

**UNIEVANGÉLICA**

**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**JANAINA RIBEIRO TÓTOLI**

**LETÍCIA NUNES BATISTA CORRÊA**

**RARYAM VITÓRIA MOURA SOARES**

**CONSTRUÇÕES INDUSTRIAIS – GALPÕES PARA  
INDÚSTRIA ALIMENTÍCIA EM ESTRUTURA METÁLICA**

**ANÁPOLIS / GO**

**2021**

**JANAINA RIBEIRO TÓTOLI  
LETÍCIA NUNES BATISTA CORRÊA  
RARYAM VITÓRIA MOURA SOARES**

**CONSTRUÇÕES INDUSTRIAIS – GALPÕES PARA  
INDÚSTRIA ALIMENTÍCIA EM ESTRUTURA METÁLICA**

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

**ORIENTADOR: ROGÉRIO SANTOS CARDOSO**

**ANÁPOLIS / GO: 2021**

## FICHA CATALOGRÁFICA

TÓTOLI, JANAINA RIBEIRO/ CORRÊA, LETÍCIA NUNES BATISTA/ SOARES, RARYAM VITÓRIA MOURA

Construções Industriais – Galpões para indústria alimentícia em estrutura metálica

116, 297 mm (ENC/UNI, Bacharel, Engenharia Civil, 2021).

TCC - UniEVANGÉLICA

Curso de Engenharia Civil.

- |                          |                          |
|--------------------------|--------------------------|
| 1. Construção Industrial | 2. Indústria Alimentícia |
| 3. ANVISA                | 4. Estrutura Metálica    |
| I. ENC/UNI               | II. Bacharel             |

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

TÓTOLI, Janaina Ribeiro; CORRÊA, Letícia Nunes Batista; SOARES, Raryam Vitória Moura. Construções Industriais – Galpões para indústria alimentícia em estrutura metálica. TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEVANGÉLICA, Anápolis, GO, 116 2021.

## CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Janaina Ribeiro Tótolí; Letícia Nunes Batista Corrêa; Raryam Vitória Moura Soares

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO:

Construções Industriais – Galpões para indústria alimentícia em estrutura metálica

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil ANO: 2021

É concedida à UniEVANGÉLICA a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.



Janaina Ribeiro Tótolí  
E-mail: janainart01@hotmail.com



Letícia Nunes Batista Corrêa  
E-mail: leticianbc99@gmail.com



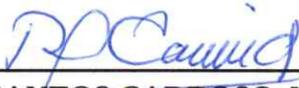
Raryam Vitória Moura Soares  
E-mail: raryam.eng@gmail.com

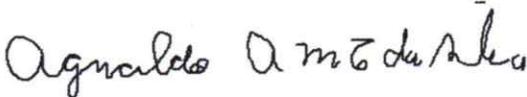
**JANAINA RIBEIRO TÓTOLI  
LETÍCIA NUNES BATISTA CORRÊA  
RARYAM VITÓRIA MOURA SOARES**

**CONSTRUÇÕES INDUSTRIAIS – GALPÕES PARA  
INDÚSTRIA ALIMENTÍCIA EM ESTRUTURA METÁLICA**

**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:**

  
\_\_\_\_\_  
**ROGÉRIO SANTOS CARDOSO, Mestre (UniEVANGÉLICA)  
(ORIENTADOR)**

  
\_\_\_\_\_  
**AGNALDO ANTONIO MOREIRA TEODORO DA SILVA, Mestre  
(UniEVANGÉLICA) (EXAMINADOR INTERNO)**

  
\_\_\_\_\_  
**ANDERSON DUTRA E SILVA, Mestre (UniEVANGÉLICA)  
(EXAMINADOR INTERNO)**

**DATA: ANÁPOLIS/GO, 30 de NOVEMBRO de 2021.**

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus e Nossa Senhora por sempre me amparar nos momentos dos quais precisei de força e esperança. Por me oferecer experiências incríveis, tanto pessoal quanto profissional e me fazer acreditar que ainda há grandes conquistas no futuro.

Agradeço aos meus pais, Reginaldo e Valdilene, por acreditarem e apoiarem meus objetivos por mais inalcançáveis que pareçam. Por terem me oferecido todo o amor e carinho, apesar da distância e sempre fazerem o inatingível ao meu favor.

A minha irmã mais nova Jessica, que desde sempre é meu motivo maior de não falhar. De me oferecer apoio e ao mesmo tempo fazer-me tornar uma pessoa mais forte e sábia, por ser sua inspiração, por mais que eu diga que ela seja uma pessoa única, inigualável, maravilhosa e abençoada por Deus.

Aos meus avós, Maria Gorette, Renilda e Rubens, por serem minha fonte de amor e sabedoria. Por me ligarem por vídeo chamada e me fazer gritar devido seus problemas de audição, enquanto na tela reluz uma testa por eles nunca distanciarem o celular e assim, naquele momento, me tirar os sorrisos mais sinceros.

As minhas colegas de faculdade Leticia e Raryam por me receberem tão bem no âmbito do trabalho de conclusão e me proporcionar o término do mesmo.

No âmbito deste trabalho não posso deixar de agradecer meu orientador, Rogério Cardoso, quem contribuiu para que eu não desistisse do mesmo. O qual mostra explicitamente o amor ao trabalho e o tão abrangente conhecimento que dispõe. Por todos os conhecimentos e orientações repassadas, dos quais sem seria impossível a realização deste.

Minha coorientadora Ana Lúcia, pelas sugestões de correções apresentadas e sua disponibilidade e repasse de informações, aos professores da Universidade de Anápolis, que me acompanharam nesse período.

Enfim, agradeço a todos que de alguma forma participaram e apoiaram a realização deste.

Janaina Ribeiro Tótolli

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por permitir a oportunidade de estudar, ser a força que me impulsiona, com persistência, fé, coragem para permanecer firme perante as dificuldades e inseguranças.

A minha família, por ser meu ponto de apoio, carinho, amor, confiança e incentivo. Obrigada a meus pais, Juliano e Vanessa pois sem eles nada disso seria possível, não permitindo que as dificuldades fossem motivo de desistência e em todos momentos priorizando meu bem estar e felicidade.

Aos meus irmãos Lucas e Victor Hugo, que são meus companheiros que me auxiliaram de formas distintas com conversas e ensinamentos.

Meus avós Coraci, Francisco e Benedita por toda compreensão, carinho e serem exemplos de perseverança e força.

O nosso orientador Rogério Cardoso e Wanessa Mesquita e demais professores que fizeram parte dessa fase de vida, ajudando com seus ensinamentos para chegar na conclusão deste trabalho.

A minha amiga Raryam Vitória, por ser parte de todo meu caminho acadêmico e principalmente na concessão deste trabalho. E a Janaina que tive a oportunidade em conhecer, isso só foi possível por razão do TCC.

Enfim, agradeço a cada pessoa que de forma especial fizeram parte dessa caminhada familiares e amigos. Que de certa forma sempre acreditaram e confiaram no meu potencial, sempre se fazendo presentes a cada estímulo.

Letícia Nunes Batista Corrêa

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar a Deus, pela minha vida, por me dar forças para ultrapassar todos os obstáculos encontrados ao longo do curso. E por todas as conquistas em minha vida até os dias de hoje.

Agradeço à minha família, em especial aos meus pais, Zélia e Hélio, por todo o apoio e incentivo durante todos os anos da minha vida e por não medirem esforços para que esse sonho se realizasse. Agradeço por entenderem as minhas ausências enquanto me dedicava a realização deste trabalho.

Aos meus irmãos Randall e Hillary, por serem meu motivo para continuar nesta caminhada e agradeço por todos os momentos incríveis que foram proporcionados graças a eles.

Ao nosso orientador Rogério Cardoso e professoras Wanessa Mesquita e Ana Lúcia Carrijo, por serem sempre prestativos à nos passar valiosos conhecimentos ao longo destes anos.

Aos meus amigos, em especial à Letícia Nunes, por toda a nossa caminhada e por todo o seu empenho na realização deste trabalho.

Agradeço à Janaina por sua dedicação à este trabalho, possibilitando que o mesmo fosse realizado com excelência.

Agradeço a todos que me apoiaram e confiaram na minha trajetória até os dias de hoje.

Raryam Vitória Moura Soares

## RESUMO

Elaborar um projeto de arquitetura que atenda o objetivo, funcionalidade e ainda enquadra os aspectos estruturais de uma indústria alimentícia, são algumas das principais preocupações dos engenheiros civis que atuam nesta área. Dessa maneira, é essencial o conhecimento dos critérios de regulamentação, aprovação para este tipo de construção. Fora a necessidade básica de conhecimento em projetar galpões em estruturas metálicas. Diante destas questões, o seguinte trabalho busca facilitar para profissionais da construção civil apresentando exigências impostas pela vigilância sanitária nas edificações. Realizando o dimensionamento de galpão industrial em estrutura metálica, analisando o comportamento da estrutura submetida a carregamentos usando software e com verificações através de cálculos sugeridos em norma regulamentadora. Para isso, foi realizado um estudo de caso de um galpão industrial do ramo alimentício em estrutura metálica no estado de Goiás, a concepção do objeto de estudo foi feita a partir de uma proposta ilustrativa dos projetos, arquitetônico e estrutural, da edificação hipotética em questão. O presente estudo mostrou-se eficiente possibilitando a dinâmica do dimensionamento de estruturas metálicas, os resultados obtidos com simulações usando os softwares Ciclone e STRAP, verificações e conhecimento de normas e regulamentações relacionadas.

### **PALAVRAS-CHAVE:**

Estrutura metálica. Galpão industrial. Indústria alimentícia. Dimensionamento. Vigilância sanitária.

## **ABSTRACT**

Elaborating an architectural project that meets the objective, functionality and still fits the structural aspects of a food industry, are some of the main concerns of civil engineers working in this area. In this way, knowledge of the regulatory criteria and approval for this type of construction is essential. Besides the basic need for knowledge in designing steel structure sheds. Given these issues, the following work seeks to facilitate for professionals in civil construction presenting the requirements imposed by health surveillance in buildings. Performing the sizing of industrial shed in steel structure, analyzing the behavior of the structure subjected to loads using software and with verifications through calculations suggested in regulatory standards. For this, a case study of an industrial shed of the food industry in metallic structure was performed in the state of Goiás, the conception of the study object was made from an illustrative proposal of the projects, architectural and structural, of the hypothetical building in question. The present study proved to be efficient, enabling the dynamic dimensioning of steel structures, the results obtained with simulations using the Cyclone and STRAP software, verifications, and knowledge of related standards and regulations.

### **KEYWORDS:**

Metallic structure. Industrial shed. Food industry. Dimensioning. Sanitary surveillance.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Custos previstos e Reais de uma obra.....	25
Figura 2 - Custos previstos e Reais da construção de um galpão.....	25
Figura 3 - Preparação para concretagem da base .....	28
Figura 4 - Concretagem da base dos equipamentos .....	29
Figura 5 - Instalação dos equipamentos .....	29
Figura 6 - Instalação dos equipamentos .....	29
Figura 7 - Etapas do projeto estrutural .....	30
Figura 8 - Comparação entre construção em aço e convencional .....	33
Figura 9 - Etapas de um projeto estrutural .....	37
Figura 10 - Curvas típicas tensão-deformação, obtidas a partir de um teste de tração para aço estrutural.....	40
Figura 11 - Diagrama esquemático de soldagem ao arco submerso.....	41
Figura 12 - Estrutura com coluna simples e tesoura.....	43
Figura 13 - Estrutura com coluna simples e treliça .....	43
Figura 14 - Pórticos para vãos pequenos e médios.....	44
Figura 15 - Galpão geminado com tesouras se apoiando em vigas centrais .....	45
Figura 16 - Resumo dos principais elementos estruturais e suas solicitações.....	46
Figura 17 - Estruturas com diferentes montagens e suas solicitações.....	47
Figura 18 - Elementos tracionados em estrutura .....	49
Figura 19 - Colunas de seção simples e seção múltipla .....	51
Figura 20 - Flambagem local e flambagem lateral em vigas.....	52
Figura 21 - Galpão industrial vista frontal e lateral direita.....	53
Figura 22 – Planta Baixa layout pavimento térreo .....	54
Figura 23 – Planta baixa layout 1º Pavimento.....	55
Figura 24 – Estrutura de um galpão industrial .....	56
Figura 25 - Carga total das paredes de alvenaria.....	58
Figura 26 - Cargas das paredes de drywall.....	58
Figura 27 - Determinando coeficientes de arrasto no software Ciclone.....	59
Figura 28- Inserindo as dimensões do galpão .....	60
Figura 29 - Velocidade básica do vento .....	60
Figura 30 - Definindo Fator $S_1$ .....	61
Figura 31 - Definindo Fator $S_2$ .....	62

Figura 32- Definindo fator $S_3$ .....	62
Figura 33- Resultados dos fatores $S_1$ , $S_2$ e $S_3$ .....	63
Figura 34 – Mapa de contorno dos deslocamentos da estrutura.....	67
Figura 35 – Trecho I e II.....	68
Figura 36 – Momento fletor solicitante de projeto trecho I pilar HP 250x62 .....	74
Figura 37 – Força axial solicitante de projeto trecho I pilar HP 250x62.....	75
Figura 38 - Planta de Eixos dos Pilares .....	76
Figura 39 - Vigas de Cobertura W360x32,9.....	77
Figura 40 – Vigas de Piso.....	78
Figura 41 - Corte Transversal da estrutura metálica.....	79
Figura 42 – Corte longitudinal da estrutura metálica .....	80
Figura 43 – Força cortante solicitante de projeto viga W360x62.....	83
Figura 44 – Momento fletor solicitante de projeto viga W360x62 .....	83
Figura 45 - Força cortante solicitante de projeto viga W410x38,8 .....	86
Figura 46 – Momento fletor solicitante de projeto viga W410x38,8 .....	86
Figura 47 – Capacidades utilizadas dos perfis.....	87

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Comparação entre Estrutura Metálica e Pré – Moldados de Concreto .....	32
Quadro 2 - Sistema de garantia e qualidade mais utilizados na indústria de alimentícia.....	34
Quadro 3 - Edificação, instalações, equipamentos, moveis e utensílios .....	35
Quadro 4 - Fases de construção.....	38
Quadro 5 - Processos de soldagem segundo a NBR 8800 (ABNT, 2008) .....	41
Quadro 6 - Vantagens e desvantagens das ligações com solda.....	41
Quadro 7 - Vantagens e desvantagens das ligações parafusadas.....	42
Quadro 8 - Fórmulas para dimensionamento dos esforços de tração.....	49
Quadro 9 - Formulação da força axial de compressão .....	52
Quadro 10 - Verificação dos resultados para o pilar HP250X62,2 .....	75
Quadro 11 - Verificação dos resultados para a viga W360X32,9 .....	84
Quadro 12 - Verificação dos resultados para a viga W410X38,8 .....	86

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características de obras de pequeno, médio e grande porte.....	23
Tabela 2 - Médias de todas as atividades executadas por porte de obra .....	23
Tabela 3 - Revista construção e mercado – PINI - janeiro, 2019.....	26
Tabela 4 - Espaçamentos entre pórticos de acordo com o vão.....	44
Tabela 5 - Valores dos coeficientes de ponderação das resistências.....	48
Tabela 6 - Cargas por ambiente.....	56
Tabela 7 – Valores dos coeficientes de ponderação das ações.....	65
Tabela 8 - Valores dos fatores de combinação e redução para as ações variáveis .....	65
Tabela 9 - Coeficiente de combinação de cargas .....	66

## LISTA DE ABREVIATURA E SIGLA

ABIA	Associação Brasileira da Indústria de Alimentos
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
Ae	Área líquida efetiva da seção transversal da barra.
Ag	Área bruta da seção transversal da barra.
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
APPCC	Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle
AWS	Structural Welding code da American Welding Society
bf	Largura de perfil metálico.
BPF	Boas Práticas de Fabricação
C <sub>a</sub>	Coefficiente de arrasto.
C <sub>b</sub>	Combinação.
C <sub>t</sub>	Coefficiente de redução.
CUPE	Custo unitário PINI de edificações
C <sub>w</sub>	Constante de empenamento de seção transversal.
d	Altura externa da seção.
E	Modo de elasticidade
ELU	Estado Limite Ultimo
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ETA	Estação de Tratamento de Água
F <sub>a</sub>	Força global na direção do vento.
FCAW	Soldagem com Fluxo no Núcleo
F <sub>d</sub>	Força; valor da ação.
FLA	Flambagem Local da Alma
FLM	Flambagem Local da Mesa Comprimida
FLT	Flambagem Lateral com Torção
F <sub>u</sub>	Resistência à ruptura.
F <sub>y</sub>	Limite de escoamento.
g	Gabarito de furação.
GMAW	Soldagem com Proteção Gasosa
h	Altura da alma.
I	Momento de inércia da seção transversal.
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ISO	International Organization for Standardization
J	Constante de torção da seção transversal.
K	Coefficiente de flambagem de barras comprimidas.
L	Vão; distância; comprimento.
Lb	Distância entre duas seções contidas à flambagem lateral com contorção.
MAPA	Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento
$M_{pl}$	Momento fletor de plastificação da seção transversal.
$M_r$	Momento fletor correspondente ao início do escoamento.
MRd	Momento fletor resistente de cálculo.
NBR	Norma Brasileira
$N_c, R_d$	Força axial de compressão resistente de cálculo.
$N_c, S_d$	Força axial de compressão solicitante de cálculo.
NR	Normas Regulamentadoras
NRd	Força axial resistente de cálculo.
NSd	Força axial solicitante de cálculo.
$N_t, R_d$	Força axial de tração resistente de cálculo.
$N_t, S_d$	Força axial de tração solicitante de cálculo.
PPHO	Procedimentos Padrões de Higiene Operacional
PPHO	Procedimentos Padrões de Higiene Operacional
Q	Fator de redução total associada à flambagem local.
q	Pressão dinâmica do vento.
$Q_a; Q_s$	Fatores de redução que levam em conta a flambagem local.
r	Raio de giração.
RCD	Resolução da Diretoria Colegiada
RIISPOA	Regulamento de Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal
S	Rigidez.
S1	Fator topográfico.
S2	Fator de rugosidade do terreno.
S3	Fator estatístico.
SAW	Soldagem a Arco Submerso
SIE	Serviço de Inspeção Estadual
SIF	Serviço de Inspeção Federal
SIM	Serviço de Inspeção Municipal
SMAW	Soldagem com Eletrodo Revestido.

STRAP	Structural Analysis Program.
$t$	Espessura.
$V_0$	Velocidade básica do vento.
$V_k$	Velocidade característica do vento.
VRd	Força cortante resistente de cálculo.
$W$	Módulo de resistência elástico da seção.
$Z$	Módulo de resistência plástico.

### LISTA DE SÍMBOLOS

$\sigma$	Tensão.
$\rho$	Massa específica do aço.
$\Psi$	Fator de combinação.
$\gamma$	Coefficiente de ponderação das resistências.
$\chi$	Fator de redução associado à resistência a compressão.
$\lambda$	Parâmetro de esbeltez.
$\lambda_p$	Parâmetro de esbeltez correspondente a à plastificação.
$\lambda_r$	Parâmetro de esbeltez correspondente ao início do escoamento.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>17</b>
1.1	JUSTIFICATIVA.....	18
1.2	OBJETIVOS .....	19
<b>1.2.1</b>	<b>Objetivo Geral .....</b>	<b>19</b>
<b>1.2.2</b>	<b>Objetivos Específicos.....</b>	<b>19</b>
1.3	METODOLOGIA .....	20
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	20
<b>2</b>	<b>CONSTRUÇÕES INDUSTRIAIS.....</b>	<b>21</b>
2.1	IMPLANTAÇÃO INDUSTRIAL.....	22
<b>2.1.1</b>	<b>Diferença entre obras residenciais e industriais.....</b>	<b>25</b>
2.2	RESPONSABILIDADE TÉCNICA .....	28
<b>2.2.1</b>	<b>Viabilidade do local de implantação da indústria .....</b>	<b>30</b>
<b>2.2.2</b>	<b>Escolha da estrutura .....</b>	<b>32</b>
2.3	INDÚSTRIAS ALIMENTÍCIAS.....	33
<b>2.3.1</b>	<b>Qualidade na indústria de alimentos.....</b>	<b>33</b>
2.4	CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS.....	35
<b>3</b>	<b>PROJETOS ESTRUTURAIS.....</b>	<b>37</b>
3.1	AÇOS ESTRUTURAIS .....	39
<b>3.1.1</b>	<b>Ligações com solda .....</b>	<b>40</b>
<b>3.1.2</b>	<b>Ligações parafusadas .....</b>	<b>42</b>
<b>3.1.3</b>	<b>Cargas e combinações de carga.....</b>	<b>42</b>
3.2	GALPÕES INDUSTRIAIS.....	43
<b>3.2.1</b>	<b>Requisitos estruturais.....</b>	<b>45</b>
<b>4</b>	<b>DIMENSIONAMENTO ESTRUTURA METÁLICA .....</b>	<b>48</b>
4.1	TRAÇÃO .....	48
4.2	COMPRESSÃO .....	51
4.3	FLEXÃO .....	52
4.4	CARGAS.....	53
4.5	VENTOS.....	59
4.6	COMBINAÇÕES.....	64
4.7	DESLOCAMENTOS.....	66
4.8	DIMENSIONAMENTO ELU PILARES E VIGAS.....	68

<b>4.8.1</b>	<b>Pilares .....</b>	<b>68</b>
4.8.1.1	Verificação da esbeltez global: .....	69
4.8.1.2	Compressão: .....	69
4.8.1.3	Verificação quanto à flambagem local .....	69
4.8.1.4	Fator de redução $\chi$ .....	70
4.8.1.5	Cálculo da força resistente.....	70
4.8.1.6	Flexão .....	70
4.8.1.7	Forças Combinadas (Flexo Compressão): .....	73
<b>4.8.2</b>	<b>Vigas de cobertura.....</b>	<b>81</b>
4.8.2.1	Verificação da resistência do cisalhamento.....	81
4.8.2.2	Verificação quanto à flambagem local .....	82
4.8.2.3	FLT .....	83
<b>4.8.3</b>	<b>Vigas de piso.....</b>	<b>84</b>
4.8.3.1	Verificação da resistência do cisalhamento.....	84
4.8.3.2	Verificação quanto à flambagem local .....	85
4.8.3.3	FLT .....	85
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>88</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>90</b>
	<b>APÊNDICE A .....</b>	<b>94</b>
	<b>ANEXO A.....</b>	<b>100</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A industrialização no Brasil teve início no século XX, enquanto na Europa iniciou-se no século XVIII, até 1929 a economia no Brasil era voltada a agroexportadora, a qual baseia na produção e exportação do café e de produtos têxteis. Mas, no ano 1929 ocorreu a maior crise financeira nos Estados Unidos, conseqüentemente afetou a economia no Brasil chegando a diminuir 80% do café exportado, os grandes cafeicultores passaram a substituir o café por outros produtos nas importações de forma a recuperar a economia do país (DIAS, 2019).

Assim, com as atividades de produções internas com iniciativa privada, o Brasil não necessitou de importar produtos caros de outros países. No governo Vargas (1930-45), a industrialização no país ganhou força por estabelecer estatais da Companhia Siderúrgica Nacional, Companhia Vale do Rio Doce e no seu segundo governo Vargas (1951-4) a criação da Petrobras (DIAS, 2019).

Em 1950, Juscelino Kubitschek trouxe indústrias automobilísticas, mineradoras, metalúrgicas, ou seja, o Brasil passou a ter mão-de-obra, rodovias, matérias-primas e um grande investimento em energia elétrica. E ao mesmo tempo a construção de Brasília. O Plano de Metas do governo Juscelino Kubitschek (1956-61) foi outro marco desse caminho sem volta. Nossa indústria tanto cresce e se diversifica que alguns setores, como o de alimentos, começaram a estabelecer suas próprias instituições. É o que determina o nascimento da ABIA (Associação Brasileira da Indústria de Alimentos).

Foram séculos de desfalque industrial, até que as fabricações de alimentos iniciaram, no campo havia um processamento de alimentos que começou com a extração do óleo do algodão e logo após com a moagem de cereais, produtos lácteos e pelas bebidas. Em 1963, foi criada a ABIA.

Iniciaram um desenvolvimento no setor alimentício com massas, doces, óleos e produtos de origem animal. Porém, havia uma luta para modernizar a legislação brasileira de alimentos. As leis e legislações eram precárias e assim também a forma como era produzido aquele alimento. As indústrias sofriam e a população também. A ABIA tinha como proposta tornar a legislação mais clara e unificada. Os produtos alimentícios e afins de origem vegetal eram controlados pelo Ministério da Saúde, que já possuía uma estrutura muito parecida com a que tem hoje, desde 1960, mantinha o Regulamento de Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal - RIISPOA (RIBEIRO *et al.*, 2013).

Preocupada com fato de que vinha se tornando economicamente inviável e materialmente impossível produzir alimentos que atendessem aos diferentes padrões dos

estados e municípios, ABIA elaborou um conjunto de conceitos básicos que deveriam estar presentes em qualquer norma legal que visasse à padronização, formulação, autorização, rotulagem, registro, transporte, armazenagem, fiscalização ou inspeção de alimentos. O objetivo era fornecer elementos para que se harmonizassem as legislações federais, estaduais e municipais (RIBEIRO *et al.*,2013).

Como a ABIA tornou as legislações vigentes e unificadas, as indústrias para manipular o alimento tiveram que se adequar e conhecer as normas rígidas de higiene que também necessitavam de adequações ao seu local de fabricação (KUENZER, 1992, p. 110). No setor de alimentos, a Anvisa coordena, supervisiona e controla as atividades de registro, inspeção, fiscalização e controle de riscos, sendo responsável por estabelecer normas e padrões de qualidade e identidade a serem observados (BRASIL, 2021, p.02).

O objetivo é garantir a segurança e a qualidade de alimentos, incluindo bebidas, águas envasadas, ingredientes, matérias-primas, aditivos alimentares e coadjuvantes de tecnologia, materiais em contato com alimentos, contaminantes, resíduos de medicamentos veterinários, rotulagem e inovações tecnológicas em produtos da área de alimentos (BRASIL, 2021, p.02).

## 1.1 JUSTIFICATIVA

Levando em consideração as diversas normas e legislações que são enfatizadas inicialmente pela ABIA, ANVISA e logo após pelo MAPA, EMBRAPA e os estatutos vigentes nos municípios e Estados, os pequenos e grandes empresários tiveram que adaptar a forma e o local onde era produzido e estocado o produto, para que o mesmo pudesse ir para os mercados.

Isso não aconteceu de forma diferente no campo. Visto que, a cadeia produtiva do leite é um importante segmento da indústria alimentícia e envolve um conjunto de agentes de vários segmentos técnicos e logísticos, sendo responsável por cerca de 12% do total do valor produzido no ramo industrial de alimentos (IBGE, 2005). E a produção do leite depende de condições climáticas, produtividade do gado e todo o seu processamento desde o curral depende do controle de qualidade de um armazenamento e manipulação adequados (ALVES, 2006).

