

**UNIEVANGÉLICA**

**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**JOSIMAR RIBEIRO DANTAS**

**MARCOS SILVEIRA DE MATOS**

**DIMENSIONAMENTO DE UM GALPÃO ESTRUTURADO EM  
AÇO**

**ANÁPOLIS / GO**

**2015**

**JOSIMAR RIBEIRO DANTAS**  
**MARCOS SILVEIRA DE MATOS**

**DIMENSIONAMENTO DE UM GALPÃO ESTRUTURADO EM  
AÇO**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA.**

**ORIENTADOR: MESTRE ROGÉRIO SANTOS CARDOSO**

**ANÁPOLIS / GO**  
**2015**

**JOSIMAR RIBEIRO DANTAS  
MARCOS SILVEIRA DE MATOS**

**ESTUDO DE UM GALPÃO INDUSTRIAL ESTRUTURADO EM AÇO**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL.**

**APROVADO POR:**

---

**PROF. ROGÉRIO SANTOS CARDOSO, Mestre (UniEvangélica)  
(ORIENTADOR)**

---

**PROF. SANDOVAL JUNQUEIRA, Mestre (UniEvangélica)  
(EXAMINADOR INTERNO)**

---

**PROF. NEANDER BERTO MENDES, Mestre (UniEvangélica)  
(EXAMINADOR INTERNO)**

**DATA: ANÁPOLIS/GO, 25 de MAIO de 2015.**

## RESUMO

Este trabalho apresenta o memorial de cálculo referente ao dimensionamento de um galpão estruturado em aço para usos gerais. Com base no projeto arquitetônico, para efeito de cálculo e dimensionamento das principais peças estruturais, foi realizado o estudo das ações atuantes no galpão, como a ação das cargas permanentes, a ação das cargas variáveis e a ação do vento sobre a estrutura, para isso foi utilizado o auxílio de softwares para o cálculo e desenvolvimento do projeto, cálculo e dimensionamento das principais peças que compõem a estrutura e para o detalhamento dessas peças. O estudo foi fundamentado na NBR 8800/2008, NBR 6123/1988, NBR 14762/2010 e bibliografias referentes ao assunto. Os softwares utilizados para elaboração do trabalho foram o Visual Ventos, responsável por fornecer as cargas referentes às ações dos ventos, o SAP 2000, responsável por fornecer as reações de possíveis combinações existente na estrutura e o mCalcPerfis, responsável por nos fornecer o dimensionamento das peças calculadas. O presente trabalho, além do como intuito de elaborar um memorial de cálculo referente ao dimensionamento de um galpão em estrutura metálica para usos gerais, faz uma análise das vantagens e desvantagens a cerca do uso deste sistema construtivo em relação a construções convencionais com a utilização do concreto.

**Palavras-Chave: Memorial de Cálculo; Dimensionamento; Galpão Metálico.**

## **ABSTRACT**

This paper presents the calculation memorial concerning the rating of a structured shed steel for general purposes. Based on the architectural design for the purposes of calculation and design of main structural parts, the study was conducted of the actions active in the shed, as the action of permanent loads, the action of variable loads and wind action on a structure to it. It used the aid of software to calculate and project development, calculation and design of the main parts that make up the structure and the details of these parts. The study was based on the NBR 8800/2008, 6123/1988 NBR, NBR 14762/2010 and bibliographies related to the subject. The software used for establishing the work were Visual Winds, responsible for providing loads for the actions of the winds, the SAP in 2000, responsible for providing the existing combinations of possible reactions in the structure and the mCalcPerfis, responsible for providing us with the design of parts calculated. This work, in addition to the intention to draw up a memorial calculation concerning the rating of a warehouse in steel structure for general purposes, analyzes the advantages and disadvantages about the use of this building system over conventional buildings with the use of concrete.

**Keywords: Calculation Memorial; sizing; Metallic shed.**

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1</b> - Indicação do S, d e g.....	20
<b>Figura 2</b> – Partes componentes do galpão em aço.....	25
<b>Figura 3</b> – Galpões de vãos simples .....	26
<b>Figura 4</b> - Galpões de vãos múltiplos .....	27
<b>Figura 5</b> - Galpões com ponte rolante .....	27
<b>Figura 6</b> - Galpões em SHED.....	28
<b>Figura 7</b> – Planta baixa do galpão .....	30
<b>Figura 8</b> – Fachada frontal do galpão .....	30
<b>Figura 9</b> – Fachada lateral do galpão.....	31
<b>Figura 10</b> – Planta de situação do galpão .....	31
<b>Figura 11</b> – Modelagem Unifilar.....	33
<b>Figura 12</b> - Perspectiva do Galpão .....	34
<b>Figura 13</b> - Dados da geometria do galpão.....	36
<b>Figura 14</b> – Determinação da Velocidade Básica na Região de Goiás .....	36
<b>Figura 15</b> – Determinação Fator Topográfico .....	37
<b>Figura 16</b> - Determinação Fator de Rugosidade.....	37
<b>Figura 17</b> – Determinação Fator Estatístico .....	38
<b>Figura 18</b> – Determinação Coeficiente de Pressão Interna .....	38
<b>Figura 19</b> - Coeficiente de Pressão Externa – Paredes .....	39
<b>Figura 20</b> - Coeficiente de Pressão Externa – Telhado .....	39
<b>Figura 21</b> - Coeficiente de Pressão Externa .....	40
<b>Figura 22</b> - Coeficiente de Pressão Externa .....	40
<b>Figura 23</b> – Esforços Resultantes – $C_{pi} = 0,30$ .....	41
<b>Figura 24</b> – Esforços Resultantes – $C_{pi} = 0,00$ .....	41
<b>Figura 25</b> - Esforços Resultantes – $C_{pi} = 0,3$ .....	42
<b>Figura 26</b> - Esforços Resultantes – $C_{pi} = 0,0$ .....	42
<b>Figura 27</b> – Telha adotada no projeto.....	58

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> – Esforços nos Pilares .....	44
<b>Tabela 2</b> – Esforços nos banzos da treliça .....	44
<b>Tabela 3</b> – Esforços diagonais e montantes .....	45
<b>Tabela 4</b> – Esforços terças de cobertura .....	45
<b>Tabela 5</b> – Esforços terças de fechamento.....	45
<b>Tabela 6</b> – Tabela Resumo .....	68

## **LISTA DE ABREVIATURAS**

**ABNT** – Associação Brasileira de Normas Técnicas

**CBCA** – Centro Brasileiro de construção em Aço

**IBS** – instituto do Aço no Brasil

**NBR** – Norma Brasileira



## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	10
1.1 OBJETIVOS .....	10
<b>1.1.1 Objetivo principal</b> .....	10
<b>1.1.2 Objetivo secundário</b> .....	11
1.2 JUSTIFICATIVA .....	11
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO .....	11
<b>2 O AÇO</b> .....	13
2.1 PRODUÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DOS AÇOS .....	13
2.2 AÇOS-CARBONO E DE BAIXA LIGA .....	14
2.3 AÇOS COM TRATAMENTO TÉRMICO .....	15
2.4 PROPRIEDADES DOS AÇOS .....	15
<b>3 DIMENSIONAMENTO DE ACORDO COM A NBR 8800/2008</b> .....	18
3.1 BARRAS SUBMETIDAS À TRAÇÃO .....	18
<b>3.1.1 Força resistente de cálculo</b> .....	18
<b>3.1.2 Área líquida efetiva</b> .....	19
<b>3.1.3 Área líquida</b> .....	19
<b>3.1.4 Limitação do índice de esbeltez</b> .....	20
3.2 BARRAS SUBMETIDAS À COMPRESSÃO .....	20
<b>3.2.1 Força resistente de cálculo</b> .....	20
<b>3.2.2 Fator de redução <math>\chi</math></b> .....	21
3.3 DIMENSIONAMENTO À FLEXÃO .....	22
3.4 DIMENSIONAMENTO À FLEXOCOMPRESSÃO .....	24
<b>4 ESTUDO DE CASO</b> .....	25
4.1 INTRODUÇÃO .....	25
4.2 PROJETOS DE GALPÕES .....	28
4.3 PROJETO ARQUITETÔNICO DO GALPÃO .....	29
4.4 CARACTERÍSTICAS DO GALPÃO .....	31
4.5 DESCRIÇÕES GERAIS .....	32

4.6 CROQUI DO GALPÃO.....	33
4.7 CÁLCULO ESTRUTURAL .....	34
4.8 CARGAS PERMANENTES .....	35
4.9 CARGAS VARIÁVEIS .....	35
4.10 AÇÃO DO VENTO .....	35
<b>4.10.1 Esforços devidos aos ventos .....</b>	<b>35</b>
4.11 Resultados.....	39
4.12 Combinações .....	42
<b>4.12.1 Cálculo das Envoltórias ou Combinações .....</b>	<b>43</b>
4.13 RESULTADOS DAS ENVOLTÓRIAS .....	44
4.14 DIMENSIONAMENTO.....	45
<b>4.14.1 Pilares.....</b>	<b>45</b>
<b>4.14.2 Treliças de Cobertura .....</b>	<b>51</b>
<b>4.14.3 Terças de Cobertura.....</b>	<b>57</b>
<b>4.14.4 Terças de Fechamento.....</b>	<b>63</b>
<b>4.15 RESULTADO FINAL.....</b>	<b>69</b>
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>70</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>71</b>
<b>APÊNDICE - SIMBOLOGIA .....</b>	<b>72</b>
<b>ANEXO.....</b>	<b>77</b>
<b>ANEXO A – Relatório das cargas de vento.....</b>	<b>77</b>
<b>ANEXO B – Relatório dimensionamento mCalcPerfis.....</b>	<b>83</b>
<b>ANEXO C – Diagramas normal, cortante e momento fletor .....</b>	<b>122</b>

## **1 INTRODUÇÃO**

Ao falarmos em estrutura de aço na construção civil associamos a conceitos de modernidade e inovação, embora a utilização desta tecnologia construtiva venha desde o final do século XVIII. O que possibilitou aos arquitetos, engenheiros e construtores a elaboração de obras de grande expressão arquitetônica.

No entanto, as vantagens vão além da execução de obras de grande expressão arquitetônica, itens como redução do tempo de execução, a maior confiabilidade, uma limpeza da obra bem significativa e uma grande resistência dos perfis, que possibilita a utilização de peças de menores dimensões e que se estendam por grandes vãos, tornaram-se fatores de sucesso de qualquer empreendimento em aço.

No Brasil, a utilização de estruturas metálicas em edificações iniciou-se na segunda metade do século XIX, principalmente em edificações comerciais e de serviços, um exemplo foi a construção do edifício de múltiplos pavimentos, Garagem América, sendo o primeiro edifício em estrutura metálica no Brasil.

O uso da estrutura metálica como alternativa para construção de galpões de múltiplos pavimentos, de grande ou pequeno porte, para fins comerciais, é uma realidade e que aumenta a cada dia. Assim, o presente estudo abordará a memória de cálculo e o dimensionamento, detalhado, de um galpão de pequeno porte estruturado em aço. Seguindo as recomendações da NBR 8800:2008, que rege as estruturas de aço no Brasil, NBR-6123/88 – Forças Devidas ao Vento em Edificações, NBR – 6120/80 – Cargas para o Cálculo de Estruturas de Edificações.

Para o desenvolvimento deste projeto será utilizado o programa SAP 2000, que é um programa de análise estrutural prático e intuitivo, que dispõe de avançados recursos para a elaboração de diversos tipos de modelos estruturais, o programa Visual Ventos, para determinação das cargas provenientes dos ventos e o Stabile – mCalcPerfis para dimensionamento das peças.

### **1.1 OBJETIVOS**

#### **1.1.1 Objetivo principal**

O objetivo principal deste trabalho é a elaboração do memorial de cálculo de um galpão, estruturado em aço, contendo as decisões inerentes ao projeto.

### 1.1.2 Objetivo secundário

O objetivo secundário deste trabalho é realizar uma análise das vantagens e desvantagens desse sistema construtivo para seu uso específico.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

O mercado brasileiro da construção tem incorporado cada vez mais a alternativa de construção em aço. Sendo mais expressivas em construções de edificações comerciais e industriais, tais como estacionamentos, supermercados, shoppings, prédios de escritórios, entre outros.

No Brasil, segundo o Centro Brasileiro da Construção em Aço (CBCA), entre 4% e 5% dos prédios construídos com mais de quatro pavimentos usam estrutura em aço. E segundo o Instituto Aço Brasil, quem é responsável pelo consumo de 27% do aço no Brasil é a Construção Civil. Ainda com perspectiva de crescimento.

Estes dados enfatizam a ocorrência de um crescimento da procura na utilização de estruturas em aço, o qual apresenta algumas vantagens em relação à construção convencional em concreto armado. Tendo como fatores favoráveis a alta resistência do material, permitindo aos elementos estruturais suportarem grandes esforços com seções reduzidas, a possibilidade de reaproveitamento do material, pode ser desmontada e substituída com facilidade, a sua montagem é bem mecanizada, permitindo com isso diminuir o prazo final da construção, o que proporciona para empreendimentos comerciais e industriais ocupar em menor tempo as áreas e passarem a lucrarem com o mesmo.

Contudo, é relevante a realização de um estudo que faça uma análise detalhada de um sistema estrutural eficiente capaz de otimizar os gastos, pois um projeto estrutural mal elaborado pode trazer prejuízos econômicos consideráveis ao fabricante e ao construtor.

## 1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

No capítulo 2 foi realizada uma revisão bibliográfica sobre a produção e classificação do aço, demonstrando como é produzido os diferentes tipos de aços que são utilizados nesta tecnologia construtiva.

No capítulo três abordamos, como é realizado o dimensionamento de barras submetidas à tração, compressão, flexão e flexocompressão. Para isso foi utilizado a norma NBR 8800/2008.

No capítulo quatro foi realizado o estudo de caso, neste inicialmente foram demonstrados alguns tipos de galpões e suas principais peças estruturais. Demostramos também o projeto arquitetônico do galpão, de onde são obtidos todos os dados para composição dos cálculos. Possibilitando assim realizarmos o cálculo estrutural, analisando as cargas permanentes, variáveis e da ação do vento, realizarmos o cálculo das envoltórias ou combinações, assim como o dimensionamento e detalhamento das peças que compõem o galpão.

Finalmente, o trabalho se conclui com a elaboração de um memorial de cálculo e com a análise das vantagens e desvantagens do uso da estrutura metálica em edificações.

## 2 O AÇO

### 2.1 PRODUÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DOS AÇOS

Com a evolução da siderurgia a utilização de produtos a partir do ferro e do aço possibilitou, no âmbito das construções, a aplicação destes materiais às mais diversas necessidades.

É importante salientar que o ferro e o aço não são um mesmo material, eles possuem características diferentes, sendo utilizados em componentes estruturais com propriedades distintas.

O aço é produzido a partir do ferro, encontrado na natureza sob a forma de minério e transformado em metal no processo denominada redução, que consiste em fornecer calor, para combinar o oxigênio presente no minério com o carvão que é utilizado na operação. A seguir o ferro é transformado em aço por meio do sopro de oxigênio no seu interior, ou pela passagem de ar sobre o mesmo, possibilitando a redução do carbono aos níveis desejados.

Durante esta transformação podem ser adicionados outros elementos metálicos, dando origem aos diversos tipos de aço, com propriedades mecânicas diferentes. Concluída a transformação o mesmo é encaminhado à laminação para ser transformados em chapas ou perfis.

Com o desenvolvimento da construção civil e da arquitetura, criaram-se aços mais resistentes e mais leves, específicos para fins estruturais, ou seja, com elevada resistência mecânica e resistência à corrosão. Estes aços são obtidos pela adição controlada de determinados elementos químicos que lhes conferem características específicas.

As propriedades do aço, no entanto, não dependem apenas da sua composição química. Além dela, características ditas microestruturas, resultantes de tratamentos térmicos, de deformação mecânica e da velocidade de solidificação, conferem propriedades físicas, mecânicas e químicas adequadas às suas diversas aplicações. (DIAS, 2002).

Os aços podem ser classificados, de acordo com Sáles, Neto, Malite e Gonçalves (2010, p. 08) na obra Elementos de Estruturas de Aço – Critérios e Dimensionamento, como:

- a) Efervescentes: são aços fracamente desoxidados, com aplicação em linha de chapas finas que precisam de aços com baixo teor de carbono e com boas qualidades quanto às condições de superfície e de estampagem.

- b) Capeados: são aços efervescentes, cuja remoção de gases é interrompida pela rápida solidificação do topo do lingote. São utilizados para a fabricação de folhas de flandres, chapas zincadas, chapas chumbadas e chapas finas em geral.
- c) Semi-acalmados: são aços parcialmente desoxidados, com menor segregação que os aços capeados. São utilizados principalmente em chapas grossas.
- d) Acalmados: são aços inteiramente desoxidados, com qualidades superiores quanto à uniformidade de estrutura e de composição química. São empregados em trilhos, barras, perfis e chapas.

Os aços também podem ser subdivididos em aços carbono, aço liga e de alta resistência mecânica, estes dois últimos são os que recebem adições de outros metais para aumentar alguma de suas propriedades. Os aços carbono são aqueles que não recebem adição de outros metais durante a operação de conversão. Os de aço liga podem ser classificados em baixa liga, quando o teor de outros metais for menor que 10%, e de aços de alta liga quando o teor de outros metais for maior que 10%.

Um dos fatores que contribuiu para utilização do aço é a sua alta resistência mecânica e também por serem fabricados com alta resistência à corrosão atmosférica, podendo ser expostos aos intemperismos sem a pintura das mesmas, devido à camada de oxidação, denominada de pátina.

No caso da construção de edificações estruturadas em aço, alguns aços se destacam a outros devido às suas propriedades mecânicas. Tornando-os adequados para serem utilizados em elementos destinados a suportar e transmitir forças e solicitações na grande variedade das estruturas. Estes são denominados aços estruturais.

## 2.2 AÇOS-CARBONO E DE BAIXA LIGA

Como mencionado os aços utilizados em estruturas são divididos em dois grupos: aços – carbono e baixa liga.

Os aços- carbono, segundo Pfeil (2012, p. 09) são os tipos mais usados, nos quais o aumento de resistência em relação ao ferro puro é produzido pelo carbono, e em menor escala, pelo manganês. Eles contêm as seguintes porcentagens máximas de elementos adicionais.

- Carbono 2%	manganês 1,65%
- Silício 0,60%	cobre 0,35%

Em função do teor de carbono, distinguem-se três categorias:

- Baixo carbono  $C < 0,29\%$
- Médio carbono  $0,30\% < C < 0,59\%$
- Alto carbono  $0,6\% < C < 2,0\%$

Apesar do aumento de teor de carbono elevar a resistência do aço, ocorre também à diminuição de sua ductilidade, capacidade de deformar, gerando problemas na soldagem.

Os aços de baixa liga, segundo Pfeil (2012, p. 10), são aços-carbono acrescidos de elementos de liga (cromo colúmbio, cobre manganês, molibdênio, níquel, fósforo, vanádio, zircônio), os quais melhoram algumas propriedades mecânicas.

Ainda segundo Pfeil (2012, p. 10). No Brasil são muitos utilizados os aços de baixa liga, de altas e médias resistências mecânicas, soldáveis e com características de elevada resistência atmosférica (obtida pela adição de 0,25% a 0,40% de cobre).

### 2.3 AÇOS COM TRATAMENTO TÉRMICO

Segundo Pfeil (2012, p. 11), tanto os aços-carbono quanto os de baixa liga podem ter suas resistências aumentadas pelo tratamento térmico. A soldagem dos aços tratados termicamente é, entretanto, mais difícil, o que torna seu emprego pouco usual em estruturas correntes. Os parafusos de alta resistência utilizados como conectores são fabricados com aço de médio carbono sujeito a tratamento térmico (especificação ASTM A325).

Os de baixa liga com tratamento térmico são empregados na fabricação de barras de aço para protensão e também de parafusos de alta resistência (especificação ASTM A490).

### 2.4 PROPRIEDADES DOS AÇOS

Os aços apresentam algumas propriedades:

**Ductilidade:** é a capacidade de o material se deformar sob a ação de cargas. Os aços dúcteis, quando sujeitos a tensões locais elevadas, sofrem deformações plásticas capazes de redistribuir as tensões. Esse comportamento plástico permite, por exemplo, que se considere numa ligação parafusada distribuição uniforme da carga entre parafusos. Além desse efeito local, a ductilidade tem importância porque conduz a mecanismos de ruptura acompanhados



de grandes deformações que fornecem avisos da atuação de cargas elevadas (PFEIL, 2012, p. 16).

Fragilidade: é o oposto a ductilidade. Os aços podem se tornar frágeis pela ação de diversos agentes: baixas temperaturas ambientais, efeitos térmicos locais causados, por exemplo, por solda elétrica etc.

O comportamento frágil é analisado sob dois aspectos: iniciação da fratura e sua propagação. A iniciação ocorre quando uma tensão ou deformação unitária elevada se desenvolve num ponto onde o material perdeu ductilidade. As tensões elevadas podem resultar de tensões residuais, concentração de tensões, efeitos dinâmicos etc. (PFEIL, 2012, p. 16).

Resiliência e Tenacidade: estas duas propriedades se relacionam com a capacidade do metal absorver energia mecânica. Elas podem ser definidas com auxílio dos diagramas tensão-deformação.

Resiliência é a capacidade de absorver energia mecânica em regime elástico, ou, o que é equivalente, a capacidade de restituir energia mecânica absorvida. Denomina-se módulo de resiliência a quantidade de energia elástica que pode ser absorvida por unidade de volume do metal tracionado.

Tenacidade é a energia total, elástica e plástica que o material pode absorver por unidade de volume até a ruptura (PFEIL, 2012, p. 16).

Dureza: denomina-se dureza a resistência ao risco ou abrasão. Na prática mede-se dureza pela resistência que a superfície do material oferece à penetração de uma peça de maior dureza. (PFEIL, 2012, p. 17).

Efeito de Temperatura Elevada: as temperaturas elevadas modificam as propriedades físicas dos aços. Temperaturas superiores a 100°C tendem a eliminar o limite de escoamento bem definido, tornando o diagrama tensão deformação arredondado. As temperaturas elevadas reduzem as resistências a escoamento e ruptura, bem como o módulo de elasticidade. Temperaturas acima de 250 a 300° provocam também fluência nos aços (PFEIL, 2012, p. 17).

Fadiga: a resistência à ruptura dos materiais é, em geral, medida em ensaios estáticos. Quando as peças metálicas trabalham sob o efeito de esforços repetidos em grande

número, pode haver ruptura em tensões inferiores às obtidas em ensaios estáticos. Esse efeito denomina-se fadiga do material. A resistência à fadiga das peças é fortemente diminuída nos pontos de concentração de tensões provocadas, por exemplo, por variações bruscas na forma da seção, endentações devidas à corrosão (PFEIL, 2012, p. 17).

Corrosão: é o processo de reação do aço com alguns elementos presentes no ambiente em que se encontra exposto, sendo o produto dessa reação muito similar ao minério de ferro. A corrosão promove a perda de seção das peças de aço, podendo se constituir em causa principal de colapso (PFEIL, 2012, p. 18).

### 3 DIMENSIONAMENTO DE ACORDO COM A NBR 8800/2008

#### 3.1 BARRAS SUBMETIDAS À TRAÇÃO

De acordo com a NBR 8800 (ABNT, 2008, p. 37) no dimensionamento, deve ser atendida a condição:

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

Onde:

$N_{t,Sd}$  = é a força axial de tração solicitante de cálculo;

$N_{t,Rd}$  = é a força axial de tração resistente de cálculo.

##### 3.1.1 Força resistente de cálculo

De acordo com a NBR 8800 (ABNT, 2008, p. 37.) a força axial de tração resistente de cálculo a ser usada no dimensionamento, é o menor dos valores obtidos, considerando-se os estados-limites últimos de escoamento da seção bruta e ruptura da seção líquida, de acordo com as expressões indicadas a seguir:

- a) Para escoamento da seção bruta

$$N_{t,Rd} = \frac{A_g f_y}{\gamma_{a1}} \quad (2)$$

- b) Para ruptura da seção líquida

$$N_{t,Rd} = \frac{A_s f_y}{\gamma_{a2}} \quad (3)$$

Onde:

$A_g$  = é a área bruta da seção transversal da barra;

$A_e$  = é a área líquida efetiva da seção transversal da barra; determinado conforme 3.1.2;

$f_y$  = é a resistência ao escoamento do aço;

$f_e$  = é a resistência à ruptura do aço.

### 3.1.2 Área líquida efetiva

A área líquida efetiva é dada por:

$$A_e = C_t N_a \quad (4)$$

Onde:

$A_n$  = é a área líquida da barra, determinada conforme 3.1.3;

$C_t$  = é um coeficiente de redução da área líquida, quando a força de tração for transmitida diretamente para cada um dos elementos da seção transversal da barra, por solda ou parafuso,  $C_t = 1,00$ .

### 3.1.3 Área líquida

De acordo com a NBR 8800 (ABNT, 2008, p. 38.) em regiões com furos, feitos para ligação ou qualquer outra finalidade, a área líquida de uma barra é a soma dos produtos da espessura pela largura líquida de cada elemento. Quando ocorre uma série de furos distribuídos verticalmente ao eixo da barra, em diagonal a esse ou em ziguezague, utiliza-se a equação:

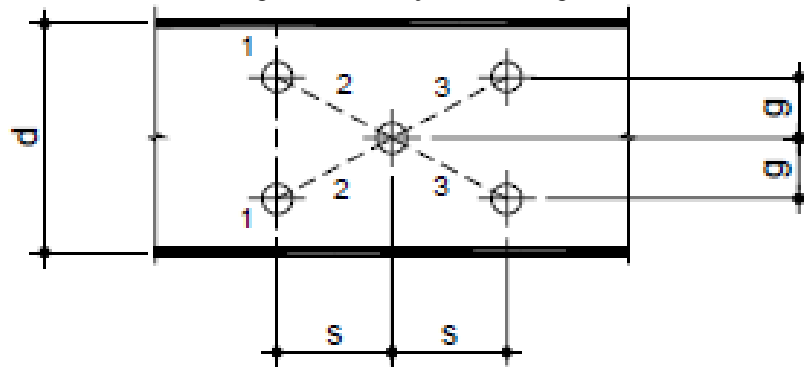
$$N_a = [b + \sum \frac{s^2}{4g} - \sum (d + 3,5)]t \quad (5)$$

Onde:

$d$  = diâmetro do parafuso;

$t$  = espessura da chapa;

Figura 1 - Indicação do  $S$ ,  $d$  e  $g$ .



Fonte: Autores da pesquisa (2015)

### 3.1.4 Limitação do índice de esbeltez

De acordo com a NBR 8800 (ABNT, 2008, p. 43) o índice de esbeltez das barras tracionadas não pode ultrapassar o valor de 300, tomando como a maior relação entre o comprimento destravado e o raio de giração correspondente ( $L/r$ ).

## 3.2 BARRAS SUBMETIDAS À COMPRESSÃO

De acordo com a NBR 8800 (ABNT, 2008, p. 43.) no dimensionamento, deve ser atendida a condição:

$$N_{c, Sd} \leq N_{c, Rd} \quad (6)$$

Onde:

$N_{c, Sd}$  = é a força axial de compressão solicitante de cálculo;

$N_{c, Rd}$  = é a força axial de compressão resistente de cálculo.

### 3.2.1 Força resistente de cálculo

De acordo com a NBR 8800 (ABNT, 2008, p. 44.) a força axial de compressão resistente de cálculo,  $N_{c, Rd}$ , de uma barra, associada aos estados-limites últimos de

instabilidade por flexão, por torção ou flexo-torção e de flambagem local, deve ser determinada pela expressão:

$$N_{c, Rd} = \frac{\chi Q A_g f_y}{\gamma_{a1}} \quad (7)$$

Onde:

$\chi$  - é o fator de redução associado à resistência à compressão;

$Q$  - é o fator de redução total associado à flambagem local, cujo valor deve ser obtido no Anexo F da NBR 8800.

$A_g$  - é a área bruta da seção transversal da barra.

### 3.2.2 Fator de redução $\chi$

Segundo a NBR 8800 (ABNT, 2008, p. 44), o fator de redução associado à resistência à compressão,  $\chi$ , é dado por:

$$\text{- para } \lambda_0 \leq 1,5: \chi = 0,658 \lambda_0^2 \quad (8)$$

$$\text{- para } \lambda_0 > 1,5: \chi = \frac{0,877}{\lambda_0^2} \quad (9)$$

Onde:

$\lambda_0$  é o índice de esbeltez reduzido e é dado por:

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{Q A_g f_y}{N_e}} \quad (10)$$

Onde:

$N_e$  = é a força axial de flambagem elástica, obtida conforme o Anexo E da NBR 8800.

O valor de  $\chi$  pode ser também obtido da Tabela 4 da NBR 8800, para os casos em que  $\lambda_0$  não supere 3,0.

Segundo Pfeil (2012, p. 123), para calcular o índice de esbeltez reduzido para determinado tipo de aço utilizamos as seguintes fórmulas:

$$\text{- para MR-250} \quad \lambda_0 = 0,0113 \left( \frac{Kl}{r} \right); \quad (11)$$

$$\text{- para AR-350} \quad \lambda_0 = 0,0133 \left( \frac{Kl}{r} \right); \quad (12)$$

$$\text{- para A-572} \quad \lambda_0 = 0,0132 \left( \frac{Kl}{r} \right). \quad (13)$$

Onde:

$\lambda_0$  = o índice de esbeltez reduzido;

l = comprimento da barra;

K = coeficiente de flambagem;

r = raio de giração.

### 3.3 DIMENSIONAMENTO À FLEXÃO

Segundo Pfeil (2012, p. 153), resistência à flexão das vigas pode ser afetada pela flambagem local, que é a perda da estabilidade das chapas comprimidas componentes do perfil, este reduz o momento resistente da seção, e pela flambagem lateral, no qual a viga perde seu equilíbrio no plano principal da flexão e passa a apresentar deslocamentos laterais e rotações de torção.

- Momento de início de Plastificação  $M_y$ , Momento de Plastificação total  $M_p$ .

$$\sigma_{\text{máx}} = \frac{M}{I} \quad y_{\text{máx}} = \frac{M}{W} \quad (14)$$

onde:

$y_{\text{máx}}$  = distancia ao centroide do elemento de área mais afastado;

I = momento de inércia da secção em torno do eixo de flexão;

W = módulo elástico da secção.

$$\sum M = 0 \quad M_y = \int y f_y da = f_y W \quad W = \frac{I}{y_{=z}} \quad (15)$$

$$\sum M = 0 \quad M_p = \int y f_y da = f_y Z \quad Z = A_t y_t + A_c \quad (16)$$

$Z$  = módulo plástico da secção.

$Y_t$  e  $y_c$  = são respectivamente, as distancias das áreas  $A_t$  e  $A_c$ , até a linha neutra plástica.

A relação entre os momentos denomina-se coeficiente de forma:

$$\text{Coeficiente de forma} = \frac{M_p}{M_y} = \frac{Z}{W} \quad (17)$$

- Classificação das secções quanto à ocorrência de flambagem local

$\lambda_b \leq \lambda_p$  – Secção compacta

$\lambda_p < \lambda_b \leq \lambda_r$  - Secção semicomcompacta

$\lambda_r \leq \lambda_b$  – Secção esbelta

- Momento resistente de projeto

$$M_d = \frac{M_n}{\gamma_{a1}} \quad \text{com } \gamma_{a1} = 1,10 \quad (18)$$

Onde:

$M_n$  = momento resistente nominal

- Flambagem local da mesa

$$M_r = W_c (f_y - \sigma_r) < W_t f_y \quad (19)$$

Onde:

$\sigma_r$  = tensão residual de compressão nas mesas tomada igual a  $0,3f_y$

$W_c$  e  $W_t$  = módulo elástico da secção referidos as fibras mais comprimida e mais tracionada, respectivamente.

- Flambagem local da alma



$$M_r = W f_y$$

Onde:

W = menor módulo resistente elástico da secção.

- Limitação do momento resistente

$$M_{d\ res} = < \frac{1,50 W f_y}{\gamma_{a1}} \quad (20)$$

### 3.4 DIMENSIONAMENTO À FLEXOCOMPRESSÃO

São geralmente denominadas de vigas – colunas as hastes dimensionadas a flexocompressão. Segundo Pfeil (2012, p. 214) as fórmulas de interação adotadas pela NBR 8800/2008 se aplicam nas seções I e H com dois eixos de simetria, nas I ou H com um eixo de simetria são:

$$\text{- para } \frac{N_d}{N_{d\ res}} \geq 0,2 \quad \frac{N_d}{N_{d\ res}} + \frac{8}{9} \left( \frac{M_{dx}}{M_{d\ resx}} + \frac{M_{dy}}{M_{d\ resy}} \right) \leq 1,0 \quad (21)$$

$$\text{- para } \frac{N_d}{N_{d\ res}} < 0,2 \quad \frac{N_d}{2N_{d\ res}} + \left( \frac{M_{dx}}{M_{d\ resx}} + \frac{M_{dy}}{M_{d\ resy}} \right) \leq 1,0 \quad (22)$$

Onde:

$N_d$ ,  $M_{dx}$  e  $M_{dy}$  são os esforços solicitantes de projeto, sendo os dois últimos os momentos fletores em torno dos eixos x e y, respectivamente, e  $N_d$  o esforço axial de tração ou de compressão.

$N_{d,res}$  é o esforço axial resistente de projeto (de tração ou de compressão, o que for aplicável).

$M_{d,resx}$  e  $M_{d,resy}$  são os momentos fletores resistentes em relação aos eixos x e y, respectivamente.

## 4 ESTUDO DE CASO

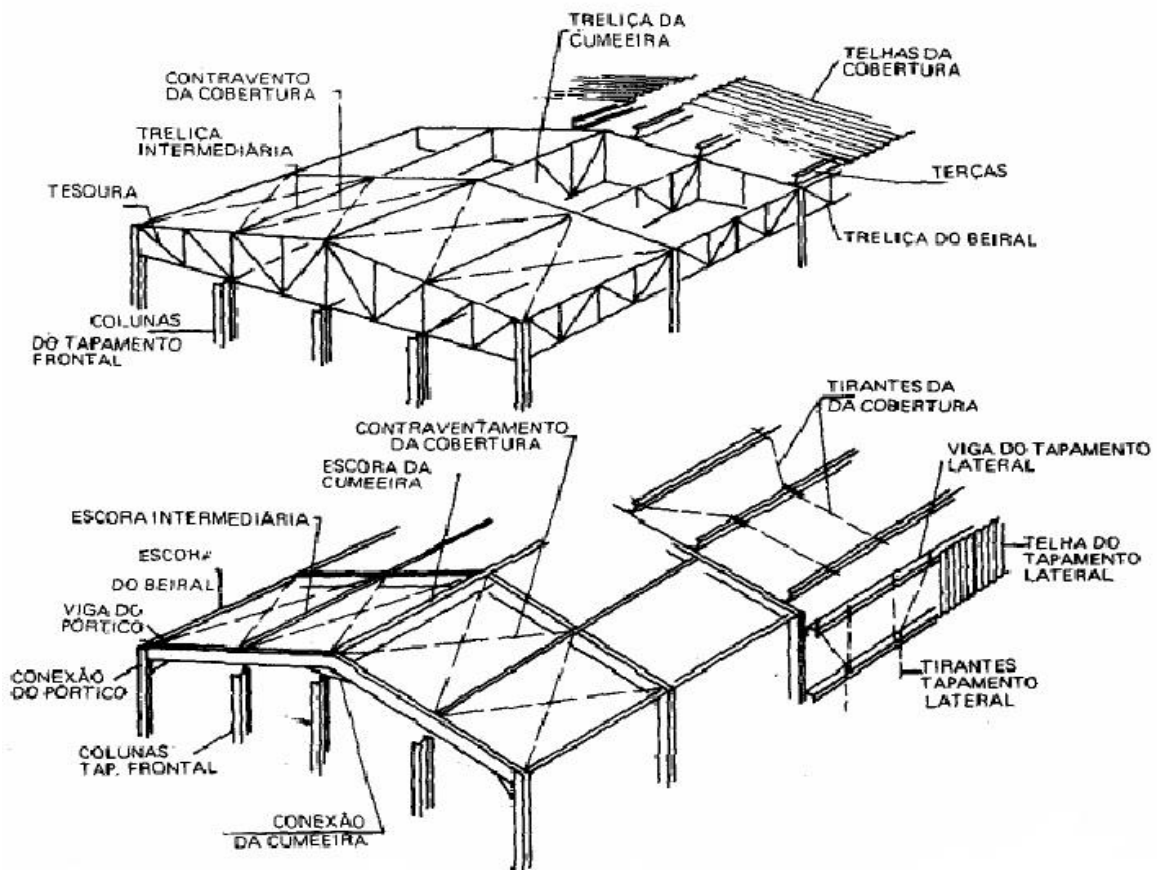
### 4.1 INTRODUÇÃO

Um conceito básico de galpão, de acordo com Manual de Construção em Aço IBS/CBCA (2004, p. 06), são construções geralmente de um pavimento, constituídos de colunas regularmente espaçadas com cobertura na parte superior e, às vezes, também nas laterais, se estendendo por grandes áreas e destinados à utilização comercial, industrial, agrícola ou mesmo civil.

