



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL**



DIMENSIONAMENTO E ANÁLISE COMPUTACIONAL DE UM GALPÃO METÁLICO UTILIZANDO O SOFTWARE SAP 2000

Bianca Saldanha Pinheiro

**Belém - PA
Julho/2020**

BIANCA SALDANHA PINHEIRO

**DIMENSIONAMENTO E ANÁLISE COMPUTACIONAL DE UM
GALPÃO METÁLICO UTILIZANDO O SOFTWARE SAP 2000**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Faculdade de Engenharia Civil do Instituto de Tecnologia da Universidade Federal do Pará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil

Orientadora: Prof^aDr^a Salete Souza de Oliveira

**Belém
Julho 2020**

BIANCA SALDANHA PINHEIRO**DIMENSIONAMENTO E ANÁLISE COMPUTACIONAL DE UM GALPÃO METÁLICO UTILIZANDO O SOFTWARE SAP 2000**

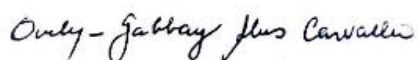
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Faculdade de Engenharia Civil do Instituto de Tecnologia da Universidade Federal do Pará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil

Belém, 01 de junho de 2020.

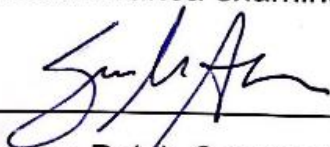
Examinadores



Professora Dr(a). Salete Souza de Oliveira
Universidade Federal do Pará | UFPA
Orientadora



Professora Dr(a). Evelyn Gabbay Alves Carvalho
Universidade Federal do Pará | UFPA
Membro da banca examinadora



Professora Dr(a). Suzana Moreira Avila
Universidade de Brasília | UNB
Membro da banca examinadora

Deus e a minha família,
especialmente meus pais,
minha irmã, meu namorado,
meus tios, avós e primas.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus pela vida, por me fortalecer, sustentar e capacitar ao longo de toda minha caminhada.

À minha orientadora, prof.^a Dr.^a Salete Souza de Oliveira, pelo suporte incondicional, essencial para conclusão do presente trabalho.

Ao meu pai, Kleber Leonez Pinheiro, por todos os ensinamentos e conselhos ao longo desta produção, à minha mãe, Valterlina Saldanha Silva Pinheiro, que me proporcionou os meios necessários para esta realização, à minha irmã, Karine Saldanha Pinheiro, por todo seu apoio e encorajamento.

Ao meu namorado, Matheus Richard Sindeaux de Oliveira, por me incentivar e ajudar em todos os desafios impostos para o cumprimento desta monografia.

Aos meus tios, tias, avós e minhas primas, Victoria Saldanha e Lara Iasmim, que sempre acreditaram e torceram por mim, além de me fornecer auxílio em todas as situações.

A todas as pessoas que contribuíram, direta e indiretamente, para minha formação e produção deste trabalho.

A todos, meu muito obrigada, sem vocês, esta produção não seria possível.

*“Bendiga o Senhor a minha alma! Não esqueça nenhuma de suas
bênçãos!” (Salmos 103:2)*

RESUMO

O presente trabalho apresenta um tutorial do SAP 2000 v.16 - Structural Analysis Program, para modelagem, dimensionamento e análise estrutural de um galpão com estrutura em perfis metálicos. O SAP 2000 é um software para análise estrutural que utiliza o método dos elementos finitos, desenvolvido pela empresa americana CSI – Computers&Structures Inc. e comercializado no Brasil pela empresa Multiplus Softwares Técnicos in. O software é vastamente utilizado para analisar edificações de pequeno, médio e grande porte, no entanto, apesar de ser uma importante ferramenta de análise e dimensionamento, nota-se a dificuldade dos alunos de engenharia civil em aprender a usá-lo, assim como a escassez de material em português apresentando, didaticamente, tutoriais para auxiliar na utilização do programa, visto que, com a evolução das estruturas, que estão se tornando cada vez mais complexas, tornou-se, em grande parte das situações, inviável a resolução por meio de cálculos analíticos. Desta forma, o presente trabalho visa contribuir para diminuir estas dificuldades, apresentando um manual de modelagem, dimensionamento e análise de uma estrutura metálica, a fim de gerar o perfil adequado para cada barra, assim como os diagramas de esforços, deflexões, momentos, cisalhamento, reações e deformadas.

Palavras-chave: SAP 2000, análise estrutural, dimensionamento estrutural, modelagem, esforços, carregamento, tutorial, estrutura metálica.

ABSTRACT

The present study presents a tutorial of the SAP 2000 structural analysis program for modeling, dimensioning and structural analysis of a building with structure in metallic profiles. SAP 2000 is software for structural analysis that uses the finite element method, developed by the American company CSI - Computer & structures Inc. and marketed in Brazil by the company Múltiplos Softwares Técnicos in. The software is widely used to analyze small, medium and large buildings, however, despite being an important analysis and dimensioning tool, it is noted the difficulty of civil engineering students in learning to use it, as well as the shortage of material in Portuguese didactically presenting tutorials to assist in the use of the program, since, as structures evolve, becoming more and more complex, in most situations, resolution by means of calculations analytical. In this way, the present work aims to contribute to reduce these difficulties, presenting a manual of modeling, dimensioning and analysis of metallic structure, in order to generate the adequate profile for each bar, as well as the diagrams of efforts, deflections, shear, reactions and deformed

Keyword: SAP 2000, Structural analysis, structural design, Modeling, efforts, loading, tutorial, metallic structures.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Diagrama Tensão x Deformação.....	17
Figura 2: Peças siderúrgicas.....	20
Figura 3: Peças metalúrgicas.....	21
Figura 4: Cotas da vista frontal do galpão.....	29
Figura 5: Cotas da vista superior do galpão.....	29
Figura 6: Legenda do galpão.....	30
Figura 7: Vento 0° nas paredes.....	32
Figura 8: Vento 90° nas paredes.....	33
Figura 9: Vento 0° no telhado.....	33
Figura 10: Vento 90° no telhado.....	34
Figura 11: Vento 0° - cpi = -0,30.....	34
Figura 12: Vento 0° - cpi = 0.....	35
Figura 13: Vento 90° - cpi = -0,30.....	35
Figura 14: Vento 90° - cpi = 0.....	35
Figura 15: Seleção do novo modelo.....	44
Figura 16: Seleção das unidades e template.....	45
Figura 17: Inserção do número de linhas de base e distância entre elas.....	46
Figura 18: Edição das linhas de base.....	46
Figura 19: Modificar linhas de base.....	47
Figura 20: Inserção do valor de Z3.....	47
Figura 21: Linhas de base definidas.....	48
Figura 22: Criação do material aço usado na estrutura.....	48
Figura 23: Propriedades do aço.....	49
Figura 24: Criação do material alumínio usado no fechamento superior.....	49
Figura 25: Propriedades do alumínio.....	50
Figura 26: Definição das seções das barras.....	50
Figura 27: Importação do perfil I.....	51
Figura 28: Seleção da biblioteca de perfis I.....	51
Figura 29: Seleção dos perfis a serem importados.....	52
Figura 30: Importação do perfil C.....	52
Figura 31: Seção C.....	53
Figura 32: Seleção da biblioteca de perfis C.....	53
Figura 33: Seleção dos perfis a serem importados.....	54
Figura 34: Propriedade das colunas.....	54
Figura 35: Desenho das colunas.....	55
Figura 36: Propriedades das vigas inclinadas.....	55
Figura 37: Desenho das vigas.....	55
Figura 38: Propriedades dos montantes.....	56
Figura 39: Desenho do montante.....	56
Figura 40: Divisão das vigas em elementos finitos.....	57
Figura 41: Janela de opções de exibição.....	57
Figura 42: Extensão dos pontos para criação das terças.....	58
Figura 43: Terças criadas e elementos selecionados para serem replicados.....	58
Figura 44: Replicação dos elementos selecionados.....	59
Figura 45: Galpão modelado.....	59
Figura 46: Opções de visualização.....	60
Figura 47: Seleção dos montantes.....	60

Figura 48: Ângulo de rotação dos montantes.....	61
Figura 49: Seleção das vigas horizontais.....	61
Figura 50: Ângulo de rotação das vigas horizontais.....	62
Figura 51: Comando para melhor visualização das terças.....	62
Figura 52: Seleção das terças.....	63
Figura 53: Ângulo de rotação das terças.....	63
Figura 54: Seleção das terças da esquerda.....	64
Figura 55: Comandos para posicionar corretamente as terças esquerdas.....	64
Figura 56: Terças esquerdas posicionadas corretamente.....	65
Figura 57: Seleção das terças da direita.....	65
Figura 58: Comandos para posicionar corretamente as terças direitas.....	66
Figura 59: Terças direitas posicionadas corretamente.....	66
Figura 60: Seleção das restrições das colunas.....	67
Figura 61: Restrições dos pontos superiores das colunas.....	67
Figura 62: Restrições nos pontos dos montantes.....	68
Figura 63: Criação da seção para cobertura.....	69
Figura 64: Propriedades do objeto.....	69
Figura 65: Desenho da cobertura do galpão.....	70
Figura 66: Comando para esconder as linhas de base.....	70
Figura 67: Definição das cargas.....	71
Figura 68: Seleção das áreas da cobertura para aplicação das cargas.....	72
Figura 69: Cargas atribuídas às telhas.....	72
Figura 70: Sobrecarga atribuída à cobertura.....	72
Figura 71: Carga de vento 0°.....	73
Figura 72: Carga de vento 90° no lado direito da cobertura.....	73
Figura 73: Carga de vento 90° no lado esquerdo da cobertura.....	73
Figura 74: Colunas da direita selecionadas para inserção do carregamento.....	74
Figura 75: Carga de vento 0° incidente nas colunas direitas.....	74
Figura 76: Carga de vento 90° incidente nas colunas direitas.....	75
Figura 77: Colunas da esquerda selecionadas para inserção do carregamento.....	75
Figura 78: Carga de vento 0° incidente nas colunas esquerdas.....	75
Figura 79: Carga de vento 90° incidente nas colunas esquerdas.....	76
Figura 80: Combinação 1.....	77
Figura 81: Combinação 2.....	77
Figura 82: Combinação 3.....	78
Figura 83: Combinação 4.....	78
Figura 84: Combinação 5.....	79
Figura 85: Combinação 6.....	79
Figura 86: Realização da análise.....	80
Figura 87: Definição das preferências.....	81
Figura 88: Comando para desabilitar a visualização do fechamento.....	81
Figura 89: Visualização da análise dos perfis.....	82
Figura 90: Comando para visualizar cores e valores dos esforços.....	82
Figura 91: Visualização da proporção de esforço em cada barra.....	83
Figura 92: Reações nos apoios.....	83
Figura 93: Estrutura deformada.....	84
Figura 94: Estrutura com diagramas e valores para uma barra.....	84
Figura 95: Diagrama de esforço axial.....	85
Figura 96: Diagrama 1 de esforços para colunas.....	85
Figura 97: Diagrama 2 de esforços para colunas.....	86

Figura 98: Diagrama 3 de esforços para colunas.....	86
Figura 99: Diagrama 4 de esforços para colunas.....	87
Figura 100: Diagrama 5 de esforços para colunas.....	87
Figura 101: Diagrama 6 de esforços para colunas.....	88
Figura 102: Diagrama 7 de esforços para colunas.....	88
Figura 103: Diagrama 8 de esforços para colunas.....	89
Figura 104: Diagrama 1 de esforços nas vigas inclinadas	89
Figura 105: Diagrama 2 de esforços nas vigas inclinadas	90
Figura 106: Diagrama 3 de esforços nas vigas inclinadas	90
Figura 107: Diagrama 4 de esforços nas vigas inclinadas	91
Figura 108: Diagrama 1 de esforços nas vigas horizontais.....	91
Figura 109: Diagrama 2 de esforços nas vigas horizontais.....	92
Figura 110: Diagrama 3 de esforços nas vigas horizontais.....	92
Figura 111: Diagrama 4 de esforços nas vigas horizontais.....	93
Figura 112: Diagrama 1 de esforços nos montantes.....	93
Figura 113: Diagrama 2 de esforços nos montantes.....	94
Figura 114: Diagrama 3 de esforços nos montantes.....	94
Figura 115: Diagrama 4 de esforços nos montantes.....	95
Figura 116: Diagrama 1 de esforços das terças do grupo 1.....	96
Figura 117: Diagrama 2 de esforços das terças do grupo 1.....	96
Figura 118: Diagrama 1 de esforços das terças do grupo 2.....	97
Figura 119: Diagrama 2 de esforços das terças do grupo 2.....	97
Figura 120: Diagrama 1 de esforços das terças do grupo 3.....	98
Figura 121: Diagrama 2 de esforços das terças do grupo 3.....	98
Figura 122: Diagrama 1 de esforços das terças do grupo 4.....	99
Figura 123: Diagrama 2 de esforços das terças do grupo 4.....	99
Figura 124: Diagrama 1 de esforços das terças do grupo 5.....	100
Figura 125: Diagrama 2 de esforços das terças do grupo 5.....	100
Figura 126: Diagrama 1 de esforços das terças do grupo 6.....	101
Figura 127: Diagrama 2 de esforços das terças do grupo 6.....	101
Figura 128: Diagrama 1 de esforços das terças do grupo 7.....	102
Figura 129: Diagrama 2 de esforços das terças do grupo 7.....	102
Figura 130: Diagrama 1 de esforços das terças do grupo 8.....	103
Figura 131: Diagrama 2 de esforços das terças do grupo 8.....	103
Figura 132: Diagrama 1 de esforços das terças do grupo 9.....	104
Figura 133: Diagrama 2 de esforços das terças do grupo 9.....	104
Figura 134: Diagrama 1 de esforços das terças do grupo 10.....	105
Figura 135: Diagrama 2 de esforços das terças do grupo 10.....	105

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Influência dos elementos nas propriedades mecânicas do aço estrutural.	19
Tabela 2: Coeficiente de flambagem por flexão	24
Tabela 3: Deslocamentos máximos	28
Tabela 4: Esforços críticos	37
Tabela A 1: Perfil I Gerdau	109
Tabela A 2: Perfil U Gerdau	110
Tabela A 3: Informativo técnico telhas	111
Tabela B 1: Aço	112

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

Ap. ou Apud – citado por, segundo

FLA – Flambagem Local da Alma

FLM – Flambagem Local das Mesas

FLT – Flambagem Lateral por Torção

NBR – Norma Brasileira

p. – página

SAP – Structural Analysis Program

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1 PROPRIEDADES DO AÇO ESTRUTURAL.....	17
2.2 PROPRIEDADES MECÂNICAS DO AÇO ESTRUTURAL.....	18
2.3 PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS DO AÇO ESTRUTURAL	20
2.4 ESTADOS LIMITES	21
2.4.1 Estado Limite Último – ELU	21
2.4.2 Estado Limite de Serviço – ELS.....	21
2.5 ESBELTEZ.....	22
2.6 TRAÇÃO	22
2.7 COMPRESSÃO	23
2.8 FLEXÃO	24
2.8.1 Flexão Pura.....	24
2.8.2 Flexão Simples	24
2.8.3 Flexão Composta.....	24
2.9 MOMENTO FLETOR RESISTENTE DE CÁLCULO	25
2.9.1 Flambagem Lateral por Torção – FLT	25
2.9.2 Flambagem Local das Mesas (FLM) e Flambagem Local da Alma (FLA)	26
2.10 CISALHAMENTO.....	27
2.11 DESLOCAMENTO MÁXIMO.....	28
3. FORMULAÇÃO DO MODELO	28
3.1 PESO PRÓPRIO.....	30
3.2 VENTO 0° E 90°.....	31
3.3 SOBRECARGA NA COBERTURA.....	36
3.4 COMBINAÇÕES	36
3.5 VERIFICAÇÕES	37
3.5.1 Tração.....	37
3.5.2 Compressão.....	39
4. MODELAGEM DE UM GALPÃO METÁLICO NO SAP 2000 V.16... ..	43
4.1 SELEÇÃO DO TEMPLATE	44
4.2 DEFINIÇÃO DOS MATERIAIS E PERFIS	48
4.3 DESENHO DOS ELEMENTOS.....	54
4.4 DEFINIÇÃO DOS APOIOS	67
4.5 INSERÇÃO DO FECHAMENTO NA COBERTURA.....	68
4.6 APLICAÇÃO DE CARGAS.....	71
4.7 ANÁLISE DA ESTRUTURA	80

5. ANÁLISE DOS RESULTADOS	85
5.1 COLUNAS.....	85
5.2 VIGAS INCLINADAS.....	89
5.3 VIGAS HORIZONTAIS.....	91
5.4 MONTANTES.....	93
5.5 TERÇAS.....	95
6. CONCLUSÃO.....	106
6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	107
REFERÊNCIAS.....	108
ANEXO A – TABELAS DE PERFIL E TELHA	109
ANEXO B – TABELA DE AÇO	112

1. INTRODUÇÃO

O transporte e armazenamento de produtos de forma adequada é imprescindível para a indústria, desta forma, o uso de galpões se faz extremamente necessário. Existe uma vasta opção de estruturas de galpões, como, por exemplo, galpão em arco, galpão em shed, galpão de lona piramidal e galpão metálico. Cada tipo possui vantagens e desvantagens, adequando-se ao objetivo desejado.

Os galpões metálicos possuem inúmeras vantagens, dentre elas, a racionalização dos materiais, evitando o desperdício e, conseqüentemente, economizando recursos materiais e financeiros, além de proporcionar maior agilidade na construção pois tratam-se de estruturas pré-moldadas. Outra vantagem é a maior limpeza e flexibilidade durante a montagem das peças pois não há uso de argamassas, o que evita a geração de entulhos, sendo benéfico, também, para o meio ambiente. Além disto, as estruturas metálicas são mais leves o que reduz os custos com a fundação.

O programa SAP 2000, Structural Analysis Program, permite a modelagem, análise e dimensionamento estrutural, utilizando o processo de subdivisão da estrutura em elementos finitos, para realização dos cálculos. Por sua versatilidade, permite utilização para dimensionamento das mais diversas estruturas, como pontes, barragens, edifícios e qualquer infraestrutura necessária, conforme Moraes.

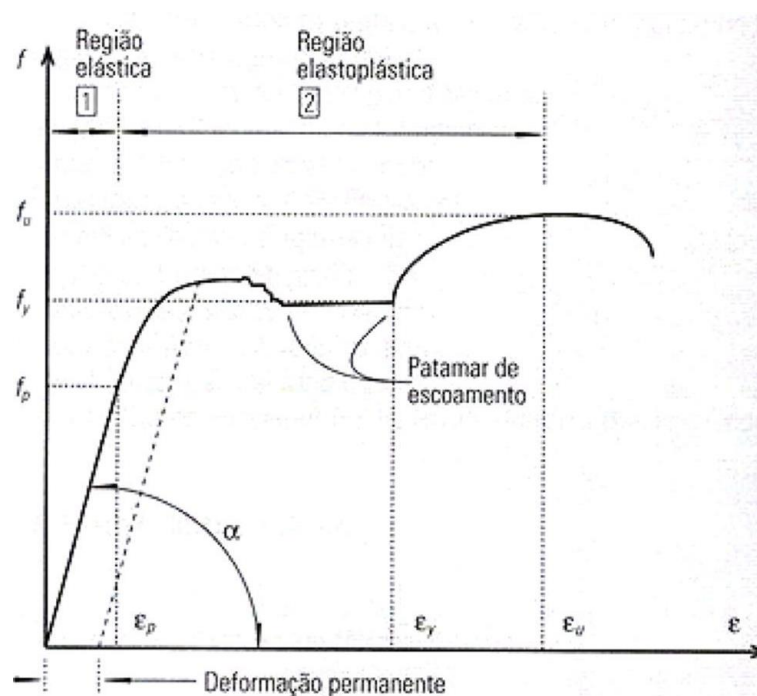
O presente trabalho trata-se de um tutorial para modelagem e análise de um galpão metálico no software SAP 2000 v.16, e tem por objetivo auxiliar alunos, engenheiros, arquitetos e os demais profissionais interessados em fazer uso deste programa.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 PROPRIEDADES DO AÇO ESTRUTURAL

O conceito de metal está intimamente relacionado a determinadas propriedades, facilmente, reconhecíveis, entre outras, o brilho metálico, opacidade, boa condutibilidade elétrica e térmica, e ductilidade, de acordo com Pannoni (2001). O dimensionamento do perfil da estrutura é determinado a partir da escolha do aço, para isso, segundo Santana (2018), é primordial conhecer o diagrama Tensão x Deformação, apresentado na Figura 1, cujo objetivo é ilustrar o comportamento de aço dúctil em corpos de prova submetidos ao esforço normal de tração.

Figura 1: Diagrama Tensão x Deformação



Fonte: (Pinheiro, 2005 apud Santana, 2018, p. 20)

Tem-se que:

f – Tensão do material;

f_u – Tensão última;

f_y – Tensão de escoamento;

f_p – Tensão de proporcionalidade;

ε – Deformação específica;

ε_u – Deformação específica na ocorrência da última tensão;

ε_y – Deformação específica limite quando ocorre a tensão de escoamento;

ε_p – Deformação específica quando ocorre a tensão de plastificação;

α – Ângulo de inclinação da reta da região elástica.

Segundo o diagrama Tensão x Deformação, o aço, ao ser submetido a determinada tensão, sofre uma deformação respectiva à tensão aplicada. A primeira região do diagrama é a região elástica, na qual, o comportamento do aço é mais dúctil, ou seja, a deformação sofrida não é permanente, após a retirada da tensão, o aço retorna ao seu comprimento original.

No entanto, a partir de uma determinada tensão, chamada, tensão de escoamento, parte da deformação sofrida se torna permanente, nessa fase, o aço entra na região elastoplástica, não retornando mais ao comprimento original após a retirada da tensão aplicada. Após essa fase, a tensão última é a tensão na qual ocorre a ruptura do aço, devendo ser terminantemente evitada, para preservar a segurança da estrutura metálica. Por esse motivo, é de suma importância conhecer o diagrama do aço que será utilizado na estrutura a fim de torná-la o mais segura possível.

2.2 PROPRIEDADES MECÂNICAS DO AÇO ESTRUTURAL

Existem inúmeros fatores que afetam as propriedades mecânicas do aço estrutural, conforme Pannoni (2001), os principais são a composição química, o histórico termomecânico do material, a geometria, temperatura, estado de tensões e a velocidade de deformação da estrutura. Dentre esses, o mais importante na determinação das propriedades de um certo tipo de aço é a composição química, por exemplo, nos aços carbono comuns, os elementos Carbono e Manganês influenciam no controle da resistência, ductilidade e soldabilidade.

Ainda segundo Pannoni (2001) a maioria dos aços carbono estruturais tem mais de 98% de Ferro, de 0,2 a 1% de Carbono e, aproximadamente, 1% de Manganês. No caso do Carbono, por exemplo, aumenta-se a dureza e a resistência, entretanto, a ductilidade e a soldabilidade são afetadas. Dessa forma, é importante combinar diversos elementos a fim de obter uma liga de aço com o máximo de propriedades para a situação em que será aplicado.

Na tabela 1 é possível observar como cada elemento influencia nas propriedades mecânicas do aço estrutural.

Tabela 1: Influência dos elementos nas propriedades mecânicas do aço estrutural

ELEMENTO	SOLUÇÃO SÓLIDA	FORMANDO CARBONETOS	TAMANHO DE GRÃO	TEMPERATURA DE TRANSFORMAÇÃO A_1	TENACIDADE	RESISTÊNCIA À TRAÇÃO	RESISTÊNCIA À CORROSÃO	SOLDABILIDADE
Si	SIM	NÃO	↗	↗	↗	↗	↗	↘
Mn	SIM	NÃO	↗	↘	↗	↗	---	↘
Cr	PARTE	PARTE	↗	↗	↗	↗	↗	↘
Ni	SIM	NÃO	REFINA	↘	↗	↗	↗	↘
Cu	SIM	NÃO	REFINA	↘	↘	↗	↗	↘
V	NÃO	SIM	REFINA	↗	↗	---	---	---
W	NÃO	SIM	REFINA	↗	↗	---	---	---
Co	SIM	NÃO	IMPEDE AUMENTO	---	---	---	---	---
Mo	NÃO	SIM	IMPEDE AUMENTO	↗	↘	↗	↗	↗

Fonte: (Pannoni, 2001, p. 4)

De acordo com Pfeil e Pfeil (2009) apud Santana (2018), as resistências à ruptura de aços estruturais são semelhantes, variando de 300 MPa até limites superiores a 1200 MPa. Ainda segundo Pfeil e Pfeil (2009) apud Santana (2018), algumas das principais propriedades do aço são ductilidade, fragilidade, resiliência, tenacidade, dureza, fadiga, corrosão e efeito de temperatura.

A fim de padronizar os cálculos dos projetistas no dimensionamento, a ABNT NBR 8800:2008 estabelece os seguintes valores para as propriedades mecânicas dos aços:

- a) Módulo de elasticidade, $E = E_a = 200\ 000$ MPa;
- b) Coeficiente de Poisson $\nu_a = 0,3$;
- c) Módulo de elasticidade transversal, $G = 77\ 000$ MPa;

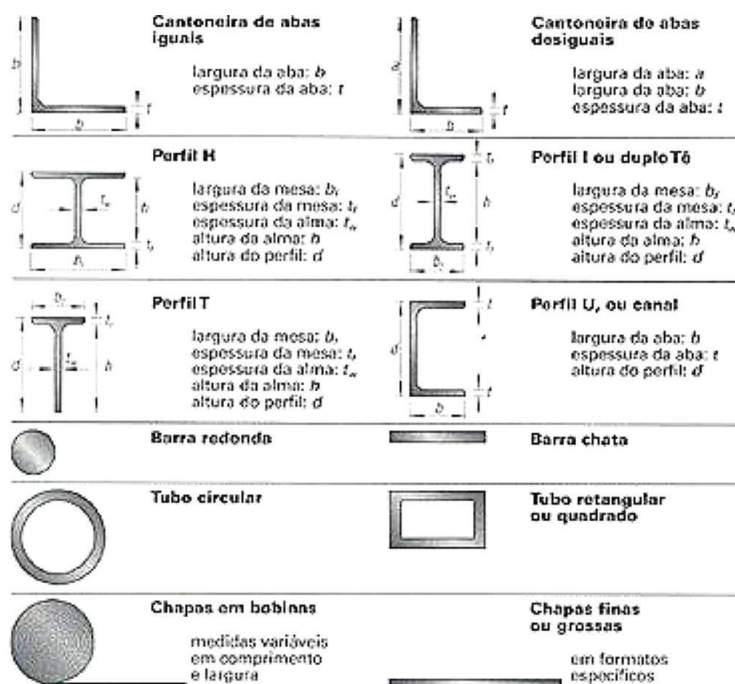
d) Coeficiente de dilatação térmica, $\beta_a = 1,2 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$;

e) Massa específica, $\rho = 7\,850 \text{ Kg/m}^3$

2.3 PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS DO AÇO ESTRUTURAL

A fim de padronizar e organizar a produção e os projetos de estruturas metálicas, convencionou-se perfis cujos fabricantes estabelecem valores pré-fixados para altura e espessura da alma, comprimento da mesa, etc. As peças podem ter origem siderúrgica e metalúrgica. Conforme Pinheiro (2005), as peças siderúrgicas são classificadas em perfis, barras e chapas, como é mostrado na Figura 2.

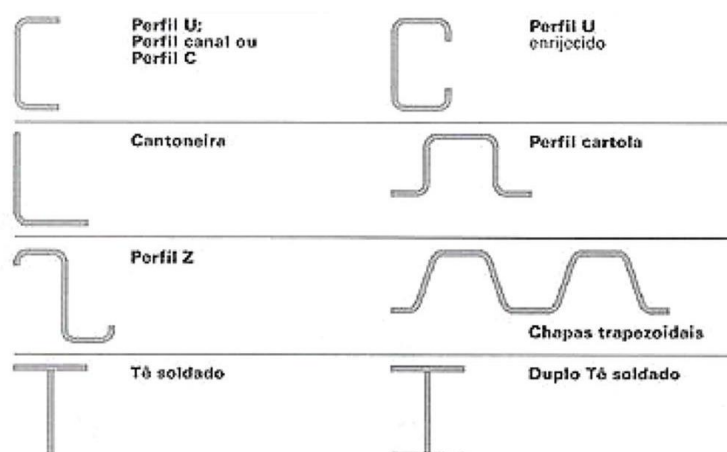
Figura 2: Peças siderúrgicas



Fonte: (Pinheiro, 2005, p.2)

Enquanto a indústria metalúrgica produz perfis compostos por chapas dobradas e soldadas, conforme a Figura 3.

Figura 3: Peças metalúrgicas



Fonte: (Pinheiro, 2005, p. 2)

2.4 ESTADOS LIMITES

A ABNT NBR 8800:2008 considera dois estados-limites que serão detalhados a seguir conforme explicitado na referida norma.

2.4.1 Estado Limite Último – ELU

Segundo a ABNT NBR 8800:2008, o estado limite último está relacionado à segurança da estrutura ao ser submetida à combinação de ações mais desfavorável.

Com base em Fakury (2016) apud Santana (2018), estado limite último é a capacidade da estrutura em suportar plenamente as ações a que esta for submetida, a ocorrência do Estado limite último – ELU, está atrelada ao colapso total ou parcial.

2.4.2 Estado Limite de Serviço – ELS

Já o estado limite de serviço, de acordo com a ABNT NBR 8800:2008, está relacionada ao desempenho da estrutura ao longo de sua vida útil sob condições normais de utilização.

De acordo com a ABNT NBR 8681, são estados que, por sua ocorrência, repetição ou duração, causam efeitos estruturais que desrespeitam as condições adequadas para o uso da construção, ou que são indícios de comprometimento da durabilidade da estrutura.

2.5 ESBELTEZ

De acordo com a ABNT NBR 8800: 2008, esbeltez (λ) é a razão entre largura e espessura (b/t) dos elementos comprimidos em perfis metálicos. De acordo com os valores de esbeltez (λ), as seções são classificadas em:

- a) compactas – seções cujos valores de λ são inferiores a λ_p ;
- b) semicompactas – seções em que λ é superior a λ_p , porém inferior a λ_r ;
- c) esbelta – seções cujos valores de λ são superiores a λ_r .

2.6 TRAÇÃO

Peças tracionadas são aquelas sujeitas a esforços de tração simples e tração axial, com base em Pfeil e Pfeil (2009) apud Santana (2018), estas peças são empregadas nas estruturas sob as formas de:

Tirantes ou pendurais;

Contraventamentos de torres;

Travejamentos de vigas ou colunas;

Tirantes de vigas armadas; e

Barras tracionadas de treliças.

A NBR ABNT 8800: 2008, p. 43, estabelece a seguinte condição para barras submetidas à força axial de tração:

$$N_{t,Sd} \leq N_{t,Rd} \quad (1)$$

Sendo:

$N_{t, Sd}$ – força axial de tração solicitante de cálculo;

$N_{t, Rd}$ – força axial de tração resistente de cálculo;

Ainda conforme a norma, o índice de esbeltez das barras submetidas a tração, deverá ser menor que 300, isto é, a relação (L / r), sendo “L” o comprimento destravado e “r” o raio de giração.

2.7 COMPRESSÃO

Com base em Fakoury (2016), as barras de aço comprimidas axialmente, aparecem compondo vigas e pilares treliçados, assim como, em alguns tipos de contraventamento. Além disso, o autor cita dois modos de colapso a serem considerados, a instabilidade da barra como um todo e a flambagem local dos elementos que compõe a seção transversal da barra (flambagem da alma ou flambagem das mesas, por exemplo, em uma seção H).

A ABNT NBR 8800: 2008, aplica a seguinte condição geral para as barras prismáticas submetidas a força normal de compressão:







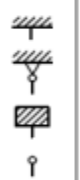




$$N_{c,Sd} \leq N_{c,Rd} \quad (2)$$

$N_{c,Sd}$ – Força axial de compressão solicitante de cálculo;

$N_{c,Rd}$ – Força axial de compressão resistente de cálculo;

A norma também estabelece que para perfis submetidos a esforço axial de compressão, o índice de esbeltez seja limitado a 200, tomando como relação ($K.L/r$), sendo “K” coeficiente de flambagem dado na Tabela 2, “L” o comprimento de flambagem e “r” é o raio de giração da peça.

Tabela 2: Coeficiente de flambagem por flexão

A linha tracejada indica a linha elástica de flambagem	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
						
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	 <ul style="list-style-type: none">  Rotação e translação impedidas  Rotação livre, translação impedida  Rotação impedida, translação livre  Rotação e translação livres 					

Fonte: (Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 8800:2008, p. 125)

2.8 FLEXÃO

No caso do esforço de flexão, é importante determinar os esforços atuantes na peça. Segundo Pinheiro (2005), é possível classificar a flexão conforme os esforços que atuam na barra, da seguinte forma:

2.8.1 Flexão Pura

Neste caso, somente o momento fletor atua na barra e pode ser dividida em:

- Plana: o plano de atuação do momento fletor coincide com um dos planos principais de inércia.
- Oblíqua: o plano de atuação do momento fletor é inclinado em relação aos planos principais de inércia.

2.8.2 Flexão Simples

Neste caso, existe a atuação do momento fletor e da força cortante.

2.8.3 Flexão Composta

Neste caso, o momento fletor atua com ou sem a força cortante, sendo combinado com o momento torsor, ou com a força normal, ou ambos.

2.9 MOMENTO FLETOR RESISTENTE DE CÁLCULO

Ao dimensionar uma barra submetida a momento fletor, é necessário satisfazer a seguinte relação:

$$M_{Sd} \leq M_{Rd} \quad (3)$$

Sendo M_{Sd} o momento fletor solicitante de cálculo, e M_{Rd} o momento fletor resistente de cálculo que é dado pela razão entre o momento fletor resistente nominal e o coeficiente de ponderação igual a 1,10, dado pela norma brasileira, NBR 8800:2008.

Os estados-limites básicos são FLT, FLM e FLA, e serão explicitados a seguir, conforme Fakoury (2016).

2.9.1 Flambagem Lateral por Torção– FLT

Quando barras de aço são submetidas à momento fletor crescente em relação ao eixo x (maior inércia), a torção e a curvatura (flambagem) aumentam gradativamente até o colapso.