Desde os pequenos até os grandes agropecuários, precisaram se adequar com todas as normas regras da vigilância sanitária e os princípios dos cuidados começam pelo local em que será instalada a nova fábrica. De acordo com a (RCD- N°2016, ANVISA), para que a indústria seja aprovada e receba a licença de venda dos seus produtos, são cobradas diversas documentações desde as receitas dos alimentos até um manual técnico do local que será produzido.

Este manual, conhecido como manual de Boas Práticas de Fabricação (BPF) deve ser feito por um profissional capacitado e registrado nos órgãos vigentes. Para a parte de infraestrutura, o engenheiro que se responsabilizará pela indústria deve com toda certeza conhecer normas da construção industrial como do tipo do alimento que será produzido. É preciso ter atenção com os materiais usados na construção da indústria, pois eles não podem conter substâncias tóxicas. Os galpões de abrigo dos equipamentos industriais devem obedecer ao fabricante. Os depósitos de estocagem de matérias primas e produtos devem ser construídos de modo estratégico para impedir que insetos, roedores e pragas se alojem no interior da construção (ANVISA, 2004).

Assim, é fundamental que o profissional de engenharia, além do conhecimento técnico em sua respectiva área, também estude e entenda o processo de produção do alimento, pois diferente de uma construção residencial, em que o engenheiro atende exclusivamente as necessidades do cliente, em uma obra industrial os equipamentos e o alimento que determinarão as características do local. O engenheiro deve se atualizar de todas as regulamentações construtivas da vigilância sanitária. O local em que este alimento será produzido possui uma grande importância, visto que, deverá ser construído de forma estratégica evitando o acúmulo de resíduos da produção. É responsabilidade do engenheiro civil garantir que a construção atenderá a todos os requisitos exigidos.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo Geral

A pesquisa tem como objetivo apresentar o processo de elaboração do projeto e regulamentação atribuídos ao engenheiro civil em obras industriais voltada a alimentos.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- Apresentar os critérios de regulamentação para uma obra industrial no ramo alimentício.
- Elaborar um projeto industrial.
- Descrever os passos para implantação do projeto industrial.
- Apresentar o dimensionamento dos principais elementos vigas/pilares da estrutura metálica.

### 1.3 METODOLOGIA

A metodologia utilizada foi estabelecida como forma exploratória e descritiva, tendo como propósito possibilitar que o tema fosse difundido e compreendido. Além de apresentar a regulamentação necessária e a descrição do projeto.

Apresentando a ampliação do estudo quanto a Resolução da diretoria colegiada RDC nº216 de 15 de setembro de 2004 (ANVISA, 2004) que trata das boas práticas das edificações e instalações de uma indústria alimentícia. Embasamento teórico fundamentado na NBR 8800 (ABNT, 2008) referente ao dimensionamento de estrutura metálica, contendo toda a preparação de uma estrutura no Strap. Expondo verificação das principais peças, pilares e vigas, em um dimensionamento exemplo passo a passo.

Strap (Structural Analysis Program) software desenvolvido pela empresa ATIR Engineering Software Development Ltda, apresenta resultados gráficos com diagramas de esforços, valores dos esforços no centro dos elementos, mapa de contorno, esforços nas barras, deslocamentos e reações de apoio. Resultados tabelas como os deslocamentos do nós e deformações das barras, esforços das barras, área de aço dos elementos finitos para placas, entre outros.

### 1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O corpo deste trabalho de conclusão de curso prescrito consiste em cinco capítulos. Primeiro capítulo descreve o contexto histórico da indústria no Brasil, ressaltando as principais instalações. Simultaneamente neste capítulo contamos com a justificativa, metodologia e os objetivos.

Segundo capítulo apresenta as obras industriais, aborda as imposições para a construção de um galpão destinado a indústria alimentícia, cumprindo as normativas da ANVISA para obter a aprovação e garantir o funcionamento.

Terceiro capítulo expressa os requisitos básicos e necessários para que seja possível o dimensionamento de uma estrutura metálica.

O quarto capítulo, trata do dimensionamento estrutural de projeto, galpão em estrutura metálica. Sendo que este com as regras e normas da NBR 8800 (ABNT, 2008) e NBR 6120 (ABNT, 2019).

Por fim o quinto e último capítulo relata as considerações finais alcançadas com este estudo.

## 2 CONSTRUÇÕES INDUSTRIAIS

Segundo dados do (IBGE, 2021), a indústria representa 20,4% do PIB do Brasil. Mesmo com uma queda em 2020, ainda existe um grande investimento por parte dos empresários no setor industrial brasileiro, para que se consiga atender as crescentes demandas e exigências do mercado.

Uma nova demanda de produtos é o primeiro passo para então iniciarem-se os estudos preliminares de implantação industrial, que tem como finalidade, levantar os parâmetros do empreendimento industrial que levem às alternativas mais adequadas ao empreendedor (PROENÇA, 1993).

Após os estudos preliminares de viabilidade, os investimentos podem resultar em uma construção, ou seja, novas instalações industriais ou na renovação total ou parcial de máquinas e equipamentos (MAIRE *et al.*, 1988 *apud* PROENÇA, 1993). Vale ressaltar que em grande maioria, os equipamentos necessários para a fabricação do produto final é que determinarão o porte da construção e conseqüentemente todas as etapas do projeto de implantação.

A primeira questão em um estudo para implantação industrial, são os objetivos que precisam ser atingidos com a nova indústria. Os investidores precisam impor soluções que consideram necessárias em sua fábrica. Em grande maioria, variando de acordo com o tamanho da implantação industrial, quando não há um estudo de viabilidade prévio, caberá ao projetista, retirar as informações necessárias para que o projeto supra as expectativas e necessidades da nova indústria.

Conforme Menicuci (2014), levando em consideração quando os projetos são em áreas industriais, há um frequente envolvimento de muitas áreas: Engenharia, Montagem, Mecânica, Automação e entre outros, que muitas vezes trabalham simultaneamente e visando o porte da construção industrial, que pode ser classificada entre médio e grande porte, é fundamental que tenha um excelente controle de qualidade, pois os investimentos ali aplicados são em grande escala e é preciso evitar prejuízos.

O cenário atual é de grande avanço tecnológico, e a cada dia surge a necessidade de tecnologias avançadas em todos os setores e o pioneiro deles é na indústria. Conseqüentemente, o segmento de construções industriais não pode ser diferente, logo, devem-se buscar métodos modernos de construção, com materiais de qualidade e inovações.

## 2.1 IMPLANTAÇÃO INDUSTRIAL

Segundo Molina e Silva (2020) as obras consideradas obras de pequeno porte na construção civil é uma classificação de edificação mais simplificada, estipulada como padrão. Sendo a residência popular em média de 5 meses de duração, como apresenta HAMBURGER *et al.* (1965), assim presentes nos próximos dois parágrafos com demais estimativas de prazo.

Obras de médio porte são apontadas as construções residenciais de médio e alto padrão, edifícios de até quatro pavimentos, galpões industriais entre outros (COSTELLA; JUNGES; PILZ, 2014). Para construções dessa tipologia estima-se a execução com duração de 1 ano.

De acordo com a construção civil as obras de grande porte são as industriais, shoppings, edifícios residenciais e comerciais. Estas são mais minuciosas necessitando um rigoroso planejamento, cuidado com a segurança dos trabalhadores, organização dos canteiros de obras e negociação nos preços dos materiais (ARAUJO ENGENHARIA, 2021). Recebe previsão para execução de 2 anos.

Foi elaborado uma classificação das obras para atender suas características. Assim as obras consideradas de pequeno porte abrangiam construções de no máximo 250m<sup>2</sup>, as de médio porte sendo aquelas de com até 2000m<sup>2</sup>. As de grande porte estipuladas aos tipos de obra que possuem metragem superiores as apresentadas anteriores (COSTELLA; JUNGES; PILZ, 2014).

Na Tabela 1 é possível analisar os dados apresentados, abrindo facilidades a comparativos quanto ao tipo de obra, tempo, metragem quadrada (área) e exemplos.

Independentemente do tamanho e da quantidade de funcionários de uma construção existe obrigatoriedades que todo canteiro de obra precisa cumprir, como as instalações sanitárias, para edifícios com altura igual ou superior a 20m os elevadores de passageiros (MTE, 2020).

De acordo com Costella, Junges e Pilz (2014) foi realizado um estudo em obras de pequeno, médio e grande porte onde foi selecionado tópicos de alto índices de aplicabilidade em canteiros de obra, segundo a NR-18. Assim, foi obtido médias gerais para as divisões das obras, tendo resultado a de pequeno porte 1,97 de comprometimento e do grande porte 6,45.

Perceptível nas grandes obras são cumpridas com mais vigor os requisitos determinados na obra, sendo assim, condições de trabalho aos funcionários. A média final as obras de médio porte ficaram de 4,56, assim obtendo quase metade (50%) de segmento. Na

Tabela 2 encontra se os tópicos que foram analisados para obtenção das médias, e o posicionamento de cada tipo de obra.

**Tabela 1 - Características de obras de pequeno, médio e grande porte**

<b>Obra</b>	<b>Exemplo</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Duração Média</b>
Pequena	Residência popular	Até 250m <sup>2</sup>	5 meses
Média	Residências de médio e alto padrão, edifícios de até quatro pavimentos, galpões industriais entre outros	< 250m <sup>2</sup> até 2000m <sup>2</sup>	1 ano
Grande	Industriais, shoppings, edifícios residenciais e comerciais	> 2000m <sup>2</sup>	2 anos

Fonte: Adaptado de COSTELLA, JUNGES & PILZ (2014); HAMBURGER *et al.* (1965).

**Tabela 2 - Médias de todas as atividades executadas por porte de obra**

(continua)

<b>Descrição do tópico</b>	<b>Pequeno porte</b>		<b>Médio porte</b>		<b>Grande porte</b>	
A – Tapume e galerias	29	0,69	33	3,16	53	6,02
B – Ordem e limpeza	29	1,72	33	4,65	53	7,42
C.1 – Instalações sanitárias	29	1,74	33	5,99	53	7,73
C.2 – Instalações móveis	2	5,00	6	5,67	9	6,85
C.3 – Vestiário	29	0,49	33	4,14	53	6,55
C.4 – Alojamento	3	7,49	5	7,62	9	8,47
C.5 – Local para refeições	29	0,76	33	5,73	53	7,73
C.6 – Área de lazer	3	3,33	13	10,00	27	10,00
C.7 – Fornecimento de água potável	29	2,07	33	6,11	53	6,76
D – Demolição	1	0,00	3	2,78	1	6,67
E – Escavações, fundações desmonte de rochas	3	1,11	1	10,00	8	4,20
F – Serra circular e central de carpintaria	12	2,05	18	5,82	34	6,56
G – Armação de aço	10	1,22	17	3,83	39	5,08
H.1 – Corrimãos de escadas permanentes	9	0,00	29	3,42	46	7,36
H.2 – Escadas de mão provisórias	22	4,95	31	4,13	43	5,55
H.3 – Poço do elevador	-	-	-	-	47	6,21

Tabela 2 - Médias de todas as atividades executadas por porte de obra

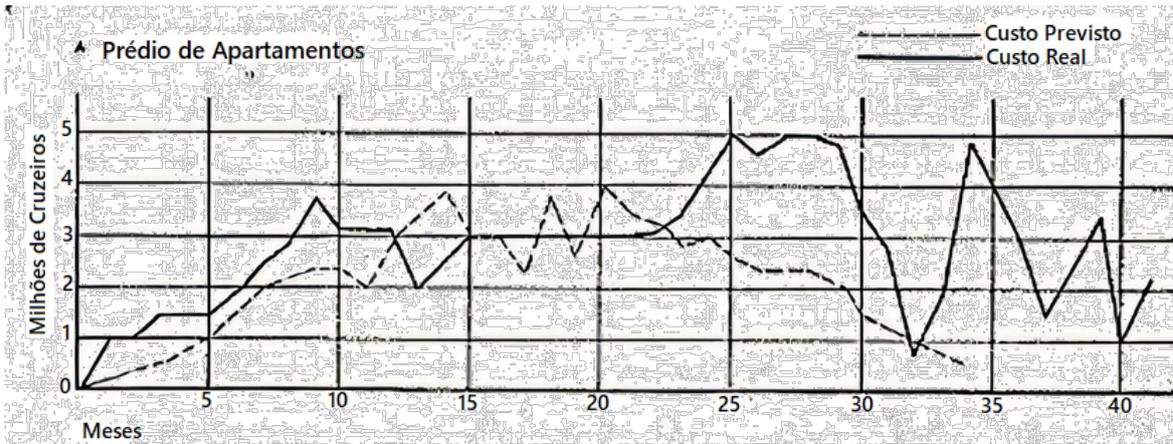
(conclusão)

Descrição do tópico	Pequeno porte		Médio porte		Grande porte	
H.4 – Proteção contra queda no perímetro dos pavimentos	7	0,00	14	1,24	38	4,17
H.5 – Aberturas no piso	6	0,00	15	2,00	38	5,00
H.6 – Plataformas de proteção	-	-	-	-	37	5,82
H.7 – Redes de segurança	-	-	-	-	-	-
H.8 – Andaimes suspensos	1	0	4	5,16	11	7,62
H.9 – Andaimes fechadeiros	1	2	4	4,5	-	-
H.10 – Andaime simplesmente apoiado	15	4,44	18	6,25	26	6,15
H.11 – Cadeira suspensa	-	-	-	-	2	8,75
H.12 – Ancoragem	-	-	-	-	-	-
I.1 – Torre do elevador	-	-	-	-	15	8,53
I.2 – Plataforma do elevador	-	-	-	-	15	9,36
I.3 – Posto do guincheiro	-	-	-	-	15	6,93
J – Elevador de passageiros	-	-	-	-	8	6,06
K – Grua	-	-	-	-	7	6,2
L – Elevador de cremalheira	-	-	-	-	5	10
M – Serviços em telhados e coberturas	5	0	5	0,67	3	4,44
N – Instalações elétricas	27	2,52	33	4,2	39	8,36
O – Máquinas, equipamentos e ferramentas diversas	29	4,7	32	5,55	51	7,3
P – Equipamento de proteção individual	29	1,35	33	5,33	53	8,06
Q – Armazenamento e estocagem de materiais	29	5,25	32	5,96	53	7,16
R – Proteção contra incêndio	29	0,19	33	1,69	53	3,18
S – Sinalização de segurança	29	0,09	33	2,91	53	4,17
Média geral de todas as atividades executadas	1,97		4,56		6,47	

Fonte: COSTELLA, JUNGES &amp; PILZ (2014).

A construção de uma obra industrial, um galpão pode ser classificado como obra de médio e grande porte dependendo de seu tamanho. Segundo Hamburger *et al.* (1965) uma obra deste tipo com previsão de entrega determinada no planejamento e com gastos máximos acordado por mês. Pode ocorrer um atraso programado, por decorrência o valor ultrapassado o limite. Isso devido a quantidade mão de obra, horário de trabalho e fase da construção assim tendo que ser revista a previsão periodicamente.

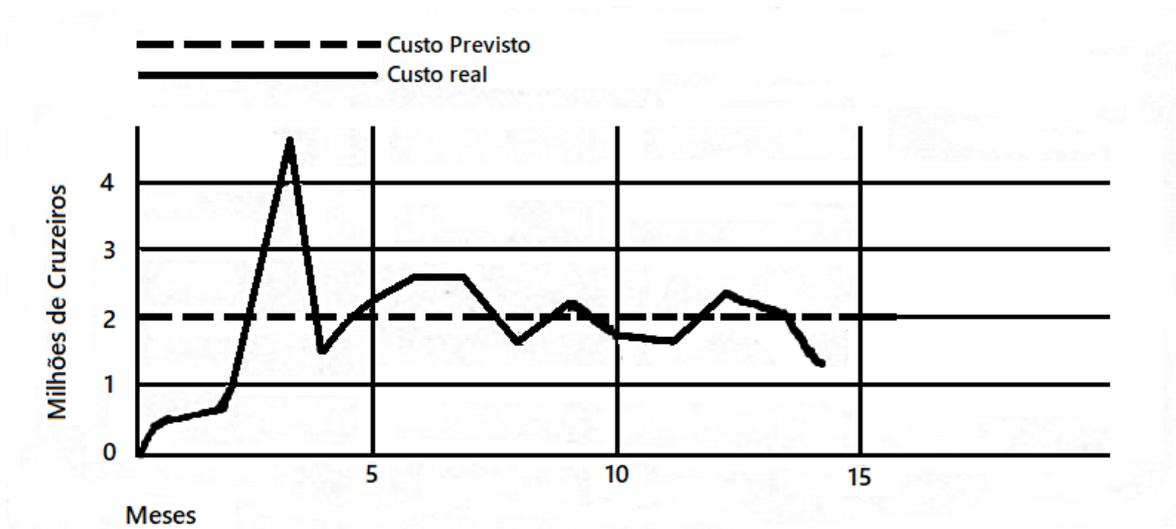
Figura 1 - Custos previstos e Reais de uma obra



Fonte: HAMBURGER *et al.* (1965).

Como é possível observar na Figura 1 a variação de um custo previsto e real de uma obra predial no período de 40 meses. Já a Figura 2 é um exemplo da construção de um galpão para uma fábrica, comparando os custos previstos e reais referentes a obra no período de 15 meses.

Figura 2 - Custos previstos e Reais da construção de um galpão



Fonte: HAMBURGER *et al.* (1965).

### 2.1.1 Diferença entre obras residenciais e industriais

Neste subtópico 2.1.1 o primeiro e segundo parágrafos a seguir, foram referenciados AIZA ENGENHARIA (2020), estes apresentam características da construção civil residencial e industrial.

A construção civil residencial o projeto segue um padrão certo. Nos projetos determina-se espaços, móveis tendo como objetivo conforto e funcionalidade aos moradores, são atendidas medidas mínimas em projetos com essa destinação. Materiais que são usados nesses casos apresentam características específicas tendo que ser durável, pois dificilmente sofrerão alterações ao longo do tempo.

Nas obras industriais segue um projeto com direcionamento específico. Precisa ser observadas características da empresa, visando a forma de trabalhar, o espaço necessário para a execução das suas atividades. Nessas obras a atenção é voltada a dinâmica do negócio, seja com adaptação de logística, mudança de operação e possível crescimento, geralmente usado nesse caso materiais que possibilitam modificações.

O padrão de uma construção pode ser categorizado como baixo, normal e alto, conforme observado na Tabela 3. Sendo considerada a qualidade de materiais, equipamentos, condições de acabamento, as inovações de conforto e elevadores (BRASIL, 1964).

**Tabela 3 - Revista construção e mercado – PINI - janeiro, 2019**

(continua)

Uso da Edificação	Goiânia – R\$/m <sup>2</sup> (*)		
	Global	Material	Mão-de-obra
<b>Habitacional</b>			
Residencial fino	2.032,89	1.320,30	712,59
Residencial médio	1.535,38	927,07	608,31
Residencial popular	1.171,80	718,35	453,45
Sobrado popular	1.350,03	815,67	534,36
Prédio com elevador fino	1.736,16	1.169,39	566,78
Prédio com elevador padrão médio alto	1.650,14	962,21	687,92
Prédio com elevador médio	1.603,90	1.155,49	448,41
Prédio sem elevador médio	1.522,62	1.010,76	511,86
Prédio sem elevador popular	1.193,07	677,05	516,2

Tabela 3 - Revista construção e mercado – PINI - janeiro, 2019

(conclusão)

Uso da Edificação	Goiânia – R\$/m <sup>2</sup> (*)		
	Global	Material	Mão-de-obra
<b>Comercial</b>			
Prédio com elevador fino	1.821,99	1.260,62	561,37
Prédio com elevador médio	1.675,59	1.012,32	663,28
Clínica veterinária	1.656,07	1.121,49	534,58
<b>Industrial</b>			
Galpão de uso geral médio	1.375,15	995,21	379,94

Fonte: REMASTER (2019).

Tcpoweb (2014) relata as características das obras usadas para formação dos preços apresentados sendo,

Residência térrea padrão popular (63 m<sup>2</sup>), executada com alvenaria de blocos de concreto, vidros comuns em caixilhos de alumínio, pintura interna e externa com caiação sobre massa grossa desempenada e cobertura com telhas de fibrocimento;

Galpão industrial (1.553,50 m<sup>2</sup>), com setor administrativo acoplado, executado com fechamento lateral em blocos de concreto e estrutura metálica com telhas de fibrocimento, piso de alta resistência.

A construção civil conta com o índice apresentado pela revista de construção e mercado, editora PINI (REMASTER, 2019). Custo unitário PINI de edificações (CUPE) é um cálculo mensal que acontece através da atualização de orçamento global de cada classificação de obra, com preço de materiais, insumo, mão de obra e equipamentos (TCPOWEB, 2014). Como é possível verificar os dados que foram expostos, na Tabela 3.

Na Tabela 3 é perceptível que, por exemplo, a capital de Goiás apresenta no ano de 2019 o valor global nas obras de padrão popular (R\$ 1.171,80/m<sup>2</sup>) e médio (R\$ 1.575,38/m<sup>2</sup>). Na construção tipo galpão de uso geral médio (R\$1.375,15/m<sup>2</sup>).

Notável com a tabela da Tcpoweb (2014), o valor da mão de obra por (m<sup>2</sup>), sendo na classe industrial mais barato quando comparado com as obras de padrão médio. A explicação para este dado é devida as obras industriais não necessitarem de mão-de-obra especializada e de fino acabamento, obviamente o profissional deve ser capacitado para lidar com o material que for determinado. Mas sendo obrigatório e essencial um responsável técnico e projetista para todas as etapas da obra.

## 2.2 RESPONSABILIDADE TÉCNICA

Segundo Carneiro (2013), para o sucesso de um projeto, é necessário clareza dos objetivos, eficiente fluxo de informação, boa comunicação, planejamento das tarefas, recursos humanos adequados e motivados, acompanhado de uma boa liderança para controlar as mudanças no dia a dia de um projeto.

Os empreendimentos de grande e médio porte merecem uma maior atenção no seu planejamento, pois os custos são altos e possuem uma complexidade maior, portanto, precisam de um planejamento eficiente e específico para o determinado tipo de obra (CARNEIRO, 2013).

Um dos principais objetivos de um gerenciamento de projeto é garantir que seja feito com qualidade, de acordo com o cronograma e os custos previstos (MENICUCI, 2014).

Diferente de construções residenciais, a construção de uma indústria acontece em conjunto com vários serviços envolvidos como a produção, fabricação, manutenção, segurança do trabalho, instalação de equipamentos e gestão pessoal, (PROENÇA, 1993).

**Figura 3 - Preparação para concretagem da base**



Fonte: ELABORADO PELOS AUTORES, 2021.

Foram tiradas na obra de uma futura fábrica de lácteos em Nossa Senhora da Glória – Sergipe, as Figuras 3 e 4 relatam a concretagem das bases com peças em aço inox fornecidas pelo fabricante dos equipamentos para que a base fosse concretada em perfeito nível, garantindo assim, a eficiência dos maquinários.

**Figura 4 - Concretagem da base dos equipamentos**



Fonte: ELABORADO PELOS AUTORES, 2021.

Nas Figuras 5 e 6, relatam o momento em que a obra civil parou para que a implantação dos equipamentos fosse feita antes do fechamento da estrutura, facilitando assim, a entrada dos mesmos.

**Figura 5 - Instalação dos equipamentos**



Fonte: ELABORADO PELOS AUTORES, 2021.

**Figura 6 - Instalação dos equipamentos**



Fonte: ELABORADO PELOS AUTORES, 2021.

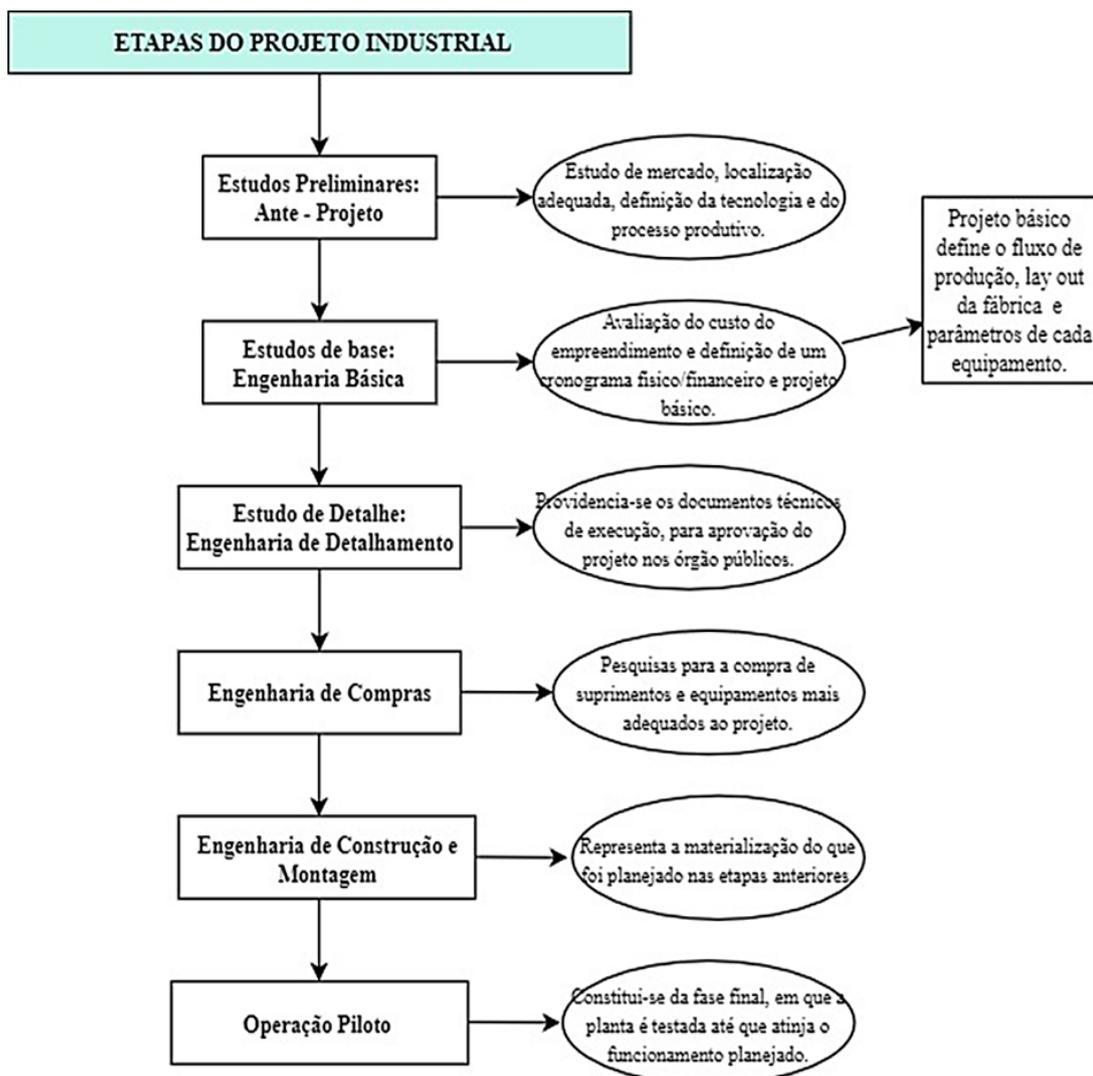
Para um gerenciamento de projetos eficiente, é indispensável que tenha responsáveis técnicos para cada etapa. Na Figura 7 estão demonstradas cada etapa de um projeto industrial. Conforme Proença (1993).