Como citado anteriormente os galpões podem ser utilizados para várias funções e de vários tipos, com isso torna-se de suma importância um projeto arquitetônico adequado para sua utilização.

Dentre as principais peças que compõe um galpão metálico, de composição simples, algumas são apresentadas na Figura 2.

**Figura 2** – Partes componentes do galpão em aço

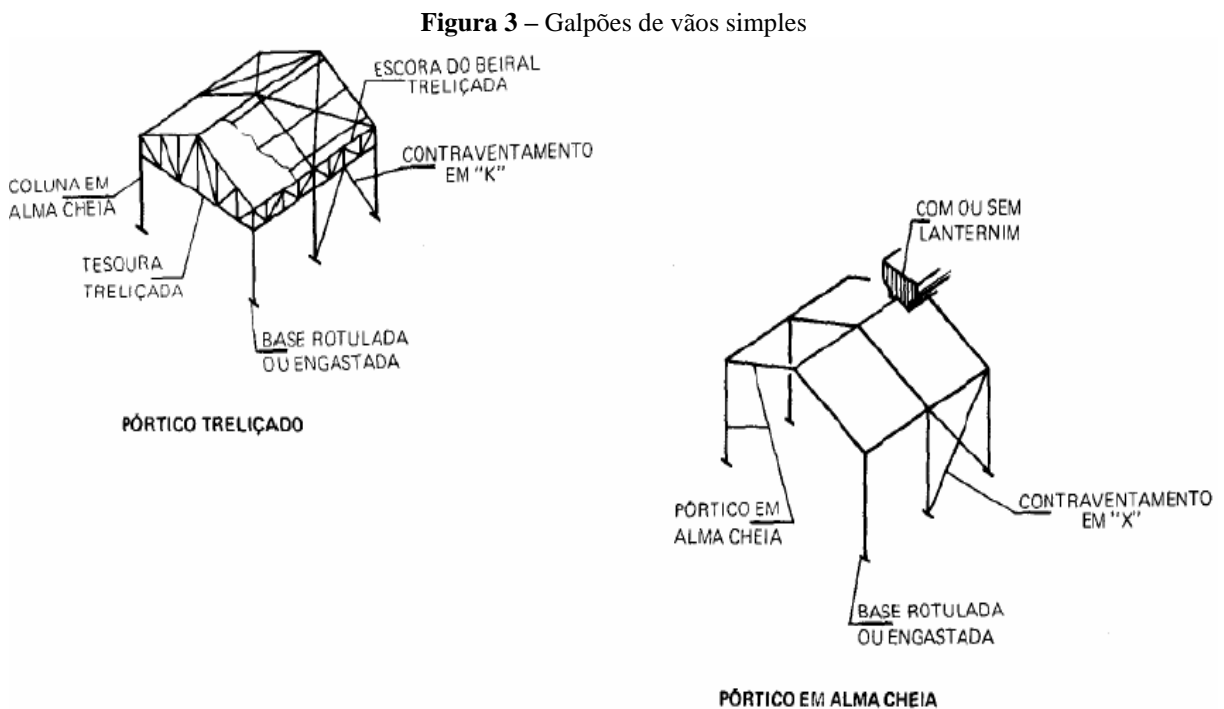


Fonte: IBS/CBCA (2004, p. 06).

Os galpões são constituídos de pórticos e treliças, compondo a estrutura principal, a secundária é composta por terças, linhas de corrente, tirantes, contraventamentos, mão - francesa etc. A estrutura principal é disposta de acordo com a utilização do ambiente influenciando no tipo de tesoura, fechamento e cobertura do galpão.

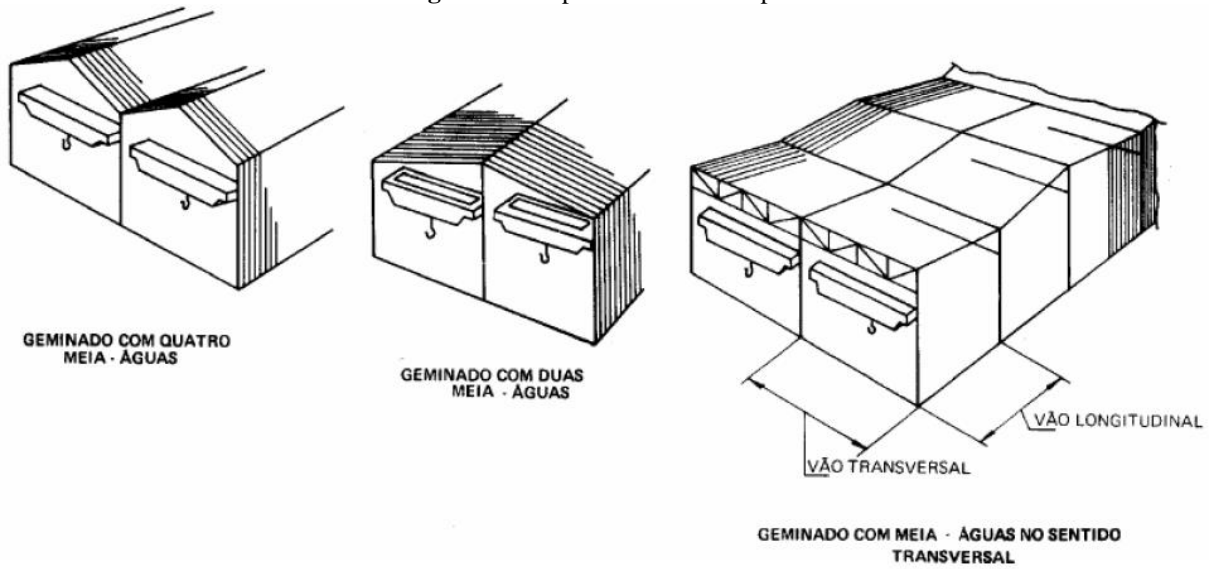
Cada vez mais a estrutura metálica é utilizada na construção civil, principalmente em função dos vários benefícios que traz em relação às estruturas em concreto armado, tais como: a rapidez na montagem das estruturas, permite o vencimento de grandes vãos, devido sua alta resistência, serem mais leves, possibilidade de desmontagem, elevando expressivamente o uso deste sistema construtivo. Além de diminuir os desperdícios, apresentar um número reduzido de funcionários e uma melhor otimização do canteiro.

Os galpões podem ser utilizados para inúmeros usos, o que promove uma grande diversidade de alternativas. Dentre os tipos de galpões, os mais comuns, temos: galpões de vãos simples, galpões de vãos múltiplos, galpões com ponte rolante, galpões em Shed, que promove uma ventilação e iluminação natural. Ilustradas de acordo com as figuras abaixo.



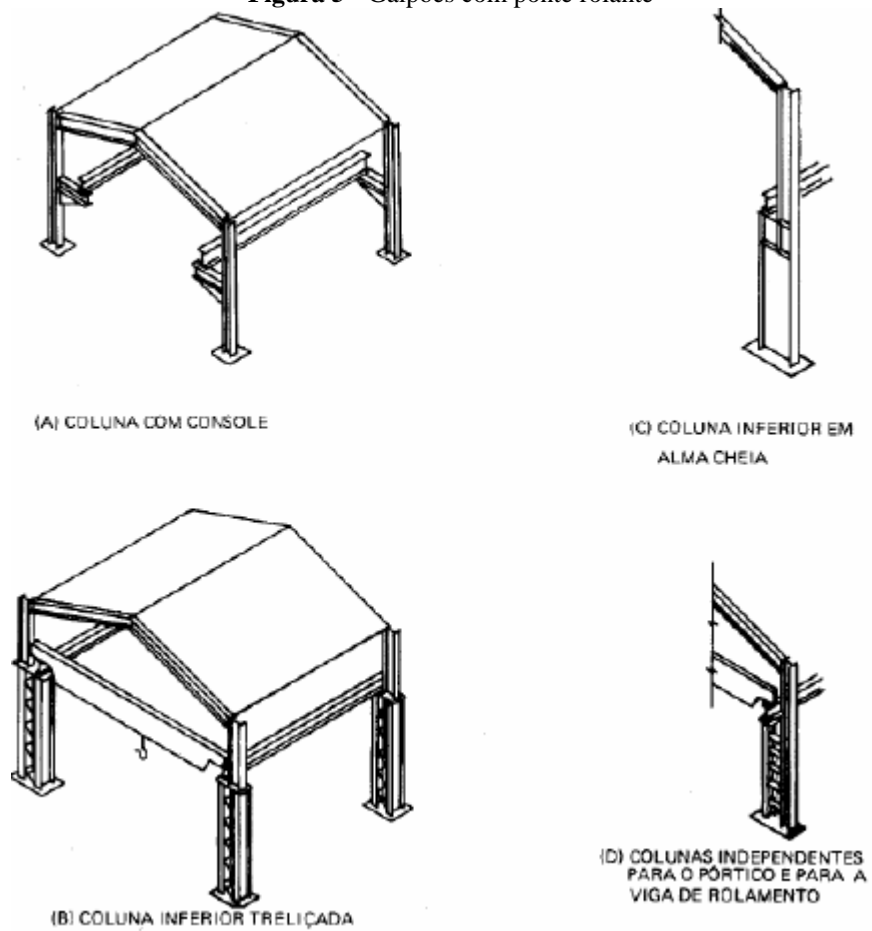
Fonte: IBS/CBCA (2004, p. 08).

**Figura 4 - Galpões de vãos múltiplos**



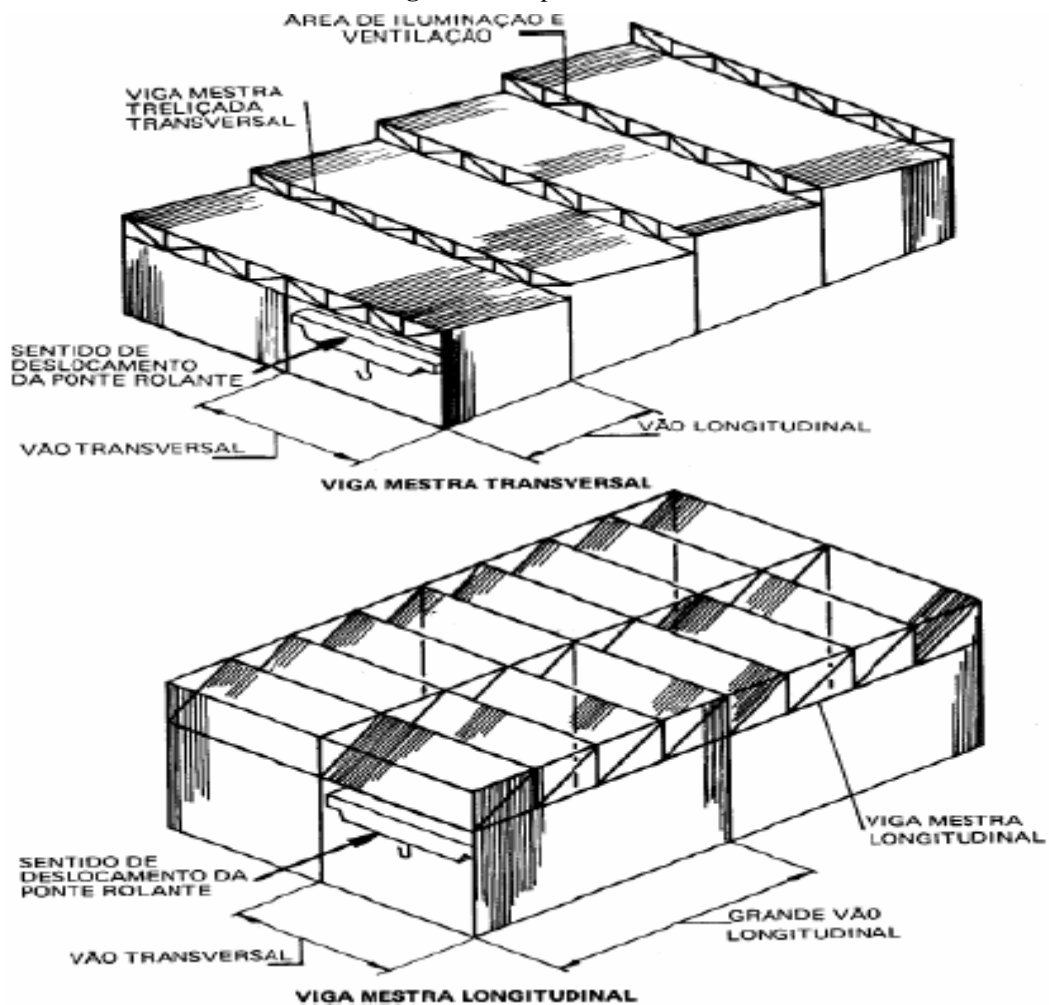
Fonte: IBS/CBCA (2004, p. 10)

**Figura 5 - Galpões com ponte rolante**



Fonte: IBS/CBCA (2004, p. 10).

**Figura 6 - Galpões em SHED**



Fonte: IBS/CBCA (2004, p. 11).

## 4.2 PROJETOS DE GALPÕES

Uma questão que é levantada, ao engenheiro estrutural ao iniciar o projeto de um galpão, é como deverá ser este galpão. Para isso o engenheiro estrutural deve analisar alguns aspectos construtivos, segundo IBS/CBCA (2004, p. 08), como:

- a) Finalidade que o galpão se destina

Neste momento serão definidos, de acordo com sua finalidade, as suas dimensões, as disposições dos vãos transversais e longitudinais, altura da edificação, definir as aberturas laterais e frontais etc.

#### b) Ordem econômica

É importante realizar uma análise de um sistema construtivo que vá atender as necessidades da edificação aliada a uma economia. Optando por uma base da coluna rotulada, irá gerar uma economia nas fundações devido a não transferência de momento fletor para as fundações. Já a base engastada gera economia na estrutura, pois alivia as tensões na mesma.

Em relação aos perfis disponíveis: soldados, laminados ou dobrados a frio, a escolha se dá pela característica de cada um, o perfil soldado possibilita uma liberdade na escolha da seção da peça, já os laminados possibilitam uma maior resistência mecânica.

Já em relação ao tipo da estrutura ela pode ser treliçada ou de alma cheia, a escolha irá de acordo com as especificações da edificação, altura das peças etc.

#### c) Arquitetura do galpão

Deve-se definir a disposição dos tapamentos laterais e frontais bem como o afastamento das colunas e o tipo de revestimento que irá utilizar para os fechamentos laterais, frontais e de cobertura.

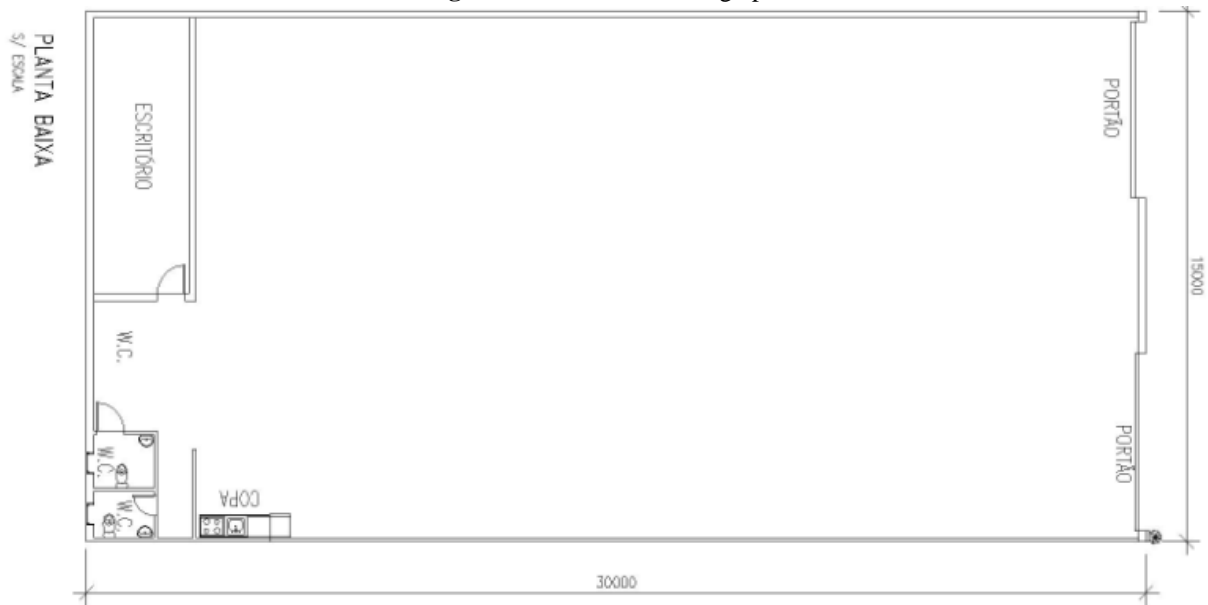
#### d) Ações atuantes

Neste processo entra a análise das cargas permanentes, das sobrecargas e a influencia do vento na estrutura.

### 4.3 PROJETO ARQUITETÔNICO DO GALPÃO

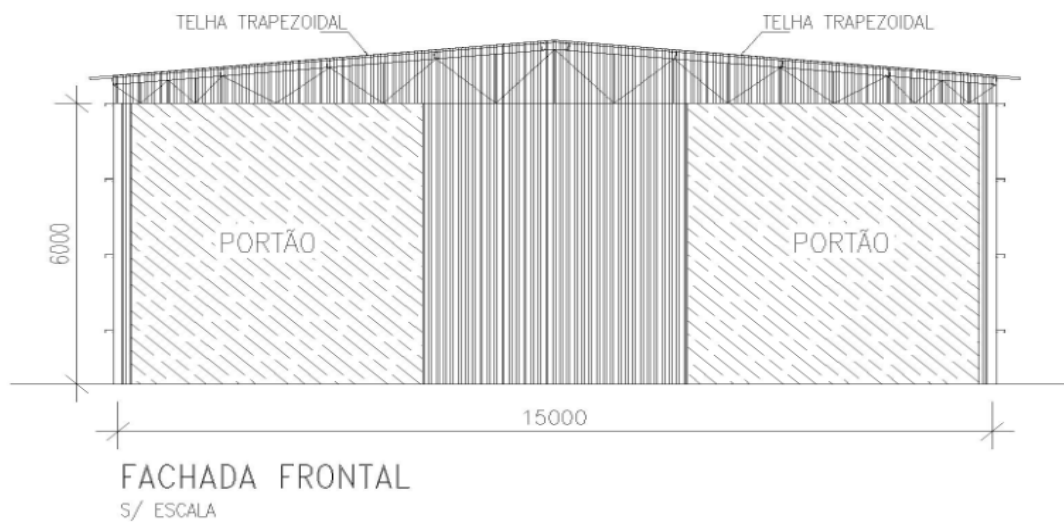
É a partir do projeto arquitetônico que serão delineados o estudo da obra, sua finalidade e sua composição. Sendo a base para realização de todo o desenvolvimento dos cálculos, o projeto arquitetônico com sua planta baixa, corte transversal e longitudinal, fachada frontal, planta de cobertura e planta de situação será apresentada nas figuras a seguir.

**Figura 7 – Planta baixa do galpão**

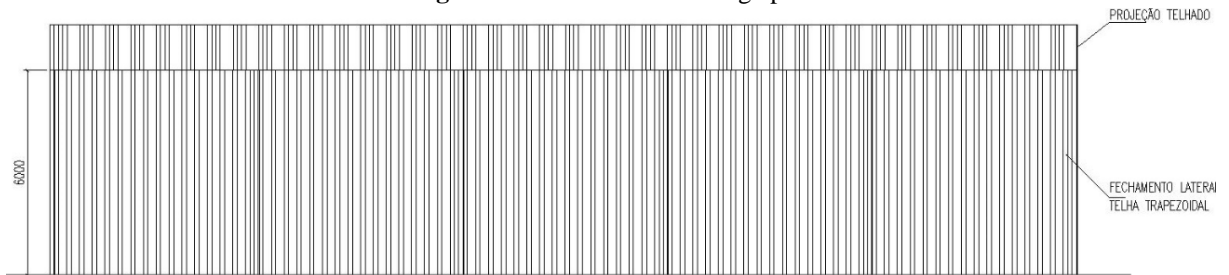


Fonte: Autores da pesquisa (2015)

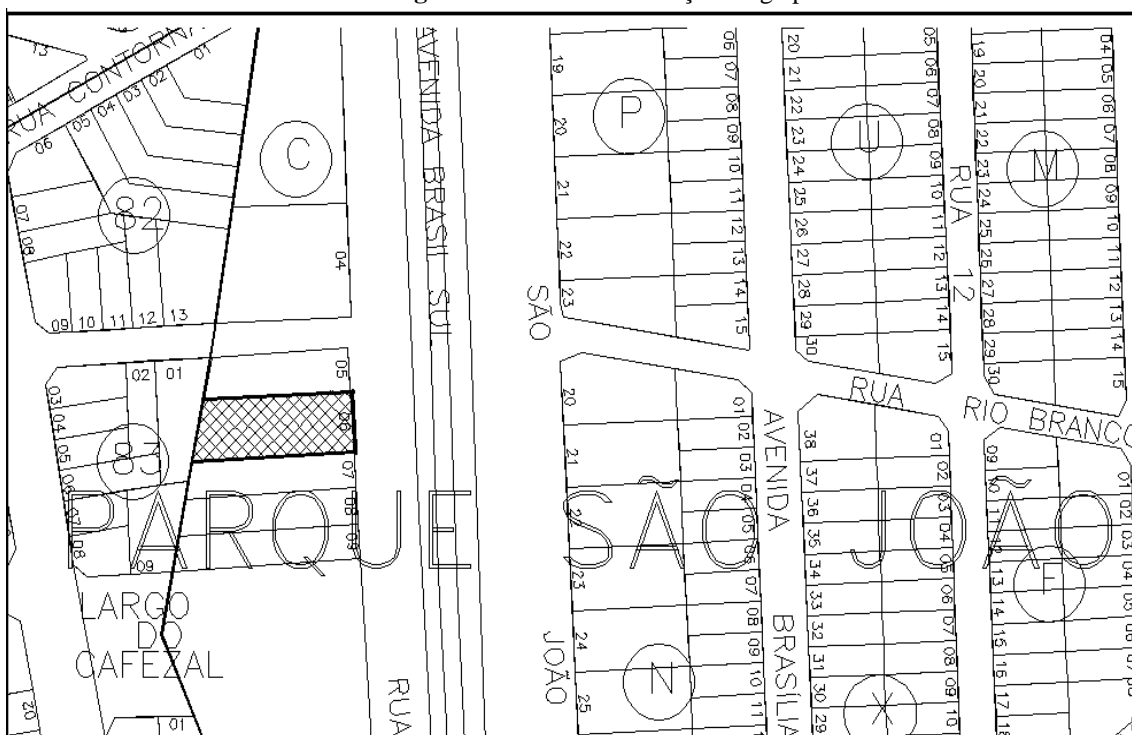
**Figura 8 – Fachada frontal do galpão**



Fonte: Autores da pesquisa (2015)

**Figura 9 – Fachada lateral do galpão**

Fonte: Autores da pesquisa (2015)

**Figura 10 – Planta de situação do galpão**

Fonte: Autores da pesquisa (2015)

#### 4.4 CARACTERÍSTICAS DO GALPÃO

A edificação em questão será instalada na cidade de Anápolis, no estado de Goiás, situada na Avenida Brasil Sul, bairro Parque São João Lote 06, conforme planta de situação apresentada na figura 10. O galpão será destinado a usos gerais.

Optou-se utilizar estrutura metálica em sua composição devido às vantagens em relação ao processo convencional, o concreto armado. Segundo Bellei (2008, p. 23/24) a estrutura metálica promove o uso de menor número de operários, menor prazo de obra,



economia nas fundações: devido ao menor peso do edifício em aço e uma maior lucratividade do investimento: devido a maior velocidade de giro do capital investido.

A cobertura adotada será de duas águas, composta por tesouras em perfis soldado, dispostas transversalmente em vãos de 15 metros. Os tapamentos laterais, frontais e de cobertura serão compostos por telhas metálicas de aço trapezoidal TP40 com espessura mínima de 0,50 mm conforme especificações catálogo Isoeste.

A estrutura será reticulada cujos pilares serão constituídos por perfis de alma cheia e as vigas de cobertura serão em treliças, os banzos, inferior e superior, será não paralelo, o que promove um maior travamento da estrutura. As tesouras serão apoiadas nos pilares espaçadas a cada 6 metros.

O galpão apresenta forma retangular com dimensões (15,00 m x 30,00 m), totalizando uma área total de 450,00 m<sup>2</sup>.

Será utilizado neste galpão aço mais comumente encontrado no mercado e aprovado na norma brasileira NBR 8800/80, para perfis dobrados o aço USI SAC- 250, o qual apresenta 250 Mpa para limite de escoamento e 400 Mpa para ruptura e para os perfis laminados o aço ASTM A572 GR 50, o qual apresenta 345 Mpa para limite de escoamento e 450 Mpa para limite de ruptura.

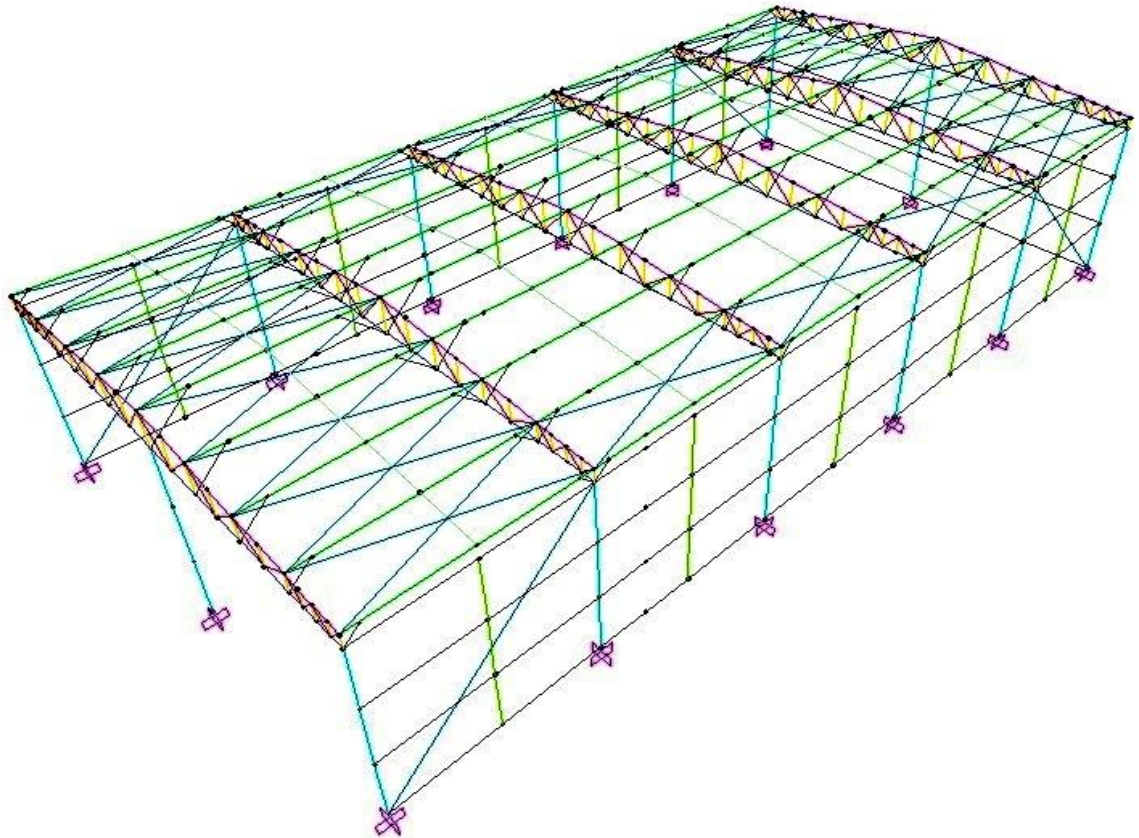
#### 4.5 DESCRIÇÕES GERAIS

- Obra: Galpão Industrial (para usos gerais)
- Localidade: Anápolis – GO
- Dimensões do Edifício:
  - Comprimento: 30,00 m;
  - Vão transversal: 15,00 m;
  - Pé-direito: 06,00 m;
  - Distancia entre Pilares: 06,00 m.
- Cobertura: Telhado em duas águas com telha trapezoidal TP40 # 0,50 mm, com inclinação de 10%.
- Fechamentos: Fechamento com telha trapezoidal TP40 # 0,50 mm, até a cobertura.
- Aberturas: Dois portões de correr na parte frontal de 6,00 m x 5,00 m.
- Materiais: Aço carbono USI SAC- 250 e ASTM A572 GR 50.

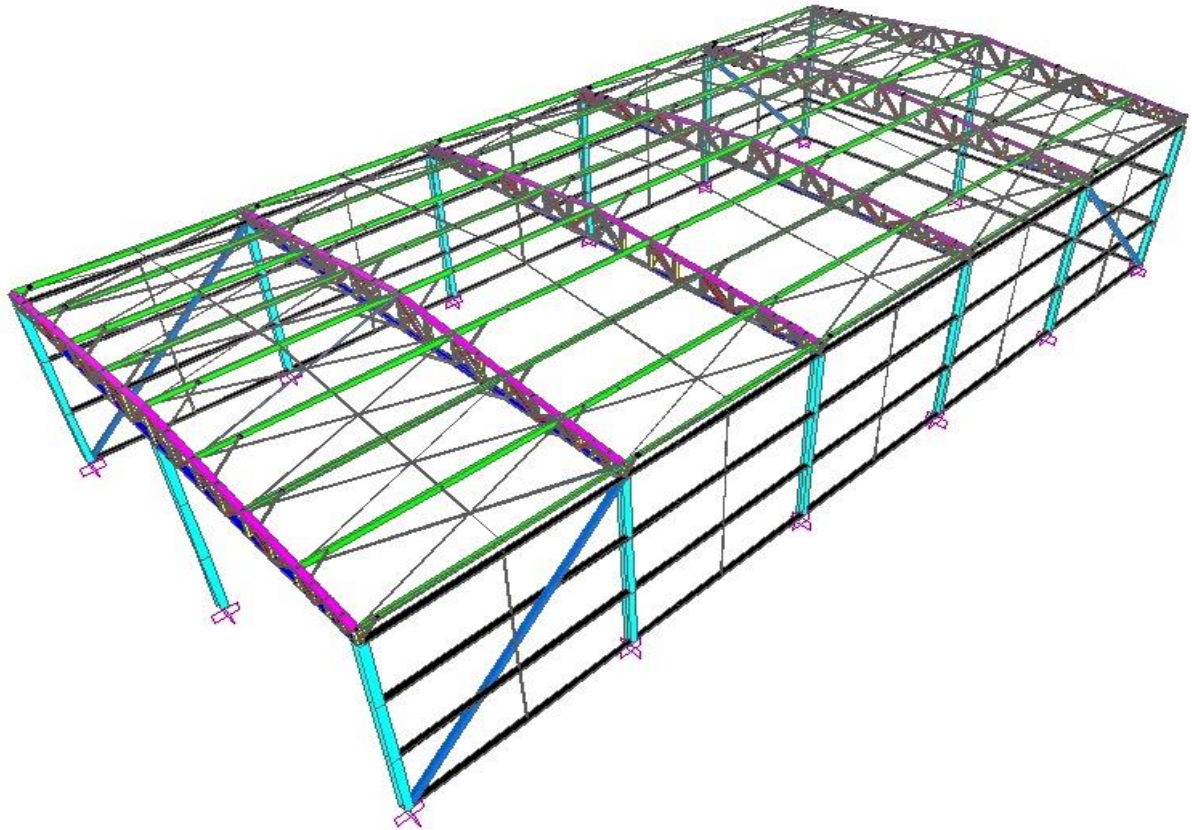
- Normas: NBR 8800/2008 – Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios, NBR 6123 – Forças Devido ao Vento nas Edificações, NBR 6120 – Cargas para Cálculo de Estruturas.

#### 4.6 CROQUI DO GALPÃO

**Figura 11** – Modelagem Unifilar



Fonte: Autores da pesquisa (2015)

**Figura 12-** Perspectiva do Galpão

Fonte: Autores da pesquisa (2015)

#### 4.7 CÁLCULO ESTRUTURAL

De acordo a NBR 8800 (ABNT, 2008, p 15), “na análise estrutural deve ser considerada a influencia de todas as ações que possam produzir efeitos significativos para a estrutura, levando-se em conta os estados-limites últimos e de serviço”.

Pfeil (2012, p 37) entende-se por estados-limites, o método de cálculo onde a solicitação de projeto, obtida a partir de uma combinação de ações, cada uma majorada por um coeficiente, é menor que a resistência de projeto, obtida através da resistência característica do material minorada por um coeficiente.

Segundo a NBR 8800, Anexo B, as ações atuantes no galpão a ser projetado são:

- Carga permanente
- Cargas Variáveis
- Ação do vento

#### 4.8 CARGAS PERMANENTES

Segundo a NBR 8800 (ABNT, 2008, p. 15), são consideradas ações permanentes ocorrem como valores praticamente constantes durante toda sua vida útil, são elas: Peso próprio da estrutura e elementos construtivos; Peso próprio das instalações permanentes; Empuxos permanentes causados por movimento de terra.

#### 4.9 CARGAS VARIÁVEIS

Segundo a NBR 8800 (ABNT, 2008, p. 15), as ações variáveis comumente existentes são causadas pelo uso e ocupação da edificação, como as ações decorrentes de sobrecarga em pisos e coberturas, de equipamentos e de divisórias móveis, de pressões hidrostáticas e hidrodinâmicas, pela ação do vento e pela variação da temperatura da estrutura.

De acordo com o item B-3 do Anexo B, da NBR 8800, “nas coberturas comuns, na ausência de especificação mais rigorosa, deve ser prevista uma sobrecarga característica mínima de 0,25 KN/m<sup>2</sup>, em projeção horizontal. Admite-se que essa sobrecarga englobe as cargas decorrentes de instalações elétricas e hidráulicas, de isolamentos térmico e acústico e de pequenas peças eventualmente fixadas na cobertura, até em limite superior de 0,05 KN/m<sup>2</sup>”.

Para efeito de cálculo deste galpão, serão considerados como cargas variáveis a sobrecarga e o vento. Sendo utilizada uma sobrecarga na cobertura de 25 Kg/m<sup>2</sup>.

#### 4.10 AÇÃO DO VENTO

Para efeito de cálculo da ação do vento sobre a estrutura será utilizado o programa Visual Ventos. Este programa tem por objetivo a determinação das forças devido ao vento em edifícios de planta retangular e cobertura a duas águas, de acordo com as prescrições da NBR 6123: Forças devidas ao vento em edificações de 1988.