É estabelecido pela NBR ABNT 8800:2008 para cada tipo de seção e eixo, para o estado-limite de Flambagem Lateral com Torção, o momento fletor resistente de cálculo a seguir:

$$M_{Rd} = \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}}, \text{ para } \lambda \leq \lambda_p \quad (4)$$

$$M_{Rd} = \frac{C_b}{\gamma_{a1}} \times [M_{pl} - (M_{pl} - M_r) \times \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p}] \leq \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}}, \text{ para } \lambda_p < \lambda \leq \lambda_r \quad (5)$$

$$M_{Rd} = \frac{M_{cr}}{\gamma_{a1}} \leq \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}}, \text{ para } \lambda > \lambda_r \quad (6)$$

Sendo:

M_{pl} : Momento fletor de plastificação;

γ_{a1} : coeficiente de ponderação dado pela tabela 3 da ABNT NBR 8800:2008, p. 23;

C_b : Fator de modificação para diagrama de momento fletor não-uniforme, obtido segundo ABNT NBR 8800:2008, p. 47;

M_r : momento fletor correspondente ao início do escoamento, incluindo a influência das tensões residuais (exceto para flambagem local da mesa);

M_{cr} : momento fletor de flambagem elástica;

λ_r : parâmetro de esbeltez correspondente ao início do escoamento; e

λ_p : parâmetro de esbeltez correspondente a plastificação.

A norma ainda estabelece a seguinte relação, a fim de limitar o fenômeno de FLT:

$$\lambda_m = L_b / r_y \quad (7)$$

Sendo:

L_b = comprimento longitudinal sem contenção lateral, do perfil

r_y = raio de giração, em relação ao eixo principal de inércia, perpendicular ao eixo de flexão

λ_m = parâmetro de esbeltez

2.9.2 Flambagem Local das Mesas (FLM) e Flambagem Local da Alma (FLA)

Nos casos em que o FLM e FLA são estados-limites últimos aplicáveis, dá-se o momento fletor resistente nominal por, segundo a ABNT NBR 8800:2008:

$$- \lambda \leq \lambda_p: M_{Rk} = M_{pl} \quad (8)$$

$$- \lambda_p < \lambda \leq \lambda_r: M_{Rk} = M_{pl} - (M_{pl} - M_r)(\lambda - \lambda_p) / (\lambda_r - \lambda_p) \quad (9)$$

$$- \lambda > \lambda_r: M_{Rk} = M_{cr} \quad (10)$$

Toma-se o maior valor de M_{Sd} para toda a viga e seu M_{Rd} , e faz-se a verificação uma única vez, devendo atender à condição expressa pela seguinte equação:

$$M_{Sd} \leq M_{Rd} \quad (11)$$

O índice de esbeltez para FLA e FLM devem ser verificados, conforme a seção transversal, com as respectivas equações a seguir:

Para FLA: $\lambda_a = h/t_w$ (12)

Considerando:

h = altura da alma;

λ_a = esbeltez; e

t_w = espessura da alma.

Para FLM: $\lambda_m = (b_f/2) / t_f$ (13)

Sabendo que:

λ_m = esbeltez;

b_f : largura da mesa; e

t_f : espessura da mesa.

2.10 CISALHAMENTO

A ABNT NBR 8800:2008 estabelece a condição a seguir, para dimensionamento de perfis à força cortante:

$$V_{Sd} \leq V_{Rd} \quad (14)$$

Sendo:

V_{Rd} – força cortante resistente de cálculo, dado pela razão entre a força cortante resistente nominal e o coeficiente de ponderação igual a 1,10, estabelecido pela norma.

V_{Sd} – força cortante solicitante de cálculo

2.11 DESLOCAMENTO MÁXIMO

A ABNT NBR 8800:2008 estabelece os deslocamentos máximos de acordo com a Tabela 3.

Tabela 3: Deslocamentos máximos

Descrição	δ^a
- Travessas de fechamento	$L/180^b$
	$L/120^{c,d}$
- Terças de cobertura ^{g)}	$L/180^e$
	$L/120^f$
- Vigas de cobertura ^{g)}	$L/250^h$
- Vigas de piso	$L/350^h$
- Vigas que suportam pilares	$L/500^h$
Vigas de rolamento: ^{j)}	
- Deslocamento vertical para pontes rolantes com capacidade nominal inferior a 200 kN	$L/600^i$
- Deslocamento vertical para pontes rolantes com capacidade nominal igual ou superior a 200 kN, exceto pontes siderúrgicas	$L/800^i$
- Deslocamento vertical para pontes rolantes siderúrgicas com capacidade nominal igual ou superior a 200 kN	$L/1000^i$
- Deslocamento horizontal, exceto para pontes rolantes siderúrgicas	$L/400$
- Deslocamento horizontal para pontes rolantes siderúrgicas	$L/600$
Galpões em geral e edifícios de um pavimento:	
- Deslocamento horizontal do topo dos pilares em relação à base	$H/300$
- Deslocamento horizontal do nível da viga de rolamento em relação à base	$H/400^{k,l}$
Edifícios de dois ou mais pavimentos:	
- Deslocamento horizontal do topo dos pilares em relação à base	$H/400$
- Deslocamento horizontal relativo entre dois pisos consecutivos	$h/500^m$

Fonte: (Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 8800:2008, p. 117)

A norma ainda define ζ_0 como a contra flecha, ζ_1 é a contra flecha decorrente de forças permanentes de baixa duração, ζ_2 é o deslocamento devido a carregamentos permanentes de longa duração e ζ_3 é a contra flecha por conta de ações variáveis, além disso, ζ_{max} é o deslocamento máximo da viga.

3. DESCRIÇÃO DO MODELO

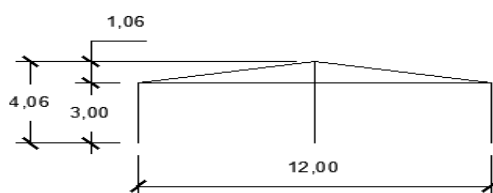
O galpão será de duas águas com vão livre de 12 metros por 3 vãos de 6 metros, fechamento em alumínio e perfis metálicos. A escolha dos perfis foi feita a partir de um pré-dimensionamento utilizando o SAP 2000, esta ferramenta funciona a partir da inserção de perfis, de uma biblioteca contida no computador do usuário, a fim de criar um banco de dados no programa, a partir desta importação, deve-se criar um

perfil de auto seleção de determinada geometria, nesse caso, tipo H e C,,e associar à cada um, os perfis importados, com a geometria respectiva, dentre os quais, o software irá selecionar a opção mais adequada para cada barra, com base na norma escolhida pelo usuário, no caso de usuários brasileiros, a norma correta a ser escolhida deve ser a AISC360 05/IBC2006, que é similar à NBR 8800:2008, já que a norma brasileira não consta no programa.

Neste caso, foram selecionados os seguintes perfis: HP 200x53,0 para as colunas, U – 305 x 30,80 para as terças e vigas horizontais, U – 76,20 x 6,10 para os montantes e W – 150 x 22,5 para as vigas inclinadas, todos os perfis provém de catálogos Gerdau, contidos no Anexo A deste trabalho, fabricados segundo a ABNT NBR 15980:2011.

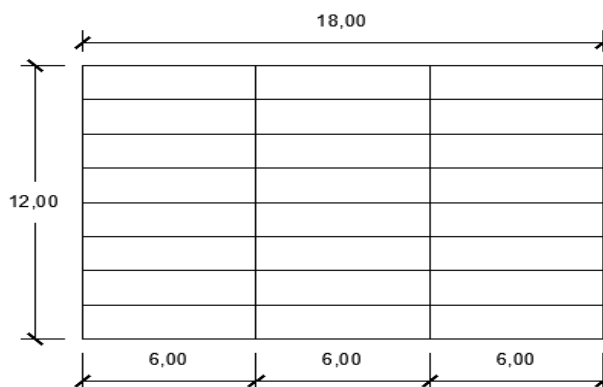
Enquanto o aço escolhido está contido na Tabela A.2 do Anexo A da ABNT NBR 8800:2008 e foi inserida no Anexo B do presente trabalho, trata-se do aço-carbono A36 cujas propriedades de resistência ao escoamento e resistência à ruptura são, respectivamente, 250 MPa e 400 Mpa. As telhas foram escolhidas com base em um catálogo inserido no Anexo A deste trabalho e seu peso é de 5,85 kg/m. As dimensões do galpão estão expostas nas Figuras 4 e 5.

Figura 4: Cotas da vista frontal do galpão



Fonte: (o autor)

Figura 5: Cotas da vista superior do galpão



Fonte: (o autor)

Dados geométricos da edificação, legendados na Figura 6:

$b = 12,00$ m; $a = 18,00$ m; $h = 3,00$ m; $h_1 = 1,06$ m; $\beta = 10,00^\circ$ e $d = 6,00$ m.

Sendo:

b – Dimensão frontal do galpão

a – Dimensão longitudinal do galpão

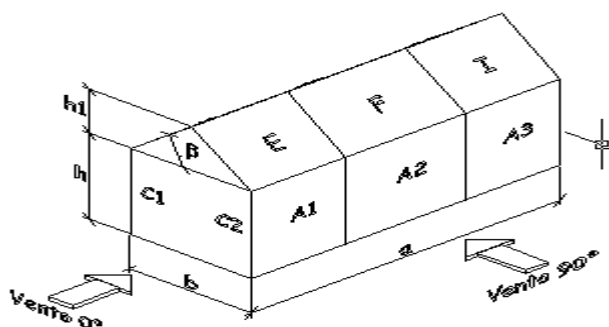
h – Altura

h_1 – Altura do montante

β – Inclinação

d – Distância entre pórticos

Figura 6: Legenda do galpão



Fonte: (o autor)

As cargas incidentes na estrutura são as seguintes:

3.1 PESO PRÓPRIO

O peso próprio é a carga permanente da estrutura, sendo definida pela soma do peso de cada perfil mais o peso das telhas, sendo:

$$g = g_{\text{coluna}} + g_{\text{terça}} + g_{\text{vigas inclinadas}} + g_{\text{vigas horizontais}} + g_{\text{montante}} + g_{\text{telhas}} \quad (15)$$

Sendo:

g – Peso próprio, dado nas tabelas de perfil e telha

Este peso é determinado diretamente pelo SAP 2000.

3.2 VENTO 0° E 90°

O esforço proveniente da ação do vento pode ser determinado a partir da ABNT NBR 6123:1988 – Forças devidas ao vento em edificações, da seguinte maneira, considerando os dados geométricos, previamente apresentados:

$$b_1 = 2h = 2 \times 3,00 = 6,00 \text{ m; ou} \quad (16)$$

$$b_1 = b/2 = b_1 = 12,00/2 = b_1 = 6,00 \text{ m} \quad (17)$$

Adota-se o menor valor, portanto, $b_1 = 6,00 \text{ m}$

Em seguida,

$$a_1 = b/3 = 12,00/3 = 4,00 \text{ m; ou} \quad (18)$$

$$a_1 = a/4 = 18,00/4 = 4,50 \text{ m} \quad (19)$$

Adota-se o maior valor, porém $a_1 \leq 2h = 6,00$, portanto $a_1 = 4,50 \text{ m}$

$$a_2 = (a/2) - a_1 = (18,00/2) - 4,50 = 4,50 \text{ m} \quad (20)$$

A velocidade característica do vento calcula-se da seguinte maneira:

$$V_k = V_o \times S_1 \times S_2 \times S_3 \quad (21)$$

Sendo:

V_o – velocidade básica do vento, em m/s

S_1 – Fator topográfico

S_2 – Fator de rugosidade

S3 – Fator estatístico

Todos os parâmetros são provenientes de gráficos e tabelas contidos no anexo C deste trabalho, dessa forma,

$$V_o = 30,00 \text{ m/s}$$

Considerando o terreno plano ou fracamente acidentado, o fator topográfico será $S_1 = 1,00$. Enquanto o fator de rugosidade (S_2) é definido a seguir, como o galpão pertence à categoria IV e classe A, apresenta-se os parâmetros retirados da Tabela 2 da NBR6123/88 que relaciona Categoria e Classe:

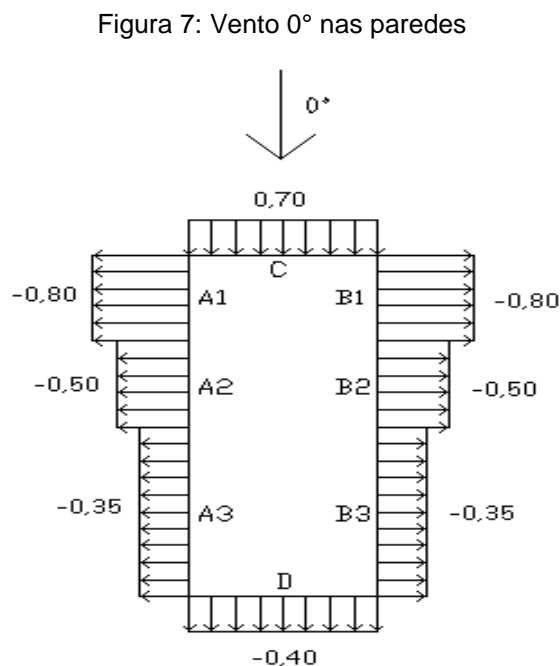
$b = 0,86$; $Fr = 1,00$; e $p = 0,12$; logo:

$$S_2 = b Fr (z/10)^p \quad (22)$$

$$S_2 = 0,86 \times 1,00 (4,06/10)^{0,12} = 0,77 \quad (23)$$

Em seguida, calcula-se o fator estatístico (S_3), sabendo que a estrutura se encontra no grupo 3, este possui o valor de $S_3 = 0,95$. Apresenta-se os coeficientes de pressão externa para as paredes, nas Figuras 7 e 8.

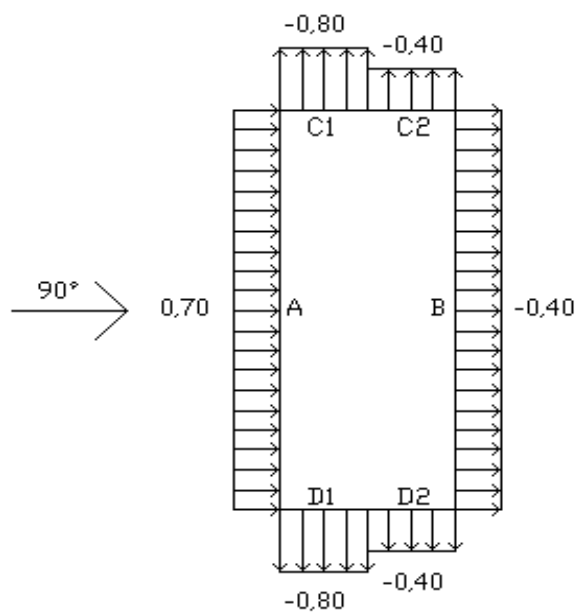
Vento 0°



Fonte: (o autor)

Vento 90°

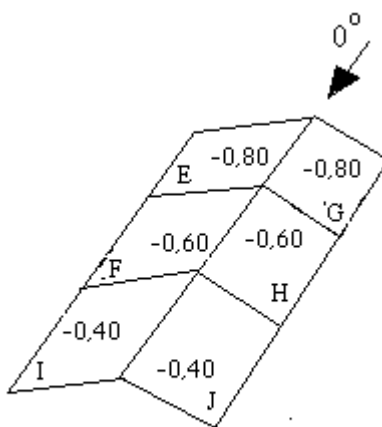
Figura 8: Vento 90° nas paredes



Fonte: (o autor)

Para o telhado, os valores estão expostos nas Figuras 9 e 10:
Vento 0°

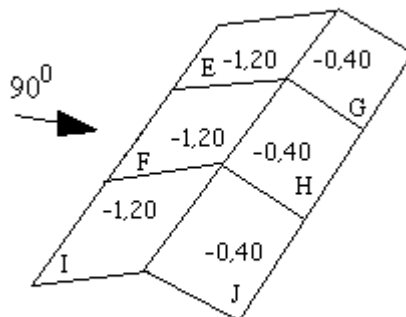
Figura 9: Vento 0° no telhado



Fonte: (o autor)

Vento 90°

Figura 10: Vento 90° no telhado



Fonte: (o autor)

Logo, C_{pe} médio = -0,90

Para o coeficiente de pressão interno, tem-se

$C_{pi1} = -0,30$; e $C_{pi2} = 0,00$

O cálculo da velocidade característica de vento está discriminado a seguir:

$$V_k = 30,00 \times 1,00 \times 0,77 \times 0,95 = 22,00 \text{ m/s} \quad (24)$$

Dessa forma, a pressão dinâmica é:

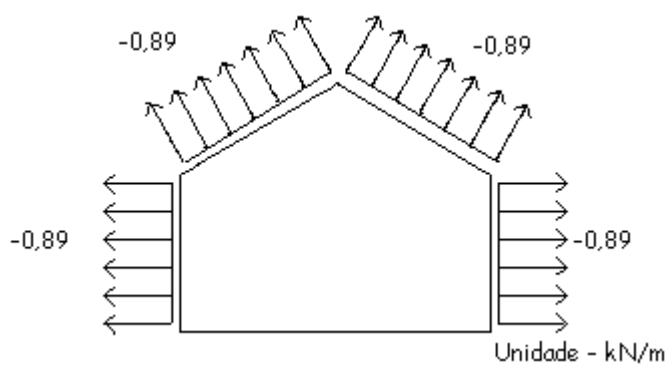
$$q = 0,613 V_k^2 \quad (25)$$

$$q = 0,613 \times 22,00^2 = 0,30 \text{ kN/m}^2$$

Nas Figuras 11, 12, 13 e 14, apresentam-se os esforços resultantes

Vento 0° - $C_{pi} = -0,30$

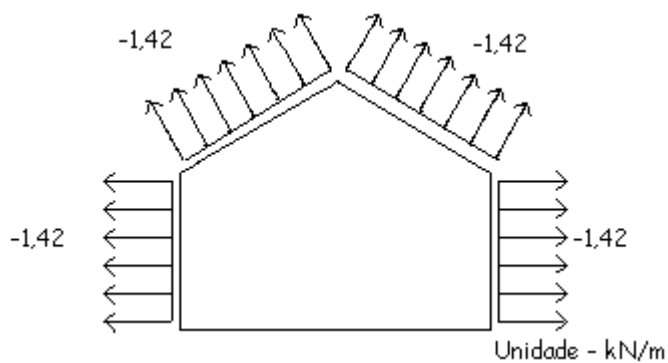
Figura 11: Vento 0° - $c_{pi} = -0,30$



Fonte: (o autor)

Vento 0° - $C_{pi} = 0,00$

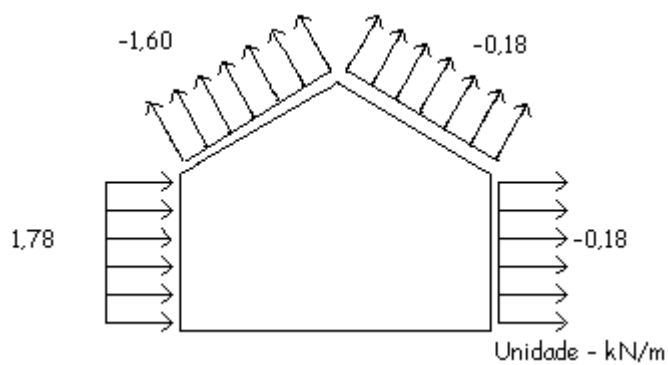
Figura 12: Vento 0° - $c_{pi} = 0$



Fonte: (o autor)

Vento 90° - $C_{pi} = -0,30$

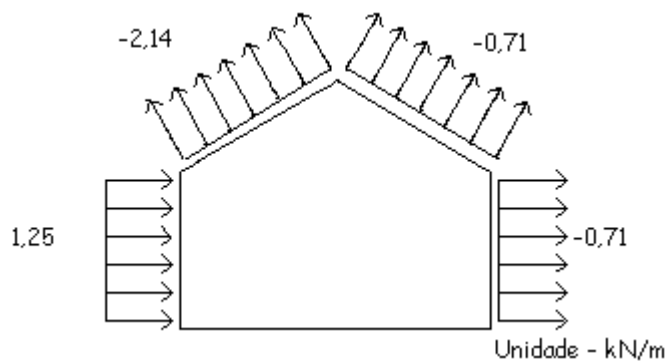
Figura 13: Vento 90° - $c_{pi} = -0,30$



Fonte: (o autor)

Vento 90° - $C_{pi} = 0,00$

Figura 14: Vento 90° - $c_{pi} = 0$



Fonte: (o autor)

O pior caso para o vento 0° e 90° é com $c_{pi} = 0$, logo, ao dividir os valores dos esforços no telhado pela distância entre os pórticos, encontra-se o valor do esforço para cada área de influência, este será o valor inserido no SAP 2000. Ao dividir, obtém-se, para o vento 90°, 0,357 KN/m² para o lado esquerdo do telhado e 0,118 KN/m² para o lado direito, enquanto, para o vento 0°, tem-se 0,237 KN/m² para ambos os lados.

3.3 SOBRECARGA NA COBERTURA

A sobrecarga aplicada na cobertura é definida, também, pela ABNT NBR 6123:1988 – Forças devidas ao vento em edificações, e equivale a 0,25 KN/m², trata-se de uma carga extra que deve ser considerada a fim de favorecer a segurança da edificação.

3.4 COMBINAÇÕES

Consideram-se 6 combinações de ações, sendo g o peso próprio, como segue:

Com a sobrecarga na cobertura (q) como carga variável principal,

$$\text{Combinação 1} = 1,25g + 1,5q + 0,84W_0 \quad (26)$$

$$\text{Combinação 2} = 1,25g + 1,5q + 0,84W_{90} \quad (27)$$

Sendo o vento 0° (W_0), a carga variável principal

$$\text{Combinação 3} = 1g + 1,4W_0 \quad (28)$$

$$\text{Combinação 4} = 1,25g + 1,4W_0 + 1,2q \quad (29)$$

Considerando o vento 90° (W_{90}) como carga variável principal

$$\text{Combinação 5} = 1g + 1,4W_{90} \quad (30)$$

$$\text{Combinação 6} = 1,25g + 1,4W_{90} + 1,2q \quad (31)$$

Nota-se que a pior combinação é a 6.

3.5 VERIFICAÇÕES

A partir dos esforços críticos gerados no SAP 2000, construiu-se a Tabela 4 para expô-los e posterior verificação.

Tabela 4: Esforços críticos

Esforços	Esforço Axial (KN)	Momento Fletor (KN.m)	Cisalhamento (KN)	Torção (KN/m)	Deflexão (m)
Elementos					
Colunas	- 36,86	0,246	0,16	0	0
Vigas Horizontais	5,099	0,012	0,004	0	$8,42 \times 10^{-6}$
Vigas Inclinadas	- 1,18	0,037	0,049	0	$4,64 \times 10^{-6}$
Terças	0,963 - 0,601	1,81	1,35	0,07	0,00012
Montantes	-32,65	0,0037	0,007	0	0

Fonte: (o autor)

3.5.1 Tração

As peças expostas ao esforço de tração são as vigas horizontais e algumas terças, dessa forma, segundo o item 2.6 deste trabalho, equação 1, a seguinte condição a ser atendida requer que a força axial de tração solicitante de cálculo seja menor ou igual à força axial de tração resistente de cálculo, a seguir será calculada a força resistente de cálculo a fim de comparar com a força solicitante discriminada na Tabela 4 e determinar se atende à condição imposta pela ABNT NBR 8800:2008, para cada elemento tracionado.

Escoamento da seção bruta

$$N_{t,Rd} = (A_g f_y) / \gamma_{a1} \quad (32)$$

Sendo:

A_g – Área bruta da seção transversal

f_y – Resistência ao escoamento do aço, vide Tabela A.2 do Anexo A da ABNT NBR 8800:2008

γ_{a1} – coeficiente de ponderação da resistência, igual a 1,10, segundo ABNT NBR 8800:2008

Ruptura da seção líquida

$$N_{t,Rd} = (A_{ef} f_u) / \gamma_{a2} \quad (33)$$

Sendo:

A_e – Área líquida efetiva da seção transversal da barra

f_u – Resistência à ruptura do aço, vide Tabela A.2 do Anexo A da ABNT NBR 8800:2008

γ_{a2} – coeficiente de ponderação da resistência, igual a 1,35, segundo ABNT NBR 8800:2008

Para as vigas horizontais:

$$N_{t,Rd} = (39,30 \times 10^{-4} \times 250 \times 10^6) / 1,1 = 893181,82 \text{ N} = 893,18 \text{ KN} > 5,099 \text{ KN OK} \quad (34)$$

$$N_{t,Rd} = (39,30 \times 10^{-4} \times 400 \times 10^6) / 1,35 = 1164444,44 \text{ N} = 1164,44 \text{ KN} > 5,099 \text{ KN OK} \quad (35)$$

Para as terças:

$$N_{t,Rd} = (39,30 \times 10^{-4} \times 250 \times 10^6) / 1,1 = 893181,82 \text{ N} = 893,18 \text{ KN} > 0,308 \text{ KN OK} \quad (36)$$

$$N_{t,Rd} = (39,30 \times 10^{-4} \times 400 \times 10^6) / 1,35 = 1164444,44 \text{ N} = 1164,44 \text{ KN} > 0,308 \text{ KN OK} \quad (37)$$

A próxima verificação é quanto ao limite do índice de esbeltez, deve-se obedecer a seguinte condição:

$$L/r < 300 \quad (38)$$

Sendo:

L – Comprimento destravado

r – raio de giração da peça

Para as vigas horizontais:

$$\text{Direção x: } 600/11,70 = 51,28 < 300 \text{ OK} \quad (39)$$

$$\text{Direção y: } 600/2,03 = 295,57 < 300 \text{ OK} \quad (40)$$

Para as terças:

$$\text{Direção x: } 600/11,70 = 51,28 < 300 \text{ OK} \quad (41)$$

$$\text{Direção y: } 600/2,03 = 295,57 < 300 \text{ OK} \quad (42)$$

Desta forma, verifica-se a estabilidade das peças quanto à tração.

3.5.2 Compressão

As peças comprimidas são as colunas, as vigas inclinadas, os montantes e algumas terças, para fazer a verificação, deve-se obedecer às seguintes condições:

$$N_{c,Sd} \leq N_{c,Rd} \quad (43)$$

$$N_{c,Rd} = (\chi Q A_g f_y) / \gamma_{a1} \quad (44)$$

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{Q A_g f_y}{N_e}} \quad (45)$$

$$\text{Para } \lambda_0 \leq 1,5: \chi = 0,658^{0,658 \lambda_0^2} \quad (46)$$

$$\text{Para } \lambda_0 > 1,5: \chi = 0,877/\lambda_0^2 \quad (47)$$

$$N_e = (\pi^2 EI)/(kL)^2 \quad (48)$$

Sendo,

$N_{c,Sd}$ – força axial de compressão solicitante de cálculo

$N_{c,Rd}$ – força axial de compressão resistente de cálculo

χ - Fator de resistência à compressão

Q – Fator de redução total associado à flambagem local

N_e – força axial de flambagem elástica, obtida conforme o Anexo E, da ABNT NBR 8800:2008

E – Módulo de elasticidade do aço, igual a 20000 KN/cm²

K – Coeficiente de flambagem, dado na Tabela E.1 do Anexo E da ABNT NBR 8800:2008

Verificação das colunas:

Como trata-se de um perfil H, a barra enquadra-se no Grupo 2 da Tabela F.1 do Anexo F da ABNT NBR 8800:2008, logo, a esbeltez da alma é:

$$b/t = 19,85 < (b/t)_{lim} = 1,49 \sqrt{\frac{20000}{25}} = 42,14 \quad (49)$$

Sendo b, o comprimento da alma e t, a espessura desta. Enquanto a esbeltez das mesas que está no Grupo 4 da mesma tabela, dá-se a seguir:

$$b/t = 9,16 < (b/t)_{lim} = 0,56 \sqrt{\frac{20000}{25}} = 15,84 \quad (50)$$

Como a relação b/t é menor que o limite dado pela norma, Q = 1. Em seguida calcula-se a força axial de flambagem elástica no eixo x e y, sendo:

$$K_x L_x = K_y L_y = 0,7 \times 300 = 210 \text{ cm} \quad (51)$$

$$N_{ex} = (\pi^2 \times 20000 \times 4977) / 210^2 = 22277,11 \text{ KN} \quad (52)$$

$$N_{ey} = (\pi^2 \times 20000 \times 1673) / 210^2 = 7488,37 \text{ KN} \quad (53)$$

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{1 \times 68,1 \times 25}{7488,37}} = 0,48 < 1,5, \text{ logo, } \chi = 0,91 \quad (54)$$

$$N_{c,Rd} = (0,91 \times 1 \times 68,1 \times 25) / 1,1 = 1408,43 \text{ KN} > 36,86 \text{ KN OK} \quad (55)$$

Verificação das vigas inclinadas:

Os valores de $(b/t)_{lim}$ são iguais aos calculados anteriormente por se tratar de perfil H. Esbeltez da alma,

$$b/t = 20,48 < (b/t)_{lim} = 42,14 \quad (56)$$

Esbeltez das mesas,

$$b/t = 11,52 < (b/t)_{lim} = 15,84 \quad (57)$$

Logo, $Q = 1$

$$K_x L_x = K_y L_y = 1 \times 609 = 609 \text{ cm} \quad (58)$$

$$N_{ex} = (\pi^2 \times 20000 \times 1229) / 609^2 = 654,10 \text{ KN} \quad (59)$$

$$N_{ey} = (\pi^2 \times 20000 \times 387) / 609^2 = 205,97 \text{ KN} \quad (60)$$

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{1 \times 29 \times 25}{205,97}} = 1,88 > 1,5, \text{ logo, } \chi = 0,25 \quad (61)$$

$$N_{c,Rd} = (0,25 \times 1 \times 29 \times 25) / 1,1 = 164,77 \text{ KN} > 1,81 \text{ OK} \quad (62)$$

Verificação dos montantes:

O cálculo do $(b/t)_{lim}$ para alma e mesas, é igual ao que foi feito para as colunas, pois o perfil C encaixa-se no mesmo grupo de perfis H.

Esbeltez da alma,

$$b/t = 14,43 < (b/t)_{lim} = 42,14 \quad (63)$$

Esbeltez das mesas,

$$b/t = 5,17 < (b/t)_{lim} = 15,84 \quad (64)$$

Logo, $Q = 1$

$$K_x L_x = K_y L_y = 1 \times 105,75 = 105,75 \text{ cm} \quad (65)$$

$$N_{ex} = (\pi^2 \times 20000 \times 68,90) / 105,75^2 = 1216,15 \text{ KN} \quad (66)$$

$$N_{ey} = (\pi^2 \times 20000 \times 8,20) / 105,75^2 = 144,74 \text{ KN} \quad (67)$$

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{1 \times 7,78 \times 25}{144,74}} = 1,16 < 1,5, \text{ logo, } \chi = 0,69 \quad (68)$$

$$N_{c,Rd} = (0,69 \times 1 \times 7,78 \times 25) / 1,1 = 122,00 \text{ KN} > 32,65 \text{ OK} \quad (69)$$

Verificação das terças:

O cálculo do $(b/t)_{lim}$ para alma e mesas, é igual ao que foi feito anteriormente.

Esbeltez da alma,

$$b/t = 38,83 < (b/t)_{lim} = 42,14 \quad (70)$$

Esbeltez das mesas,

$$b/t = 5,83 < (b/t)_{lim} = 15,84 \quad (71)$$

Logo, $Q = 1$

$$K_x L_x = K_y L_y = 0,7 (600 - 152) = 313,6 \text{ cm} \quad (72)$$

$$N_{ex} = (\pi^2 \times 20000 \times 5370) / 313,6^2 = 10778,34 \text{ KN} \quad (73)$$

$$N_{ey} = (\pi^2 \times 20000 \times 161) / 313,6^2 = 323,15 \text{ KN} \quad (74)$$

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{1 \times 39,30 \times 25}{323,15}} = 1,74 > 1,5, \text{ logo, } \chi = 0,29 \quad (75)$$

$$N_{c,Rd} = (0,29 \times 1 \times 39,30 \times 25) / 1,1 = 259,02 \text{ KN} > 0,601 \text{ OK} \quad (76)$$

A próxima verificação é quanto ao limite de esbeltez:

Para as colunas

$$L/r_x = 300/8,55 = 35,09 < 200 \text{ OK} \quad (77)$$

$$L/r_y = 300/4,96 = 60,48 < 200 \text{ OK} \quad (78)$$

Para as vigas inclinadas

$$L/r_x = 609/6,51 = 93,55 < 200 \text{ OK} \quad (79)$$

$$L/r_y = 609/3,65 = 166,85 < 200 \text{ OK} \quad (80)$$

Para os montantes:

$$L/r_x = 106/2,98 = 35,57 < 200 \text{ OK} \quad (81)$$

$$L/r_y = 106/1,03 = 102,91 < 200 \text{ OK} \quad (82)$$

Para as terças:

$$L/r_x = 313,6/11,70 = 26,80 < 200 \text{ OK} \quad (83)$$

$$L/r_y = 313,6/2,03 = 154,48 < 200 \text{ OK} \quad (84)$$

Após os cálculos, constatou-se que os elementos comprimidos atendem às necessidades para as quais foram projetados.