### 2.2.1 Viabilidade do local de implantação da indústria

Assim como descrito acima, no esquema de projetos industriais, uma das partes que influenciam diretamente na capacidade produtiva da empresa está presente na primeira etapa de Estudos Preliminares: Ante – Projeto, que consiste em um estudo de mercado para encontrar a localização adequada para a indústria (PROENÇA, 1993).

Segundo Souza e Muniz (2010), muitos fatores devem ser levados em consideração no momento de definir a melhor localização da empresa. Esses fatores podem ser ainda mais restringidos se a indústria for do ramo alimentício, visto que a matéria – prima pode não ser encontrada como facilidade nas redondezas e deve considerar que esses insumos não podem ser armazenados por muito tempo, ou seja, necessita de um número de compras maiores.

Figura 7 - Etapas do projeto estrutural



Fonte: Adaptado de PROENÇA, (1993).

KON (1994 apud SOUZA & MUNIZ, 2010 p. 160) aponta alguns fatores econômicos e logísticos que precisam ser considerados para definir a melhor localização.

a) transportes: os custos de transporte de matéria – prima para a produção dos produtos.

b) áreas de mercado: quanto mais próximo o local de produção do local de venda, maior será o lucro. Visto que, o custo de transporte da mercadoria será menor.

c) mão-de-obra: encontrar mão-de-obra especializada para a indústria é outro desafio. É comum os empresários oferecerem treinamentos para os interessados.

d) custo da terra: implantações industriais necessitam de uma grande área e consequentemente o valor da aquisição das terras, será alto se o local for mais próximo de grandes cidades.

e) infraestrutura básica: a disponibilidade de energia e água. Muitas vezes, os empreendedores precisam contatar os órgãos públicos da cidade, em uma tentativa de adquirir esses recursos em locais de difícil acesso, como em regiões rurais.

f) eliminação de resíduos: principalmente em indústrias alimentícias, há sempre resíduos de matérias-primas que precisam ser descartados da forma correta. Os órgãos ambientais podem requerer projetos de implantação de ETA (Estação de Tratamento de Água).

Esses foram apenas alguns aspectos que precisam ser levados em consideração. Devido às dificuldades enfrentadas ao estudar a viabilidade do local. Em algumas cidades, foram criados locais próprios para essa implantação, ofertados pelo governo do estado ou pelo próprio município.

Portanto, é de grande importância que o engenheiro civil, que será responsável por essa implantação, participe dessa escolha e tome conhecimento sobre o local, principalmente se o não for de seu conhecimento os parâmetros logísticos daquela cidade, pois, o cronograma de obra será elaborado de acordo com possíveis fornecedores e seus respectivos prazos de entrega dos materiais.

Em consequência do grande crescimento logístico industrial, criou-se também, os chamados condomínios industriais. O Engegraut (2015) publicou um catálogo com algumas das obras realizadas pelo mesmo. Nesse catálogo é notável vários exemplos desses condomínios, que nada mais é que uma grande área com galpões de diversos tipos, ofertando então, mais possibilidades de escolhas para os empresários que terão que decidir qual o melhor investimento para sua indústria.

### 2.2.2 Escolha da estrutura

Sobre as decisões a serem tomadas em relação à logística do local de implantação, o projetista estrutural deverá estar atento à região para uma escolha adequada do material da estrutura. O Quadro 1 faz uma comparação entre estruturas metálicas e pré-moldados de concreto levando em consideração os principais aspectos para a escolha do material adequado.

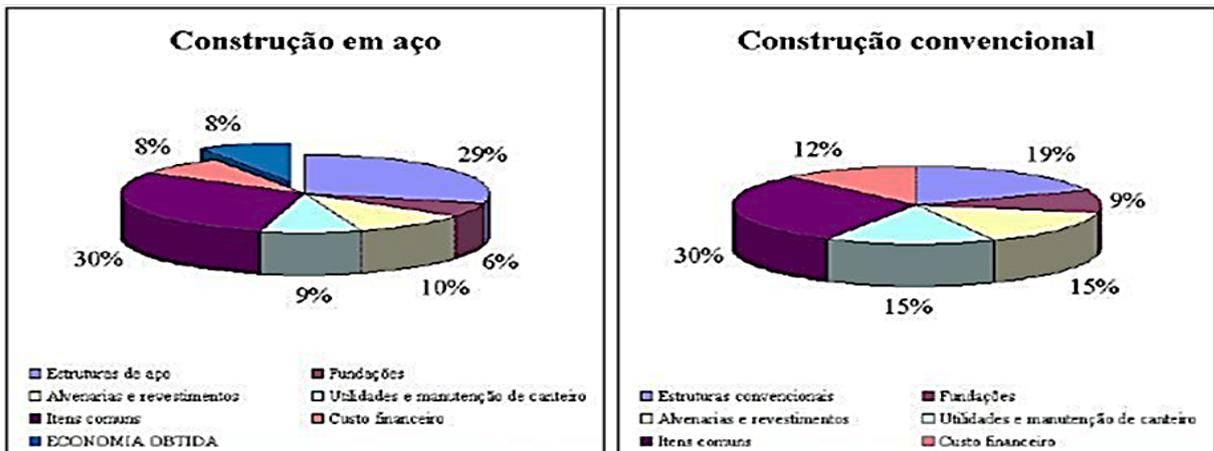
Com apenas alguns fatores apresentados, é perceptível que o aço possui maiores vantagens quando comparado ao concreto. Mas um dos fatores que mais influenciam nessa escolha é o tempo de obra, principalmente se for para o ramo industrial, pois os empreendedores precisam vender o quanto antes seus produtos para suprirem o desfalque em caixa ou até mesmo começarem a pagar o financiamento pelo seu banco.

**Quadro 1 - Comparação entre Estrutura Metálica e Pré – Moldados de Concreto**

<b>Estrutura Metálica X Pré- Moldados de Concreto</b>				
	<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>	<b>Custo</b>	<b>Prazo</b>
<b>Metálica</b>	Estrutura mais leve , ponto positivo no projeto de fundações; Possibilita vãos maiores, um ponto importante para galpões que precisam de espaço para os maquinários; Rigorous controle de qualidade; Não gera resíduos.	Dependendo do local da obra, o aço precisa receber um tratamento especial para não haver corrosão. Precisa de profissionais especializados para a montagem das estruturas.	Em média o preço por m <sup>2</sup> de um galpão em estrutura metálica é de R\$ 200. Podendo variar de acordo com o projeto.	Em um tempo médio, as estruturas de um galpão podem ser montadas entre 30 a 45 dias, podendo variar conforme o projeto.
<b>Pré-Moldados</b>	Difícil ocorrer corrosão, favorece sua utilização em locais com maresias; Rigorous controle de qualidade; Não gera resíduos.	Vãos menores, logo há a necessidade de mais pórticos e consequentemente haverá um acréscimo de carga e isso influenciará diretamente nas fundações.	Em média o preço por m <sup>2</sup> de um galpão em pré-moldados de concreto podem ser de R\$ 240. Também podem variar conforme necessidades do projeto.	Em média o tempo para montagem é em torno de 60 dias.

Fonte: Adaptado de SHWALBERT *et al.*, (2018).

Figura 8 - Comparação entre construção em aço e convencional



Fonte: FREIRE (2021).

## 2.3 INDÚSTRIAS ALIMENTÍCIAS

Para a implantação de uma indústria alimentícia, devem-se seguir todas as etapas de um projeto industrial atentando-se as normas e legislações vigentes no ramo alimentício, cujo objetivo é padronizar as etapas produtivas, garantindo a qualidade e segurança ao consumidor.

Conforme a Abujamra (2021), as esferas responsáveis pela garantia de qualidade dos alimentos são: Serviço de Inspeção Federal (SIF); Serviço de Inspeção Estadual (SIE); Serviço de Inspeção Municipal (SIM) e Agência nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). SIM (comercialização no próprio município), SIE (no próprio Estado) e SIF (válido em todo o Brasil e para exportação), (CETA JR, 2021).

Todas as indústrias de alimentos precisam se adequar para receber os selos, essas identificações atestam que o alimento passou pelos devidos processos de industrialização corretos. Além dos órgãos de inspeção, as empresas também devem buscar os certificados internacionais da Organização Internacional para Padronização (ISO), pois garantem que cada etapa de produção foi realizada de maneira adequada.

### 2.3.1 Qualidade na indústria de alimentos

As regulamentações e os procedimentos mais utilizados na indústria são as Boas Práticas de Fabricação (BPF), os Procedimentos Padrões de Higiene Operacional (PPHO) e a Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle (APPCC). (GOBIS; CAMPANATTI, 2012 apud OBARA, 2018, pag. 12). Estes sistemas são exigidos pelos órgãos para criar garantias ao consumidor do produto.

Segundo Silva e Correia (2009), Manual de Boas Práticas de Fabricação (BPF) descreve a situação real do local de produção que abrangem desde o recebimento da matéria-prima até o produto final. O papel do engenheiro civil é necessário para descrever ao responsável técnico do manual que geralmente são profissionais da área de alimentos, o layout arquitetônico da fábrica e os detalhes construtivos do Edifício e Instalações, pois na Resolução Nº 216 da ANVISA, está descritos os requisitos mínimos para uma indústria alimentícia.

Conforme abordado anteriormente, na indústria de alimentos há alguns sistemas de qualidade que são mais utilizados que fazem parte da International Organization for Standardization (ISO) que serão explicados no Quadro 2.

**Quadro 2 - Sistema de garantia e qualidade mais utilizados na indústria de alimentícia**

<b>Sistemas de gestão</b>	<b>Ferramenta</b>	<b>Definição</b>
Sistema básico de gestão da qualidade	ISO 9001	A ISO 9001 apresenta novos conceitos de gestão possibilitando uma ponte entre as expectativas dos clientes e a eficácia do sistema de gerenciamento da organização
Sistema avançado de gestão da qualidade	ISO 9004	A ISO 9004 complementa a ISO 9001 no sentido de orientar a melhoria contínua do sistema de gerenciamento da qualidade e gestão dos negócios da organização, impactando nos funcionários, proprietários, fornecedores, clientes e sociedade.
Sistema integrado de gestão da segurança	ISO 22000	Desenvolvida com base na ISO 9001, porém mais completa uma vez que fornece um padrão de gerenciamento de segurança que engloba atividades de planejamento, operação, comunicação com clientes e fornecedores e cumprimento dos requisitos da política de segurança

Fonte: ROTARU *et al.*, 2005 *apud* OBARA, 2018 p. 13.

A qualidade é fundamental em diversos setores industriais. Pois as empresas que oferecem produtos de baixa qualidade dificilmente conseguem se manter no mercado (OBARA, 2018). Os selos ISO além de oferecer confiança ao consumidor, também valorizam as indústrias que o possuem, aumentando até mesmo o seu valor de mercado.

## 2.4 CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS

A ANVISA (2004) é utilizada como regulamento técnico de boas práticas para serviços de alimentação. Tendo como objetivo na sua aplicação estipular condições higiênico-sanitárias do alimento em questão.

Emprega-se este regulamento em serviço de alimentação abrangendo a manipulação, preparação, fracionamento, armazenamento, exposição, à venda e entrega de alimentos preparados ao consumo, entre outros (ANVISA, 2004).

As boas práticas para serviços de alimentação são divididas em subitens como estrutura física do estabelecimento (condições de pisos, portas, paredes, etc.), higienização, controle de pragas, manejo de resíduos, potabilidade da água, etapas de preparo e documentação. Sendo que estes cuidados são em função de não contaminação do produto em manipulação, decorrentes das condições e higiene do local (ANVISA, 2004).

De acordo com ANVISA (2004) as edificações e instalações devem ser para possibilitar um fluxo ordenado, para facilidade na preparação da comida, manutenção, limpeza e desinfecções. Portanto a dimensão da construção precisa ser compatível com as operações, existindo distinção entre diferentes atividades através de meios físicos ou por outros meios eficazes.

A edificação deve atender especificações estipuladas para suas instalações, seja portas, janelas, piso, parede, teto, iluminações, instalações de água fria, esgoto e elétrica como é possível ver no Quadro 3.

**Quadro 3 - Edificação, instalações, equipamentos, moveis e utensílios**

(continua)

<b>Instalações da Edificação</b>	<b>Requisitos a serem seguidos</b>
Piso, parede e teto	- Revestimento liso - Impermeável - Lavável
Portas e janelas	- Ajustadas as patentes - Portas da área de preparação e armazenamento de alimento com fechamento automático - Aberturas externas provida de telas milimetradas

**Quadro 3 - Edificação, instalações, equipamentos, móveis e utensílios**

(conclusão)

Água corrente, redes de esgoto ou fossa séptica	<ul style="list-style-type: none"> <li>- As instalações precisam ser abastecidas de água</li> <li>- Apresentar conexões com rede de esgoto ou fossa séptica</li> <li>- Ralos devem ser sifonados e as grelhas possuírem fechamentos</li> </ul>
Caixas de gordura e esgoto	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dimensão compatível ao volume de resíduos, localizado fora área de preparação e armazenamento de alimentos</li> </ul>
Iluminação	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Luminárias devem ser apropriadas e com proteção contra explosão e quedas acidentais</li> </ul>
Instalações elétricas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Embutidas ou protegidas em tubulações externas e íntegras</li> </ul>
Ventilação	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Garantir renovação do ar</li> <li>- Fluxo do ar não deve incidir sobre os alimentos</li> </ul>
Instalações sanitárias e vestiários	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Não devem comunicar diretamente com a área de preparação e armazenamento de alimentos ou refeitórios</li> <li>- Possuir lavatórios e estar supridas de produtos destinados a higiene pessoal</li> </ul>
Equipamentos, móveis e utensílios	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Materiais que não transmitem substâncias tóxicas, odores e sabores</li> <li>- A superfícies lisas, impermeáveis, laváveis, isentas de rugosidades e imperfeições</li> </ul>

Fonte: Adaptada de ANVISA (2004).

### 3 PROJETOS ESTRUTURAIS

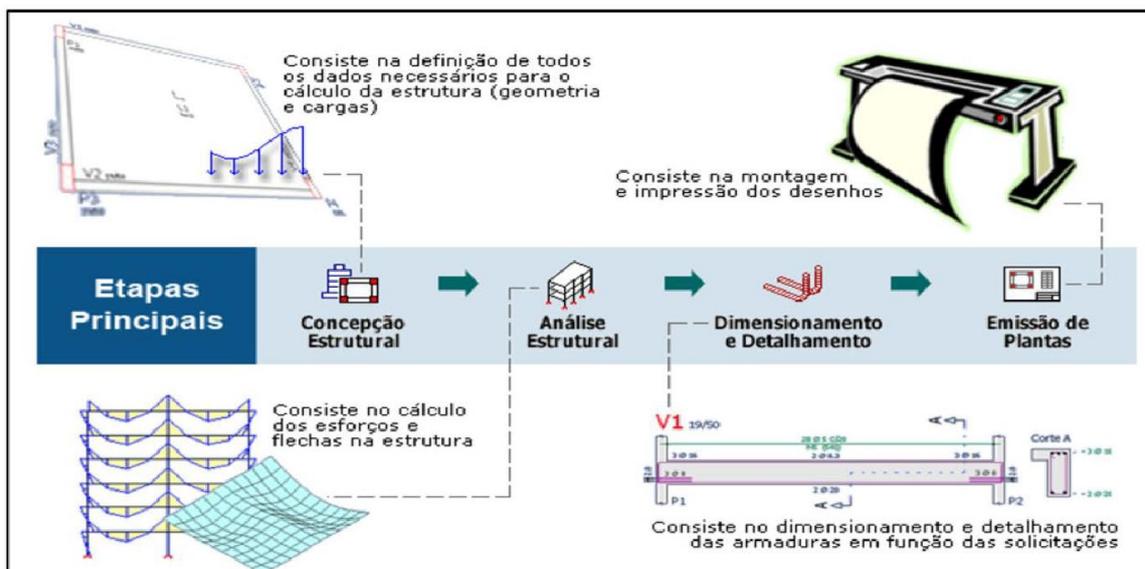
Neste Capítulo 3 os parágrafos situados nos tópicos 3.1 e 3.2; subtópicos 3.1.2; 3.1.3 e 3.2.1 foram todos referenciados do Bellei (1998), este sendo de grande influência em conhecimento em edifícios industriais em aço.

Projetos estruturais são informações passadas através de conjunto de documentos para a execução da estrutura na obra. Sendo apresentados geralmente em formato de pranchas, relatório e memoriais (LOBÃO, 2020).

Projeto estrutural é definido como dimensionamento e detalhamento da estrutura necessária para sustentar a edificação, através de vigas, pilares, lajes e fundação. Atendendo de critérios e cálculos específicos e norma vigentes, profissional, o engenheiro civil define qual o tipo de estrutura mais apropriado para o projeto, as dimensões e especificações de cada elemento (IBEC, 2020).

Como os demais projetos complementares, os projetos estruturais são elaborados de acordo de um projeto de arquitetura. De onde é definido a locação dos elementos estruturais, processo chamado concepção estrutural. Em seguida é realizada a análise estrutural, dimensionamento e detalhamento dos elementos, finalizando com a emissão das pranchas e demais documentos como verifica-se na Figura 9 (LOBÃO, 2020).

Figura 9 - Etapas de um projeto estrutural



Fonte: LOBÃO (2020).

É na fase da concepção estrutural que é definido o tipo de material que será adotado na estrutura (concreto armado, alvenaria estrutural, estrutura metálica, etc). Esse sistema

estrutural deve ser definido pelo engenheiro calculista baseando um equilíbrio entre a viabilidade técnica (execução) e econômica, sendo que alguns casos podem ser determinados por preferências das pessoas envolvidas (LOBÃO, 2020).

As estruturas de aço de acordo com Bellei (1998) traz como vantagens principais:

- Alta resistência nos diversos estados de tensão (tração, compressão, flexão, etc);
- São mais livres do que elementos constituídos em concreto armado, mesmo tendo densidade grande ( $7850 \text{ kg/m}^3$ );
- Possibilita grande margem de segurança no trabalho, por ser material único e homogêneo, com limite de escoamento, ruptura e módulo de elasticidade bem definidos;
- Prazo final da construção menor;
- Os elementos de aço apresentam facilidade em ser desmontados e substituídos com facilidade, o que permite reforços ou substituir alguns;
- Reaproveitamento de material que não seja mais necessário à construção.

Os elementos de aço apresentam uma pequena desvantagem que é propensão à corrosão, necessitando que eles sejam cobertos com tinta ou outro método de proteção (BELLEI, 1998).

A construção de qualquer tipo de edifício, ou qualquer tipo de obra são constituídas de fases principais com podemos ver no Quadro 4.

**Quadro 4 - Fases de construção**

(continua)

<b>Principais fases na construção de uma obra</b>	
<b>Fase</b>	<b>Explicação</b>
Arquitetura	- Desenvolve o estudo da obra - Materiais de acabamento - Dimensões - Ventilação e iluminação
Projeto estrutural	- Calcula-se os elementos de sustentação - Ligações principais - Tipo de aço - Cargas nas fundações - Estrutura soldada ou parafusada etc
Sondagens do solo	- Tipo de solo pode definir o esquema estrutural
Detalhamento	- Detalhamento de peça por peça - Cronograma de fabricação e montagem

Quadro 4 - Fases de construção

(conclusão)

Principais fases na construção de uma obra	
Fase	Explicação
Fabricação	- Diversas partes das peças são fabricadas, com orientações do projeto - Solda - Parafusos - Tolerâncias - Controle de qualidade
Limpeza e proteção	- Limpeza da peça - Pintada e galvanizada'
Transporte	- De acordo com o tamanho das peças, procurando no projeto evitar necessidade de transporte especial
Montagem	- Juntar as peças - Planejamento - Equipamentos - Sequência de montagem
Controle de qualidade	- Em todas fases - Inspeção de peças - Tolerância de normas
Manutenção	- Plano de inspeção (local e uso) - Média de vida da estrutura - Problema de corrosão - Condições atmosféricas, umidade e outros

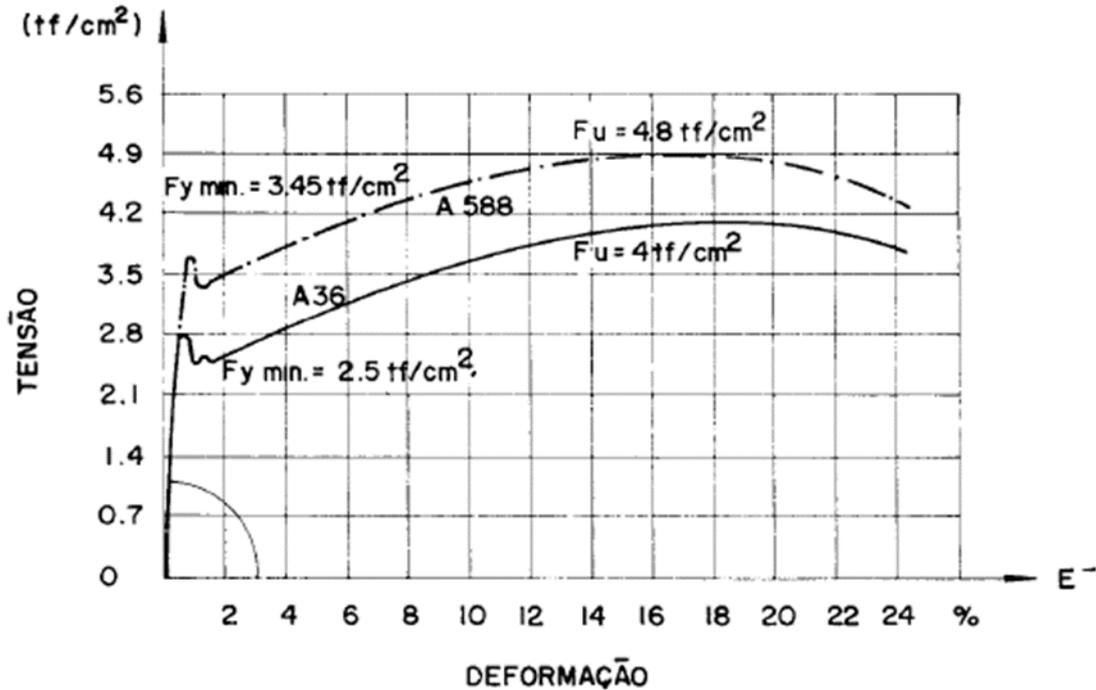
Fonte: Adaptado BELLEI (1998).

### 3.1 AÇOS ESTRUTURAIS

Segundo Bellei (1998) o aço é composto quase totalmente de ferro (98%), com carbono, silício, enxofre, fósforo, manganês entre outros. Nas propriedades do aço o carbono exerce maior efeito sendo a alta resistência mecânica e a ductibilidade. São divididos em dois grupos os aços utilizados em estrutura os de carbono e os baixa liga.

Nas estruturas de aço é essencial entender as propriedades do aço para estar ciente do seu comportamento. Através dos diagramas de tensão - deformação obtém-se informações importantes e necessária para compreender o comportamento em determinada situação. Na Figura 10 mostra as características dos aços estruturais tratados a frio, podendo ver o nível do escoamento, sendo inconfundível com a sua dureza.

Figura 10 - Curvas típicas tensão-deformação, obtidas a partir de um teste de tração para aço estrutural



$F_u$  = limite de resistência à tração

$F_y$  = limite de escoamento

Fonte: BELLEI (1998).

### 3.1.1 Ligações com solda

De acordo com Instituto Aço Brasil (2011) a solda é a união de componentes metálicos através da fusão dos eletrodos metálicos. Isso decorre da alta temperatura gerada pelo arco voltaico, assim de forma parcial a ligação dos componentes com resfriamento é constituída um corpo único, metal base e metal do eletrodo.

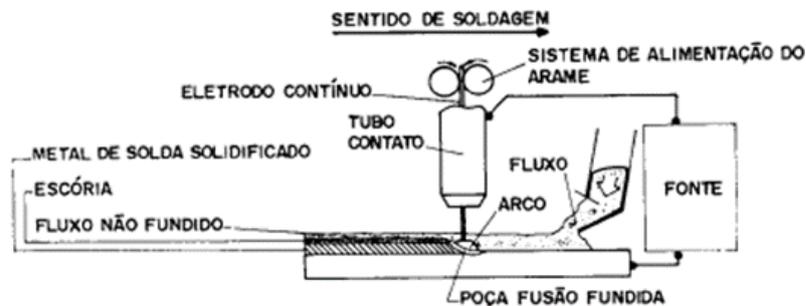
É recomendado a aplicação de todas as disposições contidas Structural Welding code da American Welding Society (AWS), apresenta-se no Quadro 5 os processos de soldagem (NBR 8800, ABNT, 2008).

As séries dos perfis “I” e “H” apresenta o aço estrutural soldado por arco elétrico, incluso no processo de soldagem (SAW), como podemos ver na figura 11. Esses perfis possuem classificação da série simétrica e monossimétrica (NBR 5884, ABNT, 2013)

**Quadro 5 - Processos de soldagem segundo a NBR 8800 (ABNT, 2008)**

Sigla	Processo de soldagem
SMAW	Soldagem com eletrodo revestido ou “Shield Metal Arc Welding”
GMAW	Soldagem com proteção gasosa ou “Gas Metal Arc Welding”
FCAW	Soldagem com fluxo no núcleo ou “Flux Cored Arc Welding”
SAW	Soldagem a arco submerso ou “Submerged Arc Welding”

Fonte: INSTITUTO AÇO BRASIL (2011).

**Figura 11 - Diagrama esquemático de soldagem ao arco submerso**

Fonte: BELLEI (1998).

No Quadro 6 apresenta-se as vantagens e desvantagem no uso das soldas oferece.

**Quadro 6 - Vantagens e desvantagens das ligações com solda**

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> <li>-Economia do material, porque o uso da soldagem permite o aproveitamento total do material.</li> <li>- Permite eliminar uma grande quantidade de chapas de ligação em relação as estruturas parafusadas.</li> <li>- As estruturas soldadas são mais rígidas, porque os membros normalmente estão soldados diretamente um ao outro.</li> <li>- Facilidade de se realizar modificações nos desenhos das peças e corrigir erros durante a montagem.</li> <li>- O uso de uma quantidade menor de peças, resultando menor tempo de detalhe, fabricação e montagem</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Estruturas soldadas de grandes extensões e a redução que sofre na redução devido aos efeitos acumulativos de retração.</li> <li>- Energia elétrica insuficiente no local de montagem.</li> <li>- Exige maior análise de fadiga, em muitos casos reduzir as tensões admissíveis a níveis muito baixos</li> </ul>

Fonte: Adaptado BELLEI (1998).

### 3.1.2 Ligações parafusadas

Tanto as soldas, as ligações parafusadas são utilizadas em grande escala nas ligações de partes das estruturas nas montagens de campo e fábricas. A sua aplicação contém vantagens e desvantagens como expresso no Quadro 7.