##### **4.10.1 Esforços devidos aos ventos**

Para obtenção dos esforços devido aos ventos, serão lançados os dados no programa Visual Ventos, os quais serão demonstrados nas figuras a seguir:

Figura 13 - Dados da geometria do galpão

Geometria

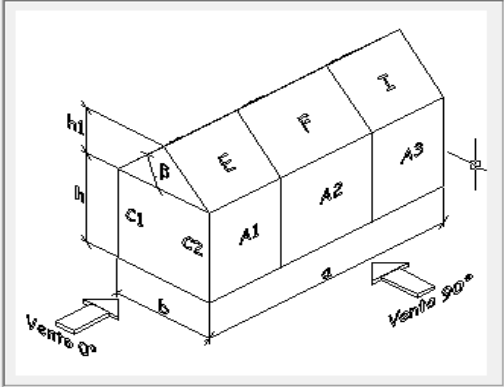
Dimensões

Medidas

b  m    a  m    h  m    Distância entre pórticos p  m

b1  m    a1  m     $\beta$   °    h1  m

a2  m



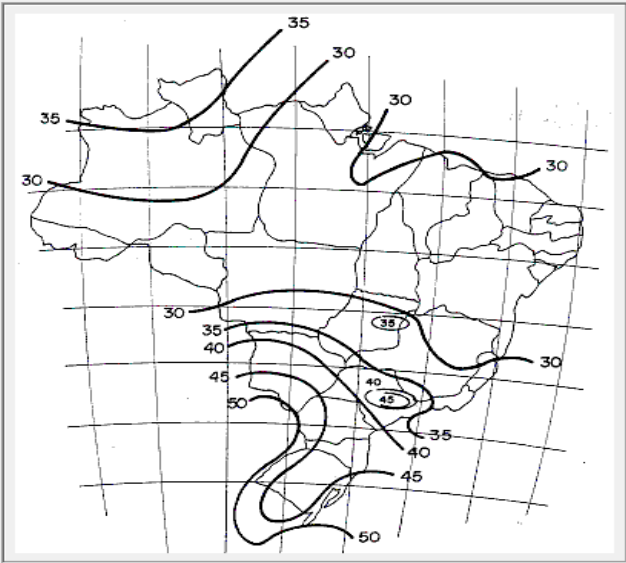
Área das aberturas

Face	Fixa	Móvel
A1	<input type="text" value="0"/> m <sup>2</sup>	<input type="text" value="0"/> m <sup>2</sup>
A2	<input type="text" value="0"/> m <sup>2</sup>	<input type="text" value="0"/> m <sup>2</sup>
A3	<input type="text" value="0"/> m <sup>2</sup>	<input type="text" value="0"/> m <sup>2</sup>
B1	<input type="text" value="0"/> m <sup>2</sup>	<input type="text" value="0"/> m <sup>2</sup>
B2	<input type="text" value="0"/> m <sup>2</sup>	<input type="text" value="0"/> m <sup>2</sup>
B3	<input type="text" value="0"/> m <sup>2</sup>	<input type="text" value="0"/> m <sup>2</sup>
C1	<input type="text" value="0"/> m <sup>2</sup>	<input type="text" value="0"/> m <sup>2</sup>
C2	<input type="text" value="0"/> m <sup>2</sup>	<input type="text" value="0"/> m <sup>2</sup>
b1	<input type="text" value="0"/> m <sup>2</sup>	<input type="text" value="0"/> m <sup>2</sup>
b2	<input type="text" value="0"/> m <sup>2</sup>	<input type="text" value="0"/> m <sup>2</sup>

Fonte: Visual Ventos (2008)

Figura 14 – Determinação da Velocidade Básica na Região de Goiás

Análise das Isopletas de Vento



Velocidade Básica

Vo  m/s

Vo: Máxima velocidade média sobre 3 segundos, que pode ser estendida em média uma vez em 50 anos, a 10m sobre o nível do terreno em lugar aberto e plano.

Fonte: Visual Ventos (2008)

Figura 15 – Determinação Fator Topográfico

Fator Topográfico

Fator S1

- Terreno plano ou fracamente acidentado
- Talude e Morros
- Vales profundos, protegidos de vento de qual quer direção

Taludes e Morros

$\phi$   °

z  m

d  m

S1

Pode ser admitido um fluxo de ar bidimensional soprando no sentido indicado na figura.  
 Nos pontos A e C (Taludes) e no ponto A (Morros): S1=1.00

Fonte: Visual Ventos (2008)

Figura 16 - Determinação Fator de Rugosidade

Fator de Rugosidade

Categoria do terreno	
Categoria	Descrição do ambiente
<input type="radio"/> I	Superfícies lisas de grandes dimensões, com mais de 5km de extensão, medida na direção e sentido do vento incidente. Exemplos: mar calmo; lagos e rios; pântanos sem vegetação.
<input type="radio"/> II	Terrenos abertos em nível ou aproximadamente em nível, com poucos obstáculos isolados, tais como árvores e edificações baixas. A cota média do topo dos obstáculos é considerada inferior ou igual a 1m. Exemplos: zonas costeiras planas; pântanos com vegetação rala; campos de aviação; pradarias e charnecas; fazendas sem sebes ou muros.
<input type="radio"/> III	Terrenos planos ou ondulados com obstáculos, tais como sebes e muros, poucos quebra-ventos de árvores, edificações baixas e esparsas. A cota média do topo dos obstáculos é considerada igual a 3m. Exemplos: granjas e casas de campo, com exceção das partes com matos, fazendas com sebes e/ou muros, subúrbios a considerável distância do centro, com casas baixas e esparsas.
<input checked="" type="radio"/> IV	Terrenos cobertos por obstáculos numerosos e pouco espaçados em zona florestal, industrial ou urbanizada. A cota média do topo dos obstáculos é considerada igual a 10m. Exemplos: zonas de parques e bosques com muitas árvores; cidades pequenas e seus arredores; subúrbios densamente construídos de grandes cidades; áreas industriais plena ou parcialmente desenvolvidas.
<input type="radio"/> V	Terrenos cobertos por obstáculos numerosos, grandes, altos e pouco espaçados. A cota média do topo dos obstáculos é considerada igual ou superior a 25m. Exemplos: florestas com árvores altas de copas isoladas; centros de grandes cidade; complexo industriais bem desenvolvidos.

Classe de edificação

Classe	Descrição
<input type="radio"/> A	Maior dimensão menor ou igual a 20m
<input checked="" type="radio"/> B	Maior dimensão entre 20 e 50m
<input type="radio"/> C	Maior dimensão maior ou igual 50m

Maior dimensão  m

Fator S2

S2

Fonte: Visual Ventos (2008)

**Figura 17 – Determinação Fator Estatístico**

Fator Estatístico

Fator S3

Grupo	Descrição
<input type="radio"/> 1	Edificações cuja ruína total ou parcial pode afetar a segurança ou possibilidade de socorro a pessoas após uma tempestade destrutiva (hospitais, quartéis de bombeiros, centrais de comunicação, etc)
<input type="radio"/> 2	Edificações para hotéis e residências, Edificações para comércio e indústria com alto fator de ocupação
<input checked="" type="radio"/> 3	Edificações e instalações industriais com baixo fator de ocupação (depósitos, silos, construções rurais, etc)
<input type="radio"/> 4	Vedações (telhas, vidros, painéis de vedação, etc)
<input type="radio"/> 5	Edificações temporárias, Estruturas dos grupos 1 a 3 durante a construção

S3

Fonte: Visual Ventos (2008)

**Figura 18 – Determinação Coeficiente de Pressão Interna**

Coeficiente de pressão interna

Cpi

Duas faces opostas igualmente permeáveis, as outras faces impermeáveis:

- vento perpendicular a uma face permeável → Cpi = +0.2
- vento perpendicular a uma face impermeável → Cpi = -0.3

Quatro faces igualmente permeáveis → Cpi = -0.3 ou 0.0

Abertura dominante em uma face, as outras faces de igual permeabilidade

- Abertura dominante na face de barlavento → Cpi = 0.10 ou 0.10
- Abertura dominante na face de sotavento → Cpi = 0.70 ou 0.70

Abertura dominante em uma face paralela ao vento

- Abertura dominante não situada em zona de alta sucção externa → Cpi = -0.80 ou -0.90
- Abertura dominante situada em zona de alta sucção externa → Cpi = -0.40 ou -0.40

Edificações efetivamente estanques e com janelas fixas que tenham uma probabilidade desprezável de serem rompidas por acidente → Cpi = -0.2 ou 0.0

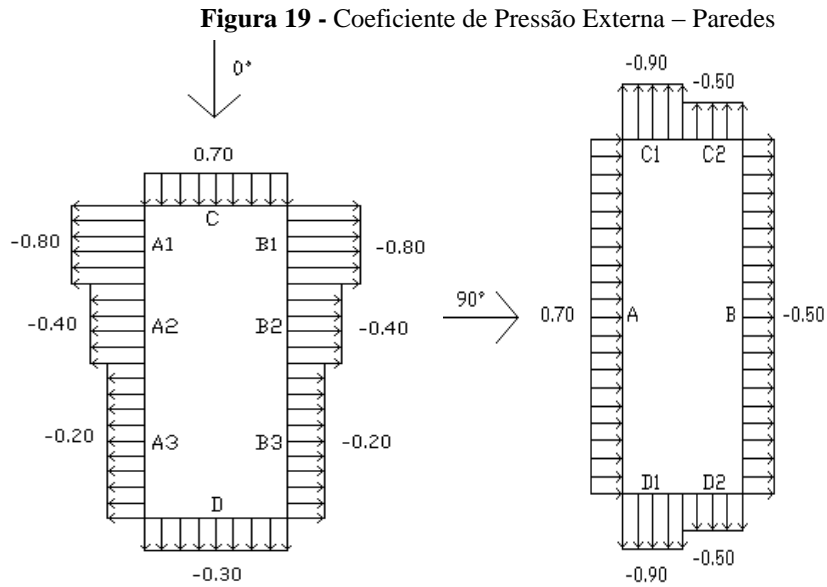
Relação entre a área das aberturas e a área total da face:

- vento a 0° → Cpi = à calcular
- vento a 90° → Cpi = à calcular

Fonte: Visual Ventos (2008)

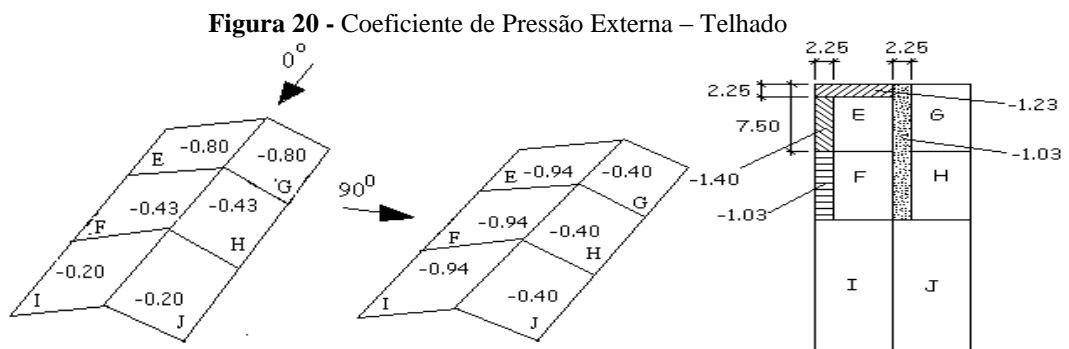
## 4.11 RESULTADOS

## a) Coeficiente de pressão externa – paredes



Fonte: Visual Ventos (2008)

## b) Coeficiente de pressão externa – Telhado

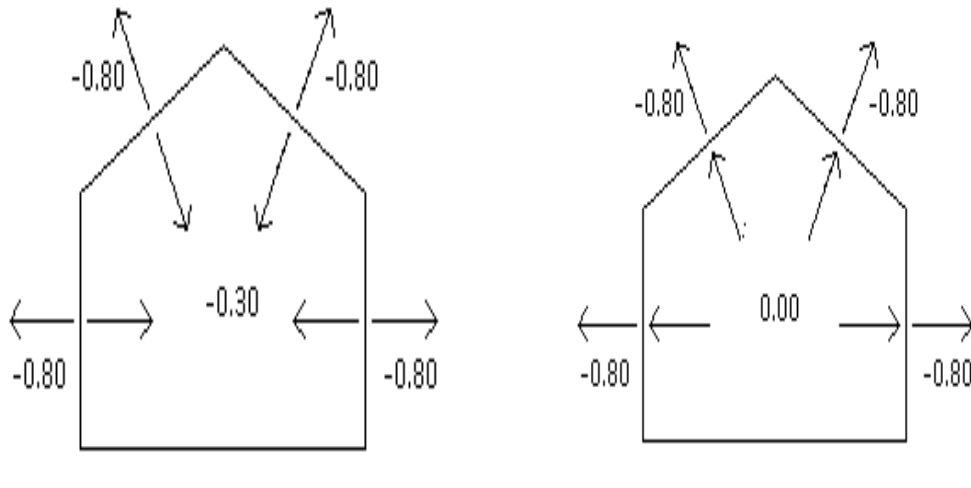


Fonte: Visual Ventos (2008)



## c) Combinação dos coeficientes de pressão – Vento 0° (Frontal)

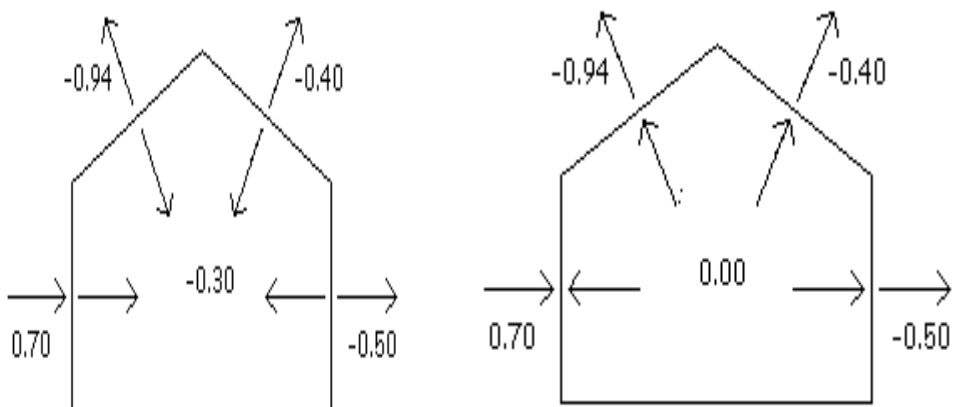
Figura 21 - Coeficiente de Pressão Externa



Fonte: Visual Ventos (2008)

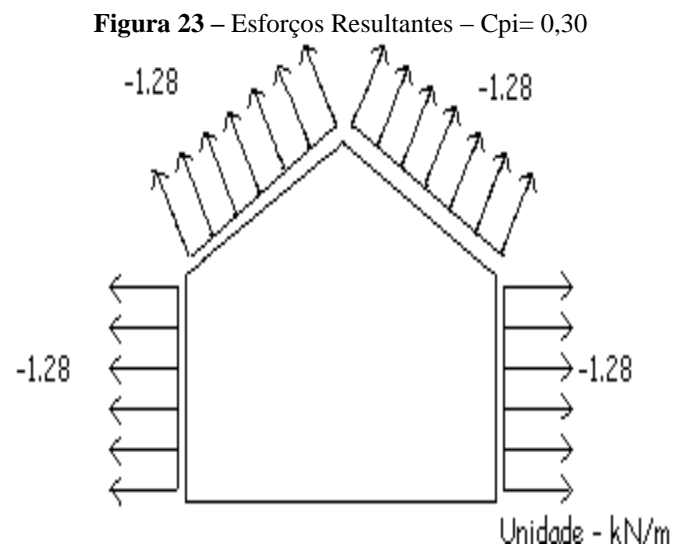
## d) Combinação dos coeficientes de pressão – Vento 90° (Lateral)

Figura 22 - Coeficiente de Pressão Externa

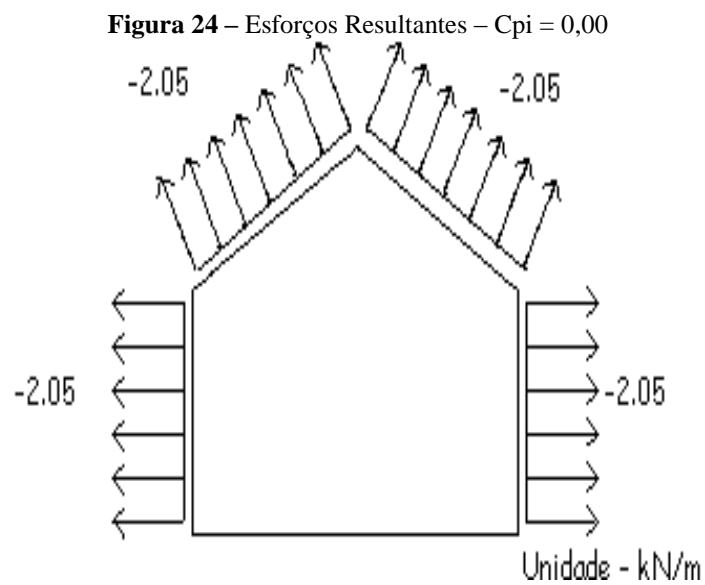


Fonte: Visual Ventos (2008)

## e) Esforços Resultantes – Vento 0° (Frontal)

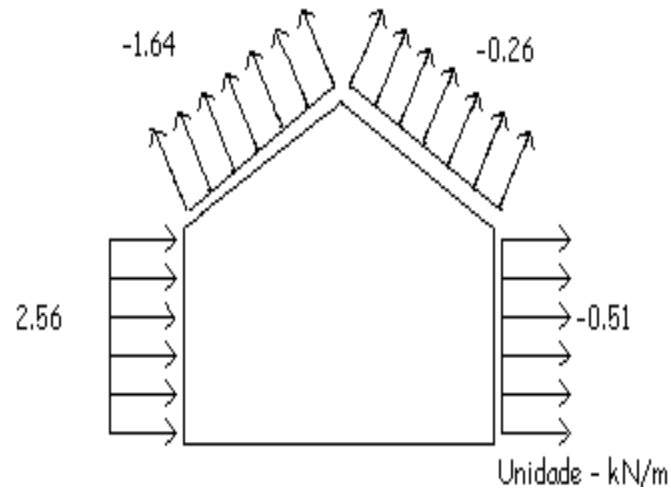


Fonte: Visual Ventos (2008)

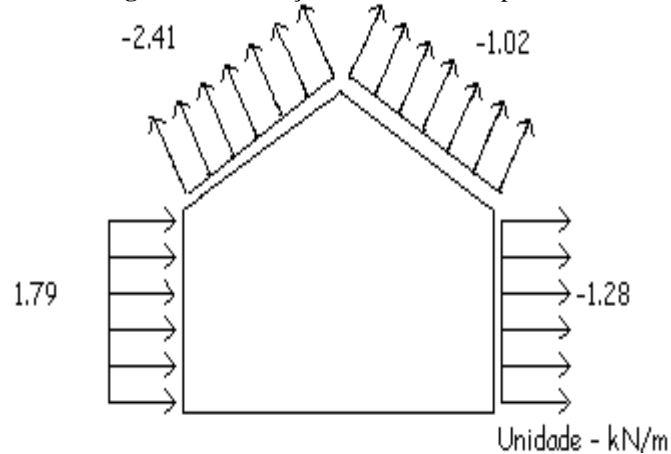


Fonte: Visual Ventos (2008)

## f) Esforços Resultantes - Vento 0° (Lateral)

**Figura 25** - Esforços Resultantes – Cpi= 0,3

Fonte: Visual Ventos (2008)

**Figura 26** - Esforços Resultantes – Cpi= 0,0

Fonte: Visual Ventos (2008)

## 4.12 COMBINAÇÕES

De acordo com a NBR 8800 (ABNT, 2008, p.19), a combinação das ações deve ser feita de forma que possam ser determinados os efeitos mais desfavoráveis para a estrutura. Desta forma, para verificação das condições mais desfavoráveis, são determinados três hipóteses para as cargas:

1. Peso Próprio (PP) + Sobrecarga (SBC) + Vento 0°
2. Peso Próprio (PP) + Sobrecarga (SBC) + Vento 90°
3. Peso Próprio (PP) + Sobrecarga (SBC) + Vento Pressão (VP)

#### 4.12.1 Cálculo das Envoltórias ou Combinações

Para cálculo das combinações últimas de ações em condições normais, foi utilizada na NBR 8800 (ABNT, 2008, p.20) a expressão:

$$\sum_{i=1}^m (\gamma_{gi} F_{Gi}) + \gamma_{q1} F_{Q1} + \sum_{j=2}^n (\gamma_{qi} \psi_{oj} F_{Qj}) \quad (23)$$

Onde:

$F_{Gi}$  = ações permanentes;

$F_{Q1}$  = ação variável considerada principal para a combinação;

$F_{Qj}$  = demais ações variáveis que atuam simultaneamente com a ação principal;

$\gamma_{gi}$  = coeficiente de majoração das ações permanentes;

$\gamma_{q1}$  = coeficiente de majoração da ação variável principal;

$\gamma_{qj}$  = coeficiente de majoração das demais ações variáveis;

$\psi_{oj}$  = fator de combinação.

Para a realização dos cálculos, para este projeto foram utilizados os valores dos coeficientes dados na Tabela 1 – Valores dos Coeficientes de ponderação das ações (NBR 8800, ABNT 2008, p. 21), Tabela 2 – Fatores de combinação e redução (NBR 8800, ABNT, 2008, p. 22) e valores indicados pelo professor orientador. De acordo com as tabelas obtiveram-se os seguintes valores dos coeficientes:

$\gamma_{gi} = 1,25$  (Peso próprio de estruturas metálicas);

$\gamma_{q1} = 1,50$  (Sobrecarga de uso da edificação);

$\gamma_{qj} = 1,40$  (Demais cargas);

$\psi_{oj} = 0,70$  (Fator de combinação).

Os valores das cargas que atuam nesta estrutura são:

- Peso próprio dos pilares: 22,01 Kgf/m
- Peso próprio da treliça: 24,36 Kgf/m
- Peso próprio das terças: 6,8 Kgf/m
- Peso próprio das linhas de corrente: 1,11 Kgf/m
- Peso próprio da mão francesa: 2,18 Kgf/m

- Peso próprio contravento da cobertura: 0,98 Kgf/m
- Peso da telha: 5 Kgf/m<sup>2</sup> (conforme catálogo ISOESTE)
- Sobrecarga de Cobertura: 25 Kgf/m<sup>2</sup>
- Força devido ao vento: (conforme capítulo 4.11)

Para análise estrutural e obtenção dos esforços nas barras será utilizado o software SAP2000 (Universidade Avenue Berkeley, Califórnia, USA, 1995).

#### 4.13 RESULTADOS DAS ENVOLTÓRIAS

Ao analisarmos as combinações: Peso Próprio + Sobrecarga + Vento 0°, Peso Próprio + Sobrecarga + Vento 90°, Peso Próprio + Sobrecarga + Vento (Pressão), tivemos como resultado mais desfavorável à hipótese Peso Próprio + Sobrecarga + Vento 90°, da qual se obteve as solicitações máximas de cálculo, que serão mostrados nas Tabelas 1, 2, 3, 4, 5.

##### a) Pilares

**Tabela 1**– Esforços nos Pilares

<b>Combinação</b>	<b>ESFORÇOS PILARES</b>		
	<b>NORMAL</b> Kgf	<b>CORTANTE</b> Kgf	<b>MOMENTO</b> Kgf-m
PP+SBC+V90°	-4213,57	981,96	2772,57

Fonte: Autores da pesquisa (2015)

##### b) Banzos da treliça

**Tabela 2**– Esforços nos banzos da treliça

<b>Combinação</b>	<b>BANZOS</b>
	<b>NORMAL</b> Kgf
PP+SBC+V90°	-13085,68
PP+SBC+V90°	12462,43

Fonte: Autores da pesquisa (2015).

##### c) Diagonais e montantes da treliça

**Tabela 3**– Esforços diagonais e montantes

<b>DIAGONAIS E MONTANTES</b>	
<b>Combinação</b>	<b>NORMAL</b> Kgf
PP+SBC+V90°	-4600,05
PP+SBC+V90°	3787,99

Fonte: Autores da pesquisa (2015).

d) Terças de cobertura

**Tabela 4** – Esforços terças de cobertura

<b>TERÇAS DE COBERTURA</b>				
<b>Combinação</b>	<b>CORTANTE X</b> Kgf	<b>CORTANTE Y</b> Kgf	<b>MOMENTO X</b> Kgf-m	<b>MOMENTO Y</b> Kgf-m
PP+SBC+V90°	62,14	754,06	556,36	21,07

Fonte: Autores da pesquisa (2015)

e) Terças de fechamento

**Tabela 5**– Esforços terças de fechamento

<b>TERÇAS DE FECHAMENTO</b>				
<b>Combinação</b>	<b>CORTANTE X</b> Kgf	<b>CORTANTE Y</b> Kgf	<b>MOMENTO X</b> Kgf-m	<b>MOMENTO Y</b> Kgf-m
PP+SBC+V90°	252,9	326,62	360,6	304,76

Fonte: Autores da pesquisa (2015)

#### 4.14 DIMENSIONAMENTO

##### 4.14.1 Pilares

Os pilares sustenta toda a estrutura, este recebe cargas gravitacionais e de vento simultaneamente, sofrendo uma flexo-compressão.

Os esforços máximos devido ao carregamento foram retirados da tabela 1.

Esforços no pilares

$N = -4213,57$  (compressão)

$V = 981,96$

$$M = 2772,57$$

No pré-lançamento da estrutura foi adotado para os pilares, o perfil em seção “I” laminado W 250 X 17.9, fabricado com aço ASTM A572 GR50 com as seguintes propriedades:

$$A = 23,1 \text{ cm}^2$$

$$t_w = 4,8 \text{ mm}$$

$$t_f = 5,3 \text{ mm}$$

$$b_w = 251 \text{ mm}$$

$$b_f = 101 \text{ mm}$$

$$I_x = 2291 \text{ cm}^4$$

$$I_y = 91 \text{ cm}^4$$

$$I_t = 2,54 \text{ cm}^4$$

$$C_w = 13735 \text{ cm}^6$$

$$M = 17,9 \text{ kgf/m}$$

$$r_x = 9,96 \text{ cm}$$

$$r_y = 1,99 \text{ cm}$$

Onde:

A = Área da seção transversal do perfil;

$t_w$  = Espessura da alma do perfil;

$t_f$  = Espessura da mesa do perfil;

$b_w$  = Altura do perfil;

$b_f$  = Largura do perfil;

I = Inércia do perfil;

$C_w$  = Constante de empenamento da seção;

M = Peso do perfil;

$r_x$  = Raio de giração em relação ao eixo X;

$r_y$  = Raio de giração em relação ao eixo Y.

- **Cálculo da compressão**

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_x}{(K_x \cdot L_x)^2} = 125618,13 \text{ kgf}$$

$N_{ex}$  = (Força axial de flambagem por flexão em relação a X)

$$N_{ey} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_x}{(K_y \cdot L_y)^2} = 44906,70 \text{ kgf}$$

$N_{ey}$  = (Força axial de flambagem por flexão em relação a Y)

$$N_{et} = \frac{1}{r_o^2} \left[ \frac{\pi^2 \cdot E \cdot C_w}{(K_z \cdot L_z)^2} + G \cdot J \right] = 84660,79 \text{ kgf}$$

$N_{et}$  = (Força axial de flambagem por torção)

$$H = 1 - \frac{X_o^2}{R_o^2} = 1,00$$

$$N_{ext} = \frac{N_{ex} + N_{et}}{2H} \cdot \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{4 \cdot N_{ex} \cdot N_{et} \cdot H}{(N_{ex} + N_{et})^2}} \right] = 84660,79 \text{ kgf}$$

$N_{ext}$  = (Força axial de flambagem por flexo-torção)

$N_e = 44906,70 \text{ kgf}$  (Força axial de flambagem global elástica)

$Q = 0,88$  Fator de redução à instabilidade local.

$$N_{pl} = A \cdot f_y = 79695,00 \text{ kgf}$$

$$\lambda_o = \frac{Q \cdot N_{pl}}{N_e} = 1,25$$

$$\lambda_o \leq 1,5 \text{ então } \chi = 0,658 \lambda_o^2 = 0,52$$

$$N_c, R_d = \frac{\chi \cdot Q \cdot A_g \cdot f_y}{1,10} = 33216,19 \text{ kgf}$$

$$\frac{\text{SOLICITANTE}}{\text{RESISTENTE}} = \frac{N_c, S_d}{N_c, R_d} = 0,13 < 1,00 \text{ (OK!)}$$

- Cálculo da resistência à flexão – Eixo x



$$\sigma_r = 10350000,00 \text{ kgf/m}^2 \text{ (Tensão residual)}$$

$$M_{pl} = Z \cdot f_y = 6930,15 \text{ kgf.m (Momento fletor de plastificação da seção)}$$

- **FLT – Flambagem Lateral com Torção**

$$\lambda = \frac{L_b}{r_y} = 100,50 \text{ (Parâmetro de esbeltez)}$$

$$\lambda_p = 1,76 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 42,38 \text{ (Parâmetro de esbeltez correspondente à plastificação)}$$

$$\beta_1 = 0,09$$

$$\lambda_r = \frac{1,38 \cdot \sqrt{I_y \cdot I_t}}{r_y \cdot I_t \cdot \beta_1} \cdot \sqrt{1 + \sqrt{1 + \frac{27 \cdot C_w \cdot \beta_1^2}{I_y}}} = 123,15 \text{ (Parâmetro de esbeltez}$$

correspondente ao início do escoamento)

$$M_r = (f_y - \sigma_r) \cdot W = 4408,58 \text{ kgf.m (Momento fletor correspondente ao início do escoamento)}$$

$$C_b = 1,00 \text{ (Fator de modificação para diagrama de momento fletor não uniforme).}$$

$$M_{cr} = \frac{C_b \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_b^2} \cdot \sqrt{\frac{C_w}{I_y} \cdot \left(1 + 0,039 \cdot \frac{I_t \cdot L_b^2}{C_w}\right)} \leq M_{pl} = 6262,46 \text{ kgf.m (Momento}$$

fletor de flambagem elástica)

$$\lambda_p < \lambda \leq \lambda_r \text{ então:}$$

$$M_{Rk} = C_b \cdot \left[ M_{pl} - (M_{pl} - M_r) \cdot \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \right] \leq M_{pl}$$

$$M_{Rk}^{FLT} = 5115,59 \text{ kgf.m (Momento fletor resistente característico para o estado limite FLT)}$$

- **FLM – Flambagem Local da Mesa**

$$\lambda = \frac{b}{t} = 9,53 \text{ (Parâmetro de esbeltez)}$$

$$\lambda_p = 0,38 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 9,15 \text{ (Parâmetro de esbeltez correspondente à plastificação)}$$

$$\lambda_r = 0,83 \cdot \sqrt{\frac{E}{(f_y - \sigma_r)}} = 23,89 \text{ (Parâmetro de esbeltez correspondente ao início do escoamento)}$$

$$M_{cr} = \frac{0,69 \cdot E}{\lambda^2} \cdot W_c = 13873,93 \text{ kgf.m (Momento fletor de flambagem elástica)}$$

$$MR_k = \left[ M_{pl} - (M_{pl} - M_r) \cdot \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \right] \leq M_{pl}$$

$\lambda_p < \lambda \leq \lambda_r$  então:

$$MR_k^{FLM} = 6865,30 \text{ kgf.m (Momento fletor resistente característico para o estado limite FLM)}$$

- **FLM – Flambagem Local da Alma**

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = 50,08 \text{ (Parâmetro de esbeltez)}$$

$$\lambda_p = 3,76 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 90,53 \text{ (Parâmetro de esbeltez correspondente à plastificação)}$$

$$\lambda_r = 5,70 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 137,24 \text{ (Parâmetro de esbeltez correspondente ao início do escoamento)}$$

$M_r = W \cdot f_y = 6297,97 \text{ kgf.m (Momento fletor correspondente ao início do escoamento)}$

$\lambda_p < \lambda \leq \lambda_r$  então:

$$MR_k = M_{pl}$$

$MR_k^{FLA} = 6930,15 \text{ kgf.m}$  (Momento fletor resistente característico para o estado limite FLA)

$$MR_k = 5115,59 \text{ kgf.m}$$
 (Momento Fletor resistente característico)

$$M_{x, Rd} = \frac{MR_k}{1,10} = 4650,54 \text{ kgf.m}$$
 (Momento fletor resistente de cálculo)

$$\frac{\text{SOLICITANTE}}{\text{RESISTENTE}} = \frac{M_{x, Sd}}{M_{x, Rd}} = 0,60 < 1,00 \text{ (OK!)}$$

- **Cálculo da resistência à cortante – Eixo Y**

$$\lambda = \frac{h}{t} = 50,08 \text{ (Parâmetro de esbeltez)}$$

$$K_v = 5,00 \text{ (Coeficiente de flambagem local por cisalhamento)}$$

$$\lambda_p = 1,10 \sqrt{\frac{K_v \cdot E}{f_y}} = 59,22 \text{ (Parâmetro de esbeltez limite para plastificação)}$$

$$\lambda_r = 1,37 \sqrt{\frac{K_v \cdot E}{f_y}} = 73,76 \text{ (Parâmetro de esbeltez limite para início de escoamento)}$$

$$A_w = 0,00\text{m}^2 \text{ (Área efetiva de cisalhamento)}$$

$$V_{pl} = 0,60 \cdot A_w \cdot f_y = 24939,36 \text{ kgf}$$
 (Força cortante correspondente à plastificação)

$$\lambda \leq \lambda_p \text{ então:}$$

$$VR_k = V_{pl}$$

$$V_{y, Rd} = \frac{VR_k}{1,10} = 22672,15 \text{ kgf}$$
 (Resistência ao esforço cortante em relação ao eixo Y)

$$\frac{\text{SOLICITANTE}}{\text{RESISTENTE}} = \frac{V_{y,Sd}}{V_{y,Rd}} = 0,04 < 1,00 \text{ (OK!)}$$

- **Equações de interação dos esforços**

$$\frac{N_{tSd}}{2 \cdot N_{tRd}} + \left( \frac{M_{xSd}}{M_{xRd}} + \frac{M_{ySd}}{M_{yRd}} \right) = 0,60 < 1,00 \text{ (OK!)}$$

$$\frac{N_{cSd}}{2 \cdot N_{cRd}} + \left( \frac{M_{xSd}}{M_{xRd}} + \frac{M_{ySd}}{M_{yRd}} \right) = 0,66 < 1,00 \text{ (OK!)}$$

#### 4.14.2 Treliças de Cobertura

As treliças de cobertura são de banzos não paralelos, sendo banzos superiores inclinados e inferiores perpendiculares aos pilares, formando um ângulo de 90° com os mesmos. Estão submetidas a cargas gravitacionais juntamente com as cargas de vento. São constituídas por barras retas unidas pelas extremidades, através de nós, e nesses nós, somente esforços axiais de tração e compressão atuam nas barras.

##### - Banzos da Treliça

Os esforços máximos devido ao carregamento foram retirados da tabela 2

a) Esforços nos banzos da treliça

N = -13085,68 (compressão)

N = 12562,43 (tração)

No pré-lançamento da estrutura foi adotado para os banzos, o perfil em seção “U” 150 X 60 #3,75, perfilado com o aço USI SAC- 250 com as seguintes propriedades:

A = 9,563 cm<sup>2</sup>

bw = 150 mm

bf = 60 mm

tw = 3,75 mm

tf = 3,75 mm

I<sub>x</sub> = 316,063 cm<sup>4</sup>

$$I_y = 32,404 \text{ cm}^4$$

$$C_w = 1238,016 \text{ cm}^6$$

$$M = 7,51 \text{ kgf/m}$$

$$x_o = 3,335 \text{ cm}$$

$$y_o = 0 \text{ cm}$$

$$r_x = 5,749 \text{ cm}$$

$$r_y = 1,841 \text{ cm}$$

Onde:

A = Área da seção transversal do perfil;

bw = Altura do perfil;

bf = Largura do perfil;

tw = Espessura da alma do perfil;

tf = Espessura da mesa do perfil;

I = Inércia do perfil;

Cw = Constante de empenamento da seção;

M = Peso do perfil;

xo = Distância do centro de torção ao centroide na direção X;

yo = Distância do centro de torção ao centroide na direção Y;

rx = Raio de giração em relação ao eixo X;

ry = Raio de giração em relação ao eixo Y.