4. MODELAGEM DE UM GALPÃO METÁLICO NO SAP 2000 V.16

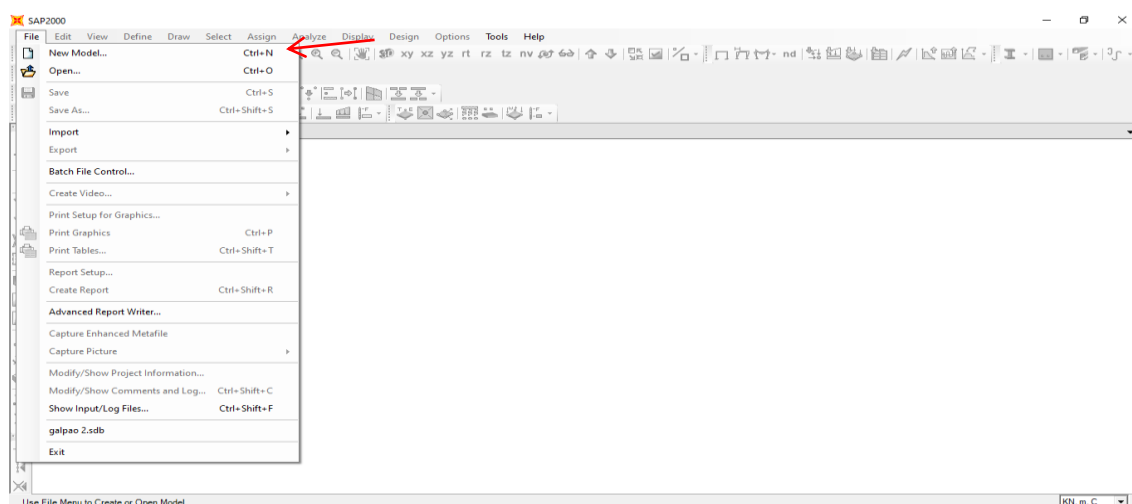
Neste capítulo apresentar-se-á o tutorial detalhado para a modelagem de um galpão com estruturas em perfis metálicos, no SAP 2000 v.16, trata-se de um software para dimensionamento e análise computacional de estruturas, utilizando o método de subdivisões da estrutura em partes para realização dos cálculos, extremamente utilizado por engenheiros civis e profissionais da área, pois é um programa completo, que calcula desde pequenas estruturas, até estruturas de grande porte, mais complexas, utilizando elementos de barra.

A fim de apresentar resultados confiáveis quando alimentado com informações da maneira correta, o SAP 2000 usa normas internacionais de cálculo estrutural, para realizar seus cálculos. Como não é possível selecionar a norma brasileira de estruturas metálicas pois esta não consta no programa, pode-se escolher a norma AISC360 05/IBC2006 que é semelhante à nossa para que a estrutura seja analisada e/ou dimensionada.

4.1 SELEÇÃO DO TEMPLATE

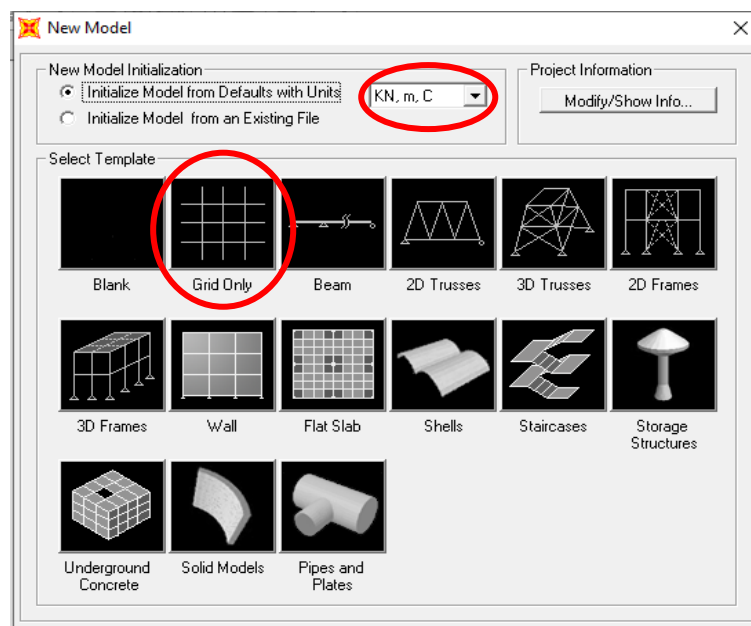
Ao iniciar o programa, clica-se em **File -> New Model** como mostrado na Figura 15, em seguida deve-se selecionar as unidades em que o SAP 2000 irá trabalhar e no campo **Select Template** seleciona-se **Grid Only**, como exposto na Figura 16.

Figura 15: Seleção do novo modelo



Fonte: (o autor)

Figura 16: Seleção das unidades e template

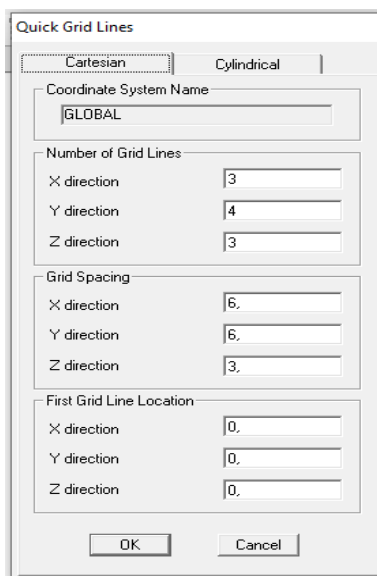


Fonte: (o autor)

Em seguida, uma caixa de diálogo **Quick Grid Lines** aparecerá, conforme a Figura 17, nela serão inseridos o número de linhas de base em cada eixo, assim como a distância entre elas, as medidas serão conforme a seleção de unidades feita anteriormente.

Os valores a serem inseridos no campo **Number of Grid Lines** em **X Direction**, **Y Direction** e **Z Direction** são 3, 4 e 3, respectivamente, da mesma forma, no campo **Grid Spacing**, deve-se inserir os seguintes valores nas lacunas: **X Direction (6)**; **Y Direction (6)** e **Z Direction (3)**. O terceiro campo refere-se às coordenadas de localização da primeira linha de base, mantém-se o valor **0** em todas as lacunas para que o desenho se inicie na origem do plano cartesiano. Em seguida, clica-se em **OK** e a caixa de diálogo será fechada.

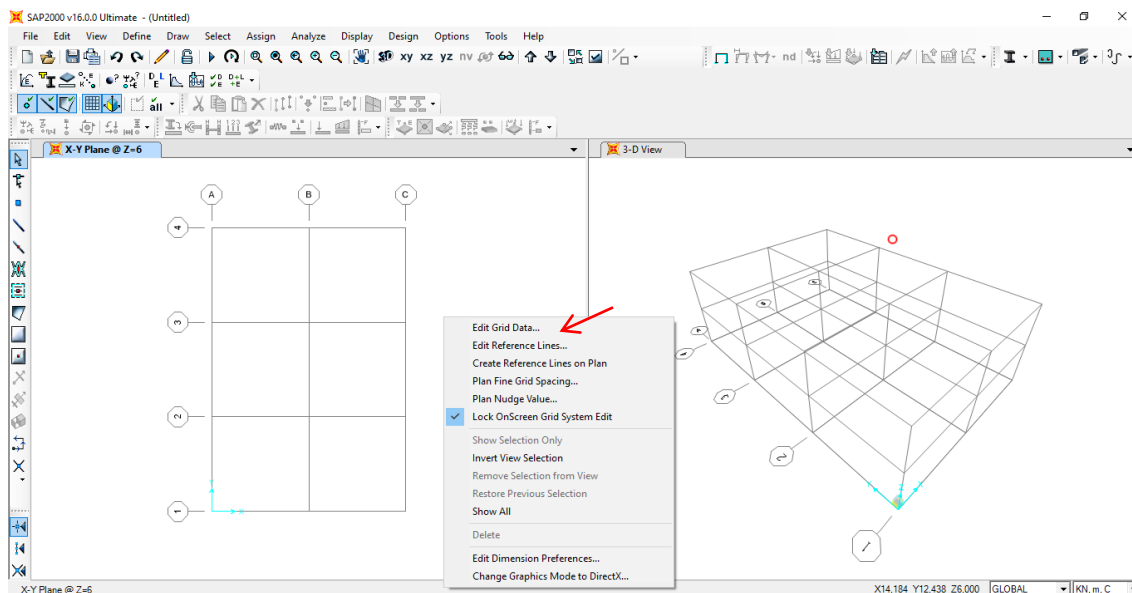
Figura 17: Inserção do número de linhas de base e distância entre elas



Fonte: (o autor)

A fim de alterar a medida de uma única linha de base para fazer o desenho da cobertura corretamente, deve-se clicar, tela atual, com o botão direito do mouse e selecionar **Edit Grid Data** na caixa de diálogo aberta, conforme Figura 18.

Figura 18: Edição das linhas de base

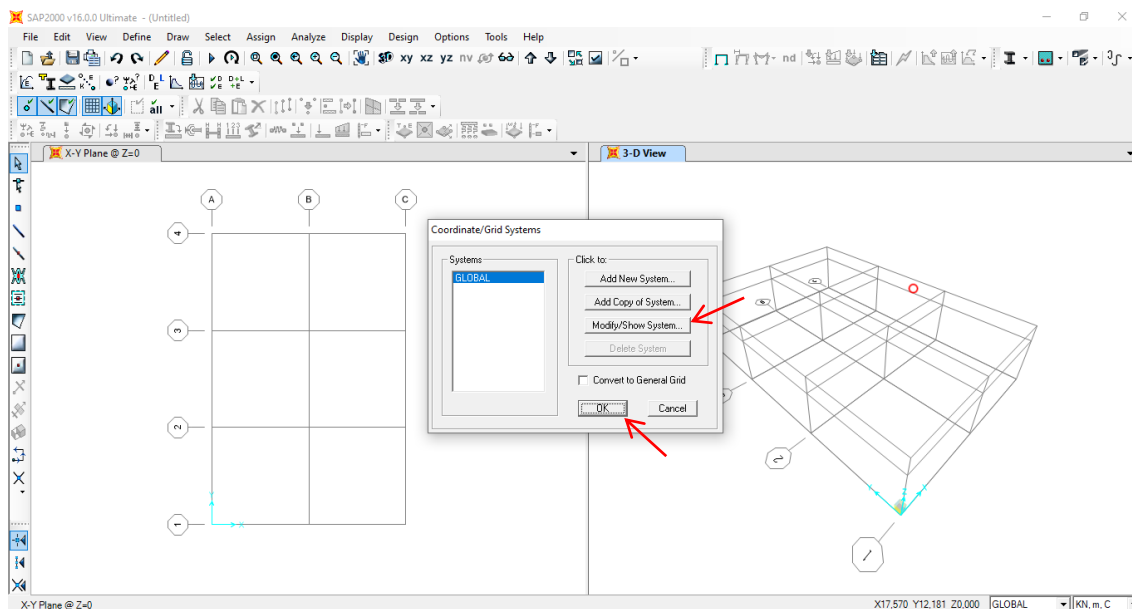


Fonte: (o autor)

Em seguida, aparecerá a janela **Coordinate/Grid Systems**, na qual deve-se clicar na aba **Modify/Show System**, como mostrado na Figura 19, que abrirá outra janela, na qual serão verificados os valores de **X Grid Data**, **Y Grid Data** e **Z Grid Data**,

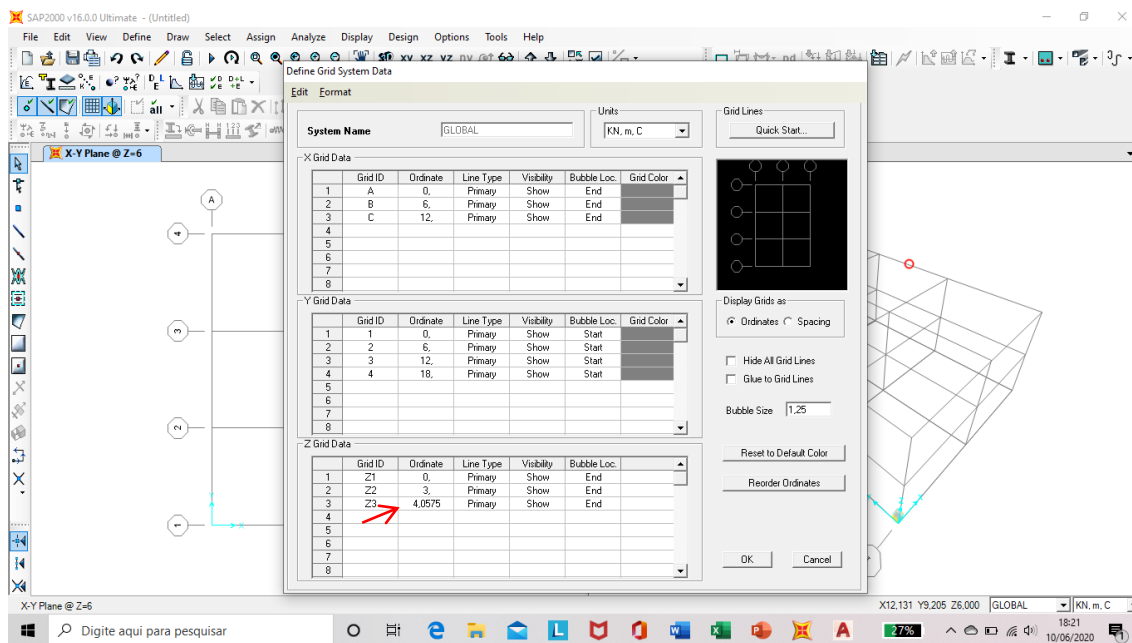
nesse último campo, deve-se alterar o valor de **Z3** para **4,0575**, conforme Figura 20. Ao clicar em **OK** nas duas janelas abertas, aparecerá o desenho inicial, como mostrado na Figura 21.

Figura 19: Modificar linhas de base



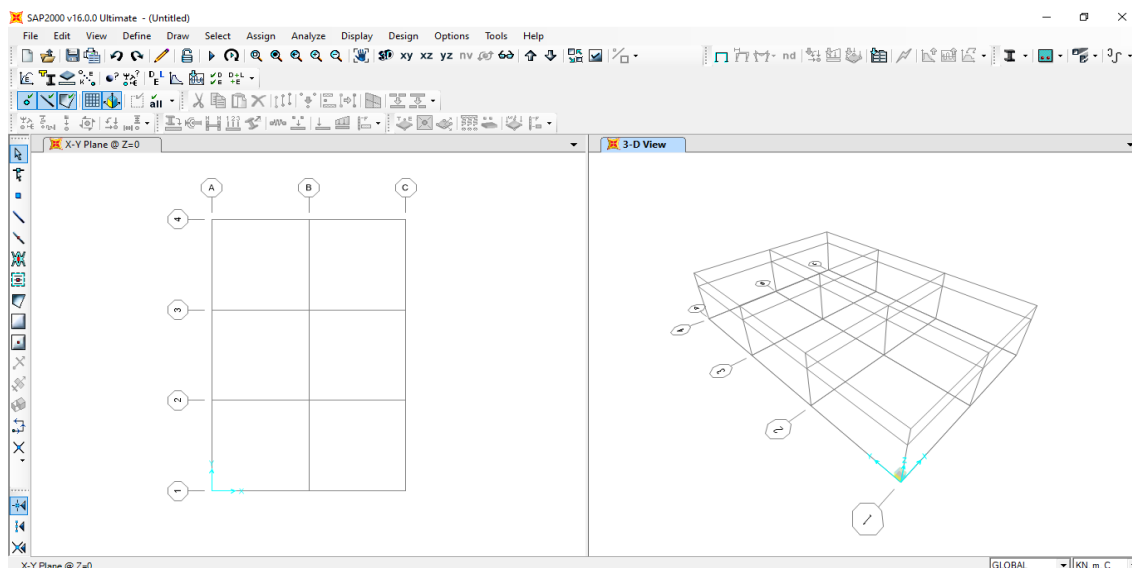
Fonte: (o autor)

Figura 20: Inserção do valor de Z3



Fonte: (o autor)

Figura 21: Linhas de base definidas

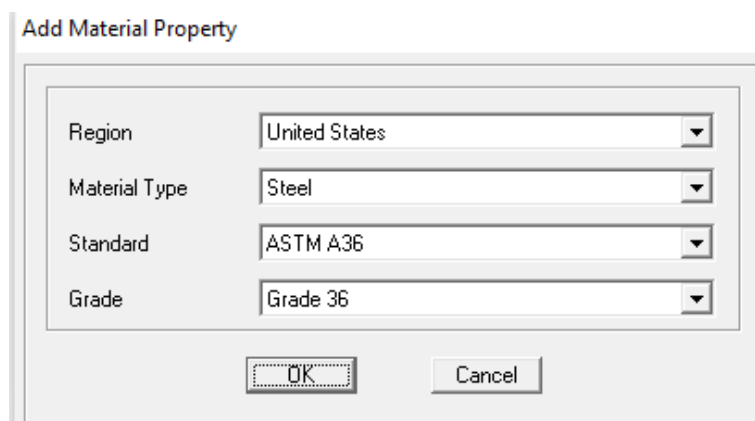


Fonte: (o autor)

4.2 DEFINIÇÃO DOS MATERIAIS E PERFIS

A definição dos materiais é feita da seguinte maneira, clica-se em **Define**, na paleta superior, em seguida na opção **Materials->Add New Material**. Abrir-se-á a janela **Add Material Property**, mostrada na Figura 22, na qual deve-se alterar os campos **Region->United States**, **Material Type->Steel**, **Standard->ASTM36** e **Grade->Grade 36**. Clicar em **OK** para finalizar o comando.

Figura 22: Criação do material aço usado na estrutura



Fonte: (o autor)

Na janela **Define Materials** clica-se em **Modify/Show Material**. Em **General Data**, alterar o item **Material Name and Display Color** para **Aço**, conforme Figura 23. Clicar em **OK** para voltar à caixa de diálogo.

Figura 23: Propriedades do aço

Material Property Data

General Data

Material Name and Display Color: Aço ■

Material Type: Steel

Material Notes: Modify/Show Notes...

Weight and Mass

Weight per Unit Volume: 76.9729

Mass per Unit Volume: 7.849

Units: KN, m, C

Isotropic Property Data

Modulus of Elasticity, E: 1.999E+08

Poisson's Ratio, U: 0.3

Coefficient of Thermal Expansion, A: 1.170E-05

Shear Modulus, G: 76903069

Other Properties for Steel Materials

Minimum Yield Stress, Fy: 248211.28

Minimum Tensile Stress, Fu: 399896

Effective Yield Stress, Fye: 372316.9

Effective Tensile Stress, Fue: 439885.6

Switch To Advanced Property Display

OK Cancel

Fonte: (o autor)

Seguindo o mesmo passo a passo anterior, para adicionar o material do fechamento superior, clica-se em **Add New Material**, alterar os campos **Region->United States**, **Material Type->Aluminio**, **Standard->ASTM** e **Grade->Grade Alloy 6061 T6**, de acordo com a Figura 24. Clicar em **OK**. Selecionar **Modify/Show Material** e alterar o campo **Material Name Display Color** para **Alumínio**, segundo Figura 25. Clicar em **OK** nas duas janelas.

Figura 24: Criação do material alumínio usado no fechamento superior

Add Material Property

Region: United States

Material Type: Aluminum

Standard: ASTM


Grade: Alloy 6061 T6

OK Cancel

Fonte: (o autor)

Figura 25: Propriedades do alumínio

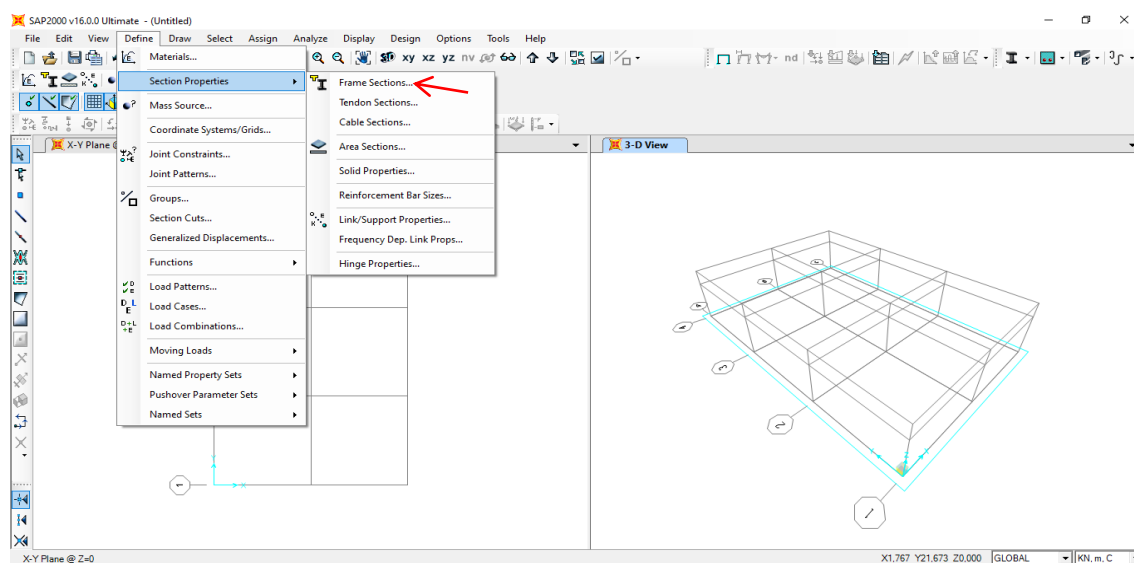
Material Property Data

General Data	
Material Name and Display Color	Aluminio 
Material Type	Aluminum
Material Notes	Modify/Show Notes...
Weight and Mass	
Weight per Unit Volume	26,6018
Mass per Unit Volume	2,7145
Units	
	KN, m, C
Isotropic Property Data	
Modulus of Elasticity, E	69637055
Poisson's Ratio, U	0,33
Coefficient of Thermal Expansion, A	2,358E-05
Shear Modulus, G	26179344
Other Properties for Aluminum Materials	
Aluminum Type	Wrought
Aluminum Alloy Designation	6061-T6
Compressive Yield Strength, F _{cy}	241316,53
Tensile Yield Strength, F _{ty}	241316,53
Tensile Ultimate Strength, F _{tu}	262000,8
Shear Ultimate Strength, F _{su}	165474,19
<input type="checkbox"/> Switch To Advanced Property Display	
<input type="button" value="OK"/> <input type="button" value="Cancel"/>	

Fonte: (o autor)

Em seguida, para fazer a seleção dos perfis para cada barra, clica-se em **Define->SectionProperties->Frame Sections** conforme mostrado na Figura 26, para abrir uma caixa de diálogo **Frame Properties**, nessa deve-se selecionar **Import New Property** para importar seções de barras a partir de uma biblioteca de perfis dos tipos I e C.

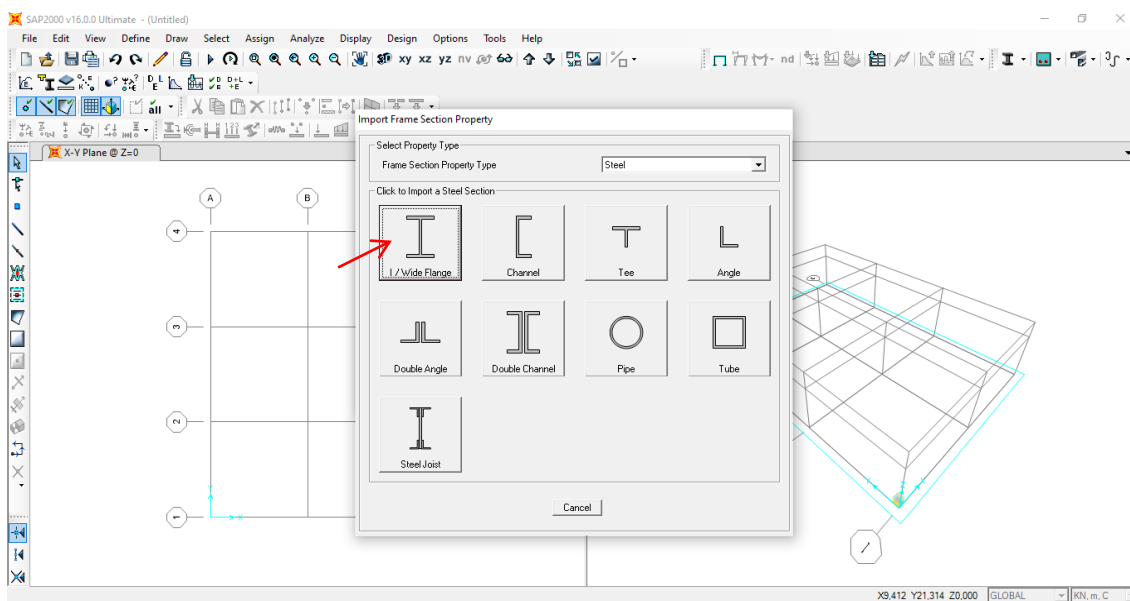
Figura 26: Definição das seções das barras



Fonte: (o autor)

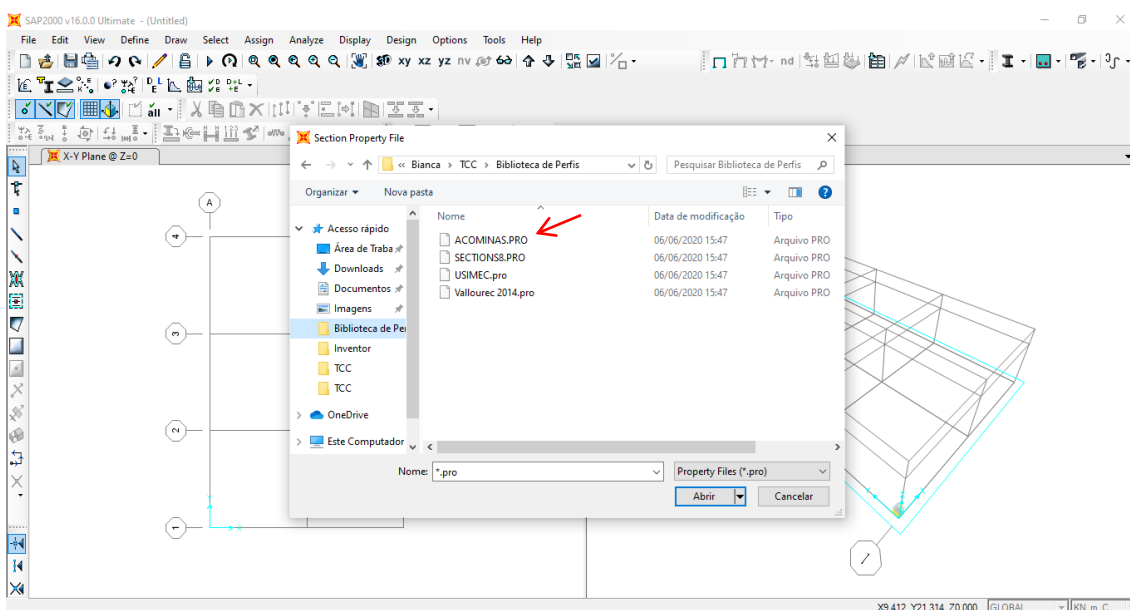
No campo **Click To Import a Steel Section** deve-se selecionar **I/Wide Flange**, como na Figura 27, em seguida será aberta uma caixa de diálogo **Section Property File**, nessa selecionar-se-á o documento **ACOMINAS.PRO** e **Abrir**, em seguida, conforme Figura 28.

Figura 27: Importação do perfil I



Fonte: (o autor)

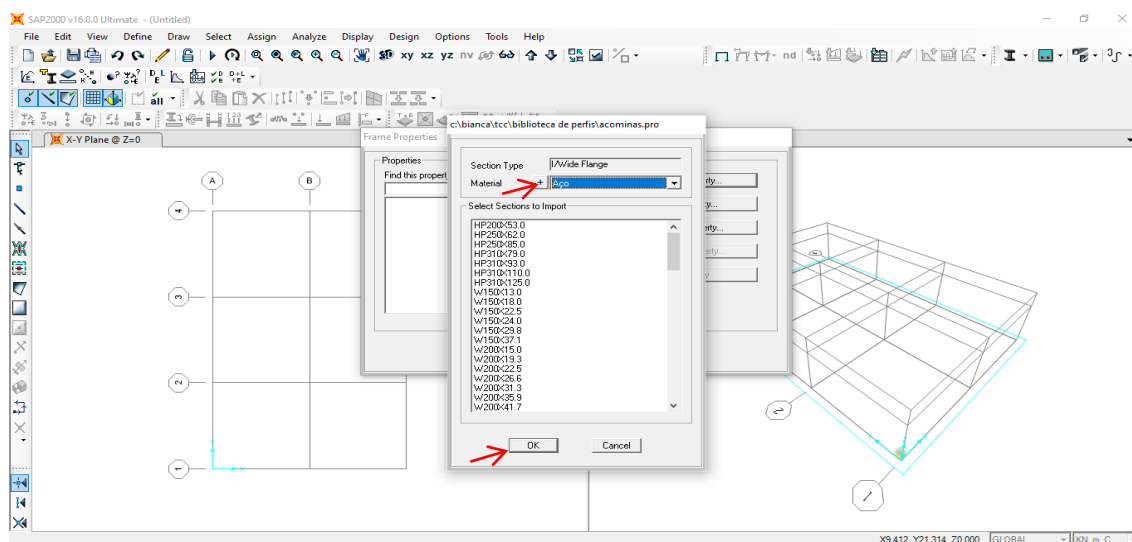
Figura 28: Seleção da biblioteca de perfis I



Fonte: (o autor)

Uma nova caixa de diálogo será aberta, na qual deve-se selecionar o material **Aço** e, no campo **Select Section To Import** seleciona-se todas as seções e clica-se em **OK** duas vezes, ilustrado na Figura 29.

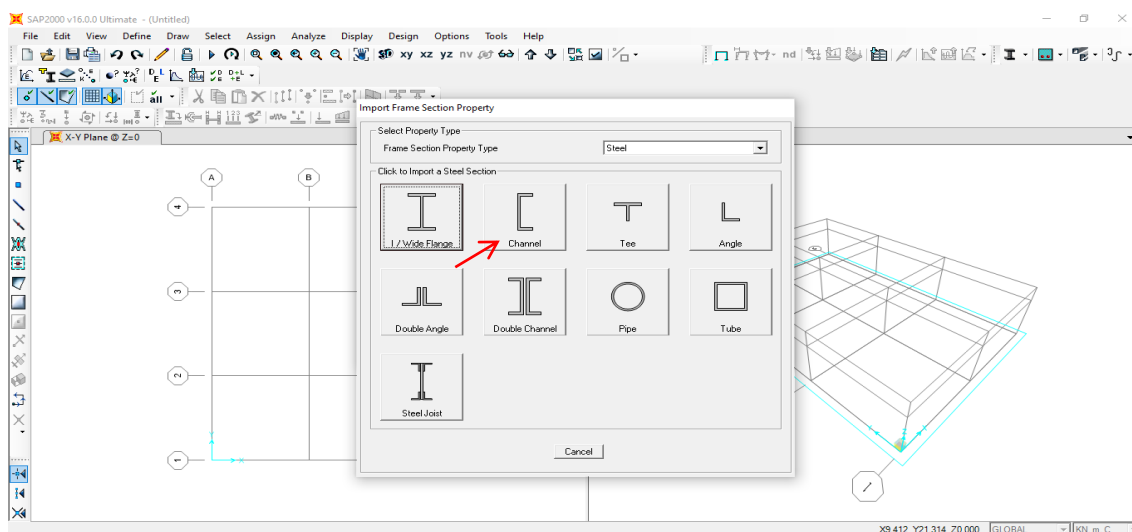
Figura 29: Seleção dos perfis a serem importados



Fonte: (o autor)

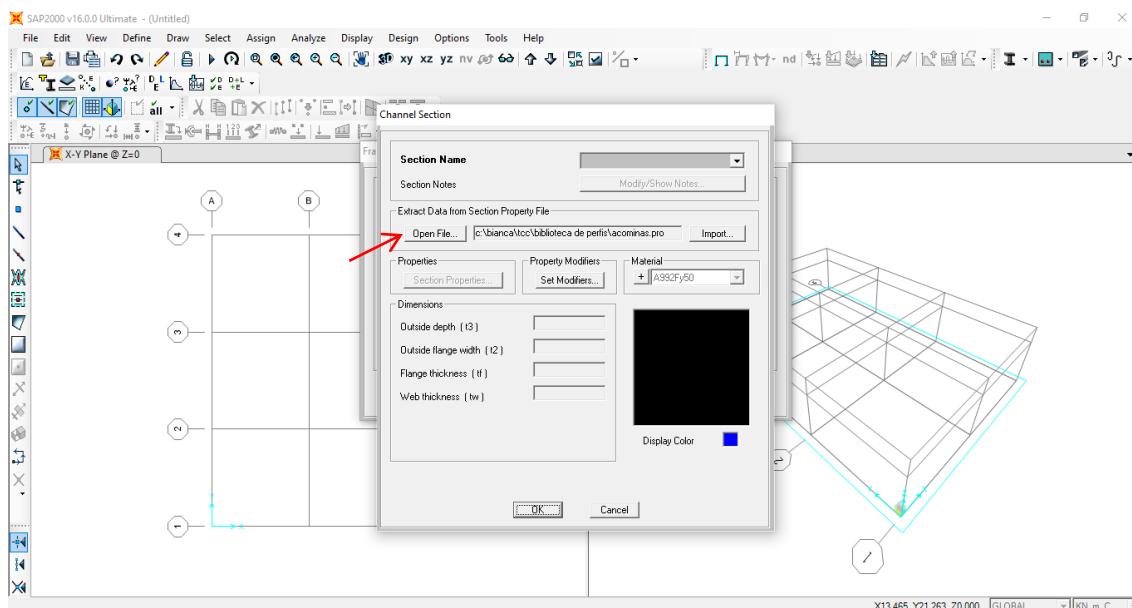
Seguindo o tutorial feito anteriormente para importar os perfis I, deve selecionar **Channel** na caixa de diálogo **Import Frame Section Property**, conforme Figura 30, após clicar em **OK** na caixa de diálogo que indica um erro, então será aberta uma nova janela **ChannelSection**, como ilustrado na Figura 31, nessa clica-se em **Open File**, em seguida, seleciona-se **SECTIONS8.PRO** e **Abrir**, mostrado na Figura 32.