**Quadro 7 - Vantagens e desvantagens das ligações parafusadas**

<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rapidez nas ligações de campo.</li> <li>- Economia em relação ao consumo de energia.</li> <li>- Uso de poucas pessoas, não muito qualificadas, como é o caso dos soldadores.</li> <li>- Melhor resposta as tensões de fadiga.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Necessidade de verificação de áreas líquidas e esmagamentos das peças, o que muitas vezes exige reforço destas partes.</li> <li>- Necessidade de previsão antecipada, para evitar a falta de parafusos na obra.</li> <li>-Necessidade em alguns casos de se realizar uma pré-montagem de fábrica para casamento perfeito dos parafusos.</li> </ul>

Fonte: Adaptado BELLEI (1998).

### 3.1.3 Cargas e combinações de carga

Na elaboração do memorial de cálculo de galpões industriais precisa ser levada em conta um conflito de cargas que ativam ora isoladamente ora em combinações uma com as outras, sendo de acordo com o princípio da estática das construções.

Durante os cálculos precisam ser consideradas influências de carga de acordo com o princípio da estática das construções. São exemplos destas a carga permanente, acidentais verticais, cargas devido ao vento, entre outras.

A carga permanente é composta pelo peso próprio da estrutura e peso de materiais de acabamento, chapas de piso, cobertura, instalações elétricas, etc. Deve ser avaliada de forma individual, conforme as peças forem dimensionadas, variação na avaliação abaixo de 10% de acordo com a norma sendo a margem de segurança.

Cargas acidentais verticais (sobrecargas) podem atuar ou não na estrutura. Para sobrecargas na cobertura em edifícios pequeno e grande porte, adota-se 15Kg/m<sup>2</sup> para cobrir chuvas e galpões em zonas siderúrgicas em mínimo de 50Kg/m<sup>2</sup>.

Cargas devido ao vento, são adotadas velocidade de uma rajada de 3 segundos de duração ultrapassada em média uma vez em 50 anos, a 10m de altura, em campo aberto e plano. Sendo as velocidades determinadas por processo estático, base nos valores máximos anuais medidas em cerca de 40 cidades.

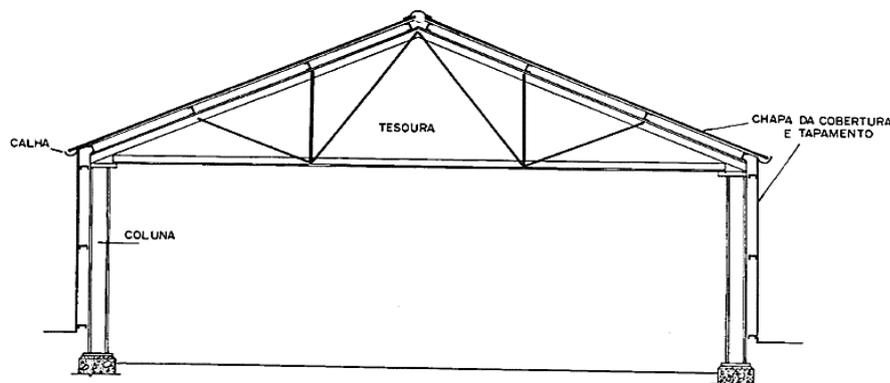
### 3.2 GALPÕES INDUSTRIAIS

Segundo Bellei (1998), nos projetos para galpões industriais deve-se considerar alguns elementos como: as dimensões dos equipamentos que ali serão instalados, circulação, movimentação de cargas, iluminação, ventilação, tipo do terreno e local da obra.

Para um melhor entendimento, Bellei (1998), trouxe tipos e definições de galpões industriais que variam estruturalmente, dependendo do layout requerido pela fábrica, pois em grande maioria, colunas internas não poderão ser executadas devido o tráfego frequente de maquinários ou até mesmo o posicionamento dos equipamentos que são utilizados na fabricação dos produtos.

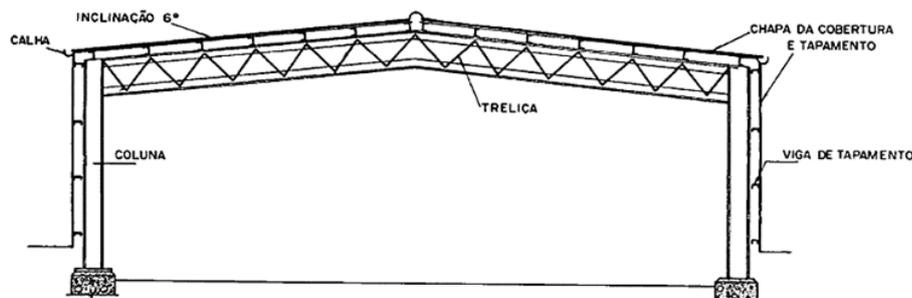
Bellei (1998), apresenta alguns galpões com vãos simples que são mais utilizados apresentados nas Figuras 12 e 13. Considerando que o peso de estrutura de aço é muito baixo, para inclinações abaixo de  $15^\circ$ , a tesoura deverá ser trocada por uma treliça, conforme mostrada na Figura 14.

**Figura 12 - Estrutura com coluna simples e tesoura**



Fonte: BELLEI (1998).

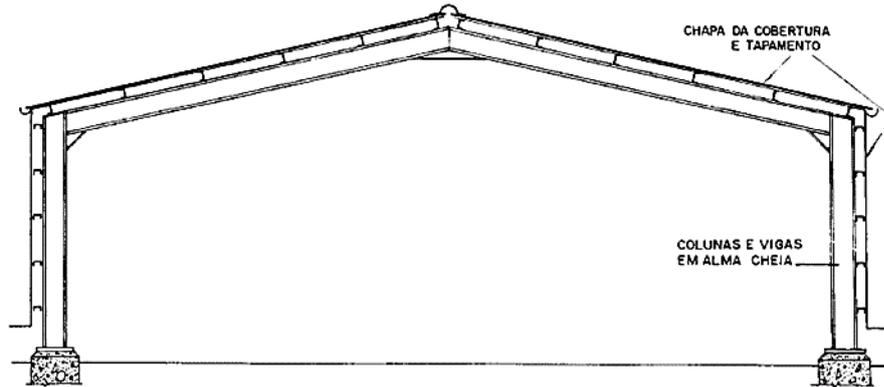
**Figura 13 - Estrutura com coluna simples e treliça**



Fonte: BELLEI (1998).

Uma opção para substituir as tesouras tem sido os galpões com pórticos em alma cheia, conforme apresentado na Figura 14. Os pórticos na maioria das vezes são projetados para que as ligações sejam parafusadas na hora da instalação, podendo estes serem executados com bases rotuladas, quando vãos médios ou grandes, e bases engastadas para vãos menores.

**Figura 14 - Pórticos para vãos pequenos e médios**



Fonte: BELLEI (1998).

Levando em consideração que as distâncias entre os pórticos é um ponto predominante na análise da estrutura, pois essas distâncias influenciam em toda a estrutura de suporte e cobertura, orienta-se os seguintes espaçamentos das estruturas, como se pode ver na Tabela 4.

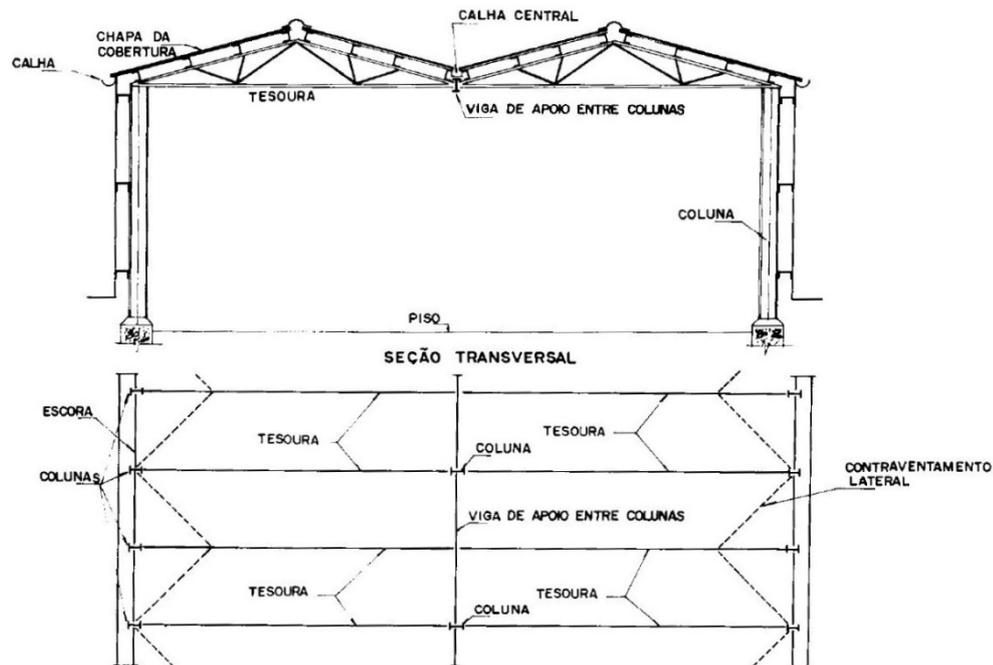
**Tabela 4 - Espaçamentos entre pórticos de acordo com o vão**

Vão		Espaçamento entre pórticos		
Pequeno:	até 15 m	3	a	5
Médio:	16 a 25 m	4	a	7
	25 a 35 m	6	a	8
Longo:	35 a 45 m	8	a	10
Inércia variável:	46 a 60 m	9	a	12

Fonte: Adaptado de BELLEI (1998).

Uma segunda solução estrutural apresentada são os galpões com vãos múltiplos, quando por questões internas de layout é necessário retirar colunas intermediárias, desta forma as distâncias entre elas aumentam. Para contornar esse problema, adiciona-se vigas centrais e contraventamentos na cobertura, conforme apresentado na Figura 15.

Figura 15 - Galpão geminado com tesouras se apoiando em vigas centrais



Fonte: BELLEI (1998).

### 3.2.1 Requisitos estruturais

Ao analisar uma construção, deve-se sempre levar em consideração a estrutura como um todo e não separadamente. Pois o esquema estrutural adotado além de ser capaz de resistir as cargas também deve ter harmonia com o local e boa aparência.

Normalmente, ao definir o esquema estrutural a ser utilizado, opta-se por um que não possua colunas ou que tenha um espaçamento maior entre elas, fazendo com que aumentem os custos de projeto.

Bellei (1998), também enfatiza sobre a importância de considerar o tipo de manutenção que a estrutura deverá receber. Alguns processos industriais podem requerer estruturas fáceis de limpar, muito frequente em indústrias alimentícias, devido às regras da vigilância sanitária, apresentadas no Capítulo 2.

Para os requisitos estruturais, recomenda-se estruturas que não possuam grandes caminhos até a distribuição de cargas para a fundação e todo o arranjo estrutural.

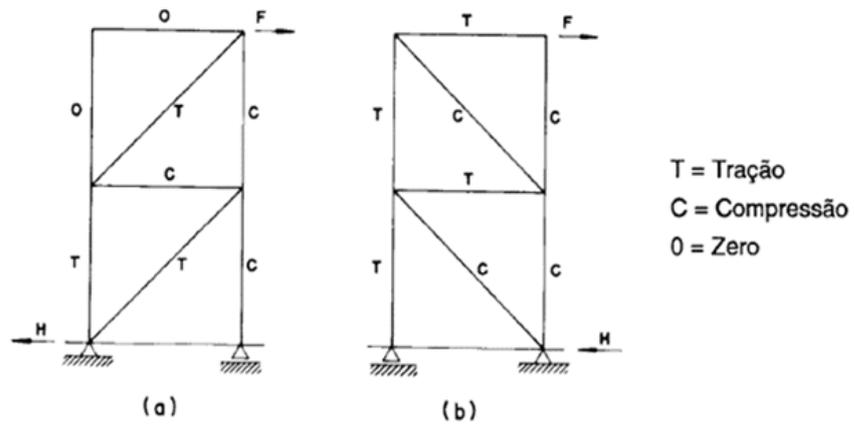
A Figura 16 apresenta os elementos estruturais e as respectivas solicitações que os mesmos podem sofrer e os materiais que são empregados para combater os esforços. Assim também, a Figura 17 mostra duas estruturas, (a) que tem seis barras solicitadas e a estrutura (b) em que todas são solicitadas.

Figura 16 - Resumo dos principais elementos estruturais e suas solicitações

Elementos Estruturais	Solicitações							Tipos de Materiais Empregados
	Tração	Compressão	Flexão		Cisalhamento	Fadiga	Verificação Deformação	
			S	D				
Tercos			x	x			x	
Escoras do Beiral		x	x	x			x	
Tirantes	x							Ø Barra Redonda
Cumeeira			x	x			x	
Vigas de Tapamento				x			x	
Colunas de Tapamento	x	x	x				x	
Contrav. Horizontais	x	x						Ø
Contrav. Verticais	x	x						Ø
Placas de Base		x	x					Chapas
Chumbadores	x				x			Ø
Tesouras	x	x					x	
Vigas do Pórtico		x	x		x		x	
Vigas Int. do Pórtico			x		x		x	
Colunas	x	x	x	x			x	
Vigas de Rolamento		x	x	x	x	x	x	
Juntas Soldadas	x	x	x	x	x	x		
Juntas Parfusadas	x	x			x	x		

Fonte: BELLEI (1998).

Figura 17 - Estruturas com diferentes montagens e suas solicitações



Fonte: BELLEI (1998).

## 4 DIMENSIONAMENTO ESTRUTURA METÁLICA

A NBR 8800 – Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios é a normativa que orienta o dimensionamento de estruturas de aço (ABNT, 2008). O cálculo dos esforços presentes nas estruturas, na prática são baseados no Estado Limite Ultimo (ELU). Pela norma são apresentados para efeito de cálculo inicial, valores dos coeficientes de ponderação das resistências  $\gamma_m$ , como apresentado na Tabela 5.

**Tabela 5 - Valores dos coeficientes de ponderação das resistências**

Combinações	Aço estrutural <sup>a</sup>		Concreto $\gamma_c$	Aço das armaduras $\gamma_s$
	$\gamma_a$			
	Escoamento, flambagem e instabilidade $\gamma_{a1}$	Ruptura $\gamma_{a2}$		
Normais	1,10	1,35	1,40	1,15
Especiais ou de construção	1,10	1,35	1,20	1,15
Excepcionais	1,00	1,15	1,20	1,00

<sup>a</sup> Inclui o aço de fôrma incorporada, usado nas lajes mistas de aço e concreto, de pinos e parafusos.

Fonte: NBR 8800 (ABNT, 2008).

Fora realizado um resumo do que deve ser considerado para verificação de tração, compressão e flexão no dimensionamento de estrutura metálica.

### 4.1 TRAÇÃO

Segundo Pfeil e Pfeil (2009) estipula-se que peças tracionadas estão sujeitas a solicitações de tração axial ou tração simples. Podendo serem empregadas nas estruturas, de diferentes formas como visto na Figura 18, tirantes ou pendurais, contraventamentos de torres, travejamentos de vigas ou colunas, tirantes de vigas armadas e barras tracionadas de treliças.

Para o dimensionamento axial de tração, de acordo com a NBR 8800 (ABNT, 2008), precisa ser atendida a condição apresentada na Equação 01.

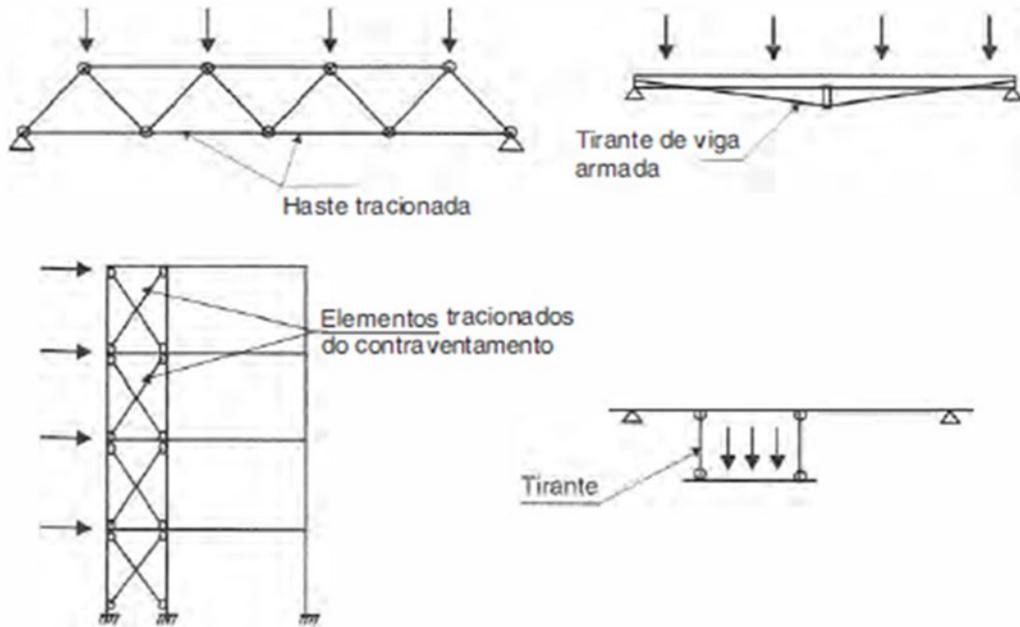
$$N_t, S_d \leq N_t, R_d \quad (01)$$

Onde:

- $N_t, S_d$  é a força axial de tração solicitante de cálculo;
- $N_t, R_d$  é a força axial de tração resistente de cálculo.

Deve-se analisar as considerações feitas pela norma quanto a limitação da esbeltez.

**Figura 18 - Elementos tracionados em estrutura**



Fonte: PFEIL E PFEIL (2009).

Para os cálculos de tração são usadas as formulações que foram expostas no Quadro 8, como pode ser verificado.

**Quadro 8 - Fórmulas para dimensionamento dos esforços de tração**

(continua)

Força de tração	Fórmulas
Força axial resistente de cálculo	Para escoamento da seção bruta $N_{t,Rd} = \frac{A_g f_y}{\gamma_{a1}} \quad (02)$
	Para ruptura da seção líquida $N_{t,Rd} = \frac{A_e f_u}{\gamma_{a2}} \quad (03)$

**Quadro 8 - Fórmulas para dimensionamento dos esforços de tração**  
(conclusão)

Área líquida efetiva	$A_e = C_t A_n \quad (04)$
Área líquida	$A_n = \left[ b + \sum \frac{S^2}{4g} - \sum (d + 0,35) \right] t \quad (05)$
Verificações de dimensionamento	Pressão de contato em furos
	$F_{c,Rd} = \frac{1,2 l_f t f_u}{\gamma_{a2}} \leq \frac{2,4 d_b t f_u}{\gamma_{a2}} \quad (06)$
	<p>Espaçamento mínimo entre furos:          - Disância mínima entre os centros de furos-padrão, alargados ou alongados, não devem ser inferiores a 2,7 db</p>
	<p>Espaçamento máximo entre furos:          - Para elementos pintados ou não sujeitos a corrosão, o espaçamento máximo não deverá ser maior que 24 vezes a espessura.          - Elementos que estão sujeitos à corrosão, mesmo que resistentes ao ataque corrosivo, não pintados, o espaçamento deverá ser menor que 14 vezes a espessura</p>
	<p>Distância mínima de um furo às bordas:          - Valores explicitados em tabela3 da norma deve ser o limite para os espaçamentos mínimos entre os furos.</p>
	<p>Cisalhamento</p> $F_{v,Rd} = \frac{0,4 A_b f_{ub}}{\gamma_{a2}} \quad (07)$ $F_{v,Rd} = \frac{0,5 A_b f_{ub}}{\gamma_{a2}} \quad (08)$ $A_b = \frac{\pi d_b^2}{4} \quad (09)$

Fonte: Adaptado NBR 8800 (ABNT, 2008).

## 4.2 COMPRESSÃO

De acordo Pfeil e Pfeil (2009) as peças comprimidas são estipuladas como ao contrário do que as peças tracionadas. Sendo que enquanto o esforço de tração tende a diminuir o efeito de curvaturas, a compressão tende a aumentar esse efeito. Com isso os deslocamentos laterais gerados são conhecidos como flambagem por flexão, que reduz a capacidade de carga da peça em relação as peças tracionadas. Se tem ainda a flambagem local, caracterizada por instabilidade causado por aparecimento de deslocamentos transversais à chapa, formando ondulações, pode ser observado na Figura 19.

Segundo a NBR 8800 (ABNT, 2008), dimensionamento das barras prismáticas submetidas à força axial de compressão devem atender a condição da equação:

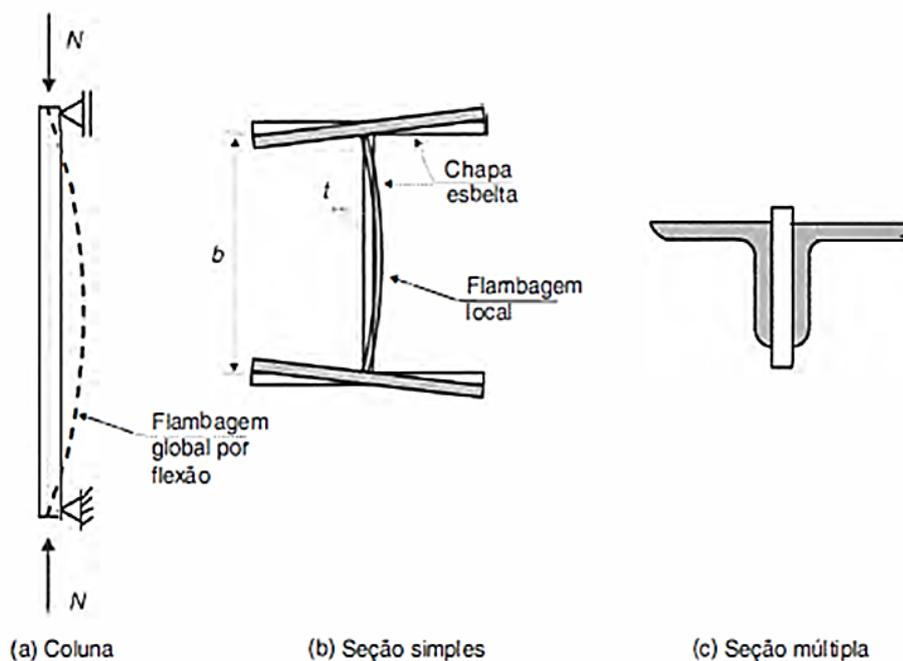
$$N_c, S_d \leq N_c, R_d \quad (10)$$

Onde:

$N_c, S_d$  é a força axial de compressão solicitante de cálculo

$N_c, R_d$  é a força axial de compressão resistente de cálculo

Figura 19 - Colunas de seção simples e seção múltipla



Fonte: PFEIL E PFEIL (2009).

São usadas para os cálculos de compressão as seguintes formulações apresentadas no Quadro 9.

**Quadro 9 - Formulação da força axial de compressão**

(continua)

Força de compressão	Fórmulas
Força resistente de cálculo	$N_{c,Rd} = \left( \frac{XQA_gf_y}{\gamma_{a1}} \right) \quad (11)$
Fator de redução X	Para $\lambda_0 \leq 1,5$ : $X = 0,658\lambda_0^2 \quad (12)$
	Para $\lambda_0 > 1,5$ : $X = \frac{0,877}{\lambda_0^2} \quad (13)$
	$(\lambda_0 = \sqrt{\frac{QA_gf_u}{N_e}}) \quad (14)$
Fator de redução Q	$Q = Q_s Q_a \quad (15)$

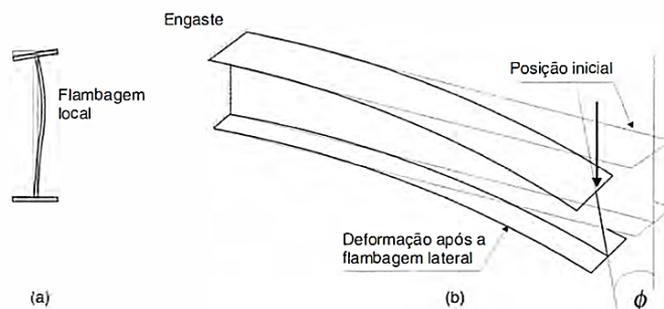
Fonte: Adaptado NBR 8800 (ABNT, 2008).

### 4.3 FLEXÃO

Conforme a NBR 8800, no dimensionamento referente a resistência à flexão, deve-se considerar os estados limites últimos, sendo alguns deles: flambagem lateral com torção (FLT), flambagem local da mesa comprimida (FLM) e flambagem local da alma (FLA). Também deve-se verificar os deslocamentos no estado limite de serviço.

De acordo com Pfeil e Pfeil (2009), flambagem local é a perda de estabilidade das chapas comprimidas que causa uma redução no momento resistente da seção, enquanto na flambagem lateral a viga perde o equilíbrio ocasionando deslocamentos laterais e torções, conforme apresentado na Figura 20.

**Figura 20 - Flambagem local e flambagem lateral em vigas**



Fonte: PFEIL E PFEIL (2009).

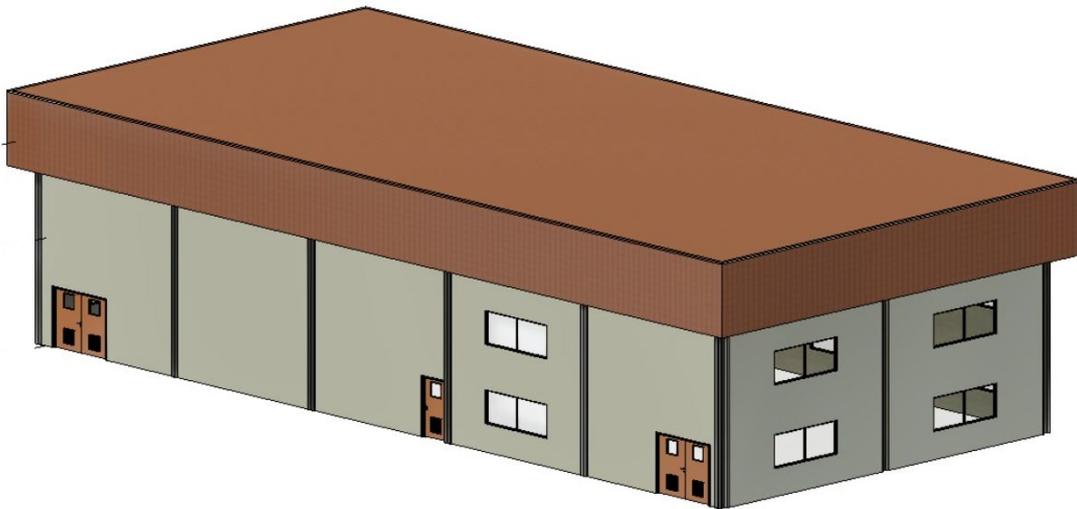
Para verificação dos cálculos da flexão serão contidas neste trabalho, anexo G da norma 8800/2008.

#### 4.4 CARGAS

Para a análise de dimensionamento, considerou-se um edifício hipotético, localizado no estado de Goiás. Edificação composta por estrutura metálica, lajes maciças em concreto armado. Este galpão industrial visa atender na área alimentícia no ramo de derivados de leite.

A indústria em questão conta com um pavimento térreo e um andar superior, totalizando 840m<sup>2</sup>, na Figura 21 é possível ver vista frontal e lateral da mesma. Sendo que o pé esquerdo (reboco, laje, contra-piso e revestimento) de 3,20 metros e altura total de 7,90 metros, considerando dois pavimentos, cobertura com caixa d'água.