- **Cálculo da Tração**

CT = 1,00 (Coeficiente de redução da área líquida)

$$N_{tRd1} = \frac{A \cdot f_y}{1,10} = 21732,95 \text{ kgf (Resistência de escoamento)}$$

$$N_{tRd2} = \frac{CT \cdot A_n \cdot f_u}{1,65} = 23181,82 \text{ kgf (Resistência à ruptura)}$$

$N_{tRd} = 21732,95 \text{ kgf (Resistência à tração)}$

$$\frac{\text{SOLICITANTE}}{\text{RESISTENTE}} = \frac{N_{tSd}}{N_{tRd}} = 0,57 < 1,00 \text{ (OK!)}$$

- **Cálculo da Compressão**

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_x}{(K_x \cdot L_x)^2} = 182289,06 \text{ kgf}$$

$$N_{ey} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{(K_y \cdot L_y)^2} = 75570,83 \text{ kgf}$$

$$N_{ez} = \frac{1}{r_o^2} \left[ \frac{\pi^2 \cdot E \cdot C_w}{(K_z \cdot L_z)^2} + G \cdot J \right] = 68176,21 \text{ kgf}$$

$$H = 1 - \frac{X_o^2}{R_o^2} = 0,77$$

$$N_{exz} = \frac{N_{ex} + N_{ez}}{2 \cdot H} \cdot \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{4 \cdot N_{ex} \cdot N_{ez} \cdot H}{(N_{ex} + N_{ez})^2}} \right] = 61002,67 \text{ kgf}$$

$$N_e = 61002,67 \text{ kgf}$$

$$\lambda_o = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_e}} = 0,63$$

$$\lambda_o \leq 1,5 \text{ então } \chi = 0,658 \lambda_o^2 = 0,85$$

- **Cálculo da resistência à compressão devido à flambagem global**

$$A_{ef}^{FG} = 0,00 \text{ m}^2 \text{ (Área efetiva devido à flambagem global)}$$

$$N_{cRd} = \frac{\chi \cdot A_{ef} \cdot f_y}{1,20} = 16598,58 \text{ kgf} \text{ (Resistência à compressão devido a flambagem}$$

global)

- **Cálculo da resistência à compressão devido à flambagem local**

$A_{ef}^{FL} = 0,00 \text{ m}^2$  (Área efetiva devido a flambagem local)

$N_{cRd}^{FL} = \frac{A_{ef}^{FL} \cdot f_y}{1,20} = 19184,31 \text{ kgf}$  (Resistência à compressão devida á flambagem

local)

$N_{cRd} = 16598,58 \text{ kgf}$  (Força normal resistente de cálculo à compressão)

$\frac{\text{SOLICITANTE}}{\text{RESISTENTE}} = \frac{N_{c,Sd}}{N_{c,Rd}} = 0,79 < 1,00$  (OK!)

- **Equações de interação dos esforços**

$\frac{N_{cSd}}{N_{cRd}} + \frac{C_{m} \cdot M_{xSd}}{M_{xRd} \cdot (1 - \frac{N_{cSd}}{N_{ex}})} + \frac{C_{m_y} \cdot M_{ySd}}{M_{yRd} \cdot (1 - \frac{N_{cSd}}{N_{ey}})} = 0,79 < 1,00$  (OK!)

$\frac{N_{cSd}}{N_{cRd}} + \frac{M_{xSd}}{M_{xRd}} + \frac{M_{ySd}}{M_{yRd}} = 0,61 < 1,00$  (OK!)

$\frac{M_{xSd}}{M_{xRd}} + \frac{M_{ySd}}{M_{yRd}} + \frac{N_{tSd}}{N_{tRd}} = 0,57 < 1,00$  (OK!)

$\frac{M_{xSd}}{M_{xRd}} + \frac{M_{ySd}}{M_{yRd}} - \frac{N_{tSd}}{N_{tRd}} = 0,57 < 1,00$  (OK!)

**- Diagonais e Montantes da Treliça**

Os esforços máximos devido ao carregamento foram retirados da tabela 3.

b) Esforços nos diagonais e montantes

$N = -4600,05$  (compressão)

$N = 3787,99$  (tração)

No pré-lançamento da estrutura foi adotado para os diagonais e montantes, o perfil em seção “U” 140 X 50 #2,25, perfilado com o aço USI SAC- 250 com as seguintes

propriedades:

$$A = 5,198 \text{ cm}^2$$

$$b_w = 140 \text{ mm}$$

$$b_f = 50 \text{ mm}$$

$$t_w = 2,25 \text{ mm}$$

$$t_f = 2,25 \text{ mm}$$

$$I_x = 148,587 \text{ cm}^4$$

$$I_y = 11,973 \text{ cm}^4$$

$$C_w = 406,826 \text{ cm}^6$$

$$M = 4,08 \text{ kgf/m}$$

$$x_o = 2,667 \text{ cm}$$

$$y_o = 0 \text{ cm}$$

$$r_x = 5,347 \text{ cm}$$

$$r_y = 1,518 \text{ cm}$$

Onde:

$A$  = Área da seção transversal do perfil;

$b_w$  = Altura do perfil;

$b_f$  = Largura do perfil;

$t_w$  = Espessura da alma do perfil;

$t_f$  = Espessura da mesa do perfil;

$I$  = Inércia do perfil;

$C_w$  = Constante de empenamento da seção;

$M$  = Peso do perfil;

$x_o$  = Distância do centro de torção ao centroide na direção X;

$y_o$  = Distância do centro de torção ao centroide na direção Y;

$r_x$  = Raio de giração em relação ao eixo X;

$r_y$  = Raio de giração em relação ao eixo Y.

- **Cálculo da Tração**

$$C_T = 1,00 \text{ (Coeficiente de redução da área líquida)}$$



$$N_{tRd1} = \frac{A \cdot f_y}{1,10} = 11812,50 \text{ kgf (Resistência de escoamento)}$$

$$N_{tRd2} = \frac{C_T \cdot A_n \cdot f_u}{1,65} = 12600,00 \text{ kgf (Resistência à ruptura)}$$

$$N_{tRd} = 11,812,50 \text{ kgf (Resistência à tração)}$$

$$\frac{\text{SOLICITANTE}}{\text{RESISTENTE}} = \frac{N_{tSd}}{N_{tRd}} = 0,32 < 1,00 \text{ (OK!)}$$

- **Cálculo da Compressão**

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_x}{(K_x \cdot L_x)^2} = 130355,31 \text{ kgf}$$

$$N_{ey} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{(K_y \cdot L_y)^2} = 10504,05 \text{ kgf}$$

$$N_{ez} = \frac{1}{r_0^2} \left[ \frac{\pi^2 \cdot E \cdot C_w}{(K_z \cdot L_z)^2} + G \cdot J \right] = 11186,95 \text{ kgf}$$

$$H = 1 - \frac{X_0^2}{R_0^2} = 0,81$$

$$N_{exz} = \frac{N_{ex} + N_{ez}}{2 \cdot H} \cdot \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{4 \cdot N_{ex} \cdot N_{ez} \cdot H}{(N_{ex} + N_{ez})^2}} \right] = 10996,19 \text{ kgf}$$

$$N_e = 10504,05 \text{ kgf}$$

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_e}} = 1,11$$

$$\lambda_0 \leq 1,5 \text{ então } \chi = 0,658^{\lambda_0^2} = 0,60$$

- **Cálculo da resistência à compressão devido à flambagem global**

$$A_{ef}^{FG} = 0,00 \text{ m}^2 \text{ (Área efetiva devido à flambagem global)}$$

$$N_{cRd} = \frac{\chi \cdot A_{ef} \cdot f_y}{1,20} = 5632,11 \text{ kgf (Resistência à compressão devido à flambagem global)}$$

- **Cálculo da resistência à compressão devido à flambagem local**

$$A_{ef}^{FL} = 0,00 \text{ m}^2 \text{ (Área efetiva devido a flambagem local)}$$

$$N_{cRd}^{FL} = \frac{A_{ef}^{FL} \cdot f_y}{1,20} = 7943,08 \text{ kgf (Resistência à compressão devida á flambagem}$$

local)

$$N_{cRd} = 5632,11 \text{ kgf (Força normal resistente de cálculo à compressão)}$$

$$\frac{\text{SOLICITANTE}}{\text{RESISTENTE}} = \frac{N_{c,Sd}}{N_{c,Rd}} = 0,82 < 1,00 \text{ (OK!)}$$

- **Equações de interação dos esforços**

$$\frac{N_{cSd}}{N_{cRd}} + \frac{C_{m,x} \cdot M_{xSd}}{M_{xRd} \cdot \left(1 - \frac{N_{cSd}}{N_{cx}}\right)} + \frac{C_{m,y} \cdot M_{ySd}}{M_{yRd} \cdot \left(1 - \frac{N_{cSd}}{N_{cy}}\right)} = 0,79 < 1,00$$

$$\frac{N_{cSd}}{N_{cRd}} + \frac{M_{xSd}}{M_{xRd}} + \frac{M_{ySd}}{M_{yRd}} = 0,61 < 1,00 \text{ (OK!)}$$

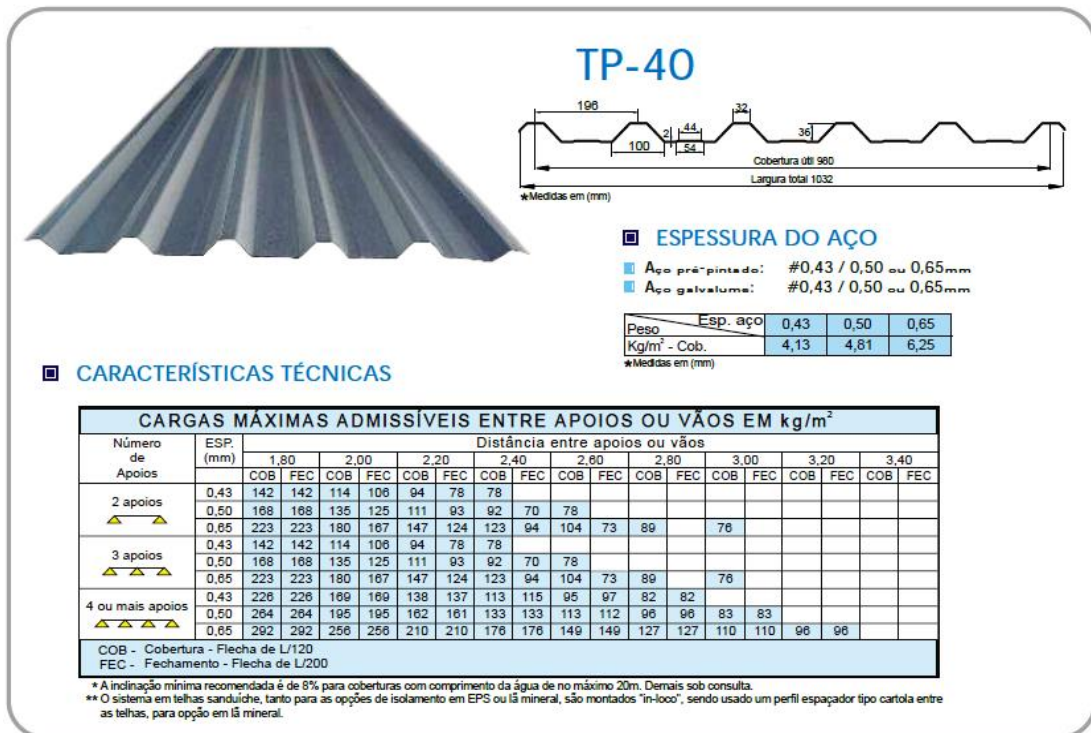
$$\frac{M_{xSd}}{M_{xRd}} + \frac{M_{ySd}}{M_{yRd}} + \frac{N_{tSd}}{N_{tRd}} = 0,57 < 1,00 \text{ (OK!)}$$

$$\frac{M_{xSd}}{M_{xRd}} + \frac{M_{ySd}}{M_{yRd}} - \frac{N_{tSd}}{N_{tRd}} = 0,57 < 1,00 \text{ (OK!)}$$

#### 4.14.3 Terças de Cobertura

Neste projeto foi adotada a telha trapezoidal com altura da onda de 40 mm e espessura de 0,50mm, espaçadas em vãos de 2,00 m e peso próprio considerado de 5,00 Kg/m<sup>2</sup>. As terças de cobertura foram consideradas bi-apoiadas, para se obter o maior valor de momento fletor (situação mais desfavorável), e dimensionadas a flexão. A telha que será usada na cobertura que determina o espaçamento entre terças.

Figura 27 – Telha adotada no projeto



Fonte: Catálogo ISOESTE (2015)

Os esforços máximos devido ao carregamento foram retirados da Tabela 4.

a) Esforços nos diagonais e montantes

$$V_x = 62,14 \text{ kgf}$$

$$V_y = 754,06 \text{ kgf}$$

$$M_x = 556,36 \text{ kgf.m}$$

$$M_y = 21,07 \text{ kgf.m}$$

No pré-lançamento da estrutura foi adotado para as terças de cobertura, o perfil em seção “U enrijecido” 150 X 60 X 20 #3,00, perfilado com o aço USI SAC- 250 com as seguintes propriedades:

$$A = 8,58 \text{ cm}^2$$

$$b_w = 150 \text{ mm}$$

$$b_f = 60 \text{ mm}$$

$$t_w = 3,00 \text{ mm}$$

$$t_f = 3,00 \text{ mm}$$

$$I_x = 291,081 \text{ cm}^4$$

$$I_y = 40,978 \text{ cm}^4$$

$$C_w = 2090,943 \text{ cm}^6$$

$$M = 6,735 \text{ kgf/m}$$

$$x_o = 4,529 \text{ cm}$$

$$y_o = 0 \text{ cm}$$

$$r_x = 5,825 \text{ cm}$$

$$r_y = 2,185 \text{ cm}$$

Onde:

A = Área da seção transversal do perfil;

$b_w$  = Altura do perfil;

$b_f$  = Largura do perfil;

$t_w$  = Espessura da alma do perfil;

$t_f$  = Espessura da mesa do perfil;

I = Inércia do perfil;

$C_w$  = Constante de empenamento da seção;

M = Peso do perfil;

$x_o$  = Distância do centro de torção ao centroide na direção X;

$y_o$  = Distância do centro de torção ao centroide na direção Y;

$r_x$  = Raio de giração em relação ao eixo X;

$r_y$  = Raio de giração em relação ao eixo Y.

- **Cálculo da Resistência à Flexão – eixo X**

- Cálculo do momento resistente devido ao início de escoamento efetivo

$$MR_{dx} = \frac{W_{ef} \cdot f_y}{1,10} = 882,06 \text{ kgf.m (Resistência de cálculo à flexão)}$$

- Cálculo do momento resistente devido ao estado limite de Flambagem Lateral com Torção

$$M_e = C_b \cdot r_o \cdot \sqrt{N_{ey} + N_{et}} = 770,04 \text{ kgf.m}$$

$$\lambda_o = \sqrt{\frac{W_c \cdot f_y}{M_e}} = 1,12$$

$$0,6 < \lambda_o < 1,336 \text{ então } X_{FLT} = 1,11 \cdot (1 - 0,278 \cdot \lambda_o^2)$$

$$X_{FLT} = 0,72 \quad (\text{Fator de redução associado à flambagem lateral com torção})$$

$$\begin{aligned} MR_{dx} &= \frac{X_{FLT} \cdot W_{ef} \cdot f_y}{1,10} \\ &= 636,13 \text{ kgf.m (Resistência de cálculo à flexão para FLT)} \end{aligned}$$

$$\frac{\text{SOLICITANTE}}{\text{RESISTENTE}} = \frac{M_{xSd}}{M_{xRd}} = 0,87 < 1,0 \text{ (OK!)}$$

- **Cálculo da Resistência à Flexão – eixo Y**

- Cálculo do momento resistente devido ao início de escoamento efetivo

$$MR_{dy} = \frac{W_{ef} \cdot f_y^2}{1,10} = 227,36 \text{ kgf.m (Resistência de cálculo à flexão)}$$

- Cálculo do momento resistente devido ao estado limite de Flambagem Lateral com Torção

$$C_s = -1,00$$

$$C_m = 1,00$$

$j = 0,08 \text{ m}$  - Parâmetro da seção transversal conforme Anexo E - NBR 14762:2010

$$M_e = \frac{C_s \cdot N_{ex}}{C_m} \cdot \left[ j + C_s \cdot \sqrt{j^2 + r_o^2 \cdot \left( \frac{N_{ez}}{N_{ex}} \right)} \right] = 351,08 \text{ kgf.m}$$

$$\lambda_o = \sqrt{\frac{W_c \cdot f_y}{M_e}} = 0,84$$

$$0,6 < \lambda_o < 1,336 \text{ então } X_{FLT} = 1,11 \cdot (1 - 0,278 \cdot \lambda_o^2)$$

$X_{FLT} = 0,89$  (Fator de redução associado à flambagem lateral com torção)

$$\begin{aligned} MR_{dy} &= \frac{X_{FLT} \cdot W_{ef} \cdot f_y}{1,10} \\ &= 202,39 \text{ kgf.m (Resistência de cálculo à flexão para FLT)} \end{aligned}$$

$$\frac{\text{SOLICITANTE}}{\text{RESISTENTE}} = \frac{M_{ySd}}{M_{yRd}} = 0,10 < 1,0 \text{ (OK!)}$$

- Cálculo da Resistência ao Cortante – eixo X

$$\lambda = \frac{h}{t} = 16,00 \text{ (Parâmetro de esbeltez)}$$

$K_v = 5,00$  (Coeficiente de flambagem local por cisalhamento)

$$\lambda_p = 1,08 \cdot \sqrt{\frac{K_v \cdot E}{f_y}} = 68,31 \text{ (Parâmetro de esbeltez limite para plastificação)}$$

$$\lambda_r = 1,40 \cdot \sqrt{\frac{K_v \cdot E}{f_y}} = 88,54 \text{ (Parâmetro de esbeltez limite para início de escoamento)}$$

Como  $\lambda \leq \lambda_p$ , então:

$$V_{Rdx} = \frac{0,6 \cdot h \cdot t \cdot f_y}{1,10} = 3927,27 \text{ kgf}$$

$V_{Rdx}$  = (Resistência ao esforço cortante em relação ao eixo X)

$$\frac{\text{SOLICITANTE}}{\text{RESISTENTE}} = \frac{V_x S_d}{V_x R_d} = 0,02 < 1,0 \text{ (OK!)}$$

- **Cálculo da Resistência ao Cortante – eixo Y**

$$\lambda = \frac{h}{t} = 46,00 \text{ (Parâmetro de esbeltez)}$$

$K_v = 5,00$  (Coeficiente de flambagem local por cisalhamento)

$$\lambda_p = 1,08 \cdot \sqrt{\frac{K_v \cdot E}{f_y}} = 68,31 \text{ (Parâmetro de esbeltez limite para plastificação)}$$

$$\lambda_r = 1,40 \cdot \sqrt{\frac{K_v \cdot E}{f_y}} = 88,54 \text{ (Parâmetro de esbeltez limite para início de escoamento)}$$

Como  $\lambda \leq \lambda_p$ , então:

$$V_{Rdy} = \frac{0,6 \cdot h \cdot t \cdot f_y}{1,10} = 5645,45 \text{ kgf}$$

$V_{Rdy}$  = (Resistência ao esforço cortante em relação ao eixo Y)

$$\frac{\text{SOLICITANTE}}{\text{RESISTENTE}} = \frac{V_y S_d}{V_y R_d} = 0,13 < 1,0 \text{ (OK!)}$$

- **Equações de interação dos esforços**

$$\frac{N_c S_d}{N_c R_d} + \frac{M S_{dx}}{M R_{dx}} + \frac{M S_{dy}}{M R_{dy}} = 0,98 < 1,0 \text{ (OK!)}$$

$$\frac{M S_{dx}}{M R_{dx}} + \frac{M S_{dy}}{M R_{dy}} + \frac{N_t S_d}{N_t R_d} = 0,98 < 1,0 \text{ (OK!)}$$

$$\frac{M S_{dx}}{M R_{dx}} + \frac{M S_{dy}}{M R_{dy}} - \frac{N_t S_d}{N_t R_d} = 0,98 < 1,0 \text{ (OK!)}$$

#### 4.14.4 Terças de Fechamento

As telhas adotadas no fechamento lateral são as mesmas da cobertura, e o espaçamento entre terças é de 2 metros. As terças de fechamento foram consideradas com ligações não rotuladas, de modo que as mesmas possam travar os pilares entre si, diminuindo o comprimento de flambagem no eixo de menor inércia.

Os esforços máximos devido ao carregamento foram retirados da tabela 5.



a) Esforços nos diagonais e montantes

$$V_x = 62,14 \text{ kgf}$$

$$V_y = 754,06 \text{ kgf}$$

$$M_x = 556,36 \text{ kgf.m}$$

$$M_y = 21,07 \text{ kgf.m}$$

No pré-lançamento da estrutura foi adotado para as terças de cobertura, o perfil em seção “U enrijecido” 150 X 60 X 20 #3,00, perfilado com o aço USI SAC- 250 com as seguintes propriedades:

$$A = 8,58 \text{ cm}^2$$

$$b_w = 150 \text{ mm}$$

$$b_f = 60 \text{ mm}$$

$$t_w = 3,00 \text{ mm}$$

$$t_f = 3,00 \text{ mm}$$

$$I_x = 291,081 \text{ cm}^4$$

$$I_y = 40,978 \text{ cm}^4$$

$$C_w = 2090,943 \text{ cm}^6$$

$$M = 6,735 \text{ kgf/m}$$

$$x_o = 4,529 \text{ cm}$$

$$y_o = 0 \text{ cm}$$

$$r_x = 5,825 \text{ cm}$$

$$r_y = 2,185 \text{ cm}$$

Onde:

A = Área da seção transversal do perfil;

$b_w$  = Altura do perfil;

$b_f$  = Largura do perfil;

$t_w$  = Espessura da alma do perfil;

$t_f$  = Espessura da mesa do perfil;

I = Inércia do perfil;

$C_w$  = Constante de empenamento da seção;

M = Peso do perfil;

$x_o$  = Distância do centro de torção ao centroide na direção X;

$y_o$  = Distância do centro de torção ao centroide na direção Y;

$r_x$  = Raio de giração em relação ao eixo X;

$r_y$  = Raio de giração em relação ao eixo Y.

- **Cálculo da Resistência à Flexão – eixo X**

- Cálculo do momento resistente devido ao início de escoamento efetivo

$$MR_{dx} = \frac{W_{ef} \cdot f_y}{1,10} = 882,06 \text{ kgf.m (Resistência de cálculo à flexão)}$$

- Cálculo do momento resistente devido ao estado limite de Flambagem Lateral com Torção

$$M_e = C_b \cdot r_o \cdot \sqrt{N_{ey} + N_{et}} = 770,04 \text{ kgf.m}$$

$$\lambda_o = \sqrt{\frac{W_c \cdot f_y}{M_e}} = 1,12$$

$$0,6 < \lambda_o < 1,336 \text{ então } X_{FLT} = 1,11 \cdot (1 - 0,278 \cdot \lambda_o^2)$$

$$X_{FLT} = 0,72 \quad (\text{Fator de redução associado à flambagem lateral com torção})$$

$$MR_{dx} = \frac{X_{FLT} \cdot W_{ef} \cdot f_y}{1,10} = 636,13 \text{ kgf.m}$$

(Resistência de cálculo à flexão para o estado limite FLT)

$$\frac{\text{SOLICITANTE}}{\text{RESISTENTE}} = \frac{M_{xSd}}{M_{xRd}} = 0,60 < 1,0 \text{ (OK!)}$$

- **Cálculo da Resistência à Flexão – eixo Y**

- Cálculo do momento resistente devido ao início de escoamento efetivo

$$MR_{dy} = \frac{W_{ef} \cdot f_y^2}{1,10} = 227,36 \text{ kgf.m (Resistência de cálculo à flexão)}$$

- Cálculo do momento resistente devido ao estado limite de Flambagem Lateral com Torção

$$C_s = -1,00$$

$$C_m = 1,00$$

$j = 0,08 \text{ m}$  - Parâmetro da seção transversal conforme Anexo E - NBR 14762:2010

$$M_e = \frac{C_s \cdot N_{ex}}{C_m} \cdot \left[ j + C_s \cdot \sqrt{j^2 + r_o^2 \cdot \left( \frac{N_{ez}}{N_{ex}} \right)} \right] = 351,08 \text{ kgf.m}$$

$$\lambda_o = \sqrt{\frac{W_c \cdot f_y}{M_e}} = 0,84$$

$$0,6 < \lambda_o < 1,336 \text{ então } X_{FLT} = 1,11 \cdot (1 - 0,278 \cdot \lambda_o^2)$$

$$X_{FLT} = 0,89 \quad (\text{Fator de redução associado à flambagem lateral com torção})$$

$$MR_{dy} = \frac{X_{FLT} \cdot W_{ef} \cdot f_y}{1,10} = 202,39 \text{ kgf.m}$$

(Resistência de cálculo à flexão para FLT)

$$\frac{\text{SOLICITANTE}}{\text{RESISTENTE}} = \frac{M_{ySd}}{M_{yRd}} = 0,00 < 1,0 \text{ (OK!)}$$

- **Cálculo da Resistência ao Cortante – eixo X**

$$\lambda = \frac{h}{t} = 16,00 \text{ (Parâmetro de esbeltez)}$$

$K_v = 5,00$  (Coeficiente de flambagem local por cisalhamento)

$$\lambda_p = 1,08 \cdot \sqrt{\frac{K_v \cdot E}{f_y}} = 68,31 \text{ (Parâmetro de esbeltez limite para plastificação)}$$

$$\lambda_r = 1,40 \cdot \sqrt{\frac{K_v \cdot E}{f_y}} = 88,54 \text{ (Parâmetro de esbeltez limite para início de escoamento)}$$

Como  $\lambda \leq \lambda_p$ , então:

$$V_{Rdx} = \frac{0,6 \cdot h \cdot t \cdot f_y}{1,10} = 3927,27 \text{ kgf}$$

$V_{Rdx}$  = (Resistência ao esforço cortante em relação ao eixo X)

$$\frac{\text{SOLICITANTE}}{\text{RESISTENTE}} = \frac{V_{xSd}}{V_{xRd}} = 0,00 < 1,0 \text{ (OK!)}$$

- **Cálculo da Resistência ao Cortante – eixo Y**

$$\lambda = \frac{h}{t} = 46,00 \text{ (Parâmetro de esbeltez)}$$

$K_v = 5,00$  (Coeficiente de flambagem local por cisalhamento)

$$\lambda_p = 1,08 \cdot \sqrt{\frac{K_v \cdot E}{f_y}} = 68,31 \text{ (Parâmetro de esbeltez limite para plastificação)}$$

$$\lambda_r = 1,40 \cdot \sqrt{\frac{K_v \cdot E}{f_y}} = 88,54 \text{ (Parâmetro de esbeltez limite para início de escoamento)}$$

Como  $\lambda \leq \lambda_p$ , então:

$$V_{Rdy} = \frac{0,6 \cdot h \cdot t \cdot f_y}{1,10} = 5645,45 \text{ kgf}$$

$V_{Rdy}$  = (Resistência ao esforço cortante em relação ao eixo Y)

$$\frac{\text{SOLICITANTE}}{\text{RESISTENTE}} = \frac{V_y S_d}{V_y R_d} = 0,06 < 1,0 \text{ (OK!)}$$

- **Equações de interação dos esforços**

$$\frac{N_c S_d}{N_c R_d} + \frac{C_{m_x} \cdot M_x S_d}{M_x R_d \cdot \left(1 - \frac{N_c S_d}{N_{c x}}\right)} + \frac{C_{m_y} \cdot M_y S_d}{M_y R_d \cdot \left(1 - \frac{N_c S_d}{N_{c y}}\right)} = 0,83 < 1,00 \text{ (OK!)}$$

$$\frac{N_c S_d}{N_c R_d} + \frac{M S_{dx}}{M R_{dx}} + \frac{M S_{dy}}{M R_{dy}} = 0,65 < 1,0 \text{ (OK!)}$$

$$\frac{M S_{dx}}{M R_{dx}} + \frac{M S_{dy}}{M R_{dy}} + \frac{N_t S_d}{N_t R_d} = 0,60 < 1,0 \text{ (OK!)}$$

$$\frac{MSdx}{MRdx} + \frac{MSdy}{MRdy} - \frac{NtSd}{NtRd} = 0,60 < 1,0 \text{ (OK!)}$$

#### 4.15 RESULTADO FINAL

Na tabela 6 está o resumo do tipo de perfil, seu comprimento total e o seu peso total. A partir destes dados obtemos o peso total da estrutura, 9025,97 Kg, e se dividirmos pela área do galpão, 450m<sup>2</sup>, chegamos ao resultado de 20,06Kg/m<sup>2</sup>. Este valor, pelo tipo de edificação, é considerado satisfatório, uma medida para diminuir o peso por metro quadrado seria realizar uma parte da vedação lateral do galpão em alvenaria, assim diminuiria o peso da estrutura.

**Tabela 6**– Tabela resumo

<b>Tabela Resumo</b>			
<b>Descrição</b>	<b>Perfil</b>	<b>Comprimento total m</b>	<b>Peso Kg</b>
Pilar	W 250X17,9	84,00	1458,75
Banzo inferior	U150X60 #3,75	90,00	695,38
Banzo superior	U150X60 #3,75	90,45	698,34
	UE150X60X20		
Terças de cobertura	#3,00	300,30	2052,59
Linha corrente cobertura	L35X35 #2,00	75,37	80,46
Mão francesa	U50X30 #2,65	93,14	202,83
Contravento cobertura	L25X25 #2,65	276,06	271,89
	UE150X60X20		
Terças fechamento	#3,00	285,00	1984,01
Linha corrente fechamento	L35X35 #2,00	60,00	64,05
	(2X) UE150X60X20		
Contravento vertical	#3,00	33,94	421,99
Montante treliça	U140X50 #2,25	88,48	468,75
Diagonal treliça	U140X50 #2,25	125,04	662,43
		Total	9025,97 Kg
		Área do Galpão	450,00 m <sup>2</sup>
		<b>RESULTADO</b>	<b>20,06 Kg/m<sup>2</sup></b>

Fonte: Autores da pesquisa (2015).

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A construção civil em estrutura metálica apresenta uma série de vantagens, além da possibilidade de sua aplicação em vários locais e para diferentes usos, como aeroportos, complexos industriais ou edifícios, pontes etc.

A utilização deste material proporciona uma maior liberdade no projeto arquitetônico devido à facilidade de vencer grandes vãos, isso se dá principalmente por suas propriedades mecânicas, químicas e geométricas. Proporciona também uma flexibilidade na obra com montagem e desmontagem mais rápida, além do reaproveitamento do aço, sendo este totalmente reciclável. A desvantagem está relacionada a um custo inicial elevado, custo elevado para tratamento térmico e a questão da corrosão do material, embora com novas tecnologias, isto está sendo superado.

O projeto apresentado neste trabalho é um exemplo de como é vantajoso e prático o uso deste tipo de estrutura. Foram utilizados aços que são facilmente encontrados no mercado e que apresentam rigorosos procedimentos de produção, diferentemente do concreto que são normalmente produzidos “in loco” e não pode ter o mesmo controle.

Em relação ao dimensionamento, é de suma importância que se tenha a sensibilidade e a perspicácia de analisar as reações, os esforços e as deformações, avaliando as diversas combinações de ações e, após, calcular e dimensionar as peças necessárias para suportar esses esforços, buscar segurança e economia.

## REFERÊNCIAS

ANDRADE, Luís. **Edificações de Aço no Brasil**. São Paulo: 2002.

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

\_\_\_\_\_ – NBR 6123: **Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio – procedimento**. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

\_\_\_\_\_ – NBR 6123: **Forças devido ao Vento em Edificações**. Rio de Janeiro: ABNT, 1988.

\_\_\_\_\_ – NBR 6120. **Cargas para o cálculo de estruturas**. Rio de Janeiro: ABNT, 1980.

\_\_\_\_\_ NBR – 6120 – **Cargas para o Cálculo de Estruturas de Edificações**. Rio de Janeiro: ABNT, 1980.

BELLEI, Ildony H.; PINHO, Fernando O.; PINHO, Mauro O. **Edifício de múltiplos andares em aço**. São Paulo: PINI, 2008

CBCA – Centro Brasileiro de Construção em Aço. **Bibliografia Técnica para Desenvolvimento da Construção Metálica**. Disponível em: <<http://www.cbca-abr.org.br/>/. Acesso em: 04 de Março. 2015.

DIAS, Luís Andrade de Mattos. **Aço e Arquitetura**: Estudo de Edificações no Brasil. São Paulo: Zigurate Editora, 2002.

GONÇALVES, Roberto M.; MALITE, Maximiliano; SALES, José Jairo de; MUNAIAR NETO, Jorge. **Elementos de Estruturas de Aço – Critérios e Dimensionamento**. São Paulo: Edusp, 2013.

IBS – INSTITUTO DO AÇO NO BRASIL, **Aço Brasil – Uma Viagem pela Indústria do Aço**. Disponível em: <[http://www.acobrasil.org.br/site/portugues/biblioteca/LIVRO\\_ACO\\_BX.pdf](http://www.acobrasil.org.br/site/portugues/biblioteca/LIVRO_ACO_BX.pdf)>. Acesso em: 03 abr. 2015.

PFEIL, Walter; PFEIL, Michèle. **Estruturas de Aço**: dimensionamento prático de acordo com a NBR 8800:2008. 8 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

PIGNATA, Valdir; DOMINGOS, Fabio. **Estruturas de Aço para Edifícios**: aspectos tecnológicos e de concepção. São Paulo: Blucher, 2010.



## APÊNDICE - SIMBOLOGIA

- **Símbolos-base**

**a) Letras romanas minúsculas**

*a* - distância

*b* - largura

*d* - diâmetro; altura total da seção transversal; distância; dimensão

*e* - distância; excentricidade

*f* - tensão característica obtida por ensaios ou tensão resistente de cálculo

*f<sub>cd</sub>* - resistência de cálculo do concreto à compressão

*f<sub>ck</sub>* - resistência característica do concreto à compressão

*f<sub>ctm</sub>* - resistência média do concreto à tração

*f<sub>u</sub>* - resistência à ruptura do aço à tração

*f<sub>ub</sub>* - resistência à ruptura do material do parafuso ou barra redonda rosqueada à tração

*f<sub>ucs</sub>* - resistência à ruptura do aço do conector

*f<sub>y</sub>* - resistência ao escoamento do aço à tensão normal

*f<sub>yF</sub>* - resistência ao escoamento do aço da fôrma

*f<sub>ys</sub>* - resistência ao escoamento do aço da armadura

*f<sub>w</sub>* - resistência mínima à tração do metal da solda

*g* - gabarito de furação; aceleração da gravidade, peso específico

*h* - altura

*k* - rigidez; parâmetro em geral

*l* - comprimento

*n* - número (quantidade)

*p* - passo da rosca; largura de influência

*r* - raio de giração; raio

*s* - espaçamento longitudinal entre dois furos consecutivos; espaçamento mínimo entre bordas de aberturas

*t* - espessura

*w* - dimensão da perna do filete de reforço ou contorno

*x* - coordenada

**b) Letras romanas maiúsculas**

A - área

Ag - área bruta da seção transversal

C - coeficiente; constante de torção

Cad - força resistente de cálculo da região comprimida do perfil de aço

Cb - fator de modificação para diagrama de momento fletor não-uniforme

Ccd - força resistente de cálculo da espessura comprimida da laje de concreto

Cm - coeficiente de equivalência de momentos

Cpg - coeficiente utilizado no cálculo de vigas esbeltas

Ct - coeficiente de redução usado no cálculo da área líquida efetiva

Cv - coeficiente de força cortante

Cw - constante de empenamento da seção transversal

D - diâmetro externo de elementos tubulares de seção circular

Do - diâmetro das aberturas

E, Ea - módulo de elasticidade do aço

Ec - módulo de elasticidade secante do concreto

Ecr - módulo de elasticidade reduzido do concreto devido aos efeitos de retração e fluência

Es - módulo de elasticidade do aço da armadura do concreto

FG - valor característico das ações permanentes

FQ - valor característico das ações variáveis

FQ,exc - valor característico das ações excepcionais

G - módulo de elasticidade transversal do aço, igual a 0,385 E; ação característica permanente; centro geométrico da barra

I - momento de inércia

K - coeficiente de flambagem de barras comprimidas

L - vão, distância ou comprimento

M - momento fletor

N - força axial

P - força

Pdub - resistência de cálculo de um parafuso, levando em conta o cisalhamento e a pressão de contato nos furos

PsRd - resistência de cálculo das barras da armadura

Q - ação variável; fator de redução total associado à instabilidade local

$Q_a$ ;  $Q_s$  - fatores de redução que levam em conta a instabilidade local de elementos AA e AL, respectivamente

QRd - resistência de cálculo de um conector de cisalhamento

RFIL - fator de redução para juntas constituídas apenas de um par de filetes de solda transversais

$R_m$  - parâmetro de monossimetria da seção transversal

RPJP - fator de redução para soldas de penetração parcial

Rd - resistência de cálculo, solicitação resistente de cálculo

Rk - resistência característica, solicitação resistente característica

Sd - solicitação de cálculo

T - força de tração

Tad - força resistente de cálculo da região tracionada do perfil de aço

V - força cortante

W - módulo de resistência elástico

Z - módulo de resistência plástico

### c) Letras gregas minúsculas

$\alpha$  - coeficiente relacionado à curva de dimensionamento à compressão; coeficiente relacionado ao efeito Rüschi

$\alpha_E$  - relação entre o módulo de elasticidade do aço e o módulo de elasticidade do concreto

$\beta$  - fator de redução; coeficiente de dilatação térmica

$\beta_{vm}$  - coeficiente que leva em conta a capacidade de rotação necessária para a ligação

$\delta$  - fator de contribuição do aço, deslocamento, flecha

$\varepsilon$  - deformação

$\varphi$  - diâmetro das barras da armadura

$\gamma$  - coeficiente de ponderação da resistência ou das ações

$\lambda$  - parâmetro de esbeltez

$\lambda_0$  - índice de esbeltez reduzido

$\lambda_p$  - parâmetro de esbeltez limite para seções compactas

$\lambda_r$  - parâmetro de esbeltez limite para seções semicompactas

$\lambda_{rel}$  - esbeltez relativa

$\mu$  - coeficiente médio de atrito

$\nu$  - coeficiente de Poisson

$\chi$  - fator de redução associado à resistência à compressão

$\chi_{dist}$  - fator de redução para flambagem lateral com distorção da seção transversal  
 $\sigma$  - tensão em geral

**d) Letras gregas maiúsculas**

$\Delta_{us}$  - capacidade de deformação das barras da armadura

$\Delta_{ui}$  - capacidade de deformação da ligação

$\Sigma$  – somatório

• **Símbolos-base**

**a) Letras romanas minúsculas**

a - aço

b - parafuso; barra redonda rosqueada; flexão

c - concreto; compressão; conexão ou ligação; elemento conectado

cs - conector de cisalhamento

d - de cálculo

e - elástico; excentricidade

ef - efetivo

f - mesa

g – bruta

h - furo

i - número de ordem

n - líquida

pl - plastificação

s - armadura

t - tração

u - ruptura

v - cisalhamento

w - alma; solda

x - relativo ao eixo x

y - escoamento; relativo ao eixo y

**b) Letras romanas maiúsculas**

F - fôrma de aço

Rd - resistente de cálculo

Rk - resistente característico

Sd - solicitante de cálculo

## ANEXO

### ANEXO A – Relatório das cargas de vento

Relatório

Observação: Os resultados aqui expostos devem ser avaliados por um profissional com experiência

VisualVentos <http://www.ertools.upf.br>.