Figura 30: Importação do perfil C



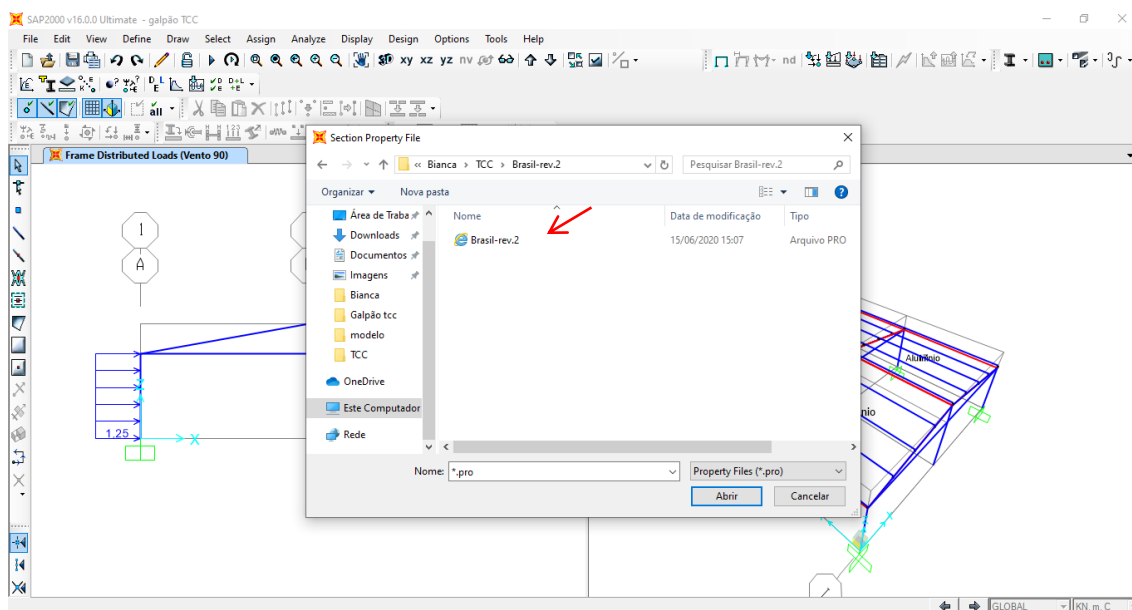
Fonte: (o autor)

Figura 31: Seção C



Fonte: (o autor)

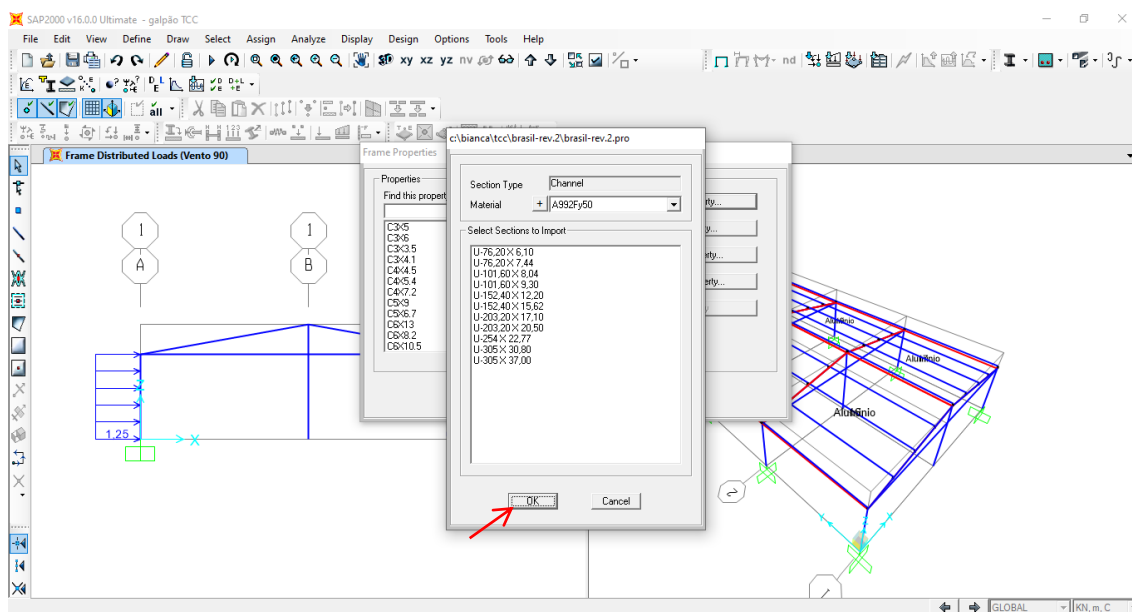
Figura 32: Seleção da biblioteca de perfis C



Fonte: (o autor)

Segundo o que foi feito anteriormente, deve-se selecionar Aço em Material e, no campo **Select Section To Import** seleciona-se todos os perfis, em seguida, **OK**, conforme Figura 33.

Figura 33: Seleção dos perfis a serem importados



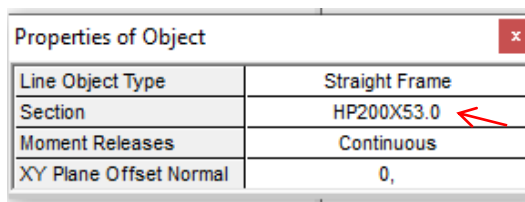
Fonte: (o autor)

A seguir, na caixa de diálogo **Frame Properties**, será possível visualizar opções de perfis do tipo I e C disponíveis, clica-se em **OK** para fechar a janela.

4.3 DESENHO DOS ELEMENTOS

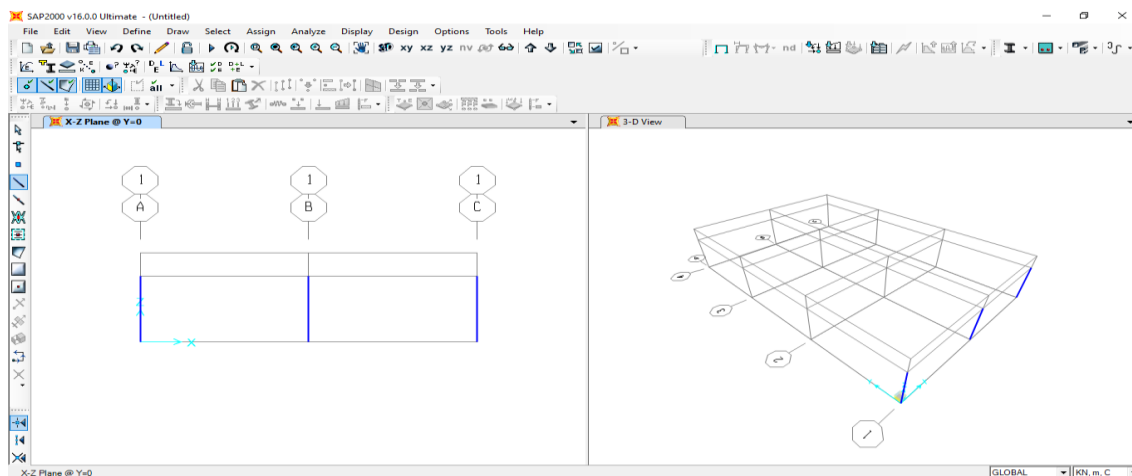
Para desenhar os elementos, seleciona-se **Draw Frame/Cable**, na paleta lateral esquerda que abrirá uma caixa de diálogo, Figura 34, **Properties Of Object->Section->HP200X53.0**. Selecionar o **plano XZ**, depois desenhar as colunas de baixo para cima até a segunda altura, de acordo com a Figura 35.

Figura 34: Propriedade das colunas



Fonte: (o autor)

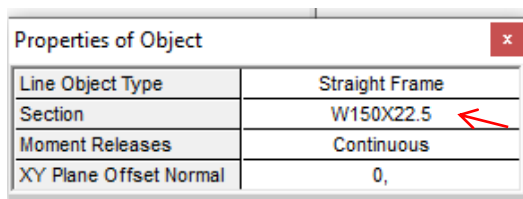
Figura 35: Desenho das colunas



Fonte: (o autor)

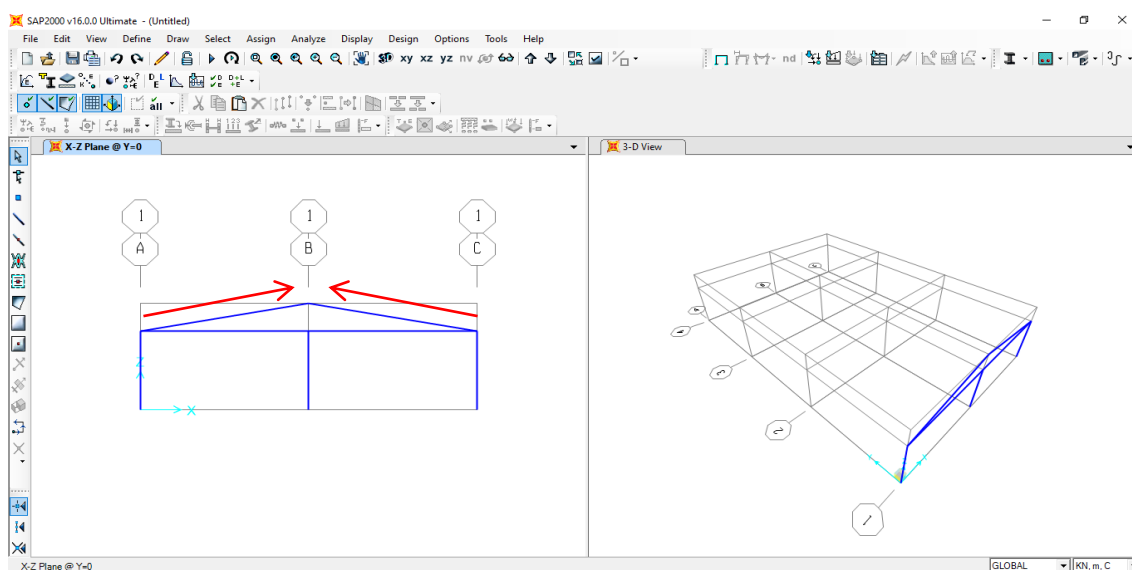
Troca-se em **Section->W150X22,5**, Figura 36, e faz-se o desenho das vigas de baixo para cima, sendo a viga esquerda, da esquerda para direita e a viga direita, da direita para a esquerda, como está ilustrado na Figura 37.

Figura 36: Propriedades das vigas inclinadas



Fonte: (o autor)

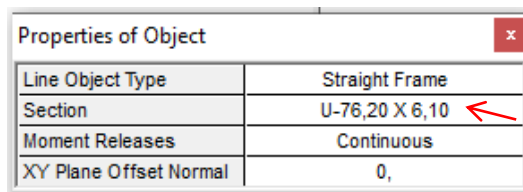
Figura 37: Desenho das vigas



Fonte: (o autor)

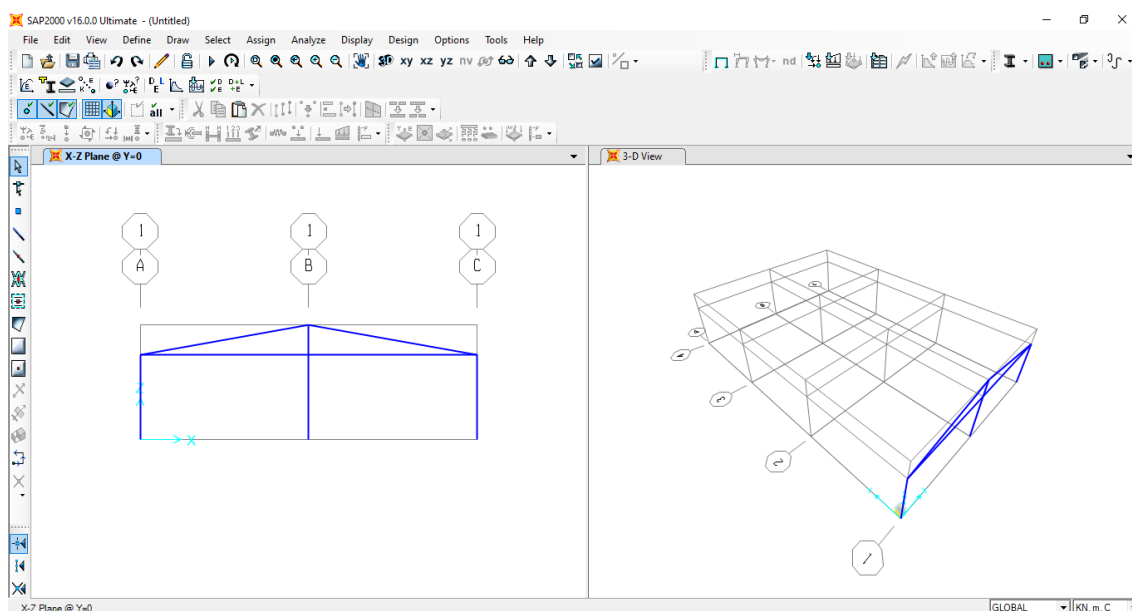
Após isso, deve-se trocar **Section** para **U-76,20X6,10**, Figura 38, e desenhar o montante de baixo para cima, de acordo com a Figura 39.

Figura 38: Propriedades dos montantes



Fonte: (o autor)

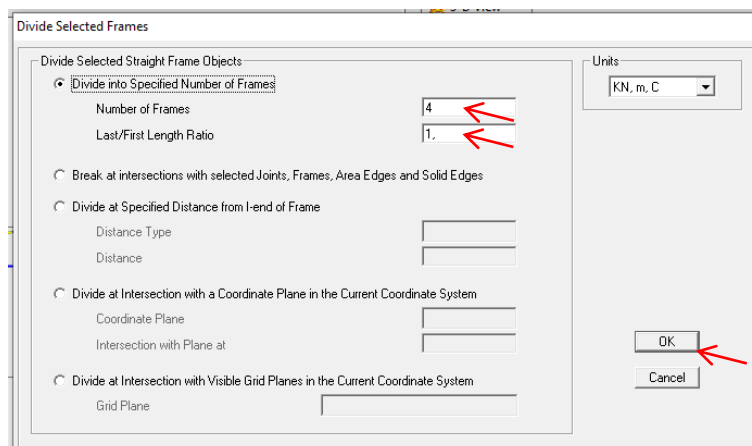
Figura 39: Desenho do montante



Fonte: (o autor)

Em seguida, seleciona-se as vigas da cobertura para dividi-las em elementos finitos, deve-se clicar na paleta superior em **Edit->Edit Lines->Divide Frames**, assim abrirá uma caixa de diálogo **Divide Selected Frames**. Depois deve-se apertar em **Last/First Length Ratio (1)** e em **Number of Frames (4)** e clicar em **OK**, conforme a Figura 40.

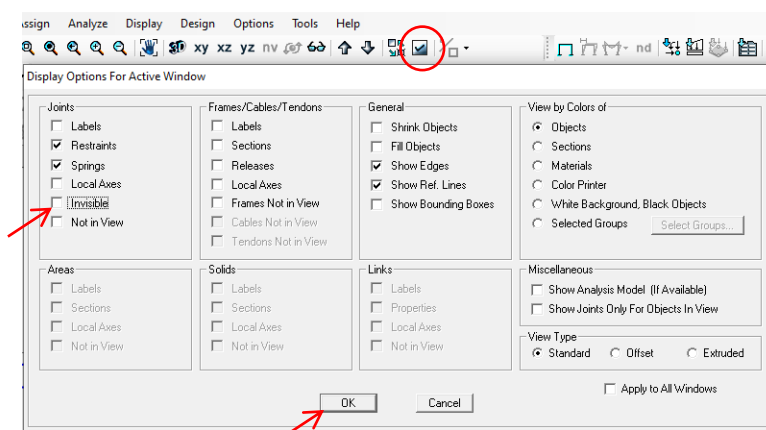
Figura 40: Divisão das vigas em elementos finitos



Fonte: (o autor)

Para que seja possível visualizar os nós nas vigas, deve-se clicar na opção na paleta superior **Set Display Options** que fará aparecer a caixa de diálogo **Display Options For Active Window** e desmarcar, no campo **Joint**, a opção **Invisible**, como mostrado na Figura 41. Feito isto, selecionar **OK**.

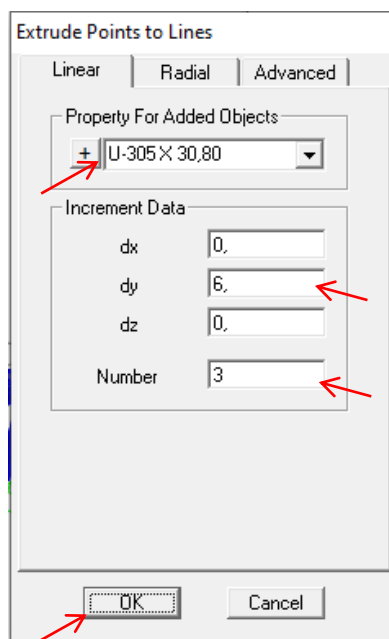
Figura 41: Janela de opções de exibição



Fonte: (o autor)

Para criação das Terças, selecionam-se os pontos das vigas e clica-se em **Edit->Extrude->Extrude Points to Frames/Cables...** Na janela **Extrude Points to Lines**, colocar em **Property For Added Objects (Terca)** e, em **Increment Data**, **dx (0)**, **dy (-6)**, **dz(0)** e **Number (6)**. Clicar em **OK**, como a Figura 42 ilustra.

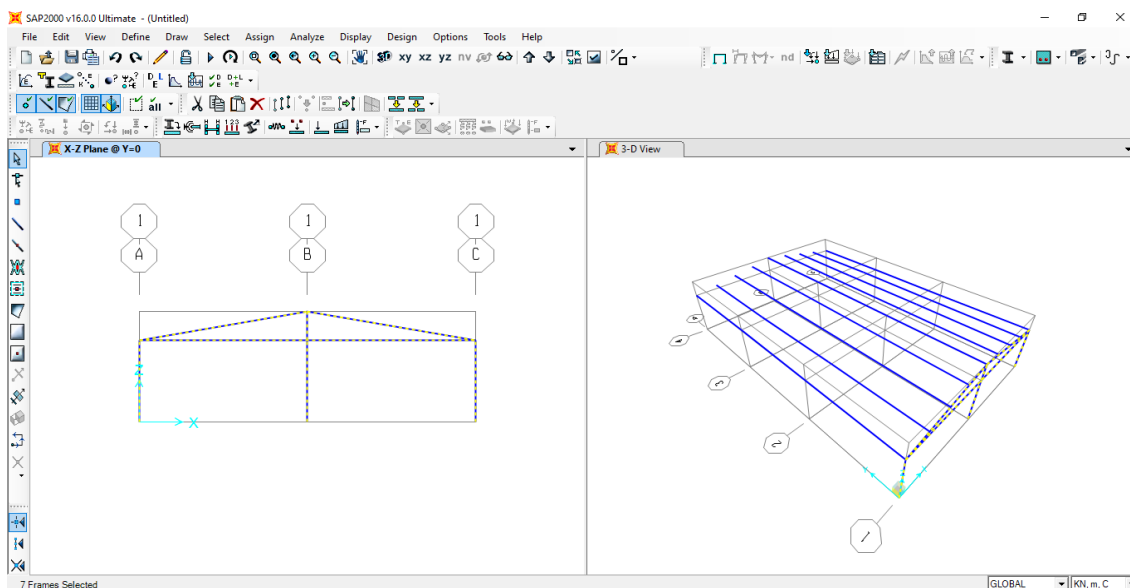
Figura 42: Extensão dos pontos para criação das terças



Fonte: (o autor)

A seguir, seleciona-se os elementos finitos das vigas, para uni-los novamente, deve-se clicar na paleta superior em **Edit->Edit Lines->Join Frames**. Depois, para que não seja possível visualizar os nós nos cabos, deve-se clicar na opção **Set Display Options**, na paleta superior, que fará aparecer a caixa de diálogo **Display Options For Active Window** e marcar, no campo **Joint**, a opção **Invisible**. Depois, selecionar **OK**. Na Figura 43, aparecem as terças criadas.

Figura 43: Terças criadas e elementos selecionados para serem replicados

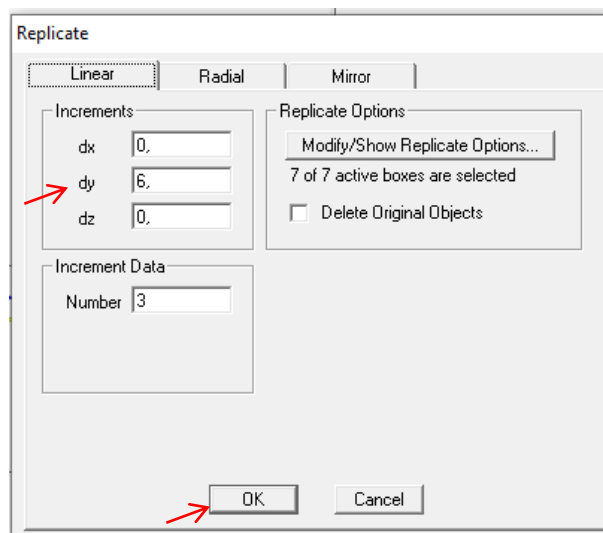


Fonte: (o autor)

Para replicar, seleciona-se todas as peças do modelo, clica-se em **Edit->Replicate** e surgirá a janela **Replicate**. Na aba **Linear** coloca na caixa de **Number** o valor **3** e no item **dy** o valor **6**. Em seguida clica-se em **OK**, como mostrado na Figura 44.

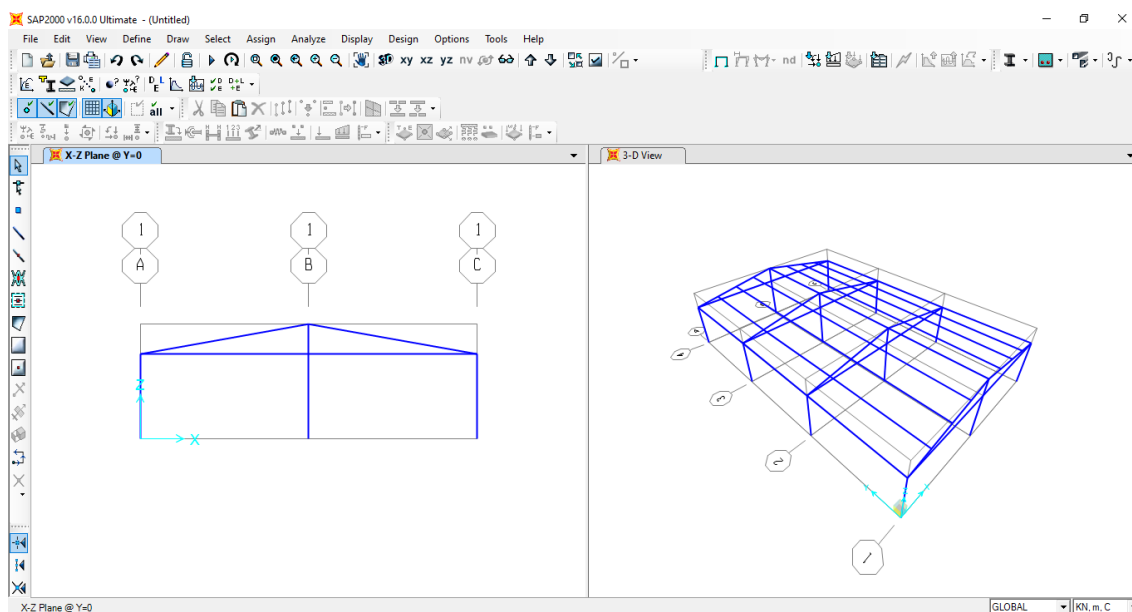
A Figura 45 apresenta o galpão modelado.

Figura 44: Replicação dos elementos selecionados



Fonte: (o autor)

Figura 45: Galpão modelado

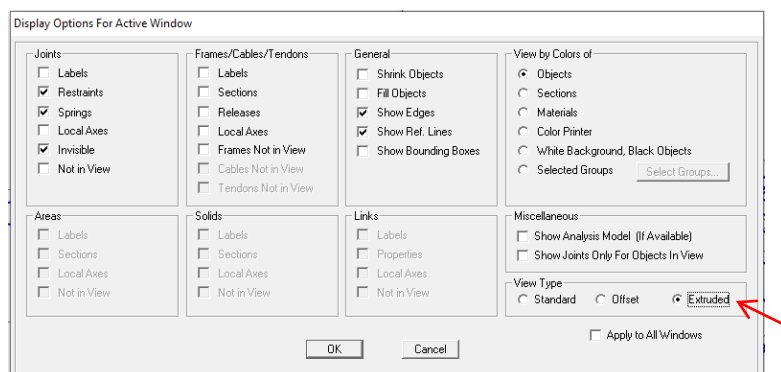


Fonte: (o autor)

A próxima etapa é a orientação dos perfis, para melhor visualização deve-se clicar em **Set Display Options**, na paleta superior, então aparecerá a caixa de diálogo

Display Options For Active Window, no campo **ViewType** seleciona-se a opção **Extruded**, em seguida clica-se em **OK**, de acordo com a Figura 46.

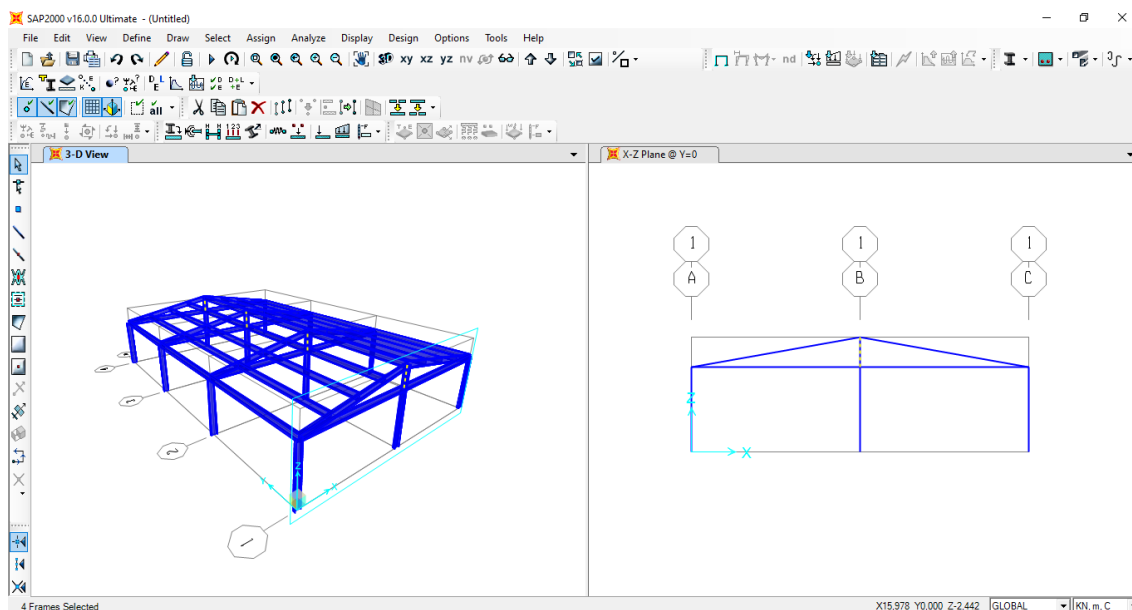
Figura 46: Opções de visualização



Fonte: (o autor)

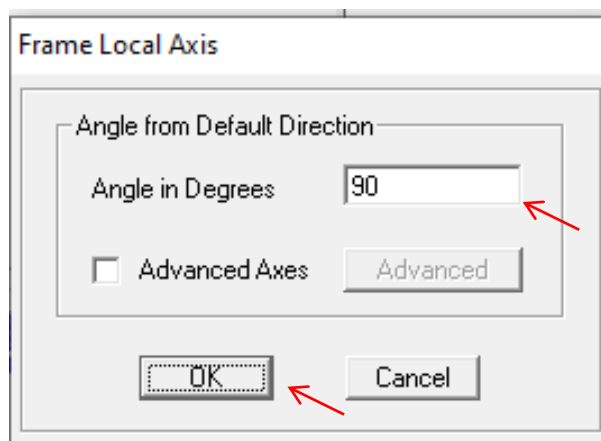
O tipo de vista selecionado permite a visão do perfil selecionado e seu posicionamento, para adequar a posição de cada barra deve-se, primeiro, selecionar os montantes, como na Figura 47, e, em seguida, clicar na opção **Assign** na paleta superior, depois clica-se em **Frame->Local Axis** para que seja aberta uma caixa de diálogo **Frame Local Axis** a Figura 48 mostra a inserção do valor de **90** em **Nagle in Degrees**, depois seleciona-se em **OK**.

Figura 47: Seleção dos montantes



Fonte: (o autor)

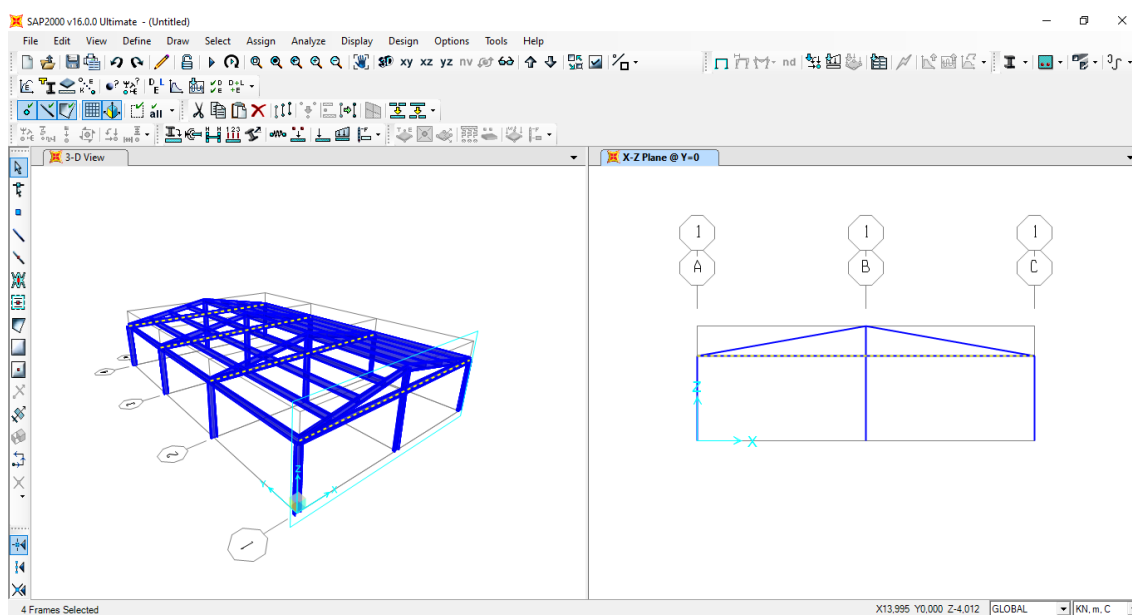
Figura 48: Ângulo de rotação dos montantes



Fonte: (o autor)

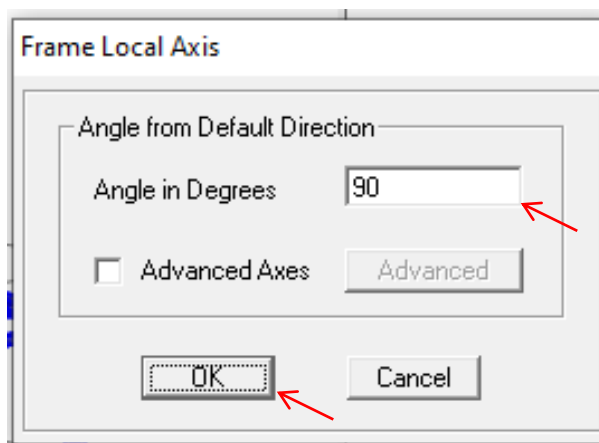
Em seguida, selecionam-se as vigas horizontais, Figura 49, e procede-se da forma, anteriormente, indicada, até a caixa de diálogo **Frame Local Axis**, na qual insere-se **90** no campo **Angle in Degrees**, conforme Figura 50, após isto, clica-se em **OK**.

Figura 49: Seleção das vigas horizontais



Fonte: (o autor)

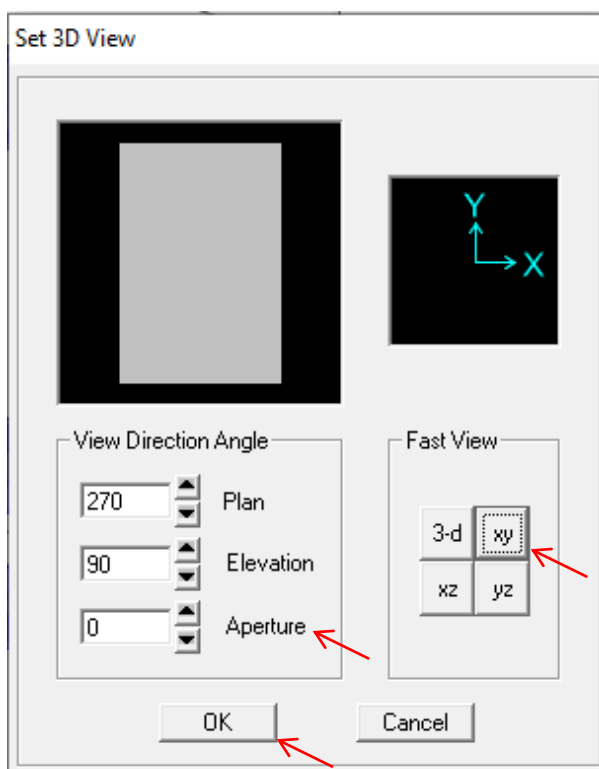
Figura 50: Ângulo de rotação das vigas horizontais



Fonte: (o autor)

Para melhor visualização das terças, executa-se o comando **View->Set 3D view**. Em **FastView**, seleciona-se o **plano XY**, em **Aperture (0)**, depois seleciona-se **OK**, como indicado na Figura 51.

Figura 51: Comando para melhor visualização das terças

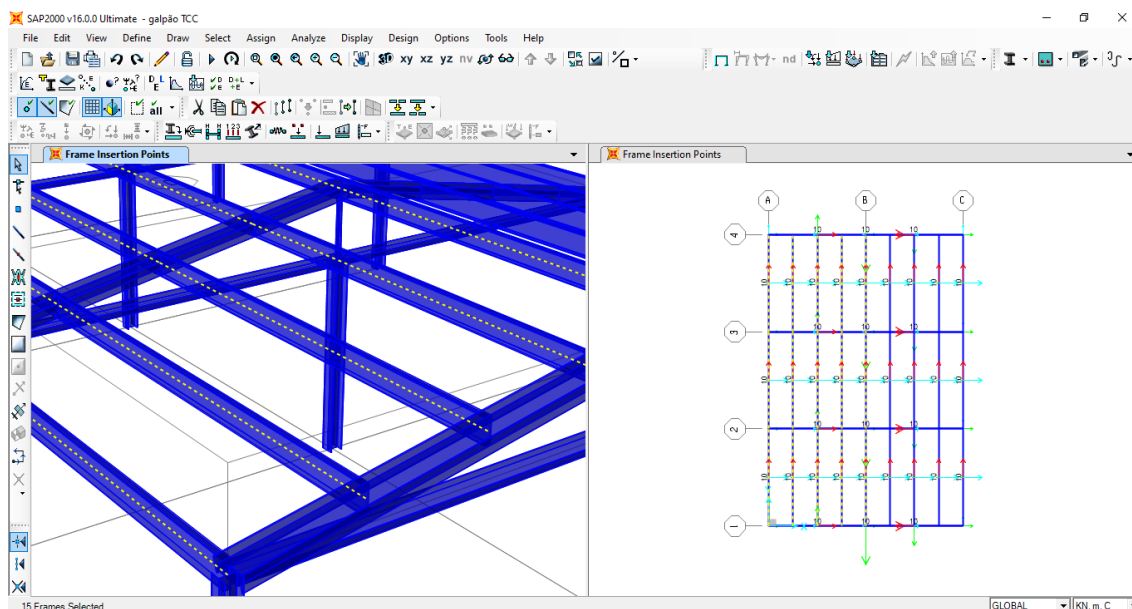


Fonte: (o autor)

A seguir, selecionam-se as terças da esquerda, como na Figura 52, pois as da direita estão na posição correta. Posteriormente, executa-se o mesmo procedimento

anterior até a janela **Frame Local Axis**, Figura 53, nessa deve-se inserir **180** em **Angle in Degrees**, depois clica-se em **OK**.