**Figura 21 - Galpão industrial vista frontal e lateral direita**

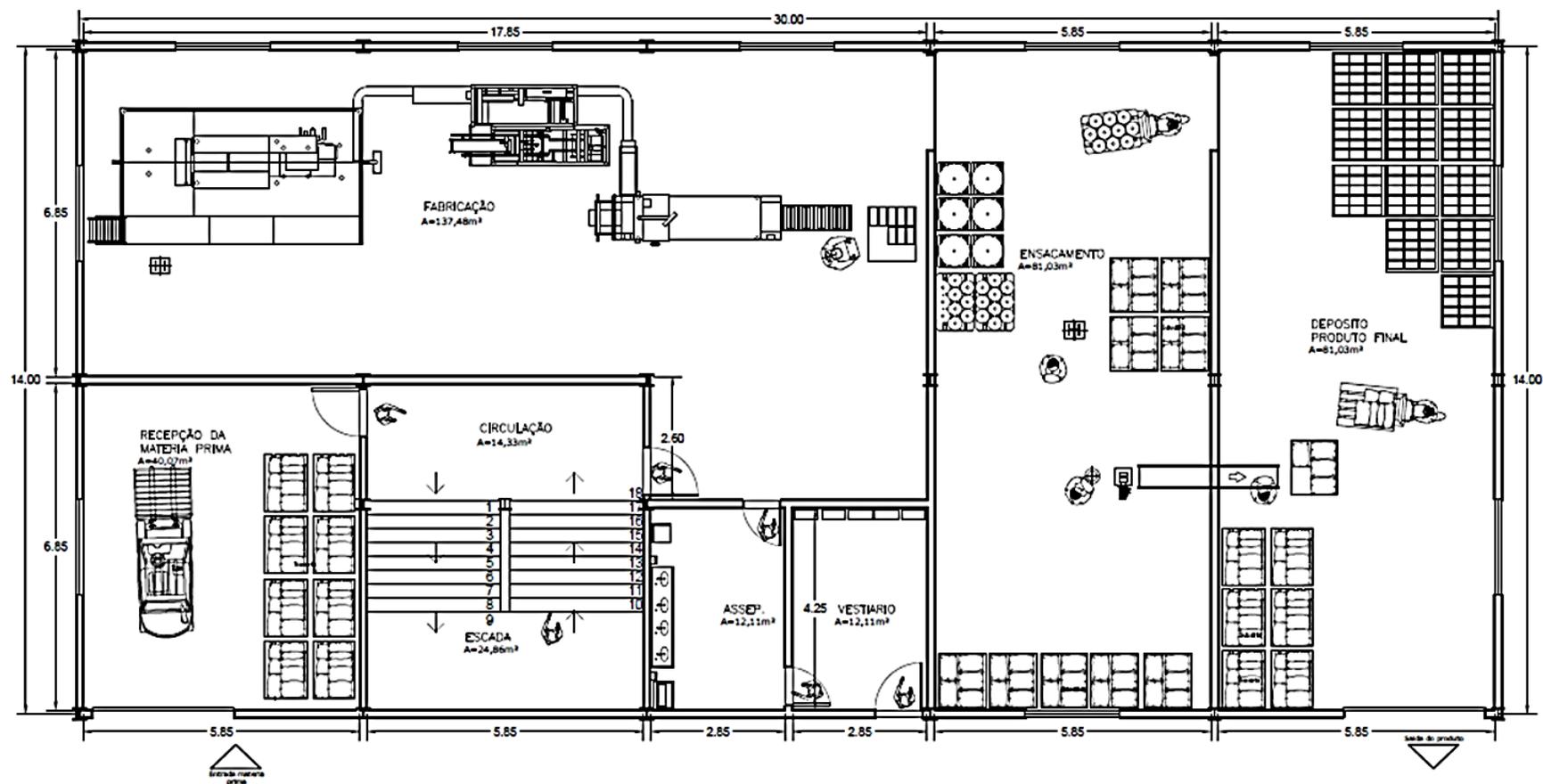


Fonte: ELABORADO PELOS AUTORES, 2021.

O projeto arquitetônico está disposto de forma ilustrativa na Figura 22 e Figura 23 e também no Apêndice A auxiliando na análise, para o dimensionamento. Para verificação da estrutura no programa, foi inicialmente terminada e calculada as cargas de cada ambiente dos pavimentos. Estas adquiridas de acordo com a norma “cargas para cálculo de estruturas de edificações” NBR 6120 (ABNT, 2019), na Tabela 6 é possível ver os valores.

Figura 22 – Planta Baixa layout pavimento térreo

Industria Alimentícia – Derivados do Leite

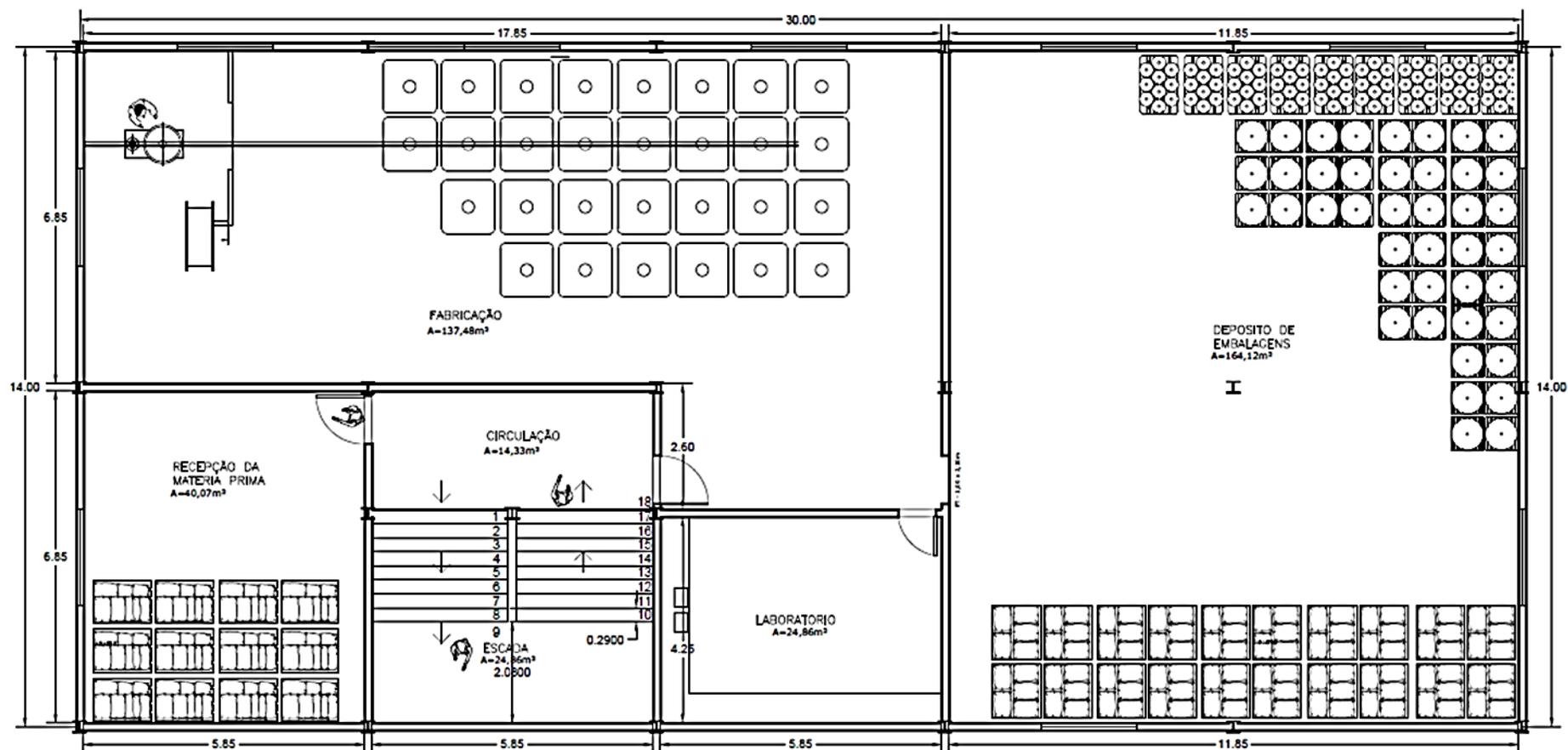


PLANTA LAYOUT – TERREO

Fonte: ELABORADO PELOS AUTORES, 2021.

Figura 23 – Planta baixa layout 1º Pavimento

Industria Alimentícia – Derivados do Leite

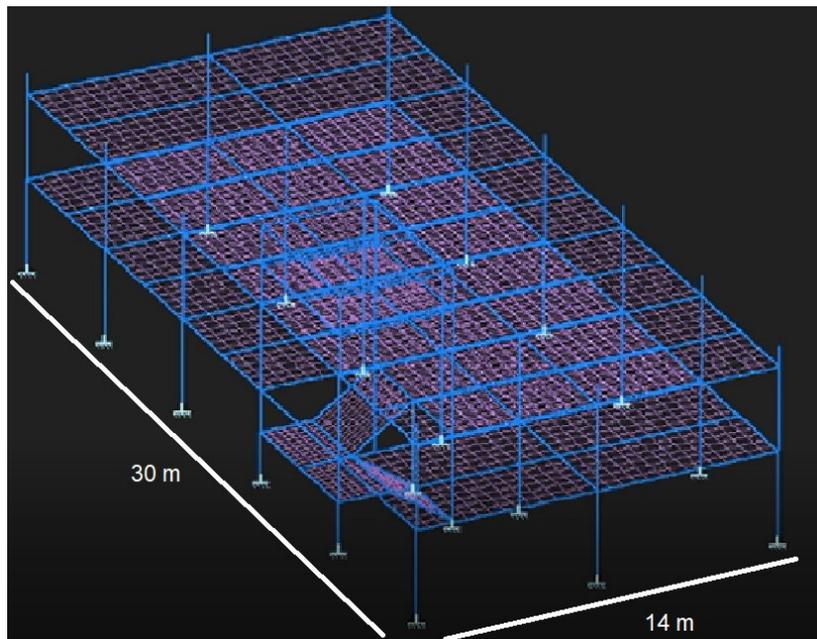


PLANTA LAYOUT – 1ºPAVIMENTO

Fonte: ELABORADO PELOS AUTORES, 2021.

O dimensionamento do edifício em estrutura metálica foi realizado com o auxílio do programa STRAP (Structural Analysis Programs), como apresentado na Figura 24. Este utilizado para análise estrutural por elementos diversos, possui avançados recursos para elaboração de vários tipos estruturais. Composto por uma biblioteca de estruturas típicas, que com alguns parâmetros é possível modelar modelos como pórticos planos, galpões, treliças, reservatórios e outros (SAE, 1994).

**Figura 24 – Estrutura de um galpão industrial**



Fonte: ATIR ENGINEERING SOFTWARE DEVELOPMENT LTD. (2021).

**Tabela 6 - Cargas por ambiente**

<b>Ambiente na planta baixa</b>	<b>Carga atribuída</b>
Recepção	200 Kgf/m <sup>2</sup>
Circulação	250 Kgf/m <sup>2</sup>
Escada	250 Kgf/m <sup>2</sup>
Assepsia	150 Kgf/m <sup>2</sup>
Vestiário	150 Kgf/m <sup>2</sup>
Fabricação	350 Kgf/m <sup>2</sup>
Ensacamento	350 Kgf/m <sup>2</sup>
Depósito	350 Kgf/m <sup>2</sup>
Laboratório	300 Kgf/m <sup>2</sup>

Fonte: Adaptado NBR 6120 (ABNT, 2019).

Foram efetuados os cálculos das sobrecargas como cobertura, laje, paredes externas e paredes internas. Para isso foram usados os seguintes dados:

- Laje maciça de 10 cm de espessura para cobertura;
- Capeamento da laje 4 cm de espessura;
- Laje maciça de piso de 2 cm de espessura;
- Alvenaria de espessura 10 cm;
- Reboco da alvenaria 4 cm, sendo 2 cm de cada lado;
- Pé de direito de piso a piso de 2,90 m;
- Revestimentos sobre laje de 130 Kgf/m<sup>2</sup>.

Estes dados foram estipulados de acordo com o projeto determinado em questão. As demais informações como o peso específico dos tijolos furados, argamassa de cimento e areia, concreto simples, concreto armado conforme a NBR 6120 (ABNT, 2019) são respectivamente 1300 Kgf/m<sup>3</sup>, 2100 Kgf/m<sup>3</sup>, 2400 Kgf/m<sup>3</sup> e 2500 Kgf/m<sup>3</sup>. O peso do drywall de 100 Kgf/m, valor obtido através dos fornecedores.

Os cálculos apresentados foram feitos a partir da norma “Projeto de estrutura de concreto - Procedimento” (NBR 6118, ABNT, 2014).

Fórmula de peso próprio

$$P_p = h \times \gamma \quad (16)$$

➤ Cobertura

$$\begin{aligned} \text{Laje maciça} &= 0,1 \times 2500 \\ \text{Laje maciça} &= 250 \text{ Kgf/m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Capeamento da laje} &= 0,04 \times 2400 \\ \text{Capeamento da laje} &\cong 100 \text{ Kgf/m}^3 \end{aligned}$$

➤ Laje (piso)

$$\begin{aligned} \text{Laje} &= 0,12 \times 2500 \\ \text{Laje} &= 300 \text{ Kgf/m}^3 \end{aligned}$$

➤ Paredes externas – Alvenaria

$$\begin{aligned} \text{Alvenaria} &= 0,10 \times 1300 \times 2,90 \\ \text{Alvenaria} &= 377 \text{ Kgf/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Reboco} &= 0,04 \times 2100 \times 2,90 \\ \text{Reboco} &= 243,60 \text{ Kgf/m} \end{aligned}$$

$$Total = 377 + 243,60$$

$$Total \cong 621 \text{ Kgf/m}$$

Não foram consideradas a existência de vigas baldrames, devido a utilização do piso industrial, no qual a empresa responsável já o dimensiona. Pois o mesmo é executado de forma semelhante a laje de concreto armado. A parte de concreto não será verificada por não ser o objetivo do trabalho.

Na Figura 25 e 26 observa-se os resultados obtidos pelos cálculos, sendo atribuído ao STRAP.

**Figura 25 - Carga total das paredes de alvenaria**



Fonte: ATIR ENGINEERING SOFTWARE DEVELOPMENT LTD. (2021).

**Figura 26 - Cargas das paredes de drywall**



Fonte: ATIR ENGINEERING SOFTWARE DEVELOPMENT LTD. (2021).

## 4.5 VENTOS

Conforme a (NBR 6123,ABNT,1988), para encontrar a velocidade característica do vento,  $V_k$ , deve-se multiplicar a velocidade básica do vento pelos os fatores  $S_1$ ,  $S_2$  e  $S_3$ , conforme a fórmula (17).

$$V_k = S_1 \times S_2 \times S_3 \quad (17)$$

Onde:

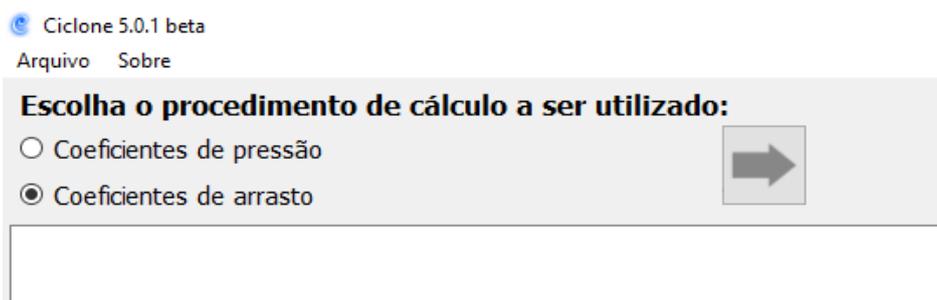
$S_1$  - Fator Topográfico;

$S_2$  - Fator que considera a influência da rugosidade do terreno, das dimensões da edificação ou parte da edificação em estudo, e de sua altura sobre o terreno;

$S_3$  - Fator baseado em conceitos probabilísticos.

Para determinar os fatores e a velocidade básica do vento, utilizou-se o software Ciclone em conjunto com a NBR 6123 (ABNT, 1988). Para determinar os coeficientes de arrasto, Figura 27, inseriu-se as dimensões do galpão conforme requerido pelo software, Figura 28. Em seguida, determina-se a velocidade básica, considerando que a construção seria realizada no estado de Goiás com ventos de 35m/s, conforme Figura 29.

**Figura 27 - Determinando coeficientes de arrasto no software Ciclone**



Fonte: UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS, (2021).

Figura 28- Inserindo as dimensões do galpão

Geometria

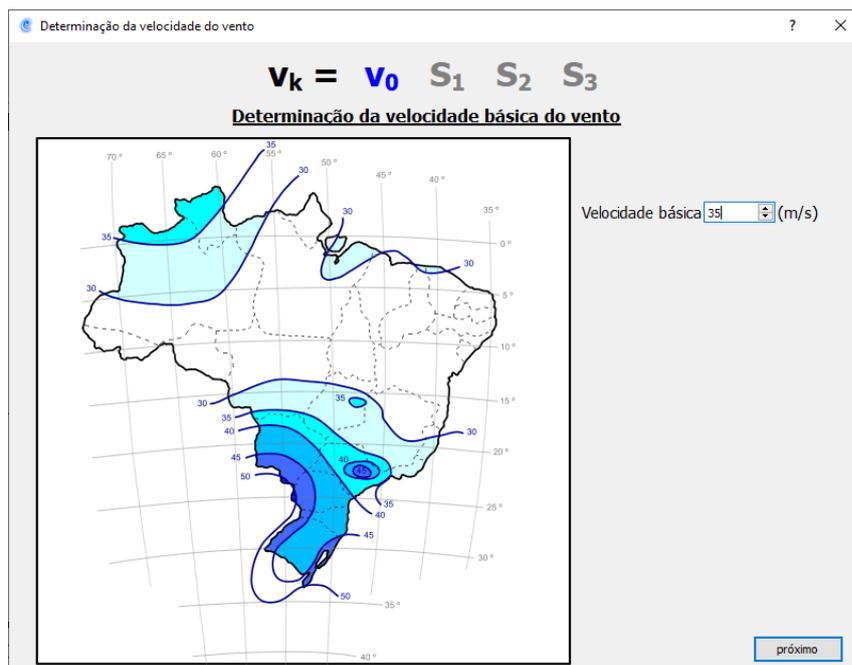
Obs.: Dimensões em metros

a  b  h

Cancelar OK

Fonte: UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS, (2021).

Figura 29 - Velocidade básica do vento



Fonte: UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS, (2021).

Em seguida, o fator  $S_1$  foi determinado conforme as condições topográficas do terreno, Figura 30, terrenos planos com poucas ondulações, fator  $S_1 = 1,00$ . O Fator  $S_2$ , determinou-se de acordo com as características da edificação, Figura 31, sendo:

- Rugosidade do Terreno – Categoria 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 considerado inferior ou igual a 1,0 m. Exemplos: zonas costeiras planas; pântanos com vegetação rala; campos de aviação; fazendas sem sebes ou muros.
- Dimensões da Edificação – Vento  $0^\circ$  - Classe A: Todas as unidades de vedação, seus elementos de fixação e peças individuais de estruturas sem vedação. Toda edificação na qual maior dimensão horizontal ou vertical não exceda 20m.
- Dimensões da Edificação – Vento  $90^\circ$  - Classe B: Toda edificação ou parte da edificação para a qual a maior dimensão horizontal ou vertical da superfície frontal esteja entre 20 m e 50 m.

Figura 30 - Definindo Fator  $S_1$

Determinação da velocidade do vento

$$V_k = V_0 S_1 S_2 S_3$$

**Fator topográfico -  $S_1$**

$S_1$  1,000

Terrenos planos com poucas ondulações  
 Vales protegidos do vento em todas as direções  
 Taludes  
 Morros

anterior próximo

Fonte: UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS, (2021).

Figura 31 - Definindo Fator S<sub>2</sub>

Determinação da velocidade do vento

$$V_k = V_0 S_1 S_2 S_3$$

**Fator de rugosidade do terreno e dimensões da edificação - S<sub>2</sub>**

**Rugosidade do terreno**

Categoria: **Categoria 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 1,0 m. *Exemplos: zonas costeiras planas; pântanos com vegetação rala; campos de aviação; fazendas sem sebes ou muros.*

II

**Dimensões da edificação**

**Vento 0°**

Classe: **Classe A:** (3 segundos) Todas as unidades de vedação, seus elementos de fixação e peças individuais de estruturas sem vedação. Toda edificação na qual a maior dimensão horizontal ou vertical não exceda 20 m.

A

**Vento 90°**

Classe: **Classe B:** (5 segundos) Toda edificação ou parte de edificação para a qual a maior dimensão horizontal ou vertical da superfície frontal esteja entre 20 m e 50 m.

B

**Valores de S<sub>2</sub>**

Altura	Vento 0°	Vento 90°
0,00 - 7,90 m	0,980	0,959

Nº intervalos 1

Calcular

anterior próximo

Fonte: UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS, (2021).

Para determinar o Fator S<sub>3</sub>, atribui-se Classe 3, sendo: Edificações e instalações industriais com baixo fator de ocupação (depósitos, silos, construções rurais e etc). Apresentada na Figura 31. Assim obteve-se os resultados apresentados na Figura 32.

Figura 32- Definindo fator S<sub>3</sub>

Determinação da velocidade do vento

$$V_k = V_0 S_1 S_2 S_3$$

**Fator estatístico - S<sub>3</sub>**

S<sub>3</sub> 0,950

**Classe** **Descrição**

1 Edificação cuja ruína total ou parcial pode afetar a segurança ou possibilidade de socorro a pessoas após uma tempestade destrutiva (hospitais, quartéis de bombeiros e de forças de segurança, centrais de comunicação, etc).

2 Edificações para hotéis e residências. Edificações para comércio e indústria com alto fator de ocupação.

3 Edificações e instalações industriais com baixo fator de ocupação (depósitos, silos, construções rurais, etc).

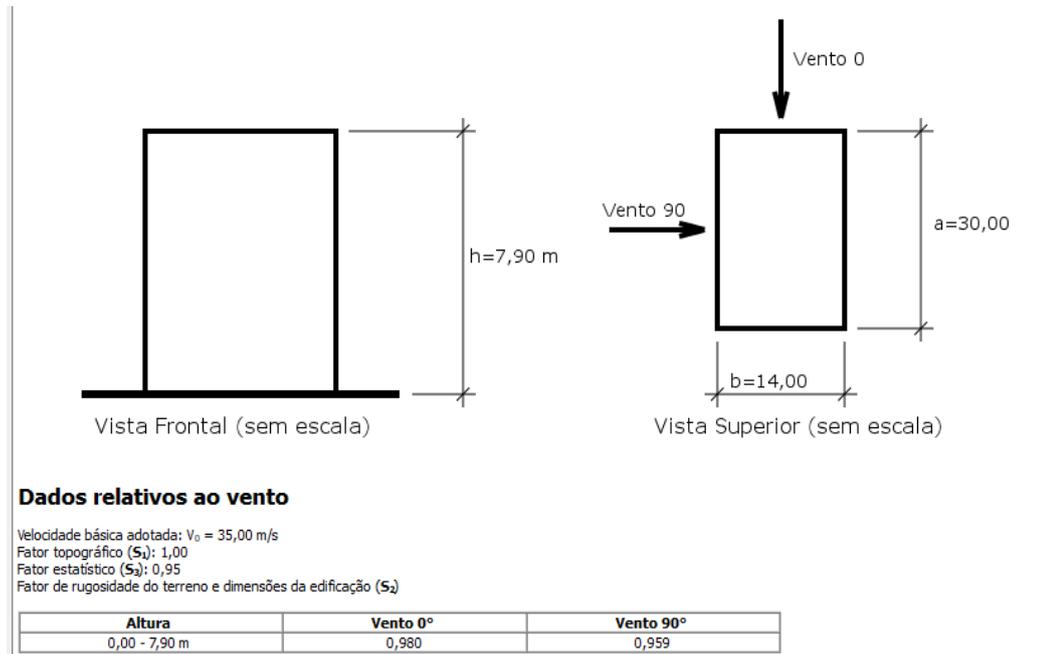
4 Vedação (telhas, vidros, painéis de vedação, etc).

5 Edificações temporárias. Estruturas dos Grupos 1 a 3 durante a fase de construção.

anterior concluir

Fonte: UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS, (2021).

**Figura 33- Resultados dos fatores S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub> e S<sub>3</sub>**



Fonte: UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS, (2021).

Com a velocidade básica e todos os fatores determinados, calculou-se a velocidade característica:

$$V_k = 35 \times 1 \times 1,02 \times 0,95$$

$$V_k = 33,915$$

Segundo a NBR 6123 (ABNT, 1988), com a velocidade característica do vento, determina-se a pressão dinâmica pela expressão:

$$q = 0,613 \times V_k^2 \quad (18)$$

$$q = 0,613 \times 33,915^2$$

$$q = 705,08 \text{ N/m}^2 \cong 75 \text{ kgf/m}^2$$

Em seguida calcula-se a força de arrasto do vento, com a expressão:

$$F_a = C_a \times q \times A_e \quad (19)$$

Onde:

$F_a$  – Força global na direção do vento;

$C_a$  – Coeficiente de arrasto;

$A_e$  - Área frontal efetiva

$$F_a = 1,0 \times 75 \times A_e$$

Para entrar no Strap, inseriu-se apenas  $C_a$  e  $q$ , pois  $A_e$ , o próprio programa já fará os cálculos.

#### 4.6 COMBINAÇÕES

A NBR 8800:2008 estabelece que uma sobrecarga seja definida pela combinação das ações que têm probabilidade não desprezível de atuarem simultaneamente sobre a estrutura durante um período preestabelecido. A verificação dos estados limites últimos e dos estados limites de serviço devem ser realizadas em função de combinações últimas e combinações de serviço, aderindo entre elas o pior caso.

Conforme a NBR 8800 (ABNT, 2008), uma combinação última de ações pode ser classificada em normal, especial, de construção e excepcional. Para cada combinação, aplica-se a equação 20.

$$F_d = \sum_{i=1}^m (\gamma_{gi} * F_{gi,k}) + \gamma_{Q1} * F_{q1,k} + \sum_{j=2}^n (\gamma_{qj} * \Psi_{0j} * F_{qj,k}) \quad (20)$$

Onde:

- $F_{gi,k}$  representa os valores característicos das ações permanentes;
- $F_{q1,k}$  valor característico da ação variável considerada principal na combinação;
- $F_{qj,k}$  representa os valores característicos das ações variáveis que podem atuar concomitantemente com a ação variável principal;
- $\gamma_g$  e  $\gamma_q$  representados na Tabela 7.
- $\Psi_0$  e  $\Psi_2$  representados na Tabela 8.

Tabela 7 – Valores dos coeficientes de ponderação das ações

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

Fonte: NBR 8800 (ABNT, 2008).