Este software está registrado no INPI No. 00062090

Dados Geométricos

$b = 15.00 \text{ m}$

$a = 30.00 \text{ m}$

$b_1 = 2 * h$

$b_1 = 2 * 6.00$

$b_1 = 12.00 \text{ m}$

ou

$b_1 = b/2$

$b_1 = 15.00/2$

$b_1 = 7.50 \text{ m}$

Adota-se o menor valor, portanto

$b_1 = 7.50 \text{ m}$

$a_1 = b/3$

$a_1 = 15.00/3$

$a_1 = 5.00 \text{ m}$

ou

$a_1 = a/4$

$a_1 = 30.00/4$

$a_1 = 7.50 \text{ m}$

Adota-se o maior valor, porém  $a_1 \leq 2 * h$

$2 * 6.00 = 12.00 \text{ m}$

Portanto

$a_1 = 7.50 \text{ m}$

$a_2 = (a/2) - a_1$

$a_2 = (30.00/2) - 7.50$

$a_2 = 7.50 \text{ m}$

$$h = 6.00 \text{ m}$$

$$h1 = 0.75 \text{ m}$$

$$\beta = 5.70^\circ$$

$$d = 6.00 \text{ m}$$

#### Área das aberturas

##### Fixas

$$\text{Face A1} = 0.00 \text{ m}^2$$

$$\text{Face A2} = 0.00 \text{ m}^2$$

$$\text{Face A3} = 0.00 \text{ m}^2$$

$$\text{Face B1} = 0.00 \text{ m}^2$$

$$\text{Face B2} = 0.00 \text{ m}^2$$

$$\text{Face B3} = 0.00 \text{ m}^2$$

$$\text{Face C1} = 0.00 \text{ m}^2$$

$$\text{Face C2} = 0.00 \text{ m}^2$$

$$\text{Face D1} = 0.00 \text{ m}^2$$

$$\text{Face D2} = 0.00 \text{ m}^2$$

##### Movéis

$$\text{Face A1} = 0.00 \text{ m}^2$$

$$\text{Face A2} = 0.00 \text{ m}^2$$

$$\text{Face A3} = 0.00 \text{ m}^2$$

$$\text{Face B1} = 0.00 \text{ m}^2$$

$$\text{Face B2} = 0.00 \text{ m}^2$$

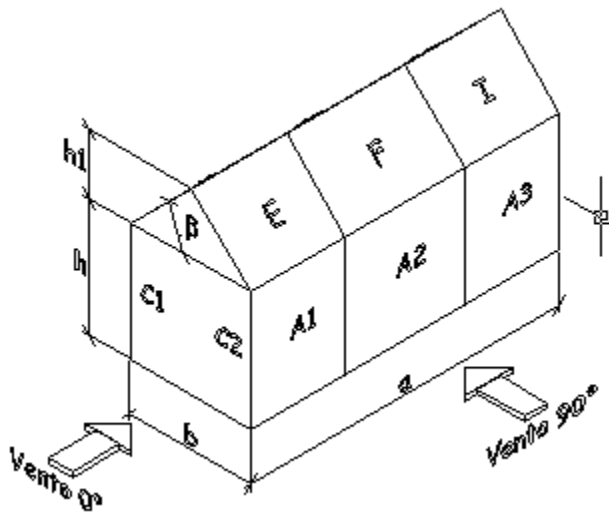
$$\text{Face B3} = 0.00 \text{ m}^2$$

$$\text{Face C1} = 0.00 \text{ m}^2$$

$$\text{Face C2} = 0.00 \text{ m}^2$$

$$\text{Face D1} = 0.00 \text{ m}^2$$

$$\text{Face D2} = 0.00 \text{ m}^2$$



Velocidade básica do vento

$V_0 = 35.00 \text{ m/s}$

Fator Topográfico (S1)

Terreno plano ou fracamente acidentado

$S_1 = 1.00$

Fator de Rugosidade (S2)

Categoria IV

Classe B

Parâmetros retirados da Tabela 2 da NBR6123/88 que relaciona Categoria e Classe

$b = 0.85$

$Fr = 0.98$

$p = 0.13$

$S_2 = b * Fr * (z/10)^{exp p}$

$S_2 = 0.85 * 0.98 * (6.75/10)^{exp 0.13}$

$S_2 = 0.79$

Fator Estático (S3)

Grupo 3

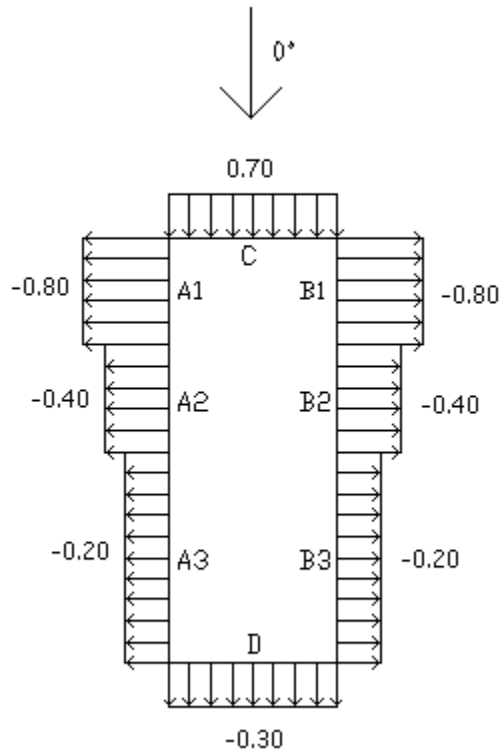
$S_3 = 0.95$

Coefficiente de pressão externa

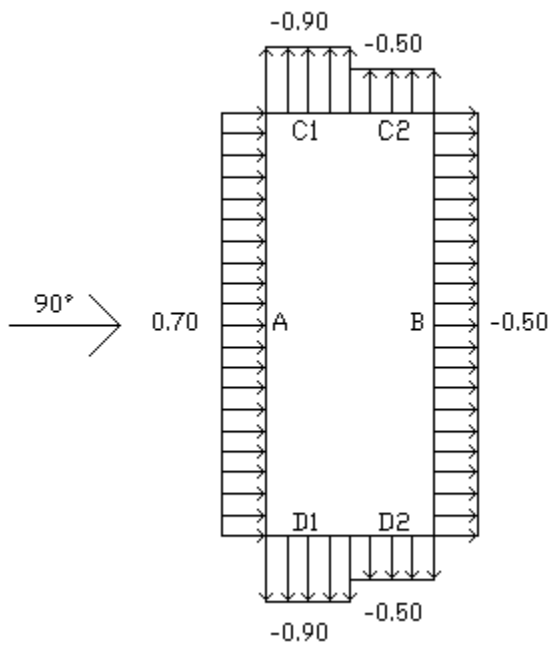
Paredes

Vento  $0^\circ$



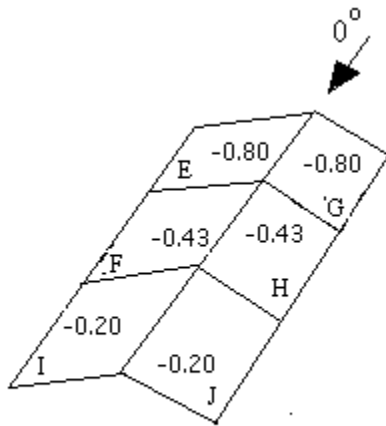


Vento 90°

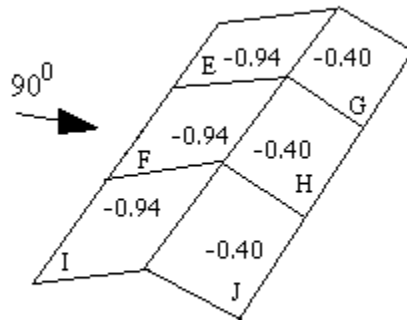


Telhado

Vento 0°



Vento 90°



Cpe médio = -1.00

Coeficiente de pressão interno

Cpi 1 = -0.30

Cpi 2 = 0.00

Velocidade Característica de Vento

$$V_k = V_o * S_1 * S_2 * S_3$$

$$V_k = 35.00 * 1.00 * 0.79 * 0.95$$

$$V_k = 26.37 \text{ m/s}$$

Pressão Dinâmica

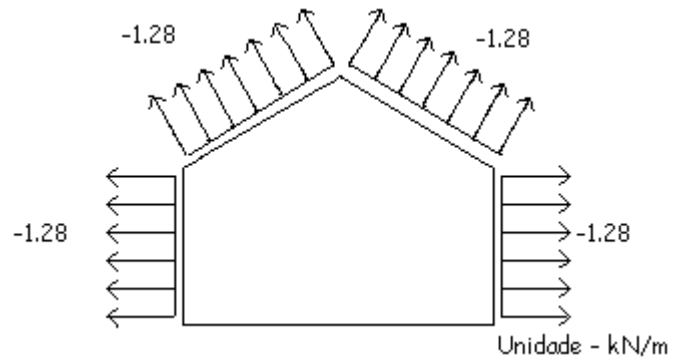
$$q = 0,613 * V_k^2$$

$$q = 0,613 * 26.37^2$$

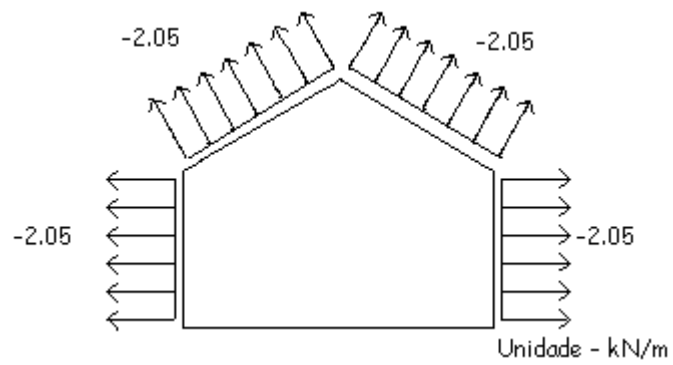
$$q = 0.43 \text{ kN/m}^2$$

### Esforços Resultantes

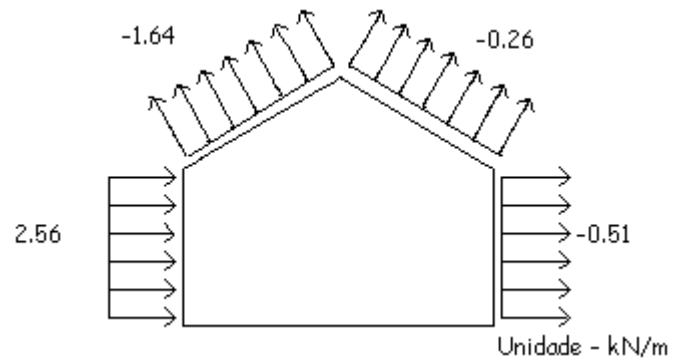
Vento 0° - Cpi = -0.30



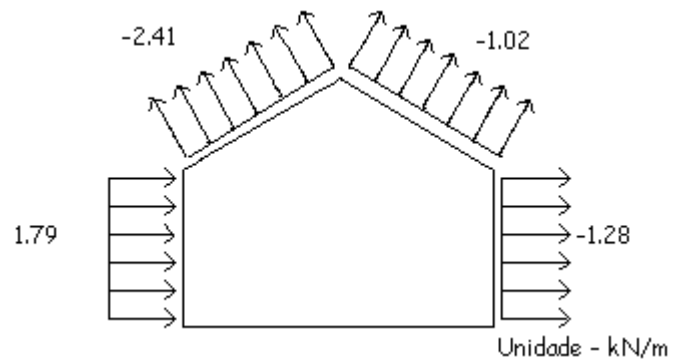
Vento 0° - Cpi = 0.00



Vento 90° - Cpi = -0.30



Vento 90° - Cpi = 0.00



## ANEXO B – Relatório dimensionamento mCalcPerfis

<b>Ciente:</b>	Não Definido
<b>Obra:</b>	Não Definido
<b>Responsável:</b>	Não Definido

Conforme NBR 8800:2008 e NBR 14762:2010

### Perfil I da Açominas

Perfil: W 250 17.9

Aço: ASTM A572 GR50       $f_y = 345 \text{ MPa}$        $f_u = 450 \text{ MPa}$

### COMPRIMENTOS DA BARRA

$K_x L_x = 6 \text{ m}$        $K_t L_t = 2 \text{ m}$

$K_y L_y = 2 \text{ m}$        $L_b = 2 \text{ m}$

## 1. Cálculo da Tração

$C_T = 1,00$       Coeficiente de redução da área líquida  
 $A_n = 0,00 \text{ m}^2$       Área líquida da seção transversal  
 $A_e = C_T \cdot A_n = 0,00 \text{ m}^2$       Área líquida efetiva da seção transversal

$$N_{tRd1} = \frac{A \cdot f_y}{1,10} = 72450,00 \text{ kgf} \quad \text{Resistência de escoamento}$$

$$N_{tRd2} = \frac{A_e \cdot f_u}{1,35} = 77000,00 \text{ kgf} \quad \text{Resistência à ruptura}$$

$N_{tRd} = 72450,00 \text{ kgf}$       Força normal resistente de cálculo à tração

$$\frac{\text{SOLIC.}}{\text{RESIST.}} = \frac{N_{tSd}}{N_{tRd}} = 0,00 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

## 2. Cálculo da Compressão

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_x}{(K_x \cdot L_x)^2} = 125618,13 \text{ kgf}$$

$$N_{ey} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{(K_y \cdot L_y)^2} = 44906,70 \text{ kgf}$$

$$N_{et} = \frac{1}{r_o^2} \cdot \left[ \frac{\pi^2 \cdot E \cdot C_w}{(K_t \cdot L_t)^2} + G \cdot J \right] = 84660,79 \text{ kgf}$$

$$H = 1 - \frac{x_o^2}{r_o^2} = 1,00$$

$$N_{ext} = \frac{N_{ex} + N_{et}}{2 \cdot H} \cdot \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{4 \cdot N_{ex} \cdot N_{et} \cdot H}{(N_{ex} + N_{et})^2}} \right] = 84660,79 \text{ kgf}$$

$N_e = 44906,70 \text{ kgf}$

$Q = 0,88$       Fator de redução associado à instabilidade local

$N_{pl} = A \cdot f_y = 79695,00 \text{ kgf}$

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{Q \cdot N_{pl}}{N_e}} = 1,25$$

$$\lambda_0 \leq 1,5 \text{ então } \chi = 0,658 (\lambda_0)^2 = 0,52$$

$$N_{cRd} = \frac{\chi \cdot Q \cdot A \cdot f_y}{1,10} = 33216,19 \text{ kgf}$$

$$\frac{\text{SOLIC.}}{\text{RESIST.}} = \frac{N_{cSd}}{N_{cRd}} = 0,13 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

### 3. Cálculo da Resistência à Flexão - eixo X

$\sigma_r = 10350000,00 \text{ kgf/m}^2$  Tensão residual  
 $W = 0,00 \text{ m}^3$  Módulo resistente elástico  
 $Z = 0,00 \text{ m}^3$  Módulo resistente plástico  
 $M_{pl} = Z \cdot f_y = 6930,15 \text{ kgf.m}$  Momento fletor de plastificação da seção

#### 3.1. FLT - Flambagem Lateral com Torção

$$\lambda = \frac{L_b}{r_y} = \frac{100,50}{r_y} \quad \text{Parâmetro de esbeltez}$$

$$\lambda_p = 1,76 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 42,38 \quad \text{Parâmetro de esbeltez correspondente à plastificação}$$

$$\beta_1 = 0,09$$

$$\lambda_r = \frac{1,38 \cdot \sqrt{I_y \cdot I_t}}{r_y \cdot I_t \cdot \beta_1} \cdot \sqrt{1 + \sqrt{1 + \frac{27 \cdot C_w \cdot \beta_1^2}{I_y}}} = 123,15 \quad \text{Parâmetro de esbeltez correspondente ao início do escoamento}$$

$M_r = (f_y - \sigma_r) \cdot W = 4408,58 \text{ kgf.m}$  Momento fletor correspondente ao início do escoamento  
 $C_b = 1,00$  Fator de modificação para diagrama de momento fletor não-uniforme

$$M_{cr} = \frac{C_b \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_b^2} \cdot \sqrt{\frac{C_w}{I_y} \cdot \left(1 + 0,039 \cdot \frac{I_t \cdot L_b^2}{C_w}\right)} \leq M_{pl} = 6262,46 \text{ kgf.m} \quad \text{Momento fletor de flambagem elástica}$$

$$\lambda_p < \lambda \leq \lambda_r \text{ então } M_{Rk} = C_b \cdot \left[ M_{pl} - (M_{pl} - M_r) \cdot \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \right] \leq M_{pl}$$

$$M_{Rk}^{FLT} = 5115,59 \text{ kgf.m} \quad \text{Momento fletor resistente característico para o estado limite FLT}$$

#### 3.2. FLM - Flambagem Local da Mesa

$$\lambda = \frac{b}{t} = 9,53 \quad \text{Parâmetro de esbeltez}$$

$$\lambda_p = 0,38 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 9,15 \quad \text{Parâmetro de esbeltez correspondente à plastificação}$$

$$\lambda_r = 0,83 \cdot \sqrt{\frac{E}{(f_y - \sigma_r)}} = 23,89 \quad \text{Parâmetro de esbeltez correspondente ao início do escoamento}$$

$$M_{cr} = \frac{0,69 \cdot E}{\lambda^2} \cdot W_c = 13873,93 \text{ kgf.m} \quad \text{Momento fletor de flambagem elástica}$$

$$\lambda_p < \lambda \leq \lambda_r \text{ então } M_{Rk} = M_{pl} - (M_{pl} - M_r) \cdot \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \leq M_{pl}$$

$$M_{Rk}^{FLM} = 6865,30 \text{ kgf.m} \quad \text{Momento fletor resistente característico para o estado limite FLM}$$

### 3.3. FLA - Flambagem Local da Alma

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = \frac{50,08}{1} = 50,08 \quad \text{Parâmetro de esbeltez}$$

$$\lambda_p = 3,76 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 3,76 \cdot \sqrt{\frac{21000}{235}} = 90,53 \quad \text{Parâmetro de esbeltez correspondente à plastificação}$$

$$\lambda_r = 5,70 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 5,70 \cdot \sqrt{\frac{21000}{235}} = 137,24 \quad \text{Parâmetro de esbeltez correspondente ao início do escoamento}$$

$$M_r = W \cdot f_y = 6297,97 \text{ kgf.m} \quad \text{Momento fletor correspondente ao início do escoamento}$$

$$\lambda \leq \lambda_p \text{ então } M_{Rk} = M_{pl}$$

$$M_{Rk}^{FLA} = 6930,15 \text{ kgf.m} \quad \text{Momento fletor resistente característico para o estado limite FLA}$$

$$M_{Rk} = 5115,59 \text{ kgf.m} \quad \text{Momento fletor resistente característico}$$

$$M_{xRd} = \frac{M_{Rk}}{1,10} = \frac{5115,59}{1,10} = 4650,54 \text{ kgf.m} \quad \text{Momento fletor resistente de cálculo}$$

$$\frac{\text{SOLIC.}}{\text{RESIST.}} = \frac{M_{xSd}}{M_{xRd}} = \frac{2800}{4650,54} = 0,60 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

## 4. Cálculo da Resistência à Flexão - eixo Y

$$\sigma_r = 10350000,00 \text{ kgf/m}^2 \quad \text{Tensão residual}$$

$$W = 0,00 \text{ m}^3 \quad \text{Módulo resistente elástico}$$

$$Z = 0,00 \text{ m}^3 \quad \text{Módulo resistente plástico}$$

$$M_{pl} = Z \cdot f_y = 980,40 \text{ kgf.m} \quad \text{Momento fletor de plastificação da seção}$$

### 4.1. FLM - Flambagem Local da Mesa

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{9,53}{1} = 9,53 \quad \text{Parâmetro de esbeltez}$$

$$\lambda_p = 0,38 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 0,38 \cdot \sqrt{\frac{21000}{235}} = 9,15 \quad \text{Parâmetro de esbeltez correspondente à plastificação}$$

$$\lambda_r = 0,83 \cdot \sqrt{\frac{E}{(f_y - \sigma_r)}} = 0,83 \cdot \sqrt{\frac{21000}{235 - 10350}} = 23,89 \quad \text{Parâmetro de esbeltez correspondente ao início do escoamento}$$

$$\lambda_p < \lambda \leq \lambda_r \text{ então } M_{Rk} = M_{pl} - (M_{pl} - M_r) \cdot \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \leq M_{pl}$$

$$M_{Rk}^{FLM} = 971,17 \text{ kgf.m} \quad \text{Momento fletor resistente característico para o estado limite FLM}$$

$$M_{Rk} = 971,17 \text{ kgf.m} \quad \text{Momento fletor resistente característico}$$

$$M_{yRd} = \frac{M_{Rk}}{1,10} = \frac{971,17}{1,10} = 882,88 \text{ kgf.m} \quad \text{Momento fletor resistente de cálculo}$$

$$\frac{\text{SOLIC.}}{\text{RESIST.}} = \frac{M_{ySd}}{M_{yRd}} = 0,00 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

## 5. Cálculo da Resistência ao cortante - eixo X

$$\lambda = \frac{h}{t} = 19,06 \quad \text{Parâmetro de esbeltez}$$

$$k_v = 5,00 \quad \text{Coeficiente de flambagem local por cisalhamento}$$

$$\lambda_p = 1,10 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}} = 59,22 \quad \text{Parâmetro de esbeltez limite para plastificação}$$

$$\lambda_r = 1,37 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}} = 73,76 \quad \text{Parâmetro de esbeltez limite para início de escoamento}$$

$$A_w = 0,00 \text{ m}^2 \quad \text{Área efetiva de cisalhamento}$$

$$V_{pl} = 0,60 \cdot A_w \cdot f_y = 14737,34 \text{ kgf} \quad \text{Força cortante correspondente à plastificação}$$

$$\lambda \leq \lambda_p \quad \text{então} \quad V_{Rk} = V_{pl}$$

$$V_{xRd} = \frac{V_{Rk}}{1,10} = 13397,59 \text{ kgf} \quad \text{Resistência ao esforço cortante em relação ao eixo X}$$

$$\frac{\text{SOLIC.}}{\text{RESIST.}} = \frac{V_{xSd}}{V_{xRd}} = 0,00 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

## 6. Cálculo da Resistência ao cortante - eixo Y

$$\lambda = \frac{h}{t} = 50,08 \quad \text{Parâmetro de esbeltez}$$

$$k_v = 5,00 \quad \text{Coeficiente de flambagem local por cisalhamento}$$

$$\lambda_p = 1,10 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}} = 59,22 \quad \text{Parâmetro de esbeltez limite para plastificação}$$

$$\lambda_r = 1,37 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}} = 73,76 \quad \text{Parâmetro de esbeltez limite para início de escoamento}$$

$$A_w = 0,00 \text{ m}^2 \quad \text{Área efetiva de cisalhamento}$$

$$V_{pl} = 0,60 \cdot A_w \cdot f_y = 24939,36 \text{ kgf} \quad \text{Força cortante correspondente à plastificação}$$

$$\lambda \leq \lambda_p \quad \text{então} \quad V_{Rk} = V_{pl}$$

$$V_{yRd} = \frac{V_{Rk}}{1,10} = 22672,15 \text{ kgf} \quad \text{Resistência ao esforço cortante em relação ao eixo Y}$$

$$\frac{\text{SOLIC.}}{\text{RESIST.}} = \frac{V_{ySd}}{V_{yRd}} = 0,04 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

## 7. Equações de Interação

$$\frac{N_{tSd}}{2 \cdot N_{tRd}} + \left( \frac{M_{xSd}}{M_{xRd}} + \frac{M_{ySd}}{M_{yRd}} \right) = 0,60$$

$$\frac{N_{cSd}}{2 \cdot N_{cRd}} + \left( \frac{M_{ySd}}{M_{xRd}} + \frac{M_{xSd}}{M_{yRd}} \right) = 0,66$$

mCalc\_Perfis - Stabile Engenharia Ltda. - [www.stabile.com.br](http://www.stabile.com.br)

<b>Cliente:</b>	Não Definido
<b>Obra:</b>	Não Definido
<b>Responsável:</b>	Não Definido

Conforme NBR 8800:2008 e NBR 14762:2010

### Perfil U (Formado a frio)

Perfil: [ 150 x 60 x 3.75  
Aço:  $f_y = 250 \text{ MPa}$   $f_u = 400 \text{ MPa}$

### COMPRIIMENTOS DA BARRA

$K_x L_x = 1,85 \text{ m}$   $K_t L_t = 0,92 \text{ m}$   
 $K_y L_y = 0,92 \text{ m}$   $L_b = 0,92 \text{ m}$

## 1. Cálculo da Tração

$C_T = 1,00$  Coeficiente de redução da área líquida

$$N_{tRd1} = \frac{A \cdot f_y}{1,10} = 21732,95 \text{ kgf} \quad \text{Resistência de escoamento}$$

$$N_{tRd2} = \frac{C_T \cdot A_n \cdot f_u}{1,65} = 23181,82 \text{ kgf} \quad \text{Resistência à ruptura}$$

$$N_{tRd} = 21732,95 \text{ kgf} \quad \text{Resistência à tração}$$

$$\frac{\text{SOLIC.}}{\text{RESIST.}} = \frac{N_{tSd}}{N_{tRd}} = 0,57 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

## 2. Cálculo da Compressão

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_x}{(K_x \cdot L_x)^2} = 182289,06 \text{ kgf}$$

$$N_{ey} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{(K_y \cdot L_y)^2} = 75570,83 \text{ kgf}$$

$$N_{ez} = \frac{1}{r_o^2} \cdot \left[ \frac{\pi^2 \cdot E \cdot C_w}{(K_z \cdot L_z)^2} + G \cdot J \right] = 68176,21 \text{ kgf}$$

$$H = 1 - \frac{\chi_o^2}{r_o^2} = 0,77$$

$$N_{exz} = \frac{N_{ex} + N_{ez}}{2 \cdot H} \cdot \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{4 \cdot N_{ex} \cdot N_{ez} \cdot H}{(N_{ex} + N_{ez})^2}} \right] = 61002,67 \text{ kgf}$$

$$N_e = 61002,67 \text{ kgf}$$



$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_e}} = 0,63$$

$$\lambda_0 \leq 1,5 \text{ então } \chi = 0,658 (\lambda_0)^2 = 0,85$$

a) Cálculo da resistência à compressão devido à flambagem global

$$A_{ef}^{FG} = 0,00 \text{ m}^2 \quad \text{Área efetiva devido à flambagem global}$$

$$N_{cRd} = \frac{\chi \cdot A_{ef} \cdot f_y}{1,20} = 16598,58 \text{ kgf} \quad \text{Resistência à compressão devido à flambagem global}$$

b) Cálculo da resistência à compressão devido à flambagem local

$$A_{ef}^{FL} = 0,00 \text{ m}^2 \quad \text{Área efetiva devido à flambagem local}$$

$$N_{cRd}^{FL} = \frac{A_{ef}^{FL} \cdot f_y}{1,20} = 19184,31 \text{ kgf} \quad \text{Resistência à compressão devido à flambagem local}$$

$$N_{cRd} = 16598,58 \text{ kgf} \quad \text{Força normal resistente de cálculo à compressão}$$

$$\frac{\text{SOLIC.}}{\text{RESIST.}} = \frac{N_{cSd}}{N_{cRd}} = 0,79 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

### 3. Cálculo da Resistência à Flexão - eixo X

#### 3.1. Cálculo do momento resistente devido ao início do escoamento efetivo

$$A_{ef} = 0,00 \text{ m}^2 \quad \text{Área efetiva da seção}$$

$$I_{xef} = 0,00 \text{ m}^4 \quad \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo X}$$

$$d = 0,00 \text{ m} \quad \text{Rebaixamento total do eixo baricêntrico}$$

$$Y_{G \text{ final}} = Y_G + d = 0,08 \text{ m} \quad \text{Posição final do eixo baricêntrico}$$

$$I_G = I_{xef} - A_{ef} \cdot d^2 = 0,00 \text{ m}^4 \quad \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo baricêntrico}$$

$$W_{ef} = \frac{I_G}{Y_{G \text{ final}}} = 0,00 \text{ m}^3 \quad \text{Módulo elástico efetivo}$$

$$M_{Rdx}^{FL} = \frac{W_{ef} \cdot f_y}{1,10} = 911,77 \text{ kgf.m} \quad \text{Resistência de cálculo à flexão para o início do escoamento}$$

#### 3.2. Cálculo do momento resistente devido ao estado limite Flambagem Lateral com Torção

$$M_e = C_b \cdot r_o \cdot \sqrt{N_{ey} \cdot N_{et}} = 4945,16 \text{ kgf.m} \quad \text{Momento fletor de flambagem lateral com torção}$$

$$W_c = 0,00 \text{ m}^3 \quad \text{Módulo de resistência elástico da seção bruta em relação à fibra comprimida}$$

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{W_c \cdot f_y}{M_e}} = 0,46 \quad \lambda_0 \leq 0,6 \quad \text{então } \chi_{FLT} = 1,0$$

$$\chi_{FLT} = 1,00 \quad \text{Fator de redução associado à flambagem lateral com torção}$$

$$\text{Cálculo de } \sigma_{cef} \text{ na tensão } \sigma = \chi_{FLT} \cdot f_y = 25000000,00 \text{ kgf/m}^2$$

$$A_{ef} = 0,00 \text{ m}^2 \quad \text{Área efetiva da seção}$$

$$I_{xef} = 0,00 \text{ m}^4 \quad \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo X}$$

$$d = 0,00 \text{ m} \quad \text{Rebaixamento total do eixo baricêntrico}$$

$$\begin{aligned}
 Y_{G \text{ final}} &= Y_G + d = 0,08 \text{ m} && \text{Posição final do eixo baricêntrico} \\
 I_G &= I_{yef} - A_{ef} \cdot d^2 = 0,00 \text{ m}^4 && \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo baricêntrico} \\
 W_{cef} &= \frac{I_G}{Y_{G \text{ final}}} = 0,00 \text{ m}^3 && \text{Módulo elástico efetivo} \\
 M_{Rdx}^{FLT} &= \frac{\chi_{FLT} \cdot W_{cef} \cdot f_y}{1,10} = 911,77 \text{ kgf.m} && \text{Resistência de cálculo à flexão para o estado limite FLT} \\
 M_{Rdx} &= 911,77 \text{ kgf.m} && \text{Resistência de cálculo à flexão em relação ao eixo X} \\
 \frac{SOLIC.}{RESIST.} &= \frac{M_{xSd}}{M_{xRd}} = 0,00 < 1,00 && \text{OK!}
 \end{aligned}$$

## 4. Cálculo da Resistência à Flexão - eixo Y

### 4.1. Cálculo do momento resistente devido ao início do escoamento efetivo

$$\begin{aligned}
 A_{ef} &= 0,00 \text{ m}^2 && \text{Área efetiva da seção} \\
 I_{yef} &= 0,00 \text{ m}^4 && \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo Y} \\
 d &= 0,00 \text{ m} && \text{Rebaixamento total do eixo baricêntrico} \\
 X_{G \text{ final}} &= X_G + d = 0,04 \text{ m} && \text{Posição final do eixo baricêntrico} \\
 I_G &= I_{yef} - A_{ef} \cdot d^2 = 0,00 \text{ m}^4 && \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo baricêntrico} \\
 W_{ef} &= \frac{I_G}{X_{G \text{ final}}} = 0,00 \text{ m}^3 && \text{Módulo elástico efetivo} \\
 M_{Rdy} &= \frac{W_{ef} \cdot f_y}{1,10} = 164,06 \text{ kgf.m} && \text{Resistência de cálculo à flexão em relação ao eixo Y}
 \end{aligned}$$

### 4.2. Cálculo do momento resistente devido ao estado limite Flambagem Lateral com Torção

$$\begin{aligned}
 C_s &= -1,00 \\
 C_m &= 1,00 \\
 j &= 0,08 \text{ m} && \text{Parâmetro da seção transversal conforme Anexo E - NBR 14762:2010} \\
 M_e &= \frac{C_s \cdot N_{ex}}{C_m} \cdot \left[ j + C_s \cdot \sqrt{j^2 + r_0^2} \cdot \left( \frac{N_{ex}}{N_{ex}} \right) \right] = 1849,21 \text{ kgf.m} && \text{Momento fletor de flambagem lateral com torção} \\
 W_c &= 0,00 \text{ m}^3 && \text{Módulo de resistência elástico da seção bruta em relação à fibra comprimida} \\
 \lambda_o &= \sqrt{\frac{W_c \cdot f_y}{M_e}} = 0,31 && \lambda_o \leq 0,6 \text{ então } \chi_{FLT} = 1,0 \\
 \chi_{FLT} &= 1,00 && \text{Fator de redução associado à flambagem lateral com torção} \\
 \text{Cálculo de } W_{cef} \text{ na tensão } \sigma &= \chi_{FLT} \cdot f_y = 25000000,00 \text{ kgf/m}^2 \\
 A_{ef} &= 0,00 \text{ m}^2 && \text{Área efetiva da seção} \\
 I_{yef} &= 0,00 \text{ m}^4 && \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo Y} \\
 d &= 0,00 \text{ m} && \text{Rebaixamento total do eixo baricêntrico} \\
 X_{G \text{ final}} &= X_G + d = 0,04 \text{ m} && \text{Posição final do eixo baricêntrico} \\
 I_G &= I_{yef} - A_{ef} \cdot d^2 = 0,00 \text{ m}^4 && \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo baricêntrico} \\
 W_{ef} &= \frac{I_G}{X_{G \text{ final}}} = 0,00 \text{ m}^3 && \text{Módulo elástico efetivo}
 \end{aligned}$$

$$M_{Rdy}^{FLT} = \frac{\chi_{FLT} \cdot W_{cef} \cdot f_y}{1,10} = 164,06 \text{ kgf.m} \quad \text{Resistência de cálculo à flexão para o estado limite FLT}$$

$$M_{yRd} = 164,06 \text{ kgf.m} \quad \text{Resistência de cálculo à flexão em relação ao eixo X}$$

$$\frac{SOLIC.}{RESIST.} = \frac{M_{ySd}}{M_{yRd}} = 0,00 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