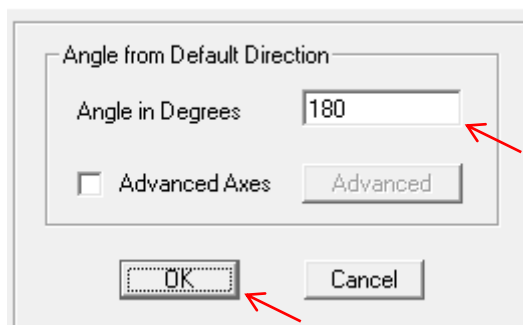
Figura 52: Seleção das terças



Fonte: (o autor)

Figura 53: Ângulo de rotação das terças

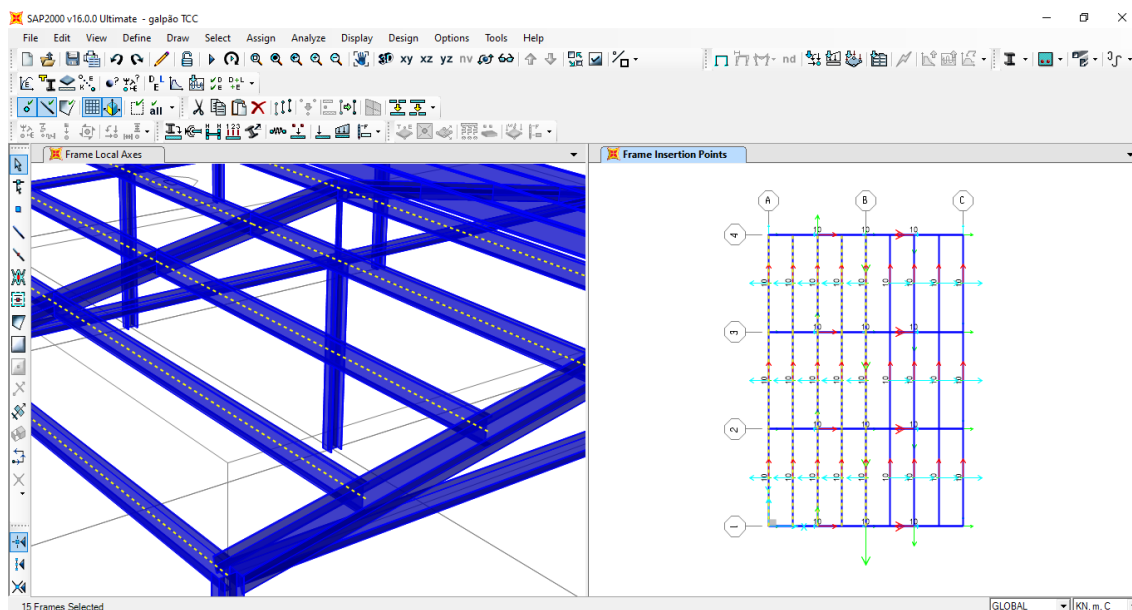
Frame Local Axis



Fonte: (o autor)

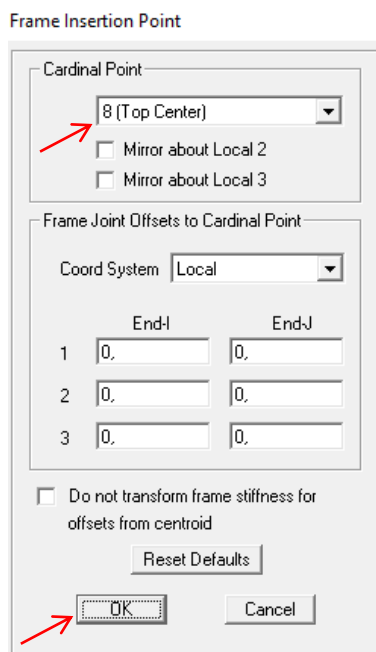
Após a rotação de todos os elementos, é necessário ajustar a posição das terças para que estas fiquem acima das vigas, para isto, selecionam-se as terças da esquerda, Figura 54, e procede-se os seguintes comandos **Assign->Frame->Insertion Point** e na janela colocar a opção **8 (Top Center)** em **Cardinal Point**, como na Figura 55. Seleciona-se **OK**.

Figura 54: Seleção das terças da esquerda



Fonte: (o autor)

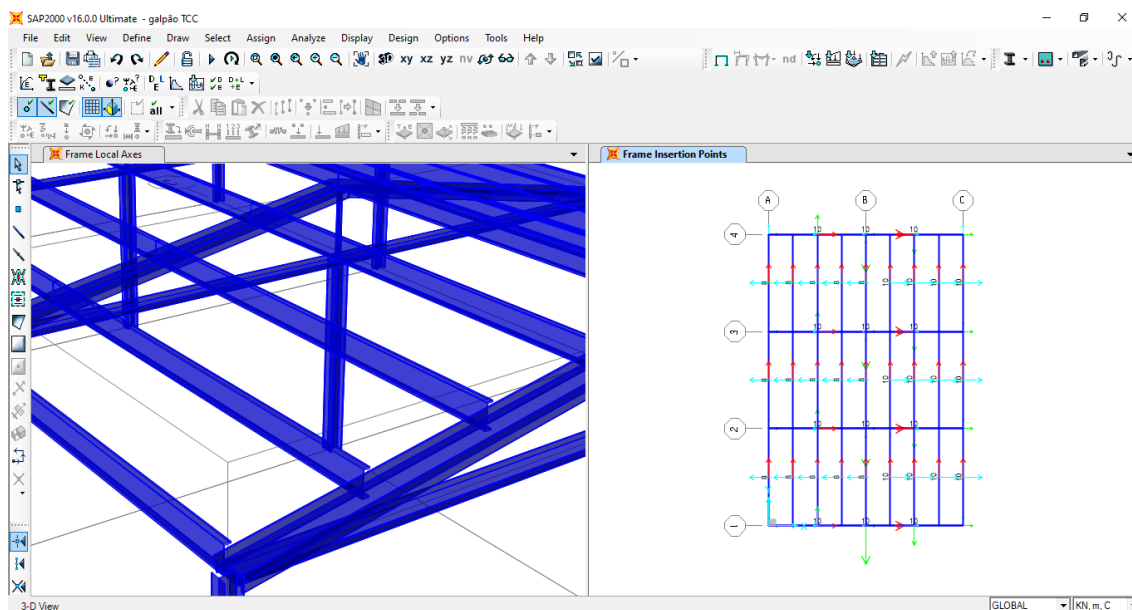
Figura 55: Comandos para posicionar corretamente as terças esquerdas



Fonte: (o autor)

A figura 56 mostra as terças da esquerda posicionadas de forma correta.

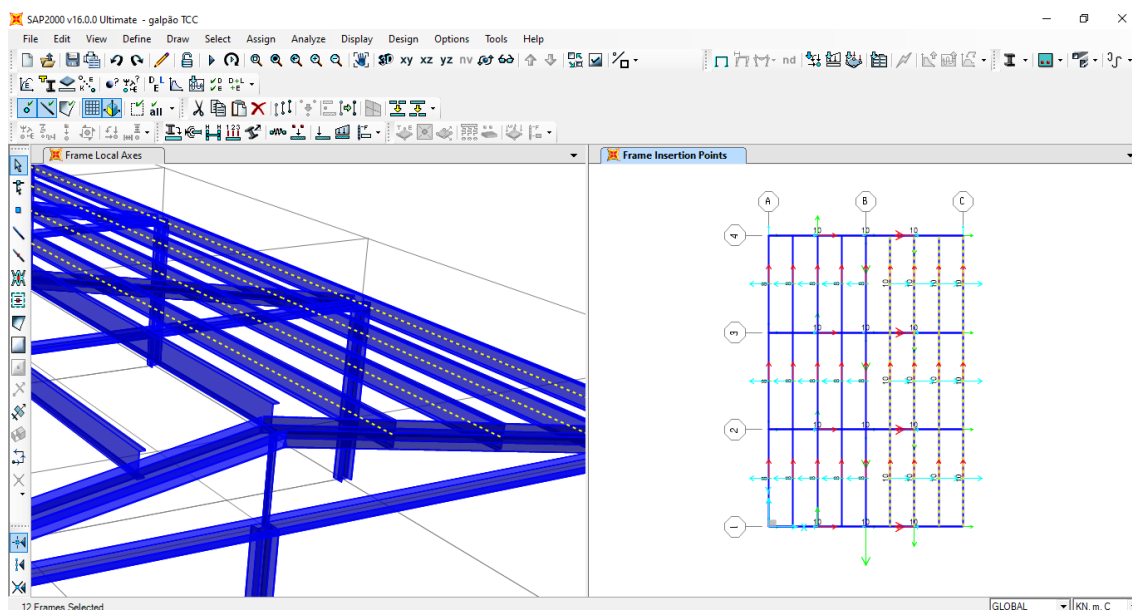
Figura 56: Terças esquerdas posicionadas corretamente



Fonte: (o autor)

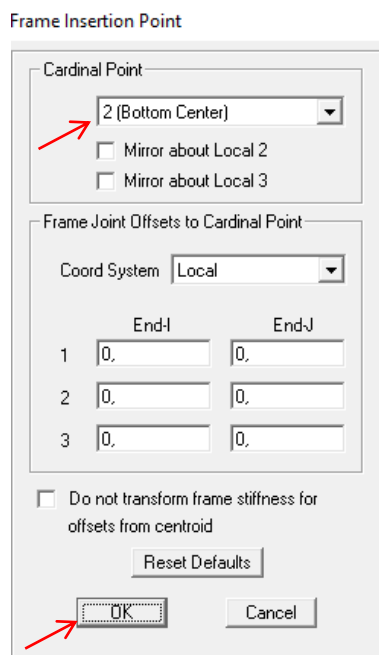
Em seguida, deve-se selecionar as terças da direita, Figura 57, e seguir as mesmas instruções anteriores até a janela **Frame Insertion Point**, na qual deve selecionar a opção **2 (Bottom Center)** em **Cardinal Point**, como na Figura 58, depois pressionar-se **OK**.

Figura 57: Seleção das terças da direita



Fonte: (o autor)

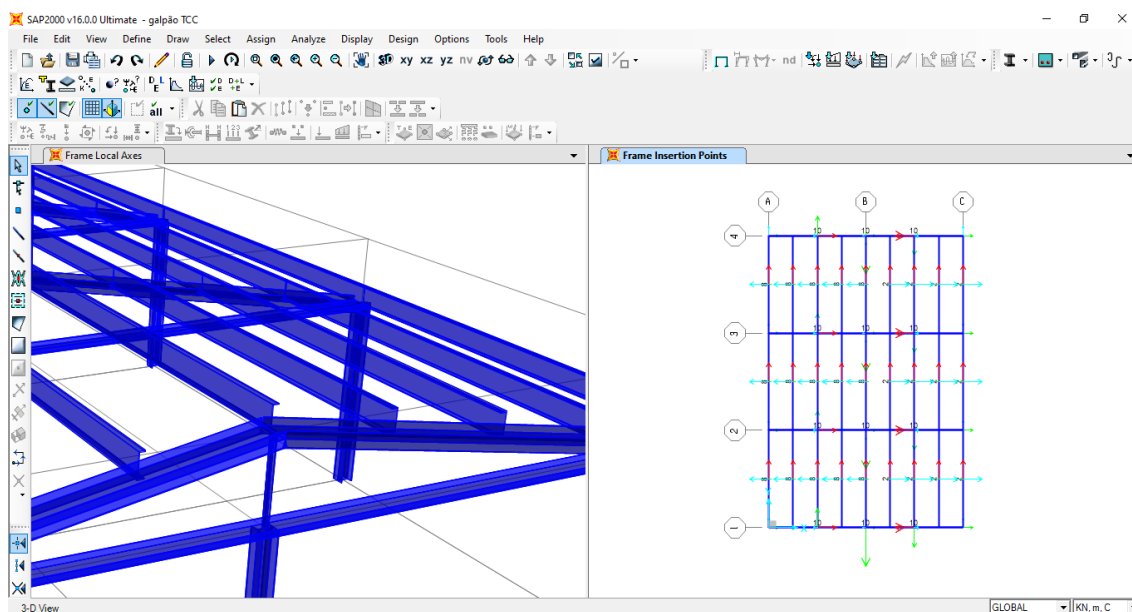
Figura 58: Comandos para posicionar corretamente as terças direitas



Fonte: (o autor)

A figura 59 mostra as terças da direita posicionadas de forma correta.

Figura 59: Terças direitas posicionadas corretamente

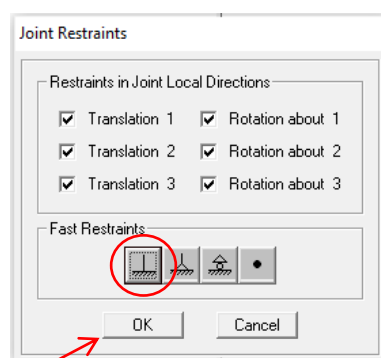


Fonte: (o autor)

4.4 DEFINIÇÃO DOS APOIOS

Para definir os apoios, é preciso, primeiro, seleccionar os pontos inferiores das colunas, em seguida clica-se em **Assign->Joint->Restraints** para abrir uma caixa de diálogo **Joint Restraints**, Figura 60, nessa deve-se seleccionar a primeira opção no campo **Fast Restraints**, por fim, selecciona-se **OK**.

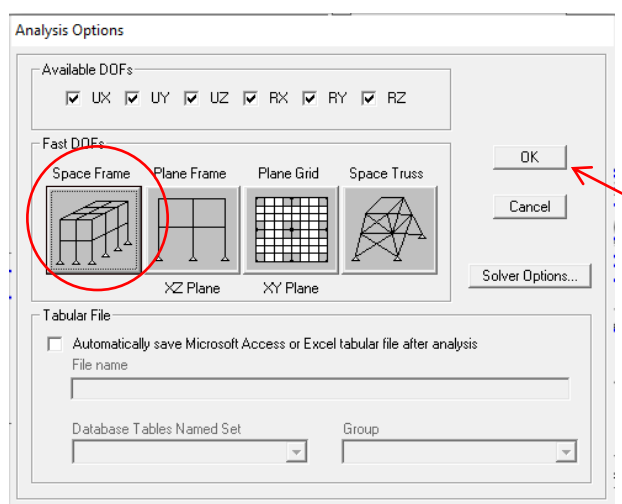
Figura 60: Seleção das restrições das colunas



Fonte: (o autor)

Depois, faz-se a seleção dos pontos superiores das colunas então clica-se, na paleta superior, em **Analyze->Set Analysis Options** e deve-se seleccionar a primeira opção **Space Frame**, conforme Figura 61, depois **OK**.

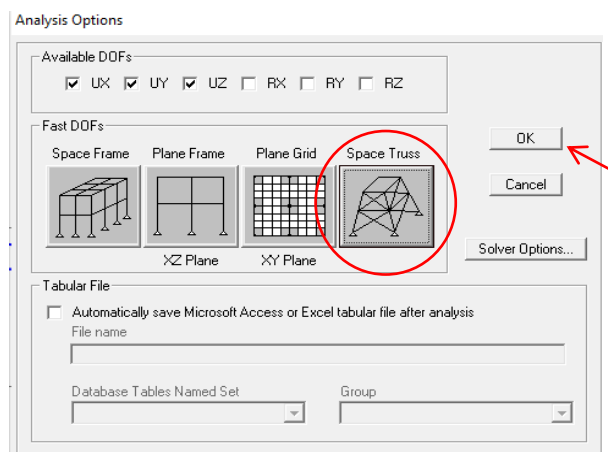
Figura 61: Restrições dos pontos superiores das colunas



Fonte: (o autor)

Por fim, selecionam-se os pontos superiores e inferiores dos montantes e procede-se como anteriormente **Analyze->Set Analysis Options**, na paleta superior, então clica-se na quarta opção **Space Truss**, mostrada na Figura 62, depois **OK**.

Figura 62: Restrições nos pontos dos montantes

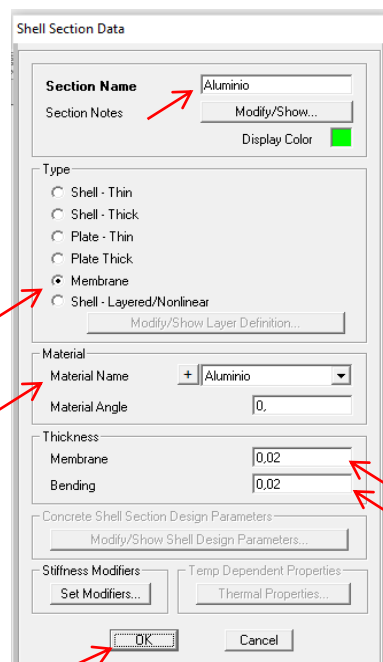


Fonte: (o autor)

4.5 INSERÇÃO DO FECHAMENTO NA COBERTURA

Para criar o material referente as telhas, deve-se clicar em **Define->Section Properties->Area Sections**. Na caixa de **Select Section Type To Add** mantém **Shell** e clica-se em **Add New Section**. Aparecerá a janela **Shell Section Data**, na qual, na lacuna **Section Name**, coloca-se **Alumínio**, em **Type** marca-se **Membrane**, na lacuna **Thickness** coloca-se **Membrane (0,02)** e **Bending (0,02)**. No espaço **Material Name** seleciona-se **Alumínio** e clica-se em **OK** para finalizar o comando. Com isso, retornar-se-á para a janela **Area Sections**, aperta-se **OK** novamente. Todo procedimento anteriormente exposto, está ilustrado na Figura 63.

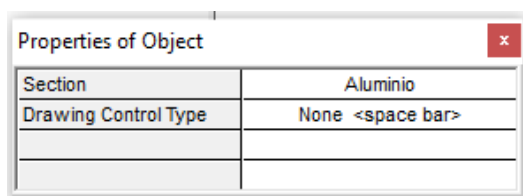
Figura 63: Criação da seção para cobertura



Fonte: (o autor)

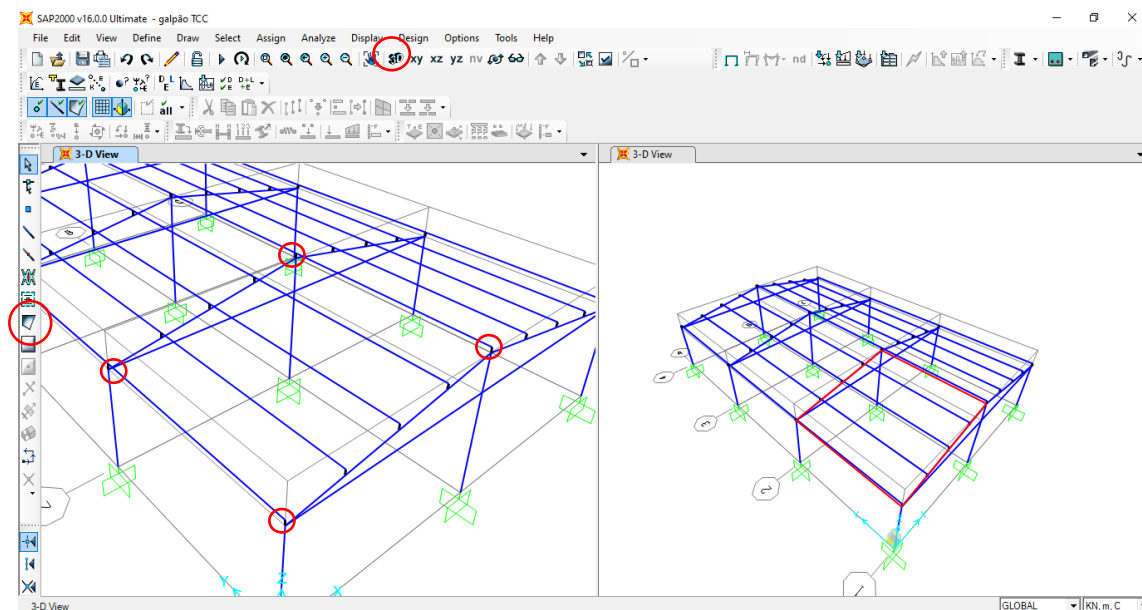
Na paleta esquerda, seleciona-se o ícone **Draw Poly Area** que abrirá a janela **Properties of Objects**, nessa, em **Section**, é escolhido **Alumínio** e em **Drawing Control Type** atribui-se **None<space bar>**, como mostrado na Figura 64. Selecionam-se, na peça, os nós que fecharão as áreas. Para isso, clica-se nos pontos como indicado na figura 65. Para facilitar, utilizam-se as ferramentas **Rotate 3D View**, **Zoom In One Step**, **Zoom Out One Step** e **Pan**. Deve-se repetir o processo, até preencher, completamente, o telhado.

Figura 64: Propriedades do objeto



Fonte: (o autor)

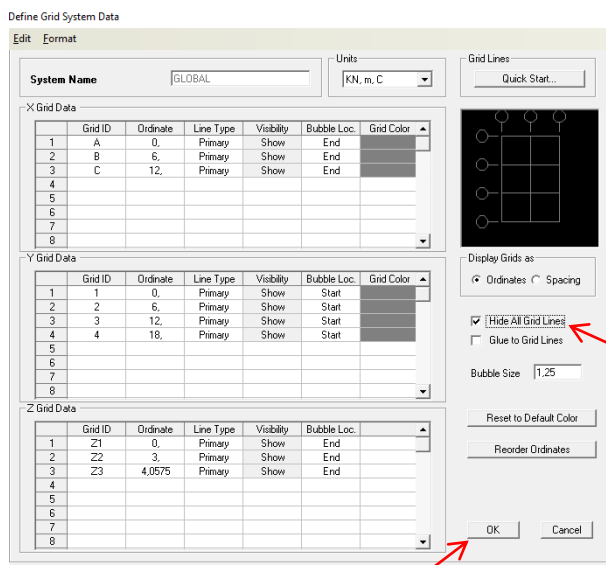
Figura 65: Desenho da cobertura do galpão



Fonte: (o autor)

Para tornar invisíveis as linhas de base, clica-se em **Define->Coordinate System/Grid**, em seguida, em **Modify/Show System** e habilita-se a função **Hide All Grid Lines** e seleciona-se **OK** duas vezes, mostrado na Figura 66.

Figura 66: Comando para esconder as linhas de base

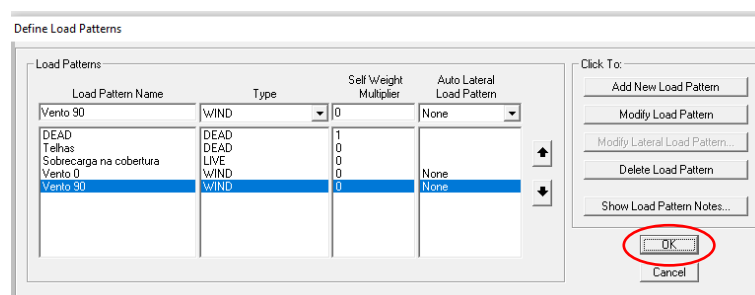


Fonte: (o autor)

4.6 APLICAÇÃO DE CARGAS

Para definir os casos de carregamento, clica-se em **Define->Load Patterns** na barra de ferramentas superior da tela que abrirá uma janela, Figura 67. O programa gera, automaticamente, uma carga **DEAD**, que representa o peso próprio da estrutura e, por isso, tem o valor 1 no campo **Self-Weight Multiplier**. Adiciona-se cargas nomeadas de **Telhas, Type (Dead), Self-Weight Multiplier (0); Sobrecarga na Cobertura, Type (Live), Self-Weight Multiplier (0); Vento 0°, Type (Wind), Self-Weight Multiplier (0), Auto Lateral Load Pattern (None); Vento 9°, Type (Wind), Self-Weight Multiplier (0), Auto Lateral Load Pattern (None)**. Após o preenchimento de todas as lacunas de cada carga, deve-se clicar em **Add New Load Pattern**. Então, clica-se em **OK** para finalizar o comando.

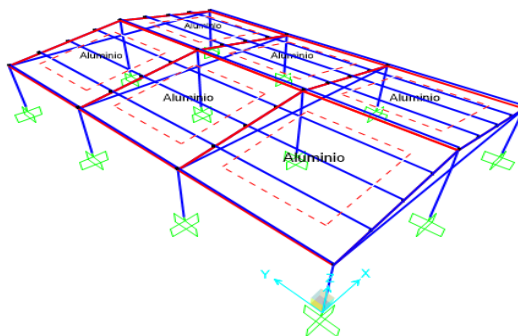
Figura 67: Definição das cargas



Fonte: (o autor)

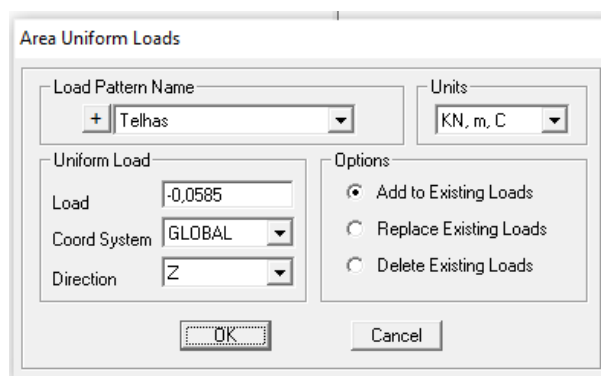
Para inserir o carregamento na estrutura, selecionam-se as áreas do telhado, Figura 68, e executa-se o caminho **Assign->Area Loads->Uniform Shell**, marca-se a opção **Add to Existing Loads, Load Pattern Name (Telhas), Direction (Z), Load (-0,0585)** e seleciona-se **OK**, como mostrado na Figura 69. Em seguida, seleciona-se as áreas do telhado novamente e segue-se as instruções anteriores, preenchendo as lacunas da seguinte maneira, **Load Pattern Name (Sobrecarga na Cobertura), Direction (Z), Load (-0,25)**, como na Figura 70, e clica-se em **OK**.

Figura 68: Seleção das áreas da cobertura para aplicação das cargas



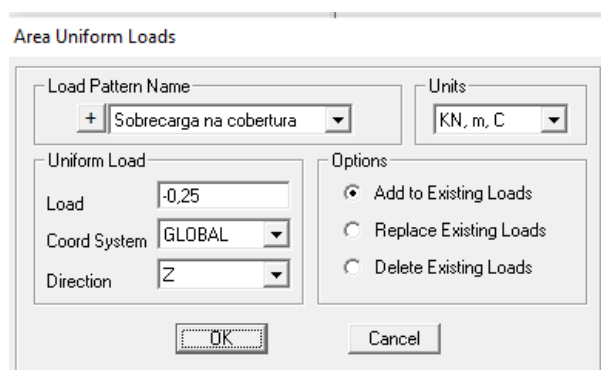
Fonte: (o autor)

Figura 69: Cargas atribuídas às telhas



Fonte: (o autor)

Figura 70: Sobrecarga atribuída à cobertura



Fonte: (o autor)

Para adicionar as cargas de vento 0° e 90° , coloca-se no **plano 3D**, selecionam-se as áreas onde a carga será aplicada e executa-se o caminho **Assign->Area Loads->Uniform Shell**, em seguida, marca-se a opção **Add to Existing Loads**, **Load Pattern Name (Vento 0°)**, **Direction (Y)**, **Load (-0,237)** e clica-se em **OK**, como na Figura 71. Após isto, seleciona-se as áreas direitas da cobertura e executa-se o

mesmo caminho anterior, então preenche-se as lacunas da seguinte forma, **Load Pattern Name (Vento 90°), Direction (X), Load (0,118)** e pressiona-se **OK**, como mostrado na Figura 72. Em seguida, seleciona-se as áreas esquerdas da cobertura e, após realizar o procedimento feito anteriormente, deve-se preencher as lacunas como se segue **Load Pattern Name (Vento 90°), Direction (X), Load (0,357)** e seleciona-se **OK**, conforme a Figura 73.

Figura 71: Carga de vento 0°

The screenshot shows the 'Area Uniform Loads' dialog box. It has a title bar 'Area Uniform Loads'. Inside, there are two main sections: 'Uniform Load' and 'Options'.
 - 'Uniform Load' section:
 - 'Load Pattern Name': A dropdown menu with a '+' icon and the text 'Vento 0'.
 - 'Units': A dropdown menu with the text 'KN, m, C'.
 - 'Load': A text input field containing '-0,237'.
 - 'Coord System': A dropdown menu with 'GLOBAL' selected.
 - 'Direction': A dropdown menu with 'Y' selected.
 - 'Options' section:
 - Three radio buttons: 'Add to Existing Loads' (selected), 'Replace Existing Loads', and 'Delete Existing Loads'.
 - At the bottom, there are 'OK' and 'Cancel' buttons.

Fonte: (o autor)

Figura 72: Carga de vento 90° no lado direito da cobertura

The screenshot shows the 'Area Uniform Loads' dialog box. It has a title bar 'Area Uniform Loads'. Inside, there are two main sections: 'Uniform Load' and 'Options'.
 - 'Uniform Load' section:
 - 'Load Pattern Name': A dropdown menu with a '+' icon and the text 'Vento 90'.
 - 'Units': A dropdown menu with the text 'KN, m, C'.
 - 'Load': A text input field containing '0,118'.
 - 'Coord System': A dropdown menu with 'GLOBAL' selected.
 - 'Direction': A dropdown menu with 'X' selected.
 - 'Options' section:
 - Three radio buttons: 'Add to Existing Loads' (selected), 'Replace Existing Loads', and 'Delete Existing Loads'.
 - At the bottom, there are 'OK' and 'Cancel' buttons.

Fonte: (o autor)

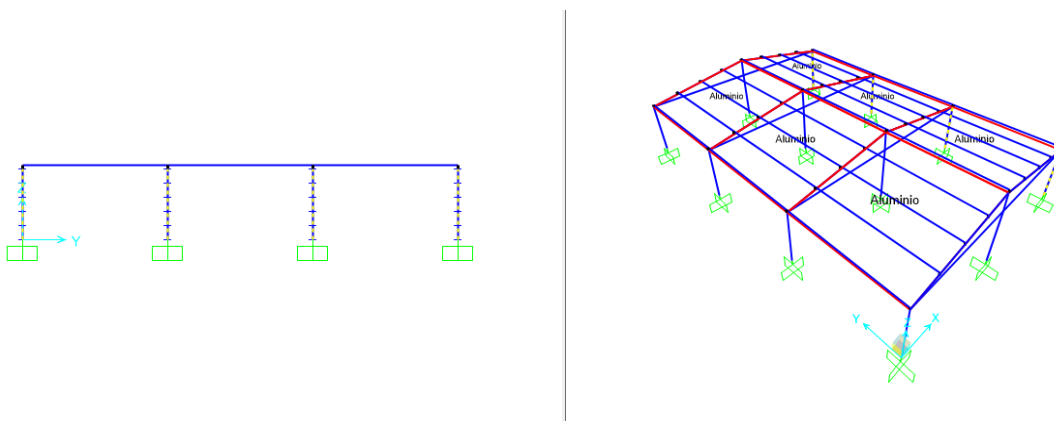
Figura 73: Carga de vento 90° no lado esquerdo da cobertura

The screenshot shows the 'Area Uniform Loads' dialog box. It has a title bar 'Area Uniform Loads'. Inside, there are two main sections: 'Uniform Load' and 'Options'.
 - 'Uniform Load' section:
 - 'Load Pattern Name': A dropdown menu with a '+' icon and the text 'Vento 90'.
 - 'Units': A dropdown menu with the text 'KN, m, C'.
 - 'Load': A text input field containing '0,357'.
 - 'Coord System': A dropdown menu with 'GLOBAL' selected.
 - 'Direction': A dropdown menu with 'X' selected.
 - 'Options' section:
 - Three radio buttons: 'Add to Existing Loads' (selected), 'Replace Existing Loads', and 'Delete Existing Loads'.
 - At the bottom, there are 'OK' and 'Cancel' buttons.

Fonte: (o autor)

Para inserir as cargas de vento incidentes nas colunas, selecionam-se as colunas da direita, Figura 74, e executa-se o comando **Assign->Frame Loads->Distributed**, depois é preciso preencher as lacunas **Load Pattern Name (Vento 0°)**, **Coord Sys (Local)**, **Direction (2)**, **Load (1,42)** e pressiona-se **OK**, como na Figura 75.

Figura 74: Colunas da direita selecionadas para inserção do carregamento



Fonte: (o autor)

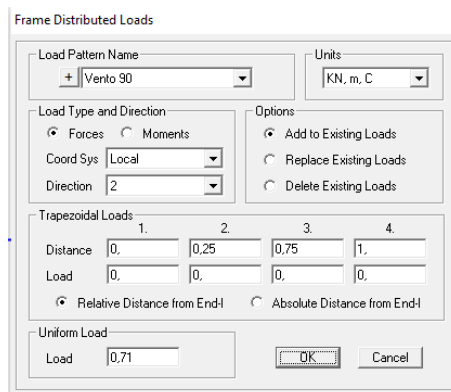
Figura 75: Carga de vento 0° incidente nas colunas direitas

Load Pattern Name		Units		
+ Vento 0		KN, m, C		
Load Type and Direction				
<input checked="" type="radio"/> Forces		<input type="radio"/> Moments		
Coord Sys: Local		Options		
Direction: 2		<input checked="" type="radio"/> Add to Existing Loads		
		<input type="radio"/> Replace Existing Loads		
		<input type="radio"/> Delete Existing Loads		
Trapezoidal Loads				
	1.	2.	3.	4.
Distance	0.	0,25	0,75	1.
Load	0.	0.	0.	0.
<input checked="" type="radio"/> Relative Distance from End-I		<input type="radio"/> Absolute Distance from End-I		
Uniform Load				
Load: 1,42		OK Cancel		

Fonte: (o autor)

Em seguida, repete-se o processo anterior e insere-se as seguintes informações nas lacunas **Load Pattern Name (Vento 90°)**, **Coord Sys (Local)**, **Direction (2)**, **Load (0,71)** e clica-se em **OK**, como na Figura 76.

