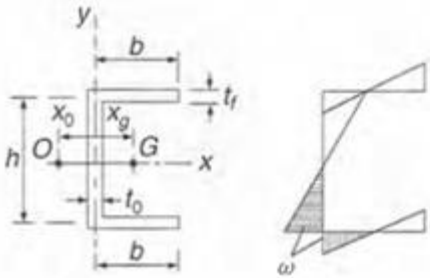
Tabela 4 - Determinação módulos plástico (Z) e coeficiente de forma (Z/W)

Seção	Módulo Plástico Z	Z/W
	$\frac{bh^2}{4}$	1,5
	$(x-x)$ $bt_f(h-t_f) + \frac{t_o}{4}(h-2t_f)^2$	1,12 (aprox.)
	$(y-y)$ $\frac{b^2t_f}{2} + \frac{1}{4}(h-2t_f)t_o^2$	1,55 (aprox.)
	$\frac{h^3}{6}$	1,70
	$\frac{h^3}{6} \left[1 - \left(1 - \frac{2t}{h} \right)^3 \right]$	$\frac{16}{3\pi} \left[\frac{1 - \left(1 - \frac{2t}{h} \right)^3}{1 - \left(1 - \frac{2t}{h} \right)^4} \right]$
	$th^2 (t \ll h)$	1,27 ($t \ll h$)
	$\frac{bh^2}{4} \left[1 - \left(1 - \frac{2t_o}{b} \right) \left(1 - \frac{2t_f}{h} \right)^2 \right]$	1,12 (aprox.)

Fonte: Pfeil- Pfeil (2010)

Nas tabelas 04 e 05 pode-se observar as equações dos coeficientes de forma dos perfis e constantes de empenamento. A serem utilizados no dimensionamento do momento fletor nesta análise.

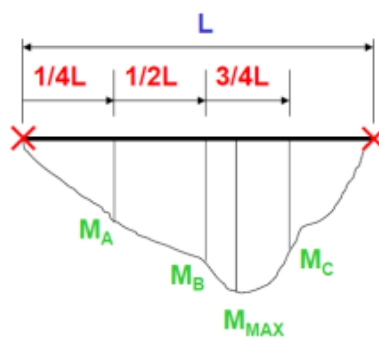
Tabela 5 - Parâmetros de Flexotorção

O — Centro de torção. G — Centro de gravidade. J — Momento de inércia à torção pura. C_w — Constantes de empenamento $= \int_A \omega^2 dA$.	
	$J = \frac{1}{3} (2bt_f^3 + ht_w^3)$ $C_w = I_f \frac{h^2}{2} = \frac{t_f b^3 h^2}{24} = \frac{h^2 I_x}{4}$
	$x_0 = h \frac{I'_{xy}}{I_x}$ <p>I'_{xy} = produto de inércia da metade da seção (acima do eixo x) em relação aos eixos x, y. I_x = momento de inércia de toda seção em relação ao eixo x.</p> $t_f = t_w \quad x_0 = \frac{th^2 b^2}{4I_x}$ $J = \frac{1}{3} \sum bt^3 = \frac{1}{3} (2bt_f^3 + ht_w^3)$ $C_w = \frac{h^2}{4} (I_y + A x_g^2 - A x_0 x_g)$

Fonte: Pfeil- Pfeil (2010)

Porém para Balanços extremos sem contenção lateral pode adotar os pontos de contraventamento lateral determinado na NBR 8800 e demonstrado na figura 10.

Figura 10 - Pontos contraventamento



Fonte: Pfeil- Pfeil (2010)

Temos a seguinte equação:

$$Cb = \frac{12,5 Mmax}{2,5Mmax + 3MA + 4MB + 3MC} \leq 3,0$$

Barras prismáticas submetidas a flexão simples NBR 14762

Para as barras prismáticas comprimidas a condição abaixo deve ser atendida

$$Msd \leq Mrd$$

Onde:

Msd = Momento fletor solicitante de cálculo

Onde:

$$Mrd = \frac{Wef * fy}{\gamma a1}$$

$$\rightarrow \text{Se: } \lambda p \leq 0,673 \rightarrow Wef = W$$

$$\rightarrow \text{Se: } \lambda p > 0,673 \rightarrow Wef = W \left(1 - \frac{0,22}{\lambda p}\right)$$

$$\rightarrow \lambda p = \left(\frac{Wfy}{Ml}\right)^{0,5}$$

Onde:

Ml = Momento fletor de flambagem local elástica

$$Ml = Kl * \left(\frac{\pi^2 * E}{12 * (1 - v^2) * \left(\frac{bw}{t}\right)^2} \right) * Wc$$

Onde:

v = Coeficiente de Poisson do aço, adotado igual a 0,3

2.5.4 BARRAS PRISMÁTICAS SUBMETIDAS AO CORTANTE NBR 8800

Para as barras prismáticas submetidas ao cortante devem ser atendida as condições.

$$V_{sd} \leq V_{rd}$$

Onde:

M_{sd} = Força cortante solicitante de cálculo

M_{rd} = Força cortante resistente de cálculo

Com isto:

a) Se:

$$\lambda \leq \lambda_p \rightarrow V_{Rd} = \frac{V_{Pl}}{\gamma_{a1}}$$

b) Se:

$$Se \lambda_p < \lambda \leq \lambda_r \rightarrow V_{Rd} = \frac{\lambda_p}{\lambda} * \frac{V_{Pl}}{\gamma_{a1}}$$

c) Se:

$$\lambda > \lambda_r \rightarrow V_{Rd} = 1,24 * \left(\frac{\lambda_p}{\lambda}\right)^2 * \frac{V_{Pl}}{\gamma_{a1}}$$

Onde:

$$\lambda = \frac{h}{tw}$$

$$\lambda_p = 1,10 * \sqrt{\frac{k_v * E}{f_y}}$$

$$\lambda_r = 1,37 * \sqrt{\frac{k_v * E}{f_y}}$$

$$K_V = \left\{ \begin{array}{l} 5,0 \text{ para almas sem enrijecedores transversais, para } \frac{a}{h} > 3 \text{ ou para } \frac{a}{h} > \left[\frac{260}{\left(\frac{h}{t_w} \right)} \right]^2 \\ 5 + \frac{5}{\left(\frac{a}{h} \right)^2}, \text{ para todos os outros casos} \end{array} \right\}$$

V_{pl} é a força cortante correspondente a plastificação da alma por cisalhamento, dada em 5.4.3.1.2;

a é a distância entre as linhas de centro de dois enrijecedores transversais adjacentes (ver 5.4.3.1.3);

h é a altura da alma, tomada igual a distância entre as faces internas das mesas nos perfis soldados e igual a esse valor menos os dois raios de concordância entre mesa e alma nos perfis laminados.

t_w é a espessura da alma.

Onde:

$$V_{pl} = 0,60 * AW * f_y$$

Barras prismáticas submetidas ao cortante NBR 14762

Para as barras prismáticas submetidas ao cortante devem ser atendida as condições abaixo:

$$V_{sd} \leq V_{rd}$$

Onde:

M_{sd} = Força cortante solicitante de cálculo

M_{rd} = Força cortante resistente de cálculo

Onde:

$$\rightarrow \text{Se } \left(\frac{h}{t} \right) \leq 1,08 * \left(E * \left(\frac{K_v}{f_y} \right)^2 \right)$$

$$V_{rd} = \frac{0,6 * f_y * h * t}{\gamma_{a1}}$$

$$\rightarrow \text{Se } \left[1,08 * \left(E * \left(\frac{Kv}{fy} \right)^2 \right) \right] < \left(\frac{h}{t} \right) \leq [1,4 * (E * (Kv/fy)^2)]$$

$$Vrd = 0,65 * t^2 * \left[\frac{(Kv * fy * E)^{0,5}}{Ya1} \right]$$

$$\rightarrow \text{Se } \left(\frac{h}{t} \right) > [1,4 * (E * (Kv/fy)^2)]$$

$$Vrd = \frac{\left[\frac{0,905 * E * Kv * t^3}{h} \right]}{Ya1}$$

Onde:

→ t = Espessura da alma

→ h = Largura da alma

→ Kv = 5,0

2.5.5 BARRAS SUBMETIDAS À COMBINAÇÃO DE ESFORÇOS SOLICITANTES NBR 8800

Para as barras submetidas a combinação de esforços solicitantes ou a “Flexo torsão”, temos as seguintes condições abaixo:

a) Se:

$$\text{para } \frac{N_{sd}}{N_{Rd}} \geq 0,2 \rightarrow \frac{N_{sd}}{N_{Rd}} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{sd,x}}{M_{Rd,x}} + \frac{M_{sd,y}}{M_{Rd,y}} \right) \leq 1,0$$

b) Se:

$$\text{para } \frac{N_{sd}}{N_{Rd}} < 0,2 \rightarrow \frac{N_{sd}}{2 * N_{Rd}} + \left(\frac{M_{sd,x}}{M_{Rd,x}} + \frac{M_{sd,y}}{M_{Rd,y}} \right) \leq 1,0$$

Onde:

→ N_{sd} é a força axial solicitante de cálculo de tração ou de compressão, a que for aplicável;

→ N_{Rd} é a força axial resistente de cálculo de tração ou de compressão, a que for aplicável, determinada respectivamente de acordo com 5.2 ou 5.3;

→ $M_{Rd,x}$ e $M_{Rd,y}$ são os momentos fletores resistentes de cálculo, respectivamente em relação aos eixos “x” e “y” da seção transversal, determinados de acordo com 5.4;

2.5.6 LIGAÇÕES SODADAS NBR 8800

Onde, para penetração parcial:

$$F_{w,Rd}^{a b d} = \frac{0,60 * A_w * f_w}{Y_{w1}}$$

$$\rightarrow Y_{w1} = 1,25$$

$$\rightarrow Y_{w2} = 1,35$$

$$\rightarrow A_w = 0,707 * l * h$$

$$\rightarrow \text{Se Eletrodo E6013} \rightarrow f_u = 60 \text{ Ksi} \rightarrow 415 \text{ Mpa}$$

$$\rightarrow \text{Se Eletrodo E7018} \rightarrow f_u = 70 \text{ Ksi} \rightarrow 485 \text{ Mpa}$$

Sendo:

- l = Comprimento da perna de solda
- h = Dimensão do chanfro de solda

Quadro 9 - Espessura garganta de solda

Menor espessura do metal-base na junta mm	Espessura mínima da garganta efetiva mm ¹⁾
Abaixo de 6,35 e até 6,35	3
Acima de 6,35 até 12,5	5
Acima de 12,5 até 19	6
Acima de 19 até 37,5	8
Acima de 37,5 até 57	10
Acima de 57 até 152	13
Acima de 152	16
¹⁾ Ver 6.2.2 para definição de garganta efetiva.	

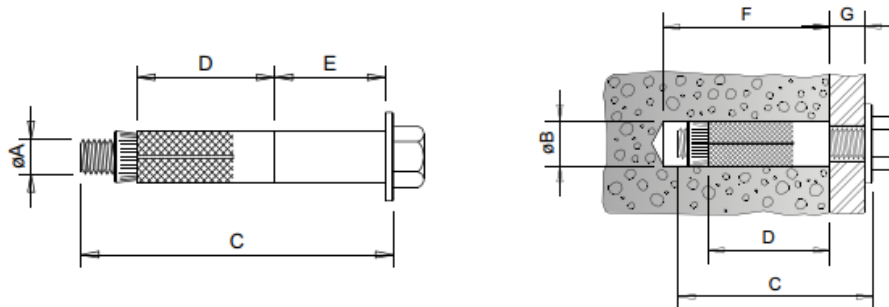
Fonte: NBR 8800

No quadro 09, pode-se observar o respectivo filete de solda determinado na NBR 8800/2008.

2.5.7 DIMENSIONAMENTO DE PARABOLT (CHUMBADOR)

Os parabolts são elementos comerciais desenvolvidos por fabricantes. Estes possuem resistência a tração e ao cisalhamento especificado catálogo. Abaixo segue a especificação de parabolts com camisa pelo fabricante Walsywa. Demonstrados na tabela 6.

Tabela 6 - Catálogo chumbador



CÓDIGO	Ø da rosca	Ø do furo		comprimento do parafuso		comprimento da jaqueta	comprimento do prolongador	profundidade mínima do furo		esp. máx a ser fixada	Cargas médias* tração (arrancamento)	Cargas médias* cisalhamento
	Ø A	pol.	mm	pol.	mm	D	E	pol.	mm	G		
CB 14200	1/4"	3/8"	10	2"	50	32	22	2"	50	8	1253	800
CBPL 14300				3"	76			3"	76		1839	
CB 56214	5/16"	1/2"	13	2 1/4"	57	38	25	2 1/4"	57	7	1600	1190
CBPL 56314				3 1/4"	82			3 1/4"	82		2073	
CB 38212	3/8"	9/16"	14	2 1/2"	63	40	25	2 1/2"	63	16	2107	1617
CBPL 38312				3 1/2"	89			3 1/2"	89	14	2958	
CB 12300	1/2"	3/4"	19	3"	76	50	33	3"	76	18	2523	2897
CBPL 12412				4 1/4"	114			4 1/4"	114	20	4824	
CB 58312	5/8"	7/8"	22	3 1/2"	89	60	45	3 1/2"	89	18	3333	4967
CBPL 58500				5"	127			5"	127	14	5841	
CB 34412	3/4"	1"	26	4 1/2"	114	80	63	4 1/2"	114	19	4320	6573
CBPL 34612				6 1/2"	165			6 1/2"	165	10	6657	
CB 10600	1"	1 1/4"	32	6"	152	100	79	6"	152	35	7790	12080
CBPL 10900				9"	228			9"	228	30	11676	

* Cargas obtidas em testes realizados em concreto de resistência 20 MPa no IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas) de acordo com o laudo nº 28 202

Fonte: <https://www.walsywa.com.br/catalogos/catalogo-2019-2020-walsywa.pdf>

2.6 DETERMINAÇÃO E DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

A determinação todo e qualquer projeto de engenharia depende de uma sequência de atividades e etapas que englobam um pacote de “premissas de projeto”. Com este envelope completo, o projetista detém as informações necessárias para iniciar o mesmo. Estas atividades formam a seguinte sequência:

- Tipo de obra;
- Localização;
- Dimensões gerais da estrutura: Comprimento, largura, altura.
- Projeto arquitetônico

2.7 DEFINIÇÃO DO SISTEMA ESTRUTURAL

Este é um processo que consiste em etapas de desenvolvimento que devem ter as premissas definidas. Devem ser compostas com termos e atas de reuniões para que não possa ocorrer modificações após elas estarem conclusas. Estão subdivididas em:

ANTEPROJETO: é a apresentação gráfica simplificada em escala de construção para confirmação e/ou correção do estudo preliminar e definição do projeto (Fig. 8).

PROJETO INDICATIVO: é uma versão básica do projeto definitivo, para demonstração.

PROJETO LEGAL: São as etapas onde se levanta os carregamentos, as normas de que irão reger o projeto. No caso desta proposta são as normas de ventos segundo a norma brasileira NBR 6123/1988, de carregamentos segundo a norma brasileira NBR 6120/2000 e projeto de cobertura metálica segundo a norma brasileira NBR 8800/2008.

PROJETO EXECUTIVO: Este processo consiste no dimensionamento do projeto, levantando as cargas máximas para todos os elementos da estrutura, utilizando como estas as NBR'S 6120 e NBR 6123, o dimensionamento dos perfis utilizando a NBR 8800. E as verificações de flecha máxima, rigidez etc. Tudo conforme a NB 8800. Também como, o projeto pluvial utilizando a segundo a norma brasileira NBR 10844/1989.

DETALHAMENTO DO PROJETO: Este é a definição precisa de todos os elementos construtivos serem empregados na construção.

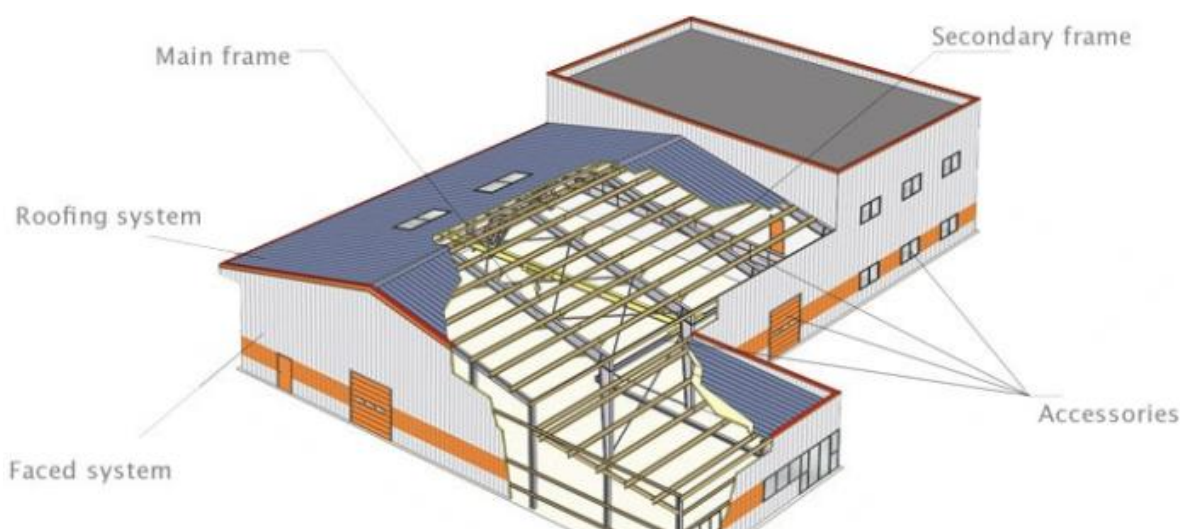
DETALHES CONSTRUTIVOS: Segundo Paulo Dias, são informações gráficas adicionais para melhor definição ou esclarecimento de elementos construtivos a serem executados.

PROJETOS COMPLEMENTARES: são os projetos que complementam o projeto executivo. São os projetos de elementos sustentados pela cobertura, escadas, corrimões, acessos etc.

(NBR 5679) e (NB 144).

Todo processo pode ser visualizado na figura 11.

Figura 11 - Anteprojeto de obra



Fonte: <http://www.fabricadoprojeto.com.br/2010/02/projeto-e-calculo-de-estruturas-metalicas/>

2.8 SELEÇÃO PRELIMINAR DOS ELEMENTOS

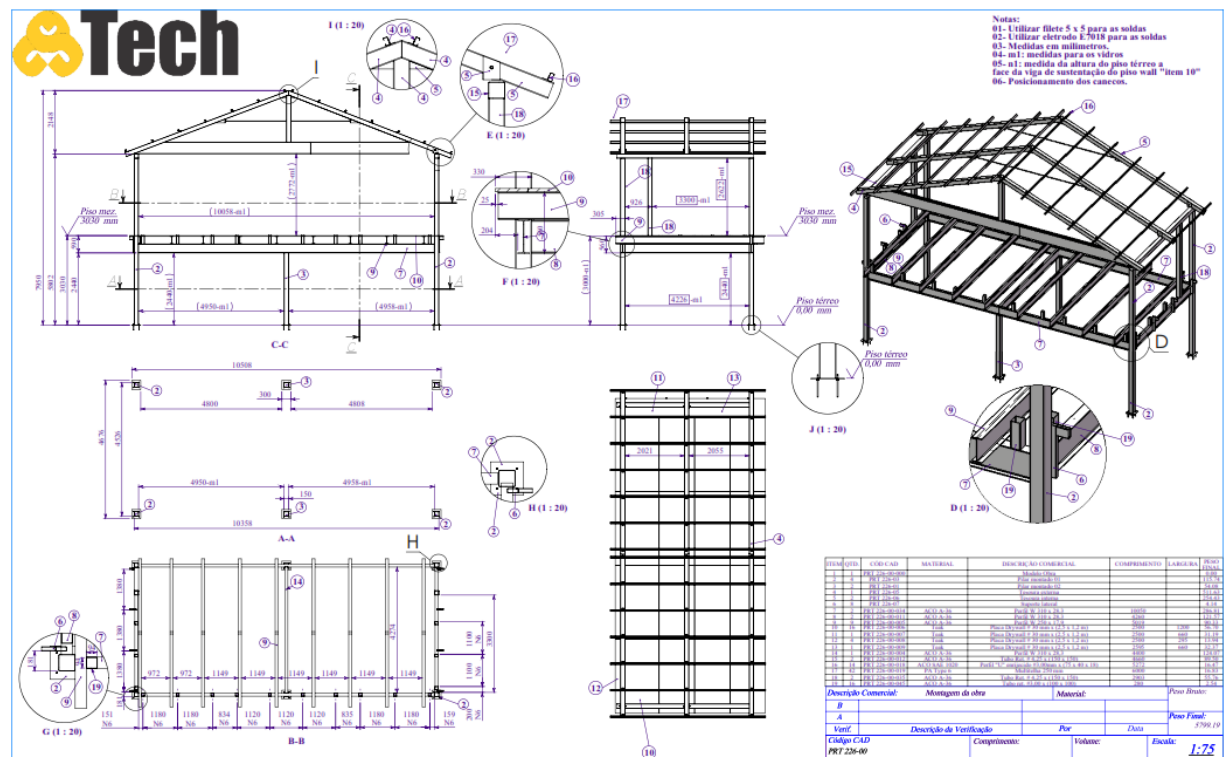
Esta etapa consiste em atender as premissas, com menor peso e menor custo.

Deve ser definida a verificação das condições que a obra oferece para a cobertura. Definindo vão, a altura disponível para as tesouras, se a cobertura irá sustentar alguma sobrecarga, os caimentos e suas direções, tipo de telhado, tipo de proteção superficial, tipo de união, condições de montagem disponíveis e prazos de montagem e instalação.

2.9 PROCESSO DE PLANEJAMENTO E CONCEPÇÃO

Nesta etapa, devem-se reunir todas as informações necessárias para a concepção da obra, deve-se organizar os pré-requisitos, elaborar o estudo preliminar e o desenvolvimento do projeto. Onde podemos verificar um exemplo na figura 12.

Figura 12 - Projeto de estrutura metálica



Fonte: Cortesia SSTech - <http://sstecnoy.com.br/>

2.10 ESTUDO PRELIMINAR

Neste são analisadas as condições de ancoragem que a obra oferece para a estrutura da cobertura, sendo estas, a conferência da precisão das dimensões, dos prumos, dos níveis, da rigidez da supra estrutura. Caso o projetista da cobertura não seja o projetista da obra, deve-se consultar o projetista da obra e verificar os Limites de cálculo que a supra estrutura da obra oferece. Neste processo, também deve-se realizar uma medição da obra a fim de confrontar com o projeto da supra estrutura. A precisão nas medidas é muito importante para que a estrutura da cobertura que já vem fabricada possa ser montável na obra.

2.11 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

DETERMINAÇÃO DAS SOBRECARGAS

As sobrecargas da cobertura são basicamente as cargas de vento. Se houver mais alguma sobrecarga definida nas premissas, estas devem ser combinadas as cargas de vento. As cargas de vento segundo a norma brasileira NBR 6123/1988 - Força devido aos ventos, determinadas pelo mapa de isopletras que indica a velocidade máxima de ventos registrada na localidade em questão através médias estatísticas. Estas velocidades são transformadas em pressões e com as ponderações de aumento e diminuição da velocidade de ventos através dos coeficientes de forma, de força, fator topográfico, rugosidade do terreno, dimensões da edificação.

2.12 DIMENSIONAMENTO DA ESTRUTURA

O dimensionamento é realizado segundo a norma brasileira NBR 8800/2008 e quando composta por perfis dobrados a NBR 14762 conforme referenciado no capítulo 2.

2.13 PRODUÇÃO DOS PROJETOS DE FABRICAÇÃO

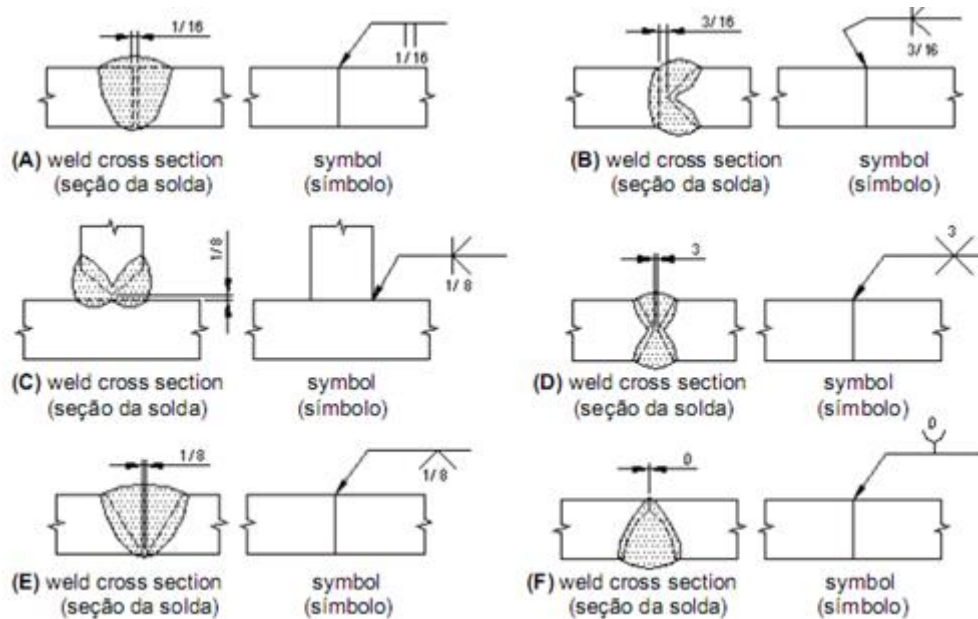
O detalhamento para fabricação deve ser realizado conforme a segundo a NBR 14611/2000 Desenho técnico representação de estruturas metálicas. E segundo a NBR 10126/1987 - Desenho técnico – Representação simplificada em estruturas metálicas.

A produção dos desenhos técnicos para a fabricação de estruturas metálicas requer uma experiência na área. Pois como citado anteriormente, este requer conhecimento do projetista sobre como são os processos produtivos em uma metalúrgica. No detalhamento das dimensões das tesouras deve-se atentar que o cálculo delas é realizado pelos traços dos momentos de inércia e não pelas faces externas dos perfis. Neste processo deve-se atentar também na forma das uniões dos perfis, se dimensionados por parafusos, utilizar os métodos de

detalhamento para estas uniões. Especificando todas as dimensões dos furos, os ângulos dos recortes, as medidas de recortes etc. A bitola dos furos, as cotas dos mesmos etc. Neste processo também deve ser realizado a descrição correta os perfis, utilizando a simbologia correta para diâmetro, quadrado, espessura, os tipos de perfis (Barra chatas, Perfis W, Tubos redondos, Chapas cortadas) com suas respectivas espessuras.

Deve-se detalhar as uniões entre os elementos, ou seja, amarrando-as com cotas e suas respectivas tolerâncias. Quanto as uniões pelo processo de soldagem, deve ser composto com todas as informações aos metalúrgicos afins de que o processo seja confiável. Composto de todas as simbologias de soldas detalhes de eletrodos, comprimento dos filetes, processos de soldagens, posições de soldagem, pré-montagem etc. Demonstrado na figura 13.

Figura 13 - Aplicações de Símbolos de soldagem



Fonte: Norma ANSI/AWS A2.4-98.

2.14 PRODUÇÃO DOS PROJETOS DE MONTAGEM

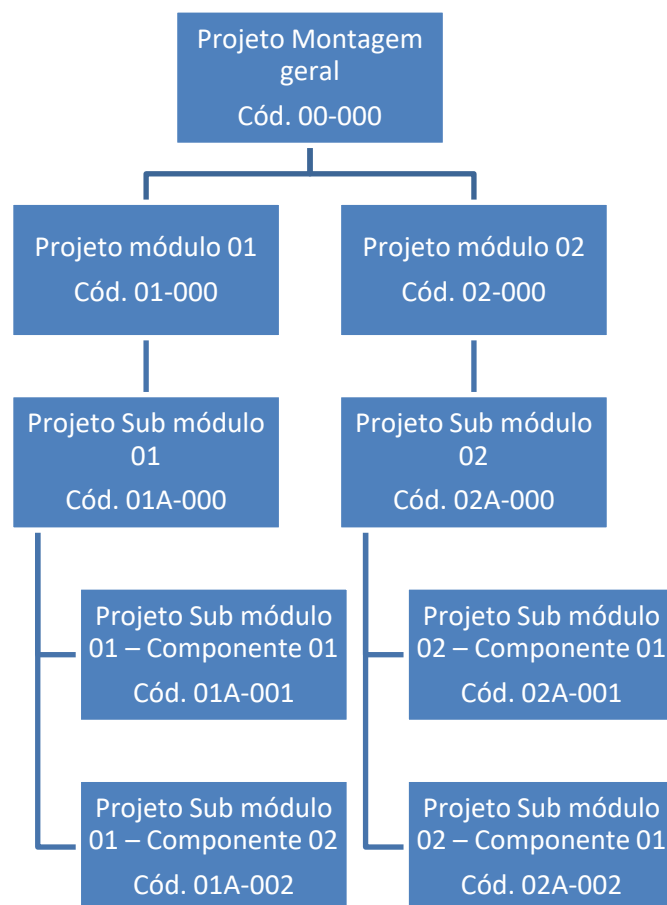
Nos projetos de montagem os detalhamentos devem ser realizados segundo a NBR 14611/2000 Desenho técnico representação de estruturas metálicas e a NBR 10126. Este depende muito do processo de retirada do dimensional conforme citado na Análise das condições estruturais.

Este processo também depende da experiência do projetista com os processos de montagem. Pois um projeto mau elaborado pode provocar erros de montagem, incidentes e acidentes. Todos os fatores que podem causar danos materiais e humanos.

Neste processo, deve ser observado como se deve planejar as sequências de montagem da estrutura, a forma de união e como executá-las, neste deve ser descrito todos os passos de montagem da estrutura ou de cada tesoura/viga se necessário produzir pranchas adicionais para cada pré-montagem, estas devem ser produzidas, como exemplificado na Tab. 6.

Todos os processos de projetos (Fabricação e montagem) devem ser dispostos de uma codificação de gerenciamento de projetos segundo NBR ISO 21500 Gerenciamento de projetos.

Tabela 7 - Organograma de gerenciamento de códigos de projetos



Fonte: Autoria própria

2.15 PRODUÇÃO DOS MEMORIAIS

Os memoriais do pacote de projetos são divididos em dois memoriais, o memorial de cálculos e o memorial descritivo.