## 5. Cálculo da Resistência ao cortante - eixo X

$$\lambda = \frac{h}{t} = 14,00 \quad \text{Parâmetro de esbeltez}$$

$$k_v = 5,00 \quad \text{Coeficiente de flambagem local por cisalhamento}$$

$$\lambda_p = 1,08 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}} = 68,31 \quad \text{Parâmetro de esbeltez limite para plastificação}$$

$$\lambda_r = 1,40 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}} = 88,54 \quad \text{Parâmetro de esbeltez limite para para início de escoamento} \quad \lambda \leq \lambda_p \text{ então}$$

$$V_{Rd} = \frac{0,6 \cdot h \cdot t \cdot f_y}{1,10}$$

$$V_{Rdx} = 5369,32 \text{ kgf} \quad \text{Resistência ao esforço cortante em relação ao eixo X}$$

$$\frac{SOLIC.}{RESIST.} = \frac{V_{xSd}}{V_{xRd}} = 0,00 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

## 6. Cálculo da Resistência ao cortante - eixo Y

$$\lambda = \frac{h}{t} = 36,00 \quad \text{Parâmetro de esbeltez}$$

$$k_v = 5,00 \quad \text{Coeficiente de flambagem local por cisalhamento}$$

$$\lambda_p = 1,08 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}} = 68,31 \quad \text{Parâmetro de esbeltez limite para plastificação}$$

$$\lambda_r = 1,40 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}} = 88,54 \quad \text{Parâmetro de esbeltez limite para para início de escoamento} \quad \lambda \leq \lambda_p \text{ então}$$

$$V_{Rd} = \frac{0,6 \cdot h \cdot t \cdot f_y}{1,10}$$

$$V_{Rdy} = 6903,41 \text{ kgf} \quad \text{Resistência ao esforço cortante em relação ao eixo X}$$

$$\frac{SOLIC.}{RESIST.} = \frac{V_{ySd}}{V_{yRd}} = 0,00 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

## 7. Equações de Interação

$$\frac{N_{cSd}}{N_{cRd}} + \frac{C_{mx} \cdot M_{xSd}}{M_{xRd} \cdot \left(1 - \frac{N_{cSd}}{N_{ex}}\right)} + \frac{C_{my} \cdot M_{ySd}}{M_{yRd} \cdot \left(1 - \frac{N_{cSd}}{N_{ey}}\right)} = 0,79$$

$$\frac{N_{csd}}{N_{orD}} + \frac{M_{xsd}}{M_{xRd}} + \frac{M_{ysd}}{M_{yRd}} = 0,61$$

$$\frac{M_{xSd}}{M_{xRd}} + \frac{M_{ySd}}{M_{yRd}} + \frac{N_{tSd}}{N_{tRd}} = 0,57$$

$$\frac{M_{xSd}}{M_{xRd}} + \frac{M_{ySd}}{M_{yRd}} - \frac{N_{tSd}}{N_{tRd}} = 0,57$$

mCalc\_Perfis - Stabile Engenharia Ltda. - [www.stabile.co](http://www.stabile.co)

<b>Ciente:</b>	Não Definido
<b>Obra:</b>	Não Definido
<b>Responsável:</b>	Não Definido

Conforme NBR 8800:2008 e NBR 14762:2010

### Perfil U (Formado a frio)

Perfil: [ 140 x 50 x 2.25  
 Aço: ASTM A36  $f_y = 250$  MPa  $f_u = 400$  MPa

### COMPRIMENTOS DA BARRA

$K_x L_x = 1,5$  m  $K_t L_t = 1,5$  m  
 $K_y L_y = 1,5$  m  $L_b = 1,5$  m

## 1. Cálculo da Tração

$C_T = 1,00$  Coeficiente de redução da área líquida

$$N_{tRd1} = \frac{A \cdot f_y}{1,10} = 11812,50 \text{ kgf} \quad \text{Resistência de escoamento}$$

$$N_{tRd2} = \frac{C_T \cdot A_n \cdot f_u}{1,65} = 12600,00 \text{ kgf} \quad \text{Resistência à ruptura}$$

$$N_{tRd} = 11812,50 \text{ kgf} \quad \text{Resistência à tração}$$

$$\frac{\text{SOLIC.}}{\text{RESIST.}} = \frac{N_{tSd}}{N_{tRd}} = 0,32 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

## 2. Cálculo da Compressão

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_x}{(K_x \cdot L_x)^2} = 130355,31 \text{ kgf}$$

$$N_{ey} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{(K_y \cdot L_y)^2} = 10504,05 \text{ kgf}$$

$$N_{ez} = \frac{1}{r_o^2} \cdot \left[ \frac{\pi^2 \cdot E \cdot C_w}{(K_z \cdot L_z)^2} + G \cdot J \right] = 11186,95 \text{ kgf}$$

$$H = 1 - \frac{x_o^2}{r_o^2} = 0,81$$

$$N_{exz} = \frac{N_{ex} + N_{ez}}{2 \cdot H} \cdot \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{4 \cdot N_{ex} \cdot N_{ez} \cdot H}{(N_{ex} + N_{ez})^2}} \right] = 10996,19 \text{ kgf}$$

$$N_e = 10504,05 \text{ kgf}$$

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_e}} = 1,11$$

$$\lambda_0 \leq 1,5 \text{ então } \chi = 0,658 (\lambda_0)^2 = 0,60$$

a) Cálculo da resistência à compressão devido à flambagem global

$$A_{ef}^{FG} = 0,00 \text{ m}^2 \quad \text{Área efetiva devido à flambagem global}$$

$$N_{cRd} = \frac{\chi \cdot A_{ef} \cdot f_y}{1,20} = 5632,11 \text{ kgf} \quad \text{Resistência à compressão devido à flambagem global}$$

b) Cálculo da resistência à compressão devido à flambagem local

$$A_{ef}^{FL} = 0,00 \text{ m}^2 \quad \text{Área efetiva devido à flambagem local}$$

$$N_{cRd}^{FL} = \frac{A_{ef}^{FL} \cdot f_y}{1,20} = 7943,08 \text{ kgf} \quad \text{Resistência à compressão devido à flambagem local}$$

$$N_{cRd} = 5632,11 \text{ kgf} \quad \text{Força normal resistente de cálculo à compressão}$$

$$\frac{\text{SOLIC.}}{\text{RESIST.}} = \frac{N_{cSd}}{N_{cRd}} = 0,82 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

### 3. Cálculo da Resistência à Flexão - eixo X

#### 3.1. Cálculo do momento resistente devido ao início do escoamento efetivo

$$A_{ef} = 0,00 \text{ m}^2 \quad \text{Área efetiva da seção}$$

$$I_{xef} = 0,00 \text{ m}^4 \quad \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo X}$$

$$d = 0,00 \text{ m} \quad \text{Rebaixamento total do eixo baricêntrico}$$

$$Y_{G \text{ final}} = Y_G + d = 0,07 \text{ m} \quad \text{Posição final do eixo baricêntrico}$$

$$I_G = I_{xef} - A_{ef} \cdot d^2 = 0,00 \text{ m}^4 \quad \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo baricêntrico}$$

$$W_{ef} = \frac{I_G}{Y_{G \text{ final}}} = 0,00 \text{ m}^3 \quad \text{Módulo elástico efetivo}$$

$$M_{Rdx}^{FL} = \frac{W_{ef} \cdot f_y}{1,10} = 408,08 \text{ kgf.m} \quad \text{Resistência de cálculo à flexão para o início do escoamento}$$

#### 3.2. Cálculo do momento resistente devido ao estado limite Flambagem Lateral com Torção

$$M_e = C_b \cdot r_o \cdot \sqrt{N_{ey} \cdot N_{et}} = 668,08 \text{ kgf.m} \quad \text{Momento fletor de flambagem lateral com torção}$$

$$W_c = 0,00 \text{ m}^3 \quad \text{Módulo de resistência elástico da seção bruta em relação à fibra comprimida}$$

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{W_c \cdot f_y}{M_e}} = 0,89 \quad 0,6 < \lambda_0 < 1,336 \quad \text{então } \chi_{FLT} = 1,11 \cdot (1 - 0,278 \cdot \lambda_0^2)$$

$$\chi_{FLT} = 0,86 \quad \text{Fator de redução associado à flambagem lateral com torção}$$

$$\text{Cálculo de } \sigma_{cef} \text{ na tensão} \quad \sigma = \chi_{FLT} \cdot f_y = 21622212,87 \text{ kgf/m}^2$$

$$A_{ef} = 0,00 \text{ m}^2 \quad \text{Área efetiva da seção}$$

$$I_{xef} = 0,00 \text{ m}^4 \quad \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo X}$$

$$d = 0,00 \text{ m} \quad \text{Rebaixamento total do eixo baricêntrico}$$

$$\begin{aligned}
 Y_{G \text{ final}} &= Y_G + d = 0,07 \text{ m} && \text{Posição final do eixo baricêntrico} \\
 I_G &= I_{yef} - A_{ef} \cdot d^2 = 0,00 \text{ m}^4 && \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo baricêntrico} \\
 W_{cef} &= \frac{I_G}{Y_{G \text{ final}}} = 0,00 \text{ m}^3 && \text{Módulo elástico efetivo} \\
 M_{Rdx}^{FLT} &= \frac{\chi_{FLT} \cdot W_{cef} \cdot f_y}{1,10} = 361,54 \text{ kgf.m} && \text{Resistência de cálculo à flexão para o estado limite FLT} \\
 M_{Rdx} &= 361,54 \text{ kgf.m} && \text{Resistência de cálculo à flexão em relação ao eixo X} \\
 \frac{SOLIC.}{RESIST.} &= \frac{M_{xSd}}{M_{xRd}} = 0,00 < 1,00 && \text{OK!}
 \end{aligned}$$

## 4. Cálculo da Resistência à Flexão - eixo Y

### 4.1. Cálculo do momento resistente devido ao início do escoamento efetivo

$$\begin{aligned}
 A_{ef} &= 0,00 \text{ m}^2 && \text{Área efetiva da seção} \\
 I_{yef} &= 0,00 \text{ m}^4 && \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo Y} \\
 d &= 0,00 \text{ m} && \text{Rebaixamento total do eixo baricêntrico} \\
 X_{G \text{ final}} &= X_G + d = 0,04 \text{ m} && \text{Posição final do eixo baricêntrico} \\
 I_G &= I_{yef} - A_{ef} \cdot d^2 = 0,00 \text{ m}^4 && \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo baricêntrico} \\
 W_{ef} &= \frac{I_G}{X_{G \text{ final}}} = 0,00 \text{ m}^3 && \text{Módulo elástico efetivo} \\
 M_{Rdy} &= \frac{W_{ef} \cdot f_y}{1,10} = 70,61 \text{ kgf.m} && \text{Resistência de cálculo à flexão em relação ao eixo Y}
 \end{aligned}$$

### 4.2. Cálculo do momento resistente devido ao estado limite Flambagem Lateral com Torção

$$\begin{aligned}
 C_s &= -1,00 \\
 C_m &= 1,00 \\
 j &= 0,08 \text{ m} && \text{Parâmetro da seção transversal conforme Anexo E - NBR 14762:2010} \\
 M_e &= \frac{C_s \cdot N_{ex}}{C_m} \cdot \left[ j + C_s \cdot \sqrt{j^2 + r_0^2} \cdot \left( \frac{N_{ex}}{N_{ex}} \right) \right] = 270,64 \text{ kgf.m} && \text{Momento fletor de flambagem lateral com torção} \\
 W_c &= 0,00 \text{ m}^3 && \text{Módulo de resistência elástico da seção bruta em relação à fibra comprimida} \\
 \lambda_o &= \sqrt{\frac{W_c \cdot f_y}{M_e}} = 0,54 && \lambda_o \leq 0,6 \text{ então } \chi_{FLT} = 1,0 \\
 \chi_{FLT} &= 1,00 && \text{Fator de redução associado à flambagem lateral com torção} \\
 \text{Cálculo de } W_{cef} \text{ na tensão } \sigma &= \chi_{FLT} \cdot f_y = 25000000,00 \text{ kgf/m}^2 \\
 A_{ef} &= 0,00 \text{ m}^2 && \text{Área efetiva da seção} \\
 I_{yef} &= 0,00 \text{ m}^4 && \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo Y} \\
 d &= 0,00 \text{ m} && \text{Rebaixamento total do eixo baricêntrico} \\
 X_{G \text{ final}} &= X_G + d = 0,04 \text{ m} && \text{Posição final do eixo baricêntrico} \\
 I_G &= I_{yef} - A_{ef} \cdot d^2 = 0,00 \text{ m}^4 && \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo baricêntrico} \\
 W_{ef} &= \frac{I_G}{X_{G \text{ final}}} = 0,00 \text{ m}^3 && \text{Módulo elástico efetivo}
 \end{aligned}$$

$$M_{Rdy}^{FLT} = \frac{\chi_{FLT} \cdot W_{cef} \cdot f_y}{1,10} = 70,61 \text{ kgf.m} \quad \text{Resistência de cálculo à flexão para o estado limite FLT}$$

$$M_{yRd} = 70,61 \text{ kgf.m} \quad \text{Resistência de cálculo à flexão em relação ao eixo X}$$

$$\frac{SOLIC.}{RESIST.} = \frac{M_{ySd}}{M_{yRd}} = 0,00 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

## 5. Cálculo da Resistência ao cortante - eixo X

$$\lambda = \frac{h}{t} = 20,22 \quad \text{Parâmetro de esbeltez}$$

$$k_v = 5,00 \quad \text{Coeficiente de flambagem local por cisalhamento}$$

$$\lambda_p = 1,08 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}} = 68,31 \quad \text{Parâmetro de esbeltez limite para plastificação}$$

$$\lambda_r = 1,40 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}} = 88,54 \quad \text{Parâmetro de esbeltez limite para para início de escoamento} \quad \lambda \leq \lambda_p \text{ então}$$

$$V_{Rd} = \frac{0,6 \cdot h \cdot t \cdot f_y}{1,10}$$

$$V_{Rdx} = 2792,05 \text{ kgf} \quad \text{Resistência ao esforço cortante em relação ao eixo X}$$

$$\frac{SOLIC.}{RESIST.} = \frac{V_{xSd}}{V_{xRd}} = 0,00 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

## 6. Cálculo da Resistência ao cortante - eixo Y

$$\lambda = \frac{h}{t} = 58,22 \quad \text{Parâmetro de esbeltez}$$

$$k_v = 5,00 \quad \text{Coeficiente de flambagem local por cisalhamento}$$

$$\lambda_p = 1,08 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}} = 68,31 \quad \text{Parâmetro de esbeltez limite para plastificação}$$

$$\lambda_r = 1,40 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}} = 88,54 \quad \text{Parâmetro de esbeltez limite para para início de escoamento} \quad \lambda \leq \lambda_p \text{ então}$$

$$V_{Rd} = \frac{0,6 \cdot h \cdot t \cdot f_y}{1,10}$$

$$V_{Rdy} = 4019,32 \text{ kgf} \quad \text{Resistência ao esforço cortante em relação ao eixo X}$$

$$\frac{SOLIC.}{RESIST.} = \frac{V_{ySd}}{V_{yRd}} = 0,00 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

## 7. Equações de Interação

$$\frac{N_{cSd}}{N_{cRd}} + \frac{C_{mx} \cdot M_{xSd}}{M_{xRd} \cdot \left(1 - \frac{N_{cSd}}{N_{ex}}\right)} + \frac{C_{my} \cdot M_{ySd}}{M_{yRd} \cdot \left(1 - \frac{N_{cSd}}{N_{ey}}\right)} = 0,82$$

$$\frac{N_{csd}}{N_{orD}} + \frac{M_{xsd}}{M_{xRd}} + \frac{M_{ysd}}{M_{yRd}} = 0,45$$

$$\frac{M_{xSd}}{M_{xRd}} + \frac{M_{ySd}}{M_{yRd}} + \frac{N_{tSd}}{N_{tRd}} = 0,32$$

$$\frac{M_{xSd}}{M_{xRd}} + \frac{M_{ySd}}{M_{yRd}} - \frac{N_{tSd}}{N_{tRd}} = 0,32$$

mCalc\_Perfis

<b>Cliente:</b>	Não Definido
<b>Obra:</b>	Não Definido
<b>Responsável:</b>	Não Definido

Conforme NBR 8800:2008 e NBR 14762:2010

**Perfil U Enrigecido (Formado a frio)**

Perfil: UENR 150 x 60 x 20 x 3  
 Aço: ASTM A36     $f_y = 250 \text{ MPa}$      $f_u = 400 \text{ MPa}$

**COMPRIMENTOS DA BARRA**

$K_x L_x = 6 \text{ m}$      $K_t L_t = 3 \text{ m}$   
 $K_y L_y = 3 \text{ m}$      $L_b = 3 \text{ m}$

**1. Cálculo da Tração**

$C_T = 1,00$     Coeficiente de redução da área líquida

$$N_{tRd1} = \frac{A \cdot f_y}{1,10} = 19500,00 \text{ kgf} \quad \text{Resistência de escoamento}$$

$$N_{tRd2} = \frac{C_T \cdot A_n \cdot f_u}{1,65} = 20800,00 \text{ kgf} \quad \text{Resistência à ruptura}$$

$$N_{tRd} = 19500,00 \text{ kgf} \quad \text{Resistência à tração}$$

$$\frac{\text{SOLIC.}}{\text{RESIST.}} = \frac{N_{tSd}}{N_{tRd}} = 0,00 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

**2. Cálculo da Compressão**

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_x}{(K_x \cdot L_x)^2} = 15960,32 \text{ kgf}$$

$$N_{ey} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{(K_y \cdot L_y)^2} = 8987,50 \text{ kgf}$$

$$N_{ez} = \frac{1}{r_o^2} \cdot \left[ \frac{\pi^2 \cdot E \cdot C_w}{(K_z \cdot L_z)^2} + G \cdot J \right] = 11232,48 \text{ kgf}$$

$$H = 1 - \frac{x_o^2}{r_o^2} = 0,65$$

$$N_{exz} = \frac{N_{ex} + N_{ez}}{2 \cdot H} \cdot \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{4 \cdot N_{ex} \cdot N_{ez} \cdot H}{(N_{ex} + N_{ez})^2}} \right] = 8214,64 \text{ kgf}$$



$$N_e = 8214,64 \text{ kgf}$$

$$\lambda_o = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_e}} =$$

$$\lambda_o > 1,5 \text{ então } \chi = \frac{1,62}{(\lambda_o)^2} = 0,34$$

a) Cálculo da resistência à compressão devido à flambagem global

$$A_{ef}^{FG} = 0,00 \text{ m}^2 \quad \text{Área efetiva devido à flambagem global}$$

$$N_{cRd} = \frac{\chi \cdot A_{ef} \cdot f_y}{1,20} = 6003,53 \text{ kgf} \quad \text{Resistência à compressão devido à flambagem global}$$

b) Cálculo da resistência à compressão devido à flambagem local

$$A_{ef}^{FL} = 0,00 \text{ m}^2 \quad \text{Área efetiva devido à flambagem local}$$

$$N_{cRd}^{FL} = \frac{A_{ef}^{FL} \cdot f_y}{1,20} = 16736,49 \text{ kgf} \quad \text{Resistência à compressão devido à flambagem local}$$

$$N_{cRd} = 6003,53 \text{ kgf} \quad \text{Força normal resistente de cálculo à compressão}$$

$$\frac{\text{SOLIC.}}{\text{RESIST.}} = \frac{N_{cSd}}{N_{cRd}} = 0,00 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

### 3. Cálculo da Resistência à Flexão - eixo X

#### 3.1. Cálculo do momento resistente devido ao início do escoamento efetivo

$$A_{ef} = 0,00 \text{ m}^2 \quad \text{Área efetiva da seção}$$

$$I_{xef} = 0,00 \text{ m}^4 \quad \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo X}$$

$$d = 0,00 \text{ m} \quad \text{Rebaixamento total do eixo baricêntrico}$$

$$Y_{G \text{ final}} = Y_G + d = 0,07 \text{ m} \quad \text{Posição final do eixo baricêntrico}$$

$$I_G = I_{xef} - A_{ef} \cdot d^2 = 0,00 \text{ m}^4 \quad \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo baricêntrico}$$

$$W_{ef} = \frac{I_G}{Y_{G \text{ final}}} = 0,00 \text{ m}^3 \quad \text{Módulo elástico efetivo}$$

$$M_{Rdx}^{FL} = \frac{W_{ef} \cdot f_y}{1,10} = 882,06 \text{ kgf.m} \quad \text{Resistência de cálculo à flexão para o início do escoamento}$$

#### 3.2. Cálculo do momento resistente devido ao estado limite Flambagem Lateral com Torção

$$M_e = C_b \cdot r_o \cdot \sqrt{N_{ey} \cdot N_{et}} = 770,04 \text{ kgf.m} \quad \text{Momento fletor de flambagem lateral com torção}$$

$$W_c = 0,00 \text{ m}^3 \quad \text{Módulo de resistência elástico da seção bruta em relação à fibra comprimida}$$

$$\lambda_o = \sqrt{\frac{W_c \cdot f_y}{M_e}} = 1,12 \quad 0,6 < \lambda_o < 1,336 \quad \text{então } \chi_{FLT} = 1,11 \cdot (1 - 0,278 \cdot \lambda_o^2)$$

$$\chi_{FLT} = 0,72 \quad \text{Fator de redução associado à flambagem lateral com torção}$$

$$\text{Cálculo de } \sigma_{cef} \text{ na tensão } \sigma = \chi_{FLT} \cdot f_y = 18029464,79 \text{ kgf/m}^2$$

$$A_{ef} = 0,00 \text{ m}^2 \quad \text{Área efetiva da seção}$$

$$I_{xef} = 0,00 \text{ m}^4 \quad \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo X}$$

$$d = 0,00 \text{ m} \quad \text{Rebaixamento total do eixo baricêntrico}$$

$$Y_{G \text{ final}} = Y_G + d = 0,07 \text{ m} \quad \text{Posição final do eixo baricêntrico}$$

$$I_G = I_{x_{ef}} - A_{ef} \cdot d^2 = 0,00 \text{ m}^4 \quad \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo baricêntrico}$$

$$W_{cef} = \frac{I_G}{Y_{G \text{ final}}} = 0,00 \text{ m}^3 \quad \text{Módulo elástico efetivo}$$

$$M_{Rdx}^{FLT} = \frac{\chi_{FLT} \cdot W_{cef} \cdot f_y}{1,10} = 636,13 \text{ kgf.m} \quad \text{Resistência de cálculo à flexão para o estado limite FLT}$$

$$M_{Rdx} = 636,13 \text{ kgf.m} \quad \text{Resistência de cálculo à flexão em relação ao eixo X}$$

$$\frac{SOLIC.}{RESIST.} = \frac{M_{xSd}}{M_{xRd}} = 0,87 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

## 4. Cálculo da Resistência à Flexão - eixo Y

### 4.1. Cálculo do momento resistente devido ao início do escoamento efetivo

$$A_{ef} = 0,00 \text{ m}^2 \quad \text{Área efetiva da seção}$$

$$I_{yef} = 0,00 \text{ m}^4 \quad \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo Y}$$

$$d = 0,00 \text{ m} \quad \text{Rebaixamento total do eixo baricêntrico}$$

$$X_{G \text{ final}} = X_G + d = 0,04 \text{ m} \quad \text{Posição final do eixo baricêntrico}$$

$$I_G = I_{yef} - A_{ef} \cdot d^2 = 0,00 \text{ m}^4 \quad \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo baricêntrico}$$

$$W_{ef} = \frac{I_G}{X_{G \text{ final}}} = 0,00 \text{ m}^3 \quad \text{Módulo elástico efetivo}$$

$$M_{Rdy} = \frac{W_{ef} \cdot f_y}{1,10} = 227,36 \text{ kgf.m} \quad \text{Resistência de cálculo à flexão em relação ao eixo Y}$$

### 4.2. Cálculo do momento resistente devido ao estado limite Flambagem Lateral com Torção

$$C_s = -1,00$$

$$C_m = 1,00$$

$$j = 0,08 \text{ m} \quad \text{Parâmetro da seção transversal conforme Anexo E - NBR 14762:2010}$$

$$M_e = \frac{C_s \cdot N_{ex}}{C_m} \cdot \left[ j + C_s \cdot \sqrt{j^2 + r_0^2 \cdot \left( \frac{N_{ex}}{N_{ex}} \right)} \right] = 351,08 \text{ kgf.m} \quad \text{Momento fletor de flambagem lateral com torção}$$

$$W_c = 0,00 \text{ m}^3 \quad \text{Módulo de resistência elástico da seção bruta em relação à fibra comprimida}$$

$$\lambda_o = \sqrt{\frac{W_c \cdot f_y}{M_e}} = 0,84 \quad 0,6 < \lambda_o < 1,336 \quad \text{então} \quad \chi_{FLT} = 1,11 \cdot (1 - 0,278 \cdot \lambda_o^2)$$

$$\chi_{FLT} = 0,89 \quad \text{Fator de redução associado à flambagem lateral com torção}$$

$$\text{Cálculo de } \sigma = \chi_{FLT} \cdot f_y = 22254376,26 \text{ kgf/m}^2 \quad \text{na tensão}$$

$$A_{ef} = 0,00 \text{ m}^2 \quad \text{Área efetiva da seção}$$

$$I_{yef} = 0,00 \text{ m}^4 \quad \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo Y}$$

$$d = 0,00 \text{ m} \quad \text{Rebaixamento total do eixo baricêntrico}$$

$$X_{G \text{ final}} = X_G + d = 0,04 \text{ m} \quad \text{Posição final do eixo baricêntrico}$$

$$I_G = I_{yef} - A_{ef} \cdot d^2 = 0,00 \text{ m}^4 \quad \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo baricêntrico}$$

$$W_{\text{cef}} = \frac{I_G}{x_{G \text{ final}}} = \frac{0,00 \text{ m}^3}{\text{Módulo elástico efetivo}}$$

$$M_{\text{Rdy}}^{\text{FLT}} = \frac{\chi_{\text{FLT}} \cdot W_{\text{cef}} \cdot f_y}{1,10} = 202,39 \text{ kgf.m} \quad \text{Resistência de cálculo à flexão para o estado limite FLT}$$

$$M_{y\text{Rd}} = 202,39 \text{ kgf.m} \quad \text{Resistência de cálculo à flexão em relação ao eixo X}$$

$$\frac{\text{SOLIC.}}{\text{RESIST.}} = \frac{M_{y\text{Sd}}}{M_{y\text{Rd}}} = 0,10 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

## 5. Cálculo da Resistência ao cortante - eixo X

$$\lambda = \frac{h}{t} = 16,00 \quad \text{Parâmetro de esbeltez}$$

$$k_v = 5,00 \quad \text{Coeficiente de flambagem local por cisalhamento}$$

$$\lambda_p = 1,08 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}} = 68,31 \quad \text{Parâmetro de esbeltez limite para plastificação}$$

$$\lambda_r = 1,40 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}} = 88,54 \quad \text{Parâmetro de esbeltez limite para para início de escoamento} \quad \lambda \leq \lambda_p \text{ então}$$

$$V_{\text{Rd}} = \frac{0,6 \cdot h \cdot t \cdot f_y}{1,10}$$

$$V_{\text{Rdx}} = 3927,27 \text{ kgf} \quad \text{Resistência ao esforço cortante em relação ao eixo X}$$

$$\frac{\text{SOLIC.}}{\text{RESIST.}} = \frac{V_{x\text{Sd}}}{V_{x\text{Rd}}} = 0,02 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

## 6. Cálculo da Resistência ao cortante - eixo Y

$$\lambda = \frac{h}{t} = 46,00 \quad \text{Parâmetro de esbeltez}$$

$$k_v = 5,00 \quad \text{Coeficiente de flambagem local por cisalhamento}$$

$$\lambda_p = 1,08 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}} = 68,31 \quad \text{Parâmetro de esbeltez limite para plastificação}$$

$$\lambda_r = 1,40 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}} = 88,54 \quad \text{Parâmetro de esbeltez limite para para início de escoamento} \quad \lambda \leq \lambda_p \text{ então}$$

$$V_{\text{Rd}} = \frac{0,6 \cdot h \cdot t \cdot f_y}{1,10}$$

$$V_{\text{Rdy}} = 5645,45 \text{ kgf} \quad \text{Resistência ao esforço cortante em relação ao eixo X}$$

$$\frac{\text{SOLIC.}}{\text{RESIST.}} = \frac{V_{y\text{Sd}}}{V_{y\text{Rd}}} = 0,13 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

## 7. Equações de Interação

$$\frac{N_{\text{cSd}}}{N_{\text{cRd}}} + \frac{M_{x\text{Sd}}}{M_{x\text{Rd}}} + \frac{M_{y\text{Sd}}}{M_{y\text{Rd}}} = 0,98$$

$$\frac{M_{xSd}}{M_{xRd}} + \frac{M_{ySd}}{M_{yRd}} + \frac{N_{tSd}}{N_{tRd}} = 0,98$$

$$\frac{M_{xSd}}{M_{xRd}} + \frac{M_{ySd}}{M_{yRd}} - \frac{N_{tSd}}{N_{tRd}} = 0,98$$

mCalc\_Perfis - Stabile Engenharia Ltda.

<b>Ciente:</b>	Não Definido
<b>Obra:</b>	Não Definido
<b>Responsável:</b>	Não Definido

Conforme NBR 8800:2008 e NBR 14762:2010

### Perfil U Engricido (Formado a frio)

Perfil: UENR 150 x 60 x 20 x 3  
 Aço: ASTM A36  $f_y = 250 \text{ MPa}$   $f_u = 400 \text{ MPa}$

#### COMPRIMENTOS DA BARRA

$K_x L_x = 6 \text{ m}$   $K_t L_t = 3 \text{ m}$   
 $K_y L_y = 3 \text{ m}$   $L_b = 3 \text{ m}$

## 1. Cálculo da Tração

$C_T = 1,00$  Coeficiente de redução da área líquida

$$N_{tRd1} = \frac{A \cdot f_y}{1,10} = 19500,00 \text{ kgf} \quad \text{Resistência de escoamento}$$

$$N_{tRd2} = \frac{C_T \cdot A_n \cdot f_u}{1,65} = 20800,00 \text{ kgf} \quad \text{Resistência à ruptura}$$

$$N_{tRd} = 19500,00 \text{ kgf} \quad \text{Resistência à tração}$$

$$\frac{\text{SOLIC.}}{\text{RESIST.}} = \frac{N_{tSd}}{N_{tRd}} = 0,06 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

## 2. Cálculo da Compressão

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_x}{(K_x \cdot L_x)^2} = 15960,32 \text{ kgf}$$

$$N_{ey} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{(K_y \cdot L_y)^2} = 8987,50 \text{ kgf}$$

$$N_{ez} = \frac{1}{r_o^2} \cdot \left[ \frac{\pi^2 \cdot E \cdot C_w}{(K_z \cdot L_z)^2} + G \cdot J \right] = 11232,48 \text{ kgf}$$

$$H = 1 - \frac{x_o^2}{r_o^2} = 0,65$$

$$N_{exz} = \frac{N_{ex} + N_{ez}}{2 \cdot H} \cdot \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{4 \cdot N_{ex} \cdot N_{ez} \cdot H}{(N_{ex} + N_{ez})^2}} \right] = 8214,64 \text{ kgf}$$

$$N_e = 8214,64 \text{ kgf}$$

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_e}} =$$

$$\lambda_0 > 1,5 \text{ então } \chi = \frac{1,62}{0,877} = \frac{1,62}{(\lambda_0)^2} = 0,34$$

a) Cálculo da resistência à compressão devido à flambagem global

$$A_{ef}^{FG} = 0,00 \text{ m}^2 \quad \text{Área efetiva devido à flambagem global}$$

$$N_{cRd} = \frac{\chi \cdot A_{ef} \cdot f_y}{1,20} = \frac{0,34 \cdot 0,00 \cdot f_y}{1,20} = 6003,53 \text{ kgf} \quad \text{Resistência à compressão devido à flambagem global}$$

b) Cálculo da resistência à compressão devido à flambagem local

$$A_{ef}^{FL} = 0,00 \text{ m}^2 \quad \text{Área efetiva devido à flambagem local}$$

$$N_{cRd}^{FL} = \frac{A_{ef}^{FL} \cdot f_y}{1,20} = \frac{0,00 \cdot f_y}{1,20} = 16736,49 \text{ kgf} \quad \text{Resistência à compressão devido à flambagem local}$$

$$N_{cRd} = 6003,53 \text{ kgf} \quad \text{Força normal resistente de cálculo à compressão}$$

$$\frac{\text{SOLIC.}}{\text{RESIST.}} = \frac{N_{cSd}}{N_{cRd}} = 0,00 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

### 3. Cálculo da Resistência à Flexão - eixo X

#### 3.1. Cálculo do momento resistente devido ao início do escoamento efetivo

$$A_{ef} = 0,00 \text{ m}^2 \quad \text{Área efetiva da seção}$$

$$I_{xef} = 0,00 \text{ m}^4 \quad \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo X}$$

$$d = 0,00 \text{ m} \quad \text{Rebaixamento total do eixo baricêntrico}$$

$$Y_{G \text{ final}} = Y_G + d = 0,07 \text{ m} \quad \text{Posição final do eixo baricêntrico}$$

$$I_G = I_{xef} - A_{ef} \cdot d^2 = 0,00 \text{ m}^4 \quad \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo baricêntrico}$$

$$W_{ef} = \frac{I_G}{Y_{G \text{ final}}} = \frac{0,00}{0,07} = 0,00 \text{ m}^3 \quad \text{Módulo elástico efetivo}$$

$$M_{Rdx}^{FL} = \frac{W_{ef} \cdot f_y}{1,10} = \frac{0,00 \cdot f_y}{1,10} = 882,06 \text{ kgf.m} \quad \text{Resistência de cálculo à flexão para o início do escoamento}$$

#### 3.2. Cálculo do momento resistente devido ao estado limite Flambagem Lateral com Torção

$$M_e = C_b \cdot r_o \cdot \sqrt{N_{ey} \cdot N_{et}} = 770,04 \text{ kgf.m} \quad \text{Momento fletor de flambagem lateral com torção}$$

$$W_c = 0,00 \text{ m}^3 \quad \text{Módulo de resistência elástico da seção bruta em relação à fibra comprimida}$$

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{W_c \cdot f_y}{M_e}} = \frac{0,6}{1,12} < \lambda_0 < 1,336 \quad \text{então } \chi_{FLT} = 1,11 \cdot (1 - 0,278 \cdot \lambda_0^2)$$

$$\chi_{FLT} = 0,72 \quad \text{Fator de redução associado à flambagem lateral com torção}$$

$$\text{Cálculo de } \sigma_{cef} \text{ na tensão } \sigma = \chi_{FLT} \cdot f_y = 18029464,79 \text{ kgf/m}^2$$

$$A_{ef} = 0,00 \text{ m}^2 \quad \text{Área efetiva da seção}$$

$$I_{xef} = 0,00 \text{ m}^4 \quad \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo X}$$

$$d = 0,00 \text{ m} \quad \text{Rebaixamento total do eixo baricêntrico}$$

$$\begin{aligned}
 Y_{G \text{ final}} &= Y_G + d = 0,07 \text{ m} && \text{Posição final do eixo baricêntrico} \\
 I_G &= I_{yef} - A_{ef} \cdot d^2 = 0,00 \text{ m}^4 && \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo baricêntrico} \\
 W_{cef} &= \frac{I_G}{Y_{G \text{ final}}} = 0,00 \text{ m}^3 && \text{Módulo elástico efetivo} \\
 M_{Rdx}^{FLT} &= \frac{\chi_{FLT} \cdot W_{cef} \cdot f_y}{1,10} = 636,13 \text{ kgf.m} && \text{Resistência de cálculo à flexão para o estado limite FLT} \\
 M_{Rdx} &= 636,13 \text{ kgf.m} && \text{Resistência de cálculo à flexão em relação ao eixo X} \\
 \frac{SOLIC.}{RESIST.} &= \frac{M_{xSd}}{M_{xRd}} = 0,87 < 1,00 && \text{OK!}
 \end{aligned}$$

## 4. Cálculo da Resistência à Flexão - eixo Y

### 4.1. Cálculo do momento resistente devido ao início do escoamento efetivo

$$\begin{aligned}
 A_{ef} &= 0,00 \text{ m}^2 && \text{Área efetiva da seção} \\
 I_{yef} &= 0,00 \text{ m}^4 && \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo Y} \\
 d &= 0,00 \text{ m} && \text{Rebaixamento total do eixo baricêntrico} \\
 X_{G \text{ final}} &= X_G + d = 0,04 \text{ m} && \text{Posição final do eixo baricêntrico} \\
 I_G &= I_{yef} - A_{ef} \cdot d^2 = 0,00 \text{ m}^4 && \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo baricêntrico} \\
 W_{ef} &= \frac{I_G}{X_{G \text{ final}}} = 0,00 \text{ m}^3 && \text{Módulo elástico efetivo} \\
 M_{Rdy} &= \frac{W_{ef} \cdot f_y}{1,10} = 227,36 \text{ kgf.m} && \text{Resistência de cálculo à flexão em relação ao eixo Y}
 \end{aligned}$$