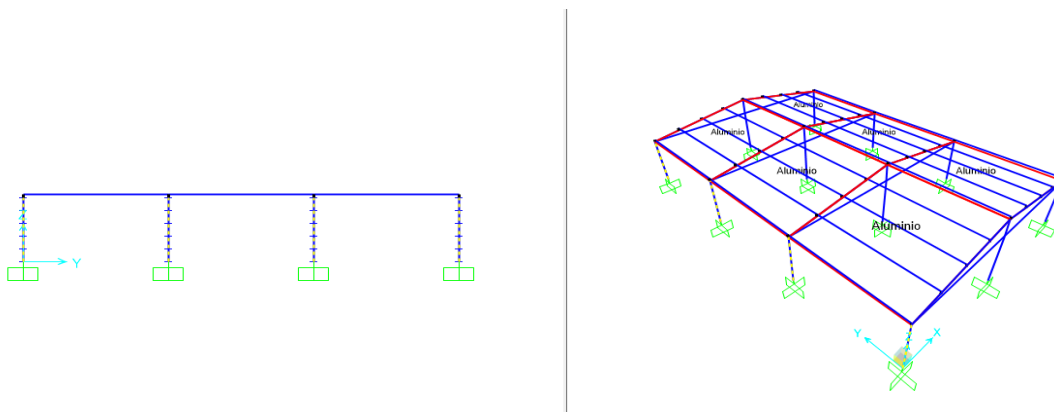
Figura 76: Carga de vento 90° incidente nas colunas direitas



Fonte: (o autor)

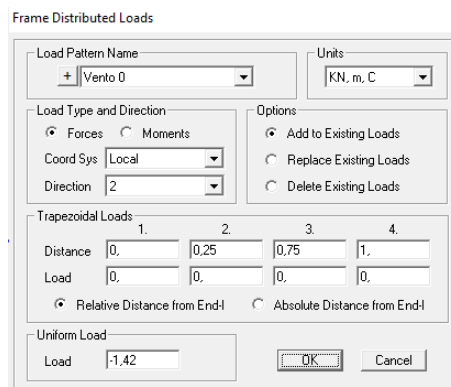
A seguir, seleccionam-se as colunas da esquerda, Figura 77, e clica-se em **Assign->Frame Loads->Distributed**, depois se faz necessário preencher os espaços da seguinte forma **Load Pattern Name (Vento 0°)**, **Coord Sys (Local)**, **Direction (2)**, **Load (-1,42)** e depois **OK**, conforme a Figura 78.

Figura 77: Colunas da esquerda seleccionadas para inserção do carregamento



Fonte: (o autor)

Figura 78: Carga de vento 0° incidente nas colunas esquerdas



Fonte: (o autor)

Após repetir o processo anterior, deve-se inserir as seguintes informações **Load Pattern Name (Vento 90°), Coord Sys (Local), Direction (2), Load (1,25)** e clica-se em **OK**, como na Figura 79.

Figura 79: Carga de vento 90° incidente nas colunas esquerdas

Trapezoidal Loads		1.	2.	3.	4.
Distance		0.	0,25	0,75	1.
Load		0.	0.	0.	0.

Fonte: (o autor)

Para inserir as combinações de ações, feitas segundo a ABNT NBR 8800, deve-se selecionar **Define** na paleta superior, depois **Load Combinations->Add New Combo** e inserir 6 combinações de ações, duas considerando a sobrecarga como carga variável principal, duas considerando o vento 0° como carga variável principal e outras duas considerando o vento 90° como carga variável principal, após inserir cada carga e o fator, deve-se clicar em **Add** e, após adicionar todas as cargas da combinação clica-se em **OK** e repete-se o processo até inserir todas as combinações da seguinte maneira, por fim, clica-se em **OK**, novamente:

COMB1: DEAD, Scale Factor (1,25); Telhas, Scale Factor (1,25); Sobrecarga na cobertura, Scale Factor (1,5); Vento 0, Scale Factor (0,84). Mostrado na Figura 80.

Figura 80: Combinação 1

Load Combination Data

Load Combination Name (User-Generated)

Notes

Load Combination Type

Options

Define Combination of Load Case Results

Load Case Name	Load Case Type	Scale Factor
DEAD	Linear Static	1,25
DEAD	Linear Static	1,25
Telhas	Linear Static	1,25
Sobrecarga na cobertura	Linear Static	1,5
Vento 0	Linear Static	0,84

Fonte: (o autor)

COMB2: DEAD, Scale Factor (1,25); Telhas, Scale Factor (1,25); Sobrecarga na cobertura, Scale Factor (1,5); Vento 90, Scale Factor (0,84). Mostrado na Figura 81.

Figura 81: Combinação 2

Load Combination Data

Load Combination Name (User-Generated)

Notes

Load Combination Type

Options

Define Combination of Load Case Results

Load Case Name	Load Case Type	Scale Factor
Vento 90	Linear Static	0,84
DEAD	Linear Static	1,25
Telhas	Linear Static	1,25
Sobrecarga na cobertura	Linear Static	1,5
Vento 90	Linear Static	0,84

Fonte: (o autor)

COMB3: DEAD, Scale Factor (1,00); Telhas, Scale Factor (1,00); Vento 0, Scale Factor (1,4). Mostrado na Figura 82.

Figura 82: Combinação 3

Load Combination Data

Load Combination Name (User-Generated)

Notes

Load Combination Type

Options

Define Combination of Load Case Results

Load Case Name	Load Case Type	Scale Factor
Telhas	Linear Static	1,
DEAD	Linear Static	1,
Vento 0	Linear Static	1,4
Telhas	Linear Static	1

Fonte: (o autor)

COMB4: DEAD, Scale Factor (1,25); Telhas, Scale Factor (1,25); Sobrecarga na cobertura, Scale Factor (1,2); Vento 0, Scale Factor (1,4). Mostrado na Figura 83.

Figura 83: Combinação 4

Load Combination Data

Load Combination Name (User-Generated)

Notes

Load Combination Type

Options

Define Combination of Load Case Results

Load Case Name	Load Case Type	Scale Factor
Telhas	Linear Static	1,25
DEAD	Linear Static	1,25
Vento 0	Linear Static	1,4
Sobrecarga na cobertura	Linear Static	1,2
Telhas	Linear Static	1,25

Fonte: (o autor)

COMB5: DEAD, Scale Factor (1,00); Telhas, Scale Factor (1,00); Vento 90, Scale Factor (1,4). Mostrado na Figura 84.

Figura 84: Combinação 5

Load Combination Data

Load Combination Name (User-Generated)

Notes

Load Combination Type

Options

Define Combination of Load Case Results

Load Case Name	Load Case Type	Scale Factor
Telhas	Linear Static	1.
DEAD	Linear Static	1.
Vento 90	Linear Static	1,4
Telhas	Linear Static	1.

Fonte: (o autor)

COMB6: DEAD, Scale Factor (1,25); Telhas, Scale Factor (1,25); Sobrecarga na cobertura, Scale Factor (1,2); Vento 90, Scale Factor (1,4). Mostrado na Figura 85.

Figura 85: Combinação 6

Load Combination Data

Load Combination Name (User-Generated)

Notes

Load Combination Type

Options

Define Combination of Load Case Results

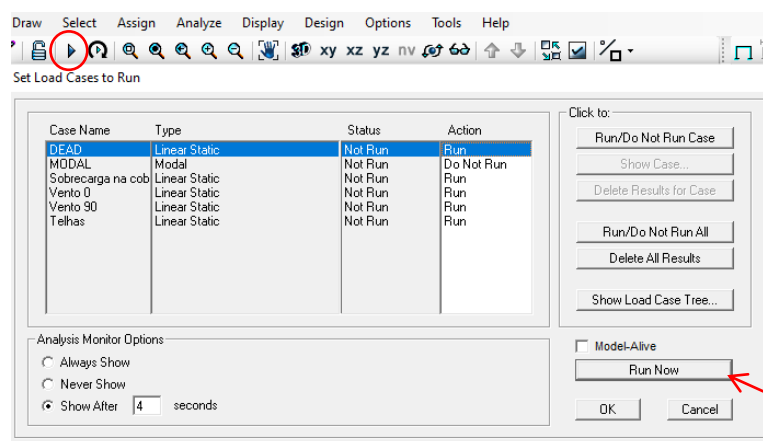
Load Case Name	Load Case Type	Scale Factor
Vento 90	Linear Static	1,4
DEAD	Linear Static	1,25
Sobrecarga na cobertura	Linear Static	1,2
Telhas	Linear Static	1,25
Vento 90	Linear Static	1,4

Fonte: (o autor)

4.7 ANÁLISE DA ESTRUTURA

Após inserir todas as cargas e combinações, clica-se **Run Analysis** na paleta superior e clica-se em **Run Now**, como mostrado na Figura 86.

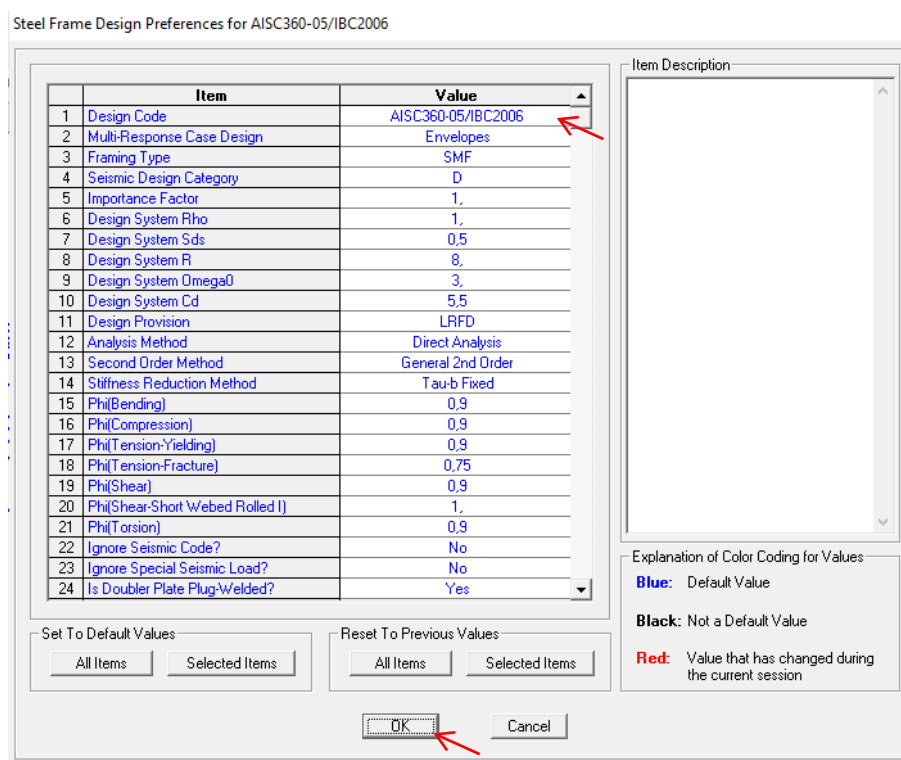
Figura 86: Realização da análise



Fonte: (o autor)

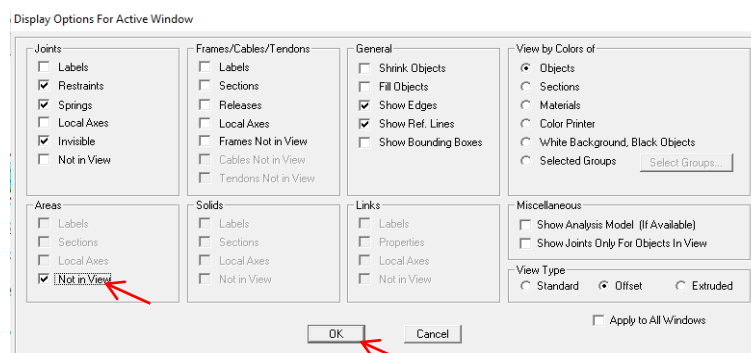
Em seguida, clica-se em **Steel Frame Design->View/Revise Preferences** para indicar ao SAP 2000 a norma a ser usada para que se realize a análise das barras, seleciona-se **AISC360 05/IBC2006** em **Design Code**, como na Figura 87, e clica-se em **OK**, posteriormente, deve-se selecionar **Design** na paleta superior, depois **Steel Frame Design->Start Design/Check of Structure**. Para melhor visualização da análise estrutural, deve-se selecionar a opção **Set Display Options** e marcar **Not in View** no campo **Areas**, para que o fechamento da cobertura não apareça, como ilustrado na Figura 88.

Figura 87: Definição das preferências



Fonte: (o autor)

Figura 88: Comando para desabilitar a visualização do fechamento

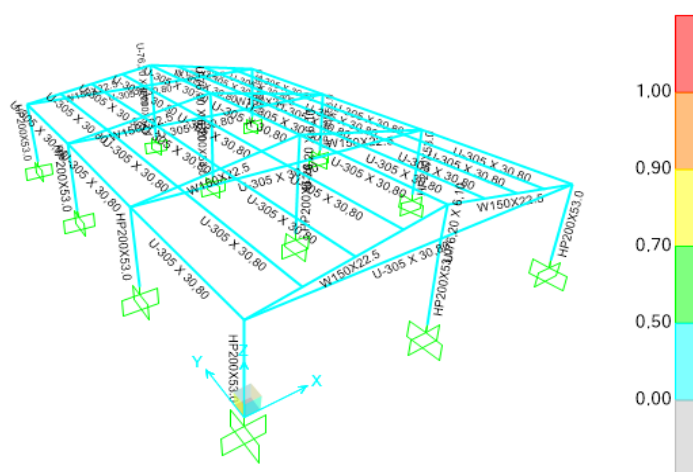


Fonte: (o autor)

Por fim, é possível visualizar a análise dos perfis inseridos no SAP 2000 para cada elemento estrutural, através de uma paleta de cores que indica os esforços aos quais as barras estão sendo submetidas, da seguinte maneira, a cor azul indica que a barra está sofrendo um esforço entre 0 e 50% do esforço que esta suporta, ou seja, o coeficiente de segurança seria igual a 2. A cor verde indica esforço entre 50% e 70%, enquanto na amarela o esforço é de 70% a 90%, o laranja simboliza esforço entre 90% e 100% do que o elemento suporta. Já a vermelha indica que o esforço

submetido é maior do que a barra é capaz de resistir. Esta paleta é usada para indicar ao usuário se o perfil escolhido é adequado. Conforme mostrado na Figura 89.

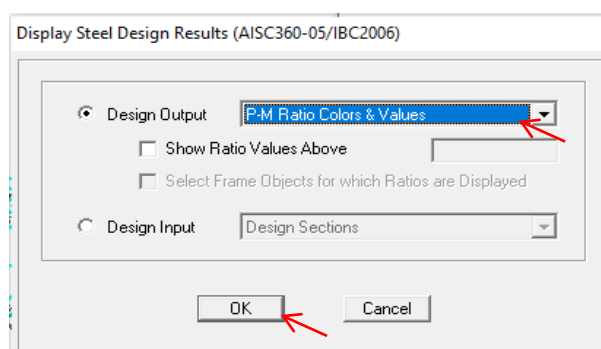
Figura 89: Visualização da análise dos perfis



Fonte: (o autor)

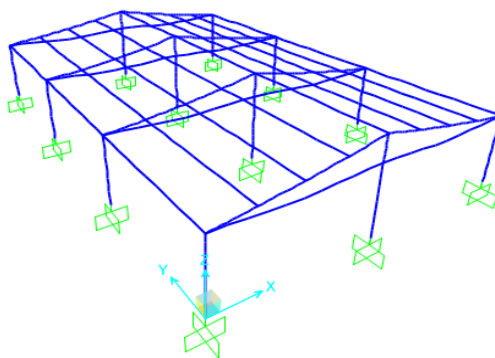
Outra forma de visualizar o esforço em cada elemento, é **Design->Steel Frame Design->Display Design Info** para abrir uma caixa de diálogo, nessa, deve-se selecionar a opção **P-M Ratio Colors & Values** em **Design Output** e **OK** em seguida, de acordo com a Figura 90. Na Figura 91, mostra-se o valor exato da razão entre o esforço solicitante e o esforço resistente da peça.

Figura 90: Comando para visualizar cores e valores dos esforços



Fonte: (o autor)

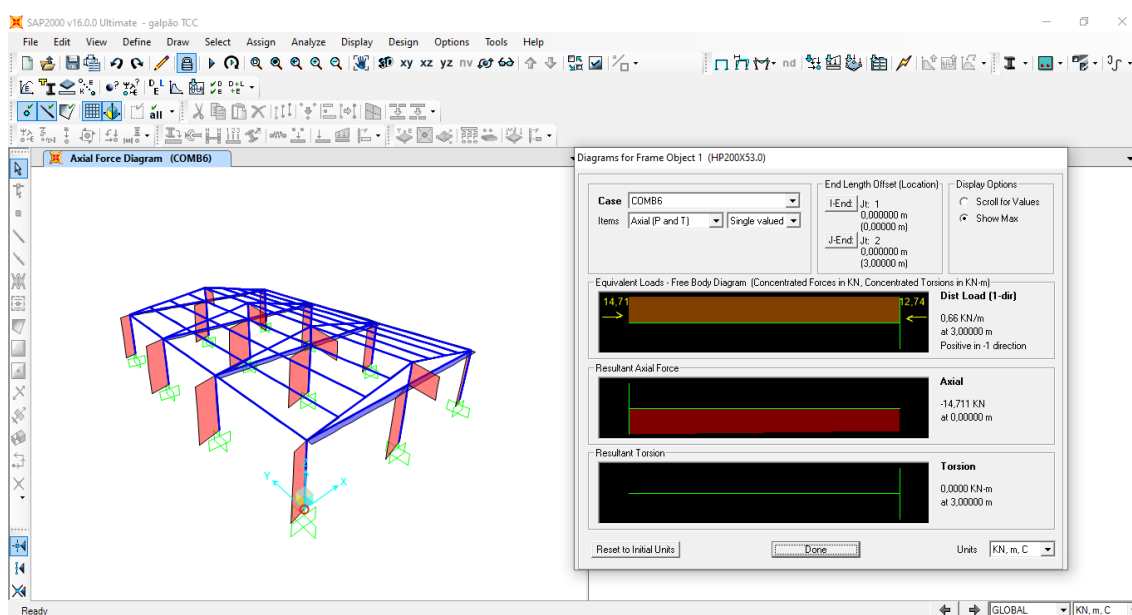
Figura 93: Estrutura deformada



Fonte: (o autor)

Como o programa analisa as barras individualmente, os diagramas, também, são individuais. Para visualizá-los, clica-se em **Display->Show Forces/Stresses>Frames/Cables/Tendons**, esta opção abrirá a janela **Member Force/Stress Diagram For Frames** na qual, além de poder escolher o caso de carregamento que representa aquele diagrama, pode-se também selecionar as componentes daquele diagrama. Ao clicar em **OK** é possível clicar nas barras do modelo com o botão direito do mouse e visualizar os diagramas dessa, na janela **Diagrams For Frame Object X**. a Figura 94 apresenta a estrutura com os diagramas.

Figura 94: Estrutura com diagramas e valores para uma barra

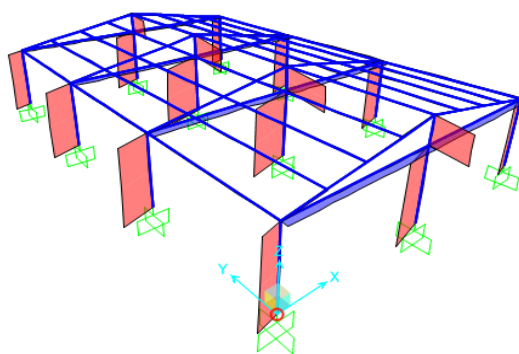


Fonte: (o autor)

5. ANÁLISE DOS RESULTADOS

A Figura 95 ilustra os diagramas de esforço axial da estrutura.

Figura 95: Diagrama de esforço axial

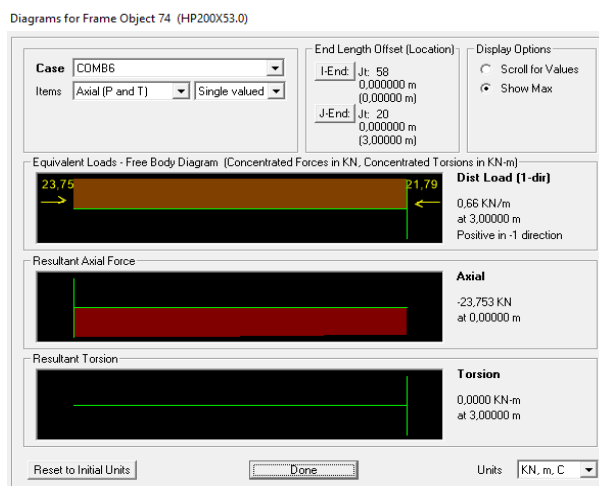


Fonte: (o autor)

5.1 COLUNAS

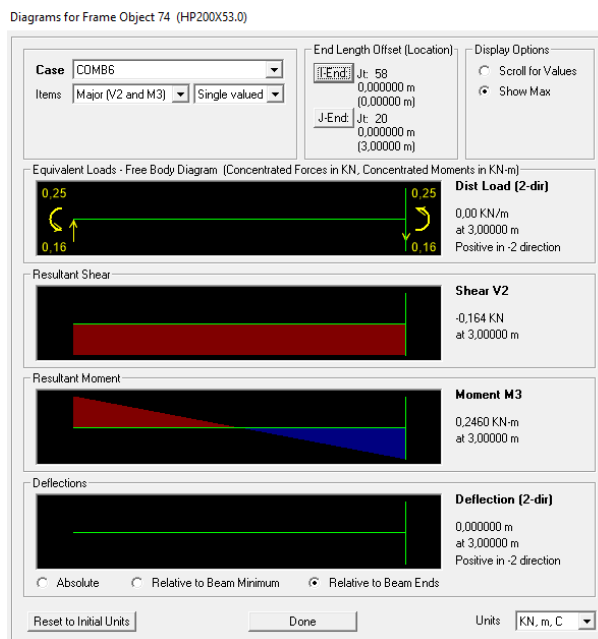
Os diagramas a seguir, nas Figuras 96 e 97, pertencem às colunas centrais da esquerda e direita, neles pode-se perceber que estas colunas sofrem compressão de 23,75 KN, não sofrem torção nem deflexão, e estão sob ação de um momento fletor máximo de 0,25KN.m, cisalhamento de -0,16 KN, além disto, no diagrama de corpo livre é possível ver a carga distribuída de 0,66 KN/m incidente nelas.

Figura 96: Diagrama 1 de esforços para colunas



Fonte: (o autor)

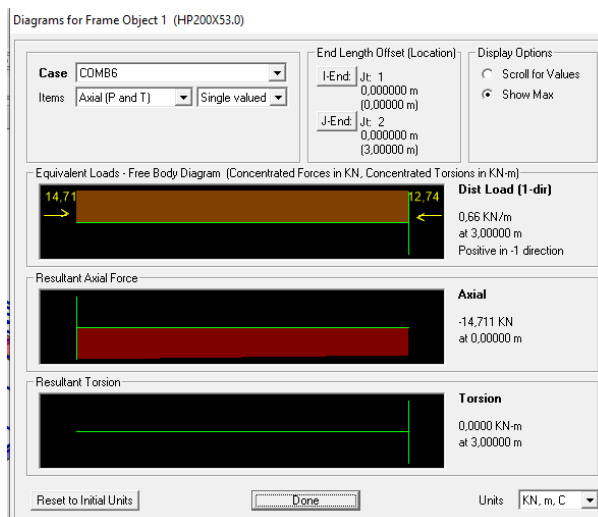
Figura 97: Diagrama 2 de esforços para colunas



Fonte: (o autor)

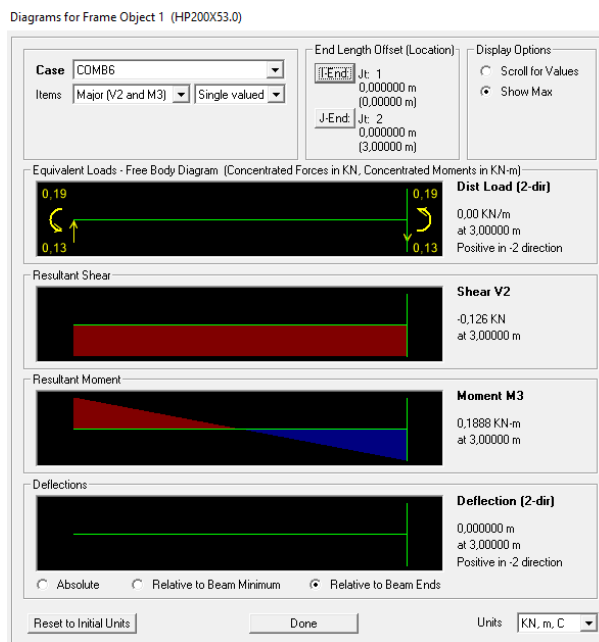
Os próximos diagramas, Figuras 98 e 99, são das 4 colunas dos cantos da estrutura. Estas colunas estão comprimidas com 14,71 KN, submetidas a força distribuída de 0,66 KN/m, momento de 0,19KN.m, cisalhamento de -0,13 KN e não está submetida à esforços de torção nem deflexão.

Figura 98: Diagrama 3 de esforços para colunas



Fonte: (o autor)

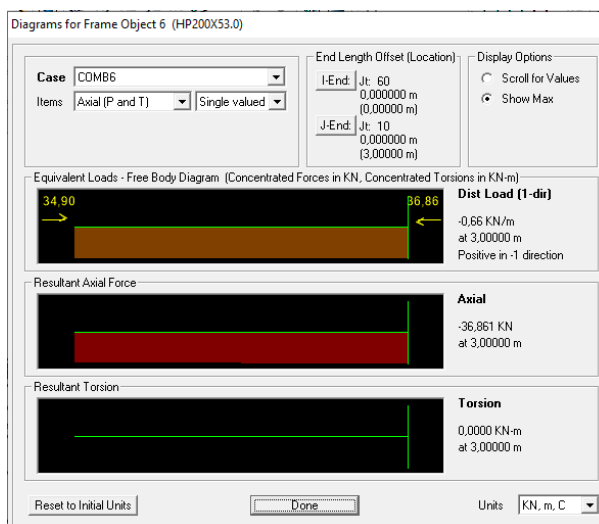
Figura 99: Diagrama 4de esforços para colunas



Fonte: (o autor)

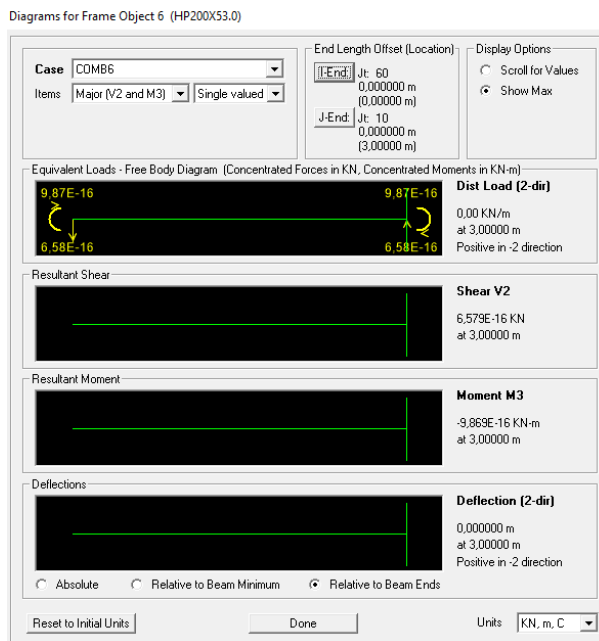
Os diagramas a seguir, nas Figuras 100 e 101, pertencem às duas colunas do meio da estrutura que estão sofrendo compressão de 36,86 KN, carga distribuída de 0,66 KN/m, nenhum esforço cisalhante, momento fletor nem deflexão.

Figura 100: Diagrama 5 de esforços para colunas



Fonte: (o autor)

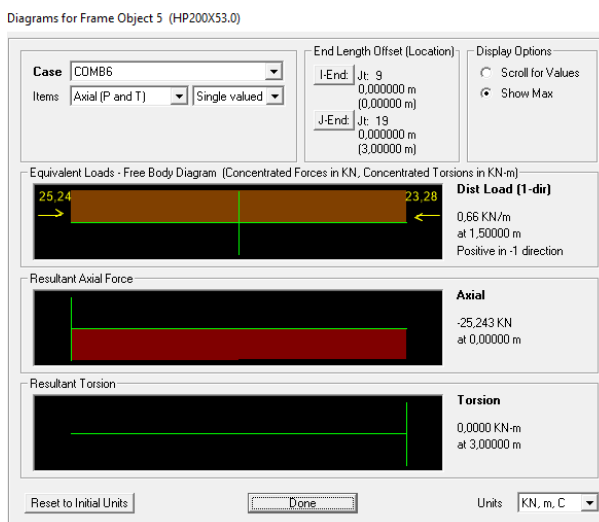
Figura 101: Diagrama 6 de esforços para colunas



Fonte: (o autor)

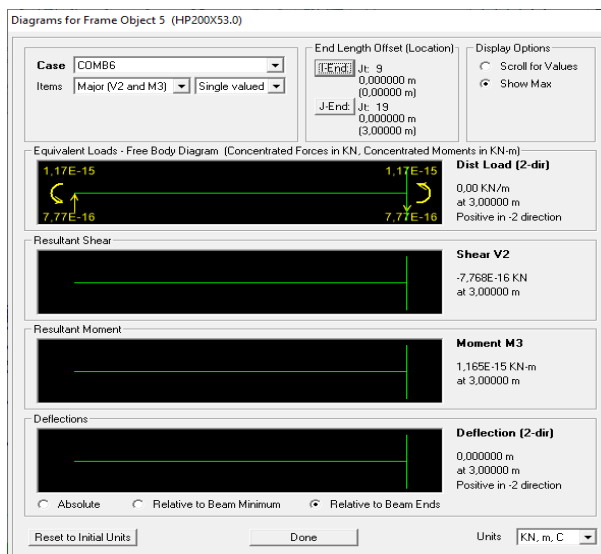
Os próximos diagramas, mostrados nas Figuras 102 e 103, pertencem às duas colunas do extremo da fileira do meio da estrutura que estão sofrendo compressão de 25,24 KN, carga distribuída de 0,66 KN/m, nenhum esforço cisalhante, momento fletor nem deflexão.

Figura 102: Diagrama 7 de esforços para colunas



Fonte: (o autor)

Figura 103: Diagrama 8 de esforços para colunas



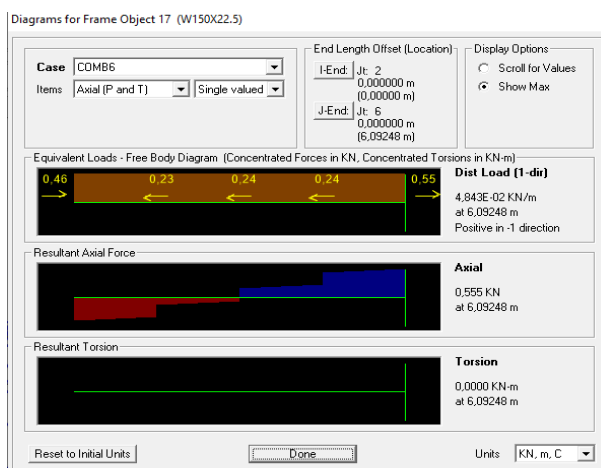
Fonte: (o autor)

As colunas mais comprimidas são as duas centrais da estrutura, no entanto o maior momento fletor está localizado no grupo de colunas centrais da esquerda e direita.

5.2 VIGAS INCLINADAS

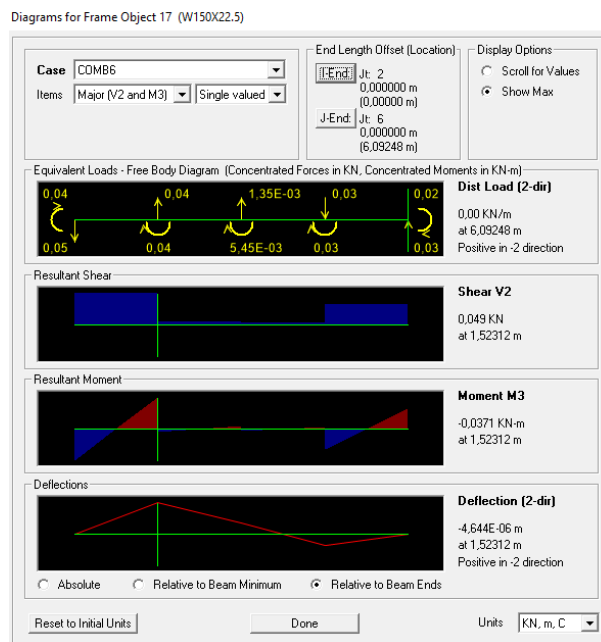
Os diagramas a seguir, ilustrados nas Figuras 104 e 105, são das vigas externas da estrutura, estas estão submetidas ao esforço de tração de 0,55 KN, carga distribuída de $4,84 \times 10^{-2}$ KN/m, momento máximo de -0,04 KN.m, esforço de cisalhamento de 0,05 KN, deflexão 0,00000464 m e não sofrem torção.