O memorial de cálculos é o documento que certifica o processo de dimensionamento. Este deve ser composto com todas as informações do processo citado até agora, desde a definição das premissas, passando pela análise das condições estruturais e principalmente a metodologia de dimensionamento da estrutura. Deve conter todos os métodos, as equações utilizadas, as referências normativas até a produção dos projetos de fabricação. Pois o projeto de fabricação é o produto de todo processo de dimensionamento.

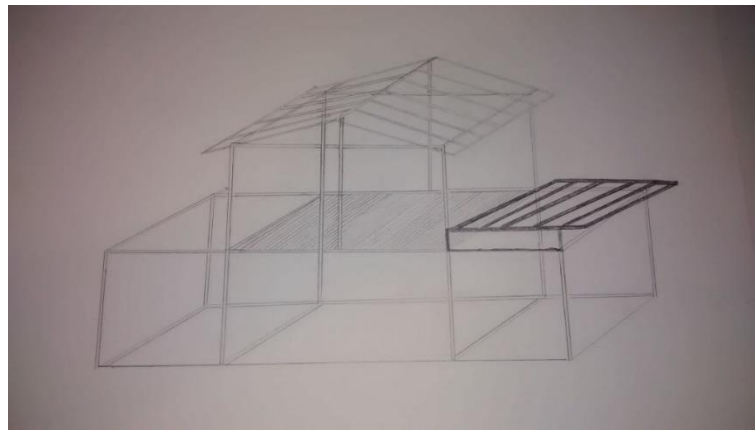
O memorial descritivo contempla-se a todas as informações comerciais, contendo o pré-projeto, a descrição do processo de dimensionamento e principalmente os perfis e bitolas extraídos desse processo. Ao final deste, deve ser extraída uma relação de compra de todos os elementos para a fabricação da estrutura em questão. Contendo a soma de todos os comprimentos de cada perfil especificado, parafusos, porcas, arruelas, eletrodos de solda e ferramentas para a confecção do projeto.

3 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO DE UM MEZANINO – ESTUDO DE CASO.

O presente estudo de caso se inicia com a demanda de obra cujo seguiu-se todas as sequencias citadas na definição do sistema estrutural, processo de planejamento e concepção, estudo preliminar e desenvolvimento do projeto.

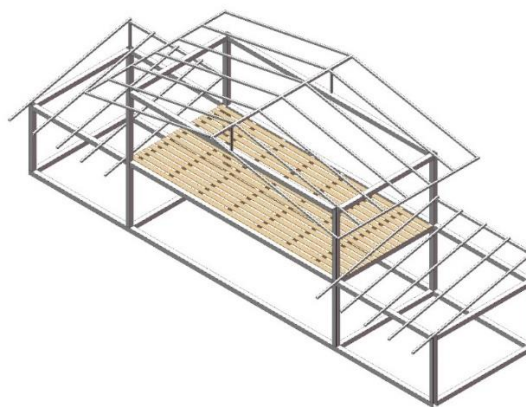
Observa-se este processo na figura 14 e 15.

Figura 14 - Esboço inicial



Fonte: Autoria própria

Figura 15 - Esboço 3D



Fonte: Autoria própria

Após a construção do modelo, é possível indicar que a premissa é a realização de um mezanino, composto de uma cobertura. Segundo a Direção Geral do Ordenamento do

Território e Desenvolvimento Urbano (DGOTDU, 2009), um mezanino é um piso intermédio ou meio-piso, um piso que não ocupa a totalidade da área de implantação definida pelo perímetro das paredes exteriores do compartimento ou do edifício.

Abaixo, demonstra-se a estrutura antiga nas figuras 16 e 17.

Figura 16 - Obra antiga



Fonte: Autoria própria

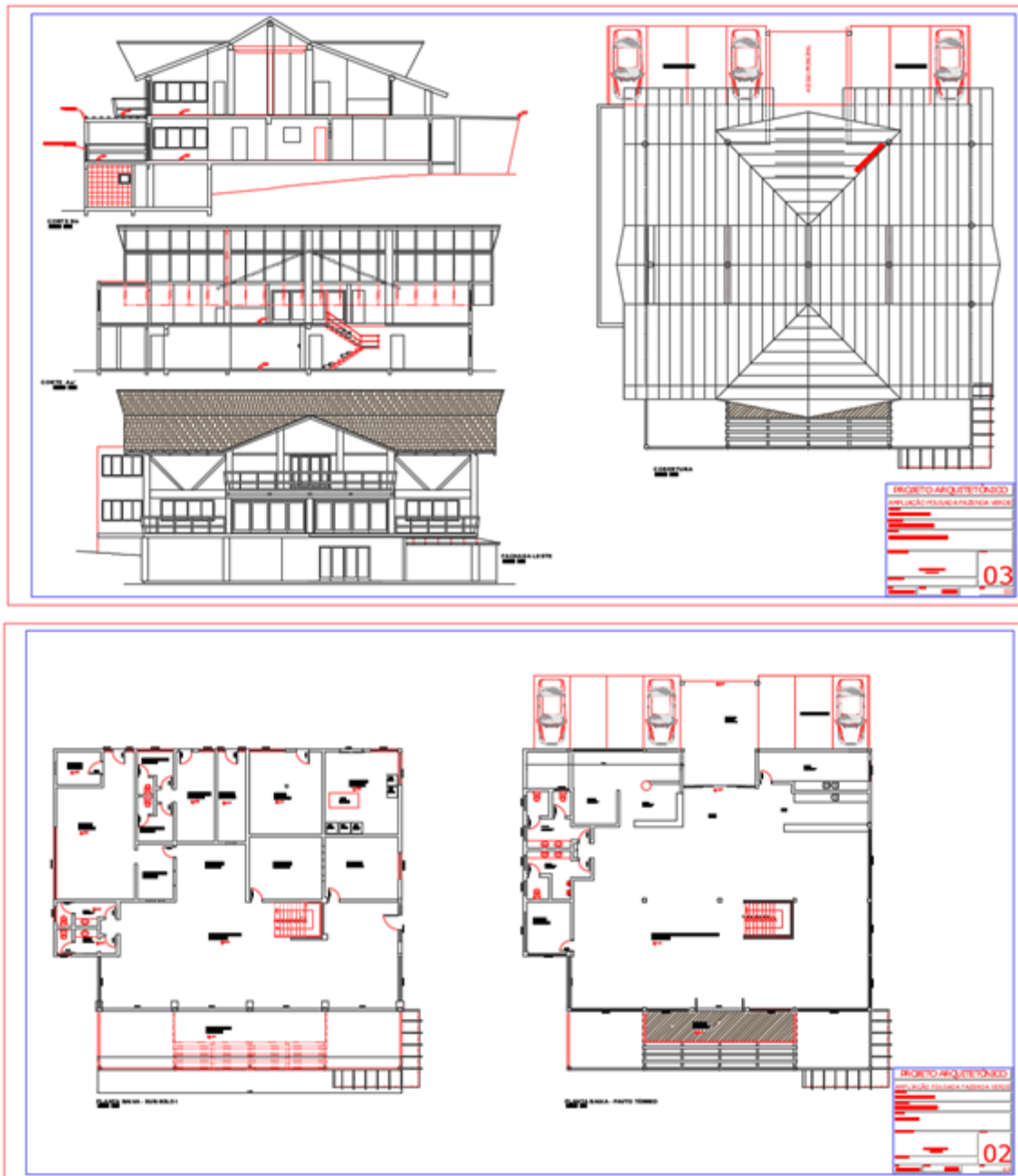
Figura 17 - Obra antiga



Fonte: Autoria própria

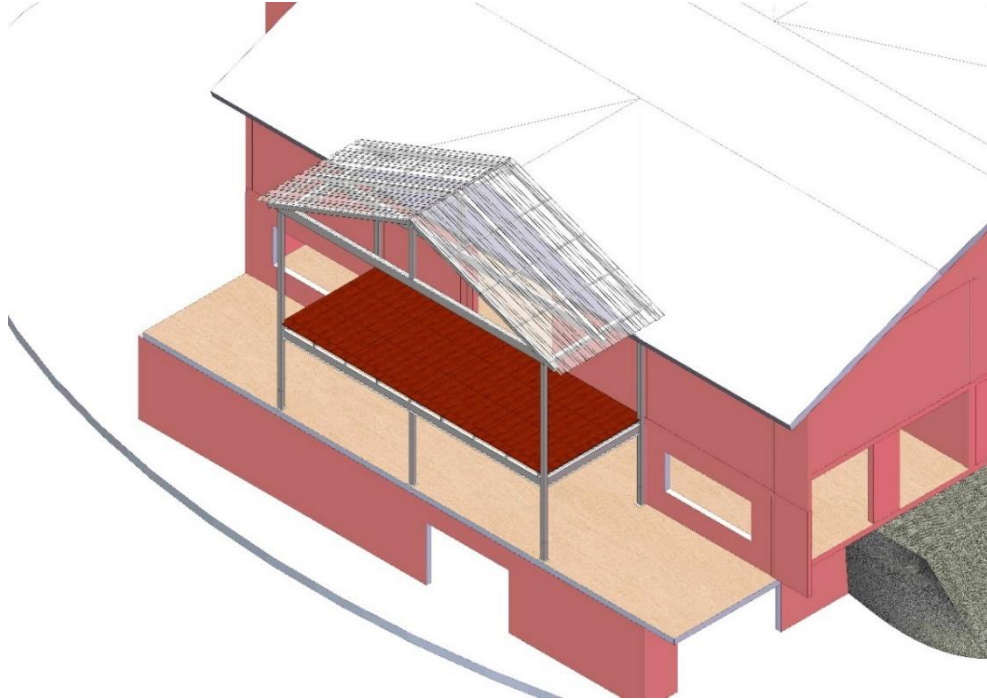
O mezanino antigo projetado em madeira conforme projeto arquitetônico antigo demonstrado na figura 18 já estava inseguro para o trânsito de pessoas, necessitando de uma nova construção, onde os donos do local escolheram um modelo fechado, com fachadas em vidro e janelas, escolhendo o Sistema Reiki para sua faixa de vidro.

Figura 18 - Projeto arquitetônico antigo



Fonte: Autoria própria

Figura 19 - Determinação do novo modelamento em 3D



Fonte: Autoria própria

Para chegar no modelo 3D da estrutura apresentada na figura 19, foram realizados todos os cálculos estruturais necessários para o início da obra.

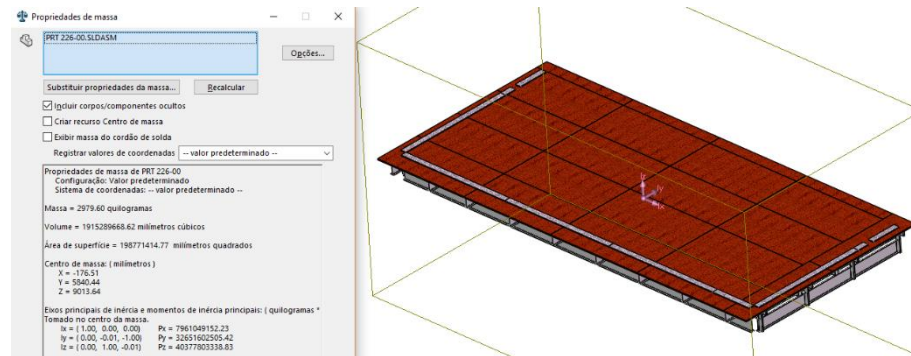
4 DIMENSIONAMENTO

4.1 AÇÕES DE CARREGAMENTO MEZANINO

Para determinar as ações de carregamentos, inicialmente verifica-se a massa do mezanino. Esta pode ser extraída do software Solidworks que indica que a massa do mesmo é 2979,60 Kgf. Quanto a sobrecarga, esta é determinada conforme NBR 6120. Demonstrada na figura 20. Na tabela 8, verifica-se os carregamentos conforme NBR 6120.

Figura 20 - Massa total mezanino e carregamentos NBR 6120

Com esta informação, verifica-se que a massa total do mezanino é 2979,60 Kgf.



Fonte: Autoria própria

Tabela 8 - Carregamentos NBR 6120

7 Clubes	Sala de refeições e de assembléia com assentos fixos	3
	Sala de assembléia com assentos móveis	4
	Salão de danças e salão de esportes	5
	Sala de bilhar e banheiro	2

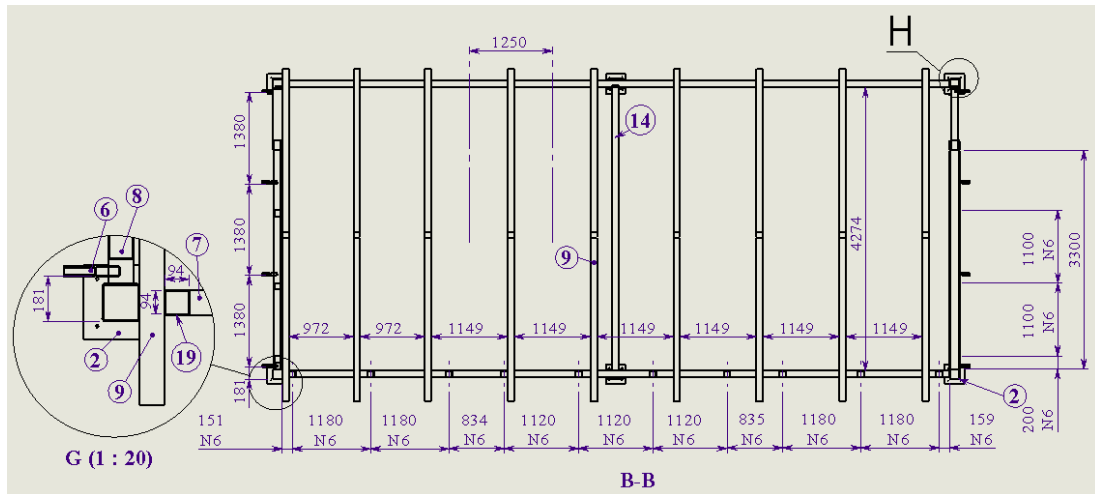
Fonte: NBR 6120

Com isto a sobre carga determinada é de 3 KN/m²

4.1.1 DISTRIBUIÇÃO DA ESTRUTURA

Podemos verificar a seguir sua respectiva distribuição dos perfis demonstrado na figura 21.

Figura 21- Distribuição da estrutura



Fonte: Autoria própria

4.1.2 CÁLCULO DOS CARREGAMENTOS E COMBINAÇÕES DA CARGA NO MEZANINO.

Com os pesos próprios definidos, e sobre carga, seguem abaixo no quadro 10 os cálculos realizados no software Excel:

Quadro 10 - Carregamentos mezanino

DEFINIÇÃO CARREGAMENTOS MEZANINO E COMBINAÇÕES DAS AÇOES (NBR 8800/2008)		
Massa total estrutura mezanino	2979,60	Kgf
Largura (l)	10,66	m
Comprimento (c)	5,10	m
Área Mezanino (Am)	54,37	m ²
Peso próprio (Pp)	54,81	Kgf/m ²
	0,54	KN/m ²
Coeficiente de ponderação (γg)	1,25	
[Cargas permanentes] ΣFGi, k	0,67	KN/m ²
Sobre cargas - Eventos (NBR 6123)	3	KN/m ²
Coef. γq - Ações permanentes	1,5	
[Cargas variáveis] ΣFQi, k	4,50	KN/m ²
[Combinação das cargas] ΣFGi, k + ΣFQi, k	5,17	KN/m ²

Fonte: Autoria própria

Validação da planilha:

- Área

$$Am: 5,10m * 10,66m = 54,37 m^2$$

- Peso Próprio

$$Pp = \frac{2979,60 Kgf}{54,37 m^2} = 54,81 Kgf \rightarrow \left(\frac{54,81 Kgf * 9,81 m^2}{1000} \right) = 0,54 \frac{KN}{m^2}$$

- Ações permanentes

$$[\Sigma FGi, k] = 1,25 * 0,54 \frac{KN}{m^2} = 0,67 \frac{KN}{m^2}$$

- Ações variáveis

$$[\Sigma FQi, k] = 1,50 * 3,00 \frac{KN}{m^2} = 4,50 \frac{KN}{m^2}$$

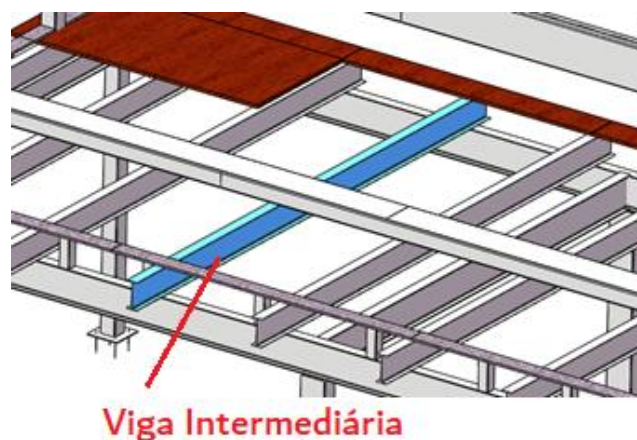
- Combinações de ações

$$[\Sigma FGi, k] + \Sigma (\Psi o x FQi, k) = 0,67 \frac{KN}{m^2} + 4,50 \frac{KN}{m^2} = 5,17 \frac{KN}{m^2}$$

4.2 ANÁLISE VIGA INTERMEDIÁRIA

Abaixo segue a figura 22 demonstrado o elemento.

Figura 22 -Viga intermediária



Fonte: Autoria própria

Área de Influência na viga intermediária (item 09 – projeto), demonstrada no quadro 10.

Quadro 11 - Área de influência vigas intermediárias

AREA DE INFLUENCIA VIGAS INTERMEDIÁRIA		
Distância máxima entre vigas (Esp)	1,25	m
Comprimento (c)	4,22	m
Área (Ai)	5,28	m ²
Carregamento na viga (Cp viga)	27,28	KN
	6,47	KNm

Fonte: Autoria própria

Validação da planilha:

- Área influência

$$Ai = (Esp * c) \rightarrow 1,25m * 4,22m = 5,28 m^2$$

- Combinações das ações na viga (Fonte: NBR 8800)

$$\{\Sigma FGi,k + \Sigma(\Psi o x FQi,k)\} * Ai \rightarrow 5,17 \frac{KN}{m^2}$$

- Carregamento Viga (Fonte: NBR 8800)

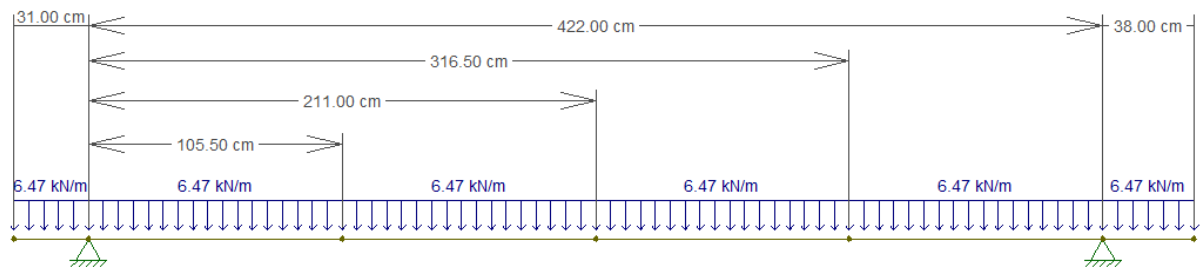
$$Cp viga = \{\Sigma FGi,k + \Sigma(\Psi o x FQi,k)\} * Ai \rightarrow 5,17 \frac{KN}{m^2} * 5,23 m^2 = 27,28 KN$$

$$\rightarrow \frac{27,28 KN}{4,22 m} = 6,47 \frac{KN}{m}$$

4.3 CARREGAMENTOS VIGA INTERMEDIÁRIA

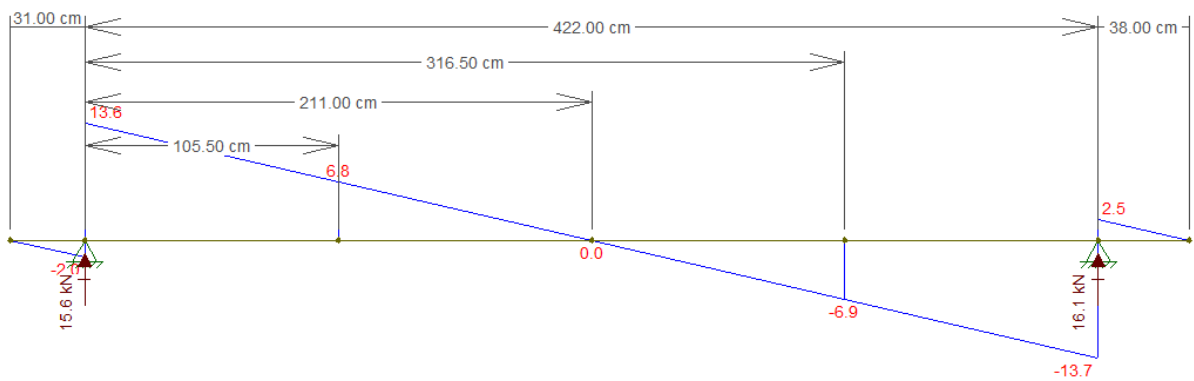
Abaixo, nas figuras 23 á 26 demonstra-se as análises do FTOOL.

Figura 23 - Sistema viga int.



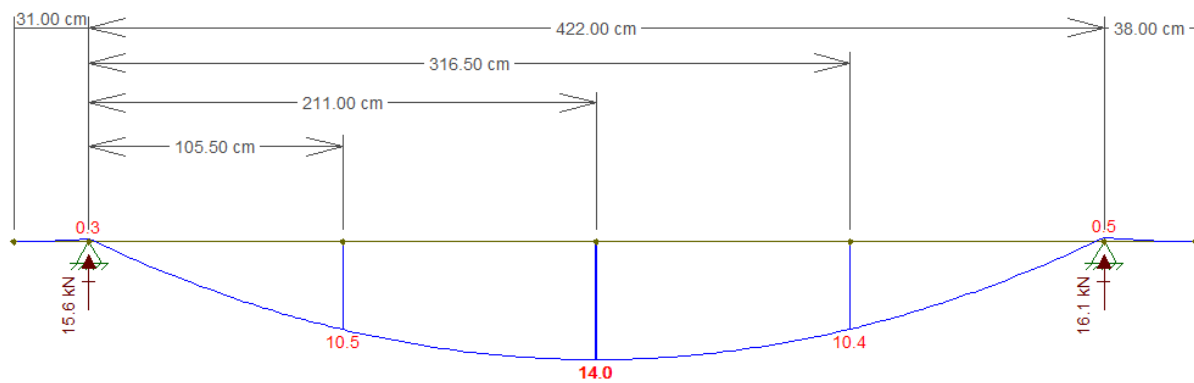
Fonte: Autoria própria

Figura 24 - Cortantes viga int.



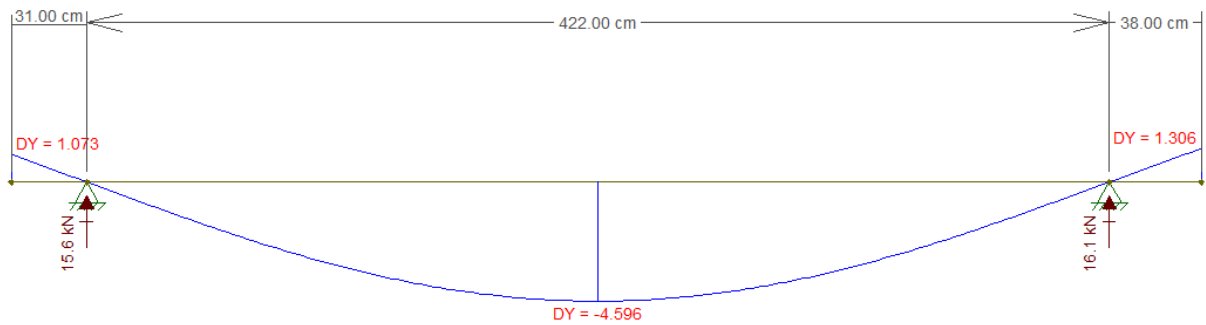
Fonte: Autoria própria

Figura 25 - Momento fletor viga int.



Fonte: Autoria própria

Figura 26 - Deformações viga. int. em “y”



Fonte: Autoria própria

4.3.1 CÁLCULOS VIGA INTERMEDIÁRIA

A análise da viga intermediária pode ser verificada nos cálculos Excel demonstrados nos quadros 11 a 17. Com suas devidas validações descritivas.

A flecha ideal

Quadro 12 - Flecha mínima viga intermediária

FLECHA MÍNIMA		
Vão	4.220,00	mm
Flecha máxima 1:350 (Flecha)	12,06	mm

Fonte: Autoria própria

Conclusão: Conforme a NBR 8800 é 1:350 e flecha máxima pode ter o valor de 12,06 mm. Na análise realizada pelo FTOOL, obteve-se uma flecha de 4,59 mm. Com isto a deformação atende a NBR 8800/2008.

Validação da planilha:

- Flecha mínima (Fonte: NBR 8800)

$$Flecha = \frac{Vão}{350} \rightarrow \frac{4220,00 \text{ mm}}{350} = 12,06 \text{ mm}$$

Análises das solicitações do perfil W 250 x 17,9 (viga intermediária)

Quadro 13 - Propriedades geométricas viga intermediária

Propriedades Cat. Gerdau viga W250 x 17,9		
ABA (Tf)	5,3	mm
VERTICE. (a)	10,60	mm
ALT. EXTERNA. (D)-(h)	251,00	mm
BASE (Bf)-(B)	101,00	mm
ALT. INT. (Tw)-(h)	4,80	mm
Wfx	182.600,00	mm ³
AREA (S)	2.310,00	mm ²
Inércia (x - x)	22.910.000,00	mm ⁴
Inércia (y - y)	910.000,00	mm ⁴
Inercia a torção "J"	25.400,00	mm ⁴
Raio giração transv. (x)	99,60	mm
Raio giração long. (y)	19,90	mm
Cw	13735000000	mm ⁶
Zx	211.000,00	mm ³
Zy	28.800,00	mm ³

Fonte: Autoria própria

Validação da planilha:

- Vértice (Fonte: Protec)

$$a \Rightarrow 2 * Tf \rightarrow 2 * 6,90 \text{ mm} = 13,80 \text{ mm}$$

- O restante das propriedades geométricas fora extraído do catálogo GERDAU.