### 4.2. Cálculo do momento resistente devido ao estado limite Flambagem Lateral com Torção

$$\begin{aligned}
 C_s &= -1,00 \\
 C_m &= 1,00 \\
 j &= 0,08 \text{ m} && \text{Parâmetro da seção transversal conforme Anexo E - NBR 14762:2010} \\
 M_e &= \frac{C_s \cdot N_{ex}}{C_m} \cdot \left[ j + C_s \cdot \sqrt{j^2 + r_0^2} \cdot \left( \frac{N_{ex}}{N_{ex}} \right) \right] = 351,08 \text{ kgf.m} && \text{Momento fletor de flambagem lateral com torção} \\
 W_c &= 0,00 \text{ m}^3 && \text{Módulo de resistência elástico da seção bruta em relação à fibra comprimida} \\
 \lambda_o &= \sqrt{\frac{W_c \cdot f_y}{M_e}} = 0,84 && 0,6 < \lambda_o < 1,336 \quad \text{então} \quad \chi_{FLT} = 1,11 \cdot (1 - 0,278 \cdot \lambda_o^2) \\
 \chi_{FLT} &= 0,89 && \text{Fator de redução associado à flambagem lateral com torção} \\
 \text{Cálculo de } W_{cef} \text{ na tensão } \sigma &= \chi_{FLT} \cdot f_y = 22254376,26 \text{ kgf/m}^2 \\
 A_{ef} &= 0,00 \text{ m}^2 && \text{Área efetiva da seção} \\
 I_{yef} &= 0,00 \text{ m}^4 && \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo Y} \\
 d &= 0,00 \text{ m} && \text{Rebaixamento total do eixo baricêntrico} \\
 X_{G \text{ final}} &= X_G + d = 0,04 \text{ m} && \text{Posição final do eixo baricêntrico} \\
 I_G &= I_{yef} - A_{ef} \cdot d^2 = 0,00 \text{ m}^4 && \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo baricêntrico} \\
 W_{ef} &= \frac{I_G}{X_{G \text{ final}}} = 0,00 \text{ m}^3 && \text{Módulo elástico efetivo}
 \end{aligned}$$

$$M_{Rdy}^{FLT} = \frac{\chi_{FLT} \cdot W_{cef} \cdot f_y}{1,10} = 202,39 \text{ kgf.m} \quad \text{Resistência de cálculo à flexão para o estado limite FLT}$$

$$M_{yRd} = 202,39 \text{ kgf.m} \quad \text{Resistência de cálculo à flexão em relação ao eixo X}$$

$$\frac{SOLIC.}{RESIST.} = \frac{M_{ySd}}{M_{yRd}} = 0,00 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

## 5. Cálculo da Resistência ao cortante - eixo X

$$\lambda = \frac{h}{t} = 16,00 \quad \text{Parâmetro de esbeltez}$$

$$k_v = 5,00 \quad \text{Coeficiente de flambagem local por cisalhamento}$$

$$\lambda_p = 1,08 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}} = 68,31 \quad \text{Parâmetro de esbeltez limite para plastificação}$$

$$\lambda_r = 1,40 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}} = 88,54 \quad \text{Parâmetro de esbeltez limite para para início de escoamento} \quad \lambda \leq \lambda_p \text{ então}$$

$$V_{Rd} = \frac{0,6 \cdot h \cdot t \cdot f_y}{1,10}$$

$$V_{Rdx} = 3927,27 \text{ kgf} \quad \text{Resistência ao esforço cortante em relação ao eixo X}$$

$$\frac{SOLIC.}{RESIST.} = \frac{V_{xSd}}{V_{xRd}} = 0,00 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

## 6. Cálculo da Resistência ao cortante - eixo Y

$$\lambda = \frac{h}{t} = 46,00 \quad \text{Parâmetro de esbeltez}$$

$$k_v = 5,00 \quad \text{Coeficiente de flambagem local por cisalhamento}$$

$$\lambda_p = 1,08 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}} = 68,31 \quad \text{Parâmetro de esbeltez limite para plastificação}$$

$$\lambda_r = 1,40 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}} = 88,54 \quad \text{Parâmetro de esbeltez limite para para início de escoamento} \quad \lambda \leq \lambda_p \text{ então}$$

$$V_{Rd} = \frac{0,6 \cdot h \cdot t \cdot f_y}{1,10}$$

$$V_{Rdy} = 5645,45 \text{ kgf} \quad \text{Resistência ao esforço cortante em relação ao eixo X}$$

$$\frac{SOLIC.}{RESIST.} = \frac{V_{ySd}}{V_{yRd}} = 0,13 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

## 7. Equações de Interação

$$\frac{N_{cSd}}{N_{cRd}} + \frac{M_{xSd}}{M_{xRd}} + \frac{M_{ySd}}{M_{yRd}} = 0,87$$

$$\frac{M_{xSd}}{M_{xRd}} + \frac{M_{ySd}}{M_{yRd}} + \frac{N_{tSd}}{N_{tRd}} = 0,93$$

$$\frac{M_{xSd}}{M_{xRd}} + \frac{M_{ySd}}{M_{yRd}} - \frac{N_{tSd}}{N_{tRd}} = 0,82$$

mCalc\_Perfis - Stabile Engenharia Ltda. - www.stabile.com.br

<b>Cliente:</b>	Não Definido
<b>Obra:</b>	Não Definido
<b>Responsável:</b>	Não Definido

Conforme NBR 8800:2008 e NBR 14762:2010

### Perfil U Enrigecido (Formado a frio)

Perfil: UENR 150 x 60 x 20 x 3

Aço: ASTM A36  $f_y = 250$  MPa  $f_u = 400$  MPa

### COMPRImentos DA BARRA

$K_x L_x = 6$  m  $K_t L_t = 3$  m

$K_y L_y = 3$  m  $L_b = 3$  m

## 1. Cálculo da Tração

$C_T = 1,00$  Coeficiente de redução da área líquida

$$N_{tRd1} = \frac{A \cdot f_y}{1,10} = 19500,00 \text{ kgf} \quad \text{Resistência de escoamento}$$

$$N_{tRd2} = \frac{C_T \cdot A_n \cdot f_u}{1,65} = 20800,00 \text{ kgf} \quad \text{Resistência à ruptura}$$

$$N_{tRd} = 19500,00 \text{ kgf} \quad \text{Resistência à tração}$$

$$\frac{\text{SOLIC.}}{\text{RESIST.}} = \frac{N_{tSd}}{N_{tRd}} = 0,00 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

## 2. Cálculo da Compressão

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_x}{(K_x \cdot L_x)^2} = 15960,32 \text{ kgf}$$

$$N_{ey} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{(K_y \cdot L_y)^2} = 8987,50 \text{ kgf}$$

$$N_{ez} = \frac{1}{r_o^2} \cdot \left[ \frac{\pi^2 \cdot E \cdot C_w}{(K_z \cdot L_z)^2} + G \cdot J \right] = 11232,48 \text{ kgf}$$

$$H = 1 - \frac{x_o^2}{r_o^2} = 0,65$$

$$N_{exz} = \frac{N_{ex} + N_{ez}}{2 \cdot H} \cdot \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{4 \cdot N_{ex} \cdot N_{ez} \cdot H}{(N_{ex} + N_{ez})^2}} \right] = 8214,64 \text{ kgf}$$

$$N_e = 8214,64 \text{ kgf}$$



$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_e}} =$$

$$\lambda_0 > 1,5 \text{ então } \chi = \frac{1,62}{0,877} = \frac{1,62}{(\lambda_0)^2} = 0,34$$

a) Cálculo da resistência à compressão devido à flambagem global

$$A_{ef}^{FG} = 0,00 \text{ m}^2 \quad \text{Área efetiva devido à flambagem global}$$

$$N_{cRd} = \frac{\chi \cdot A_{ef} \cdot f_y}{1,20} = \frac{0,34 \cdot 0,00 \cdot f_y}{1,20} = 6003,53 \text{ kgf} \quad \text{Resistência à compressão devido à flambagem global}$$

b) Cálculo da resistência à compressão devido à flambagem local

$$A_{ef}^{FL} = 0,00 \text{ m}^2 \quad \text{Área efetiva devido à flambagem local}$$

$$N_{cRd}^{FL} = \frac{A_{ef}^{FL} \cdot f_y}{1,20} = \frac{0,00 \cdot f_y}{1,20} = 16736,49 \text{ kgf} \quad \text{Resistência à compressão devido à flambagem local}$$

$$N_{cRd} = 6003,53 \text{ kgf} \quad \text{Força normal resistente de cálculo à compressão}$$

$$\frac{\text{SOLIC.}}{\text{RESIST.}} = \frac{N_{cSd}}{N_{cRd}} = 0,19 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

### 3. Cálculo da Resistência à Flexão - eixo X

#### 3.1. Cálculo do momento resistente devido ao início do escoamento efetivo

$$A_{ef} = 0,00 \text{ m}^2 \quad \text{Área efetiva da seção}$$

$$I_{xef} = 0,00 \text{ m}^4 \quad \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo X}$$

$$d = 0,00 \text{ m} \quad \text{Rebaixamento total do eixo baricêntrico}$$

$$Y_{G \text{ final}} = Y_G + d = 0,07 \text{ m} \quad \text{Posição final do eixo baricêntrico}$$

$$I_G = I_{xef} - A_{ef} \cdot d^2 = 0,00 \text{ m}^4 \quad \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo baricêntrico}$$

$$W_{ef} = \frac{I_G}{Y_{G \text{ final}}} = \frac{0,00}{0,07} = 0,00 \text{ m}^3 \quad \text{Módulo elástico efetivo}$$

$$M_{Rdx}^{FL} = \frac{W_{ef} \cdot f_y}{1,10} = \frac{0,00 \cdot f_y}{1,10} = 882,06 \text{ kgf.m} \quad \text{Resistência de cálculo à flexão para o início do escoamento}$$

#### 3.2. Cálculo do momento resistente devido ao estado limite Flambagem Lateral com Torção

$$M_e = C_b \cdot r_o \cdot \sqrt{N_{ey} \cdot N_{et}} = 770,04 \text{ kgf.m} \quad \text{Momento fletor de flambagem lateral com torção}$$

$$W_c = 0,00 \text{ m}^3 \quad \text{Módulo de resistência elástico da seção bruta em relação à fibra comprimida}$$

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{W_c \cdot f_y}{M_e}} = \frac{0,6 < \lambda_0 < 1,336}{1,12} \quad \text{então } \chi_{FLT} = 1,11 \cdot (1 - 0,278 \cdot \lambda_0^2)$$

$$\chi_{FLT} = 0,72 \quad \text{Fator de redução associado à flambagem lateral com torção}$$

$$\text{Cálculo de } \sigma_{cef} \text{ na tensão } \sigma = \chi_{FLT} \cdot f_y = 18029464,79 \text{ kgf/m}^2$$

$$A_{ef} = 0,00 \text{ m}^2 \quad \text{Área efetiva da seção}$$

$$I_{xef} = 0,00 \text{ m}^4 \quad \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo X}$$

$$d = 0,00 \text{ m} \quad \text{Rebaixamento total do eixo baricêntrico}$$

$$\begin{aligned}
 Y_{G \text{ final}} &= Y_G + d = 0,07 \text{ m} && \text{Posição final do eixo baricêntrico} \\
 I_G &= I_{yef} - A_{ef} \cdot d^2 = 0,00 \text{ m}^4 && \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo baricêntrico} \\
 W_{cef} &= \frac{I_G}{Y_{G \text{ final}}} = 0,00 \text{ m}^3 && \text{Módulo elástico efetivo} \\
 M_{Rdx}^{FLT} &= \frac{\chi_{FLT} \cdot W_{cef} \cdot f_y}{1,10} = 636,13 \text{ kgf.m} && \text{Resistência de cálculo à flexão para o estado limite FLT} \\
 M_{Rdx} &= 636,13 \text{ kgf.m} && \text{Resistência de cálculo à flexão em relação ao eixo X} \\
 \frac{SOLIC.}{RESIST.} &= \frac{M_{xSd}}{M_{xRd}} = 0,60 < 1,00 && \text{OK!}
 \end{aligned}$$

## 4. Cálculo da Resistência à Flexão - eixo Y

### 4.1. Cálculo do momento resistente devido ao início do escoamento efetivo

$$\begin{aligned}
 A_{ef} &= 0,00 \text{ m}^2 && \text{Área efetiva da seção} \\
 I_{yef} &= 0,00 \text{ m}^4 && \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo Y} \\
 d &= 0,00 \text{ m} && \text{Rebaixamento total do eixo baricêntrico} \\
 X_{G \text{ final}} &= X_G + d = 0,04 \text{ m} && \text{Posição final do eixo baricêntrico} \\
 I_G &= I_{yef} - A_{ef} \cdot d^2 = 0,00 \text{ m}^4 && \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo baricêntrico} \\
 W_{ef} &= \frac{I_G}{X_{G \text{ final}}} = 0,00 \text{ m}^3 && \text{Módulo elástico efetivo} \\
 M_{Rdy} &= \frac{W_{ef} \cdot f_y}{1,10} = 227,36 \text{ kgf.m} && \text{Resistência de cálculo à flexão em relação ao eixo Y}
 \end{aligned}$$

### 4.2. Cálculo do momento resistente devido ao estado limite Flambagem Lateral com Torção

$$\begin{aligned}
 C_s &= -1,00 \\
 C_m &= 1,00 \\
 j &= 0,08 \text{ m} && \text{Parâmetro da seção transversal conforme Anexo E - NBR 14762:2010} \\
 M_e &= \frac{C_s \cdot N_{ex}}{C_m} \cdot \left[ j + C_s \cdot \sqrt{j^2 + r_0^2} \cdot \left( \frac{N_{ex}}{N_{ex}} \right) \right] = 351,08 \text{ kgf.m} && \text{Momento fletor de flambagem lateral com torção} \\
 W_c &= 0,00 \text{ m}^3 && \text{Módulo de resistência elástico da seção bruta em relação à fibra comprimida} \\
 \lambda_o &= \sqrt{\frac{W_c \cdot f_y}{M_e}} = 0,84 && 0,6 < \lambda_o < 1,336 \quad \text{então} \quad \chi_{FLT} = 1,11 \cdot (1 - 0,278 \cdot \lambda_o^2) \\
 \chi_{FLT} &= 0,89 && \text{Fator de redução associado à flambagem lateral com torção} \\
 \text{Cálculo de } W_{cef} \text{ na tensão } \sigma &= \chi_{FLT} \cdot f_y = 22254376,26 \text{ kgf/m}^2 \\
 A_{ef} &= 0,00 \text{ m}^2 && \text{Área efetiva da seção} \\
 I_{yef} &= 0,00 \text{ m}^4 && \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo Y} \\
 d &= 0,00 \text{ m} && \text{Rebaixamento total do eixo baricêntrico} \\
 X_{G \text{ final}} &= X_G + d = 0,04 \text{ m} && \text{Posição final do eixo baricêntrico} \\
 I_G &= I_{yef} - A_{ef} \cdot d^2 = 0,00 \text{ m}^4 && \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo baricêntrico} \\
 W_{ef} &= \frac{I_G}{X_{G \text{ final}}} = 0,00 \text{ m}^3 && \text{Módulo elástico efetivo}
 \end{aligned}$$

$$M_{Rdy}^{FLT} = \frac{\chi_{FLT} \cdot W_{cef} \cdot f_y}{1,10} = 202,39 \text{ kgf.m} \quad \text{Resistência de cálculo à flexão para o estado limite FLT}$$

$$M_{yRd} = 202,39 \text{ kgf.m} \quad \text{Resistência de cálculo à flexão em relação ao eixo X}$$

$$\frac{SOLIC.}{RESIST.} = \frac{M_{ySd}}{M_{yRd}} = 0,00 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

## 5. Cálculo da Resistência ao cortante - eixo X

$$\lambda = \frac{h}{t} = 16,00 \quad \text{Parâmetro de esbeltez}$$

$$k_v = 5,00 \quad \text{Coeficiente de flambagem local por cisalhamento}$$

$$\lambda_p = 1,08 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}} = 68,31 \quad \text{Parâmetro de esbeltez limite para plastificação}$$

$$\lambda_r = 1,40 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}} = 88,54 \quad \text{Parâmetro de esbeltez limite para para início de escoamento} \quad \lambda \leq \lambda_p \text{ então}$$

$$V_{Rd} = \frac{0,6 \cdot h \cdot t \cdot f_y}{1,10}$$

$$V_{Rdx} = 3927,27 \text{ kgf} \quad \text{Resistência ao esforço cortante em relação ao eixo X}$$

$$\frac{SOLIC.}{RESIST.} = \frac{V_{xSd}}{V_{xRd}} = 0,00 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

## 6. Cálculo da Resistência ao cortante - eixo Y

$$\lambda = \frac{h}{t} = 46,00 \quad \text{Parâmetro de esbeltez}$$

$$k_v = 5,00 \quad \text{Coeficiente de flambagem local por cisalhamento}$$

$$\lambda_p = 1,08 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}} = 68,31 \quad \text{Parâmetro de esbeltez limite para plastificação}$$

$$\lambda_r = 1,40 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}} = 88,54 \quad \text{Parâmetro de esbeltez limite para para início de escoamento} \quad \lambda \leq \lambda_p \text{ então}$$

$$V_{Rd} = \frac{0,6 \cdot h \cdot t \cdot f_y}{1,10}$$

$$V_{Rdy} = 5645,45 \text{ kgf} \quad \text{Resistência ao esforço cortante em relação ao eixo X}$$

$$\frac{SOLIC.}{RESIST.} = \frac{V_{ySd}}{V_{yRd}} = 0,06 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

## 7. Equações de Interação

$$\frac{N_{cSd}}{N_{cRd}} + \frac{C_{mx} \cdot M_{xSd}}{M_{xRd} \cdot \left(1 - \frac{N_{cSd}}{N_{ex}}\right)} + \frac{C_{my} \cdot M_{ySd}}{M_{yRd} \cdot \left(1 - \frac{N_{cSd}}{N_{ey}}\right)} = 0,83$$

$$\frac{N_{csd}}{N_{or,d}} + \frac{M_{xsd}}{M_{xR,d}} + \frac{M_{ysd}}{M_{yR,d}} = 0,65$$

$$\frac{M_{xSd}}{M_{xR,d}} + \frac{M_{ySd}}{M_{yR,d}} + \frac{N_{tSd}}{N_{tR,d}} = 0,60$$

$$\frac{M_{xSd}}{M_{xR,d}} + \frac{M_{ySd}}{M_{yR,d}} - \frac{N_{tSd}}{N_{tR,d}} = 0,60$$

mCalc\_Perfis - Stabile Engenharia Lt

<b>Cliente:</b>	Não Definido
<b>Obra:</b>	Não Definido
<b>Responsável:</b>	Não Definido

Conforme NBR 8800:2008 e NBR 14762:2010

### Perfil Cantoneira (Formado a frio)

Perfil: LFF 40 x 2  
 Aço: ASTM A36       $f_y = 250 \text{ MPa}$        $f_u = 400 \text{ MPa}$

### COMPRIMENTOS DA BARRA

$K_x L_x = 1,8 \text{ m}$        $K_t L_t = 1,8 \text{ m}$   
 $K_y L_y = 1,8 \text{ m}$        $L_b = 1,8 \text{ m}$

## 1. Cálculo da Tração

$C_T = 0,70$       Coeficiente de redução da área líquida

$$N_{tRd1} = \frac{A \cdot f_y}{1,10} = 3454,55 \text{ kgf} \quad \text{Resistência de escoamento}$$

$$N_{tRd2} = \frac{C_T \cdot A_n \cdot f_u}{1,65} = 2579,39 \text{ kgf} \quad \text{Resistência à ruptura}$$

$$N_{tRd} = 2579,39 \text{ kgf} \quad \text{Resistência à tração}$$

$$\frac{\text{SOLIC.}}{\text{RESIST.}} = \frac{N_{tSd}}{N_{tRd}} = 0,49 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

## 2. Cálculo da Compressão

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_x}{(K_x \cdot L_x)^2} = 1484,75 \text{ kgf}$$

$$N_{ey} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{(K_y \cdot L_y)^2} = 1484,75 \text{ kgf}$$

$$N_{ez} = \frac{1}{r_o^2} \cdot \left[ \frac{\pi^2 \cdot E \cdot C_w}{(K_z \cdot L_z)^2} + G \cdot J \right] = 3154,94 \text{ kgf}$$

$$H = 1 - \frac{x_o^2}{r_o^2} = 0,62$$

$$N_{exz} = \frac{N_{ex} + N_{ez}}{2 \cdot H} \cdot \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{4 \cdot N_{ex} \cdot N_{ez} \cdot H}{(N_{ex} + N_{ez})^2}} \right] = 1201,12 \text{ kgf}$$

$$N_e = 1201,12 \text{ kgf}$$

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_e}} =$$

$$\lambda_0 > 1,5 \text{ então } \chi = \frac{1,78}{(\lambda_0)^2} = 0,28$$

a) Cálculo da resistência à compressão devido à flambagem global

$$A_{ef}^{FG} = 0,00 \text{ m}^2 \quad \text{Área efetiva devido à flambagem global}$$

$$N_{cRd} = \frac{\chi \cdot A_{ef} \cdot f_y}{1,20} = 877,81 \text{ kgf} \quad \text{Resistência à compressão devido à flambagem global}$$

b) Cálculo da resistência à compressão devido à flambagem local

$$A_{ef}^{FL} = 0,00 \text{ m}^2 \quad \text{Área efetiva devido à flambagem local}$$

$$N_{cRd}^{FL} = \frac{A_{ef}^{FL} \cdot f_y}{1,20} = 2470,89 \text{ kgf} \quad \text{Resistência à compressão devido à flambagem local}$$

$$N_{cRd} = 877,81 \text{ kgf} \quad \text{Força normal resistente de cálculo à compressão}$$

$$\frac{\text{SOLIC.}}{\text{RESIST.}} = \frac{N_{cSd}}{N_{cRd}} = 1,01 > 1,00 \quad \text{ERRO!}$$

### 3. Cálculo da Resistência à Flexão - eixo X

$$A_{ef} = 0,00 \text{ m}^2 \quad \text{Área efetiva da seção}$$

$$I_{xef} = 0,00 \text{ m}^4 \quad \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo X}$$

$$d = 0,00 \text{ m} \quad \text{Rebaixamento total do eixo baricêntrico}$$

$$Y_{G \text{ final}} = Y_G + d = 0,03 \text{ m} \quad \text{Posição final do eixo baricêntrico}$$

$$I_G = I_{xef} - A_{ef} \cdot d^2 = 0,00 \text{ m}^4 \quad \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo baricêntrico}$$

$$W_{ef} = \frac{I_G}{Y_{G \text{ final}}} = 0,00 \text{ m}^3 \quad \text{Módulo elástico efetivo}$$

$$M_{Rdx}^{FL} = \frac{W_{ef} \cdot f_y}{1,10} = 19,41 \text{ kgf.m} \quad \text{Resistência de cálculo à flexão para o início do escoamento}$$

$$\frac{\text{SOLIC.}}{\text{RESIST.}} = \frac{M_{xSd}}{M_{xRd}} = 0,00 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

$$\frac{\text{SOLIC.}}{\text{RESIST.}} = \frac{M_{xSd}}{M_{xRd}} = 0,00 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

### 4. Cálculo da Resistência ao cortante

$$\lambda = \frac{h}{t} = 18,00 \quad \text{Parâmetro de esbeltez}$$

$$k_v = 5,34 \quad \text{Coeficiente de flambagem local por cisalhamento}$$

$$\lambda_p = 1,08 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}} = 70,59 \quad \text{Parâmetro de esbeltez limite para plastificação}$$

$$\lambda_r = 1,40 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}} = 91,50 \quad \text{Parâmetro de esbeltez limite para início de escoamento} \quad \lambda \leq \lambda_p \text{ então}$$

$$V_{Rd} = \frac{0,6 \cdot h \cdot t \cdot f_y}{1,10}$$

$$V_{Rdx} = 981,82 \text{ kgf} \quad \text{Resistência ao esforço cortante em relação ao eixo X}$$

$$V_{Rdy} = 981,82 \text{ kgf} \quad \text{Resistência ao esforço cortante em relação ao eixo Y}$$

$$\frac{\text{SOLIC.}}{\text{RESIST.}} = \frac{V_{xSd}}{V_{xRd}} = 0,00 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

$$\frac{\text{SOLIC.}}{\text{RESIST.}} = \frac{V_{ySd}}{V_{yRd}} = 0,00 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

## 5. Equações de Interação

$$\frac{N_{cSd}}{N_{cRd}} + \frac{C_{mx} \cdot M_{xSd}}{M_{xRd} \cdot \left(1 - \frac{N_{cSd}}{N_{ex}}\right)} + \frac{C_{my} \cdot M_{ySd}}{M_{yRd} \cdot \left(1 - \frac{N_{cSd}}{N_{ey}}\right)} = 1,01$$

$$\frac{N_{cSd}}{N_{oRd}} + \frac{M_{xSd}}{M_{xRd}} + \frac{M_{ySd}}{M_{yRd}} = 0,26$$

$$\frac{M_{xSd}}{M_{xRd}} + \frac{M_{ySd}}{M_{yRd}} + \frac{N_{tSd}}{N_{tRd}} = 0,49$$

$$\frac{M_{xSd}}{M_{xRd}} + \frac{M_{ySd}}{M_{yRd}} - \frac{N_{tSd}}{N_{tRd}} = 0,49$$

mCalc\_Perfis - Stabile Engenharia Ltda. - [www.stabile.com](http://www.stabile.com)

<b>Cliente:</b>	Não Definido
<b>Obra:</b>	Não Definido
<b>Responsável:</b>	Não Definido

Conforme NBR 8800:2008 e NBR 14762:2010

### Perfil Cantoneira (Formado a frio)

Perfil: LFF 25 x 2

Aço: ASTM A36  $f_y = 250 \text{ MPa}$   $f_u = 400 \text{ MPa}$

#### COMPRIMENTOS DA BARRA

$K_x L_x = 6,26 \text{ m}$   $K_t L_t = 6,26 \text{ m}$

$K_y L_y = 6,26 \text{ m}$   $L_b = 6,26 \text{ m}$

## 1. Cálculo da Tração

$C_T = 1,00$  Coeficiente de redução da área líquida

$$N_{tRd1} = \frac{A \cdot f_y}{1,10} = 2090,91 \text{ kgf} \quad \text{Resistência de escoamento}$$

$$N_{tRd2} = \frac{C_T \cdot A_n \cdot f_u}{1,65} = 2230,30 \text{ kgf} \quad \text{Resistência à ruptura}$$

$$N_{tRd} = 2090,91 \text{ kgf} \quad \text{Resistência à tração}$$

$$\frac{\text{SOLIC.}}{\text{RESIST.}} = \frac{N_{tSd}}{N_{tRd}} = 0,57 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

## 2. Cálculo da Compressão

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_x}{(K_x \cdot L_x)^2} = 28,39 \text{ kgf}$$

$$N_{ey} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{(K_y \cdot L_y)^2} = 28,39 \text{ kgf}$$

$$N_{ez} = \frac{1}{r_o^2} \cdot \left[ \frac{\pi^2 \cdot E \cdot C_w}{(K_z \cdot L_z)^2} + G \cdot J \right] = 5116,28 \text{ kgf}$$

$$H = 1 - \frac{x_o^2}{r_o^2} = 0,61$$

$$N_{exz} = \frac{N_{ex} + N_{ez}}{2 \cdot H} \cdot \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{4 \cdot N_{ex} \cdot N_{ez} \cdot H}{(N_{ex} + N_{ez})^2}} \right] = 28,33 \text{ kgf}$$

$$N_e = 28,33 \text{ kgf}$$

$$\lambda_o = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_e}} = 9,01$$

$$\lambda_o > 1,5 \text{ então } \chi = \frac{0,877}{(\lambda_o)^2} = 0,01$$

a) Cálculo da resistência à compressão devido à flambagem global

$$A_{ef}^{FG} = 0,00 \text{ m}^2 \quad \text{Área efetiva devido à flambagem global}$$

$$N_{cRd} = \frac{\chi \cdot A_{ef} \cdot f_y}{1,20} = 20,71 \text{ kgf} \quad \text{Resistência à compressão devido à flambagem global}$$

b) Cálculo da resistência à compressão devido à flambagem local

$$A_{ef}^{FL} = 0,00 \text{ m}^2 \quad \text{Área efetiva devido à flambagem local}$$

$$N_{cRd}^{FL} = \frac{A_{ef}^{FL} \cdot f_y}{1,20} = 1916,67 \text{ kgf} \quad \text{Resistência à compressão devido à flambagem local}$$

$$N_{cRd} = 20,71 \text{ kgf} \quad \text{Força normal resistente de cálculo à compressão}$$

$$\frac{\text{SOLIC.}}{\text{RESIST.}} = \frac{N_{cSd}}{N_{cRd}} = 0,00 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

## 3. Cálculo da Resistência à Flexão - eixo X

$$A_{ef} = 0,00 \text{ m}^2 \quad \text{Área efetiva da seção}$$

$$I_{xef} = 0,00 \text{ m}^4 \quad \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo X}$$

$$d = 0,00 \text{ m} \quad \text{Rebaixamento total do eixo baricêntrico}$$

$$y_{G \text{ final}} = y_G + d = 0,02 \text{ m} \quad \text{Posição final do eixo baricêntrico}$$

$$I_G = I_{xef} - A_{ef} \cdot d^2 = 0,00 \text{ m}^4 \quad \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo baricêntrico}$$

$$W_{ef} = \frac{I_G}{y_{G \text{ final}}} = 0,00 \text{ m}^3 \quad \text{Módulo elástico efetivo}$$

$$M_{Rdx}^{FL} = \frac{W_{ef} \cdot f_y}{1,10} = 7,42 \text{ kgf.m} \quad \text{Resistência de cálculo à flexão para o início do escoamento}$$

$$\frac{\text{SOLIC.}}{\text{RESIST.}} = \frac{M_{xSd}}{M_{xRd}} = 0,00 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

$$\frac{\text{SOLIC.}}{\text{RESIST.}} = \frac{M_{xSd}}{M_{xRd}} = 0,00 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

#### 4. Cálculo da Resistência ao cortante

$$\lambda = \frac{h}{t} = 10,50 \quad \text{Parâmetro de esbeltez}$$

$$k_v = 5,34 \quad \text{Coeficiente de flambagem local por cisalhamento}$$

$$\lambda_p = 1,08 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}} = 70,59 \quad \text{Parâmetro de esbeltez limite para plastificação}$$

$$\lambda_r = 1,40 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}} = 91,50 \quad \text{Parâmetro de esbeltez limite para início de escoamento} \quad \lambda \leq \lambda_p \text{ então}$$

$$V_{Rd} = \frac{0,6 \cdot h \cdot t \cdot f_y}{1,10}$$

$$V_{Rdx} = 572,73 \text{ kgf} \quad \text{Resistência ao esforço cortante em relação ao eixo X}$$

$$V_{Rdy} = 572,73 \text{ kgf} \quad \text{Resistência ao esforço cortante em relação ao eixo Y}$$

$$\frac{\text{SOLIC.}}{\text{RESIST.}} = \frac{V_{xSd}}{V_{xRd}} = 0,00 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

$$\frac{\text{SOLIC.}}{\text{RESIST.}} = \frac{V_{ySd}}{V_{yRd}} = 0,00 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

#### 5. Equações de Interação

$$\frac{N_{cSd}}{N_{cRd}} + \frac{M_{xSd}}{M_{xRd}} + \frac{M_{ySd}}{M_{yRd}} = 0,00$$

$$\frac{M_{xSd}}{M_{xRd}} + \frac{M_{ySd}}{M_{yRd}} + \frac{N_{tSd}}{N_{tRd}} = 0,57$$

$$\frac{M_{xSd}}{M_{xRd}} + \frac{M_{ySd}}{M_{yRd}} - \frac{N_{tSd}}{N_{tRd}} = 0,57$$

mCalc\_Perfis - Stabile Engenharia Ltda. - www.stabile.com.br

<b>Cliente:</b>	Não Definido
<b>Obra:</b>	Não Definido
<b>Responsável:</b>	Não Definido

Conforme NBR 8800:2008 e NBR 14762:2010

#### Perfil Ferro redondo

Perfil: RED 12.7  
Aço: ASTM A36  $f_y = 250 \text{ MPa}$   $f_u = 400 \text{ MPa}$



**COMPRIMENTOS DA BARRA**

$$\begin{aligned} K_x L_x &= 6,26 \text{ m} & K_t L_t &= 6,26 \text{ m} \\ K_y L_y &= 6,26 \text{ m} & L_b &= 6,26 \text{ m} \end{aligned}$$

**1. Cálculo da Tração**

$$\begin{aligned} C_T &= 0,70 && \text{Coeficiente de redução da área líquida} \\ A_n &= 0,00 \text{ m}^2 && \text{Área líquida da seção transversal} \\ A_e &= C_T \cdot A_n = 0,00 \text{ m}^2 && \text{Área líquida efetiva da seção transversal} \end{aligned}$$

$$N_{tRd1} = \frac{A \cdot f_y}{1,10} = 2879,02 \text{ kgf} \quad \text{Resistência de escoamento}$$

$$N_{tRd} = 2879,02 \text{ kgf} \quad \text{Força normal resistente de cálculo à tração}$$

$$\frac{\text{SOLIC.}}{\text{RESIST.}} = \frac{N_{tSd}}{N_{tRd}} = 0,41 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

**2. Cálculo da Compressão**

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_x}{(K_x \cdot L_x)^2} = 6,43 \text{ kgf}$$

$$N_{ey} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{(K_y \cdot L_y)^2} = 6,43 \text{ kgf}$$

$$N_e = 6,43 \text{ kgf}$$

$$Q = 1,00 \quad \text{Fator de redução associado à instabilidade local}$$

$$N_{pl} = A \cdot f_y = 3166,92 \text{ kgf}$$

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{Q \cdot N_{pl}}{N_e}} =$$

$$\lambda_0 > 1,5 \text{ então } \chi = \frac{22,19}{(\lambda_0)^2} = 0,00$$

$$N_{cRd} = \frac{\chi \cdot Q \cdot A \cdot f_y}{1,10} = 5,13 \text{ kgf}$$

$$\frac{\text{SOLIC.}}{\text{RESIST.}} = \frac{N_{cSd}}{N_{cRd}} = 0,00 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

mCalc\_Perfis - Stabile Engenharia Ltda. - www.stabile.com.br

<b>Ciente:</b>	Não Definido
<b>Obra:</b>	Não Definido
<b>Responsável:</b>	Não Definido

Conforme NBR 8800:2008 e NBR 14762:2010

**Perfil Caixa (Formado a frio)**

Perfil: CA 150 x 60 x 20 x 2

Aço: ASTM A36  $f_y = 250 \text{ MPa}$   $f_u = 400 \text{ MPa}$

**COMPRIMENTOS DA BARRA**

$$\begin{aligned} K_x L_x &= 8,48 \text{ m} & K_t L_t &= 8,48 \text{ m} \\ K_y L_y &= 8,48 \text{ m} & L_b &= 8,48 \text{ m} \end{aligned}$$

## 1. Cálculo da Tração

$C_T = 1,00$  Coeficiente de redução da área líquida

$$N_{tRd1} = \frac{A \cdot f_y}{1,10} = 26727,27 \text{ kgf} \quad \text{Resistência de escoamento}$$

$$N_{tRd2} = \frac{C_T \cdot A_n \cdot f_u}{1,65} = 28509,09 \text{ kgf} \quad \text{Resistência à ruptura}$$

$$N_{tRd} = 26727,27 \text{ kgf} \quad \text{Resistência à tração}$$

$$\frac{\text{SOLIC.}}{\text{RESIST.}} = \frac{N_{tSd}}{N_{tRd}} = 0,05 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