Tabela 8 - Valores dos fatores de combinação e redução para as ações variáveis

Ações	$\gamma_{f2}$ <sup>a</sup>			
	$\psi_0$	$\psi_1$ <sup>d</sup>	$\psi_2$ <sup>e</sup>	
Ações variáveis causadas pelo uso e ocupação	Locais em que não há predominância de pesos e de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, nem de elevadas concentrações de pessoas b)	0,5	0,4	0,3
	Locais em que há predominância de pesos e de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, ou de elevadas concentrações de pessoas c)	0,7	0,6	0,4
	Bibliotecas, arquivos, depósitos, oficinas e garagens e sobrecargas em coberturas	0,8	0,7	0,6
Vento	Pressão dinâmica do vento nas estruturas em geral	0,6	0,3	0
Temperatura	Variações uniformes de temperatura em relação à média anual local	0,6	0,5	0,3
Cargas móveis e seus efeitos dinâmicos	Passarelas de pedestres	0,6	0,4	0,3
	Vigas de rolamento de pontes rolantes	1,0	0,8	0,5
	Pilares e outros elementos ou subestruturas que suportam vigas de rolamento de pontes rolantes	0,7	0,8	0,4

Fonte: NBR 8800 (ABNT, 2008).

Em relação às combinações de serviço, a NBR 8800 (2008, p.21) classifica, de acordo com sua permanência na estrutura, em quase permanentes, frequentes e raras, de acordo com a equação 21.

$$F_{ser} = \sum_{i=1}^m F_{gi,k} + \sum_{j=1}^n (\Psi_{2j} * F_{qj,k}) \quad (21)$$

Para determinar o pior caso das combinações, utilizou-se o software Strap em conjunto com a NBR 8800 (ABNT, 2008). Inseriu-se os coeficientes das cargas variantes e permanentes pelo software, Tabela 9. Em seguida o próprio obteve os piores casos o qual foi referência para a verificação da flecha.

**Tabela 9 - Coeficiente de combinação de cargas**

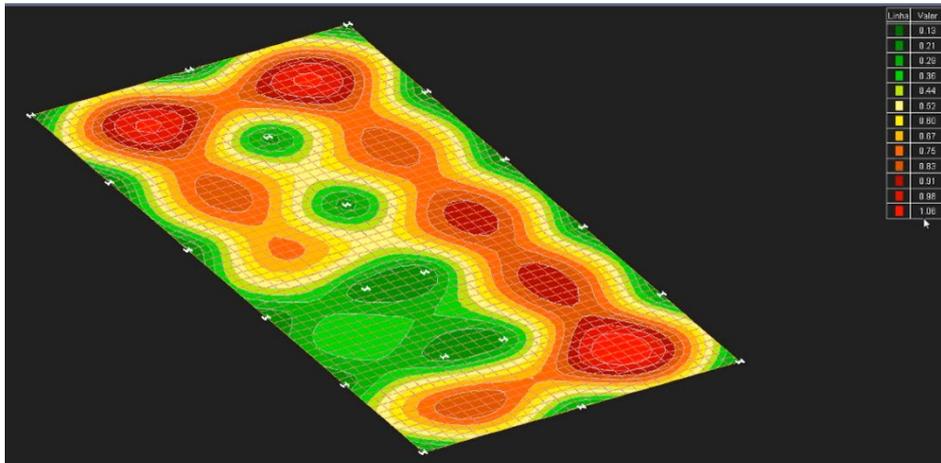
Combinação	P.P vigas	P.P. aço	P.P lajes	Alvenarias	Revestimento laje (pisos)	Caixa d'agua
<b>CB1</b>	1,35	1,25	1,35	1,35	1,35	1,5
<b>CB2</b>	1,35	1,25	1,35	1,35	1,35	1,5
<b>CB3</b>	1,35	1,25	1,35	1,35	1,35	1,5
<b>CB4</b>	1,35	1,25	1,35	1,35	1,35	1,5
<b>CB5 - DESL</b>	1	1	1	1	1	1
Combinação	Sobrecarga escada	Sobrecarga laje forro	Vento 0	Vento 90	Vento 180	Vento 270
<b>CB1</b>	1,5	1,5	0,84			
<b>CB2</b>	1,5	1,5		0,84		
<b>CB3</b>	1,5	1,5			0,84	
<b>CB4</b>	1,5	1,5				0,84
<b>CB5 - DESL</b>	0,4	0,4				

Fonte: ELABORADO PELOS AUTORES, 2021

#### 4.7 DESLOCAMENTOS

Os valores máximos para deslocamentos verticais e horizontais são apresentados e detalhados no Anexo C de acordo com a NBR 8800 (ABNT, 2008). Na Figura 34, apresenta-se o mapa de contorno com os deslocamentos máximos em vermelhos. Tomando como base os resultados apresentados, realizou-se os cálculos para deslocamentos e observa-se que mesmo o maior deslocamento passou nas devidas verificações.

Figura 34 – Mapa de contorno dos deslocamentos da estrutura



Fonte: ATIR ENGINEERING SOFTWARE DEVELOPMENT LTD. (2021).

- Horizontal global
  - Flecha permitida  $h/400 = 720,00/400 = 1,8 \text{ cm}$
  - De acordo com o software Strap a maior flecha:
    - $x1 = 0,197 \text{ cm} > 1,8 \text{ cm}$
    - $x3 = 0,0086 \text{ cm} > 1,8 \text{ cm}$
    - OK!
  
- Vertical
  - Forro
    - Flecha permitida  $l/250$
    - $700,00/250 = 2,8 \text{ cm}$  e  $600/250 = 2,4 \text{ cm}$
    - De acordo com o software Strap a maior flecha:
    - $X = 0,76 \text{ cm} < 2,8$  e  $2,4 \text{ cm}$ .
    - OK!
  
  - Piso
    - Flecha permitida  $l/350$
    - $600/350 = 1,71 \text{ cm}$  e  $700/350 = 2,0 \text{ cm}$
    - De acordo com o software Strap a maior flecha:
    - $X = 1,27 \text{ cm} < 1,71$  e  $2,0 \text{ cm}$ .
    - OK!

- Revestimento
  - Flecha permitida  $l/350$
  - $440/350 = 1,25$  cm
  - De acordo com o software Strap a maior flecha:
  - $X = 1,24$  cm  $< 1,25$
  - OK!

## 4.8 DIMENSIONAMENTO ELU PILARES E VIGAS

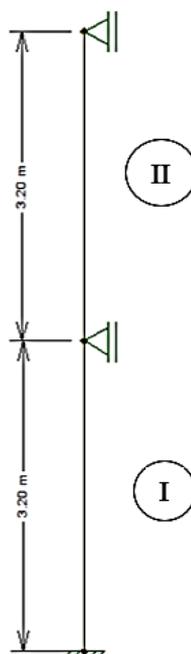
### 4.8.1 Pilares

O perfil HP 250x62 foi utilizado para os pilares. Para a verificação de valores solicitantes usou-se o Pilar P12, conforme Planta de Eixos da Figura 35 que também está contida no Apêndice A deste trabalho, este possui momento solicitante de projeto de 1551 kN x cm e esforço solicitante de compressão é 563 kN, pode-se verificar na Figura 36 e Figura 37.

No Quadro 10, observa-se os valores resistentes do pilar, todos os valores resistentes são superiores aos valores solicitantes de projeto, atendendo assim aos critérios, estabelecidos na norma.

Para o cálculo de verificação da esbeltez global do pilar definiu-se em Trecho I e Trecho II, conforme Figura 35.

Figura 35 – Trecho I e II



Fonte: ELABORADO PELOS AUTORES, (2021).

## 4.8.1.1 Verificação da esbeltez global:

$$\lambda x = \frac{K \times L}{r} \quad (22)$$

Trecho 1

$$\lambda x = \frac{0,8 \times 320}{10,47}$$

$$\lambda y = 24,45 < 200 \text{ OK!}$$

Trecho 2

$$\lambda y = \frac{1,0 \times 320}{6,13}$$

$$\lambda y = 52,20 < 200 \text{ OK!}$$

## 4.8.1.2 Compressão:

Verificações quando a esbeltez nos eixos x e y

x – x:

$$\lambda x = \frac{0,8 \times 320}{10,47}$$

$$\lambda x = 24,45 < 200 \text{ OK!}$$

y – y:

$$\lambda y = \frac{0,8 \times 320}{6,13}$$

$$\lambda y = 41,76 < 200 \text{ OK!}$$

x – x:

$$\lambda x = \frac{1 \times 320}{10,47}$$

$$\lambda x = 30,46 < 200 \text{ OK!}$$

y – y:

$$\lambda y = \frac{1 \times 320}{6,13}$$

$$\lambda y = 52,20 < 200 \text{ OK}$$

## 4.8.1.3 Verificação quanto à flambagem local

$$AL \Rightarrow Mesa = \frac{b}{t} = \frac{bf}{2tf} \quad (23) \quad AA \Rightarrow Alma = \frac{b}{t} = \frac{d'}{t_w} \quad (23)$$

$$Mesa = 11,96 < 13,5 \text{ OK}$$

$$Alma = 19,10 < 36 \text{ OK}$$

$$Q_s = 1$$

$$Q_a = 1$$

$$Q = Q_s \times Q_a \quad (24)$$

$$Q = 1$$

Selecionou-se o valor de  $\lambda$  mais desfavorável  $\lambda_y = 52,20$  e assim realizou-se os cálculos para fator de redução “x”.

#### 4.8.1.4 Fator de redução x

$$\lambda_0 = \frac{K \times l}{r} \sqrt{\frac{Q \times F_y}{\pi^2 \times E}} \quad (25)$$

$$\lambda_0 = 52,20 \times \sqrt{\frac{1 \times 34,5}{\pi^2 \times 20000}}$$

$$\lambda_0 = 0,689 \Rightarrow x' = 0,819$$

#### 4.8.1.5 Cálculo da força resistente

$$N_d = \frac{x \times Q \times A_g \times F_y}{\gamma_{a1}} \quad (26)$$

$$N_d = \frac{0,819 \times 1 \times 79,60 \times 34,50}{1,10}$$

$$N_d = 2044,67 \text{ kN}$$

#### 4.8.1.6 Flexão

FLM

$$\lambda = 11,96$$

$$\lambda_p = 0,38 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (27)$$

$$\lambda_p = 0,38 \sqrt{\frac{20000}{34,5}}$$

$$\lambda_p = 9,15$$

$$\lambda_r = 0,83 \sqrt{\frac{E}{0,7 \times f_y}} \quad (28)$$

$$\lambda_r = 0,83 \sqrt{\frac{20000}{0,7 \times 34,5}}$$

$$\lambda_r = 23,89$$

$$M_{rd} = \frac{1}{\gamma_{a1}} \times \left[ M_{pl} - (M_{pl} - M_r) \times \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \right] \quad (29)$$

$$M_{pl} = Z_x \times f_y \quad (30)$$

$$M_{pl} = 790,5 \times 34,5$$

$$M_{pl} = 27272,25$$

$$M_r = 0,70 \times f_y \times W_x \quad (31)$$

$$M_r = 0,70 \times 34,5 \times 709,6$$

$$M_r = 17136,84$$

$$M_{rd} = \frac{1}{1,10} \times \left[ 27272,25 - (27272,25 - 17136,84) \times \frac{11,96 - 9,15}{23,89 - 9,15} \right]$$

$$M_{rd} = 23036,41 \text{ kN} \cdot \text{cm}$$

FLA

$$\lambda = 19,10$$

$$\lambda_p = 3,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (32)$$

$$\lambda_p = 3,76 \sqrt{\frac{20000}{34,5}}$$

$$\lambda_p = 90,53$$

Para  $\lambda < \lambda_p$ , calcula-se:

$$M_{pl} = Z_x \times f_y \quad (33)$$

$$M_{pl} = 709,5 \times 34,5$$

$$M_{pl} = 27272,25 \text{ kN} \cdot \text{cm}$$

$$M_{rd} = \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}} \quad (34)$$

$$M_{rd} = \frac{27272,25}{1,10}$$

$$M_{rd} = 24792,25 \text{ kN} \cdot \text{cm}$$

FLT

$$L_b = 320$$

$$\lambda = \frac{L_b}{r_y} \quad (35)$$

$$\lambda = \frac{320}{6,13}$$

$$\lambda = 52,20$$

$$\lambda_p = 1,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (36)$$

$$\lambda_p = 1,76 \sqrt{\frac{20000}{34,5}}$$

$$\lambda_p = 42,38$$

Para  $\lambda > \lambda_p$ , calcula-se:

$$\beta_1 = \frac{(f_y - \sigma_r)W_r}{E \times J} \quad (37)$$

$$\beta_1 = \frac{0,70 \times 34,5 \times 709,6}{20000 \times 33,46}$$

$$\beta_1 = 2,5608 \times 10^{-2}$$

$$\lambda_r = \frac{1,38\sqrt{I_y J}}{r_y J \beta_1} \times \sqrt{1 + \sqrt{1 + \frac{27 C_w \beta_1^2}{I_y}}} \quad (38)$$

$$\lambda_r = \frac{1,38\sqrt{2995 \times 33,46}}{6,13 \times 33,46 \times 2,5608 \times 10^{-2}} \times \sqrt{1 + \sqrt{1 + \frac{27 \times 417130 \times 2,5608 \times 10^{-22}}{2995}}}$$

$$\lambda_r = 140,73$$

$$M_r = 0,70 \times 34,5 \times 709,6$$

$$M_r = 17136,84 \text{ kN}$$

Utilizou-se  $C_b = 1,00$  a favor da segurança:

$$M_z = \frac{1}{1,10} \times \left[ 27272,25 - (27272,25 - 17136,84) \times \frac{52,20 - 42,38}{140,73 - 42,38} \right]$$

$$M_z = 23872,93 \text{ kN} \cdot \text{cm}$$

$$M_{rd} (FLM) = 23036,4 \text{ kN} \cdot \text{cm} \text{ (Momento resultante)}$$

$$M_{rd} (FLA) = 24792,25 \text{ kN} \cdot \text{cm}$$

$$M_{rd} (FLT) = 23872,93 \text{ kN} \cdot \text{cm}$$

#### 4.8.1.7 Forças Combinadas (Flexo Compressão):

Os dados a seguir foram retirados do STRAP para uma melhor precisão de resultados.

$$\frac{N_{sd}}{N_{rd}} \geq 0,2 \quad (39)$$

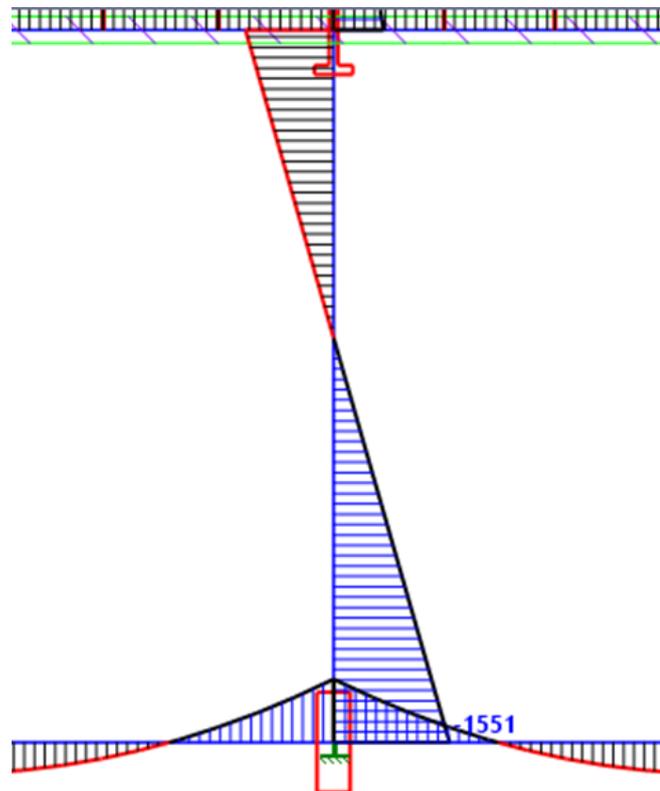
$$\frac{N_{sd}}{N_{rd}} = \frac{563}{2044,67}$$

$$\frac{N_{sd}}{N_{rd}} = 0,28 > 0,2$$

$$\frac{N_{sd}}{N_{rd}} + \frac{8}{9} \times \left( \frac{M_x, S_d}{M_x, R_d} + \frac{M_y, S_d}{M_y, R_d} \right) \leq 1,0 \quad (40)$$

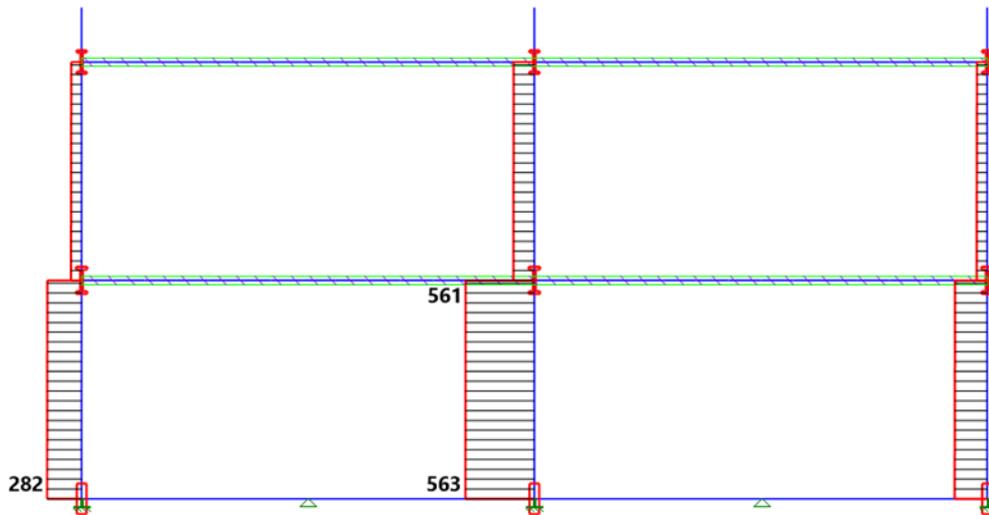
$$0,28 + \frac{8}{9} \times \left( \frac{1819,35}{23036,4} + \frac{5949,33}{9901,47} \right) = 0,88 < 1,0 \text{ OK}$$

**Figura 36 – Momento fletor solicitante de projeto trecho I pilar HP 250x62**



Fonte: ATIR ENGINEERING SOFTWARE DEVELOPMENT LTD. (2021).

**Figura 37 – Força axial solicitante de projeto trecho I pilar HP 250x62**



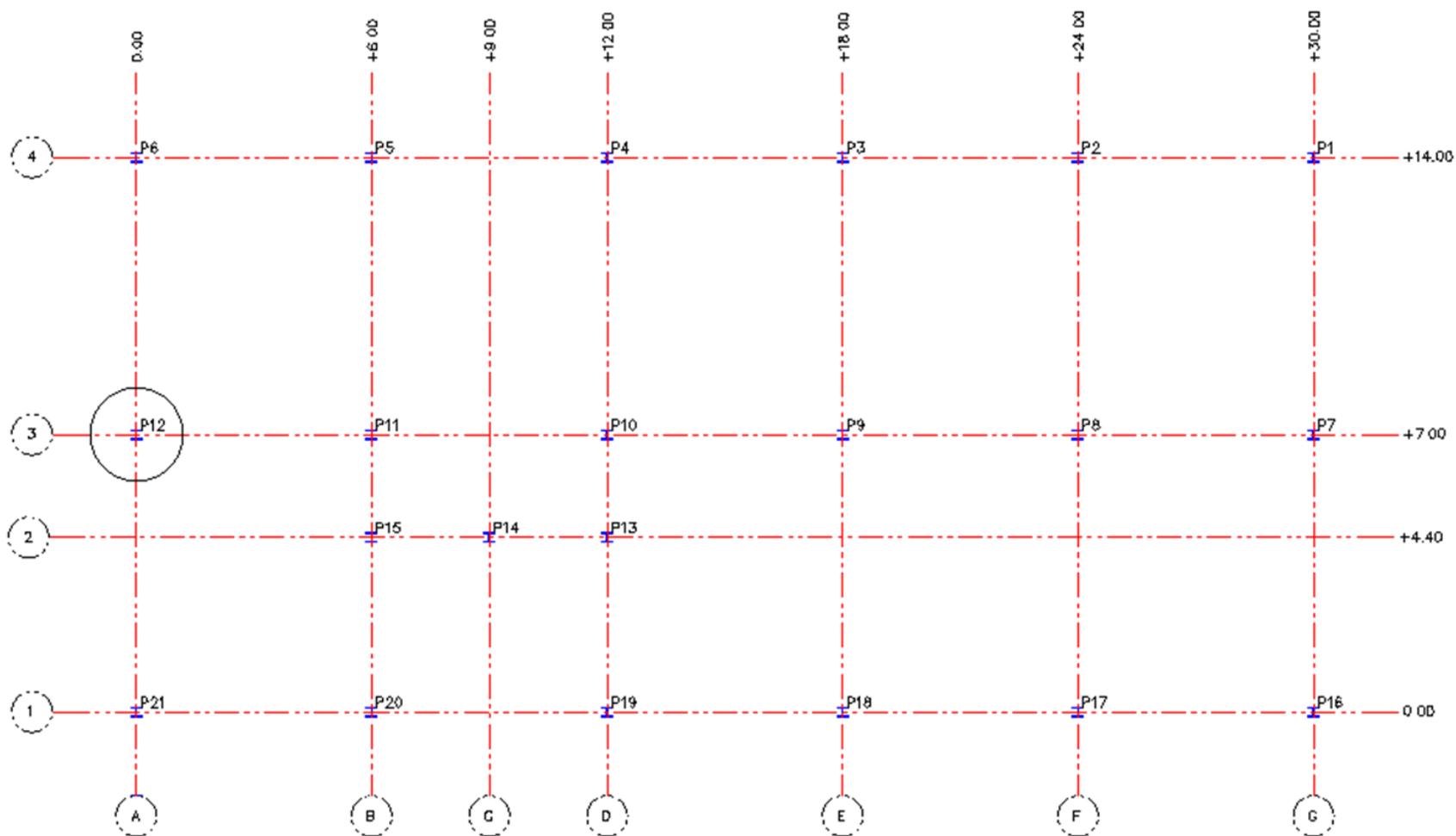
Fonte: ATIR ENGINEERING SOFTWARE DEVELOPMENT LTD. (2021).

**Quadro 10 - Verificação dos resultados para o pilar HP250X62,2**

<b>Verificação de esbeltez</b>	Em torno do eixo x $\lambda_x = 30,46 < 200 \text{ OK!}$
	Em torno do eixo y $\lambda_y = 52,20 < 200 \text{ OK!}$
<b>Verificação quanto à compressão</b>	$N_{C,Rd} = 2044,67 \text{ kN} > N_{s,sd} = 563 \text{ kN}$
<b>Verificação da resistência a flexão</b>	$M_{Rd} = 23036,4 \text{ kN} \cdot \text{cm} > M_{sd} = 1551 \text{ kN}$
<b>Verificação das forças combinadas</b>	$\frac{N_{sd}}{N_{rd}} + \frac{8}{9} \times \left( \frac{M_x, S_d}{M_x, R_d} + \frac{M_y, S_d}{M_y, R_d} \right) \leq 1,0$ $0,28 + \frac{8}{9} \times \left( \frac{1819,35}{23036,4} + \frac{5949,33}{9901,47} \right)$ $= 0,88 < 1,0 \text{ OK}$

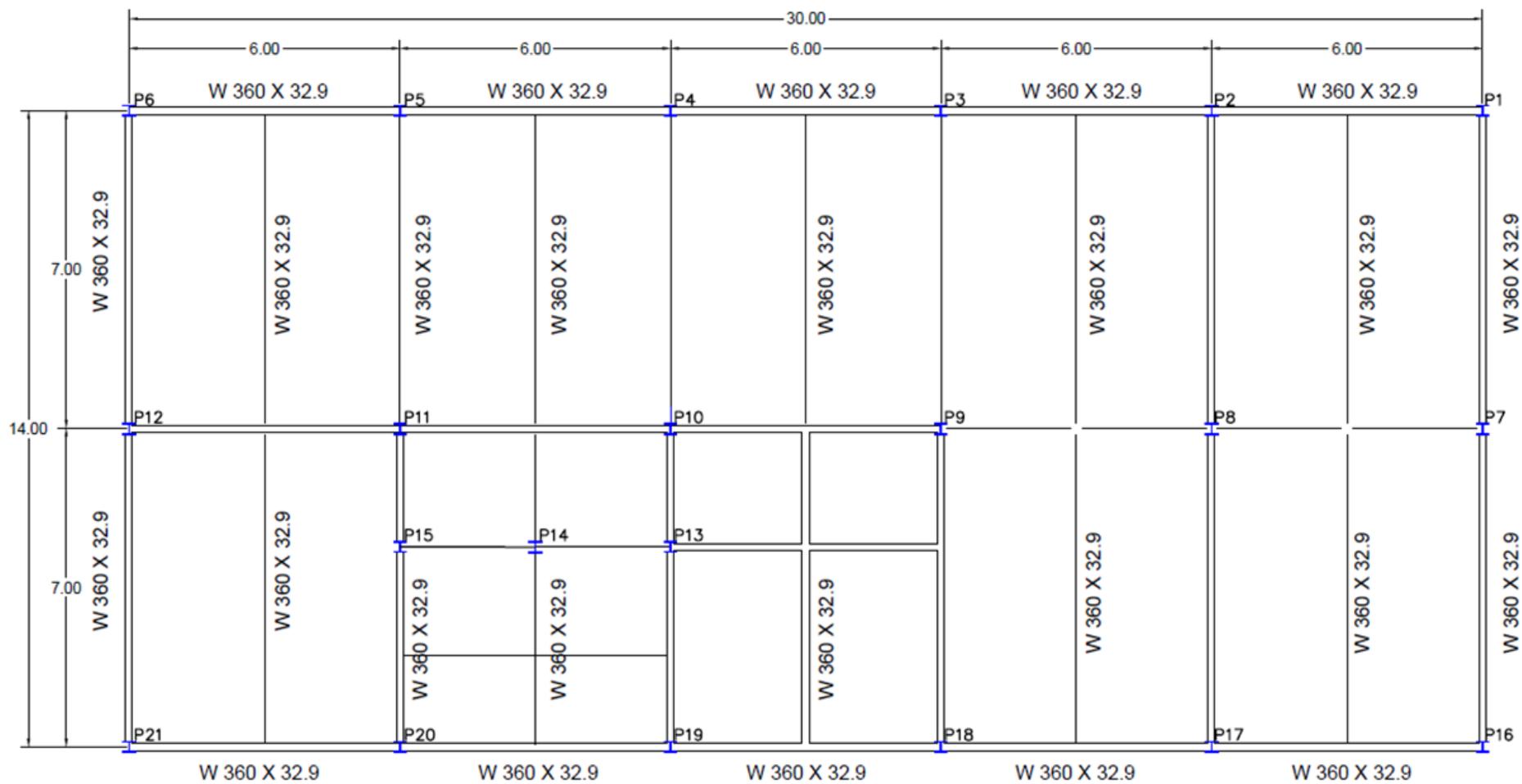
Fonte: ELABORADO PELOS AUTORES, 2021.