→ PREMISSAS DE CÁLCULO

- Liga metálica utilizada = ASTM A572 Gr 50
- Perfil da análise = W 250 X 17,9

PROCESSOS DE CÁLCULO

Quadro 14 - Coeficientes de ponderação viga intermediária

COEFICIENTES DE PONDERAÇÃO		
Ya1	1,10	
Ya2	1,35	

Fonte: Autoria própria

Quadro 15 - Esforços obtidos

ESFORÇOS OBTIDOS		
CORTANTE	13,70	KN
MOMENTO FLETOR	14,00	KNm
	14.000.000,00	Nmm ²

Fonte: Autoria própria

Análise ao cisalhamento e momento fletor

Quadro 16 - Análise cisalhamento viga intermediária

ANÁLISE AO CISALHAMENTO Viga intermediária		
λ	52,29	
K_v	5,00	
λ_p	59,22	
λ_r	73,76	
Cortante ref. Há plastificação [Vpl]	238,86	KN
Cortante admissível [Vrd]	217,15	KN
Cortante aplicado [Vsd]	13,7	KN
FATOR SEG.	passa	

Fonte: Autoria própria

Validação da planilha:

$$\lambda = \frac{h}{tw} \rightarrow \frac{251,00\text{mm}}{4,8\text{mm}} = 52,29$$

$$\lambda_p = 1,10 \sqrt{\frac{K_v * E}{f_y}} \rightarrow 1,10 \sqrt{\frac{5 * 200000 \text{ Mpa}}{345 \text{ Mpa}}} = 59,22$$

$$\lambda_r = 1,37 \sqrt{\frac{K_v * E}{f_y}} \rightarrow 1,37 \sqrt{\frac{5 * 200000 \text{ Mpa}}{345 \text{ Mpa}}} = 73,75$$

$$A_w = (T_w * (H - a))$$

$$V_{pl} = 0,60 * A_w * f_y \rightarrow 0,60 * (4,80 \text{ mm} * (251,00 \text{ mm} - 10,60 \text{ mm})) * 345 \text{ Mpa} \\ = 238,86 \text{ KN}$$

- Condição:

$$Se \lambda \leq \lambda_p \rightarrow V_{rd} = \frac{V_{pl}}{\gamma_{a1}} \rightarrow \frac{238,86 \text{ KN}}{1,10} = 217,15 \text{ KN}$$

Quadro 17 - Análise momento fletor viga intermediária

ANÁLISE MOMENTO FLETOR RESIST. CALCULOS Viga interm.		
ANÁLISE ALMA (FLA)		
λ	52,29	
λ_p	90,53	
Regime de trabalho	secção esbelta	
ANÁLISE MESA (FLM)		
λ	9,53	
λ_p	9,15	
Regime de trabalho	secção compacta	
ANÁLISE FLAMBAGEM LATERAL (FLT)		
Lb	4.220,00	mm
λ	212,06	
λ_p	42,38	
β_1	0,009	
λ_r	317,07	
Mr	44.097.900,00	Nmm
Regime de trabalho	secção compacta	
DETERMINAÇÃO "cb"		
(1/4) I	1.055,00	mm
	10,50	KNm
(1/2) I	2.110,00	mm
	14,00	KNm
(3/4) I	3.165,00	mm
	10,40	KNm
"cb"	1,14	-
Momento Fletor plastificação [Mpl]	9.936.000,00	Nmm
Cw	383339912	mm ⁶
Momento Flambagem elástica [Mcr]	16162905	Nmm
DETEMINAÇÃO DO MOM. RESIST.		
Momento resistente de cálculo [Mrd]	32127083,80	Nmm
Momento de serviço [Msd]	14000000,00	Nmm
FATOR SEG.	passa	

Fonte: Autoria própria

Validação da planilha:

- Análise da alma (FLA) (Fonte: NBR 8800)

$$\lambda = \frac{h}{tw} \rightarrow \frac{251,00\text{mm}}{4,8\text{mm}} = 52,29$$

$$\lambda p = 3,76 * \sqrt{\frac{E}{fy}} \rightarrow 3,76 * \sqrt{\frac{200000 \text{ MPa}}{345 \text{ Mpa}}} = 90,53$$

- Análise da mesa (FLM) (Fonte: NBR 8800)

$$\lambda = \frac{B}{tf} \rightarrow \frac{\frac{101,0 \text{ mm}}{5,30 \text{ mm}}}{2} = 9,52$$

$$\lambda p = 0,38 * \sqrt{\frac{E}{fy}} \rightarrow 0,38 * \sqrt{\frac{200000 \text{ MPa}}{345 \text{ Mpa}}} = 9,15$$

- Análise da flambagem lateral (FLT) (Fonte: NBR 8800)

$$\lambda = \frac{Lb}{ry} \rightarrow \frac{4220,00 \text{ mm}}{19,90 \text{ mm}} = 212,06$$

$$\lambda p = 1,76 * \sqrt{\frac{E}{fy}} \rightarrow 1,76 * \sqrt{\frac{200000 \text{ MPa}}{345 \text{ Mpa}}} = 42,37$$

$$\beta_1 = \frac{(fy - \sigma_1)W}{E * J} \rightarrow \frac{(345 \text{ Mpa} - (345 \text{ Mpa} * 0,3)) * 182600\text{mm}^3}{200000 \text{ Mpa} * 25400 \text{ mm}^4} = 0,009$$

$$\begin{aligned} \lambda_r &= \frac{1,38 * \sqrt{I_y} * J}{r_y * J * \beta_1} * \sqrt{1} + \sqrt{1 + \frac{27 * C_W * \beta_1^2}{I_x}} \\ &\rightarrow \frac{1,38 * \sqrt{910000 \text{ mm}^4} * 25400 \text{ mm}^4}{19,90 \text{ mm} * 25400 \text{ mm}^4 * 0,009} * \sqrt{1} \\ &+ \sqrt{1 + \frac{27 * 13735000000 \text{ mm}^6 * 0,009^2}{22.910.000,00 \text{ mm}^4}} = 317,07 \end{aligned}$$

$$Mr = (F_y - \sigma_r) * W \rightarrow (345 \text{ Mpa} - (345 \text{ Mpa} * 0,3)) * 182600 \text{ mm}^3 \\ = 44097900 \text{ Nmm}$$

Determinação “cb”

$$\left(\frac{1}{4}\right) * l \rightarrow \left(\frac{1}{4}\right) * 4220,00 \text{ mm} = 1055,00 \text{ mm}$$

$$\left(\frac{1}{2}\right) * l \rightarrow \left(\frac{1}{2}\right) * 4220,00 \text{ mm} = 2110,00 \text{ mm}$$

$$\left(\frac{3}{4}\right) * l \rightarrow \left(\frac{3}{4}\right) * 4220,00 \text{ mm} = 3165,00 \text{ mm}$$

$$C_b = \frac{12,5 M_{max}}{2,5 M_{max} + 3 M_A + 4 M_B + 3 M_C} \leq 3,0 \\ \rightarrow \frac{12,5 * 14,00 \text{ KNm}}{2,5 * 14,00 \text{ KNm} + 3 * 10,50 \text{ KNm} + 4 * 14,00 \text{ KNm} + 3 * 10,40 \text{ KNm}} \\ = 1,14$$

$$M_{pl} = Z * f_y \rightarrow 28800 \text{ mm}^3 * 345 \text{ Mpa} = 9936000 \text{ Nmm}$$

$$C_w = \frac{I_y * (d - t_f)^2}{4} \rightarrow \frac{910000 \text{ mm}^4 * (251,00 \text{ mm} - 5,30 \text{ mm})^2}{4} = 383339912 \text{ mm}^4$$

$$M_{cr} = \frac{C_b * \pi^2 * E * I_y}{L b^2} * \frac{\sqrt{C_w}}{I_y} * \left(1 + 0,039 * \frac{J * L b^2}{C_w}\right) \\ \rightarrow \frac{1,14 * \pi^2 * 200000 \text{ Mpa} * 910000 \text{ mm}^4}{4220,00^2} * \frac{\sqrt{383339912 \text{ mm}^4}}{910000 \text{ mm}^4} \\ * \left(1 + 0,039 * \frac{25400 \text{ mm}^4 * 4220,00^2}{383339912 \text{ mm}^4}\right) = 16162905 \text{ Nmm}$$

- Condição (Fonte: NBR 8800)

$$\begin{aligned}
 \text{Se } \lambda_p < \lambda \leq \lambda_r &\rightarrow M_{rd} = \frac{C_b}{\gamma_{a1}} * [M_{pl} - (M_{pl} - M_r) \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p}] \\
 &\rightarrow \frac{1,14}{1,10} * [9936000 \text{ Nmm} \\
 &\quad - (9936000 \text{ Nmm} - 44097900 \text{ Nmm}) \frac{212,06 - 42,38}{317,07 - 42,38}] \\
 &= 32127083,80 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Soldagem

Quadro 18 - Soldas viga intermediária

SOLDAS Viga intermediária		
h	3,00	mm
l	202,00	mm
Eletrodo	E7018	
	485,00	Nmm ²
Yw1	1,35	
Aw	428,44	mm ²
Fw, [Rd] ^ (a b d)	92.353,05	N
Fw, Sd	13.700,00	N
FATOR SEG.	passa	

Fonte: Autoria própria

Validação da planilha:

$$Aw = 0,707 * h * l \rightarrow 0,707 * 3,00 \text{ mm} * 202,00 \text{ mm} = 428,44 \text{ mm}^2$$

$$F_{w,rd} = \frac{0,6 * Aw * F_w}{Y_{w1}} \rightarrow \frac{0,6 * 428,44 \text{ mm}^2 * 485,00 \text{ N mm}^2}{1,35} = 92353,05 \text{ N}$$

4.4 ANÁLISE COBERTURA, CARREGAMENTOS E COMBINAÇÕES

4.4.1 DIMENSIONAMENTO FORÇA DE VENTOS:

Conforme a NBR 6123/1988, é calculado a velocidade característica do vento “V_k”, posteriormente com os fatores S1, S2 e S3 definidos, calcula-se a pressão de vento.

Quadro 19 - Carga de ventos

VELOCIDADE CARACTERISTICA				fat01- a)terreno plano=>1,0 b)taludes e morros (verif NBR 6123) c) Vales protegidos=> 0,9	
Vk=V0xS1xS2xS3					
V0	Velocidade básica	45,00	m/s		
S1	Fator topográfico	1,00	fat 01	fat 02=> S2=b.Fr(z/10) ^p	
S2	Fator rug e dim	0,89319	fat 02	z	Alt. Edif
S3	Fator estático	1,00		6m	
Vk		40,19	m/s	Os parâmetros b, Fr e p são obtidos da Tab. 3.4.	
PRESSÃO DINAMICA				zg - Altura gradiente: altura da camada limite atmosférica	
q = 0,613V _k ² (N/m ²)				b	0,94
				p	0,1
				Fr	1
q	990,31	N/m ²		S2	0,8932
	100,44	Kgf/m ²			

Fonte: Autoria própria

Validação da planilha:

- Velocidade básica = 45, 00 m/s
- Fator S1 = 1,0
- Fator S2
 - Categoria → III → b = 0,94
 - Classe → A → p = 0,10
 - Z → 6,0 m
 - Fr → 1,0

Com isto, temos:

$$S_2 = b * F_r * \left(\frac{Z}{10}\right)^p \rightarrow 0,94 * 1,0 * \left(\frac{6,0m}{10}\right)^{0,1} = 0,8931$$

• Fator S3 = 1,0

Com isto, temos:

$$V_k = V_0 * S_1 * S_2 * S_3 \rightarrow 45,00 * 1,0 * 0,8931 * 1,0 = 40,19 \frac{m}{s}$$

Para a pressão dinâmica, temos:

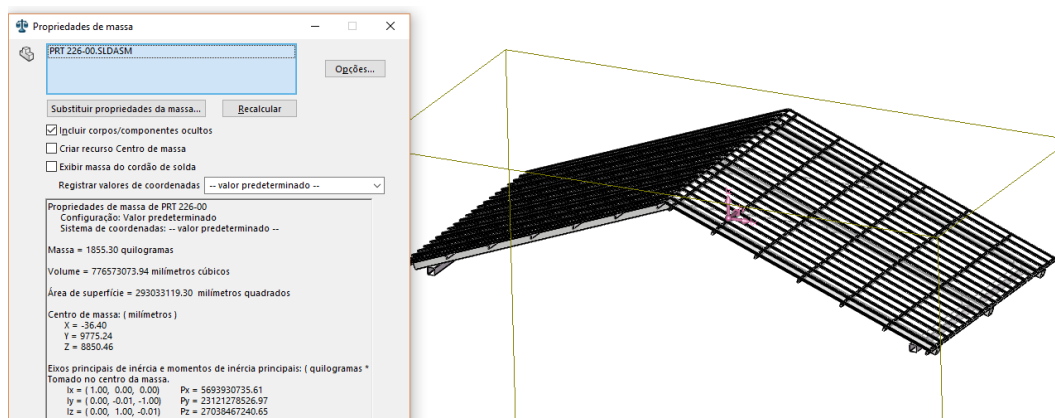
$$q = 0,613 * V_k^2 \rightarrow 0,613 * 40,19^2 = 990,31 \frac{N}{m^2} \rightarrow 0,99 \frac{N}{mm^2}$$

Este resultado, será utilizado posteriormente para as combinações das ações de carregamentos.

4.4.2 AÇÕES DE CARREGAMENTO DO VENTO NA COBERTURA E FECHAMENTO LATERAL

Para determinar a massa cobertura, esta é extraída do software Solidworks, cujo indica que ela tem o valor de 1855,30 Kgf. Nesta modelagem, inclui as massas das vigas, das terças e das telhas. Demonstrada na figura 27 abaixo.

Figura 27 - Massa do telhado



Fonte: Autoria própria

4.4.3 CÁLCULO DOS CARREGAMENTOS E COMBINAÇÕES DA CARGA NA COBERTURA COM O CARREGAMENTO DE VENTOS

Os cálculos iniciais podem ser verificados no quadro 20 abaixo.
Quadro 20 - Combinações cobertura

DEFINIÇÃO CARREGAMENTOS COBERTURA E COMBINAÇÕES DAS AÇÕES (NBR 8800/2008)		
Largura [a]	10,66	m
Comprimento [b]	5,10	m
Pé direito	6,00	m
Distância Maior entre pilares [dP]	2,55	m
Quantidade de treliças [Qt]	2,00	unid
Altura banzo [hb]	1,55	m
Ângulo θ	16,21	°
Cos $[\theta]$	0,96	-
Sem $[\theta]$	0,28	-
ALTURA RELATIVA		
h/b	1,176471	
a/b	2,090196	
COEF. AERODINÂMICO		
Permeável	0,2	
Impermeável	-0,3	
DETERMINAÇÃO DAS AÇÕES		
Massa da cobertura [Solidworks]	1855,30	Kgf
Área Cobertura [A cob]	54,37	m ²
Peso próprio da cobertura [PP]	0,33	KN/m ²
PESO PRÓPRIO (G1)		
Área de influência [ai]	27,18	m ²
Comprimento influência	11,10	m
Peso carga permanente [G1]	0,82	KNm
SOBRECARGA (G2)		
Sobre carga [g]	0,25	KN/m ²
Área de influência [Ai]	27,18	m ²
Comprimento influência	11,10	m
Peso sobre carga(G2)	0,61	KNm
PRESSÃO DINAMICA Q		
Pressão dinâmica [q]	0,99	KN/m ²
Área de influência [ai]	27,18	m ²
Comprimento influência	11,10	m
Peso sobre carga(Q1)	2,42	KNm

Fonte: Autoria própria

Validação da planilha:

$$Largura [a] \rightarrow 10,66 \text{ m}$$

$$Comprimento [b] \rightarrow 5,10 \text{ m}$$

$$Pé direito \rightarrow 6,00 \text{ m}$$

$$Quantidade de treliças [Qt] \rightarrow 3,00 \text{ unidades}$$

$$Distância entre pilares = \frac{l}{qt} \rightarrow \frac{5,10 \text{ m}}{2,00 \text{ unid}} = 2,55 \text{ m}$$

$$Banzo = \sqrt{\left(\frac{b}{2}\right)^2 + (hb)^2} \rightarrow \sqrt{\left(\frac{10,66 \text{ m}}{2}\right)^2 + (1,55 \text{ m})^2} = 5,55 \text{ m}$$

$$Angulo \phi = \text{Cotg} \left(\frac{hb}{\frac{b}{2}} \right) \rightarrow \text{cotg} \left(\frac{1,55 \text{ m}}{\frac{10,66 \text{ m}}{2}} \right) = 16,21^\circ$$

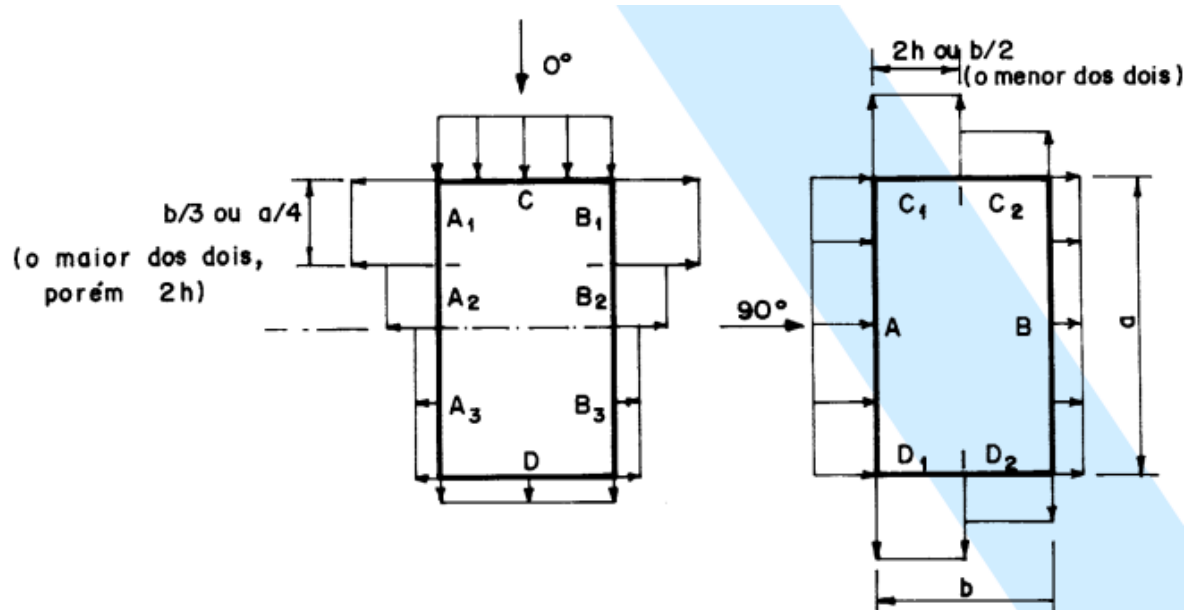
$$\text{Cos} \phi \rightarrow \text{Cos} (16,21^\circ) = 0,96$$

$$\text{Sen} \theta \rightarrow \text{Sen} (16,21^\circ) = 0,28$$

$$\frac{h}{b} \rightarrow \frac{6,00 \text{ m}}{5,10 \text{ m}} = 1,17$$


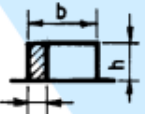

$$\frac{a}{b} \rightarrow \frac{10,66 \text{ m}}{5,10 \text{ m}} = 2,09$$

Quadro 22 - Áreas de atuação dos coeficientes de forma externos







Fonte: NBR 6123 – “tabela 4”

Quadro 23 - Valores de coeficientes de forma externos

Altura relativa		Valores de C_e para								C_{pe} médio 
		$\alpha = 0^\circ$				$\alpha = 90^\circ$				
		A_1 e B_1	A_2 e B_2	C	D	A	B	C_1 e D_1	C_2 e D_2	
 0,2 b ou h (o menor dos dois) $\frac{h}{b} \leq \frac{1}{2}$	$1 \leq \frac{a}{b} \leq \frac{3}{2}$	- 0,8	- 0,5	+ 0,7	- 0,4	+ 0,7	- 0,4	- 0,8	- 0,4	- 0,9
	$2 \leq \frac{a}{b} \leq 4$	- 0,8	- 0,4	+ 0,7	- 0,3	+ 0,7	- 0,5	- 0,9	- 0,5	- 1,0
 $\frac{1}{2} < \frac{h}{b} \leq \frac{3}{2}$	$1 \leq \frac{a}{b} \leq \frac{3}{2}$	- 0,9	- 0,5	+ 0,7	- 0,5	+ 0,7	- 0,5	- 0,9	- 0,5	- 1,1
	$2 \leq \frac{a}{b} \leq 4$	- 0,9	- 0,4	+ 0,7	- 0,3	+ 0,7	- 0,6	- 0,9	- 0,5	- 1,1

Fonte: NBR 6123 – “tabela 4”

Quadro 24 - Coeficientes de forma

COEFICIENTES DE PRESSÃO E DE FORMA, EXTERNOS, PARA PAREDES DE EDIFICAÇÕES DE PLANTA REGULAR [Cpe]												
Relação [h/b]	0,56	-	Largura parede	1,02	m							
Relação [c/l]	0,48	-										
Altura Relativa		Valores de Ce									Cpe médio	
		0°				90°						
		A1 e B1	A2 e B2	C	D		A	B		C1 e D1		C2 e D2
h/b < 1/2	2 < a/b < 4	-0,90	-0,40	-0,70	-0,40		0,70	-0,50		-0,90	-0,50	-1,10
COEF. DE PRESSÃO E DE FORMA, EXTERNOS PARA TELHADOS COM DUAS ÁGUAS, SIMÉTRICOS												
Altura Relativa	θ	Valores de Ce				Cpe						
		90°		0°								
		EF	GH	EG	FH							
h/b < 1/2	16,21	-1	-0,6	-0,8	-0,8	-1	-1,5			-1		

Fonte: Autoria própria

Verifica-se nos quadros 23, os respectivos coeficientes de forma externos (Cpe)

Na sequência, no quadro 24, seguem a planilha de cálculos dos esforços solicitantes:

Quadro 25 - Cálculos esforços solicitantes

ESFORÇOS RESULTANTES - (PIORES SITUAÇÕES)							
Vento	Locação	Cpe	Cpi	Cpe-Cpi	L(m)	q	F(KN/m)
0°	P. Esq.	-0,90	0,20	-1,10	2,55	0,99 KN/m²	-2,78
	T. Esq.	-0,80	0,20	-1,00	2,55	0,99 KN/m²	-2,53
	T. Dir	-0,80	0,20	-1,00	2,55	0,99 KN/m²	-2,53
	P. dir.	-0,90	0,20	-1,10	2,55	0,99 KN/m²	-2,78
90°	P. Esq.	0,70	0,20	0,50	2,55	0,99 KN/m²	1,26
	T. Esq.	-1,00	0,20	-1,20	2,55	0,99 KN/m²	-3,03
	T. Dir	-0,60	0,20	-0,80	2,55	0,99 KN/m²	-2,02
	P. dir.	-0,50	0,20	-0,70	2,55	0,99 KN/m²	-1,77

Fonte: Autoria própria

Validação da planilha:

$$Cpe - Cpi = -0,9 - (-0,2) = -1,1$$

$$Fr1 (Vlat) = [(Cep - Cpi) * l * q] \rightarrow -1,1 * 2,55 \, m * 0,99 \frac{KN}{m^2} = -2,78 \frac{KN}{m}$$

Na sequência, nos quadros 25, segue a decomposição de forças na cobertura.

Quadro 26 - Decomposição de forças na cobertura

DECOMPOSIÇÃO FORÇAS			
0°	Pt1	P1x	-0,71
		P1y	-2,42
	Pt2	P2x	-0,71
		P2y	-2,42
90°	Pt3	P3x	-0,85
		P3y	-2,91
	Pt4	P4x	-0,56
		P4y	-1,94
P[pos]x= F(KN/m) * Sen θ			
P[pos]x= F(KN/m) * Cos θ			

Fonte: Autoria própria

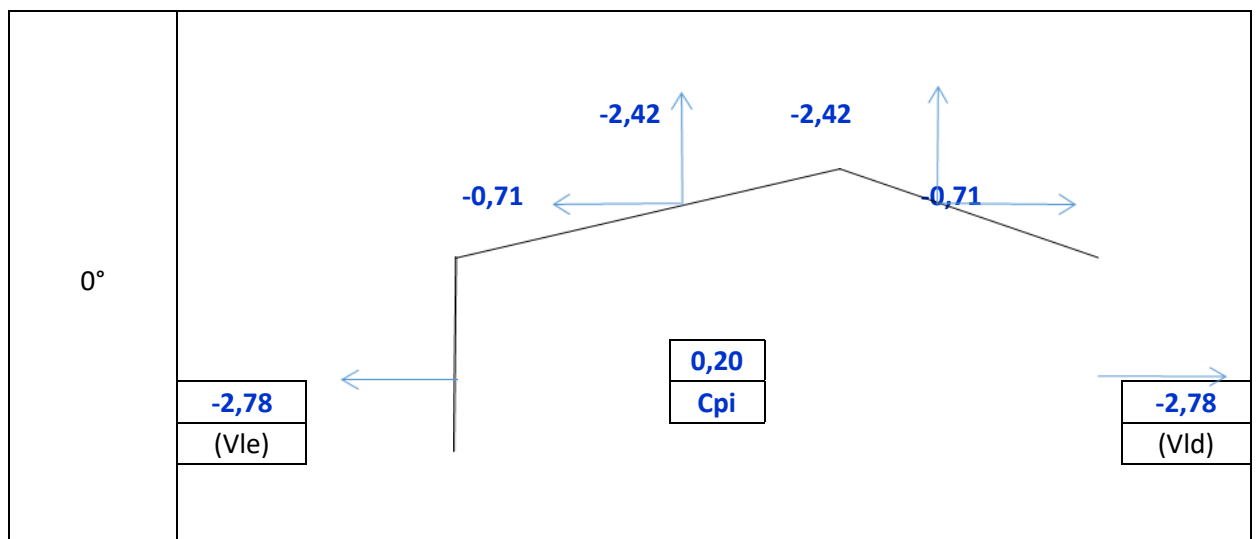
Validação da planilha:

$$P1x = \text{Sen}\theta * Fr1 \rightarrow 0,28 * -2,53 \frac{\text{KN}}{\text{m}} = -0,71 \text{KNm}$$

$$P1y = \text{Cos}\theta * Fr2 \rightarrow 0,96 * -2,53 \frac{\text{KN}}{\text{m}} = -2,42 \text{KNm}$$

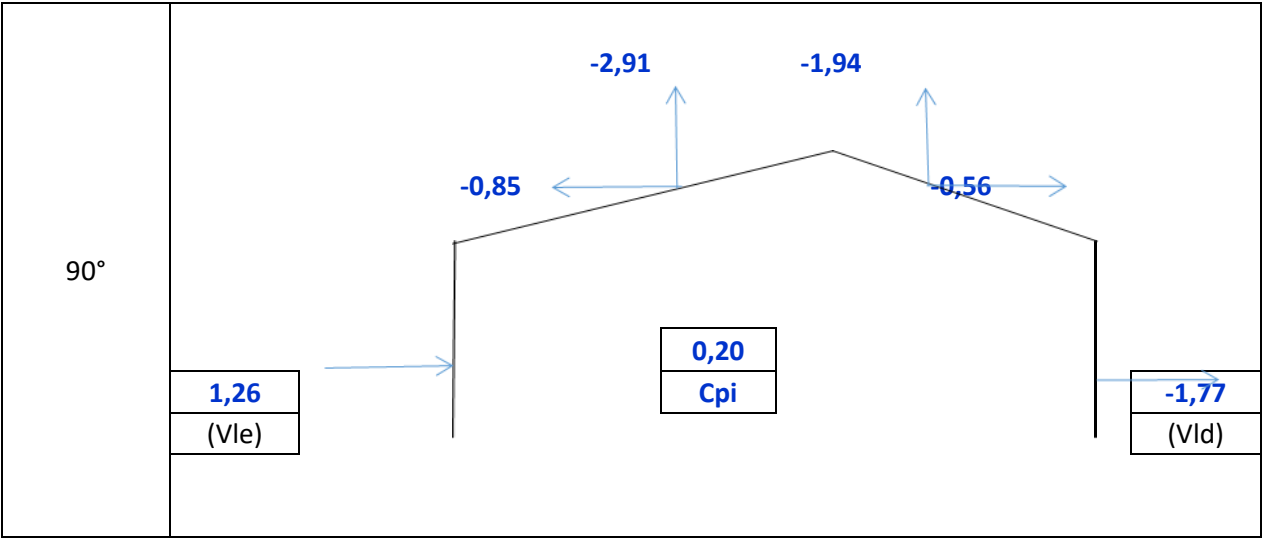
Assim segue sucessivamente.

Quadro 27 - Locação dos esforços no telhado decompostos no modelo 0 graus



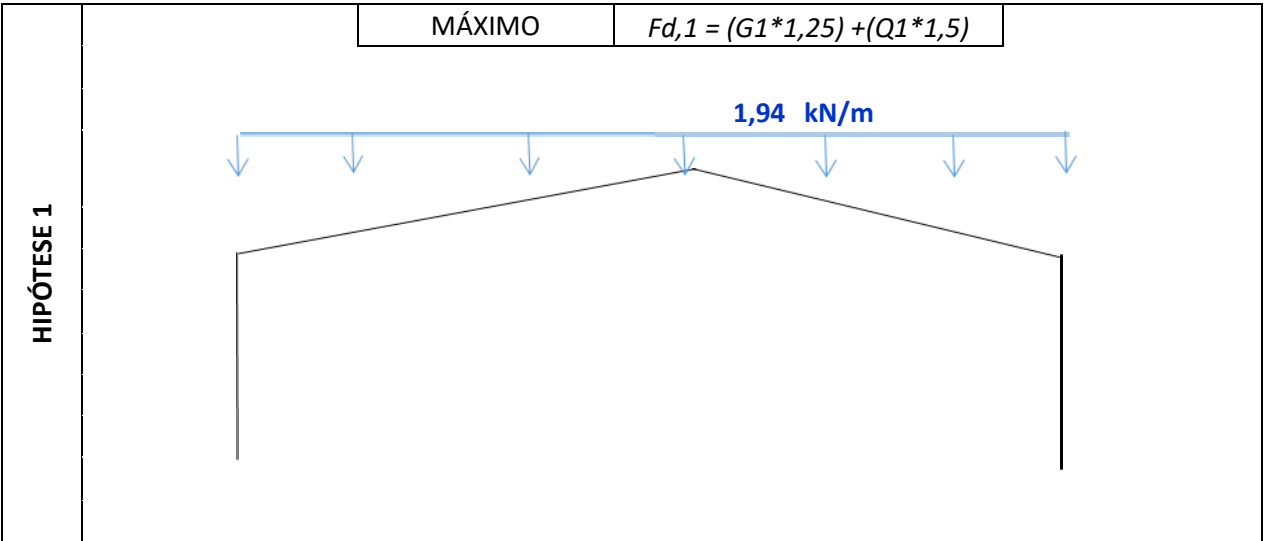
Fonte: Autoria própria

Quadro 28 - Locação dos esforços no telhado decompostos no modelo 90 graus



Fonte: Autoria própria

Quadro 29 - Combinações das ações ELU Hipótese 1

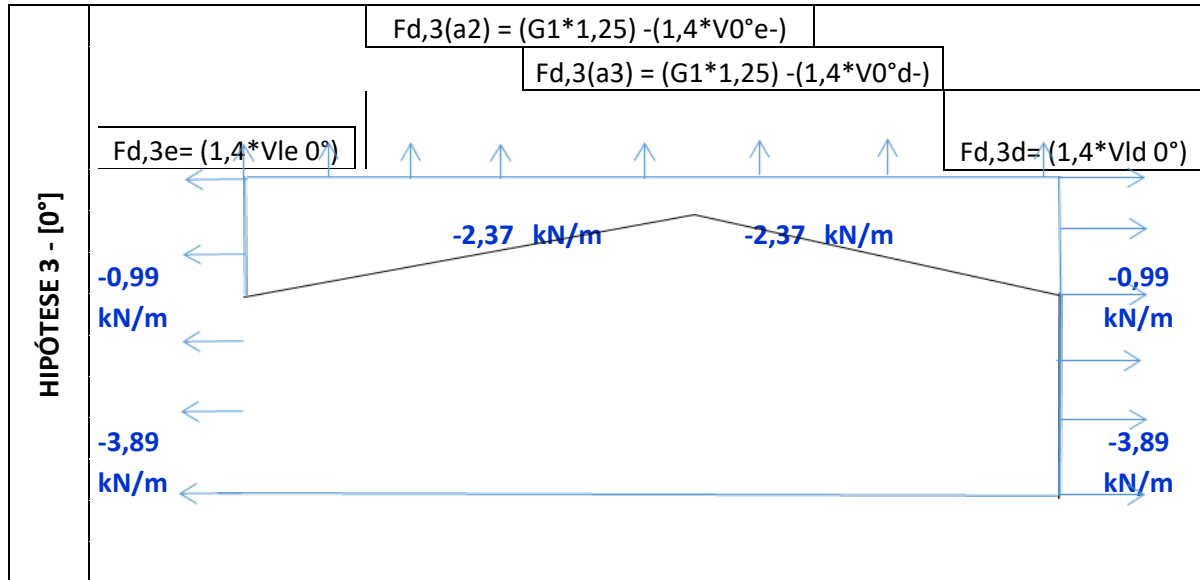


Fonte: Autoria própria

Validação da planilha:

$$Fd, 1 = (0,82KNm * 1,25) + (0,61 KNm * 1,50) = 1,94KNm$$

Quadro 30 - Combinações das ações ELU Hipótese 3



Fonte: Autoria própria

Validação da planilha

$$Fd, 2ae1 = (0,82 KNm * 1,25) + (-2,42 KNm * 1,4) = -2,37 KNm$$

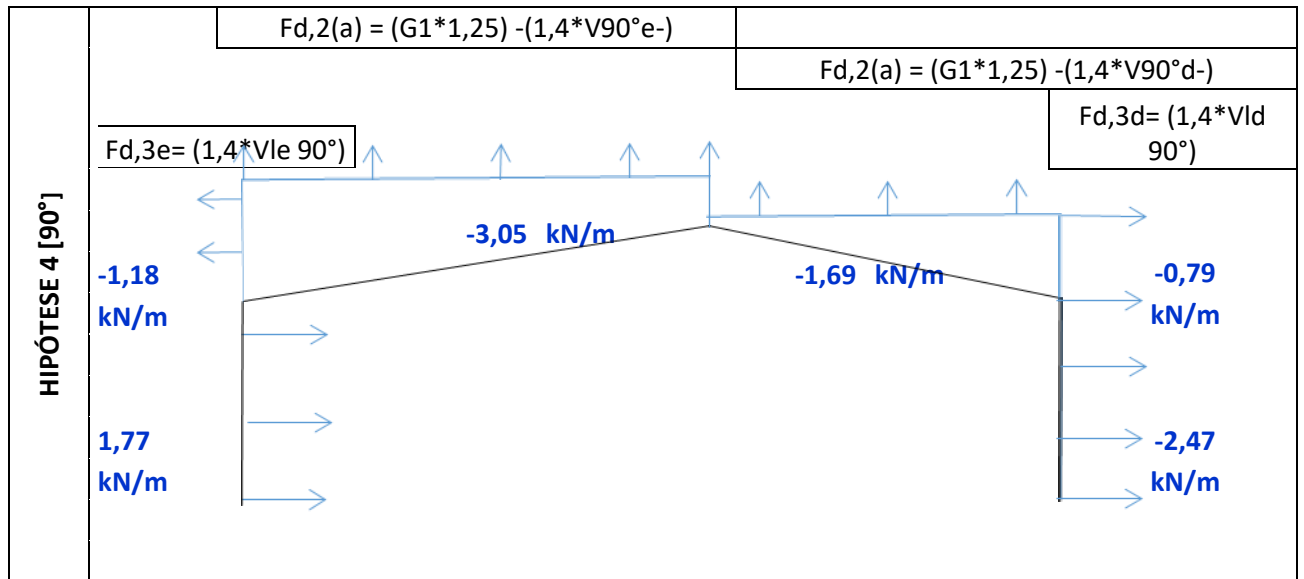
$$Fd, 2ae2 = (-0,71 KNm * 1,4) = -0,99 KNm$$

$$Fd, 2d1 = (0,82 KNm * 1,25) + (-2,42 KNm * 1,4) = -2,37 KNm$$

$$Fd, 2d1 = (-0,71 KNm * 1,4) = -0,99 KNm$$

$$Fd, 2c1 = (-2,78KNm * 1,4) = -3,89 KNm$$

$$Fd, 2c2 = (-2,78 KNm * 1,4) = -3,89 KN$$



Fonte: Autoria própria

Validação da planilha

$$Fd,2ae1 = (0,82 \text{ KNm} * 1,25) + (-2,91 \text{ KNm} * 1,4) = -3,05 \text{ KNm}$$

$$Fd,2ae2 = (-0,56 \text{ KNm} * 1,4) = -0,79 \text{ KNm}$$

$$Fd,2d1 = (0,82 \text{ KNm} * 1,25) + (-1,94 \text{ KNm} * 1,4) = -1,69 \text{ KNm}$$

$$Fd,2d1 = (-0,85 \text{ KNm} * 1,4) = -1,18 \text{ KNm}$$

$$Fd,2c1 = (1,26 \text{ KNm} * 1,4) = +1,77 \text{ KNm}$$

$$Fd,2c2 = (-1,77 \text{ KNm} * 1,4) = -2,47 \text{ KN}$$

O sistema é composto por um pórtico de 3 pilares, onde a mesa é composta de uma viga principal “W” e os pilares são tubos retangulares. Cada viga intermediária descarrega suas reações na viga principal, sendo o maior módulo de reação de cada viga intermediária. O telhado é composto por uma tesoura montada em sua base um perfil retangular e as barras inclinadas e travessa vertical, também perfis retangulares.