## 2. Cálculo da Compressão

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_x}{(K_x \cdot L_x)^2} = 11211,81 \text{ kgf}$$

$$N_{ey} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{(K_y \cdot L_y)^2} = 7009,47 \text{ kgf}$$

$$N_{ez} = \frac{1}{r_o^2} \cdot \left[ \frac{\pi^2 \cdot E \cdot C_w}{(K_z \cdot L_z)^2} + G \cdot J \right] = 9586384,65 \text{ kgf}$$

$$H = 1 - \frac{x_o^2}{r_o^2} = 1,00$$

$$N_{exz} = \frac{N_{ex} + N_{ez}}{2 \cdot H} \cdot \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{4 \cdot N_{ex} \cdot N_{ez} \cdot H}{(N_{ex} + N_{ez})^2}} \right] = 11211,81 \text{ kgf}$$

$$N_e = 7009,47 \text{ kgf}$$

$$\lambda_o = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_e}} = 2,05$$

$$\lambda_o > 1,5 \text{ então } \chi = \frac{0,877}{(\lambda_o)^2} = 0,21$$

Elemento A.A. com  $b/t > 60$ .

a) Cálculo da resistência à compressão devido à flambagem global

$$A_{ef}^{FG} = 0,00 \text{ m}^2 \quad \text{Área efetiva devido à flambagem global}$$

$$N_{cRd} = \frac{\chi \cdot A_{ef} \cdot f_y}{1,20} = 5122,76 \text{ kgf} \quad \text{Resistência à compressão devido à flambagem global}$$

Elemento A.A. com  $b/t > 60$ .

b) Cálculo da resistência à compressão devido à flambagem local

$$A_{ef}^{FL} = 0,00 \text{ m}^2 \quad \text{Área efetiva devido à flambagem local}$$

$$N_{cRd}^{FL} = \frac{A_{ef}^{FL} \cdot f_y}{1,20} = 20131,90 \text{ kgf} \quad \text{Resistência à compressão devido à flambagem local}$$

$$N_{cRd} = 5122,76 \text{ kgf} \quad \text{Força normal resistente de cálculo à compressão}$$

$$\frac{\text{SOLIC.}}{\text{RESIST.}} = \frac{N_{cSd}}{N_{cRd}} = 0,35 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

### 3. Cálculo da Resistência à Flexão - eixo X

#### 3.1. Cálculo do momento resistente devido ao início do escoamento efetivo

$$\begin{aligned} A_{ef} &= 0,00 \text{ m}^2 && \text{Área efetiva da seção} \\ I_{xef} &= 0,00 \text{ m}^4 && \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo X} \\ d &= 0,00 \text{ m} && \text{Rebaixamento total do eixo baricêntrico} \\ Y_{G \text{ final}} &= Y_G + d = 0,07 \text{ m} && \text{Posição final do eixo baricêntrico} \\ I_G &= I_{xef} - A_{ef} \cdot d^2 = 0,00 \text{ m}^4 && \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo baricêntrico} \\ W_{ef} &= \frac{I_G}{Y_{G \text{ final}}} = 0,00 \text{ m}^3 && \text{Módulo elástico efetivo} \\ M_{Rdx}^{FL} &= \frac{W_{ef} \cdot f_y}{1,10} = 1237,72 \text{ kgf.m} && \text{Resistência de cálculo à flexão para o início do escoamento} \end{aligned}$$

#### 3.2. Cálculo do momento resistente devido ao estado limite Flambagem Lateral com Torção

$$\begin{aligned} M_e &= C_b \cdot \sqrt{N_{ey} \cdot G \cdot I_t} = 19475,43 \text{ kgf.m} && \text{Momento fletor de flambagem lateral com torção} \\ W_c &= 0,00 \text{ m}^3 && \text{Módulo de resistência elástico da seção bruta em relação à fibra comprimida} \\ \lambda_o &= \sqrt{\frac{W_c \cdot f_y}{M_e}} = 0,26 && \lambda_o \leq 0,6 \quad \text{então} \quad \chi_{FLT} = 1,0 \end{aligned}$$

$$\chi_{FLT} = 1,00 \quad \text{Fator de redução associado à flambagem lateral com torção}$$

$$\text{Cálculo de } \frac{W_{cef}}{\text{na tensão}} \quad \sigma = \chi_{FLT} \cdot f_y = 2500,00 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\begin{aligned} A_{ef} &= 0,00 \text{ m}^2 && \text{Área efetiva da seção} \\ I_{xef} &= 0,00 \text{ m}^4 && \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo X} \\ d &= 0,00 \text{ m} && \text{Rebaixamento total do eixo baricêntrico} \\ Y_{G \text{ final}} &= Y_G + d = 0,07 \text{ m} && \text{Posição final do eixo baricêntrico} \\ I_G &= I_{xef} - A_{ef} \cdot d^2 = 0,00 \text{ m}^4 && \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo baricêntrico} \\ W_{cef} &= \frac{I_G}{Y_{G \text{ final}}} = 0,00 \text{ m}^3 && \text{Módulo elástico efetivo} \\ M_{Rdx}^{FLT} &= \frac{\chi_{FLT} \cdot W_{cef} \cdot f_y}{1,10} = 1237,72 \text{ kgf.m} && \text{Resistência de cálculo à flexão para o estado limite FLT} \end{aligned}$$

$$M_{Rdx} = 1237,72 \text{ kgf.m} \quad \text{Resistência de cálculo à flexão em relação ao eixo X}$$

$$\frac{\text{SOLIC.}}{\text{RESIST.}} = \frac{M_{xSd}}{M_{xRd}} = 0,03 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

### 4. Cálculo da Resistência à Flexão - eixo Y

$$\begin{aligned} A_{ef} &= 0,00 \text{ m}^2 && \text{Área efetiva da seção} \\ I_{yef} &= 0,00 \text{ m}^4 && \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo Y} \\ d &= 0,00 \text{ m} && \text{Rebaixamento total do eixo baricêntrico} \\ X_{G \text{ final}} &= X_G + d = 0,02 \text{ m} && \text{Posição final do eixo baricêntrico} \end{aligned}$$

$$I_G = I_{yef} - A_{ef} \cdot d^2 = 0,00 \text{ m}^4 \quad \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo baricêntrico}$$

$$W_{ef} = \frac{I_G}{x_{G \text{ final}}} = 0,00 \text{ m}^3 \quad \text{Módulo elástico efetivo}$$

$$M_{Rdy} = \frac{W_{ef} \cdot f_y}{1,10} = 612,41 \text{ kgf.m} \quad \text{Resistência de cálculo à flexão em relação ao eixo Y}$$

$$\frac{\text{SOLIC.}}{\text{RESIST.}} = \frac{M_{ySd}}{M_{yRd}} = 0,03 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

## 5. Cálculo da Resistência ao cortante - eixo X

$$\lambda = \frac{h}{t} = 26,00 \quad \text{Parâmetro de esbeltez}$$

$$k_v = 5,00 \quad \text{Coeficiente de flambagem local por cisalhamento}$$

$$\lambda_p = 1,08 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}} = 68,31 \quad \text{Parâmetro de esbeltez limite para plastificação}$$

$$\lambda_r = 1,40 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}} = 88,54 \quad \text{Parâmetro de esbeltez limite para para início de escoamento} \quad \lambda \leq \lambda_p \text{ então}$$

$$V_{Rd} = \frac{0,6 \cdot h \cdot t \cdot f_y}{1,10}$$

$$V_{Rdx} = 5672,73 \text{ kgf} \quad \text{Resistência ao esforço cortante em relação ao eixo X}$$

$$\frac{\text{SOLIC.}}{\text{RESIST.}} = \frac{V_{xSd}}{V_{xRd}} = 0,00 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

## 6. Cálculo da Resistência ao cortante - eixo Y

$$\lambda = \frac{h}{t} = 71,00 \quad \text{Parâmetro de esbeltez}$$

$$k_v = 5,00 \quad \text{Coeficiente de flambagem local por cisalhamento}$$

$$\lambda_p = 1,08 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}} = 68,31 \quad \text{Parâmetro de esbeltez limite para plastificação}$$

$$\lambda_r = 1,40 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}} = 88,54 \quad \text{Parâmetro de esbeltez limite para para início de escoamento} \quad \lambda_p < \lambda \leq \lambda_r \text{ então}$$

$$V_{Rd} = \frac{0,65 \cdot t^2 \cdot \sqrt{k_v \cdot f_y \cdot E}}{1,10}$$

$$V_{Rdy} = 7474,47 \text{ kgf} \quad \text{Resistência ao esforço cortante em relação ao eixo X}$$

$$\frac{\text{SOLIC.}}{\text{RESIST.}} = \frac{V_{ySd}}{V_{yRd}} = 0,00 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

## 7. Equações de Interação

$$\frac{N_{cSd}}{N_{cRd}} + \frac{C_{mx} \cdot M_{xSd}}{M_{xRd} \cdot \left(1 - \frac{N_{cSd}}{N_{ex}}\right)} + \frac{C_{my} \cdot M_{ySd}}{M_{yRd} \cdot \left(1 - \frac{N_{cSd}}{N_{ey}}\right)} = 0,43$$

$$\frac{N_{cSd}}{N_{oRd}} + \frac{M_{xSd}}{M_{xRd}} + \frac{M_{ySd}}{M_{yRd}} = 0,10$$

$$\frac{M_{xSd}}{M_{xRd}} + \frac{M_{ySd}}{M_{yRd}} + \frac{N_{tSd}}{N_{tRd}} = 0,12$$

$$\frac{M_{xSd}}{M_{xRd}} + \frac{M_{ySd}}{M_{yRd}} - \frac{N_{tSd}}{N_{tRd}} = 0,01$$

mCalc\_Perfis - Stabile Engenharia Ltda. - www.stabile.com.br

<b>Cliente:</b>	Não Definido
<b>Obra:</b>	Não Definido
<b>Responsável:</b>	Não Definido

Conforme NBR 8800:2008 e NBR 14762:2010

### Perfil Ferro redondo

Perfil: RED 12.7

Aço: ASTM A36       $f_y = 250 \text{ MPa}$        $f_u = 400 \text{ MPa}$

### COMPRIMENTOS DA BARRA

$K_x L_x = 1,8 \text{ m}$        $K_t L_t = 1,8 \text{ m}$

$K_y L_y = 1,8 \text{ m}$        $L_b = 1,8 \text{ m}$

## 1. Cálculo da Tração

$C_T = 0,70$       Coeficiente de redução da área líquida

$A_n = 0,00 \text{ m}^2$       Área líquida da seção transversal

$A_e = C_T \cdot A_n = 0,00 \text{ m}^2$       Área líquida efetiva da seção transversal

$$N_{tRd1} = \frac{A \cdot f_y}{1,10} = 2879,02 \text{ kgf} \quad \text{Resistência de escoamento}$$

$N_{tRd} = 2879,02 \text{ kgf}$       Força normal resistente de cálculo à tração

$$\frac{\text{SOLIC.}}{\text{RESIST.}} = \frac{N_{tSd}}{N_{tRd}} = 0,44 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

## 2. Cálculo da Compressão

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_x}{(K_x \cdot L_x)^2} = 77,80 \text{ kgf}$$

$$N_{ey} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{(K_y \cdot L_y)^2} = 77,80 \text{ kgf}$$

$N_e = 77,80 \text{ kgf}$

$Q = 1,00$       Fator de redução associado à instabilidade local

$$N_{pl} = A \cdot f_y = 3166,92 \text{ kgf}$$

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{Q \cdot N_{pl}}{N_e}} =$$

$$\lambda_0 > 1,5 \text{ então } \chi = \frac{6,38}{(\lambda_0)^2} = 0,02$$

$$N_{cRd} = \frac{\chi \cdot Q \cdot A \cdot f_y}{1,10} = 62,03 \text{ kgf}$$

$$\frac{\text{SOLIC.}}{\text{RESIST.}} = \frac{N_{cSd}}{N_{cRd}} = 0,00 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

mCalc\_Perfis - Stabile Engenharia Ltda. - www.stabile.com.br

<b>Cliente:</b>	Não Definido
<b>Obra:</b>	Não Definido
<b>Responsável:</b>	Não Definido

Conforme NBR 8800:2008 e NBR 14762:2010

### Perfil U (Formado a frio)

Perfil: [ 50 x 30 x 2  
 Aço: ASTM A36     $f_y = 250 \text{ MPa}$      $f_u = 400 \text{ MPa}$

### COMPRIMENTOS DA BARRA

$K_x L_x = 1,14 \text{ m}$      $K_t L_t = 1,14 \text{ m}$   
 $K_y L_y = 1,14 \text{ m}$      $L_b = 1,14 \text{ m}$

## 1. Cálculo da Tração

$C_T = 0,70$     Coeficiente de redução da área líquida

$$N_{tRd1} = \frac{A \cdot f_y}{1,10} = 4636,36 \text{ kgf} \quad \text{Resistência de escoamento}$$

$$N_{tRd2} = \frac{C_T \cdot A_n \cdot f_u}{1,65} = 3461,82 \text{ kgf} \quad \text{Resistência à ruptura}$$

$$N_{tRd} = 3461,82 \text{ kgf} \quad \text{Resistência à tração}$$

$$\frac{\text{SOLIC.}}{\text{RESIST.}} = \frac{N_{tSd}}{N_{tRd}} = 0,27 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

## 2. Cálculo da Compressão

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_x}{(K_x \cdot L_x)^2} = 12268,20 \text{ kgf}$$

$$N_{ey} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{(K_y \cdot L_y)^2} = 2842,21 \text{ kgf}$$

$$N_{ez} = \frac{1}{r_o^2} \cdot \left[ \frac{\pi^2 \cdot E \cdot C_w}{(K_z \cdot L_z)^2} + G \cdot J \right] = 3893,80 \text{ kgf}$$

$$H = 1 - \frac{x_o^2}{r_o^2} = 0,57$$

$$N_{exz} = \frac{N_{ex} + N_{ez}}{2 \cdot H} \cdot \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{4 \cdot N_{ex} \cdot N_{ez} \cdot H}{(N_{ex} + N_{ez})^2}} \right] = 3349,21 \text{ kgf}$$

$$N_e = 2842,21 \text{ kgf}$$

$$\lambda_o = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_e}} = 1,34$$

$$\lambda_o \leq 1,5 \text{ então } \chi = 0,658 (\lambda_o)^2 = 0,47$$

a) Cálculo da resistência à compressão devido à flambagem global

$$A_{ef}^{FG} = 0,00 \text{ m}^2 \quad \text{Área efetiva devido à flambagem global}$$

$$N_{cRd} = \frac{\chi \cdot A_{ef} \cdot f_y}{1,20} = 2005,48 \text{ kgf} \quad \text{Resistência à compressão devido à flambagem global}$$

b) Cálculo da resistência à compressão devido à flambagem local

$$A_{ef}^{FL} = 0,00 \text{ m}^2 \quad \text{Área efetiva devido à flambagem local}$$

$$N_{cRd}^{FL} = \frac{A_{ef}^{FL} \cdot f_y}{1,20} = 4144,32 \text{ kgf} \quad \text{Resistência à compressão devido à flambagem local}$$

$$N_{cRd} = 2005,48 \text{ kgf} \quad \text{Força normal resistente de cálculo à compressão}$$

$$\frac{\text{SOLIC.}}{\text{RESIST.}} = \frac{N_{cSd}}{N_{cRd}} = 0,76 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

### 3. Cálculo da Resistência à Flexão - eixo X

#### 3.1. Cálculo do momento resistente devido ao início do escoamento efetivo

$$A_{ef} = 0,00 \text{ m}^2 \quad \text{Área efetiva da seção}$$

$$I_{xef} = 0,00 \text{ m}^4 \quad \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo X}$$

$$d = 0,00 \text{ m} \quad \text{Rebaixamento total do eixo baricêntrico}$$

$$Y_{G \text{ final}} = Y_G + d = 0,03 \text{ m} \quad \text{Posição final do eixo baricêntrico}$$

$$I_G = I_{xef} - A_{ef} \cdot d^2 = 0,00 \text{ m}^4 \quad \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo baricêntrico}$$

$$W_{ef} = \frac{I_G}{Y_{G \text{ final}}} = 0,00 \text{ m}^3 \quad \text{Módulo elástico efetivo}$$

$$M_{Rdx}^{FL} = \frac{W_{ef} \cdot f_y}{1,10} = 71,22 \text{ kgf.m} \quad \text{Resistência de cálculo à flexão para o início do escoamento}$$

#### 3.2. Cálculo do momento resistente devido ao estado limite Flambagem Lateral com Torção

$$M_e = C_b \cdot r_o \sqrt{N_{ey} \cdot N_{et}} = 96,79 \text{ kgf.m} \quad \text{Momento fletor de flambagem lateral com torção}$$

$$W_c = 0,00 \text{ m}^3 \quad \text{Módulo de resistência elástico da seção bruta em relação à fibra comprimida}$$

$$\lambda_o = \sqrt{\frac{W_c \cdot f_y}{M_e}} = 0,91 \quad 0,6 < \lambda_o < 1,336 \quad \text{então } \chi_{FLT} = 1,11 \cdot (1 - 0,278 \cdot \lambda_o^2)$$

$$\chi_{FLT} = 0,85 \quad \text{Fator de redução associado à flambagem lateral com torção}$$

$$\text{Cálculo de } W_{cef} \text{ na tensão } \sigma = \chi_{FLT} \cdot f_y = 2131,23 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\begin{aligned}
 A_{ef} &= 0,00 \text{ m}^2 && \text{Área efetiva da seção} \\
 I_{xef} &= 0,00 \text{ m}^4 && \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo X} \\
 d &= 0,00 \text{ m} && \text{Rebaixamento total do eixo baricêntrico} \\
 Y_{G \text{ final}} &= Y_G + d = 0,03 \text{ m} && \text{Posição final do eixo baricêntrico} \\
 I_G &= I_{xef} - A_{ef} \cdot d^2 = 0,00 \text{ m}^4 && \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo baricêntrico} \\
 W_{cef} &= \frac{I_G}{Y_{G \text{ final}}} = \frac{0,00 \text{ m}^4}{0,03 \text{ m}} = 0,00 \text{ m}^3 && \text{Módulo elástico efetivo} \\
 M_{Rdx}^{FLT} &= \frac{\chi_{FLT} \cdot W_{cef} \cdot f_y}{1,10} = \frac{1,11 \cdot 0,00 \text{ m}^3 \cdot 2426,75 \text{ kgf/cm}^2}{1,10} = 62,36 \text{ kgf.m} && \text{Resistência de cálculo à flexão para o estado limite FLT} \\
 M_{Rdx} &= 62,36 \text{ kgf.m} && \text{Resistência de cálculo à flexão em relação ao eixo X} \\
 \frac{SOLIC.}{RESIST.} &= \frac{M_{xSd}}{M_{xRd}} = \frac{0,00}{62,36} = 0,00 < 1,00 && \text{OK!}
 \end{aligned}$$

## 4. Cálculo da Resistência à Flexão - eixo Y

### 4.1. Cálculo do momento resistente devido ao início do escoamento efetivo

$$\begin{aligned}
 A_{ef} &= 0,00 \text{ m}^2 && \text{Área efetiva da seção} \\
 I_{yef} &= 0,00 \text{ m}^4 && \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo Y} \\
 d &= 0,00 \text{ m} && \text{Rebaixamento total do eixo baricêntrico} \\
 X_{G \text{ final}} &= X_G + d = 0,02 \text{ m} && \text{Posição final do eixo baricêntrico} \\
 I_G &= I_{yef} - A_{ef} \cdot d^2 = 0,00 \text{ m}^4 && \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo baricêntrico} \\
 W_{ef} &= \frac{I_G}{X_{G \text{ final}}} = \frac{0,00 \text{ m}^4}{0,02 \text{ m}} = 0,00 \text{ m}^3 && \text{Módulo elástico efetivo} \\
 M_{Rdy} &= \frac{W_{ef} \cdot f_y}{1,10} = \frac{0,00 \text{ m}^3 \cdot 2426,75 \text{ kgf/cm}^2}{1,10} = 20,48 \text{ kgf.m} && \text{Resistência de cálculo à flexão em relação ao eixo Y}
 \end{aligned}$$

### 4.2. Cálculo do momento resistente devido ao estado limite Flambagem Lateral com Torção

$$\begin{aligned}
 C_s &= -1,00 \\
 C_m &= 1,00 \\
 j &= 0,03 \text{ m} && \text{Parâmetro da seção transversal conforme Anexo E - NBR 14762:2010} \\
 M_e &= \frac{C_s \cdot N_{ex}}{C_m} \cdot \left[ j + C_s \cdot \sqrt{j^2 + r_0^2 \cdot \left( \frac{N_{ez}}{N_{ex}} \right)} \right] = \frac{-1,00 \cdot N_{ex}}{1,00} \cdot \left[ 0,03 + (-1,00) \cdot \sqrt{0,03^2 + r_0^2 \cdot \left( \frac{N_{ez}}{N_{ex}} \right)} \right] = 49,91 \text{ kgf.m} && \text{Momento fletor de flambagem lateral com torção} \\
 W_c &= 0,00 \text{ m}^3 && \text{Módulo de resistência elástico da seção bruta em relação à fibra comprimida} \\
 \lambda_o &= \sqrt{\frac{W_c \cdot f_y}{M_e}} = \sqrt{\frac{0,00 \text{ m}^3 \cdot 2426,75 \text{ kgf/cm}^2}{49,91 \text{ kgf.m}}} = 0,67 && \text{então } \chi_{FLT} = 1,11 \cdot (1 - 0,278 \cdot \lambda_o^2)
 \end{aligned}$$

$$\chi_{FLT} = 0,97 \quad \text{Fator de redução associado à flambagem lateral com torção}$$

$$\text{Cálculo de } W_{cef} \text{ na tensão } \sigma = \chi_{FLT} \cdot f_y = 0,97 \cdot 2426,75 \text{ kgf/cm}^2 = 2353,95 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\begin{aligned}
 A_{ef} &= 0,00 \text{ m}^2 && \text{Área efetiva da seção} \\
 I_{yef} &= 0,00 \text{ m}^4 && \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo Y} \\
 d &= 0,00 \text{ m} && \text{Rebaixamento total do eixo baricêntrico} \\
 X_{G \text{ final}} &= X_G + d = 0,02 \text{ m} && \text{Posição final do eixo baricêntrico} \\
 I_G &= I_{yef} - A_{ef} \cdot d^2 = 0,00 \text{ m}^4 && \text{Momento de inércia efetivo da seção em relação ao eixo baricêntrico}
 \end{aligned}$$



$$W_{\text{ef}} = \frac{I_G}{x_{G \text{ final}}} = \frac{0,00 \text{ m}^3}{\text{Módulo elástico efetivo}}$$

$$M_{\text{Rdy}}^{\text{FLT}} = \frac{\chi_{\text{FLT}} \cdot W_{\text{cef}} \cdot f_y}{1,10} = 19,88 \text{ kgf.m} \quad \text{Resistência de cálculo à flexão para o estado limite FLT}$$

$$M_{\text{yRd}} = 19,88 \text{ kgf.m} \quad \text{Resistência de cálculo à flexão em relação ao eixo X}$$

$$\frac{\text{SOLIC.}}{\text{RESIST.}} = \frac{M_{\text{ySd}}}{M_{\text{yRd}}} = 0,00 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

## 5. Cálculo da Resistência ao cortante - eixo X

$$\lambda = \frac{h}{t} = 13,00 \quad \text{Parâmetro de esbeltez}$$

$$k_v = 5,00 \quad \text{Coeficiente de flambagem local por cisalhamento}$$

$$\lambda_p = 1,08 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}} = 68,31 \quad \text{Parâmetro de esbeltez limite para plastificação}$$

$$\lambda_r = 1,40 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}} = 88,54 \quad \text{Parâmetro de esbeltez limite para para início de escoamento} \quad \lambda \leq \lambda_p \text{ então}$$

$$V_{\text{Rd}} = \frac{0,6 \cdot h \cdot t \cdot f_y}{1,10}$$

$$V_{\text{Rdx}} = 1418,18 \text{ kgf} \quad \text{Resistência ao esforço cortante em relação ao eixo X}$$

$$\frac{\text{SOLIC.}}{\text{RESIST.}} = \frac{V_{\text{xSd}}}{V_{\text{xRd}}} = 0,00 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

## 6. Cálculo da Resistência ao cortante - eixo Y

$$\lambda = \frac{h}{t} = 21,00 \quad \text{Parâmetro de esbeltez}$$

$$k_v = 5,00 \quad \text{Coeficiente de flambagem local por cisalhamento}$$

$$\lambda_p = 1,08 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}} = 68,31 \quad \text{Parâmetro de esbeltez limite para plastificação}$$

$$\lambda_r = 1,40 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}} = 88,54 \quad \text{Parâmetro de esbeltez limite para para início de escoamento} \quad \lambda \leq \lambda_p \text{ então}$$

$$V_{\text{Rd}} = \frac{0,6 \cdot h \cdot t \cdot f_y}{1,10}$$

$$V_{\text{Rdy}} = 1145,45 \text{ kgf} \quad \text{Resistência ao esforço cortante em relação ao eixo X}$$

$$\frac{\text{SOLIC.}}{\text{RESIST.}} = \frac{V_{\text{ySd}}}{V_{\text{yRd}}} = 0,00 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

## 7. Equações de Interação

$$\frac{N_{cSd}}{N_{cRd}} + \frac{C_{mx} \cdot M_{xSd}}{M_{xRd} \cdot \left(1 - \frac{N_{cSd}}{N_{ex}}\right)} + \frac{C_{my} \cdot M_{ySd}}{M_{yRd} \cdot \left(1 - \frac{N_{cSd}}{N_{ey}}\right)} = 0,76$$

$$\frac{N_{cSd}}{N_{oRd}} + \frac{M_{xSd}}{M_{xRd}} + \frac{M_{ySd}}{M_{yRd}} = 0,33$$

$$\frac{M_{xSd}}{M_{xRd}} + \frac{M_{ySd}}{M_{yRd}} + \frac{N_{tSd}}{N_{tRd}} = 0,27$$

$$\frac{M_{xSd}}{M_{xRd}} + \frac{M_{ySd}}{M_{yRd}} - \frac{N_{tSd}}{N_{tRd}} = 0,27$$

## ANEXO C – Diagramas normal, cortante e momento fletor

- a) Diagrama de esforço normal, diagrama de esforço cortante e diagrama do momento fletor nos pilares.

A cor azul clara representa os esforços negativos, compressão, enquanto a cor azul escuro representa os esforços positivos, tração.

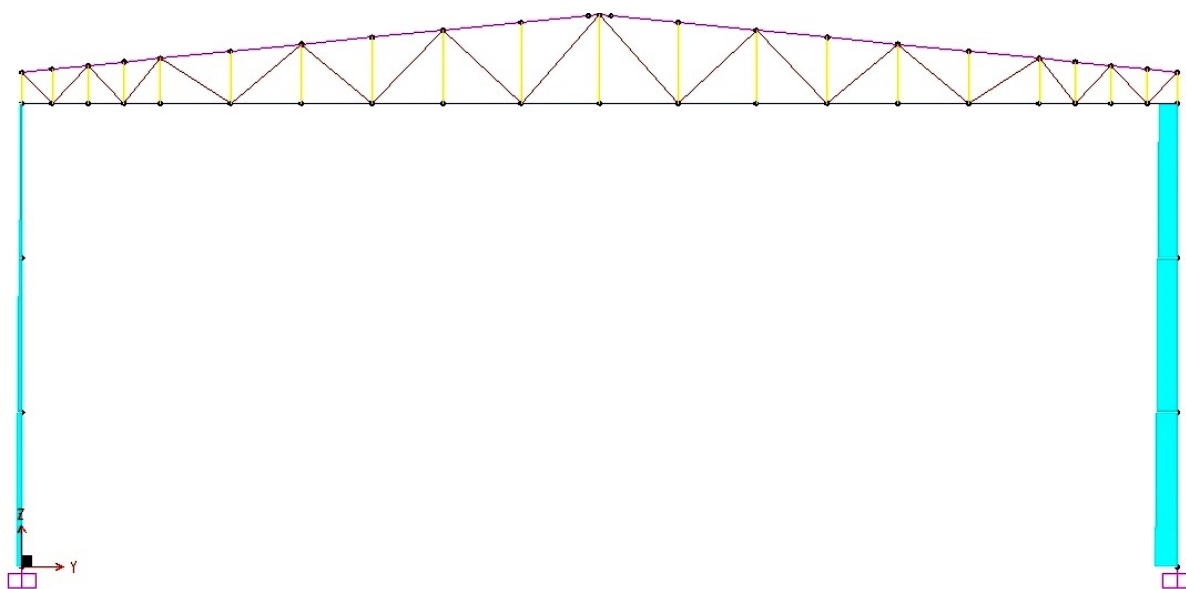


Figura 1 – Diagrama de Esforço Normal

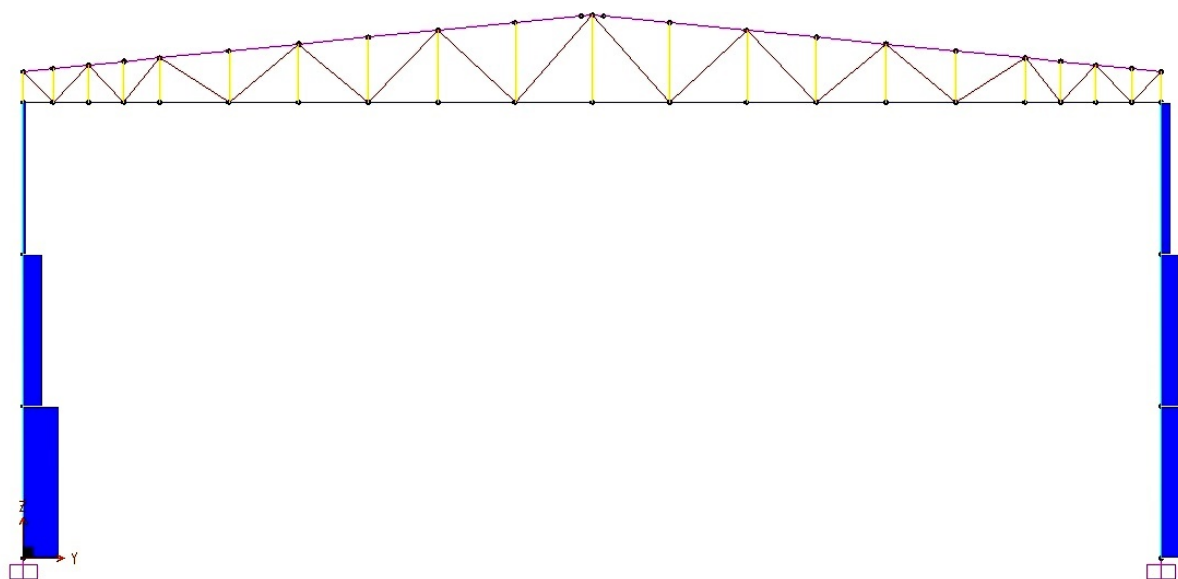


Figura 2 – Diagrama de Esforço Cortante

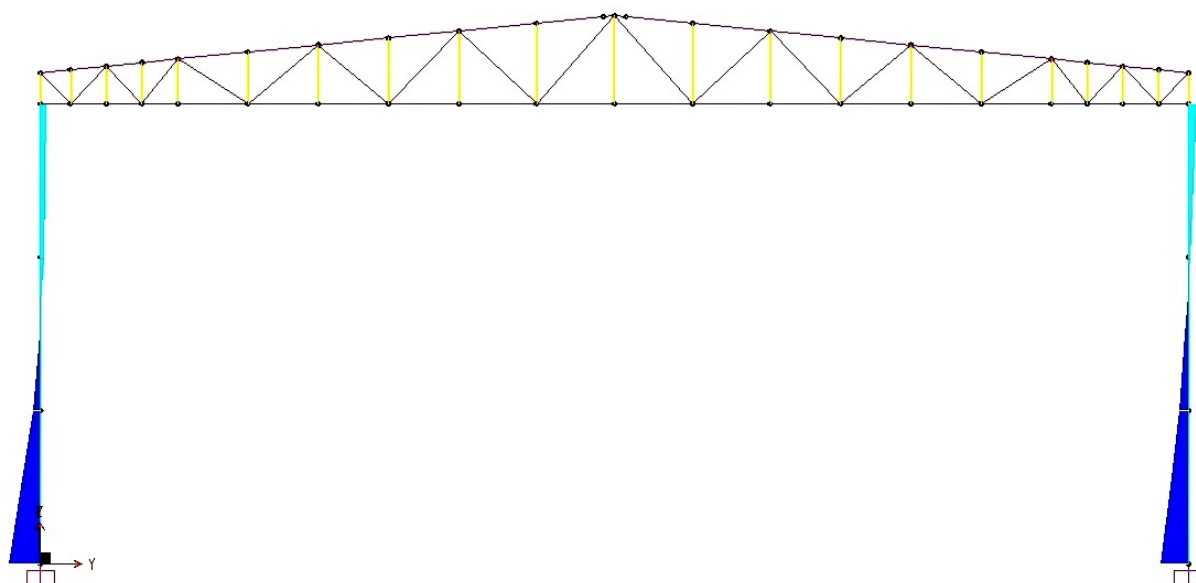


Figura 3 – Diagrama de Momento Fletor

#### b) Diagrama de Esforço Normal nas Treliças

A cor azul clara representa os esforços negativos, compressão, enquanto a cor azul escuro representa os esforços positivos, tração. Na figura 4 podemos observar uma maior solicitação em uma das extremidades, isso se dá pela ação do vento, quando analisamos o efeito do vento na estrutura, que no caso foi a  $90^\circ$ , obtemos os maiores esforços provocado por esta. Caso analisássemos a ação do vento nas duas direções,  $90^\circ$  e  $270^\circ$ , por ser uma estrutura simétrica, ocorreriam anulação das cargas, o que não iria condizer com a realidade.

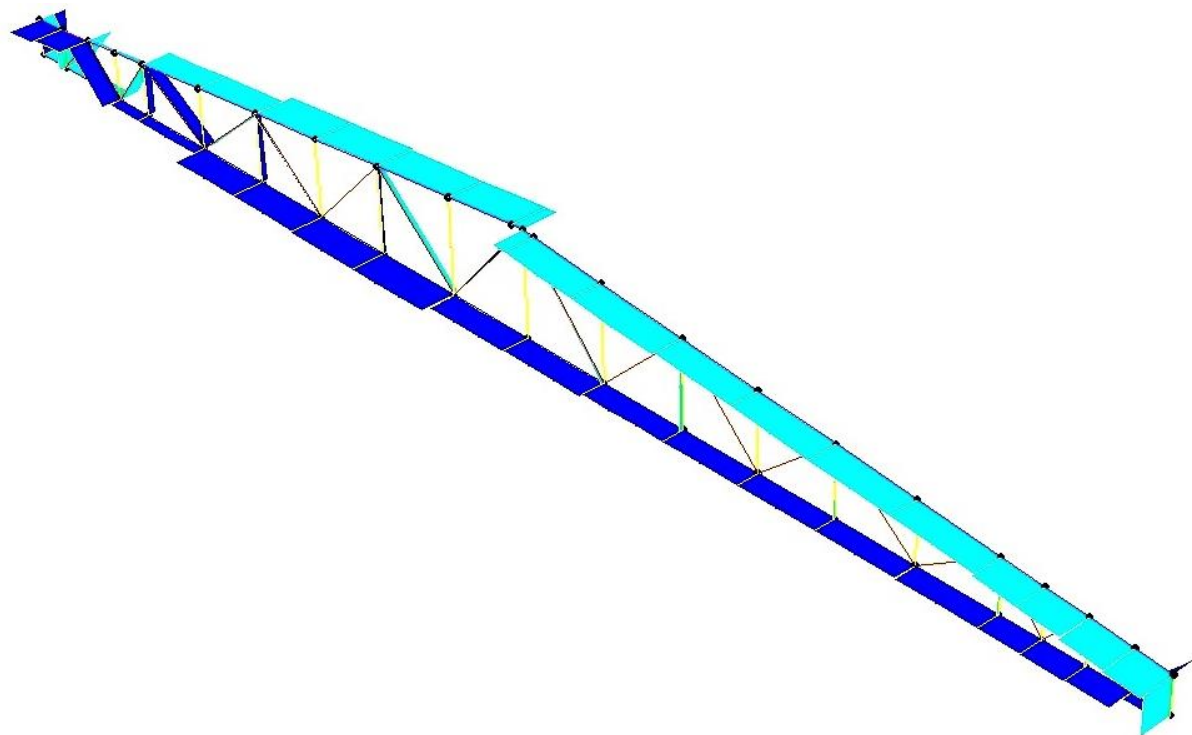


Figura 4 – Diagrama de Esforço Normal