Figura 38 - Planta de Eixos dos Pilares



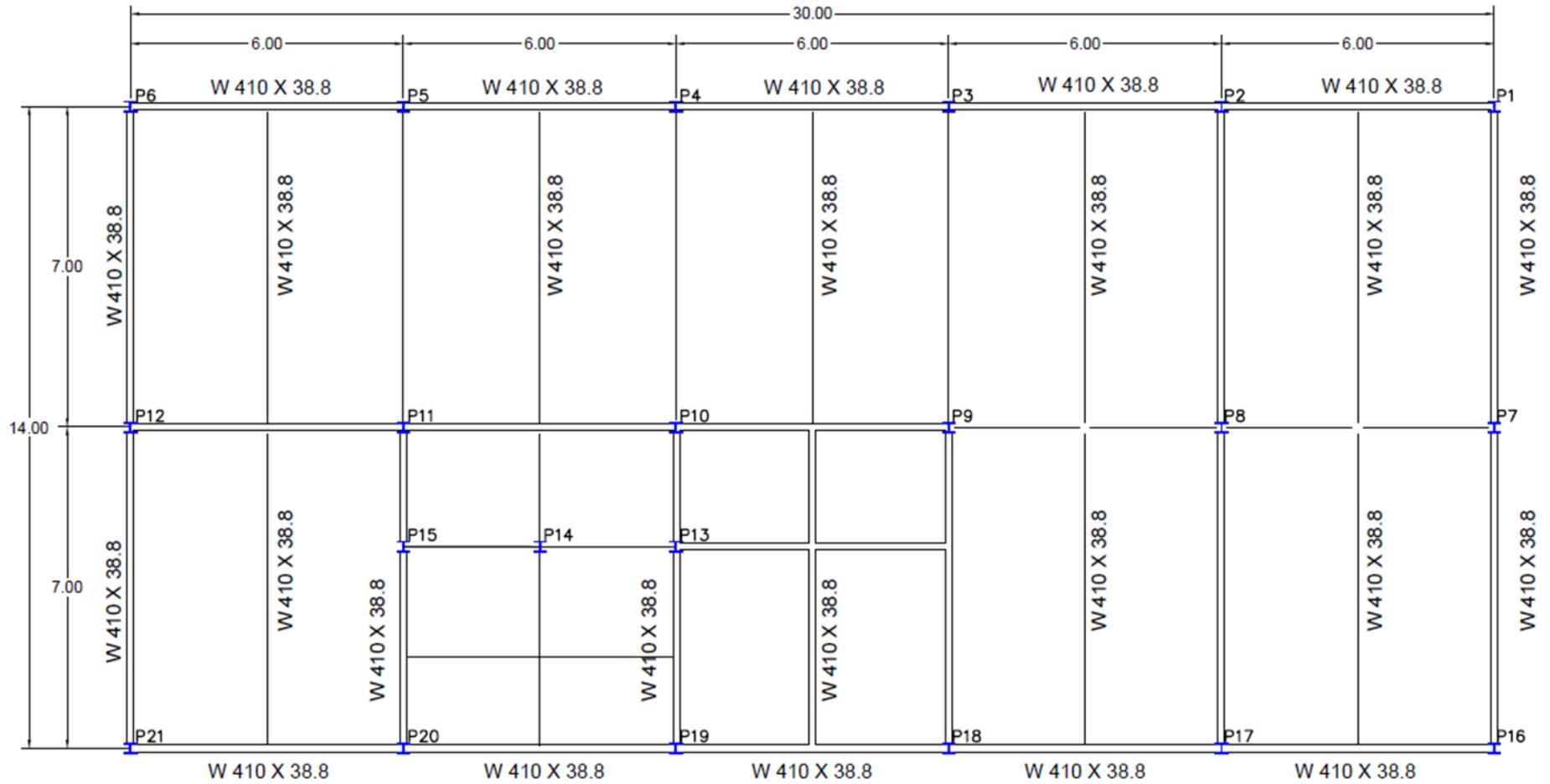
Fonte: ELABORADO PELOS AUTORES, (2021).

Figura 39 - Vigas de Cobertura W360x32,9



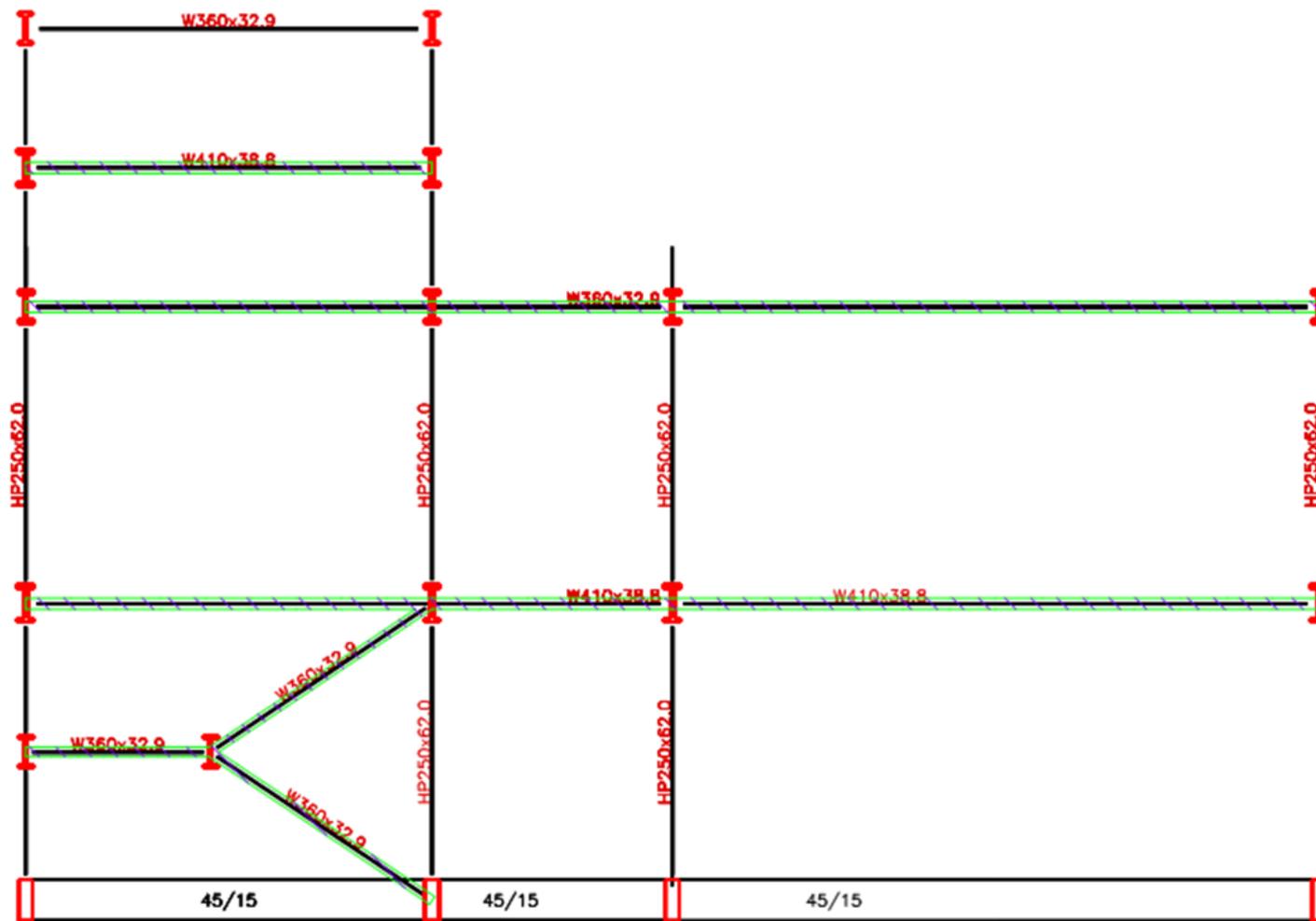
Fonte: ELABORADO PELOS AUTORES, (2021).

Figura 40 – Vigas de Piso



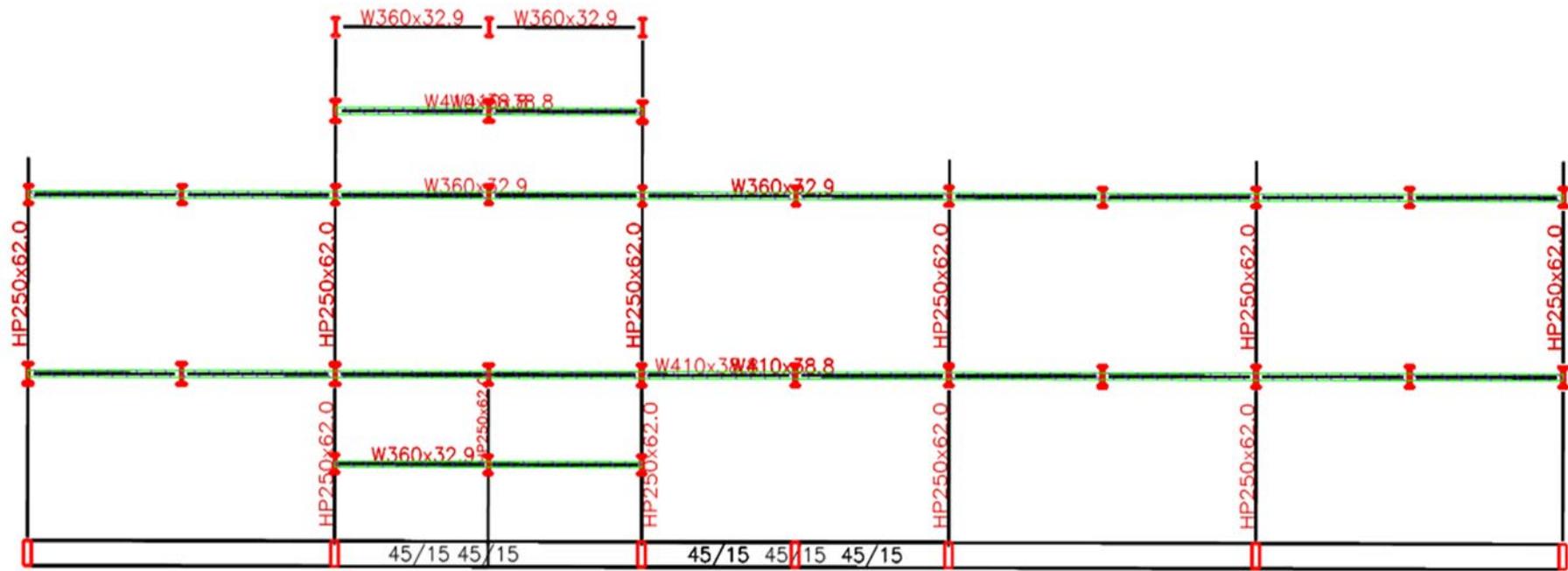
Fonte: ELABORADO PELOS AUTORES, (2021).

Figura 41 - Corte Transversal da estrutura metálica



Fonte: ATIR ENGINEERING SOFTWARE DEVELOPMENT LTD. (2021).

Figura 42 – Corte longitudinal da estrutura metálica



Fonte: ATIR ENGINEERING SOFTWARE DEVELOPMENT LTD. (2021).

#### 4.8.2 Vigas de cobertura

Para as vigas de cobertura utilizou-se um perfil W360x32,9. Conforme apresentado em Figura 39, Figura 41 e Figura 42. O momento solicitante máximo de projeto é 5599 kN x cm e o esforço solicitante de cisalhamento máximo é 37,8 kN, conforme Figura 43 e Figura 44.

No Quadro 11, observa-se os valores resistentes, sendo possível observar que todos os resistentes são superiores os valores solicitantes de projeto, atendendo assim aos critérios estabelecidos.

Passo a passo cálculo da viga W360x32,9:

##### 4.8.2.1 Verificação da resistência do cisalhamento

$$\lambda = \frac{h}{t_w} \quad (41)$$

$$\lambda = \frac{332}{5,8}$$

$$\lambda = 57,24$$

$$\lambda_p = 1,10 \sqrt{\frac{K_v \times E}{f_y}} \quad (43)$$

$$\lambda_p = 1,10 \sqrt{\frac{5 \times 20000}{34,5}}$$

$$\lambda_p = 59,22$$

$$\lambda_r = 1,37 \sqrt{\frac{K_v \times E}{f_y}} \quad (42)$$

$$\lambda_r = 1,37 \sqrt{\frac{5 \times 20000}{34,5}}$$

$$\lambda_r = 73,76$$

Como  $\lambda > \lambda_r$  então:

$$V_{Rd} = 1,24 \times \left(\frac{\lambda_p}{\lambda}\right)^2 \times \frac{V_{al}}{\gamma_{as}} \quad (43)$$

$$A_w = d \times t_0 \quad (44)$$

$$V_{pl} = 0,60 \times A_w \times f_y \quad (45)$$

$$A_w = 349 \times 5,8$$

$$A_w = 2024,2 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl} = 0,60 \times 2024,2 \times 34,5$$

$$V_{pl} = 41900,94 \text{ KN}$$

$$V_{Rd} = 1,24 \times \left( \frac{59,22}{57,24} \right)^2 \times \frac{41900,94}{1,10}$$

$$V_{Rd} = 50558,05 \text{ KN}$$

#### 4.8.2.2 Verificação quanto à flambagem local

FLM e FLA

$$Mesa = 7,47$$

$$Alma = 53,10$$

$$\lambda_p = 0,38 \sqrt{\frac{20000}{34,5}}$$

$$\lambda_p = 9,15$$

$$M_{pl} = 547,6 \times 34,5$$

$$M_{pl} = 18892,2 \text{ KN/cm}$$

$$M_{rd} = \frac{18892,2}{1,10}$$

$$M_{rd} = 17174,7 \text{ KN} \times \text{cm}$$

$$\lambda_p = 3,76 \sqrt{\frac{20000}{34,5}}$$

$$\lambda_p = 90,53$$

$$\lambda_r = 5,70 \sqrt{\frac{20000}{34,5}}$$

$$\lambda_p = 137,241$$

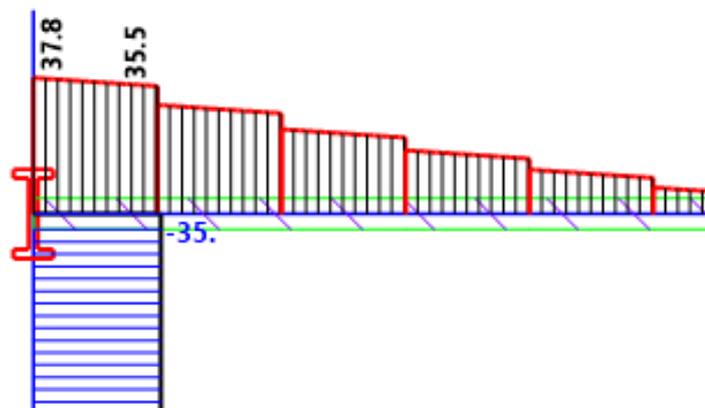
Como  $\lambda < \lambda_p$  então:

$$M_{rd} = 17174,2 \text{ KN} \times \text{cm} \quad \Rightarrow \text{para FLA, nesta situação é igual.}$$

#### 4.8.2.3 FLT

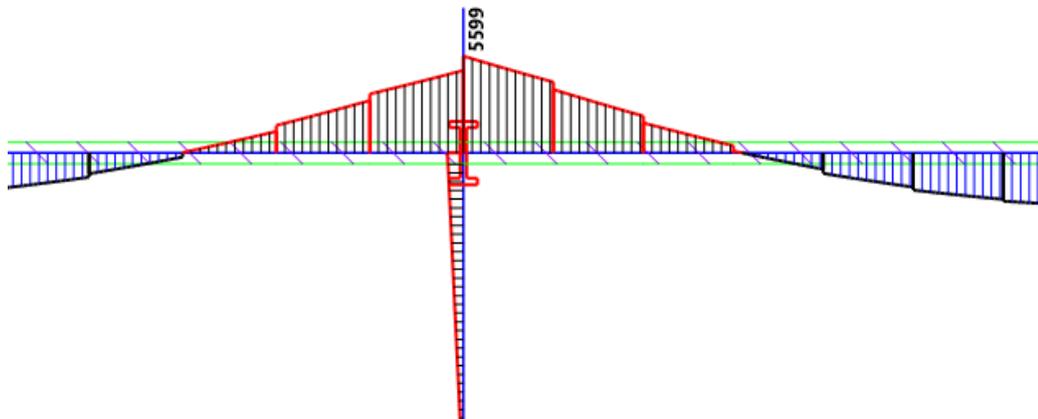
Considerando que as lajes são maciças e que foram usados conectores na mesa superior, não há possibilidade de flambagem lateral, pois a laje de concreto promove o travamento lateral da viga em toda a sua extensão, por isso não se verificou FLT.

**Figura 43 – Força cortante solicitante de projeto viga W360x62**



Fonte: ATIR ENGINEERING SOFTWARE DEVELOPMENT LTD. (2021).

**Figura 44 – Momento fletor solicitante de projeto viga W360x62**



Fonte: ATIR ENGINEERING SOFTWARE DEVELOPMENT LTD. (2021)

Quadro 11 - Verificação dos resultados para a viga W360X32,9

<b>Verificação da resistência ao cisalhamento</b>	$V_{Sd} = 37,8 \text{ kN} < N_{s,Rd} = 50558 \text{ KN}$
<b>Verificação quanto à flexão</b>	$M_{Sd} = 5599 \text{ kN} \cdot \text{cm} < M_{Rd} = 17174 \text{ KN} \cdot \text{cm}$

Fonte: ELABORADO PELOS AUTORES, 2021

### 4.8.3 Vigas de piso

Para as vigas de piso utilizou-se um perfil W410x38,8. Conforme apresentado em Figura 40, Figura 41 e Figura 42. Sendo o momento solicitante de projeto máximo 13442 kN x cm e o esforço solicitante de cisalhamento máximo é 88,2 kN, presente na Figura 45 e Figura 46.

No Quadro 12, observa-se os valores resistentes, sendo possível observar que todos os resistentes são superiores os valores solicitantes de projeto, atendendo assim aos critérios estabelecidos.

#### 4.8.3.1 Verificação da resistência do cisalhamento

$$\lambda = \frac{381}{6,4}$$

$$\lambda = 59,53$$

$$\lambda_p = 1,10 \sqrt{\frac{5 \times 20000}{34,5}}$$

$$\lambda_p = 59,22$$

$$\lambda_r = 1,37 \sqrt{\frac{5 \times 20000}{34,5}}$$

$$\lambda_r = 73,76$$

Como  $\lambda > \lambda_r$  então:

$$A_w = 399 \times 6,4$$

$$A_w = 2553,60 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl} = 0,60 \times 2553,6 \times 34,5$$

$$V_{pl} = 52859,52 \text{ KN}$$

$$V_{Rd} = 1,24 \times \left( \frac{59,22}{59,53} \right)^2 \times \frac{52859,52}{1,10}$$

$$V_{Rd} = 59276,80 \text{ kN}$$

## 4.8.3.2 Verificação quanto à flambagem local

FLM e FLA

$$Mesa = 7,95$$

$$Alma = 55,84$$

$$\lambda_p = 0,38 \sqrt{\frac{20000}{34,5}}$$

$$\lambda_p = 9,15$$

$$M_{pl} = 736,8 \times 34,5$$

$$M_{pl} = 25419,60 \text{ KN/cm}$$

$$M_{rd} = \frac{25419,60}{1,10}$$

$$M_{rd} = 23108,73 \text{ KN} \times \text{cm}$$

$$\lambda_p = 3,76 \sqrt{\frac{20000}{34,5}}$$

$$\lambda_p = 90,53$$

$$\lambda_r = 5,70 \sqrt{\frac{20000}{34,5}}$$

$$\lambda_r = 137,241$$

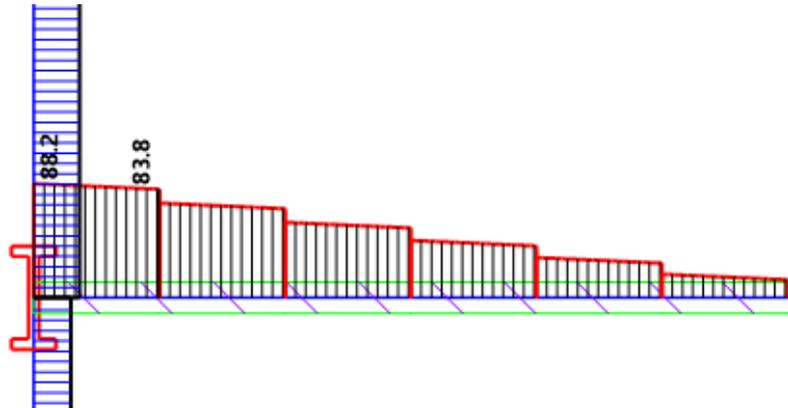
Como  $\lambda < \lambda_p$  então:

$$M_{rd} = 23108,73 \text{ KN} \times \text{cm} \quad \Rightarrow \text{para FLA, nesta situação é igual}$$

## 4.8.3.3 FLT

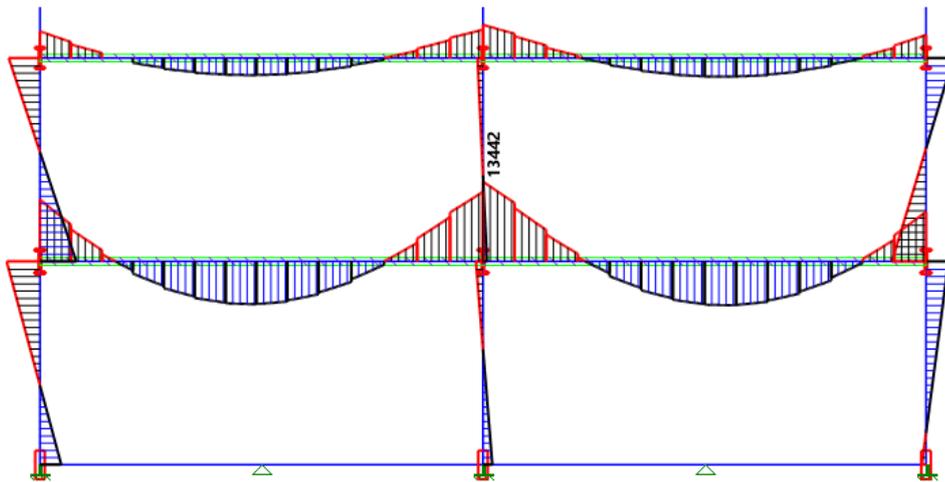
Considerando que as lajes são maciças e que foram usados conectores na mesa superior, não há possibilidade de flambagem lateral, pois a laje de concreto promove o travamento lateral da viga em toda a sua extensão, por isso não se verificou FLT.

Figura 45 - Força cortante solicitante de projeto viga W410x38,8



Fonte: ATIR ENGINEERING SOFTWARE DEVELOPMENT LTD. (2021).

Figura 46 – Momento fletor solicitante de projeto viga W410x38,8



Fonte: ATIR ENGINEERING SOFTWARE DEVELOPMENT LTD. (2021).

Quadro 12 - Verificação dos resultados para a viga W410X38,8

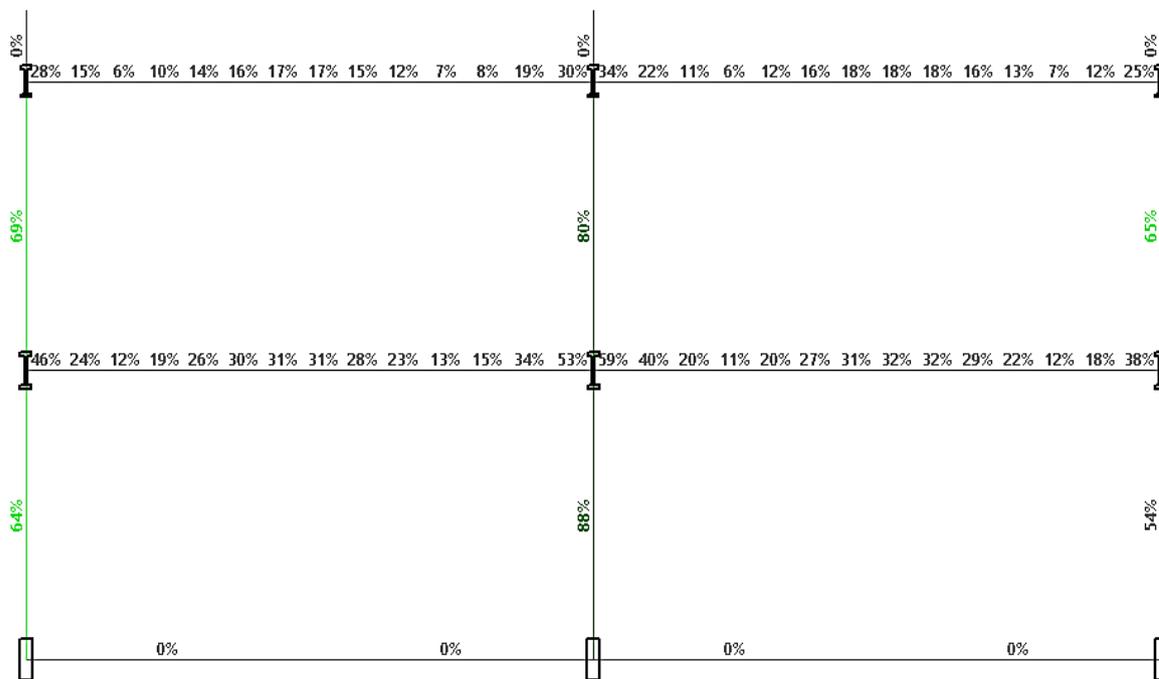
<b>Verificação da resistência ao cisalhamento</b>	$V_{Sd} = 88,8 \text{ kN} < N_{s,Rd} = 59276 \text{ kN}$
<b>Verificação quanto à flexão</b>	$M_{Sd} = 13442 \text{ kN} \cdot \text{cm} < M_{Rd} = 23108 \text{ kN} \cdot \text{cm}$

Fonte: ELABORADO PELOS AUTORES, 2021

Conclui-se, que todos os valores solicitantes de projeto são inferiores quando comparadas às resistências de projeto das vigas e dos pilares. Na Figura 47, pode-se observar com informações fornecidas pelo STRAP, que todas as vigas utilizaram apenas entre 5% a 60%

da sua capacidade. Os pilares utilizaram entre 54% a 88% da sua capacidade, assim, todos os perfis atenderam aos critérios estabelecidos por norma.

**Figura 47 – Capacidades utilizadas dos perfis**



Fonte: ATIR ENGINEERING SOFTWARE DEVELOPMENT LTD. (2021).

## 5 CONCLUSÃO

Quando iniciou-se o trabalho de pesquisa, constatou-se que havia a necessidade do conhecimento em projetos voltados para as instalações de indústrias do setor alimentício, frequentemente, os projetos são executados em estruturas metálicas devido a rapidez que a mesma proporciona, sendo assim, considerou-se também o dimensionamento de uma estrutura metálica, afim de complementar todo o estudo.

Diante disso, a pesquisa teve como objetivo apresentar o processo de elaboração do projeto e regulamentação atribuídos ao engenheiro civil em obras para a indústria alimentícia. Constata-se que o objetivo geral foi atendido, pois o trabalho conseguiu verificar e colocar em prática a elaboração de um projeto arquitetônico completo e o dimensionamento da estrutura metálica.