Os carregamentos são provindos das cargas de ventos já demonstradas nas ações de carregamento do vento e as reações das vigas intermediárias demonstradas nas análises anteriores de FTOOL do mesmo.

Além o carregamento determinado no item 4.1 “ações de carregamento mezanino”, considera-se o carregamento distribuído das paredes de vidro. Pois a concepção arquitetônica da obra é fechar a mesma em vidro.

Quadro 31 - Massa fachada vidro

Massa Pele de vidro		
Altura (h)	2,62	m
Largura (l)	8,03	m
Peso específico vidro [NBR 6120] (Y)	26,00	KNm ³
Espessura vidro (t)	10,00	mm
Carga vidro (Pv)	5,47	KN
Carregamento distribuído (Pvd)	0,68	KNm

Fonte: Autoria própria

Validação da planilha:

- Carga vidro

$$Pv = (l * h * t) * Y \rightarrow (2,62 \text{ m} * 8,03 \text{ m} * 0,01 \text{ m}) * 26 \frac{\text{KN}}{\text{m}^3} = 5,47 \text{ KN}$$

- Carregamento distribuído

$$Pvd = \frac{Pv}{l} \rightarrow \frac{5,47 \text{ KN}}{8,03 \text{ m}} = 0,68 \frac{\text{KN}}{\text{m}}$$

Perfis utilizados:

N2 – Perfil W 360 x 32,9

N3 – Tubo Retangular # 3,00 mm x (150 x 150)

N4 – Tubo Retangular # 3,00 mm x (150 x 150)

N5 – Tubo Retangular # 3,50 mm x (150 x 200)

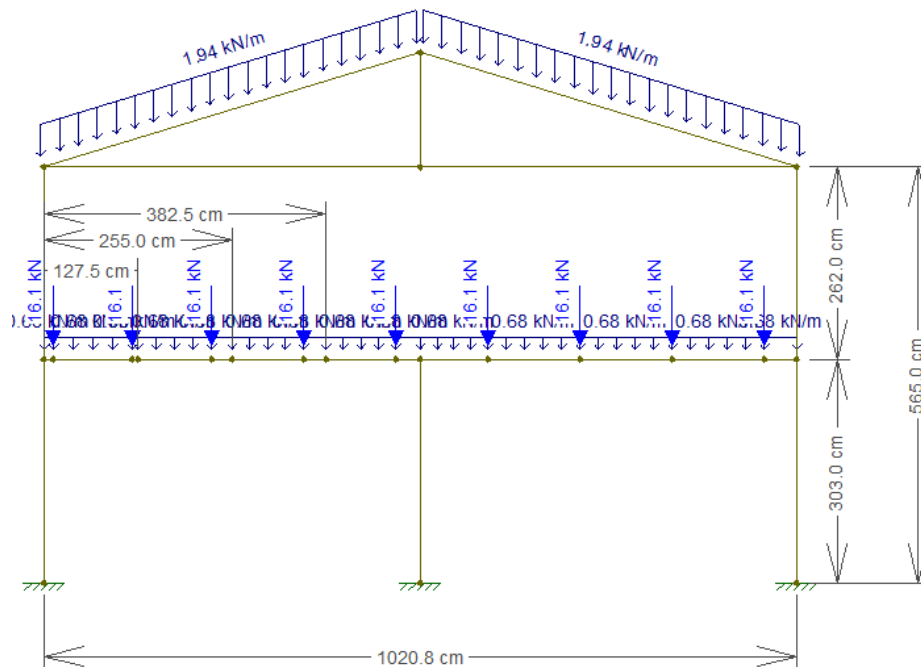
4.5.2 CARREGAMENTOS PÓRTICO FRONTAL

Conforme as 3 combinações de carregamentos analisadas, teremos os seguintes carregamentos para cada situação:

4.5.2.1 CARREGAMENTOS HIPÓTESE 01

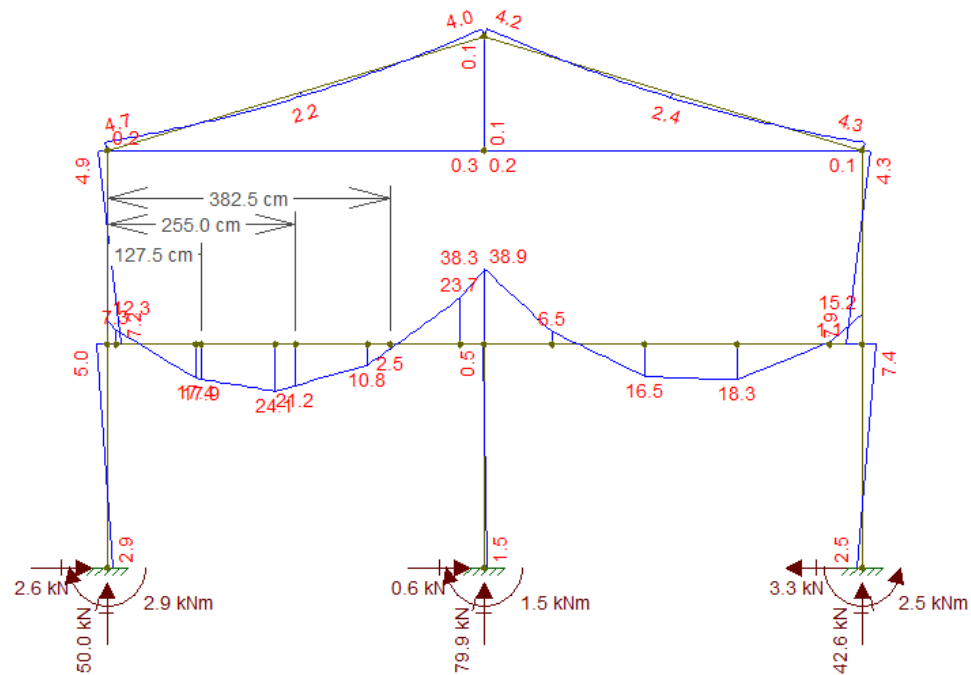
Os carregamentos da hipótese 01 são demonstrados da figura 30 a 35.

Figura 30 - Carregamentos Hip 01



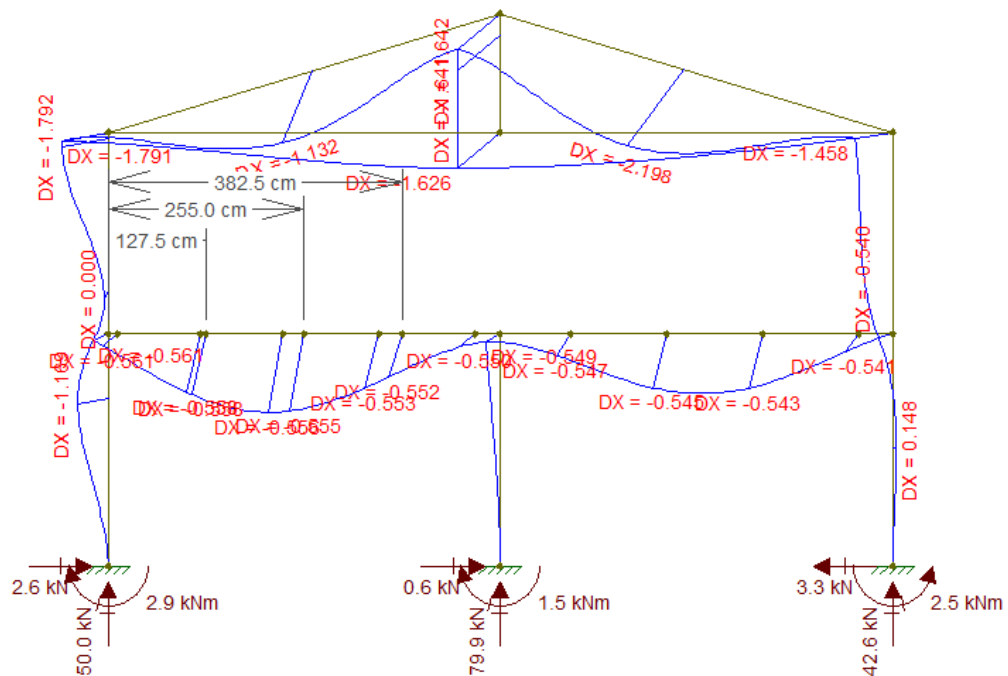
Fonte: Autoria própria

Figura 33 - Momentos Hip 01



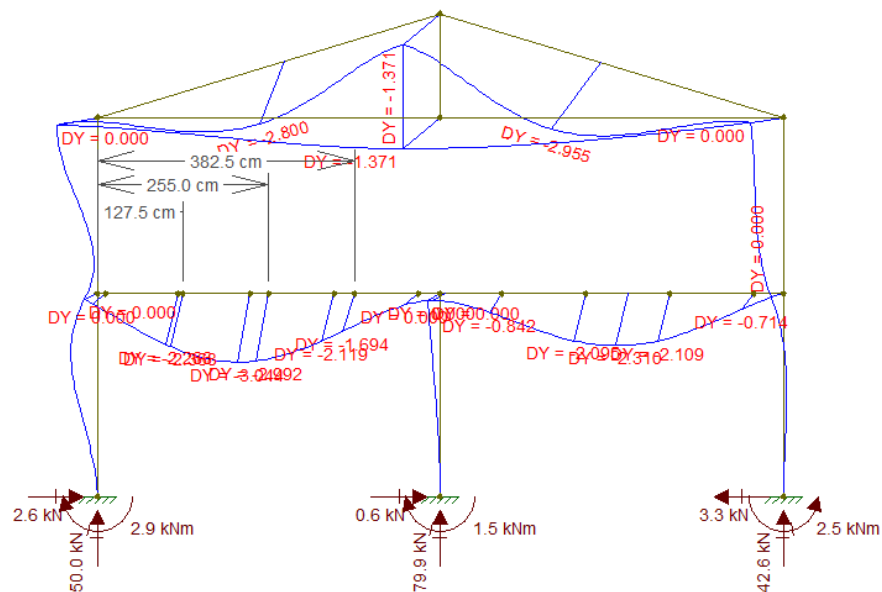
Fonte: Autoria própria

Figura 34 - Def. "X" Hip 01



Fonte: Autoria própria

Figura 35 - Def. "Y" Hip 01

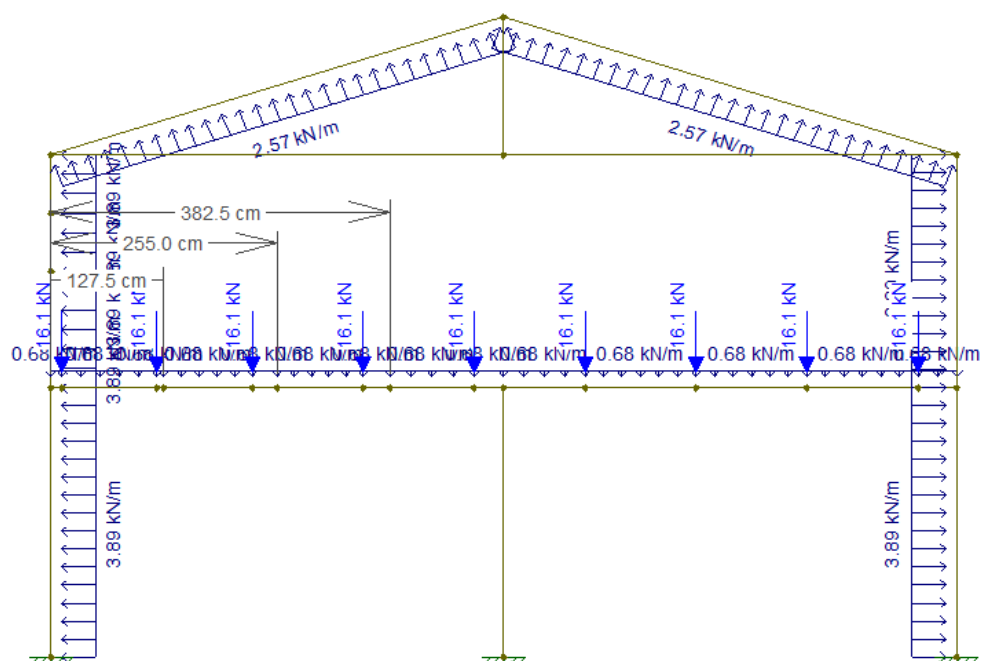


Fonte: Autoria própria

4.5.2.2 CARREGAMENTOS HIPÓTESE 03

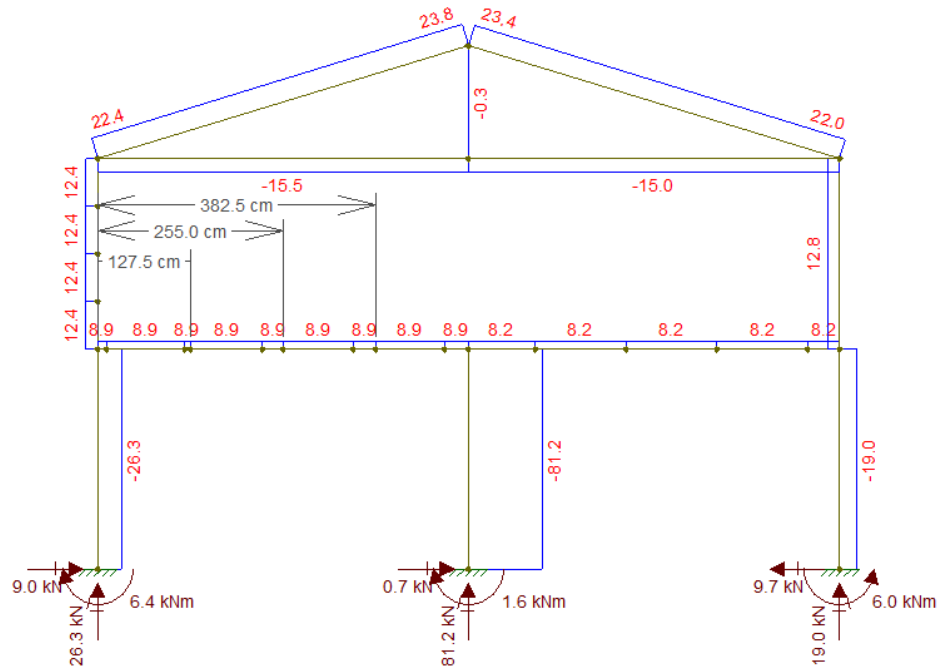
Os carregamentos da hipótese 03 são demonstrados da figura 36 a 41.

Figura 36 - Carregamentos Hip 03



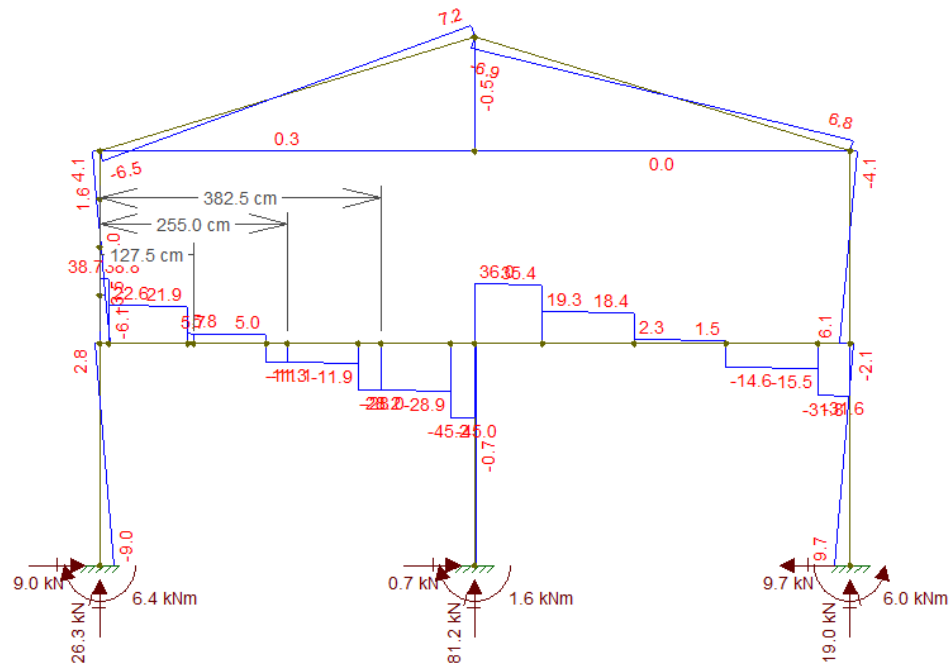
Fonte: Autoria própria

Figura 37 - Normais Hip 03



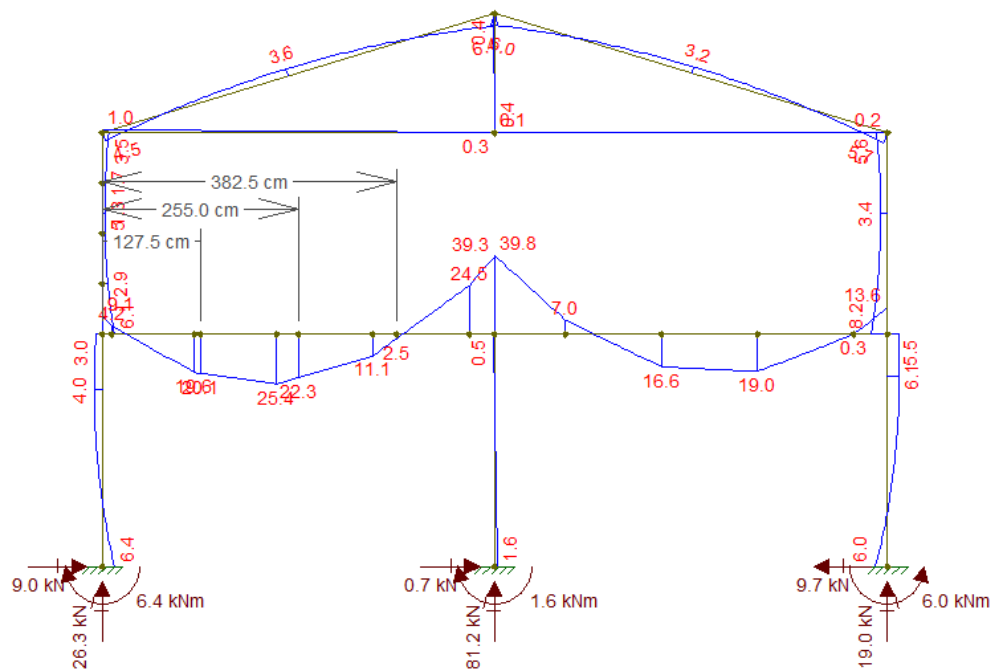
Fonte: Autoria própria

Figura 38 - Cortantes Hip 03



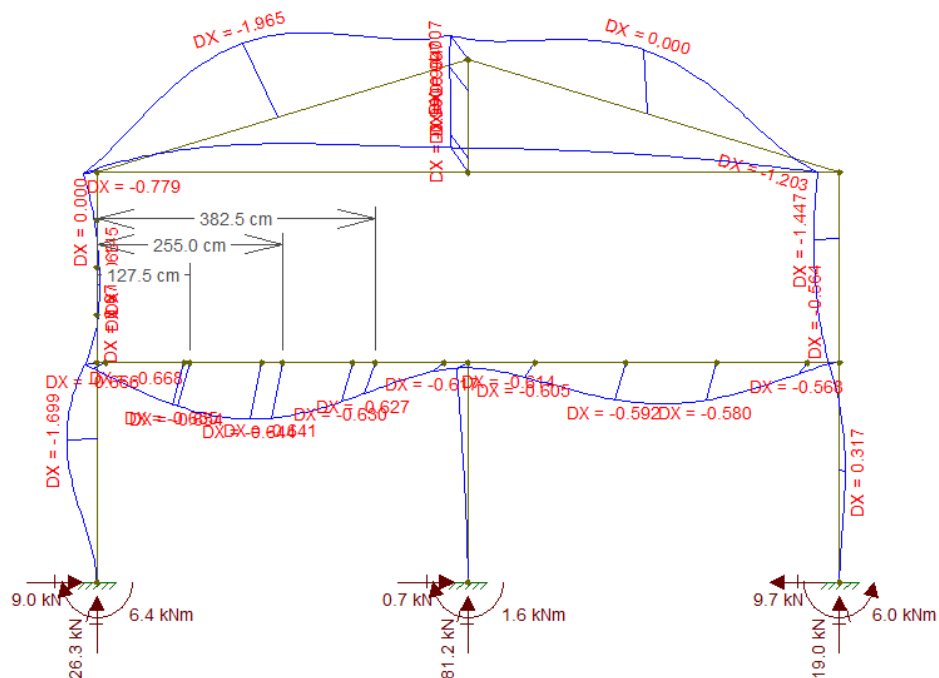
Fonte: Autoria própria

Figura 39 - Momentos Hip 03



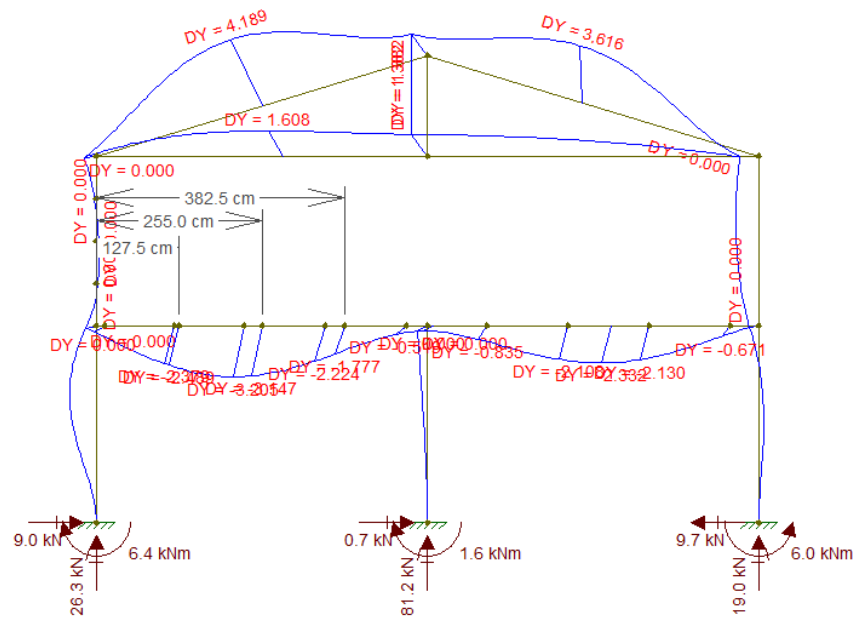
Fonte: Autoria própria

Figura 40 - Def. "x" hipótese 3



Fonte: Autoria própria

Figura 41 - Def. "y" hipótese 3

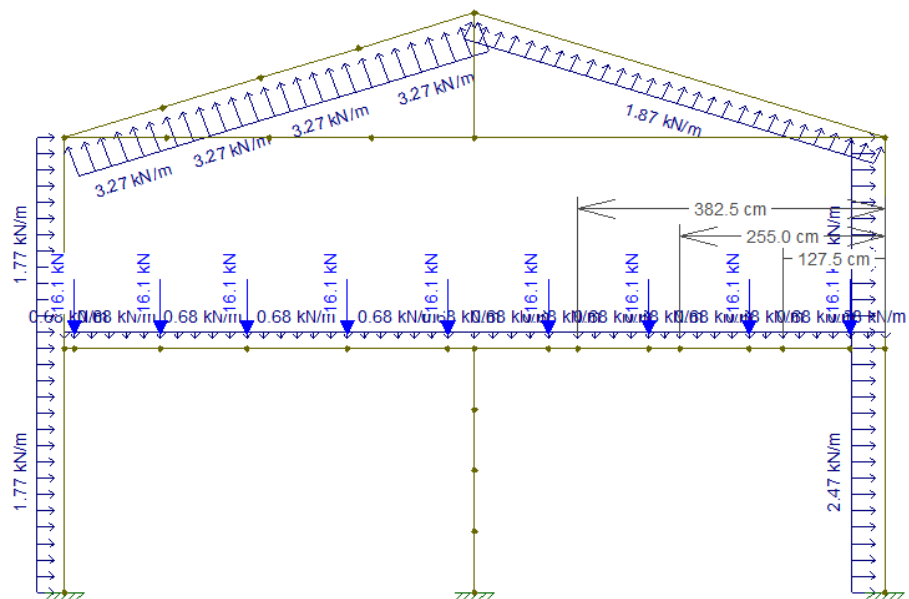


Fonte: Autoria própria

4.5.2.3 CARREGAMENTOS HIPÓTESE 04

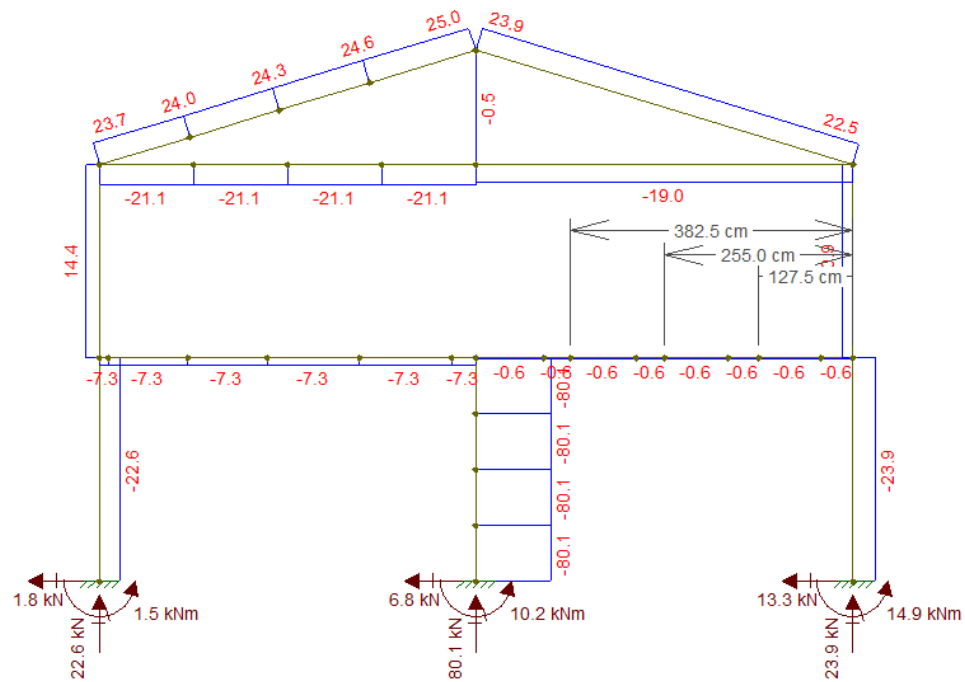
Os carregamentos da hipótese 04 são demonstrados da figura 42 a 47.