Figura 104: Diagrama 1 de esforços nas vigas inclinadas



Fonte: (o autor)

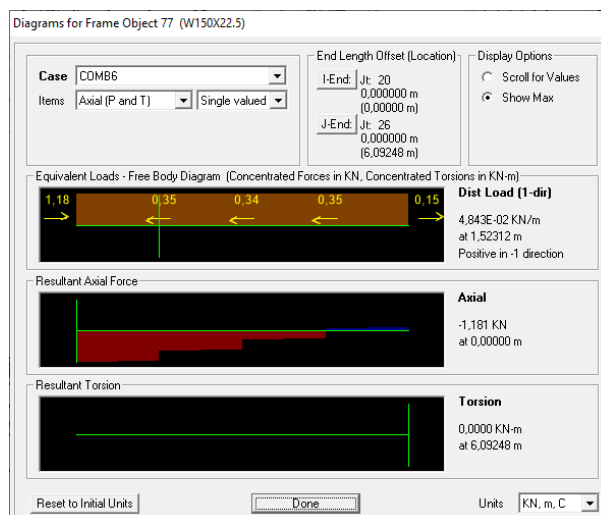
Figura 105: Diagrama 2 de esforços nas vigas inclinadas



Fonte: (o autor)

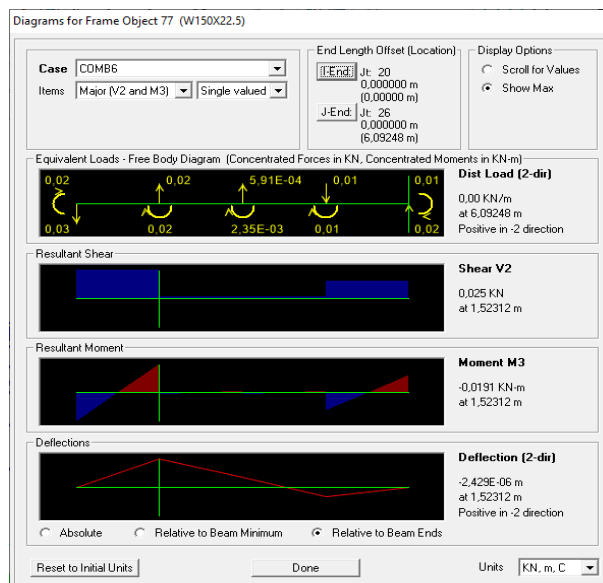
Os próximos diagramas, Figuras 106 e 107, são das vigas inclinadas do meio que sofrem compressão de 1,18 KN, carga distribuída de $4,84 \times 10^{-2}$ KN/m, momento fletor de -0,02KN.m, cisalhamento de 0,11 KN, deflexão de 0,0000024 m e não sofrem torção.

Figura 106: Diagrama 3 de esforços nas vigas inclinadas



Fonte: (o autor)

Figura 107: Diagrama 4 de esforços nas vigas inclinadas



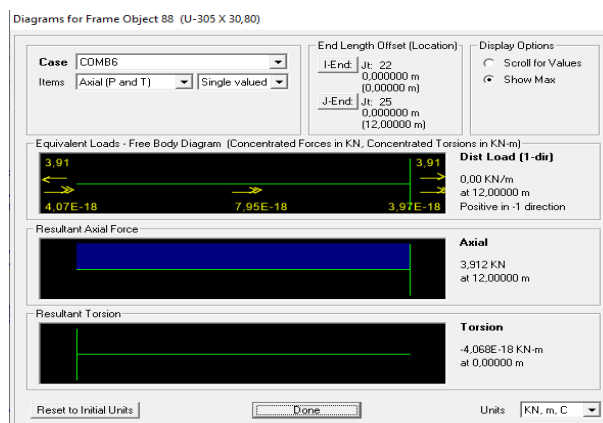
Fonte: (o autor)

As vigas inclinadas externas, sofrem mais deflexão, cisalhamento e momento fletor, enquanto a carga distribuída é igual em todas as vigas inclinadas.

5.3 VIGAS HORIZONTAIS

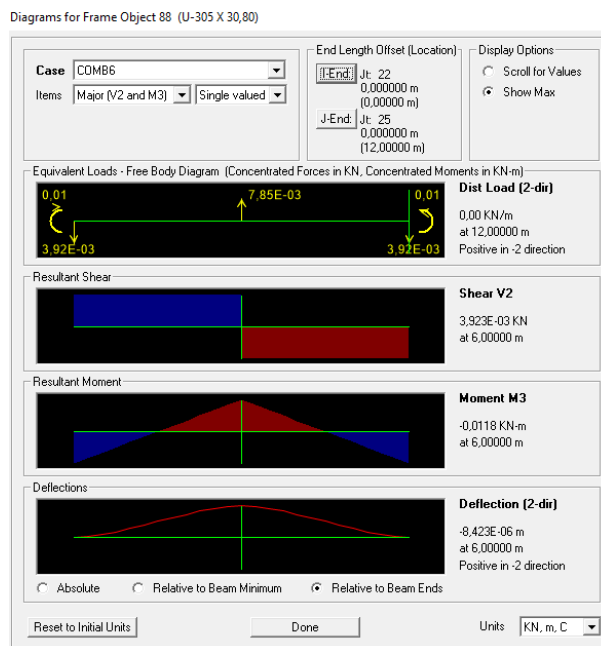
Os diagramas a seguir, nas Figuras 108 e 109, pertencem às vigas horizontais externas, estas sofrem tração de 3,91 KN, momento máximo de -0,01KN.m, cisalhamento de -0,00392 KN, deflexão de 0,0000084 m, não estão submetidas a carga distribuída nem esforço de torção.

Figura 108: Diagrama 1 de esforços nas vigas horizontais



Fonte: (o autor)

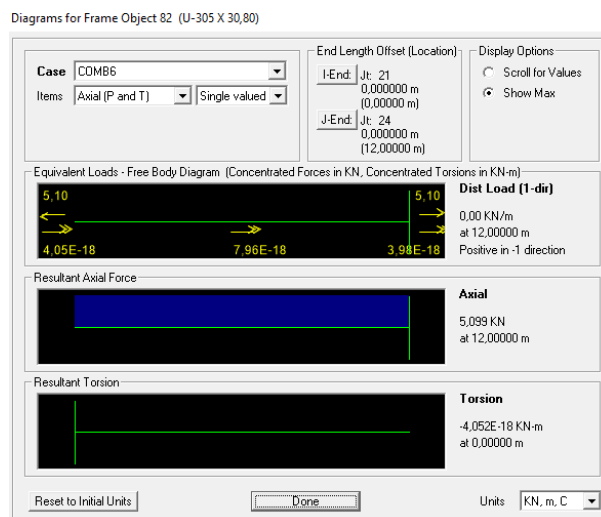
Figura 109: Diagrama 2 de esforços nas vigas horizontais



Fonte: (o autor)

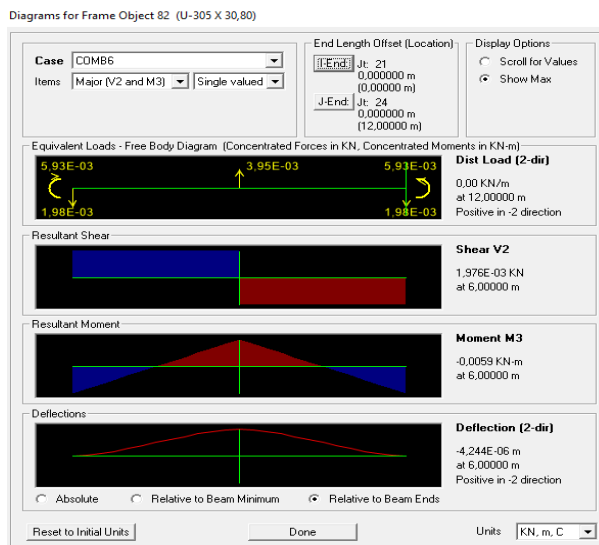
Enquanto os diagramas seguintes, Figuras 110 e 111, pertencem às vigas horizontais do meio que estão tracionadas em 5,099 KN, submetidas a momento fletor de -0,006KN.m, cisalhamento de $-1,98 \times 10^{-3}$ KN, deflexão de 0,0000042 m, não sofrem torção nem carga distribuída.

Figura 110: Diagrama 3 de esforços nas vigas horizontais



Fonte: (o autor)

Figura 111: Diagrama 4 de esforços nas vigas horizontais



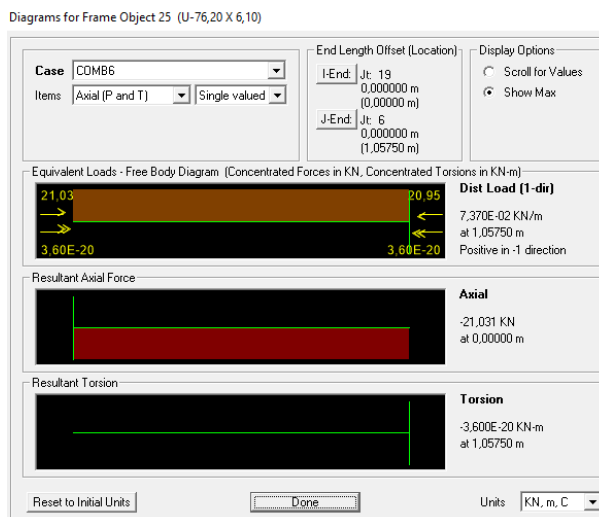
Fonte: (o autor)

As vigas horizontais do meio estão mais tracionadas que as externas, enquanto as vigas externas sofrem mais deflexão.

5.4 MONTANTES

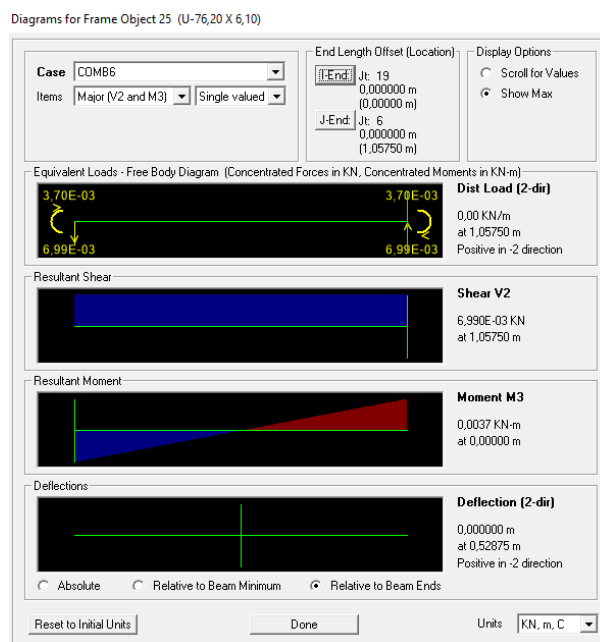
Os montantes externos estão comprimidos em 21,03 KN, com carga distribuída de $7,37 \times 10^{-2}$, momento fletor de 0,0037KN.m, cisalhamento de 0,007 KN, não sofrem torção, nem deflexão. Diagramas nas Figuras 112 e 113.

Figura 112: Diagrama 1 de esforços nos montantes



Fonte: (o autor)

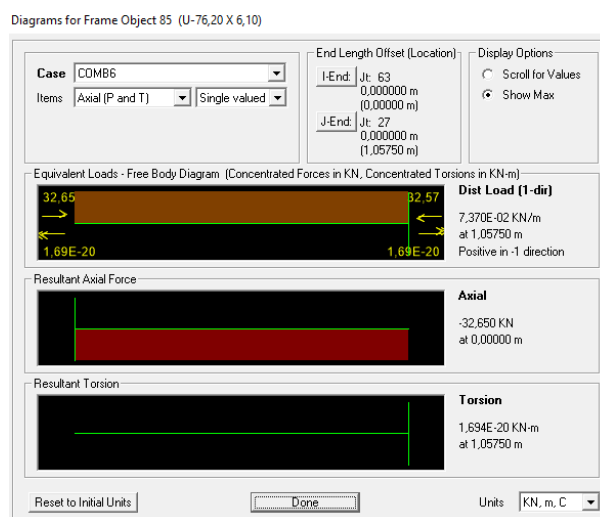
Figura 113: Diagrama 2 de esforços nos montantes



Fonte: (o autor)

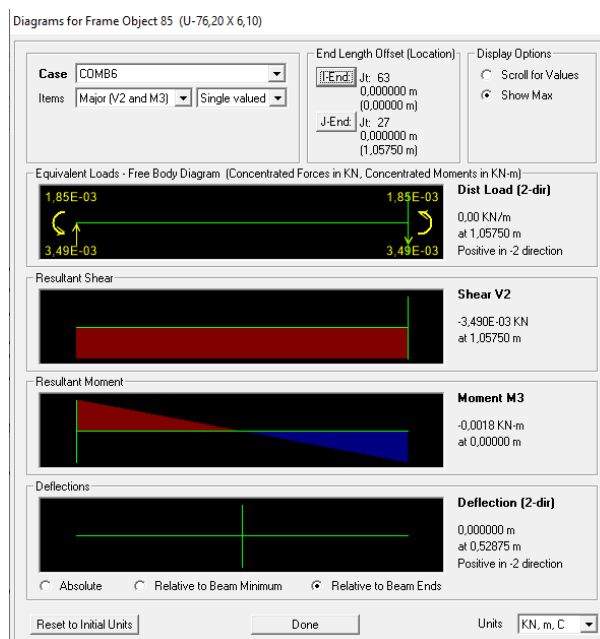
Enquanto os montantes internos estão comprimidos em 32,65 KN, com carga distribuída de $7,37 \times 10^{-2}$, momento fletor de $-0,0018 \text{KN.m}$, cisalhamento de $0,0035 \text{KN}$, não sofrem torção, nem deflexão. Os diagramas estão nas Figuras 114 e 115.

Figura 114: Diagrama 3 de esforços nos montantes



Fonte: (o autor)

Figura 115: Diagrama 4 de esforços nos montantes



Fonte: (o autor)

A partir dos resultados, observa-se que os montantes internos sofrem mais compressão, enquanto os externos estão sofrendo mais esforços de momento e cisalhamento.

5.5 TERÇAS

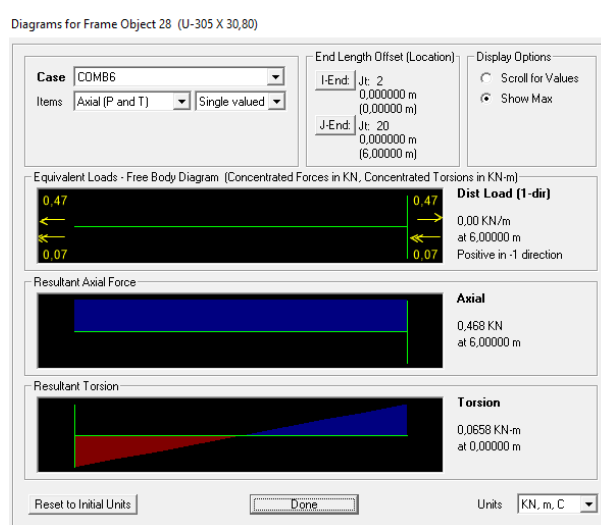
Como a estrutura é simétrica, as terças estão divididas em 10 grupos nos quais, as peças pertencentes aos respectivos grupos, possuem os mesmos esforços. O grupo 1 contém as 4 terças dos dois extremos da estrutura, enquanto o grupo 2 contém as terças da posição dois, contando a partir do extremo, dos cantos da estrutura; no grupo 3 estão as terças da posição 3, seguindo o mesmo raciocínio anterior, dos cantos; o grupo 4 inclui as terças da posição 4 dos cantos da estrutura.

No grupo 5, estão as 2 terças dos extremos centrais da estrutura, ou seja, entre os pórticos do meio; no grupo 6, as terças inseridas, são as da posição 2, contando a partir do extremo da estrutura, de ambos os lados; o grupo 7, contém as terças da posição 3, seguindo o mesmo raciocínio anterior; já no grupo 8, estão as terças da posição 4, dos dois lados da estrutura. No grupo 9, estão as terças da cumeeira dos

cantos, 2 peças ao todo, e, por fim, o grupo 4 é composto pela terça do meio da cumeeira, totalizando uma peça.

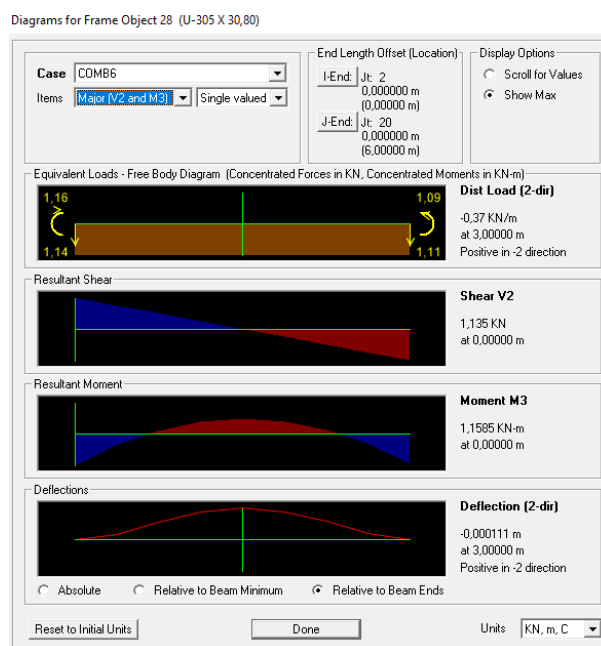
Os diagramas a seguir, nas Figuras 116 e 117, são das terças do grupo 1, sofrem tração de 0,468 KN, torção de 0,0658 KN.m, momento fletor de 1,16KN.m, cisalhamento de 1,13 KN e deflexão de 0,00011 m.

Figura 116: Diagrama 1 de esforços das terças do grupo 1



Fonte: (o autor)

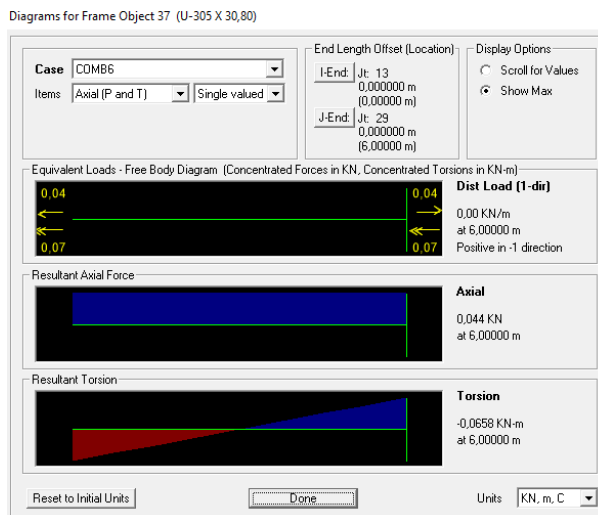
Figura 117: Diagrama 2 de esforços das terças do grupo 1



Fonte: (o autor)

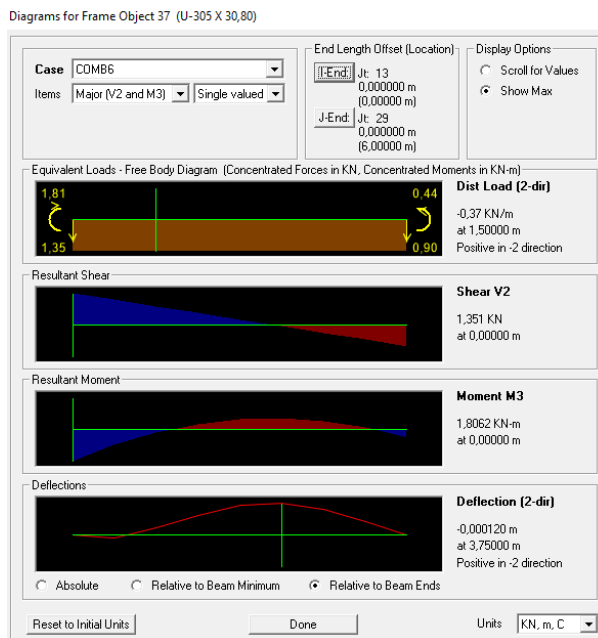
As terças do grupo 2 estão tracionadas em 0,044 KN, sofrendo torção de -0,0658 KN, momento fletor de 1,81KN.m, cisalhamento de 1,35 KN e deflexão de 0,00012 m. As Figuras 118 e 119 ilustram os diagramas.

Figura 118: Diagrama 1 de esforços das terças do grupo 2



Fonte: (o autor)

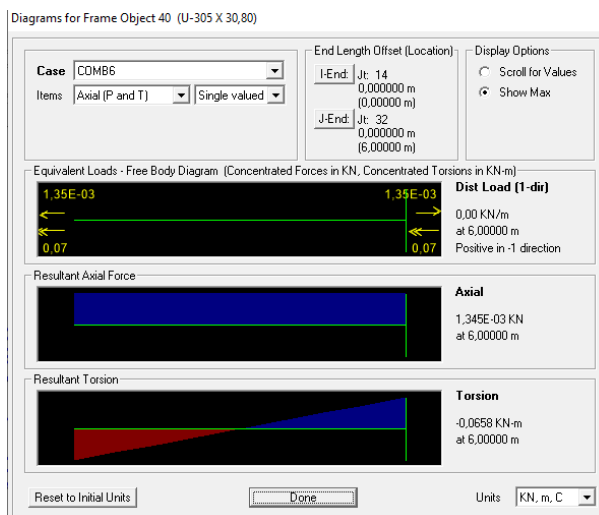
Figura 119: Diagrama 2 de esforços das terças do grupo 2



Fonte: (o autor)

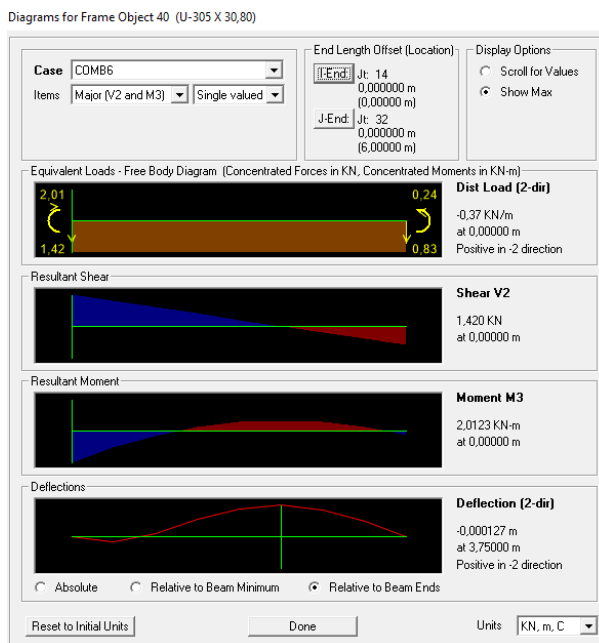
As terças do grupo 3 estão tracionadas em $1,34 \times 10^{-3}$ KN, sofrendo torção de $-0,0658$ KN, momento fletor de $2,01$ KN.m, cisalhamento de $1,42$ KN e deflexão de $0,00013$ m. Os diagramas estão ilustrados nas Figuras 120 e 121.

Figura 120: Diagrama 1 de esforços das terças do grupo 3



Fonte: (o autor)

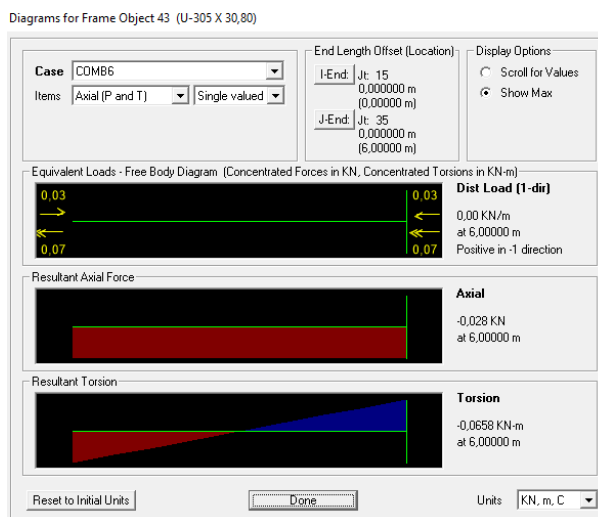
Figura 121: Diagrama 2 de esforços das terças do grupo 3



Fonte: (o autor)

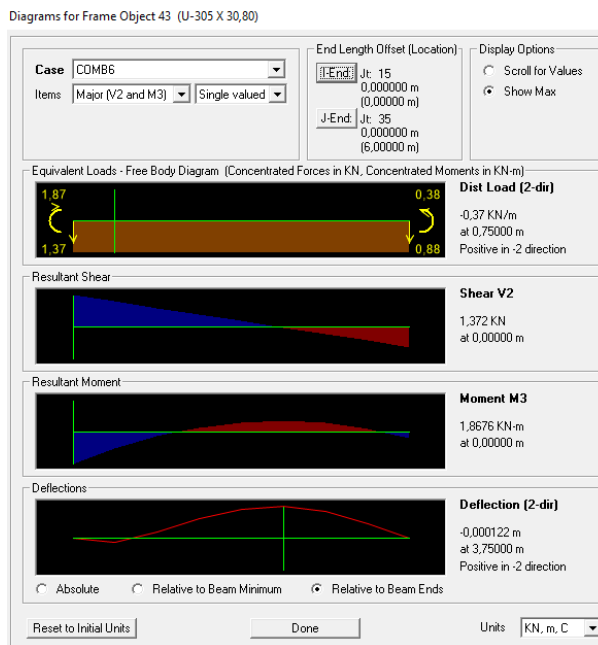
As terças do grupo 4 estão comprimidas em 0,028 KN, sofrendo torção de -0,0658 KN, momento fletor de 1,87KN.m, cisalhamento de 1,37 KN e deflexão de 0,00012m. Os diagramas estão apresentados nas Figuras 122 e 123.

Figura 122: Diagrama 1 de esforços das terças do grupo 4



Fonte: (o autor)

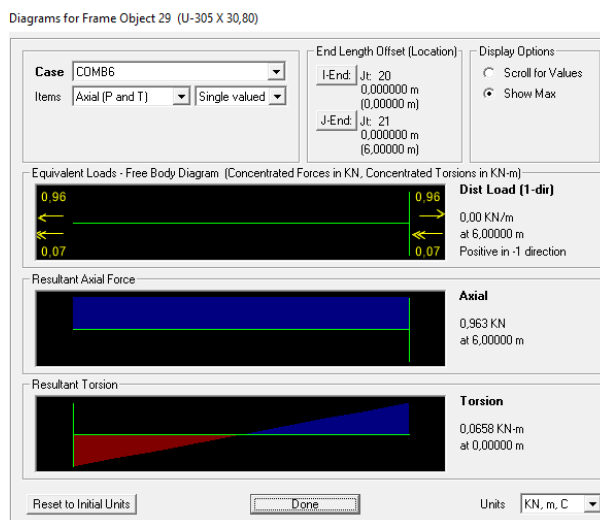
Figura 123: Diagrama 2 de esforços das terças do grupo 4



Fonte: (o autor)

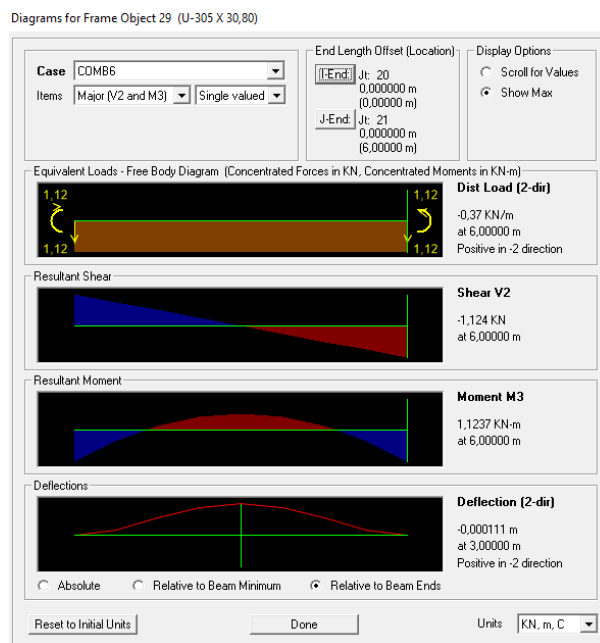
Os diagramas a seguir são das terças do grupo 5, estas sofrem tração de 0,963 KN, torção de 0,0658 KN.m, momento fletor de 1,12KN.m, cisalhamento de -1,12 KN e deflexão de 0,00011 m. Os diagramas são mostrados nas Figuras 124 e 125.

Figura 124: Diagrama 1 de esforços das terças do grupo 5



Fonte: (o autor)

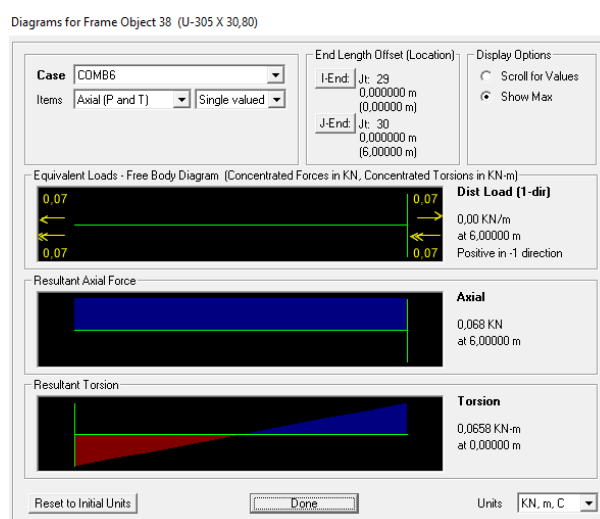
Figura 125: Diagrama 2 de esforços das terças do grupo 5



Fonte: (o autor)

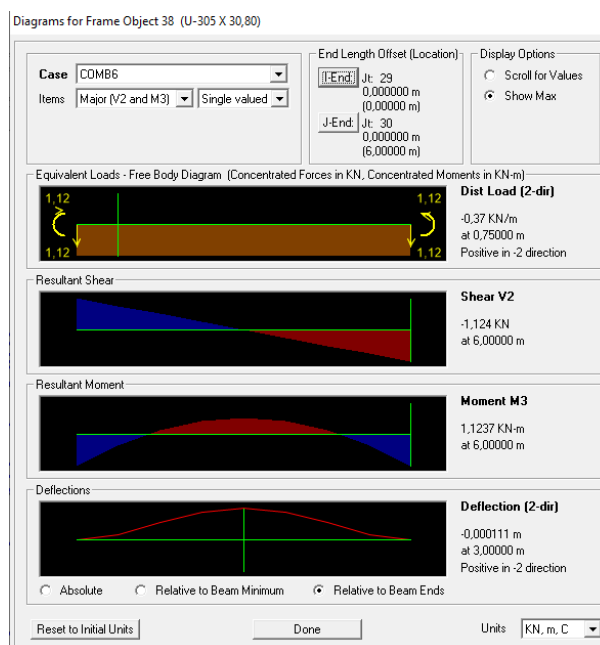
Os próximos diagramas, Figuras 126 e 127, pertencem às terças do grupo 6, que sofrem tração de 0,068 KN, torção de 0,0658 KN.m, momento fletor de 1,12 KN.m, cisalhamento de -1,12 KN e deflexão de 0,00011 m.

Figura 126: Diagrama 1 de esforços das terças do grupo 6



Fonte: (o autor)

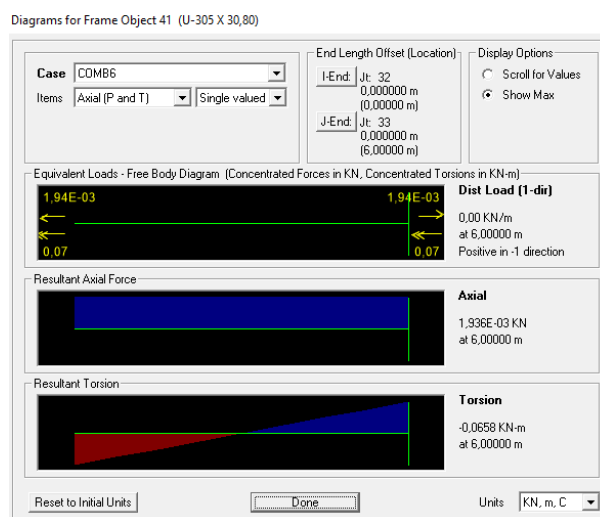
Figura 127: Diagrama 2 de esforços das terças do grupo 6



Fonte: (o autor)

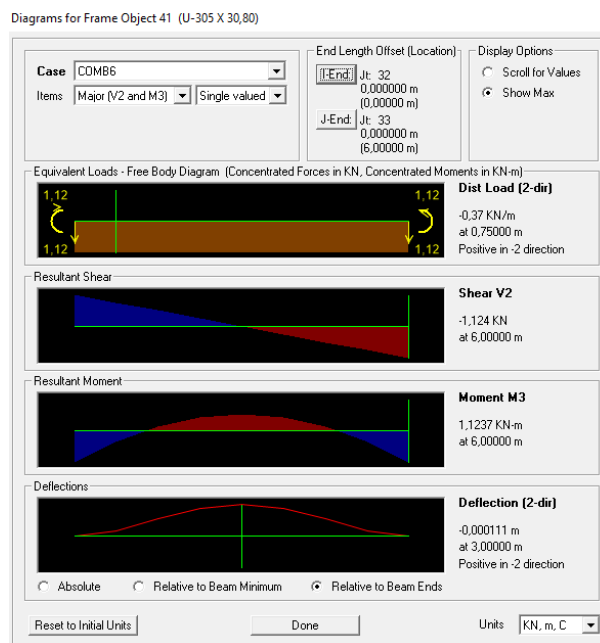
Os diagramas a seguir, Figuras 128 e 129, são das terças do grupo 7, que sofrem tração de 0,002 KN, torção de -0,0658 KN.m, momento fletor de 1,12 KN.m, cisalhamento de -1,12 KN e deflexão de 0,00011 m.