Figura 42 - Carregamentos Hip 04



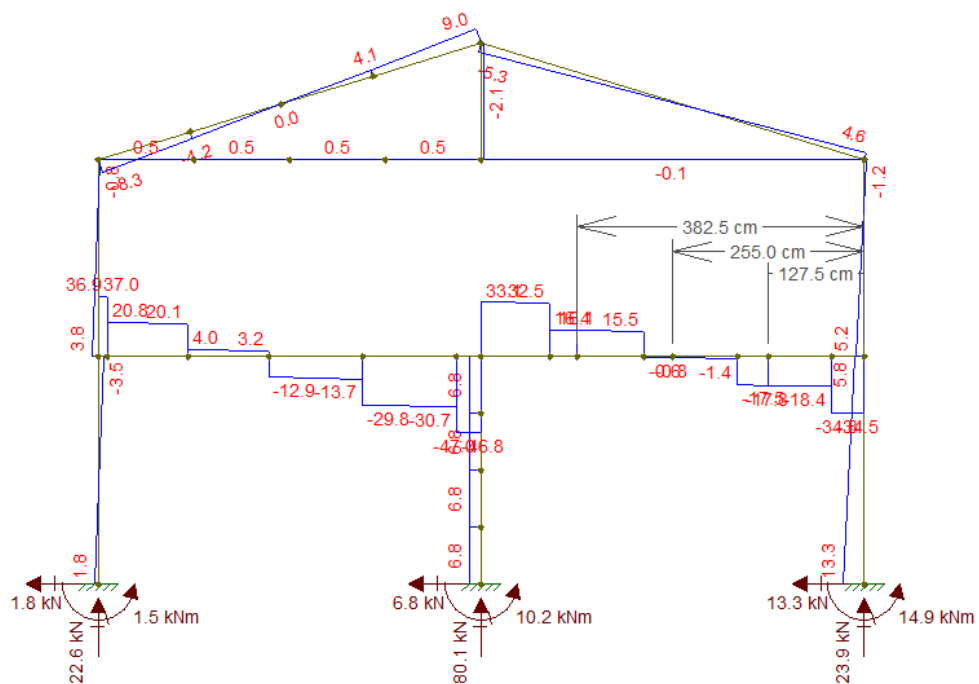
Fonte: Autoria própria

Figura 43 - Normais Hip 04



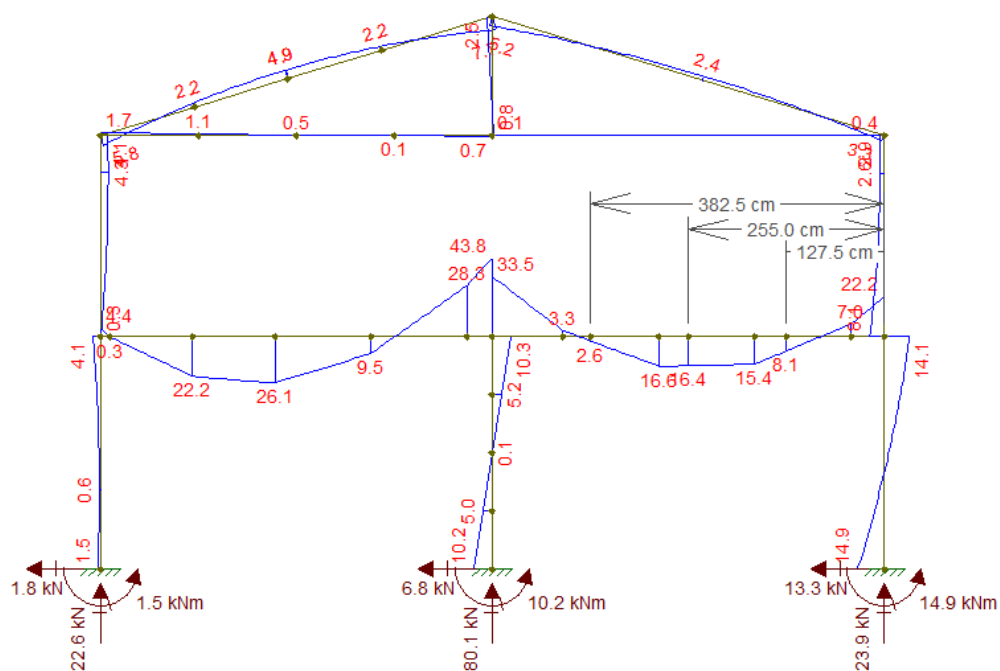
Fonte: Autoria própria

Figura 44 - Cortantes Hip 04



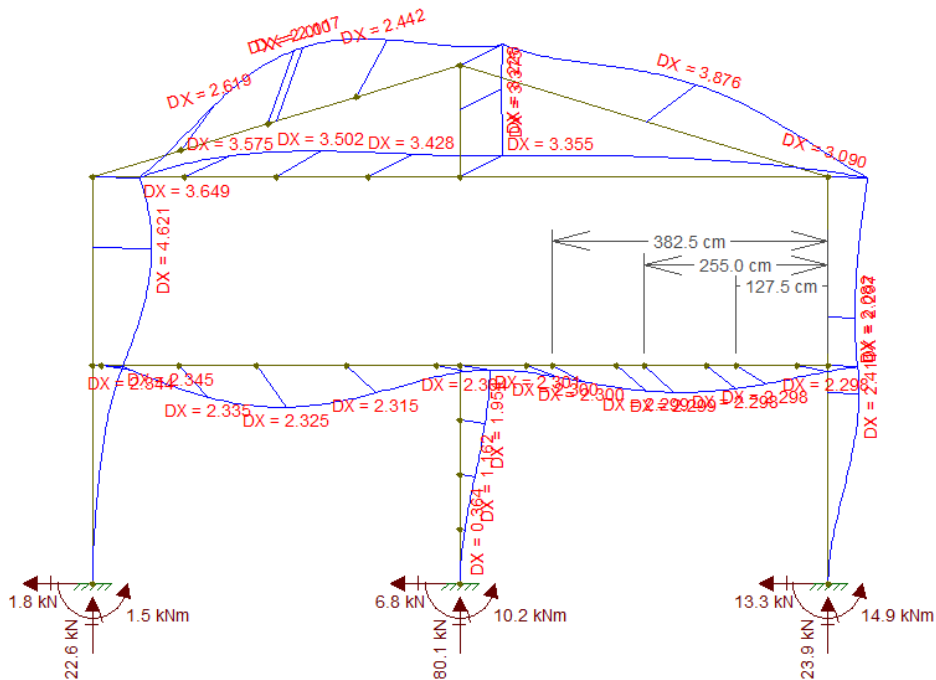
Fonte: Autoria própria

Figura 45 - Momentos Hip 04



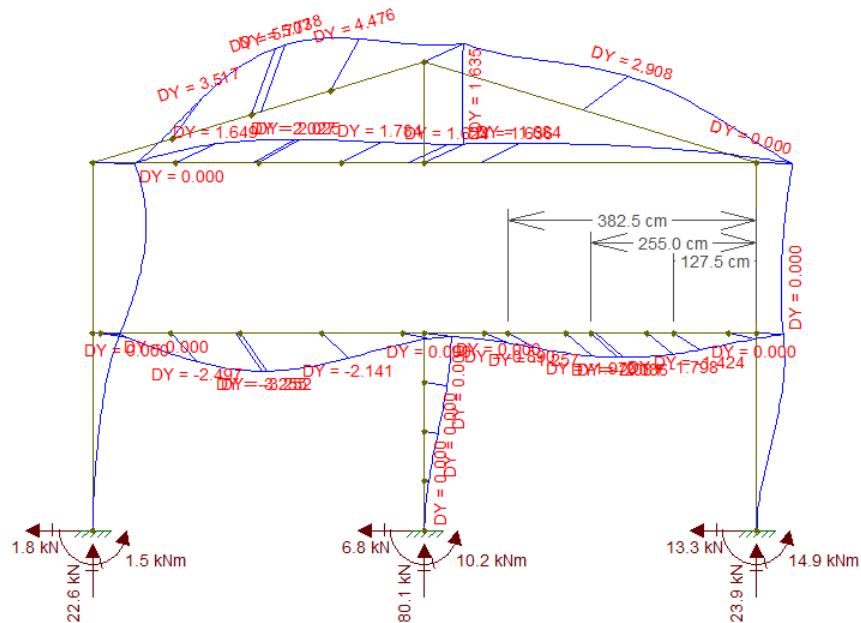
Fonte: Autoria própria

Figura 46 - Def. "x" hipótese 4



Fonte: Autoria própria

Figura 47 - Def. "y" hipótese 4



Fonte: Autoria própria

4.5.2.4 ANÁLISE DAS FLECHAS

Quadro 32 - flechas pórtico

QUADRO DE FLECHAS ANALISE		
FLECHA MÍNIMA "X" (ventos) 1:250		
Vão máximo	10.208,00	mm
Hipótese 1	1,79	mm
Hipótese 3	1,96	mm
Hipótese 4	3,87	mm
Flecha máxima 1:250	40,83	mm
Flecha "X"	3,87	mm
Requisito	passa	
FLECHA MÍNIMA "Y"		
FLECHA MÍNIMA "Y" 1:350		
Vão máximo	5.650,00	mm
Hipótese 1	3,04	mm
Hipótese 3	4,18	mm
Hipótese 4	5,73	mm
Flecha máxima 1:350	16,14	mm
Flecha "Y"	5,73	mm
Requisito	passa	

Fonte: Autoria própria

Com isto, verifica-se que as flechas atendem as NBR's em questão.

4.5.3 ANÁLISES DOS PERFIS

Com os carregamentos, as flechas obtidas, realiza-se as análises de cada perfil.

4.5.3.1 ANÁLISES DO PERFIL N2 – (VIGA W 360 X 32,9)

A análise do perfil N2 pode ser verificada nos cálculos Excel demonstrados nos quadros 33 a 40. Com suas devidas validações descritivas.

Quadro 33 - Propriedades viga W360 x 32,9

Propriedades Cat. Gerdau viga W360 x 32,9		
ABA (Tf)	8,50	mm
VERTICE. (a)	17,00	mm
ALT. EXTERNA. (D)-(h)	349,00	mm
BASE (Bf)-(B)	127,00	mm
ALT. INT. (Tw)-(h)	5,80	mm
Wfx	479000,00	mm ³
AREA (S)	4210,00	mm ²
Inércia (x - x)	83580000,00	mm ⁴
Inércia (y - y)	2910000,00	mm ⁴
Inercia a torção "J"	91500,00	mm ⁴
Raio giração transv. (x)	140,90	mm
Raio giração long. (y)	26,30	mm
Cw	84111000000,00	mm ⁶
Zx	547600,00	mm ³
Zy	72000,00	mm ³

Fonte: Autoria própria

Validação da planilha:

- Vértice (Fonte: Protec)

$$a \Rightarrow 2 * Tf \rightarrow 2 * 8,50 \text{ mm} = 17,00 \text{ mm}$$

- O restante das propriedades geométricas fora extraído do catálogo GERDAU.

→ PREMISSAS DE CÁLCULO

- Liga metálica utilizada = ASTM A572
- Perfil da análise = Perfil W 360 x 32,9

→ PROCESSOS DE CÁLCULO

Quadro 34 - Coeficientes ponderação viga N2

COEFICIENTES DE PONDERAÇÃO		
Ya1	1,10	
Ya2	1,35	

Fonte: Autoria própria

Quadro 35 - Esforços obtidos

ESFORÇOS OBTIDOS		
TRAÇÃO	8,90	KN
Hip 1	2,00	KN
Hip 3	8,90	KN
Hip 4	2,80	KN
COMPRESSÃO	7,30	KN
Hip 1	0,00	KN
Hip 3	0,00	KN
Hip 4	7,30	KN
CORTANTE	47,00	KN
Hip 1	44,40	KN
Hip 3	45,20	KN
Hip 4	47,00	KN
MOMENTO FLETOR	43,80	KNm
	43800000,00	KNmm
Hip 1	38,90	KN
Hip 2	-	KN
Hip 3	39,80	KN
Hip 4	43,80	KN

Fonte: Autoria própria

Análise a tração

Quadro 36 - Tração N2

ANÁLISE A TRAÇÃO		
Nt, rd (escoamento)	1320409	N
Nt, ruptura (escoamento) [Ct=1]	1403333	N
Nt, rd	1320409	N
Nt, sd	8900	N
Segurança	passa	

Fonte: Autoria própria

Validação da planilha:

- Nt, rd (escoamento)

$$Nt, rd = \frac{Ag * fy}{\gamma_{a1}} \rightarrow \frac{4210,00 \text{ mm}^2 * 345,00 \frac{N}{\text{mm}^2}}{1,10} = 1320409 \text{ N}$$

- Nt, rd (ruptura)

$$Nt, rd = \frac{Ae * fu}{\gamma_{a2}} \rightarrow \frac{4210,00 \text{ mm}^2 * 450,00 \frac{N}{\text{mm}^2}}{1,35} = 1403333 \text{ N}$$

No caso em questão “An” e “Ct” são iguais a 1,0. Devido a secção não haver furos.

Análise a compressão

Quadro 37 - Compressão N2

ANÁLISE A COMPRESSÃO		
Kx , Ky	d	
	5.100,00	mm
Nex	6342957	N
Ney	220842	N
Q	1,00	-
λ0x	0,48	
λ0y	2,56	
χ "x"	0,91	
χ "y"	0,13	
Nc,rd "x"	1199733	N
Nc,rd "y"	176072	N
Nc,rd	176072	N
Nc,sd	7300	N
Segurança	passa	

Fonte: Autoria própria

Validação da planilha:

- K_x, K_y (Fonte: NBR 8800)

$$K_x, K_y = (1,0 * lb) \rightarrow (1,0 * 5100,00 \text{ mm}) = 5100,00 \text{ mm}$$

- N_{ex}, N_{ey}

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 * E * I}{(K_x L_x)^2} \rightarrow \frac{\pi^2 * 200000,00 \text{ Mpa} * 83580000,00 \text{ mm}^3}{(5100,00 \text{ mm})^2} = 6342957 \text{ N}$$

$$N_{ey} = \frac{\pi^2 * E * I}{(K_y L_y)^2} \rightarrow \frac{\pi^2 * 200000,00 \text{ Mpa} * 2910000,00 \text{ mm}^4}{(5100,00 \text{ mm})^2} = 220842 \text{ N}$$

- $\lambda_{0x}, \lambda_{0y}$

$$\lambda_{0x} = \sqrt{\frac{Q * A_g * F_y}{N_{ex}}} \rightarrow \sqrt{\frac{1 * 5100,00 \text{ mm}^2 * 345,00 \text{ Mpa}}{6342957 \text{ N}}} = 0,48$$

$$\lambda_{0y} = \sqrt{\frac{Q * A_g * F_y}{N_{ey}}} \rightarrow \sqrt{\frac{1 * 5100,00 \text{ mm}^2 * 345,00 \text{ Mpa}}{220842 \text{ N}}} = 2,56$$

- χ

$$\text{Se } \lambda_0 \leq 1,5 \rightarrow \chi = 0,658^{\lambda_0^2}; \text{ Se } \lambda_0 \geq 1,5 \rightarrow \chi = \frac{0,877}{\lambda_0^2}$$

Tal que:

$$\chi(x) = 0,658^{\lambda_0^2} \rightarrow 0,658^{0,48^2} = 0,91$$

$$\chi(y) = \frac{0,877}{\lambda_0^2} \rightarrow \frac{0,877}{2,56^2} = 0,13$$

• $N_{c,rd}(x, y)$

$$N_{c,rd}(x) = \frac{\chi * Q * A_g * F_y}{\gamma_{a1}} \rightarrow \frac{0,91 * 1 * 5100,00 \text{ mm}^2 * 345,00 \text{ MPa}}{1,10} \\ = 1199733 \text{ N}$$

$$N_{c,rd}(y) = \frac{\chi * Q * A_g * F_y}{\gamma_{a1}} \rightarrow \frac{0,13 * 1 * 5100,00 \text{ mm}^2 * 345,00 \text{ MPa}}{1,10} \\ = 176072 \text{ N}$$

Análise ao cisalhamento e momento fletor

Quadro 38 - Cisalhamento N2

ANÁLISE AO CISLHAMENTO		
λ	60,17	
K_v	5,00	
λ_p	59,22	
λ_r	73,76	
Cortante ref. Há plastificação [Vpl]	398,6	KN
Cortante admissível [Vrd]	356,6	KN
Cortante aplicado [Vsd]	47,0	KN
FATOR SEG.	passa	

Fonte: Autoria própria

Validação da planilha:

$$\lambda = \frac{h}{t_w} \rightarrow \frac{349,00 \text{ mm}}{5,80 \text{ mm}} = 60,17$$

$$\lambda_p = 1,10 \sqrt{\frac{K_v * E}{f_y}} \rightarrow 1,10 \sqrt{\frac{5 * 200000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{345,00 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}} = 59,22$$

$$\lambda_r = 1,37 \sqrt{\frac{K_v * E}{f_y}} \rightarrow \sqrt{\frac{5 * 200000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{345,00 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}} = 73,76$$

$$A_w = (T_w * (H - a))$$

$$V_{pl} = 0,60 * A_w * f_y \rightarrow 0,60 * (5,80 \text{ mm} * (349,00 \text{ mm} - 17,00 \text{ mm})) * 345 \text{ MPa} \\ = 398,60 \text{ KN}$$

- Condição:

$$Se \lambda \leq \lambda_p \rightarrow V_{rd} = \frac{V_{pl}}{\gamma_{a1}} \rightarrow \frac{398,60 \text{ KN}}{1,10} = 356,6 \text{ KN}$$

Quadro 39 - Momentos N2

ANÁLISE MOMENTO FLETOR RESIST. CALCULOS Viga interm.		
ANÁLISE ALMA (FLA)		
λ	60,17	
λ_p	90,53	
Regime de trabalho	secção esbelta	
ANÁLISE MESA (FLM)		
λ	7,47	
λ_p	9,15	
Regime de trabalho	secção esbelta	
ANÁLISE FLAMBAGEM LATERAL (FLT)		
Lb	5100,00	mm
λ	193,92	
λ_p	42,38	
β_1	0,0063	
λ_r	312,38	
Mr	115678500	Nmm
Regime de trabalho	secção compacta	
DETERMINAÇÃO "cb"		
(1/4)l	1275,00	mm
	22,20	KNm
(1/2)l	2550,00	mm
	26,10	KNm
(3/4)l	3825,00	mm
	9,50	KNm
"cb"	1,77	-
Momento Fletor plastificação [Mpl]	24840000	Nmm
Cw	84111000000	mm ⁶
Momento Flambagem elástica [Mcr]	96484916	Nmm
DETEMINAÇÃO DO MOM. RESIST.		
Momento resistente de cálculo [Mrd]	122133871	Nmm
Momento de serviço [Msd]	43800000	Nmm
FATOR SEG.	passa	

Fonte: Autoria própria

Validação da planilha:

- Análise da alma (FLA) (Fonte: NBR 8800)

$$\lambda = \frac{h}{tw} \rightarrow \frac{349,00 \text{ mm}}{5,80 \text{ mm}} = 60,17$$

$$\lambda p = 3,76 * \sqrt{\frac{E}{fy}} \rightarrow 3,76 * \sqrt{\frac{200000,00 \frac{N}{mm^2}}{345,00 \frac{N}{mm^2}}} = 90,53$$

- Análise da mesa (FLM) (Fonte: NBR 8800)

$$\lambda = \frac{\frac{B}{tf}}{2} \rightarrow \frac{\frac{127,00 \text{ mm}}{8,50 \text{ mm}}}{2} = 7,47$$

$$\lambda p = 0,38 * \sqrt{\frac{E}{fy}} \rightarrow 0,38 * \sqrt{\frac{200000,00 \frac{N}{mm^2}}{345,00 \frac{N}{mm^2}}} = 9,15$$

- Análise da flambagem lateral (FLT) (Fonte: NBR 8800)

$$\lambda = \frac{Lb}{ry} \rightarrow \frac{5100,00 \text{ mm}}{26,30 \text{ mm}} = 193,92$$

$$\lambda p = 1,76 * \sqrt{\frac{E}{fy}} \rightarrow 1,76 * \sqrt{\frac{200000,00 \frac{N}{mm^2}}{345,00 \frac{N}{mm^2}}} = 42,38$$

$$\beta_1 = \frac{(f_y - \sigma_1)W}{E * J} \rightarrow \frac{(345 \text{ Mpa} - (345 \text{ Mpa} * 0,3)) * 479000,00 \text{ mm}^3}{200000 \text{ Mpa} * 915000 \text{ mm}^4} = 0,0006$$

$$\begin{aligned} \lambda_r &= \frac{1,38 * \sqrt{I_y} * J}{r_y * J * \beta_1} * \sqrt{1} + \sqrt{1 + \frac{27 * C_W * \beta_1^2}{I_x}} \\ &\rightarrow \frac{1,38 * \sqrt{2910000,00 \text{ mm}^4} * 91500,00 \text{ mm}^4}{26,30 \text{ mm} * 91500,00 \text{ mm}^4 * 0,0006} * \sqrt{1} \\ &\quad + \sqrt{1 + \frac{27 * 84111000000,00 \text{ mm}^6 * 0,0006^2}{2910000,00 \text{ mm}^4}} = 312,38 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Mr &= (F_y - \sigma_r) * W \rightarrow \left[345,00 \frac{N}{\text{mm}^2} - \left(345,00 \frac{N}{\text{mm}^2} * 0,3 \right) \right] * 479000,00 \text{ mm}^4 \\ &= 115678500 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_b &= \frac{12,5 M_{max}}{2,5 M_{max} + 3 M_A + 4 M_B + 3 M_C} \leq 3,0 \\ &\rightarrow \frac{12,5 * 43,80 \text{ KNm}}{2,5 * 43,80 \text{ KNm} + 3 * 22,20 \text{ KNm} + 4 * 26,10 \text{ KNm} + 3 * 9,50 \text{ KNm}} \\ &= 1,77 \end{aligned}$$

$$M_{pl} = Z * f_y \rightarrow 720000 \text{ mm}^3 * 345,00 \frac{N}{\text{mm}^2} = 24840000 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned} C_W &= \frac{[(H - a)^2 * I_y]}{4} \rightarrow \frac{[(349,00 \text{ mm} - 17,00 \text{ mm})^2 * 2910000,00 \text{ mm}^4]}{4} \\ &= 84111000000 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{cr} &= \frac{C_b * \pi^2 * E * I_y}{L b^2} * \frac{\sqrt{C_w}}{I_y} * \left(1 + 0,039 * \frac{J * L b^2}{C_w} \right) \\
 &\rightarrow \frac{1,77 * \pi^2 * 2000000,00 \frac{N}{mm^2} * 2910000,00 mm^4}{(5100,00 mm)^2} \\
 &\quad * \frac{\sqrt{84111000000,00 mm^4}}{2910000,00 mm^4} \\
 &\quad * \left(1 + 0,039 * \frac{91500,00 mm^4 * (5100 mm)^2}{84111000000,00 mm^4} \right) \rightarrow 96484916 Nmm
 \end{aligned}$$

- Condição (Fonte: NBR 8800)

$$\begin{aligned}
 \text{Se } \lambda_p < \lambda \leq \lambda_r &\rightarrow M_{rd} = \frac{C_b}{\gamma_{a1}} * [M_{pl} - (M_{pl} - M_r) \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p}] \\
 &\rightarrow \frac{1,77}{1,10} * [24840000 Nmm \\
 &\quad - (24840000 Nmm - 115678500 Nmm) \frac{193,92 - 42,38}{312,38 - 42,38}] \\
 &= 122133871 Nmm
 \end{aligned}$$

Soldagem

Quadro 40 - Solda N2

SOLDAS		
h	5,00	mm
l	254,00	mm
Eletrodo	E7018	
	485,00	Nmm ²
Yw1	1,35	
Aw	898	mm ²
Fw, [Rd] ^ (a b d)	193545	N
Fw, Sd	48000	N
FATOR SEG.	passa	

Fonte: Autoria própria

Validação da planilha:

$$Aw = 0,707 * h * l \rightarrow 0,707 * 5,00 mm * 254,00 mm = 898 mm^2$$

$$F_{w,rd} = \frac{0,6 * A_w * F_w}{Y_{w1}} \rightarrow \frac{0,6 * 898 \text{ mm}^2 * 485,00 \frac{N}{\text{mm}^2}}{1,35} = 193545 \text{ N}$$

4.5.3.2 ANÁLISES DO PERFIL N3 – PILAR (Tubo retangular # 3,00 x 150 x 150)

A análise do perfil N3 pode ser verificada nos cálculos Excel demonstrados nos quadros 41 a 47. Com suas devidas validações descritivas.

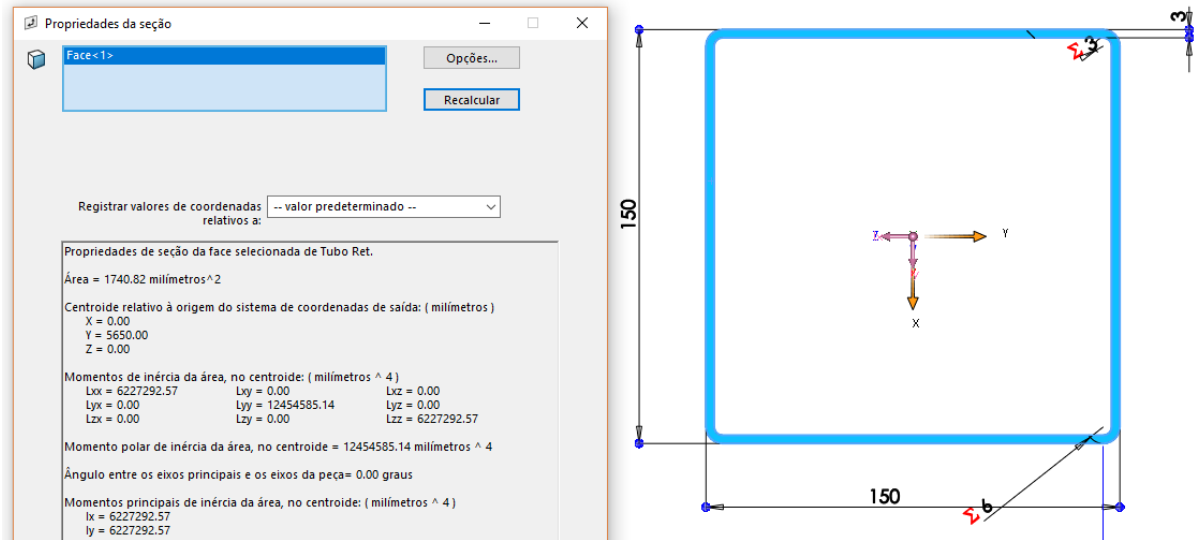
Quadro 41- Propriedades N3

Propriedades geométricas Perfil N3		
BASE (B)	150,00	mm
ALTURA (H)	150,00	mm
ESP. PAREDE (t)	3,00	mm
b	144,00	mm
h	144,00	mm
W _{fx}	84742,56	mm ³
A (S)	1764,00	mm ²
Inércia (x - x) [solid]	6355692,00	mm ⁴
Inércia (y - y) [soldi]	6355692,00	mm ⁴
Inercia a torção "J"	6480,00	mm ⁴
Raio giração transv. (x)	60,02	mm
Raio giração long. (y)	60,02	mm
C _w	35750767500,00	mm ⁶

Fonte: Autoria própria

Abaixo na figura 48, verifica-se a calibragem da tabela acima com as propriedades fornecida no software Solidworks.

Figura 48 - Conferência propriedades N3



Fonte: Autoria própria

Validação da planilha:

- Base interna (b) (Fonte: Protec)

$$b = (B - 2 * t) \rightarrow (150,00 \text{ mm} - 2 * 3,00 \text{ mm}) = 144,00 \text{ mm}$$

- Altura interna (h) (Fonte: Protec)

$$h = (H - 2 * t) \rightarrow (150,00 \text{ mm} - 2 * 3,00 \text{ mm}) = 144,00 \text{ mm}$$

- Wfx (Fonte: Protec)

$$Wfx = \frac{BH^3 - bh^3}{6H}$$

$$\rightarrow \frac{(150,00 \text{ mm} * (150,00 \text{ mm})^3) - (144,00 \text{ mm} * (144,00 \text{ mm})^3)}{6 * 150,00 \text{ mm}}$$

$$= 84742,56 \text{ mm}^3$$

- Área (Fonte: Protec)

$$S = HB - hb \rightarrow (150,00 \text{ mm} * 150,00 \text{ mm}) - (144,00 \text{ mm} * 144,00 \text{ mm})$$

$$= 1764,00 \text{ mm}^2$$

• Ix/Iy (Fonte: Protec)

$$I(x) = \frac{HB^3 - hb^3}{12}$$

$$\rightarrow \frac{(150,00 \text{ mm} * (150,00 \text{ mm})^3) - (144,00 \text{ mm} * (144,00 \text{ mm})^3)}{12}$$

$$= 6355692,00 \text{ mm}^4$$

$$I(y) = \frac{BH^3 - bh^3}{12}$$

$$\rightarrow \frac{(150,00 \text{ mm} * (150,00 \text{ mm})^3) - (144,00 \text{ mm} * (144,00 \text{ mm})^3)}{12}$$

$$= 6355692,00 \text{ mm}^4$$

-> Rx/Ry (Fonte: Protec)

$$R(x) = \sqrt{\frac{Ix}{S}} \rightarrow \sqrt{\frac{6355692,00 \text{ mm}^4}{1764,00 \text{ mm}^2}} = 60,02 \text{ mm}$$

$$R(y) = \sqrt{\frac{Iy}{S}} \rightarrow \sqrt{\frac{6355692,00 \text{ mm}^4}{1764,00 \text{ mm}^2}} = 60,02 \text{ mm}$$

$$Cw = \frac{H^2 * Iy}{4} \rightarrow \frac{(150,00 \text{ mm})^2 * 6355692,00 \text{ mm}^4}{4} = 35750767500,00 \text{ mm}^6$$

→ PREMISSAS DE CÁLCULO

- Liga metálica utilizada = A 36
- Perfil da análise = Perfil retangular # 3,00 mm x (150 x 150 mm)

→ PROCESSOS DE CÁLCULO

Quadro 42 - Coef. ponderação N3

COEFICIENTES DE PONDERAÇÃO		
Ya1	1,10	
Ya2	1,35	

Fonte: Autoria própria

Quadro 43 - Esforços N3

ESFORÇOS OBTIDOS		
TRAÇÃO	0,00	KN
Hip 1	0,00	KN
Hip 3	0,00	KN
Hip 4	0,00	KN
COMPRESSÃO	81,20	KN
Hip 1	79,90	KN
Hip 3	81,20	KN
Hip 4	80,10	KN
CORTANTE	13,30	KN
Hip 1	3,30	KN
Hip 3	9,70	KN
Hip 4	13,30	KN
MOMENTO FLETOR	14,90	KNm
	1490000,00	KNmm
Hip 1	7,40	KNm
Hip 2	-	KNm
Hip 3	6,10	KNm
Hip 4	14,90	KNm

Fonte: Autoria própria

Análise a compressão

Quadro 44 - Compressão N3

ANÁLISE A COMPRESSÃO		
Kx, Ky	d	
	3.030,00	mm
Nex	1366492,73	N
Ney	1366492,73	N
Q	1,00	-
λ_{0x}	0,57	
λ_{0y}	0,57	
χ "x"	0,87	
χ "y"	0,87	
Nc, rd "x"	350254	N
Nc, rd "y"	350254	N
Nc, rd	350254	N
Nc, sd	81200	N
Segurança	passa	

Fonte: Autoria própria

Validação da planilha:

- Kx, Ky (Fonte: NBR 8800)

$$Kx, Ky = (1,0 * lb) \rightarrow (1,0 * 3030,00 \text{ mm}) = 3030,00 \text{ mm}$$

- Nex, Ney

$$Ne(x) = \frac{\pi^2 * E * I}{(KxLx)^2} \rightarrow \frac{\pi^2 * 200000,00 \text{ Mpa} * 6355692,00 \text{ mm}^3}{(3030,00 \text{ mm})^2} = 1366492,73 \text{ N}$$

$$Ne(y) = \frac{\pi^2 * E * I}{(KxLx)^2} \rightarrow \frac{\pi^2 * 200000,00 \text{ Mpa} * 6355692,00 \text{ mm}^3}{(3030,00 \text{ mm})^2} = 1366492,73 \text{ N}$$

• $\lambda_{0x}, \lambda_{0y}$

$$\lambda_{0x} = \sqrt{\frac{Q * A_g * F_y}{N_{ex}}} \rightarrow \sqrt{\frac{1 * 1764,00 \text{ mm}^2 * 250,00 \text{ Mpa}}{1366492,73 \text{ N}}} = 0,57$$

$$\lambda_{0y} = \sqrt{\frac{Q * A_g * F_y}{N_{ex}}} \rightarrow \sqrt{\frac{1 * 1764,00 \text{ mm}^2 * 250,00 \text{ Mpa}}{1366492,73 \text{ N}}} = 0,57$$

• χ

$$\text{Se } \lambda_0 \leq 1,5 \rightarrow \chi = 0,658^{\lambda_0^2}; \text{ Se } \lambda_0 \geq 1,5 \rightarrow \chi = \frac{0,877}{\lambda_0^2}$$

Tal que:

$$\chi(x) = 0,658^{\lambda_0^2} \rightarrow 0,658^{0,57^2} = 0,87$$

$$\chi(x) = 0,658^{\lambda_0^2} \rightarrow 0,658^{0,57^2} = 0,87$$

• $N_{c, rd}(x, y)$

$$N_{c, rd}(x) = \frac{\chi * Q * A_g * F_y}{\gamma_{a1}} \rightarrow \frac{0,87 * 1 * 1764,00 \text{ mm}^2 * 250,00 \text{ MPa}}{1,10} \\ = 350254 \text{ N}$$

$$N_{c, rd}(y) = \frac{\chi * Q * A_g * F_y}{\gamma_{a1}} \rightarrow \frac{0,87 * 1 * 1764,00 \text{ mm}^2 * 250,00 \text{ MPa}}{1,10} \\ = 350254 \text{ N}$$

Análise ao cisalhamento e momento fletor

Quadro 45 - Cisalhamento N3

ANÁLISE AO CILHAMENTO		
λ	50,00	
K_v	5,00	
λ_p	69,57	
λ_r	86,65	
Cortante ref. Há plastificação [Vpl]	130	KN
Cortante admissível [Vrd]	118	KN
Cortante aplicado [Vsd]	13	KN
FATOR SEG.	passa	

Fonte: Autoria própria

Validação da planilha:

$$\lambda = \frac{h}{tw} \rightarrow \frac{150,00 \text{ mm}}{3,00 \text{ mm}} = 50,00$$

$$\lambda_p = 1,10 \sqrt{\frac{K_v * E}{f_y}} \rightarrow 1,10 * \sqrt{\frac{5 * 200000 \text{ Mpa}}{250,00 \text{ Mpa}}} = 69,57$$

$$\lambda_r = 1,37 \sqrt{\frac{K_v * E}{f_y}} \rightarrow \sqrt{\frac{5 * 200000 \text{ Mpa}}{250,00 \text{ Mpa}}} = 86,65$$

$$V_{pl} = 0,60 * A_W * f_y \rightarrow 0,60 * 1764,00 \text{ mm}^2 * 250,00 \text{ Mpa} = 265 \text{ KN}$$

• Condição:

$$Se \lambda < \lambda_p \rightarrow V_{rd} = \frac{V_{pl}}{\gamma_{a1}} \rightarrow \frac{265 \text{ KN}}{1,10} = 241 \text{ KN}$$

Quadro 46 - Momento N3

ANÁLISE MOMENTO FLETOR RESIST. CALCULOS		
ANÁLISE ALMA (FLA)		
λ	50,00	
λ_p	106,35	
Regime de trabalho	secção esbelta	
ANÁLISE MESA (FLM)		
λ	25,00	
λ_p	31,68	
Regime de trabalho	secção esbelta	
ANÁLISE FLAMBAGEM LATERAL (FLT)		
Lb	3.030,00	mm
λ	50,48	
λ_p	10,03	
λ_r	91,19	
Mr	14.829.948,00	Nmm
Regime de trabalho	secção compacta	
DETERMINAÇÃO "cb" [hip 3]		
(1/4) I	757,50	mm
	7,30	KNm
(1/2) I	1.515,00	mm
	0,10	KNm
(3/4) I	2.272,50	mm
	7,50	KNm
"cb"	2,27	-
Módulo de resistência plástica [Z]	35046	mm ³
Momento Fletor plastificação [Mpl]	8761500	Nmm
Cw	72900000	mm ⁶
Momento Flambagem elástica [Mcr]	60189919	Nmm
DETEMINAÇÃO DO MOM. RESIST.		
Momento resistente de cálculo [Mrd]	24321016	Nmm
Momento de serviço [Msd]	14900000	Nmm
FATOR SEG.	passa	

Fonte: Autoria própria

Validação da planilha:

- Análise da alma (FLA) (Fonte: NBR 8800)

$$\lambda = \frac{h}{tw} \rightarrow \frac{150,00 \text{ mm}}{3,00 \text{ mm}} = 50,00$$

$$\lambda p = 3,76 * \sqrt{\frac{E}{fy}} \rightarrow 3,76 * \sqrt{\frac{200000,00 \text{ Mpa}}{250,00 \text{ Mpa}}} = 106,35$$

- Análise da mesa (FLM) (Fonte: NBR 8800)

$$\lambda = \frac{B}{tf} \rightarrow \frac{\frac{150,00 \text{ mm}}{2}}{3,00 \text{ mm}} = 25,00$$

$$\lambda p = 0,38 * \sqrt{\frac{E}{fy}} \rightarrow 0,38 * \sqrt{\frac{200000,00 \text{ Mpa}}{250,00 \text{ Mpa}}} = 31,68$$

- Análise da flambagem lateral (FLT) (Fonte: NBR 8800)

$$\lambda = \frac{Lb}{ry} \rightarrow \frac{3030,00 \text{ mm}}{60,02 \text{ mm}} = 50,48$$

$$\lambda p = \frac{0,13 * E}{M_{pl}} * \sqrt{JA} \rightarrow \frac{0,13 * 2000000 \text{ Mpa}}{8761500 \text{ Nmm}} * \sqrt{6480,00 \text{ mm}^4 * 1764,00 \text{ mm}^2} = 10,03$$

$$\lambda r = \frac{2,00 * E}{M_r} * \sqrt{JA} \rightarrow \frac{2,00 * 2000000 \text{ Mpa}}{33.414.281,71 \text{ Nmm}} * \sqrt{6480,00 \text{ mm}^4 * 1764,00 \text{ mm}^2} = 91,19$$

$$Mr = (Fy - \sigma r) * W \rightarrow [250,00 \text{ Mpa} - (250,00 \text{ Mpa} * 0,3)] * 84742,56 \text{ mm}^4 = 14.829.948,00 \text{ Nmm}$$

$$C_b = \frac{12,5 M_{max}}{2,5 M_{max} + 3 M_A + 4 M_B + 3 M_C} \leq 3,0$$

$$\rightarrow \frac{12,5 * 14,90 \text{ KNm}}{2,5 * 14,90 \text{ KNm} + 3 * 7,30 \text{ KNm} + 4 * 0,10 \text{ KNm} + 3 * 7,50 \text{ KNm}}$$

$$= 2,27$$

Se Rt \rightarrow *Secção semi esbelta* $\rightarrow Z = b * tf * (h - tf) + \frac{tw}{4} * (h - 2 * tf)^2$; *Se Rt*

\rightarrow *Secção esbelta* $\rightarrow Z = b^2 * tf * (H - tf) + \left(\frac{tw}{4}\right) * [H - (2 * tf)^2]$

\rightarrow *Secção compacta* $\rightarrow Z = \frac{b^2 * tf}{2} + \left[\frac{1}{4} * (H - (2 * tf))\right] \rightarrow Z$

$$= \frac{(144,00 \text{ mm})^2 * 3,00 \text{ mm}}{2} + \left[\frac{1}{4} * (150,00 \text{ mm} - (2 * 3,00 \text{ mm}))\right]$$

$$= 35046 \text{ mm}^3$$

$$M_{pl} = Z * f_y \rightarrow 35046 \text{ mm}^3 * 250,00 \text{ MPa} = 8761500 \text{ Nmm}$$

$$C_w = J * \frac{[H^2]}{2} \rightarrow 6480,00 \text{ mm}^4 * \frac{(150,00 \text{ mm})^2}{2} = 72900000 \text{ mm}^6$$

$$M_{cr} = \frac{C_b * \pi^2 * E * I_y}{L b^2} * \frac{\sqrt{C_w}}{I_y} * \left(1 + 0,039 * \frac{J * L b^2}{C_w}\right)$$

$$\rightarrow \frac{2,27 * \pi^2 * 2000000,00 \text{ Mpa} * 6355692,00 \text{ mm}^4}{(3030,00 \text{ mm})^2} * \frac{\sqrt{72900000 \text{ mm}^4}}{16355692,00 \text{ mm}^4}$$

$$* \left(1 + 0,039 * \frac{6480,00 \text{ mm}^4 * (3030,00 \text{ mm})^2}{72900000 \text{ mm}^4}\right) \rightarrow 60189919 \text{ Nmm}$$

- Condição (Fonte: NBR 8800)

Se $\lambda_p < \lambda \leq \lambda_r \rightarrow M_{rd} = \frac{C_b}{\gamma_{a1}} * [M_{pl} - (M_{pl} - M_r) \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p}]$

$$\rightarrow \frac{2,27}{1,10} * [8761500 \text{ Nmm} - (8761500 \text{ Nmm} - 14829948 \text{ Nmm})]$$

$$* \frac{50,48 - 10,03}{91,19 - 10,03} = 24321016 \text{ Nmm}$$

Quadro 47 - Solda N3

SOLDAS		
h	3,00	mm
l	300,00	mm
Eletrodo	E7018	
	485,00	Nmm ²
Yw1	1,35	
Aw	636,30	mm ²
Fw, [(Rd)^(a b d)]	137.158,00	N
Fw,Sd	600,00	N
FATOR SEG.	passa	

Fonte: Autoria própria

Validação da planilha:

$$Aw = 0,707 * h * l \rightarrow 0,707 * 3,00 \text{ mm} * 300,00 \text{ mm} = 636,30 \text{ mm}^2$$

$$Fw,rd = \frac{0,6 * Aw * Fw}{Yw1} \rightarrow \frac{0,6 * 636,30 \text{ mm}^2 * 485,00 \frac{N}{\text{mm}^2}}{1,35} = 137.158,00 \text{ N}$$

4.5.3.3 ANÁLISES DO PERFIL N4 (Tubo retangular # 3,00 x 150 x 150)

A análise do perfil N4 pode ser verificada nos cálculos Excel demonstrados nos quadros 48 a 54. Com suas devidas validações descritivas.

Quadro 48 - Propriedades N4

Propriedades geométricas Perfil N4		
BASE (B)	150,00	mm
ALTURA (H)	150,00	mm
ESP. PAREDE (t)	3,00	mm
b	144,00	mm
h	144,00	mm
Wfx	84742,56	mm ⁴
A (S)	1764,00	mm ²
Inércia (x - x)	6355692,00	mm ³
Inércia (y - y)	6355692,00	mm ³
Inercia a torção "J"	6480,00	mm ⁴
Raio giração transv. (x)	60,02	mm ²
Raio giração long. (y)	60,02	mm ²
Cw	35750767500,00	mm ⁶

Fonte: Autoria própria

Validação da planilha: A planilha já foi validada em cálculos anteriores

→ PREMISSAS DE CÁLCULO

- Liga metálica utilizada = A 36
- Perfil da análise = Perfil retangular # 3,00 mm x (150 x 150 mm)

→ PROCESSOS DE CÁLCULO

Quadro 49 - Coeficientes Ponderação N4

COEFICIENTES DE PONDERAÇÃO		
γa1	1,10	
γa2	1,35	

Fonte: Autoria própria

Quadro 50 - Esforços N4

ESFORÇOS OBTIDOS		
TRAÇÃO	12,00	KN
Hip 1	12,00	KN
Hip 3	0,00	KN
Hip 4	0,00	KN
COMPRESSÃO	21,10	KN
Hip 1	0,00	KN
Hip 3	15,50	KN
Hip 4	21,10	KN
CORTANTE	0,50	KN
Hip 1	0,10	KN
Hip 3	0,30	KN
Hip 4	0,50	KN
MOMENTO FLETOR	0,70	KNm
	700000,00	KNmm
Hip 1	0,00	KNm
Hip 3	0,00	KNm
Hip 4	0,70	KNm

Fonte: Autoria própria

Análise a tração

Quadro 51 - Tração N4

ANÁLISE A TRAÇÃO		
Nt, rd (escoamento)	400909	N
Nt, ruptura (escoamento)	19259673	N
Nt, rd	400909	N
Nt, sd	12000	N
Segurança	passa	

Fonte: Autoria própria

Validação da planilha: A planilha já foi validada em cálculos anteriores

Análise a compressão

Quadro 52 - Compressão N4

ANÁLISE A COMPRESSÃO		
Kx, Ky	b	
	2.400	mm
Nex	2.178.061	N
Ney	2.178.061	N
Q	1,00	-
λ_{0x}	0,45	
λ_{0y}	0,45	
χ "x"	0,92	
χ "y"	0,92	
Nc, rd "x"	368334	N
Nc, rd "y"	368334	N
Nc, rd	368334	N
Nc, sd	21100	N
Segurança	passa	

Fonte: Autoria própria

Validação da planilha: A planilha já foi validada em cálculos anteriores.

Análise ao cisalhamento e momento fletor

Quadro 53 -Cisalhamento N4

ANÁLISE AO CILHAMENTO		
λ	50,00	
Kv	5,00	
λ_p	69,57	
λ_r	86,65	
Cortante ref. Há plastificação [Vpl]	130	KN
Cortante admissível [Vrd]	118	KN
Cortante aplicado [Vsd]	16	KN
FATOR SEG.	passa	

Fonte: Autoria própria

Validação da planilha: A planilha já foi validada em cálculos anteriores

Quadro 54 - Soldas N4

SOLDAS		
h	3,00	mm
l	300,00	mm
Eletrodo	E7018	
	485,00	Nmm ²
Yw1	1,35	
Aw	636,30	mm ²
Fw, [Rd]^(a b d)	137.158,00	N
Fw,Sd	500,00	N
FATOR SEG.	passa	

Fonte: Autoria própria

Validação da planilha: A planilha já foi validada em cálculos anteriores

4.5.3.4 ANÁLISES DO PERFIL N5 (Tubo retangular # 3,00 x 150 x 200)

A análise do perfil N5 pode ser verificada nos cálculos Excel demonstrados nos quadros 55 a 62. Com suas devidas validações descritivas.

Quadro 55 - Propriedade N5

Propriedades geométricas Perfil N5		
BASE (B)	150,00	mm
ALTURA (H)	200,00	mm
ESP. PAREDE (t)	4,76	mm
b	140,48	mm
h	190,48	mm
Wfx	190938,75	mm ⁴
A (S)	3241,37	mm ²
Inércia (x - x)	12244026,59	mm ³
Inércia (y - y)	19093875,27	mm ³
Inercia a torção "J"	27048,82	mm ⁴
Raio giração transv. (x)	61,46	mm ²
Raio giração long. (y)	76,75	mm ²
Cw	190938752655,50	mm ⁶

Fonte: Autoria própria

Validação da planilha: A planilha já foi validada em cálculos anteriores

→ PREMISSAS DE CÁLCULO

- Liga metálica utilizada = A 36
- Perfil da análise = Perfil retangular # 3,00 mm x (150 x 150 mm)

→ PROCESSOS DE CÁLCULO

Quadro 56 - Coeficientes de ponderação N5

COEFICIENTES DE PONDERAÇÃO		
γa1	1,10	
γa2	1,35	

Fonte: Autoria própria

Quadro 57 - Esforços N5

ESFORÇOS OBTIDOS		
TRAÇÃO	25,00	KN
Hip 1	0,00	KN
Hip 3	23,80	KN
Hip 4	25,00	KN
COMPRESSÃO	18,90	KN
Hip 1	18,90	KN
Hip 3	0,00	KN
Hip 4	0,00	KN
CORTANTE	9,00	KN
Hip 1	5,10	KN
Hip 3	7,20	KN
Hip 4	9,00	KN
MOMENTO FLETOR	4,90	KNm
	4900000,00	KNmm
Hip 1	4,70	KNm
Hip 3	3,60	KNm
Hip 4	4,90	KNm

Fonte: Autoria própria

Quadro 58 -Tração N5

ANÁLISE A TRAÇÃO		
Nt, rd (escoamento)	736675	N
Nt, ruptura (escoamento)	43395171	N
Nt, rd	736675	N
Nt, sd	25000	N
Segurança	passa	

Fonte: Autoria própria

Validação da planilha: A planilha já foi validada em cálculos anteriores

Análise a compressão

Quadro 59 - Compressão N5

ANÁLISE A COMPRESSÃO		
Kx, Ky	b	
	4.369,60	mm
Nex	1265816,2	N
Ney	1973969,6	N
Q	1,00	-
λ_{0x}	0,80	
λ_{0y}	0,64	
χ "x"	0,76	
χ "y"	0,84	
Nc, rd "x"	563519	N
Nc, rd "y"	620376	N
Nc, rd	563519	N
Nc, sd	18900	N
Segurança	passa	

Fonte: Autoria própria

Validação da planilha: A planilha já foi validada em cálculos anteriores

Análise ao cisalhamento e momento fletor

Quadro 60 - Cisalhamento N5

ANÁLISE AO CISLHAMENTO		
λ	42,02	
Kv	5,00	
λ_p	69,57	
λ_r	86,65	
Cortante ref. Há plastificação [Vpl]	272	KN
Cortante admissível [Vrd]	247,3	KN
Cortante aplicado [Vsd]	9,0	KN
FATOR SEG.	passa	

Fonte: Autoria própria

Validação da planilha: A planilha já foi validada em cálculos anteriores

Quadro 61 - Momento N5

ANÁLISE MOMENTO FLETOR RESIST. CALCULOS		
ANÁLISE ALMA (FLA)		
λ	42,02	
λ_p	106,35	
Regime de trabalho	secção esbelta	
ANÁLISE MESA (FLM)		
λ	15,76	
λ_p	31,68	
Regime de trabalho	secção esbelta	
ANÁLISE FLAMBAGEM LATERAL (FLT)		
Lb	5.462,00	mm
λ	71,17	
λ_p	9,90	
λ_r	112,09	
Mr	33.414.281,71	Nmm
Regime de trabalho	secção compacta	
DETERMINAÇÃO "cb" [hip 3]		
(1/4) I	1.365,50	mm
	15,70	KNm
(1/2) I	2.731,00	mm
	43,80	KNm
(3/4) I	4.096,50	mm
	21,00	KNm
"cb"	0,21	-
Módulo de resistência plástica [Z]	98383	mm ³
Momento Fletor plastificação [Mpl]	24595735	Nmm
Cw	540976483	mm ⁶
Momento Flambagem elástica [Mcr]	10648260	Nmm
DETEMINAÇÃO DO MOM. RESIST.		
Momento resistente de cálculo [Mrd]	5592087	Nmm
Momento de serviço [Msd]	4900000	Nmm
FATOR SEG.	passa	

Fonte: Autoria própria

Validação da planilha: A planilha já foi validada em cálculos anteriores

Quadro 62 - Solda N5

l	300,00	mm
Eletrodo	E7018	
	485,00	Nmm²
Yw1	1,35	
Aw	636,30	mm²
Fw, [Rd] ^ (a b d)	137.158,00	N
Fw, Sd	9.000,00	N
FATOR SEG.	passa	

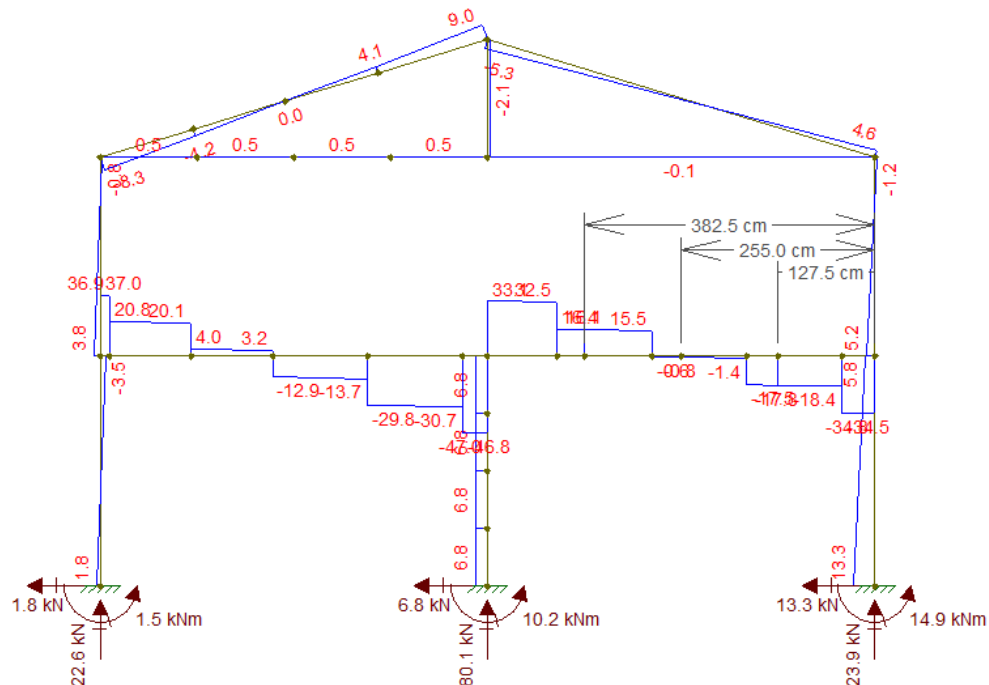
Fonte: Autoria própria

Validação da planilha: A planilha já foi validada em cálculos anteriores

4.5.4 ANÁLISES DOS PARABOLT (CHUMBADORES)

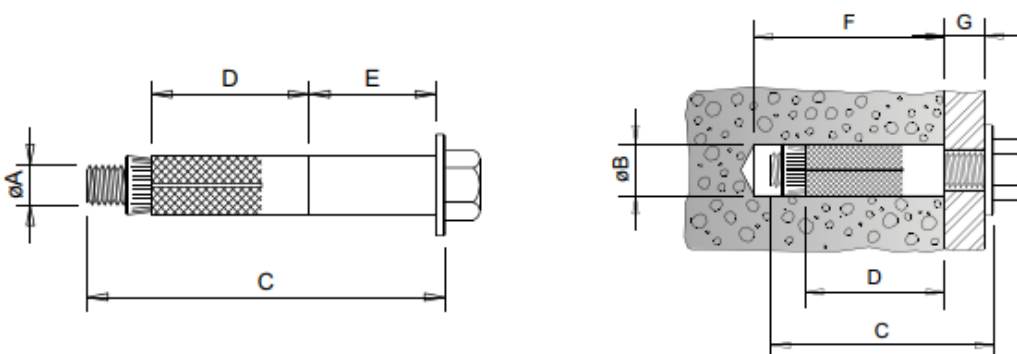
Conforme verificado na análise dos carregamentos normais do FTOOL, demonstrada na figura 49, obtém o maior módulo do cortante com valor de 14,5 kN.

Figura 49 - Cortantes hipótese 4 pórticos FTOOL



Fonte: Autoria própria

Figura 50 - Catálogo chumbador CB/CBPL - Walsywa



CÓDIGO	Ø da rosca	Ø do furo		comprimento do parafuso		comprimento da jaqueta	comprimento do prolongador	profundidade mínima do furo		esp. máx a ser fixada	Cargas médias* tração (arrancamento)	Cargas médias* cisalhamento
	Ø A	pol.	mm	pol.	mm	mm	mm	pol.	mm	mm	kgf	
CB 14200	1/4"	3/8"	10	2"	50	32	-----	2"	50	8	1253	800
CBPL 14300				3"	76		22	3"	76		1839	
CB 56214	5/16"	1/2"	13	2 1/4"	57	38	-----	2 1/4"	57	7	1600	1190
CBPL 56314				3 1/4"	82		25	3 1/4"	82		2073	
CB 38212	3/8"	9/16"	14	2 1/2"	63	40	-----	2 1/2"	63	16	2107	1617
CBPL 38312				3 1/2"	89		25	3 1/2"	89	14	2958	
CB 12300	1/2"	3/4"	19	3"	76	50	-----	3"	76	18	2523	2897
CBPL 12412				4 1/4"	114		33	4 1/4"	114	20	4824	
CB 58312	5/8"	7/8"	22	3 1/2"	89	60	-----	3 1/2"	89	18	3333	4967
CBPL 58500				5"	127		45	5"	127	14	5841	
CB 34412	3/4"	1"	26	4 1/2"	114	80	-----	4 1/2"	114	19	4320	6573
CBPL 34612				6 1/2"	165		63	6 1/2"	165	10	6657	
CB 10600	1"	1 1/4"	32	6"	152	100	-----	6"	152	35	7790	12080
CBPL 10900				9"	228		79	9"	228	30	11676	

* Cargas obtidas em testes realizados em concreto de resistência 20 MPa no IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas) de acordo com o laudo nº 28 202

Fonte: Walsywa

$$Carga\ parabol\ t = \frac{\left(\frac{\sigma_{cort}}{n.\text{elementos}}\right) * 1000}{9,81} \rightarrow \frac{\left(\frac{13,30\text{ KN}}{4}\right) * 1000}{9,81} = 338,93\text{ Kgf}$$

Conforme figura 50 do catálogo fabricante Walsywa, pode-se verificar que o parabol t com o diâmetro de 3/8" mm atende o carregamento. Porém adota-se o elemento com diâmetro de 10,00 mm. Lembrando que serão 04 unidades por pilar.

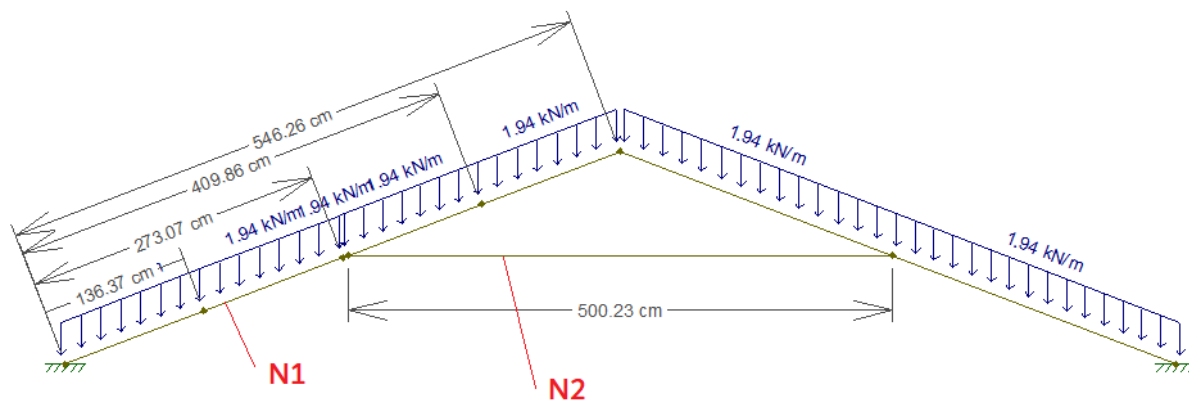
4.6 TESOURA ATIRANTADA

4.6.1 SISTEMA DE CARREGAMENTOS TESOURA ATIRANTADA

Conforme as 3 combinações de carregamentos analisadas, teremos os seguintes carregamentos para cada situação demonstrados da figura 51 a 56.