Figura 128: Diagrama 1 de esforços das terças do grupo 7



Fonte: (o autor)

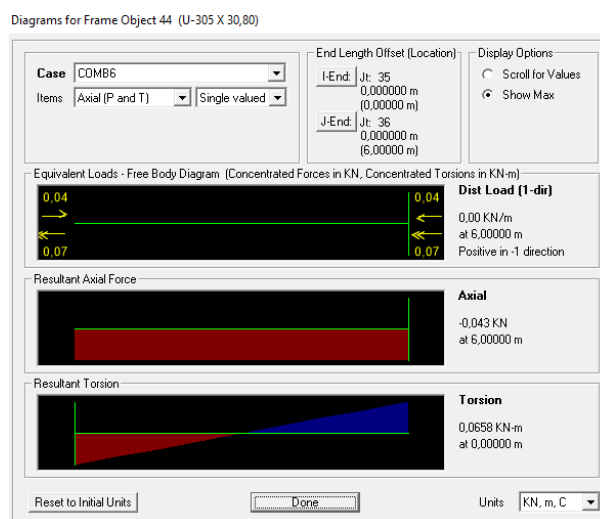
Figura 129: Diagrama 2 de esforços das terças do grupo 7



Fonte: (o autor)

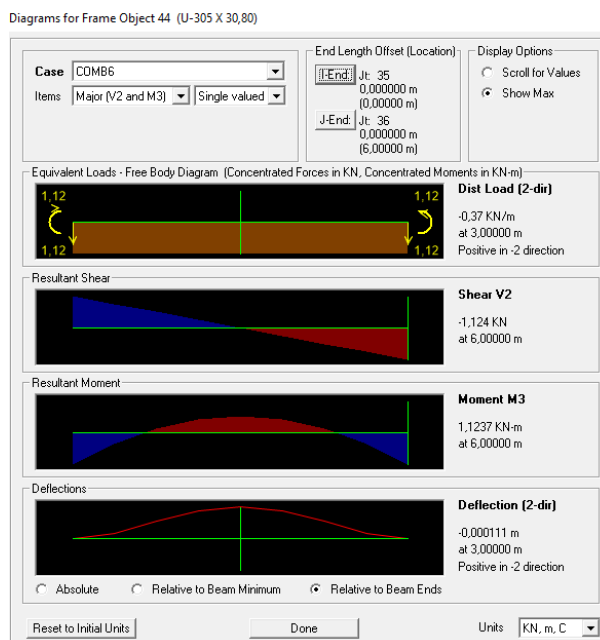
Os próximos diagramas, Figura 130 e 131, pertencem às terças do grupo 8, que sofrem compressão de 0,043 KN, torção de 0,0658 KN.m, momento fletor de 1,12 KN.m, cisalhamento de -1,12 KN e deflexão de 0,00011 m.

Figura 130: Diagrama 1 de esforços das terças do grupo 8



Fonte: (o autor)

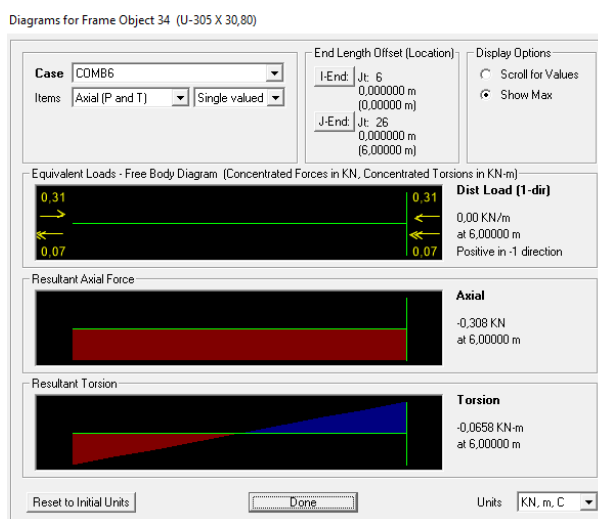
Figura 131: Diagrama 2 de esforços das terças do grupo 8



Fonte: (o autor)

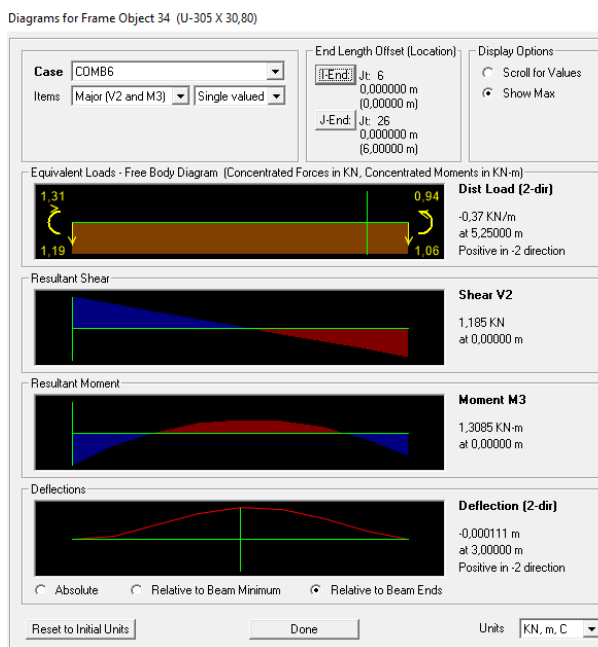
Já os diagramas a seguir, Figuras 132 e 133, são das terças do grupo 9, que sofrem compressão de 0,308 KN, torção de -0,0658 KN.m, momento fletor de 1,31 KN.m, cisalhamento de 1,18 KN e deflexão de 0,00011 m.

Figura 132: Diagrama 1 de esforços das terças do grupo 9



Fonte: (o autor)

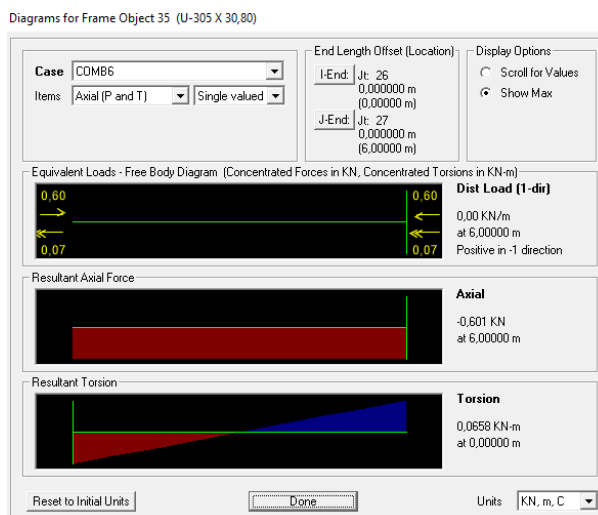
Figura 133: Diagrama 2 de esforços das terças do grupo 9



Fonte: (o autor)

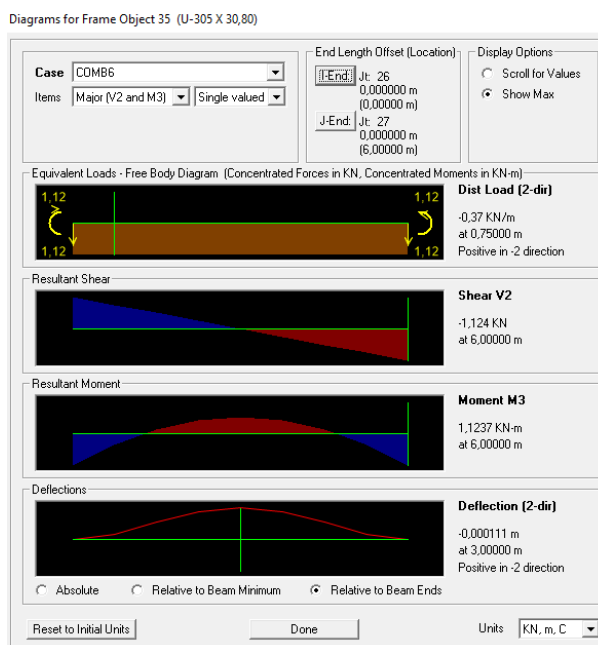
Por fim, os diagramas a seguir, Figura 134 e 135, pertencem às terças do grupo 10, que sofrem compressão de 0,601 KN, torção de 0,0658 KN.m, momento fletor de 1,12 KN.m, cisalhamento de -1,12 KN e deflexão de 0,00011 m.

Figura 134: Diagrama 1 de esforços das terças do grupo 10



Fonte: (o autor)

Figura 135: Diagrama 2 de esforços das terças do grupo 10



Fonte: (o autor)

Nota-se que todas as terças sofrem o mesmo esforço de torção, enquanto as terças do grupo 5 são as que estão mais tracionadas.

6. CONCLUSÃO

O presente trabalho se mostrou de grande importância para alunos e engenheiros que buscam por bibliografia em português para auxiliar o uso do SAP 2000 pois destaca a importância de ter os conhecimentos básicos de cálculo estrutural e do funcionamento do programa para que sejam evitados resultados equivocados.

O SAP 2000 v.16 pode ser uma ferramenta valiosa para auxiliar projetos de engenharia de forma confiável e segura. Proporciona resultados detalhados de cada barra estudada, além de realizar o dimensionamento estrutural dos elementos a partir dos dados inseridos corretamente, apresentando a análise de cada elemento para que o usuário defina se a escolha do perfil é coerente.

No entanto, é primordial ter os conhecimentos básicos de engenharia para ler os resultados gerados pelo programa e analisar a coerência e adequação de cada um. Neste trabalho, inicialmente fez-se cálculos analíticos para verificar a estabilidade dos perfis escolhidos, nessa etapa, foi necessário fazer alterações de perfis que não correspondiam à estabilidade requerida, além de mudanças na geometria da estrutura para evitar flambagem dos perfis pré-dimensionados pelo programa. Somente após verificar a estabilidade dos perfis, é possível inseri-los no SAP 2000 para que sejam analisados.

Além disto, é preciso conhecer o funcionamento do software e o modo correto de inserção dos dados, para que seja feita a análise correta das cargas incidentes em cada barra, caso contrário, os resultados gerados não serão a representação fidedigna da realidade da estrutura, levando a conclusões precipitadas dos dados apresentados.

Inserir perfis sem as adequadas verificações prévias, é negligenciar a segurança da estrutura, por isto, o programa deve ser manuseado por profissionais com os devidos conhecimentos da área e do funcionamento do programa. Este software, assim como os demais programas de análise estrutural e/ou dimensionamento, são ferramentas importantes, no entanto, precisam ser executados por pessoas capacitadas para tal, pois trata-se de estruturas que servirão de abrigo para cargas, pessoas e materiais, logo, a segurança é prioritária para o projeto.

6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Sugere-se para o desenvolvimento de futuros trabalho:

- Comparar os resultados dos cálculos analíticos com os resultados oferecidos pelo SAP 2000;
- Otimizar os resultados ofertados pelo software;
- Analisar estruturas de galpões mais complexos, com estruturas treliçadas, por exemplo;
- Comparar, economicamente, os resultados ofertados pelo SAP 2000 e outro software de dimensionamento;
- Realizar o dimensionamento de uma estrutural completamente pelo programa e fazer a análise dos perfis selecionados quanto a flambagem.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 6123:1988 – **Forças devidas ao vento em edificações.**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 8681:2004 – **Ações e segurança nas estruturas - Procedimento.**

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

FAKURY, R.; CASTRO E SILVA, A.; CALDAS, R. **Dimensionamento de elementos estruturais de aço e mistos de aço e concreto.** 1. Ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2016.

MORAIS, Leonardo da Rocha. **Análise estrutural de passarela de pedestre através da ferramenta sap 2000.** Centro universitário de Brasília, faculdade de tecnologia e ciências sociais aplicadas, programa de iniciação científica, Brasília, 2016.

PANNONI, Fabio Domingos. **Aços estruturais.** Artigo técnico, disponível em [http://www.acominas.com.br/upload/produtos/perfis/caracteristicatecnicapf/artigostecni cos/geral_1. pdf](http://www.acominas.com.br/upload/produtos/perfis/caracteristicatecnicapf/artigostecni%20cos/geral_1.pdf). Açominas, 2001.

PINHEIRO, Antonio Carlos da Fonseca Bragança. **Estruturas metálicas: cálculo, detalhes, exercícios e projetos.** Editora Blucher, 2005.

SANTANA, Clebson Batista. **Análise Estrutural E Avaliação Da Segurança De Um Galpão Metálico De Acordo Com ABNT BNR 8800: 2008.** 2018.

ANEXO A – TABELAS DE PERFIL E TELHA

Tabela A 1: Perfil I Gerdau

TABELA DE BITOLAS

BITOLA mm x kg/m	Massa Linear kg/m	d mm	ESPESURA				d' mm	Área cm ²	EIXO X - X				EIXO Y - Y				ESBELTEZ			BITOLA in x lb/ft			
			t ₁ mm	t ₂ mm	t ₃ mm	t ₄ mm			I _x cm ⁴	W _x cm	r _x cm	Z _x cm	I _y cm ⁴	W _y cm	r _y cm	Z _y cm	r _{cm}	l	MESA b / ft		ALMA d / ft	c _g cm	u m / ft
W150 x 13,0	13,0	148	100	13	4,9	138	118	16,6	635	85,8	6,18	96,4	82	10,4	2,22	25,5	2,50	1,72	10,20	27,49	4,181	0,67	W 6 x 8,5
W150 x 18,0	18,0	163	102	8,2	7,1	139	119	23,4	939	222,8	8,34	139,4	192	24,7	2,32	38,5	2,60	4,34	7,15	20,48	6,993	0,99	W 6 x 12
W150 x 22,5 (H)	22,5	152	152	5,8	6,6	139	119	29,0	1.229	161,7	6,51	179,8	387	50,9	3,55	77,9	4,10	4,75	11,52	20,48	20,417	0,88	W 6 x 15
W150 x 24,0	24,0	160	102	8,6	10,3	139	119	31,5	1.364	173,0	6,63	197,8	183	35,9	2,41	55,8	2,73	11,08	4,95	17,48	10,208	0,89	W 6 x 16
W150 x 29,8 (H)	29,8	157	153	6,6	9,3	138	118	38,5	1.739	221,5	6,72	247,5	556	72,6	3,80	110,8	4,18	10,95	8,23	17,94	30,277	0,90	W 6 x 20
W150 x 37,1 (H)	37,1	162	154	8,1	11,6	139	119	47,8	2.244	277,0	6,85	315,5	707	81,8	3,84	140,4	4,22	20,58	6,64	14,87	39,930	0,91	W 6 x 25
W200 x 15,0	15,0	200	100	4,3	5,2	190	170	19,4	1.305	130,5	8,20	147,9	87	17,4	2,12	27,3	2,55	2,05	9,62	30,44	8,222	0,77	W 8 x 10
W200 x 19,3	19,3	203	102	5,8	6,9	190	170	25,1	1.688	166,1	8,19	190,6	116	22,7	2,14	35,9	2,56	4,02	7,85	29,31	11,098	0,79	W 8 x 13
W200 x 22,5	22,5	206	102	6,2	8,0	190	170	29,0	2.029	197,0	8,37	225,5	142	27,9	2,22	43,9	2,63	6,18	6,38	27,42	13,868	0,79	W 8 x 15
W200 x 26,8	26,8	207	133	5,8	8,4	190	170	34,2	2.611	252,3	8,73	282,3	330	49,8	3,10	76,3	3,54	7,85	7,92	29,34	32,477	0,82	W 8 x 18
W200 x 31,3	31,3	210	134	6,4	10,2	190	170	40,3	3.166	301,7	8,86	338,6	410	61,2	3,19	94,0	3,60	12,59	6,57	26,50	40,822	0,83	W 8 x 21
W200 x 35,9 (H)	35,9	201	165	6,2	10,2	181	161	45,7	3.437	342,0	8,67	379,2	794	92,6	4,09	141,0	4,50	14,51	8,09	25,90	49,502	1,03	W 8 x 24
W200 x 41,7 (H)	41,7	205	168	7,2	11,8	181	157	53,5	4.114	401,4	8,77	448,6	901	108,5	4,10	165,7	4,53	23,19	7,03	21,86	53,948	1,04	W 8 x 28
W200 x 46,1 (H)	46,1	203	203	7,2	11,0	181	161	58,8	4.543	447,6	8,81	495,3	1.335	151,2	5,12	226,5	5,58	22,01	9,23	22,36	141,342	1,19	W 8 x 31
W200 x 52,0 (H)	52,0	206	204	7,9	12,6	181	157	66,9	5.298	514,4	8,90	572,5	1.784	174,9	5,16	285,5	5,61	33,34	8,10	19,85	166,710	1,19	W 8 x 35
HP 200 x 53,0 (H)	53,0	204	207	11,3	11,3	181	161	68,1	4.977	498,0	8,85	551,3	1.673	161,7	4,98	248,6	5,57	31,93	9,16	14,28	155,075	1,20	HP 8 x 36
W200 x 59,0 (H)	59,0	210	205	9,1	14,2	182	158	78,0	6.140	584,8	8,99	655,5	2.041	199,1	5,18	303,0	5,94	47,69	7,22	17,22	185,418	1,20	W 8 x 40
W200 x 71,0 (H)	71,0	216	206	10,2	17,4	181	161	91,0	7.860	709,2	9,17	803,2	2.537	246,3	5,28	374,5	5,70	61,86	5,92	15,80	249,878	1,22	W 8 x 48
W200 x 86,0 (H)	86,0	222	209	13,0	20,6	181	157	110,9	9.498	855,7	9,28	984,2	3.139	300,4	5,32	458,7	5,77	142,19	5,07	12,06	317,844	1,23	W 8 x 58
W250 x 17,8	17,8	251	101	4,8	5,3	240	220	23,1	2.291	182,6	9,96	210,9	91	18,1	1,99	28,8	2,48	2,54	9,53	45,82	13,735	0,88	W 10 x 12
W250 x 22,3	22,3	254	102	5,8	6,9	240	220	28,9	2.939	231,4	10,09	267,7	123	24,1	2,06	38,4	2,54	4,77	7,39	37,97	18,629	0,89	W 10 x 15
W250 x 25,3	25,3	257	102	6,1	8,4	240	220	32,6	3.473	270,2	10,31	311,1	149	29,3	2,14	46,4	2,58	7,08	6,07	36,10	22,955	0,89	W 10 x 17
W250 x 28,4	28,4	260	102	6,4	10,0	240	220	36,6	4.046	311,2	10,51	357,3	178	34,8	2,20	54,9	2,62	10,34	5,10	34,38	27,636	0,90	W 10 x 19
W250 x 32,7	32,7	258	146	6,1	9,1	240	220	42,1	4.937	392,7	10,83	428,5	473	64,8	3,35	99,7	3,86	10,44	8,02	36,03	73,104	1,07	W 10 x 22
W250 x 38,5	38,5	262	147	6,6	11,2	240	220	48,6	6.057	462,4	11,05	517,8	594	80,8	3,46	124,1	3,93	17,83	6,56	33,27	93,242	1,08	W 10 x 26
W250 x 44,8	44,8	266	148	7,8	13,0	240	220	57,6	7.158	538,2	11,15	606,3	704	95,1	3,50	146,4	3,96	27,14	5,89	28,85	112,598	1,08	W 10 x 30
HP 250 x 62,0 (H)	62,0	246	256	10,5	10,7	225	201	70,8	8.728	709,6	10,47	790,5	2.995	234,0	6,13	357,8	6,89	33,48	11,96	18,10	417,130	1,47	HP 10 x 42
W250 x 73,0 (H)	73,0	253	254	8,6	14,2	225	201	92,7	11.257	898,9	11,02	983,3	3.880	305,5	6,47	483,1	7,01	56,94	9,84	23,33	352,900	1,48	W 10 x 48
W250 x 80,0 (H)	80,0	256	255	9,4	15,6	225	201	101,9	12.550	980,5	11,10	1.088,7	4.313	338,3	6,51	513,1	7,04	75,02	8,17	21,36	622,878	1,49	W 10 x 54
HP 250 x 85,0 (H)	85,0	254	260	14,4	14,4	225	201	108,5	12.280	966,9	10,64	1.093,2	4.225	325,0	6,24	499,8	7,00	82,07	9,03	13,97	605,403	1,50	HP 10 x 57
W250 x 89,0 (H)	89,0	260	256	10,7	17,3	225	201	113,9	14.237	1.095,1	11,18	1.224,4	4.841	378,2	6,52	574,3	7,06	102,81	7,40	18,82	712,351	1,50	W 10 x 60
W250 x 101,0 (H)	101,0	264	257	11,9	19,8	225	201	128,7	16.352	1.238,8	11,27	1.395,0	5.549	431,8	6,57	666,3	7,10	147,70	6,56	16,87	828,031	1,51	W 10 x 68
W250 x 115,0 (H)	115,0	269	259	13,5	22,1	225	201	146,1	18.920	1.406,7	11,38	1.597,4	6.405	494,6	6,62	752,7	7,16	212,00	5,86	14,87	975,265	1,53	W 10 x 77
W310 x 21,0	21,0	303	101	5,1	5,7	292	272	27,2	3.776	249,2	11,77	291,9	98	19,5	1,90	31,4	2,42	3,27	8,86	53,25	26,228	0,98	W 12 x 14
W310 x 23,8	23,8	305	101	5,6	6,7	292	272	30,7	4.346	285,0	11,89	333,2	116	22,9	1,94	36,9	2,45	4,65	7,54	48,50	25,594	0,99	W 12 x 16
W310 x 28,3	28,3	309	102	6,0	8,9	291	271	36,5	5.500	395,0	12,28	412,0	158	31,0	2,08	49,4	2,55	8,14	5,73	45,20	35,441	1,00	W 12 x 19
W310 x 32,7	32,7	313	102	6,5	10,8	291	271	42,1	6.570	419,8	12,49	495,3	192	37,6	2,13	59,8	2,58	12,81	6,12	43,912	50,000	1,00	W 12 x 22
W310 x 38,7	38,7	310	168	5,8	9,7	291	271	49,7	8.581	553,6	13,14	618,4	277	48,1	2,82	134,9	4,38	13,20	8,51	46,86	163,728	1,25	W 12 x 26
W310 x 44,5	44,5	313	168	6,8	11,2	291	271	57,2	9.957	638,8	13,22	712,8	358	55,0	3,07	158,0	4,41	19,90	4,71	41,00	194,433	1,25	W 12 x 30
W310 x 52,0	52,0	317	167	7,8	13,2	291	271	67,0	11.809	751,4	13,33	842,5	462	62,9	3,21	188,8	4,45	31,81	6,33	35,61	236,422	1,27	W 12 x 35
HP 310 x 79,0 (H)	79,0	299	306	11,0	11,0	277	245	100,0	16.316	1.091,3	12,77	1.210,1	5.258	343,7	7,25	525,4	8,20	46,72	13,91	22,27	1.089,258	1,77	HP 12 x 53
HP 310 x 93,0 (H)	93,0	303	308	13,1	13,1	277	245	116,2	19.882	1.299,1	12,85	1.450,3	6.387	414,7	7,32	555,5	8,26	77,33	11,76	18,69	1.340,320	1,78	HP 12 x 63
W310 x 97,0 (H)	97,0	308	305	9,9	15,4	277	245	123,6	22.284	1.447,0	13,43	1.594,2	7.286	477,8	7,88	725,0	8,38	92,12	9,90	24,72	1.558,682	1,79	W 12 x 65
W310 x 107,0 (H)	107,0	311	306	10,9	17,0	277	245	136,4	24.839	1.597,3	13,49	1.768,2	8.123	530,9	7,72	806,1	8,41	122,86	9,00	22,48	1.754,271	1,80	W 12 x 72
HP 310 x 110,0 (H)	110,0	308	310	15,4	15,5	277	245	141,0	23.703	1.536,1	12,97	1.730,6	7.707	497,3	7,39	763,7	8,33	125,86	10,00	15,91	1.646,104	1,80	HP 12 x 74
W310 x 117,0 (H)	117,0	314	307	11,9	18,7	277	245	148,9	27.563	1.755,6	13,56	1.952,9	9.024	587,9	7,76	893,1	8,44	161,81	8,21	20,55	1.985,950	1,80	W 12 x 79
HP 310 x 125,0 (H)	125,0	312	312	17,4	17,4	277	245	159,9	27.076	1.735,6	13,05	1.963,3	8.823	565,6	7,45	870,6	8,38	177,98	8,97	14,09	1.911,029	1,81	HP 12 x 84
W360 x 29,8	29,8	348	127	6,8	8,5	332	308	42,1	8.366	479,0	14,09	547,8	291	45,9	2,83	72,0	3,20	9,15	7,47	53,10	84,111	1,17	W 14 x 22
W360 x 39,0	39,0	353	128	8,5	10,7	332	308	50,2	10.331	585,3	14,35	657,7	375	59,6	2,73	91,9	3,27	15,83	5,96	47,32	154,551	1,17	W 14 x 26
W360 x 44,8	44,8	352	127	6,9	9,8	332	308	57,7</															

Tabela A 2: Perfil U Gerdau



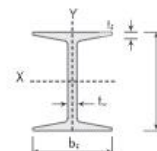
Com formato tradicional de abas inclinadas, os Perfis I e U são ideais para aplicações que exijam maior resistência e robustez, como por exemplo, em componentes de base de máquinas.

Produzidos normalmente em aço ASTM A36, podem também ser fabricados em ASTM A572 ou ASTM A588 sob encomenda.

Aplicados em monovias, vigamentos, escoramentos, estruturas de sustentação, guias, equipamentos de transporte e chassis de ônibus e caminhões e, ainda, em máquinas e implementos agrícolas.

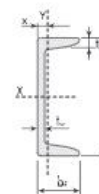
PERFIL I GERDAU

Bibola	Peco	ALMA				MESA		EIXO X				EIXO Y			
		Nominal	d	t _w	b ₂	t _f	area	I	W	r	I	W	r	r _t	
pol	kg/m	mm	mm	mm	mm	mm ²	cm ⁴	cm ³	cm	cm ⁴	cm ³	cm	cm ⁴	cm ³	cm
2"	5,45	76,20	4,32	55,18	6,60	10,30	105,10	27,60	3,12	19,90	6,40	1,33	1,45		
	5,68	76,20	5,38	61,24	6,60	12,32	116,00	30,18	3,06	45,60	11,48	1,92	1,96		
4"	11,45	101,60	4,90	67,60	7,44	14,60	252,00	49,70	4,17	31,70	9,40	1,48	1,66		
	12,65	101,60	6,43	59,20	7,44	16,11	266,00	52,40	4,06	34,30	5,90	1,46	1,63		
6"	14,83	127,00	5,44	75,30	8,28	19,80	511,00	80,40	5,21	50,20	13,20	1,63	1,88		
	16,24	127,00	6,81	79,70	8,28	23,24	570,00	89,60	4,96	59,60	14,70	1,69	1,92		
8"	19,60	152,40	5,69	84,63	9,12	23,60	919,00	120,60	6,24	75,70	17,90	1,79	2,08		
	22,00	152,40	6,71	87,80	9,12	27,97	1003,00	131,70	6,99	84,90	19,40	1,74	2,26		



PERFIL U GERDAU

Bibola	Peco	ALMA				ABA		EIXO X				EIXO Y			
		Nominal	d	t _w	b ₂	t _f	area	I	W	r	I	W	r	x	
pol	kg/m	mm	mm	mm	mm	mm	mm ²	cm ⁴	cm ³	cm	cm ⁴	cm ³	cm	cm	
2"	6,10	76,20	4,32	35,81	6,53	7,78	68,90	18,10	2,98	8,20	2,32	1,03	1,11		
	7,44	76,20	5,55	35,05	6,53	9,48	77,60	20,30	2,65	10,30	3,22	1,04	1,11		
4"	9,04	101,60	4,67	40,23	7,52	10,10	159,80	31,40	3,67	13,10	4,61	1,14	1,16		
	9,30	101,60	6,27	41,93	7,52	11,90	174,40	34,20	3,24	15,50	5,10	1,14	1,16		
6"	12,20	127,00	5,08	48,77	8,71	16,80	346,00	71,70	5,94	29,20	8,15	1,30	1,30		
	15,62	127,00	7,98	51,66	8,71	19,90	432,00	82,90	5,63	36,00	9,24	1,34	1,27		
8"	17,10	152,40	5,59	57,40	9,50	21,68	544,30	132,70	7,67	54,10	12,94	1,42	1,47		
	20,90	152,40	7,70	59,81	9,50	26,93	619,00	147,60	7,69	62,40	14,09	1,42	1,42		
10"	22,77	177,80	6,10	66,04	11,10	28,00	800,00	221,00	9,94	95,00	19,00	1,61	1,61		
	28,76	177,80	9,63	69,97	11,10	37,90	1020,00	269,00	9,31	117,00	21,60	1,76	1,64		
12"	30,80	203,20	7,20	74,00	12,70	38,30	1370,00	362,00	11,70	161,00	28,30	2,03	1,77		
	37,00	203,20	9,80	77,00	12,70	47,40	1610,00	394,00	11,30	186,00	30,90	1,98	1,71		



OBS.: Todos os pesos e dimensões constantes desses tabelas são nominais, podendo apresentar diferenças de acordo com as tolerâncias estabelecidas nas especificações ou em norma. As barras são fornecidas com tolerância de comprimento -0/+10 cm.



Fonte: (Gerdau)

Tabela A 3: Informativo técnico telhas

INFORMATIVO TÉCNICO

Inf.034.18-R00

Sobrecargas admissíveis - Telha Trapezoidal RT40/980

Desenho técnico	0.040.098.00
Inclinação mínima sugerida	10%
O espaçamento médio entre terças de	1.800mm
Aplicações	Cobertura, fachada e fechamentos laterais



CARACTERÍSTICAS DO PERFIL / PESO Galvalume®/Zincalume®

Espeçura Chapa [mm]	0,43	0,50	0,65	0,80
Peso Galvalume [kg/m]	3,87	4,50	5,85	7,20
Peso Galvalume [kg/m²]	3,94	4,59	5,96	7,34
Momento de Inércia [cm⁴/m]	10,53	12,25	15,93	19,62
Modulo de Resistência [cm³/m]	4,77	5,54	7,18	8,82

MEDIDAS TÉCNICAS - COBERTURA

VÃO	2 APOIOS				3 APOIOS				4 APOIOS				
	0,43mm	0,50mm	0,65mm	0,80mm	0,43mm	0,50mm	0,65mm	0,80mm	0,43mm	0,50mm	0,65mm	0,80mm	
FLECHA L/120	1,6 m	230	268	348	429	277	323	420	517	335	389	506	623
	1,7 m	192	223	290	358	231	269	350	431	279	324	422	520
	1,8 m	162	188	245	301	195	227	295	363	235	273	355	438
	1,9 m	138	160	208	256	166	193	251	309	200	232	302	372
	2,0 m	118	137	178	220	142	165	215	265	171	199	259	319
	2,2 m	89	103	134	165	107	124	161	199	129	150	195	240
	2,4 m	68	79	103	127	82	96	124	153	99	115	150	185
	2,6 m	54	62	81	100	65	75	98	120	78	91	118	145
	2,8 m	43	50	65	80	52	60	78	96	62	73	94	116
	3,0 m	35	41	53	65	42	49	64	78	51	59	77	95

Valores abaixo de 60 kgf/m² não são recomendados / Carga [kgf/m²]

MEDIDAS TÉCNICAS - FECHAMENTO

VÃO	2 APOIOS				3 APOIOS				4 APOIOS				
	0,43mm	0,50mm	0,65mm	0,80mm	0,43mm	0,50mm	0,65mm	0,80mm	0,43mm	0,50mm	0,65mm	0,80mm	
FLECHA L/180	1,6 m	154	179	232	286	185	215	280	345	223	259	337	415
	1,7 m	128	149	194	238	154	179	233	287	186	216	281	346
	1,8 m	108	125	163	201	130	151	197	242	157	182	237	292
	1,9 m	92	107	139	171	110	128	167	206	133	155	201	248
	2,0 m	79	91	119	146	95	110	143	176	114	133	173	213
	2,2 m	59	69	89	110	71	83	108	133	86	100	130	160
	2,4 m	45	53	69	85	55	64	83	102	66	77	100	123
	2,6 m	36	42	54	67	43	50	65	80	52	60	79	97
	2,8 m	29	33	43	53	35	40	52	64	42	48	63	78
	3,0 m	23	27	35	43	28	33	42	52	34	39	51	63

Valores abaixo de 60 kgf/m² não são recomendados / Carga [kgf/m²]

Tel: 18 3421 7377
Av. Dom Antonio, 2103
Parque Universitário - Assis/SP

regionaltelhas.com.br

f /regionaltelhas



Fonte: (Regional Telhas)

ANEXO B – TABELA DE AÇO

Tabela B 1: Aço

Classificação	Denominação	Produto	Grupo de perfil ^{a,b} ou faixa de espessura disponível	Grau	f_y MPa	f_u MPa	
Aços-carbono	A36	Perfis	1, 2 e 3	-	250	400 a 550	
		Chapas e barras ^c	$t \leq 200$ mm				
	A500	Perfis	4	A	230	310	
Aços de baixa liga e alta resistência mecânica	A572	Perfis	1, 2 e 3	B	290	400	
				42	290	415	
			50	345	450		
			55	380	485		
		1 e 2	60	415	520		
			65	450	550		
			Chapas e barras ^c	$t \leq 150$ mm	42	290	415
				$t \leq 100$ mm	50	345	450
	$t \leq 50$ mm	55		380	485		
	$t \leq 31,5$ mm	60		415	520		
	65	450	550				
	A992 ^d	Perfis	1, 2 e 3	-	345 a 450	450	
Aços de baixa liga e alta resistência mecânica resistentes à corrosão atmosférica	A242	Perfis	1	-	345	485	
			2	-	315	460	
			3	-	290	435	
		Chapas e barras ^c	$t \leq 19$ mm	-	345	480	
			$19 \text{ mm} < t \leq 37,5$ mm	-	315	460	
			$37,5 \text{ mm} < t \leq 100$ mm	-	290	435	
	A588	Perfis	1 e 2	-	345	485	
			$t \leq 100$ mm	-	345	480	
		Chapas e barras ^c	$100 \text{ mm} < t \leq 125$ mm	-	315	460	
$125 \text{ mm} < t \leq 200$ mm	-		290	435			
Aços de baixa liga temperados e auto-revenidos	A913	Perfis	1 e 2	50	345	450	
				60	415	520	
				65	450	550	

^a Grupos de perfis laminados para efeito de propriedades mecânicas:

- Grupo 1: Perfis com espessura de mesa inferior ou igual a 37,5 mm;
- Grupo 2: Perfis com espessura de mesa superior a 37,5 mm e inferior ou igual a 50 mm;
- Grupo 3: Perfis com espessura de mesa superior a 50 mm;
- Grupo 4: Perfis tubulares.

^b t corresponde à menor dimensão ou ao diâmetro da seção transversal da barra.

^c Barras redondas, quadradas e chatas.

^d A relação f_u/f_y não pode ser inferior a 1,18.