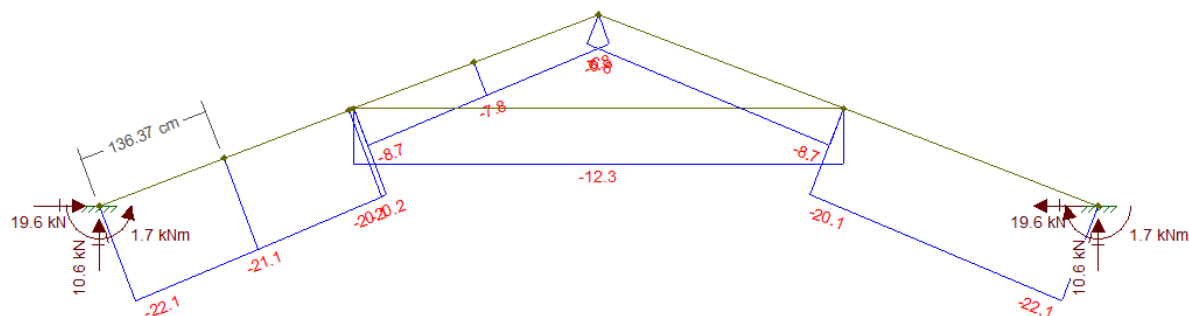
4.6.1.1 CARREGAMENTOS HIPÓTESE 01

Figura 51 - Carregamentos hipótese 01



Fonte: Autoria própria

Figura 52 - Normais Hipótese 01 tesoura



Fonte: Autoria própria

Figura 53 - Cortante Hipótese 01 tesoura

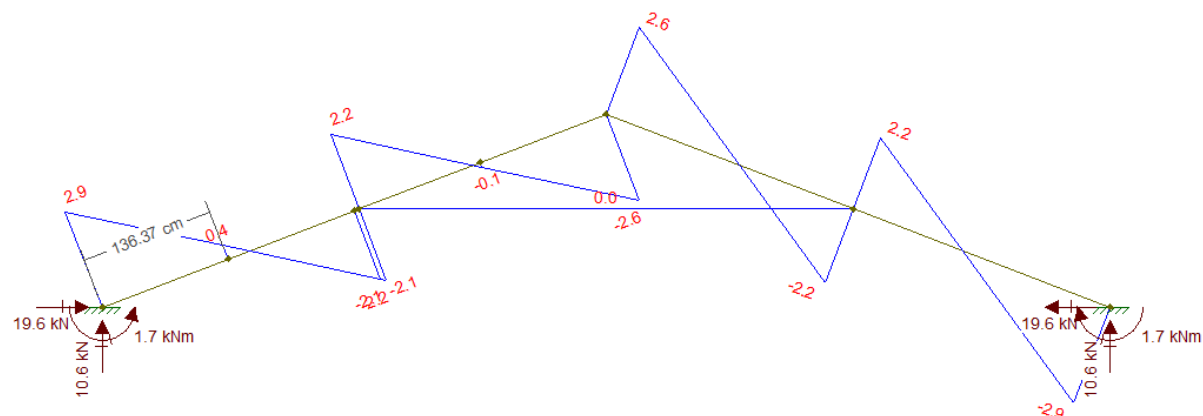
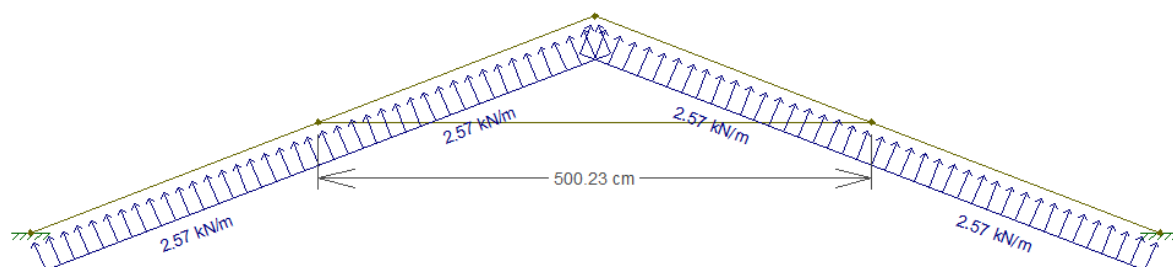
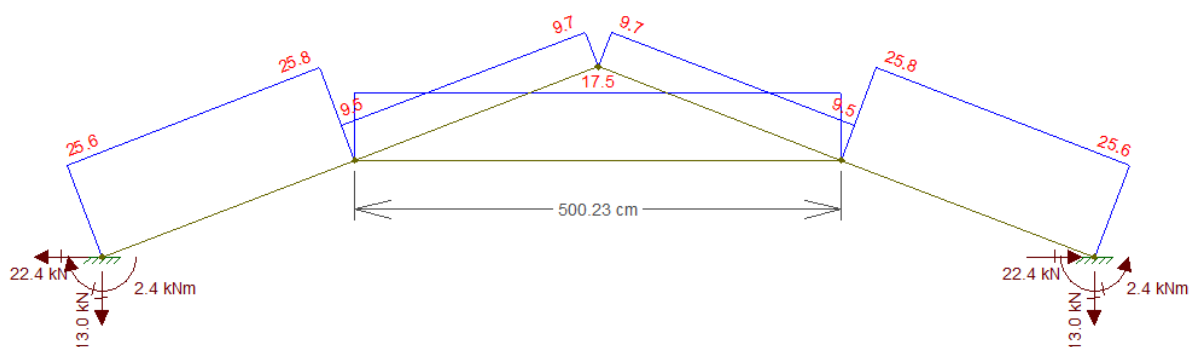


Figura 57 - Carregamentos hipótese 03



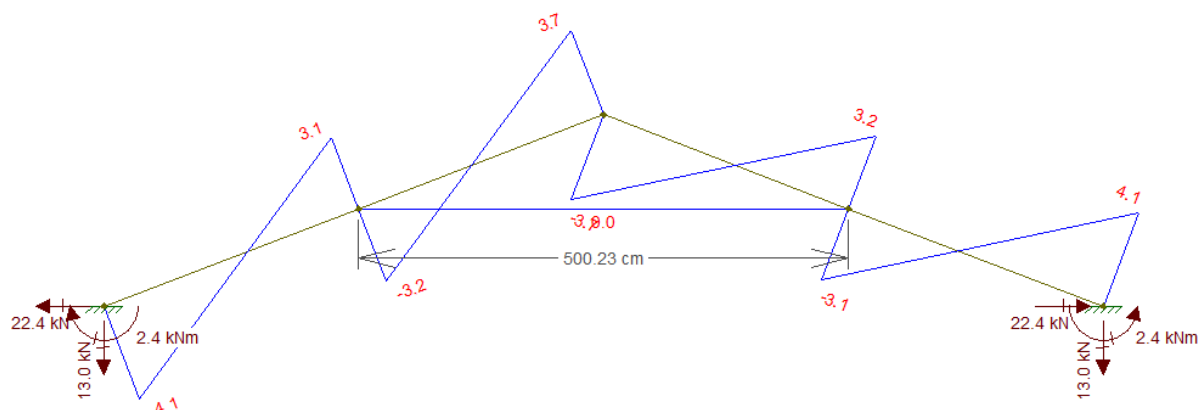
Fonte: Autoria própria

Figura 58 - Normais Hipótese 03 tesoura



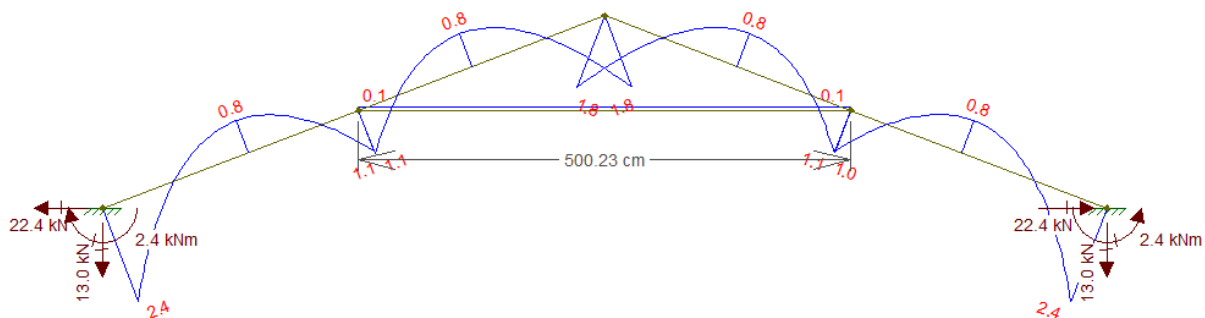
Fonte: Autoria própria

Figura 59 - Cortantes Hipótese 03 tesoura



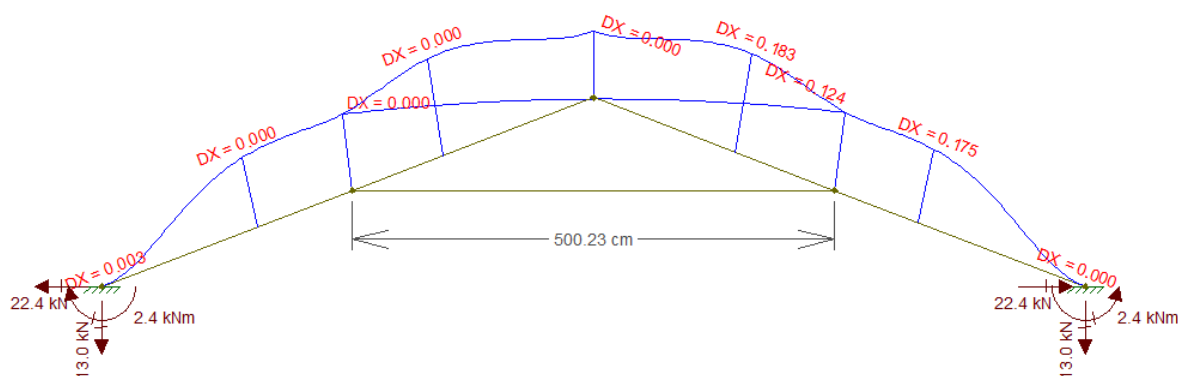
Fonte: Autoria própria

Figura 60 - Momentos Hipótese 03 tesoura



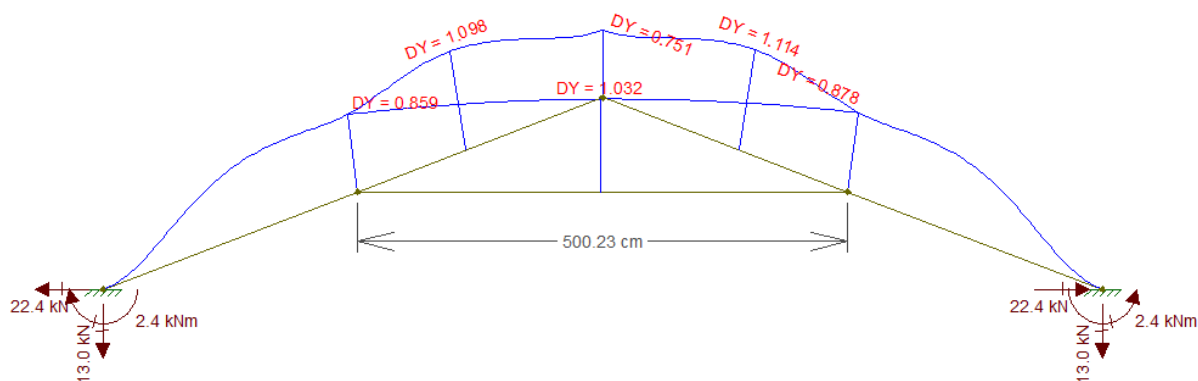
Fonte: Autoria própria

Figura 61 - Deformações "X" Hipótese 03 tesoura



Fonte: Autoria própria

Figura 62 - Deformações "Y" Hipótese 03 tesoura

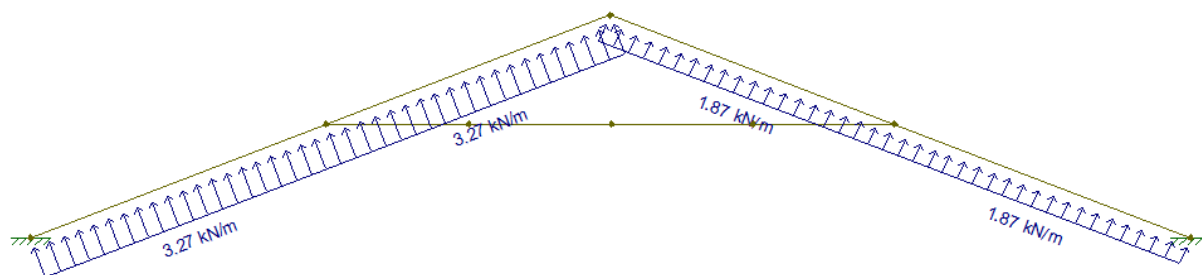


Fonte: Autoria própria

4.6.1.3 CARREGAMENTOS HIPÓTESE 04

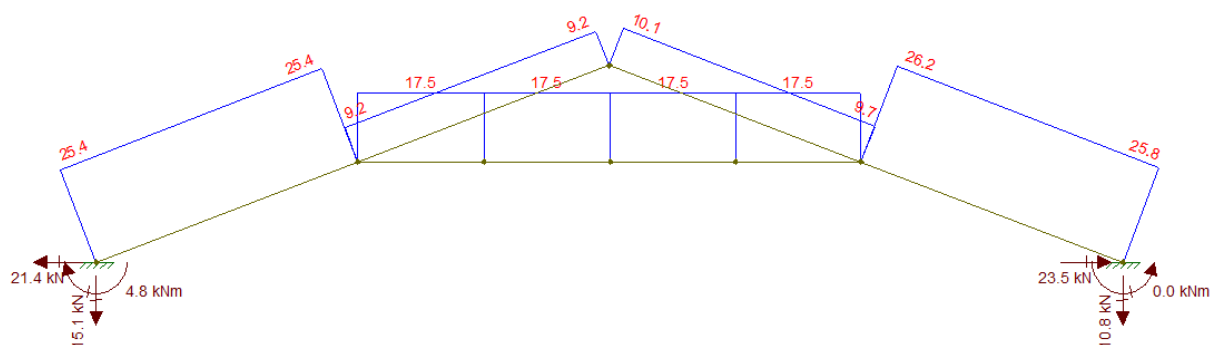
Seguem das figuras 63 a 68 os respectivos carregamentos e solicitações da hipótese 02.

Figura 63 - Carregamentos hipótese 04



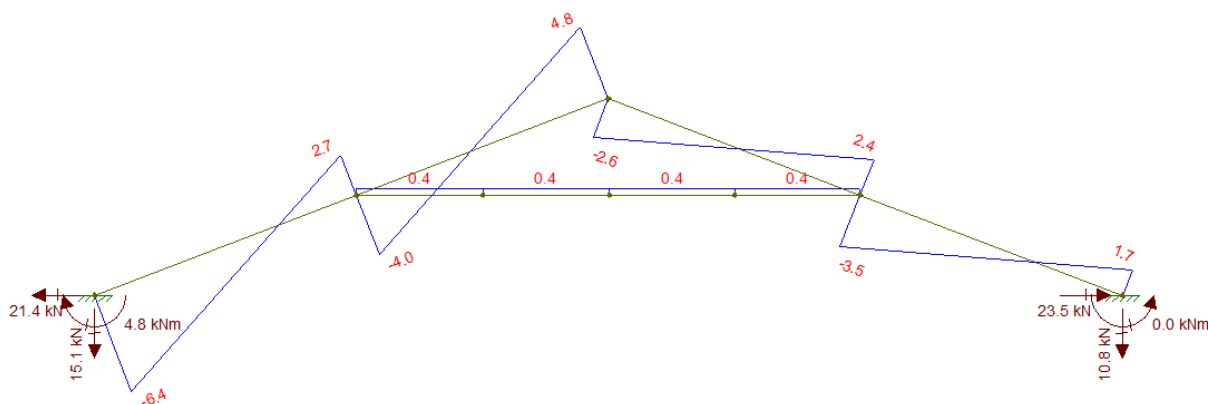
Fonte: Autoria própria

Figura 64 - Normais Hipótese 04 tesoura



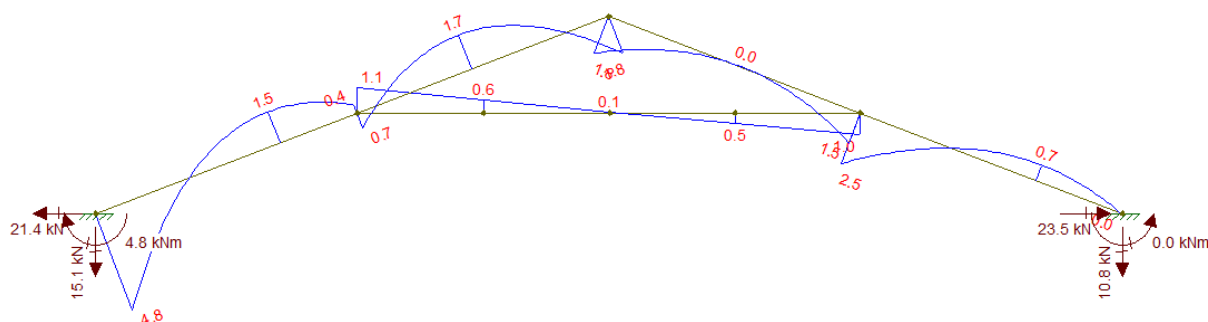
Fonte: Autoria própria

Figura 65 - Cortantes Hipótese 04 tesoura



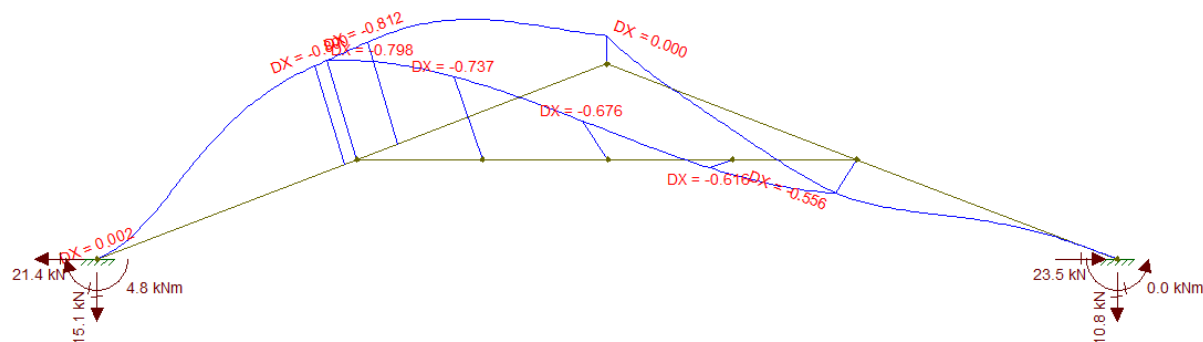
Fonte: Autoria própria

Figura 66 - Momentos Hipótese 04 tesoura



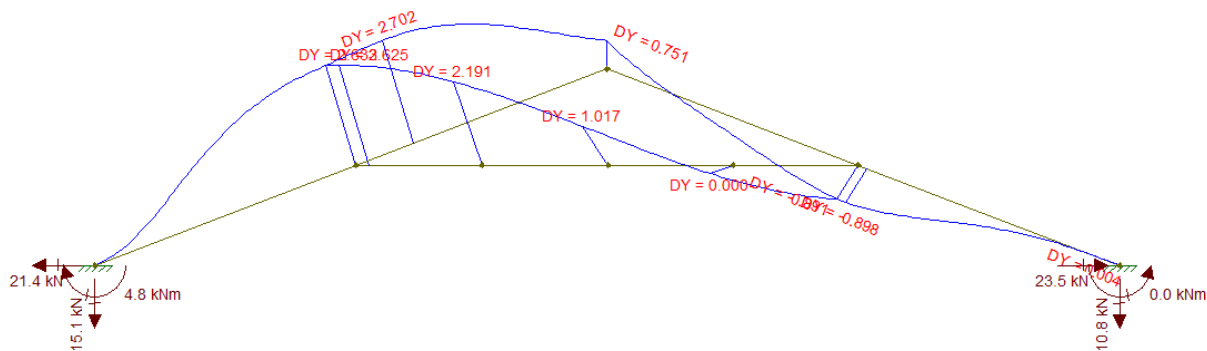
Fonte: Autoria própria

Figura 67 - Deformações "X" Hipótese 04 tesoura



Fonte: Autoria própria

Figura 68 - Deformações "Y" Hipótese 04 tesoura



Fonte: Autoria própria

4.6.1.4 ANÁLISE DAS FLECHAS

Quadro 63 - Flechas viga atirantada

QUADRO DE FLECHAS ANALISE		
FLECHA MÍNIMA "X" (ventos) 1:250		
Vão máximo	10.208,00	mm
Hipótese 1	0,11	mm
Hipótese 3	0,17	mm
Hipótese 4	0,81	mm
Flecha máxima 1:250	40,83	mm
Flecha "X"	0,81	mm
Requisito	passa	
FLECHA MÍNIMA "Y"		
FLECHA MÍNIMA "Y" 1:350		
Vão máximo	1.550,00	mm
Hipótese 1	0,86	mm
Hipótese 3	1,14	mm
Hipótese 4	2,70	mm
Flecha máxima 1:350	4,43	mm
Flecha "Y"	2,70	mm
Requisito	passa	

Fonte: Autoria própria

4.6.2 ANÁLISES DOS PERFIS

4.6.2.1 ANÁLISES DO PERFIL N1 (Tubo retangular # 3,00 x 150 x 150)

A análise do perfil N1 pode ser verificada nos cálculos Excel demonstrados nos quadros 65 a 72. Com suas devidas validações descritivas.

Quadro 64 - Propriedades N1 Tesoura

Propriedades geométricas Perfil N1		
BASE (B)	150,00	mm
ALTURA (H)	150,00	mm
ESP. PAREDE (t)	3,00	mm
b	144,00	mm
h	144,00	mm
Wfx	84742,56	mm ⁴
A (S)	1764,00	mm ²
Inércia (x - x)	6355692,00	mm ³
Inércia (y - y)	6355692,00	mm ³
Inercia a torção "J"	6480,00	mm ⁴
Raio giração transv. (x)	60,02	mm ²
Raio giração long. (y)	60,02	mm ²
Cw	35750767500,00	mm ⁶

Fonte: Autoria própria

Validação da planilha: A planilha já foi validada em cálculos anteriores

→ PREMISSAS DE CÁLCULO

- Liga metálica utilizada = A 36
- Perfil da análise = Perfil retangular # 3,00 mm x (150 x 150 mm)

→ PROCESSOS DE CÁLCULO

Quadro 65 - Coeficientes de ponderação N1

COEFICIENTES DE PONDERAÇÃO		
Ya1	1,10	
Ya2	1,35	

Fonte: Autoria própria

Quadro 66 - Esforços N1

ESFORÇOS OBTIDOS		
TRAÇÃO	25,80	KN
Hip 1	0,00	KN
Hip 3	25,80	KN
Hip 4	25,40	KN
COMPRESSÃO	22,10	KN
Hip 1	22,10	KN
Hip 3	0,00	KN
Hip 4	0,00	KN
CORTANTE	6,40	KN
Hip 1	2,90	KN
Hip 3	4,10	KN
Hip 4	6,40	KN
MOMENTO FLETOR	4,80	KNm
	4800000,00	KNmm
Hip 1	1,70	KNm
Hip 3	2,40	KNm
Hip 4	4,80	KNm

Fonte: Autoria própria

Análise a tração

Quadro 67 - Tração N1

ANÁLISE A TRAÇÃO		
Nt, rd (escoamento)	400909	N
Nt, ruptura (escoamento)	19259673	N
Nt, rd	400909	N
Nt, sd	25800	N
Segurança	passa	

Fonte: Autoria própria

Validação da planilha: A planilha já foi validada em cálculos anteriores

Análise a compressão

Quadro 68 - Compressão N1

ANÁLISE A COMPRESSÃO		
Kx, Ky	a	
	3.550,30	mm
Nex	995319,4	N
Ney	995319,4	N
Q	1,00	-
λ_{0x}	0,67	
λ_{0y}	0,67	
χ "x"	0,83	
χ "y"	0,83	
Nc, rd "x"	333048	N
Nc, rd "y"	333048	N
Nc, rd	333048	N
Nc, sd	22100	N
Segurança	passa	

Fonte: Autoria própria

Validação da planilha: A planilha já foi validada em cálculos anteriores

Análise ao cisalhamento e momento fletor

Quadro 69 - Cisalhamento N1

ANÁLISE AO CISLHAMENTO		
λ	50,00	
Kv	5,00	
λ_p	69,57	
λ_r	86,65	
Cortante ref. Há plastificação [Vpl]	130	KN
Cortante admissível [Vrd]	117,8	KN
Cortante aplicado [Vsd]	6,4	KN
FATOR SEG.	passa	

Fonte: Autoria própria

Validação da planilha: A planilha já foi validada em cálculos anteriores

Quadro 70 - Momento N1

ANÁLISE MOMENTO FLETOR RESIST. CALCULOS		
ANÁLISE ALMA (FLA)		
λ	50,00	
λ_p	106,35	
Regime de trabalho	secção esbelta	
ANÁLISE MESA (FLM)		
λ	25,00	
λ_p	31,68	
Regime de trabalho	secção esbelta	
ANÁLISE FLAMBAGEM LATERAL (FLT)		
Lb	5.462,00	mm
λ	91,00	
λ_p	10,03	
λ_r	91,19	
Mr	14.829.948,00	Nmm
Regime de trabalho	secção compacta	
DETERMINAÇÃO "cb" [hip 3]		
(1/4) I	1.365,50	mm
	0,40	KNm
(1/2) I	2.731,00	mm
	1,50	KNm
(3/4) I	4.096,50	mm
	1,50	KNm
"cb"	2,53	-
Módulo de resistência plástica [Z]	35046	mm ³
Momento Fletor plastificação [Mpl]	8761500	Nmm
Cw	72900000	mm ⁶
Momento Flambagem elástica [Mcr]	36844418	Nmm
DETEMINAÇÃO DO MOM. RESIST.		
Momento resistente de cálculo [Mrd]	34097223	Nmm
Momento de serviço [Msd]	4800000	Nmm
FATOR SEG.	passa	

Fonte: Autoria própria

Validação da planilha: A planilha já foi validada em cálculos anteriores

Quadro 71 - Soldas N1

SOLDAS		
h	3,00	mm
l	300,00	mm
Eletrodo	E7018	
	485,00	Nmm ²
Yw1	1,35	
Aw	636,30	mm ²
Fw, $\left[\frac{Rd}{a \cdot b \cdot d} \right]$	137.158,00	N
Fw, Sd	6.400,00	N
FATOR SEG.	passa	

Fonte: Autoria própria

Validação da planilha: A planilha já foi validada em cálculos anteriores

4.6.2.2 ANÁLISES DO PERFIL N2 (Tubo retangular # 3,00 x 150 x 150)

A análise do perfil N2 pode ser verificada nos cálculos Excel demonstrados nos quadros 71 a 78. Com suas devidas validações descritivas.

Quadro 72 - Propriedades perfil N2 Tesoura

Propriedades geométricas Perfil N2		
BASE (B)	150,00	mm
ALTURA (H)	150,00	mm
ESP. PAREDE (t)	3,00	mm
b	144,00	mm
h	144,00	mm
Wfx	84742,56	mm ⁴
A (S)	1764,00	mm ²
Inércia (x - x)	6355692,00	mm ³
Inércia (y - y)	6355692,00	mm ³
Inercia a torção "J"	6480,00	mm ⁴
Raio giração transv. (x)	60,02	mm ²
Raio giração long. (y)	60,02	mm ²
Cw	35750767500,00	mm ⁶

Fonte: Autoria própria

Validação da planilha: A planilha já foi validada em cálculos anteriores

→ PREMISSAS DE CÁLCULO

- Liga metálica utilizada = A 36
- Perfil da análise = Perfil retangular # 3,00 mm x (150 x 150 mm)

→ PROCESSOS DE CÁLCULO

Quadro 73 - Coeficientes ponderação N2

COEFICIENTES DE PONDERAÇÃO		
Ya1	1,10	
Ya2	1,35	

Fonte: Autoria própria

Quadro 74 - Esforços N2

ESFORÇOS OBTIDOS		
TRAÇÃO	17,50	KN
Hip 1	0,00	KN
Hip 3	17,50	KN
Hip 4	17,50	KN
COMPRESSÃO	12,30	KN
Hip 1	12,30	KN
Hip 3	0,00	KN
Hip 4	0,00	KN
CORTANTE	0,40	KN
Hip 1	0,00	KN
Hip 3	0,00	KN
Hip 4	0,40	KN
MOMENTO FLETOR	1,80	KNm
	180000,00	KNmm
Hip 1	0,00	KNm
Hip 3	1,80	KNm
Hip 4	1,10	KNm

Fonte: Autoria própria

Análise a tração

Quadro 75 - Tração N2

ANÁLISE A TRAÇÃO		
Nt, rd (escoamento)	400909	N
Nt, ruptura (escoamento)	19259673	N
Nt, rd	400909	N
Nt, sd	17500	N

Fonte: Autoria própria

Validação da planilha: A planilha já foi validada em cálculos anteriores

Análise a compressão

Quadro 76 - Compressão perfil N2 Tesoura

ANÁLISE A COMPRESSÃO		
Kx, Ky	a	
	3.251,30	mm
Nex	1186802,6	N
Ney	1186802,6	N
Q	1,00	-
λ_{0x}	0,61	
λ_{0y}	0,61	
χ "x"	0,86	
χ "y"	0,86	
Nc, rd "x"	343163	N
Nc, rd "y"	343163	N
Nc, rd	343163	N
Nc, sd	12300	N
Segurança	passa	

Fonte: Autoria própria

Validação da planilha: A planilha já foi validada em cálculos anteriores

Quadro 77- Soldas N2

SOLDAS		
h	3,00	mm
l	300,00	mm
Eletrodo	E7018	
	485,00	Nmm ²
Yw1	1,35	
Aw	636,30	mm ²
Fw, $\left[\frac{Rd}{\lambda} \right]^2 (a b d)$	137.158,00	N
Fw, Sd	0,00	N
FATOR SEG.	passa	

Fonte: Autoria própria

Validação da planilha: A planilha já foi validada em cálculos anteriores

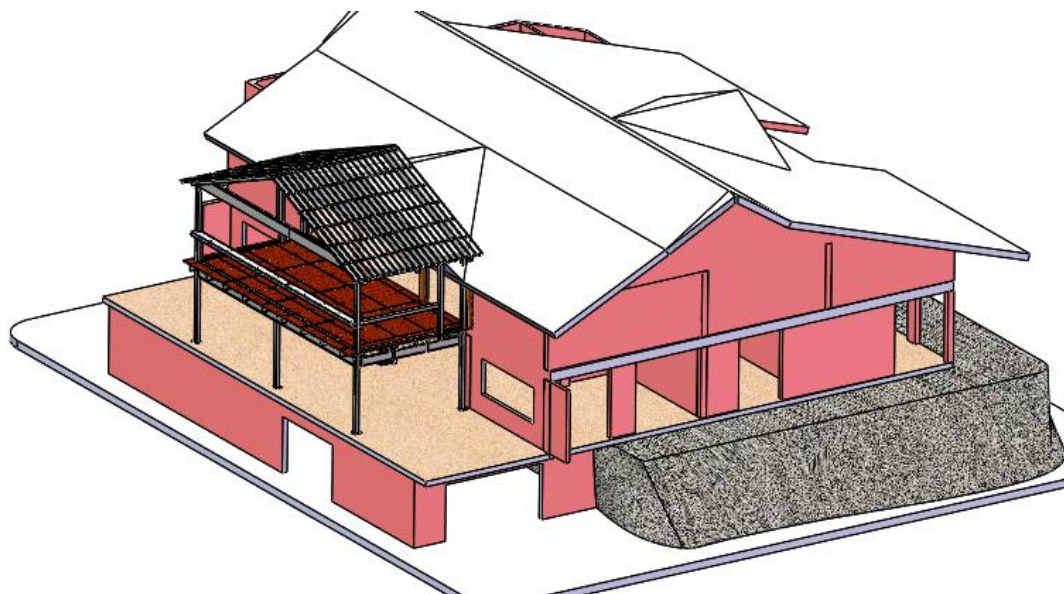
5 MODELAMENTO E PROJETO

Todo o projeto foi realizado no software Solidworks. Este é um software desenvolvido no ano de 1994 para a indústria mecânica, fabricação de máquinas e utilizado até para os projetos de aviões. Com este software é possível realizar análises que obtém um projeto de estruturas 99% preciso.

O processo é construído na concepção de peças, conjuntos e subconjuntos. Cada peça possui propriedades mecânicas, massa própria, é possível determinar o material da peça. Ao fim do projeto, é possível extrair uma relação em Excel com todas as peças e componentes utilizadas no projeto, com isto, consegue extrair uma relação de materiais 100% confiável e eficiente.

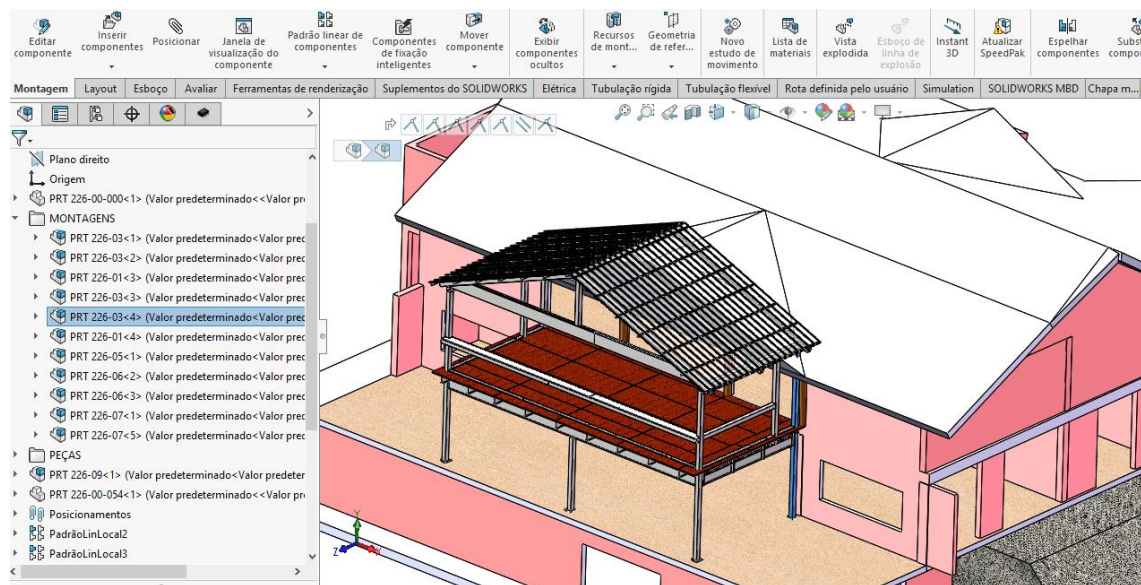
No processo de implantação deste software na construção civil e estrutura metálica, é possível modelar toda a obra com precisão de 100%. Os dados são extraídos do projeto arquitetônico e visitas na obra onde o responsável tira as dimensões da mesma, demonstrado na figura 69 a 72.

Figura 69 - Modelamento completo 3D



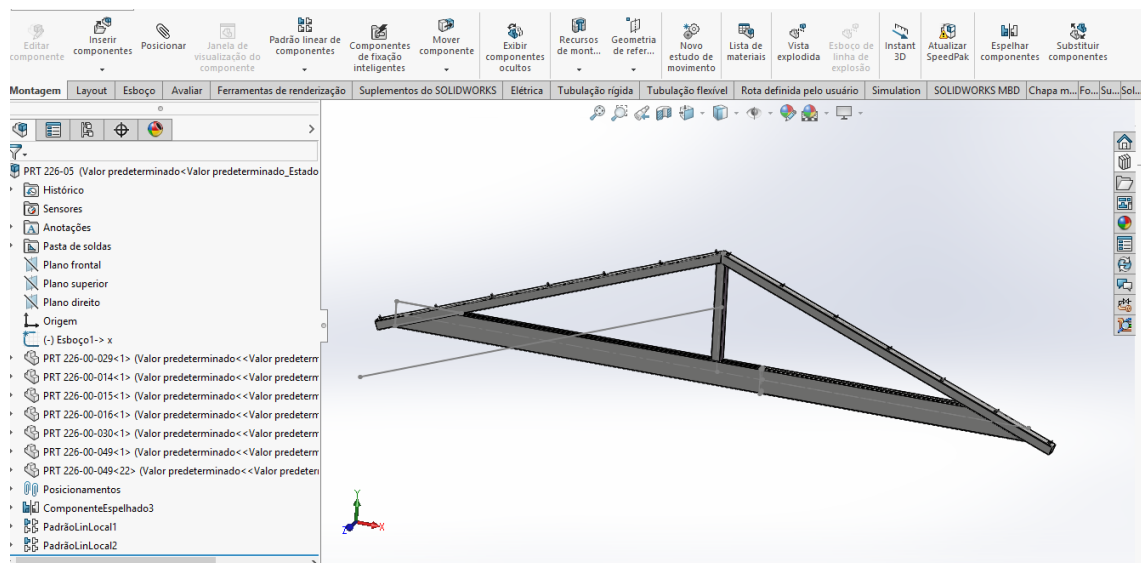
Fonte: Autoria própria

Figura 70 - Determinação por software Solidworks



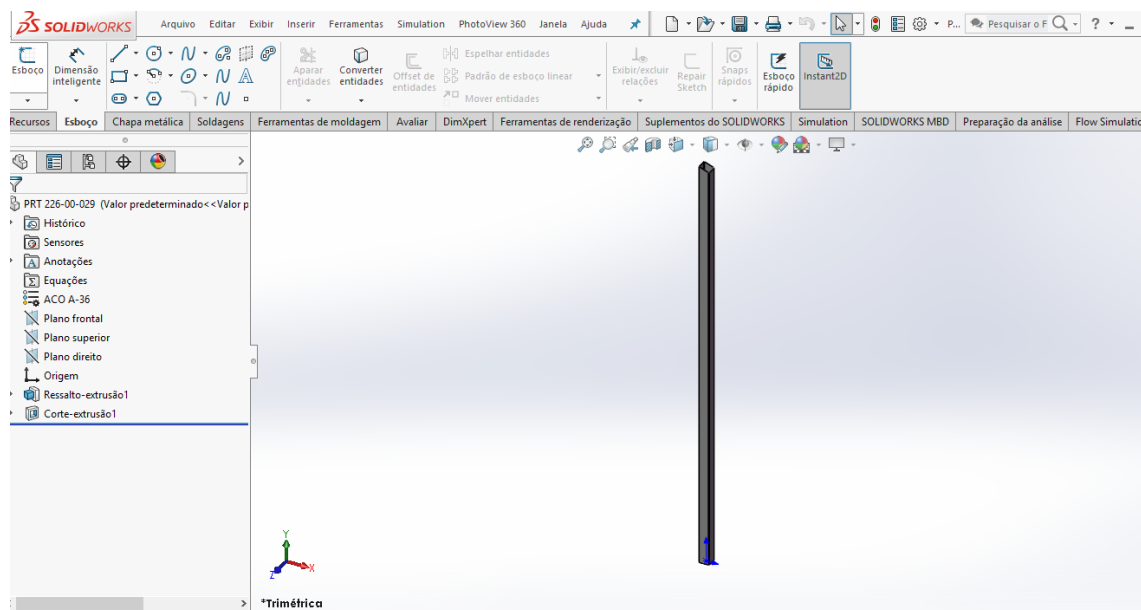
Fonte: Autoria própria

Figura 71 - Estrutura subconjunto Solidworks



Fonte: Autoria própria

Figura 72 - Estrutura peças Solidworks

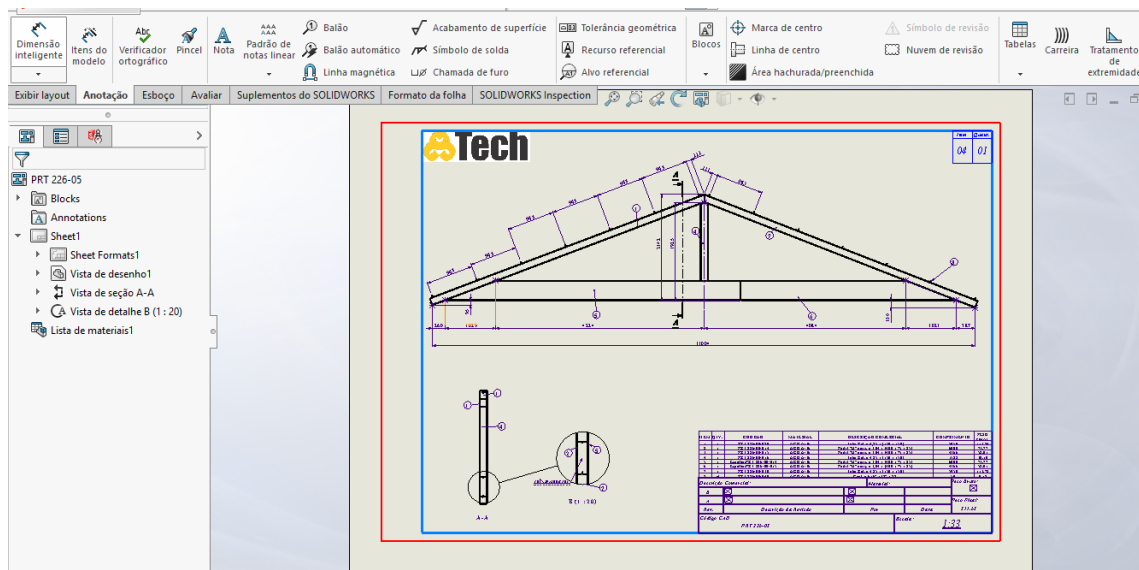


Fonte: Autoria própria

O processo construtivo deste software se inicia com o modelamento da peça, esta peça é inserida em uma sub montagem, processo realístico onde as montagens são uma simulação 3D da realidade. Posteriormente as sub montagens são inseridas na montagem geral. Após este processo é feito o detalhamento mecânico.

O conceito de detalhamento mecânico, demonstrado nas figuras 73 a 76, provem da indústria mecânica e desenho técnico, onde neste processo são inseridas as medidas “cotas”, notas de usinagem, soldagem e notas de fabricação. No software Solidworks este processo é elaborado na sua função drawing “desenho”, que possui uma gama de ferramentas gráficas para os detalhamentos mais complexos da indústria mecânica, peças, máquinas etc.

Figura 73 - Estrutura do modulo desenho Solidworks



Fonte: Autoria própria

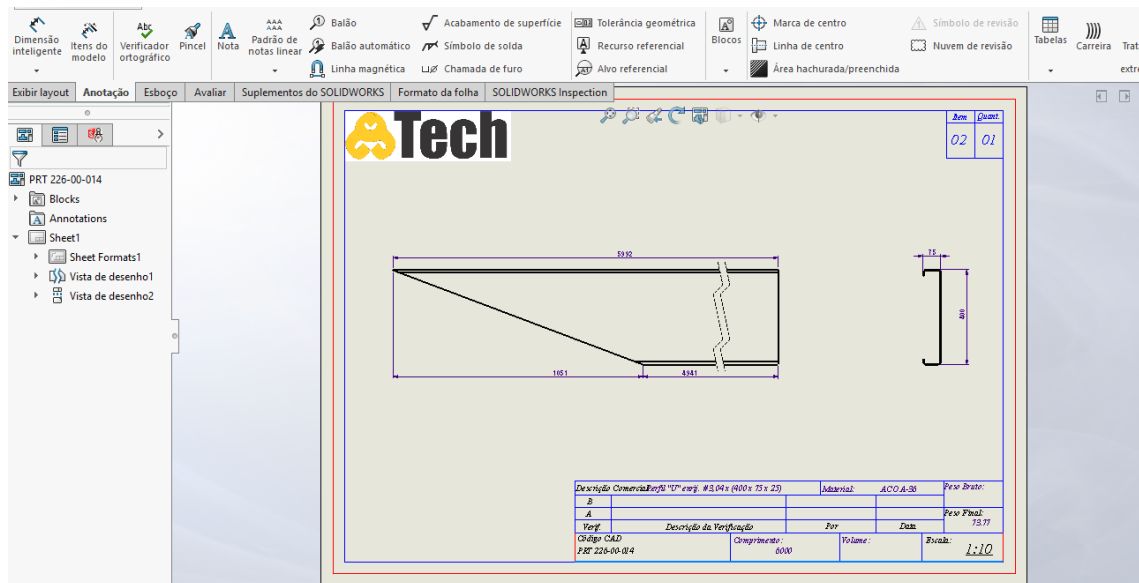
Figura 74 - Detalhe do carimbo desenho Solidworks

ITEM	QTY.	CÓD CAD	MATERIAL	DESCRIÇÃO COMERCIAL	COMPRIMENTO	PESO FINAL
1	1	PRT 226-00-029	ACO A-36	Tubo Ret. # 4,25 x (150 x 150)	5950	113.74
2	1	PRT 226-00-014	ACO A-36	Perfil "U" enrij. # 3,04 x (400 x 75 x 25)	6000	73.77
3	1	PRT 226-00-015	ACO A-36	Perfil "U" enrij. # 3,04 x (400 x 75 x 25)	4366	52.01
4	1	PRT 226-00-016	ACO A-36	Tubo Ret. # 4,25 x (150 x 150)	1588	30.10
5	1	EspelharPRT 226-00-014	ACO A-36	Perfil "U" enrij. # 3,04 x (400 x 75 x 25)	6000	73.77
6	1	EspelharPRT 226-00-015	ACO A-36	Perfil "U" enrij. # 3,04 x (400 x 75 x 25)	4366	52.01
7	1	PRT 226-00-030	ACO A-36	Tubo Ret. # 4,25 x (150 x 150)	5950	113.72
8	14	PRT 226-00-049	ACO A-36	Cant. #3/16" x (2" x 2")	50	0.18

Descrição Comercial:			Material:		Peso Bruto:
B	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>
A	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>		Peso Final:
Rev.	Descrição da Revisão		Por	Data	511.63
Código CAD				Escala:	
PRT 226-05				1:33	

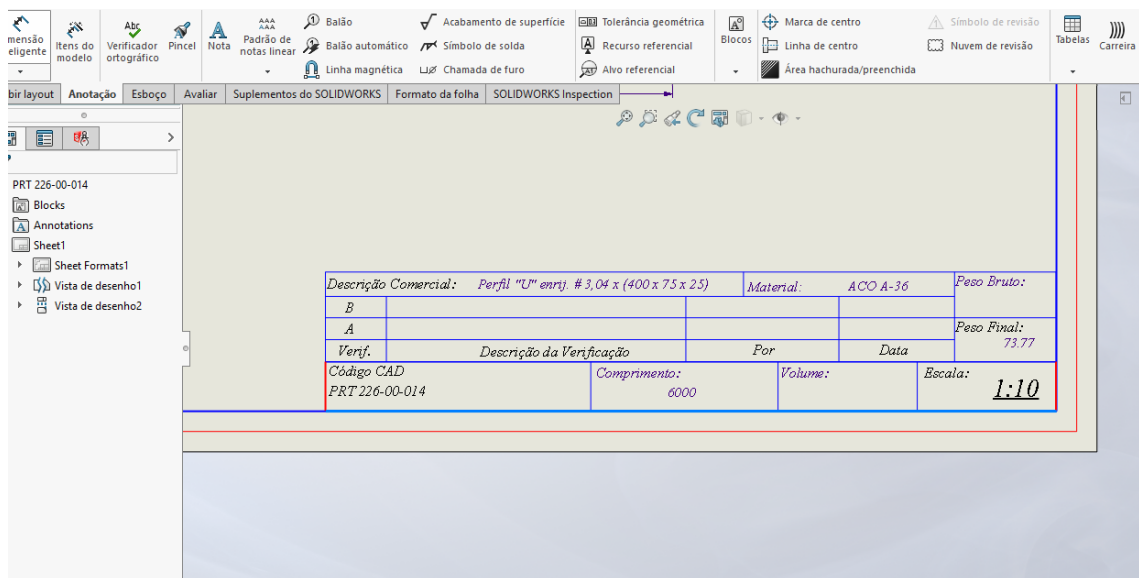
Fonte: Autoria própria

Figura 75 - Detalhamento da peça Solidworks



Fonte: Autoria própria

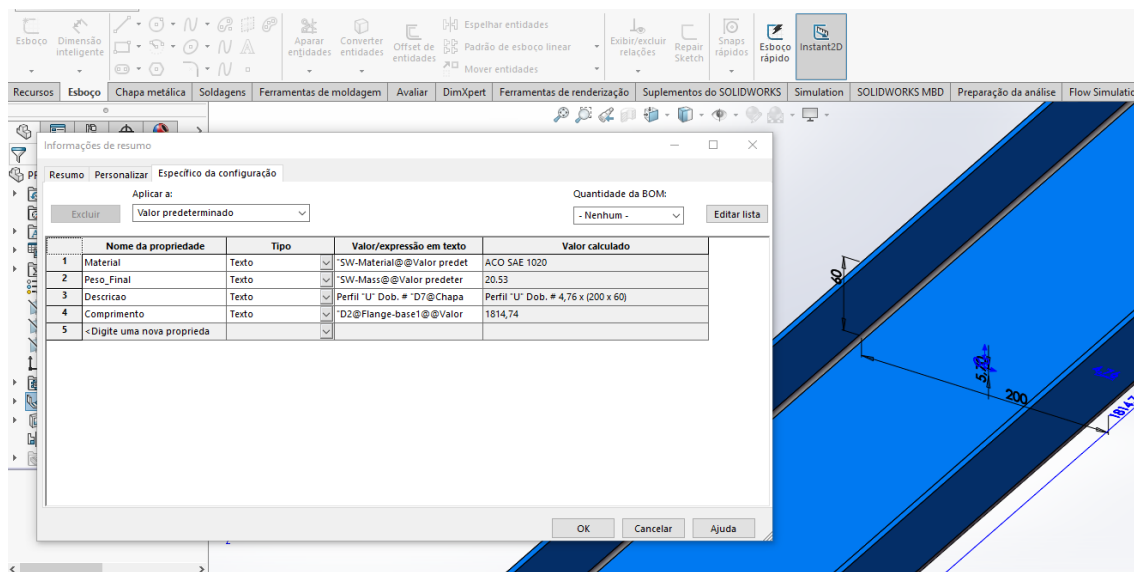
Figura 76 - Legenda detalhamento peça



Fonte: Autoria própria

Observa-se que nas folhas de desenho do detalhamento, o software propicia a criação de lista de materiais que são extraídas diretamente das peças. Estas podem ser configuradas das dimensões das peças, ou seja, se muda a dimensão da peça, todas as suas bitolas são modificadas em todo o processo. Demonstrada na figura 77.

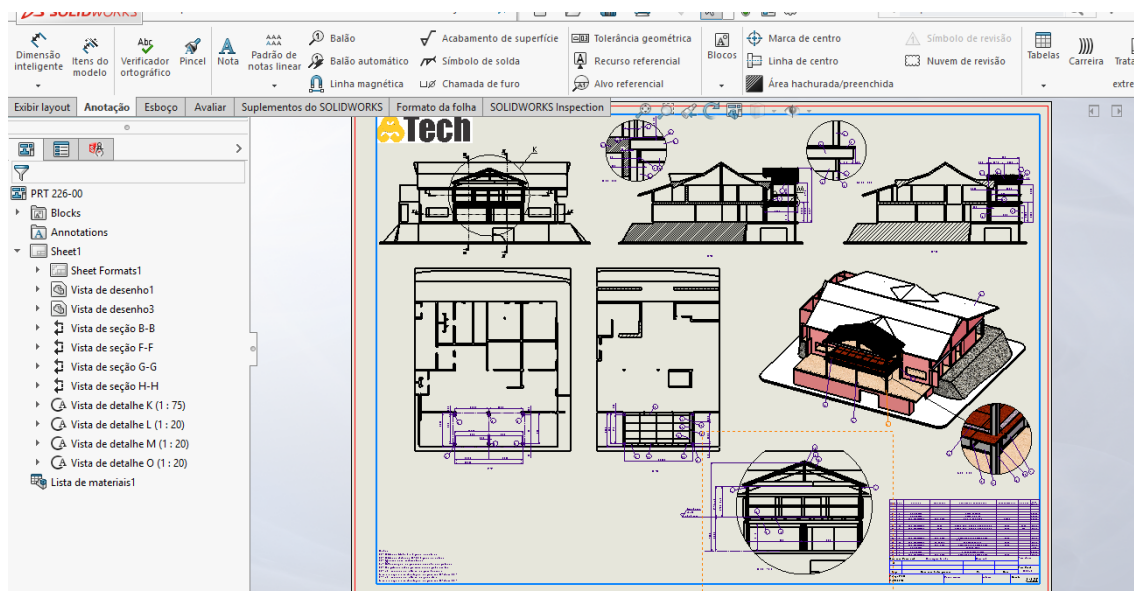
Figura 77 - Propriedades dimensionais peça



Fonte: Autoria própria

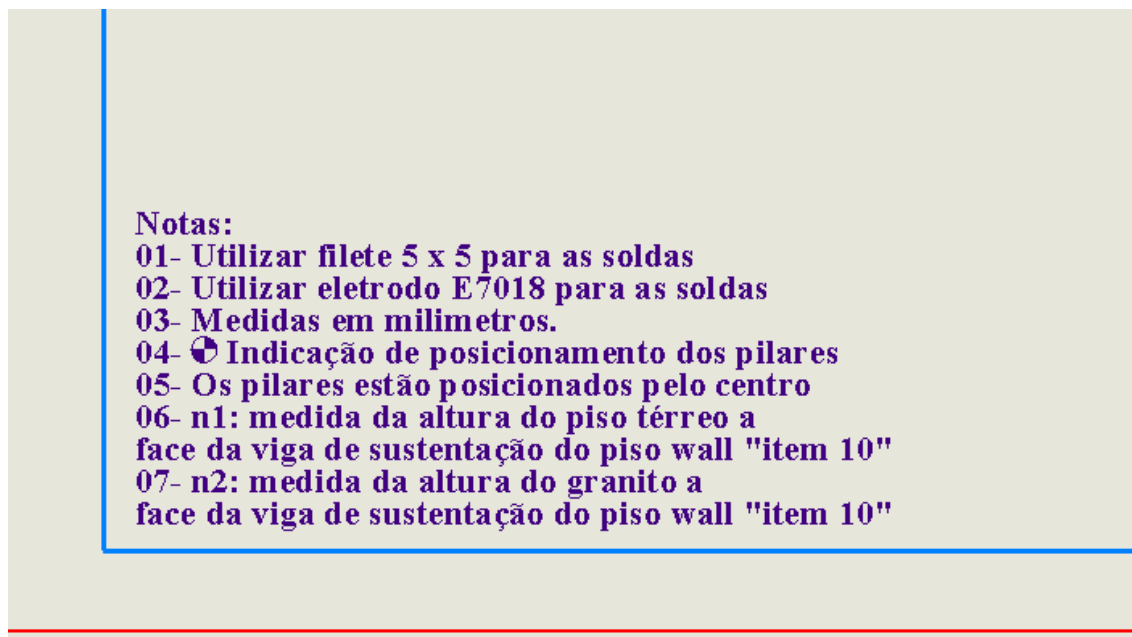
Com isto, no projeto de montagem geral da obra, consegue-se extrair a relação de materiais completa. Demonstrada na figura 78 e 79.

Figura 78 - Determinação montagem geral



Fonte: Autoria própria

Figura 79 - Notas de fabricação e montagem geral



Fonte: Autoria própria

Este software, junto com mais alguns criados na década de 90 para a indústria mecânica é o conceito BIM hoje sendo implantando na construção civil. Ou seja, estes softwares demonstram todas as interferências das peças, realizam análise de elementos finitos, fornecem detalhamento complexo e preciso e toda o quantitativo de materiais, peças e elementos.

6 CONCLUSÃO

A partir da revolução industrial, ocorre uma verdadeira transformação no âmbito da construção civil, levando a mudanças positivas para a evolução da engenharia civil.

Com o desenvolvimento dos processos de produção, o emprego do aço na construção civil foi beneficiado, se tornando um material destacado a produzir componentes estruturais de pontes e edifícios, apresentando qualidades admiráveis em resistência e proporcionando celeridade aos procedimentos de construção.

Ao longo deste trabalho foi possível satisfazer seus objetivos.

Uma revisão de literatura foi bem atendida, visando explicitar o processo de projeto de estruturas metálicas. O estudo escolhido para representar a prática dessa revisão de literatura versou sobre uma obra realizada para a construção de um mezanino com cobertura metálica, onde todo o processo foi executado e concluído de forma adequada.

Foi feito um sistema estrutural metálico, o cálculo das ações atuantes conforme as normas vigentes e a seleção e dimensionamento dos perfis metálicos para uma estrutura de mezanino com cobertura metálica. Pode-se perceber a grande vantagem da utilização de softwares para na análise estrutural e validação dos perfis selecionados, pois isso permite ao projetista maior produtividade e confiabilidade dos resultados. Destaca-se a renovação do ambiente onde a obra foi realizada, com diversas fotografias comprobatórias da mudança descrita no relato.

Por fim, conclui-se que a estrutura metálica utilizando o aço para a renovação do ambiente proposto levou a um projeto interessante e factível que pôde ser executado no tempo adequado, com um resultado eficiente e esteticamente agradável.

REFERÊNCIAS

- AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE/ AMERICAN WELDING SOCIETY. A2.4-98 **Standard Symbols for Welding, Brazing and Nondestructive Examination**, Washington, D.C., EUA, 1998.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6123/1988 **Forças devidas ao vento em edificações**. Rio de Janeiro, 1988.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6120/1980 **Cargas para o Cálculo de Estruturas**. Rio de Janeiro, 1980.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8800/1986 **Projeto e Execução de Estruturas de Aço (métodos dos estados limites)**. Rio de Janeiro, 1986.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14611/2000 **Desenho técnico – Representação simplificada em estruturas metálicas**. Rio de Janeiro, 2000.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10126/1987 **Cotagem em desenho técnico**. Rio de Janeiro, 1987.
- AZEVEDO, D. F. O. **Apostila de treinamento Ansys Worbench**, Universidade de Mogi das Cruzes, Mogi das Cruzes, São Paulo, 2015
- BAUD, G. **Manual de Construção**. Editora Hemus. São Paulo, 1976.
- BELLEI, I. H.; PINHO, F. O.; PINHO, M. O. **Edifícios de múltiplos andares em aço**. 2. ed. São Paulo: Pini, 2008.
- DIAS, P. Apostila. **Tec Const Edif Proj Estrutura**. Unisul- SC, Florianópolis, 2016.
- ESAB. **Catálogo de eletrodos revestidos e eletrodos tubulares**. São Paulo, revisão 2015.
- GERDAU. **Catálogo de perfis W, Cantoneiras, Perfis “U” laminados e Perfis “U” dobrados**. São Paulo, revisão 2012.
- GUINZELLI, A. J. **Projeto estrutural de uma edificação residencial com estrutura metálica**. Universidade tecnológica federal do paraná. Departamento acadêmico de mecânica. Trabalho de conclusão de curso, Engenharia Mecânica. Pato Branco, 2017.
- LEÃO, M.; ARAGÃO, M. **Forças devido ao vento em edificações**, Apostila do curso de estruturas metálicas do Instituto Militar de Engenharia. 2013.
- MADEIRA, A. R. **Estrutura em aço para pavilhão industrial: comparação entre soluções com elementos treliçados e de alma cheia**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de engenharia, departamento de engenharia civil. Porto Alegre, 2009.

MARCON, T. F. S. **Acompanhamento de obra – empreendimento comercial composto por sete salas e mezanino**. Universidade do Planalto Catarinense. Trabalho de conclusão de curso, Engenharia Civil. Lages, 2018

MELO, F. M. **Dimensionamento de uma estrutura de mezanino considerando diferentes ligações entre pilares e vigas**. Universidade Federal Fluminense. Escola de Engenharia. Departamento de Engenharia Civil. Niterói, 2017.

NORTON, R. L. **Projetos de máquinas**- Ed. BOOKMAN-2ª edição-2004.

PALOMO, G. P. M. JÚNIOR, S. S. F. **Projeto estrutural de um galpão industrial de estrutura metálica com mezanino**. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Rio de Janeiro, 2016.

PETROBRAS N-133 REV. J **Soldagem**, Rio de Janeiro, 2005.

PFEIL W.; PFEIL, M. **Estruturas em aço: dimensionamento prático segundo a NBR NBR 8800/2008** 8. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2010.

PROVENZA, F. **Construções metálicas**. Editora F. Provenza, São Paulo, 1986.

PROVENZA, F. **Protec – Projetista de máquinas**. Editora F. Provenza, 1991.

QUEIROS, N. F. **Tutorial Ansys Workbench 11.0**, Universidade do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia, 2008.

RIBBELER, R. C. **Resistência dos materiais**, Pearson Education do Brasil, São Paulo, 2010.

SANTANA, C. B. **Análise estrutural e avaliação da segurança de um galpão metálico de acordo com a ABNT NBR 8800:2008**. Centro Universitário do Sul de Minas. Bacharelado em Engenharia Mecânica, Varginha, 2018.

SANTOS, A. F. **Estruturas Metálicas**. McGraw- Hill, 3 edições. São Paulo, 1977

TAVARES, J. M. FONSECA, R. S. OLIVEIRA, J. **Introdução ao Solidworks (X): Análise de Tensões de Peças - SimulationXpress**, Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2014.

TUPER. **Catálogo de tubo redondos, tubos retangulares e tubos quadrados**. Jaraguá do Sul, revisão 2012

Walsywa. **Catálogo de fixação para a construção civil**. Balneário Piçarras, revisão 2014

VALLE, A. et al. **Apostila de Análise Estrutural I**, Grupo de Experimentação em Estruturas – GRUPEX UFSC, Florianópolis, 2013.