Analisou-se as construções industriais destacando as principais diferenças entre obras residenciais e indústrias e com isso verificou-se diversos aspectos e características que as diferenciam, entre essas, destacam-se a quantidade de metros quadrados construídos e o preço final do investimento.

Apresentou-se os critérios de regulamentação para uma obra industrial no ramo alimentício e as normativas a serem seguidas para a aprovação, atendeu-se a estes objetivos apresentando as normas vigentes.

Descreveu-se passos para elaborações de projetos de grande porte desde os estudos preliminares até a parte final no teste da planta, conhecida como operação piloto.

Abordou-se no capítulo 4 deste trabalho o dimensionamento da estrutura metálica com o auxílio do software STRAP e apresentou-se o dimensionamento dos principais elementos de vigas e pilares estas verificações realizadas manualmente.

A pesquisa partiu da hipótese de que muitos profissionais de engenharia civil não tinham conhecimento acerca das regras de vigilância sanitária para as instalações em indústrias. Sendo assim, seria de grande importância iniciar uma pesquisa que abordasse sobre este assunto. Portanto, no capítulo 2 iniciou-se a pesquisa apresentando os processos de implantação industrial, a importância da responsabilidade técnica, a escolha certa da estrutura e as regulamentações para as indústrias alimentícias, todos esses abordados de forma descritiva, com auxílio da Resolução RDC nº216 da ANVISA e demais NBR's.

Diante da metodologia proposta, percebeu-se que o trabalho poderia ter sido realizado com uma pesquisa mais ampla na bibliografia, na qual teve-se dificuldade encontrar tais

bibliografias que abordassem sobre o tema. Poderia ter sido realizada uma coleta de dados ou uma pesquisa de campo com profissionais de engenharia com o intuito de identificar se há profissionais cientes das resoluções da ANVISA, porém devido a limitação de tempo, esta pesquisa não foi possível.

Recomenda-se para pesquisas futuras um estudo de caso em indústrias alimentícias que estão em funcionamento, com o objetivo de entender como foi a adaptação do local para que o mesmo atendesse aos requisitos exigidos pela vigilância sanitária. Também sugere-se o dimensionamento de uma ETE (ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES) de uma fábrica. E em relação ao dimensionamento estrutural, sugere-se que em um próximo trabalho seja realizado o mesmo raciocínio, porém considerando vigas mistas.

## REFERÊNCIAS

- ABUJAMRA, Tereza. **Boas Práticas de Fabricação**: como montar o seu manual. como montar o seu manual. 2021. Ifope Educacional. Disponível em: <https://blog.ifopecom.br/bpf-para-a-industria-de-alimentos/>. Acesso em: 25 maio 2021.
- AGENCIA NACIONAL DE VIGILANCIA SANITARIA. **RDC Nº 216**: E Regulamento Técnico de Boas Práticas para Serviços de Alimentação. 1 ed. Distrito Federal: Anvisa, 2004. 12 p. Disponível em: <https://www.saude.al.gov.br/wp-content/uploads/2020/06/RDC-N%C2%B0-216-ANVISA-Ag%C3%Aancia-Nacional-de-Vigil%C3%A2ncia-Sanit%C3%A1ria.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2021.
- AIZA ENGENHARIA (Paraná). Aiza Engenharia (ed.). **Diferença entre Obras Industriais e Residenciais**. 2020. Disponível em: <https://aiza.com.br/diferenca-entre-obras-industriais-e-residenciais/#:~:text=Cada%20empresa%20tem%20uma%20forma,com%20o%20dinamismo%20do%20neg%C3%B3cio..> Acesso em: 19 abr. 2021.
- ALVES, Ana Elizabeth Santos. **A organização do trabalho na indústria de laticínios**. 2006. 13 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências Humanas, Estudos e Pesquisa em História, Trabalho e Educação, Histedbr/Fae/Unicamp, Vitória da Conquista, 2007. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/5814/288d8cd88c710c19e15196aac0cc2a64909b.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2021.
- ARAUJO ENGENHARIA LTDA (São Paulo). Araújo Engenharia Ltda (ed.). **Gerenciamento de obras de grande porte**. Disponível em: <https://www.araujoengenheiros.com.br/gerenciamento-obras-grande-porte>. Acesso em: 19 abr. 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120**: Cargas para cálculo de estruturas de edificações. 2 ed. Rio de Janeiro: Abnt, 2019. 61 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123**: Forças devidas ao vento em edificações. 1 ed. Rio de Janeiro: Abnt, 1988. 66 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8800**: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. 2 ed. Rio de Janeiro: Abnt, 2008. 237 p.
- ATIR ENGINEERING SOFTWARE DEVELOPMENT LTD. (Israel). STRAP: Structural Analysis Programs. *In*: ATIR ENGINEERING SOFTWARE DEVELOPMENT LTD. (Israel). **STRAP**: Structural Analysis Programs. 16.5.0.1. 2021. ed. Israel: ATIR Engineering Software Development Ltd., 2021. Disponível em: [http://www.sae.eng.br/software/strap/info\\_strap.html](http://www.sae.eng.br/software/strap/info_strap.html). Acesso em: 27 out. 2021.
- BELLEI, Ildony Hélio. **Edifícios Industriais em aço**: projeto e cálculo. 2. ed. São Paulo: Editora Pini Ltda., 1998. 490 p.
- BRASIL. Assembleia Legislativa. Constituição (1964). Lei nº 4591, de 16 de dezembro de 1964. **Condomínio**: Legislação federal. Brasília, DF: Planalto, 16 dez. 1964. n. 76.

BRASIL. Rodrigo Abrão Veloso Taveira. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ed.). Biblioteca de alimentos. 21. ed. Brasília: Anvisa, 2021. 26 p. Disponível em: <https://www.gov.br/anvisa/pt-br/assuntos/regulamentacao/legislacao/bibliotecas-tematicas/arquivos/biblioteca-de-alimentos>. Acesso em: 10 mar. 2021.

CARNEIRO, Juliana Quinderé. **APLICAÇÃO DO MÉTODO DA LINHA DE BALANÇO EM OBRAS INDUSTRIAIS: ESTUDO DE CASO NA REFINARIA PETROBRAS/LUBNOR**. 2013. 89 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Estrutural e Construção Civil Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013. Disponível em: <http://repositorio.ufc.br/handle/riufc/36579>. Acesso em: 23 abr. 2021.

CETA JR (Seropédica). Consultoria em Engenharia e Tecnologia de Alimentos. **Selo SIM, SIE, ou SIF: por que preciso ter?. Por que preciso ter?.** 2021. Disponível em: <https://cetajrconsultoria.com/por-que-preciso-ter-selo-sim-sie-ou-sif/>. Acesso em: 25 maio 2021.

COSTELLA, Marcelo Fabiano; JUNGES, Franciele Cristina; PILZ, Silvio Edmundo. Avaliação do cumprimento da NR-18 em função do porte de obra residencial e proposta de lista de verificação da NR-18. **Ambiente Construído**, Chapecó, v. 14, n. 3, p. 87-102, set. 2014. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212014000300007>. Disponível em: [https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1678-86212014000300007&lng=pt&tln=pt](https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-86212014000300007&lng=pt&tln=pt). Acesso em: 19 abr. 2021.

ENGEGRAUT. Soft Soil Group. **GALPÕES LOGÍSTICOS/INDUSTRIAIS INFRAESTRUTURA**. 2015. Elaborado por Equipe de Projetos Engengraut. Disponível em: [http://www.engegraut.com.br/catalogos/CPR-Grouting\\_Galpoes.pdf](http://www.engegraut.com.br/catalogos/CPR-Grouting_Galpoes.pdf). Acesso em: 26 abr. 2021.

FREIRE, Carlos. **ANÁLISE COMPARATIVA: CUSTOS ESTRUTURA METÁLICA X ESTRUTURA DE CONCRETO**. Disponível em: <http://www.madeinsteel.com.br/analise-comparativa-custos-estrutura-metalica-x-estrutura-de-concreto/>. Acesso em: 29 abr. 2021.

GEOGRAFIA do Brasil - Processo de Industrialização Brasileira - Resumo. Direção de Silvester Dias. Produção de Silvester Dias. Realização de Silvester Dias. Coordenação de Silvester Dias. Intérpretes: Silvester Dias. Roteiro: Silvester Dias. [S.I.]: Silvester Dias, 2019. 1 (14 min.), mp4, P&B. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=E-c0NMzx6uE>. Acesso em: 10 mar. 2021.

HAMBURGER, Pólia Lerner *et al.* O planejamento de construções. **Revista de Administração de Empresas: Rev. adm. empres.**, São Paulo, p. 1-7, jan. 1965.

INSTITUTO AÇO BRASIL (Rio de Janeiro). Centro Brasileiro de Construção em Aço. **Ligações em estruturas metálicas**. 4. ed. Rio de Janeiro: Centro Brasileiro de Construção em Aço (Cbca), 2011. 60 p. (Manual de Construção em Aço). Revisão de: Alexandre Luiz Vasconcellos.

LOBÃO, Paulo. **As 4 principais etapas de um projeto estrutural**. 2020. Desenvolvido por MultiPro #LAB. Disponível em: <https://multiprolab.com/2020/04/15/as-4-principais-etapas-de-um-projeto-estrutural/>. Acesso em: 06 jul. 2021.

MENICUCI, Mauro Leonardo. **A INFLUÊNCIA DO GRAU DE MATURIDADE DA EQUIPE NA QUALIDADE DOS PROJETOS DE PLANTAS INDUSTRIAIS**. 2014. 296 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Administração, Programa de Mestrado Profissional em Administração Gestão de Projetos, Universidade Nove de Julho, São Paulo, 2014. Disponível em: <http://repositorio.uninove.br/xmlui/handle/123456789/1264>. Acesso em: 25 abr. 2021.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO (MTE). **NR 18: Condições de segurança e saúde no trabalho na indústria da construção**. 29 ed. Brasília, 2020. 54 p.

MOLINA, Alunos: Joyce Cristina; SILVA., Matheus Aparecido da. **A SEGURANÇA DO TRABALHO EM OBRAS DE PEQUENO PORTE**. Votuporanga: Unifev, 2020. 1 p. Disponível em: [https://www.unifev.edu.br/material2/site\\_files/banners\\_unic/3277/banner\\_trabalho\\_2772.pdf](https://www.unifev.edu.br/material2/site_files/banners_unic/3277/banner_trabalho_2772.pdf). Acesso em: 19 abr. 2021.

OBARA, Thalita Riquelme Augusto. **Qualidade na indústria de alimentos: contexto atual e oportunidades**. 2018. 25 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia da Qualidade, Departamento Acadêmico de Engenharia de Produção, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2018. Disponível em: [http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/13010/1/ENG\\_QUALI\\_2018\\_19.pdf](http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/13010/1/ENG_QUALI_2018_19.pdf). Acesso em: 25 maio 2021.

PROENÇA, Rossana Pacheco da Costa. **ERGONOMIA E ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO EM PROJETOS INDUSTRIAIS: UMA PROPOSTA NO SETOR DE ALIMENTAÇÃO COLETIVA**. 1993. 156 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Produção, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 1993. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/75889>. Acesso em: 20 abr. 2021.

REMASTER (São Paulo). Remaster Engenharia e Construção. **Estimativa de custo para construção de imóvel residencial**. 2019. Disponível em: <http://www.remaster.eng.br/estimativadecusto/>. Acesso em: 19 abr. 2021.

RIBEIRO, A. D.; COSTA, L.; VIANA, M.; MORAES, C. HAYASHIDA, E. K.; VILELA, M. VIDIGAL. A. **Credibilidade que alimenta o mercado**. São Paulo: DBA, 2013. Disponível em: <https://www.abia.org.br/vsn/anexos/livro50anosABIA.pdf>. Acesso em: 12 mar. 2021.

SCHWALBERT, Raíssa Caroline *et al.* Comparação de custos e prazos de galpões industriais em concreto pré-moldado e estrutura metálica. In: ENCONTRO MINEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 11., 2018, Juíz de Fora. **Proceedings [...]**. Juíz de Fora: Fmepro, 2018. v. 1, p. 1-10. Disponível em: [https://www.researchgate.net/profile/Ritielli\\_Berticelli/publication/340348980\\_Comparacao\\_de\\_custos\\_e\\_prazos\\_de\\_galpoes\\_industriais\\_em\\_concreto\\_pre-moldado\\_e\\_estrutura\\_metalica/links/5e848949299bf130796e1d3e/Comparacao-de-custos-e-prazos-de-galpoes-industriais-em-concreto-pre-moldado-e-estrutura-metalica.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Ritielli_Berticelli/publication/340348980_Comparacao_de_custos_e_prazos_de_galpoes_industriais_em_concreto_pre-moldado_e_estrutura_metalica/links/5e848949299bf130796e1d3e/Comparacao-de-custos-e-prazos-de-galpoes-industriais-em-concreto-pre-moldado-e-estrutura-metalica.pdf). Acesso em: 25 abr. 2021.

SEBRAE/MG (Minas Gerais). Serviço Brasileiro de Apoio Às Micro e Pequenas Empresas (org.). **Indústria**: fábrica de laticínios. Belo Horizonte: Sebrae, 2017. 34 p. Disponível em: <https://atendimento.sebraemg.com.br/biblioteca-digital/content/como-montar-fabrica-de-laticinios>. Acesso em: 08 mar. 2021.

SILVA, L.A.; CORREIA, A.F.K.. Manual de Boas Práticas de Fabricação para Indústria Fracionadora de Alimentos. **Revista de Ciência & Tecnologia**, [S.L.], v. 16, n. 32, p. 39-57, 31 dez. 2009. Instituto Educacional Piracicabano da Igreja Metodista. <http://dx.doi.org/10.15600/2238-1252/rct.v16n32p39-57>. Disponível em: <https://www.metodista.br/revistas/revistas-unimep/index.php/cienciatecnologia/article/view/778/315>. Acesso em: 25 maio 2021.

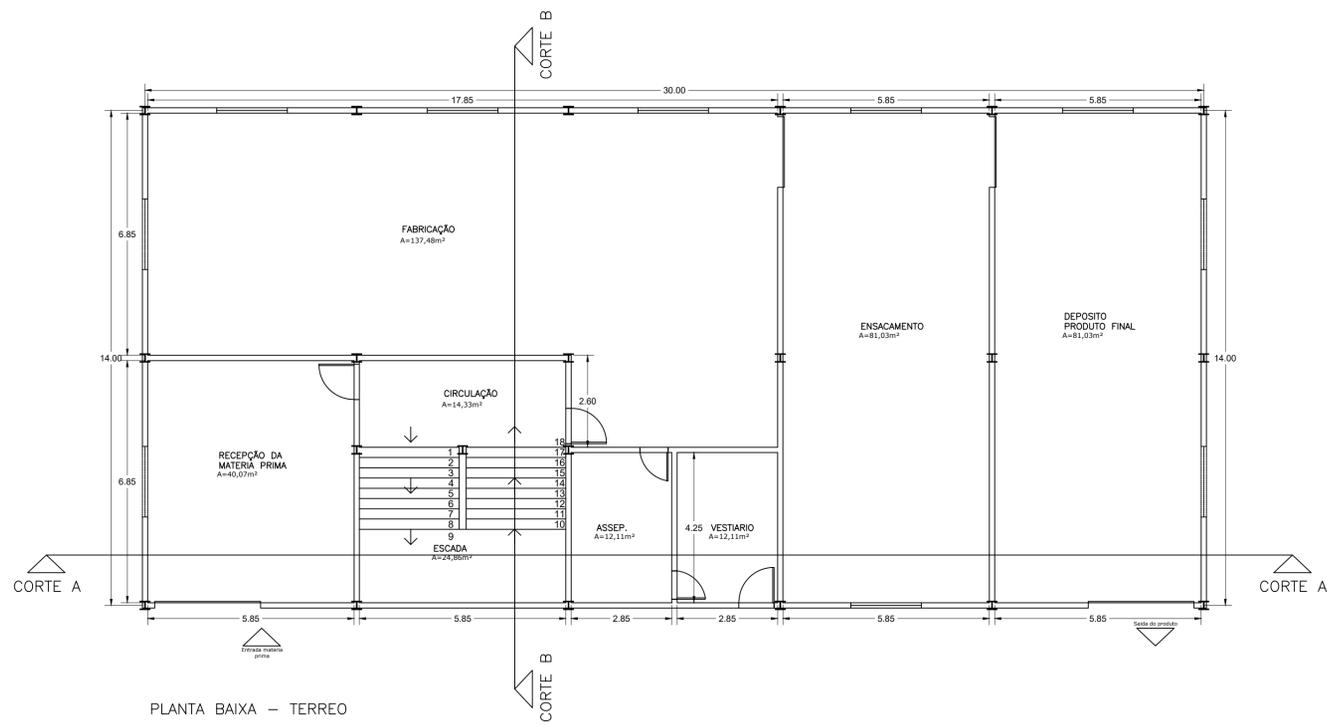
SOUZA, Leonardo Aparecido de; MUNIZ, André Luiz Pires. Os fatores determinantes da localização das indústrias goianas. **Ceppg**: CESUC - Centro de Ensino Superior de Catalão, Catalão, v. 23, n. 8, p. 161-175, 01 jul. 2010. Semestral. Disponível em: [http://www.portalcatalao.com/painel\\_clientes/cesuc/painel/arquivos/upload/temp/b54a68655425329b796698be783183f0.pdf](http://www.portalcatalao.com/painel_clientes/cesuc/painel/arquivos/upload/temp/b54a68655425329b796698be783183f0.pdf). Acesso em: 28 abr. 2021.

**TCPOWEB**. São Paulo: Pini, 2014. Mensal. Disponível em: <https://tcpoweb.pini.com.br/observacoes.aspx?obs=1>. Acesso em: 19 abr. 2021.

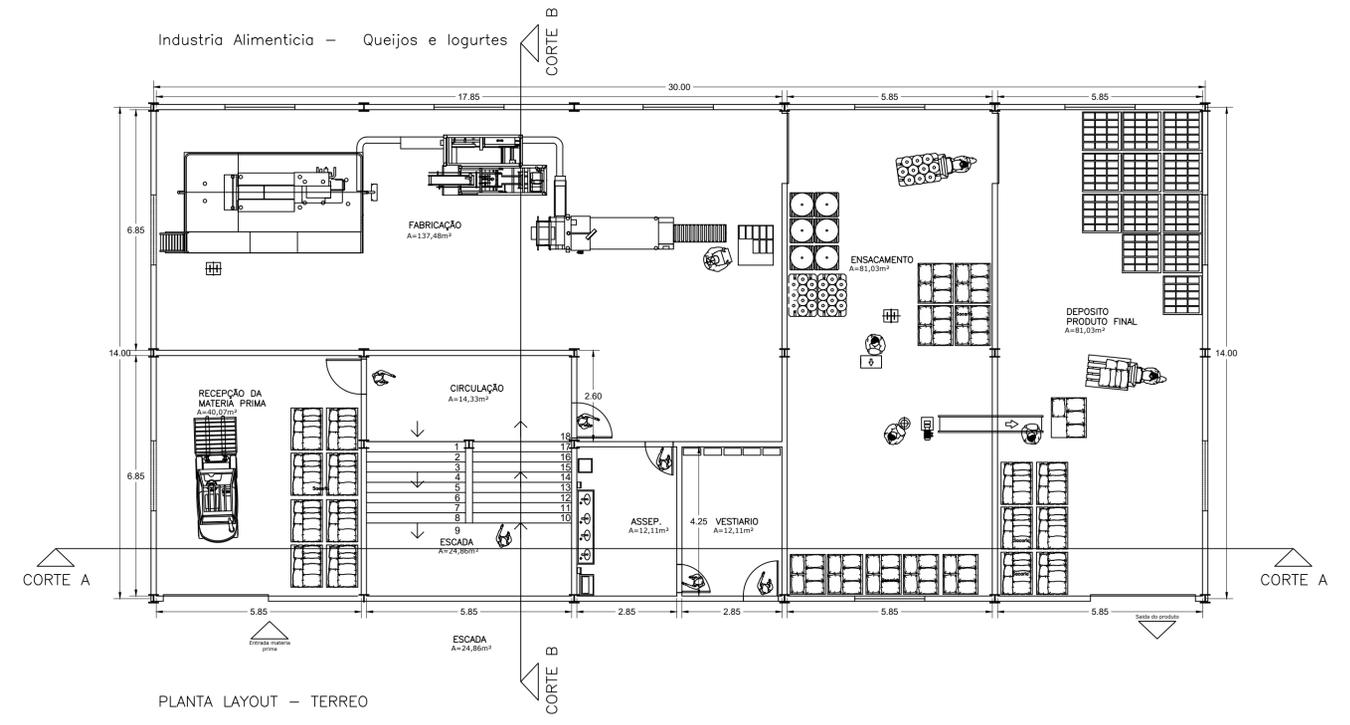
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO (Brasil). Escola de Engenharia de São Carlos. Ciclone. *In*: UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO (Brasil). Escola de Engenharia de São Carlos. **Ciclone**. 5.0. 2020. ed. São Carlos: Universidade de São Paulo, 2020. Disponível em: [https://set.eesc.usp.br/?page\\_id=237](https://set.eesc.usp.br/?page_id=237). Acesso em: 28 out. 2021.

## **APÊNDICE A**

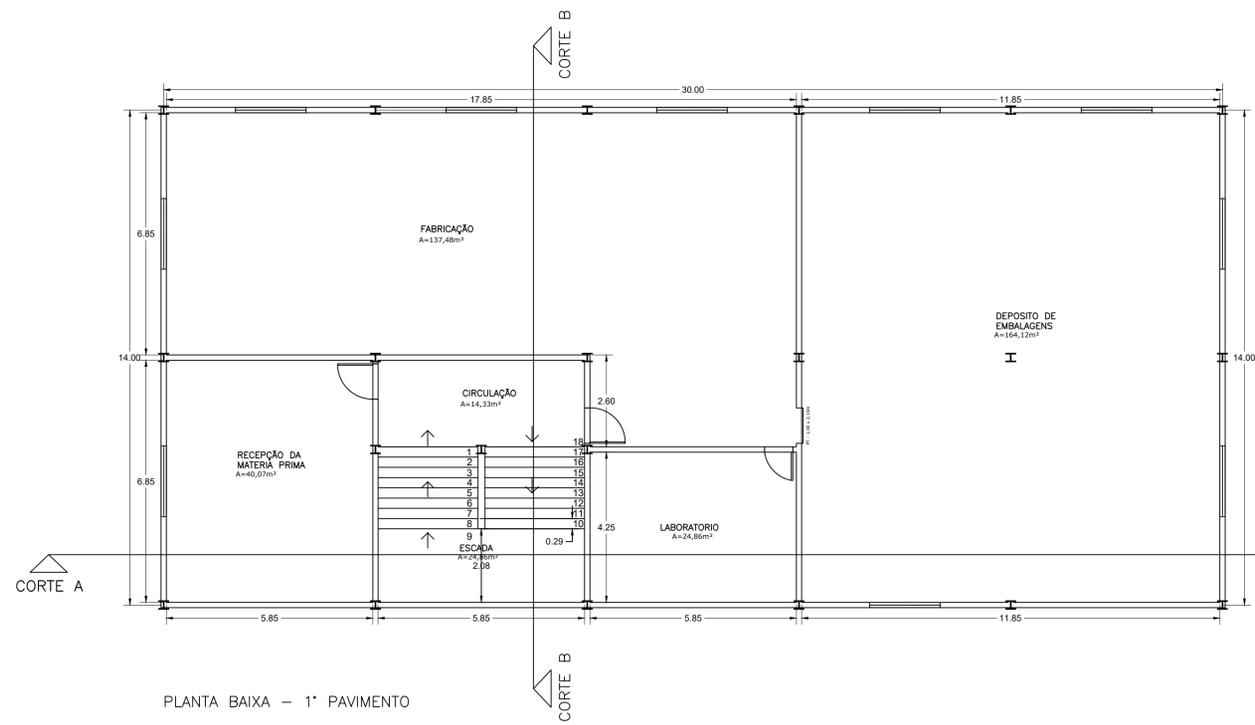
Neste apêndice consta os projetos arquitetônicos, planta de eixos e planta das vigas de cobertura e de piso referente ao dimensionamento da estrutura metálica apresentada no capítulo 4.



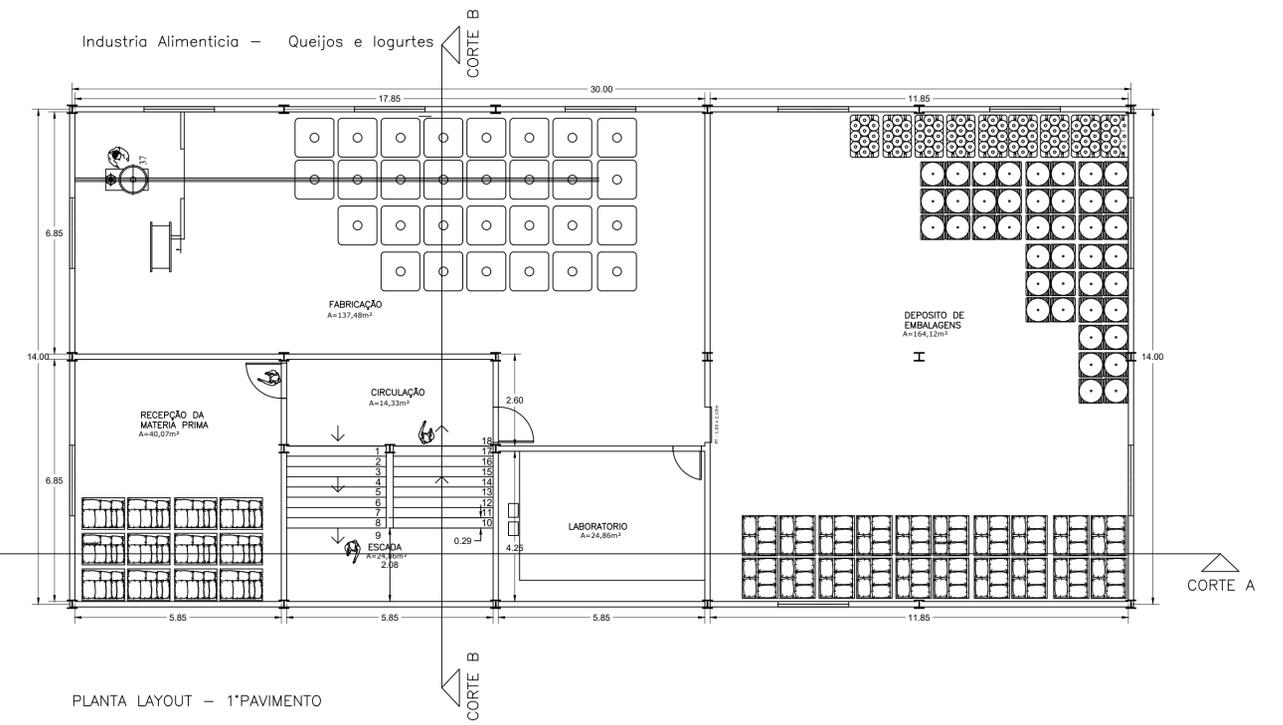
PLANTA BAIXA - TERREO



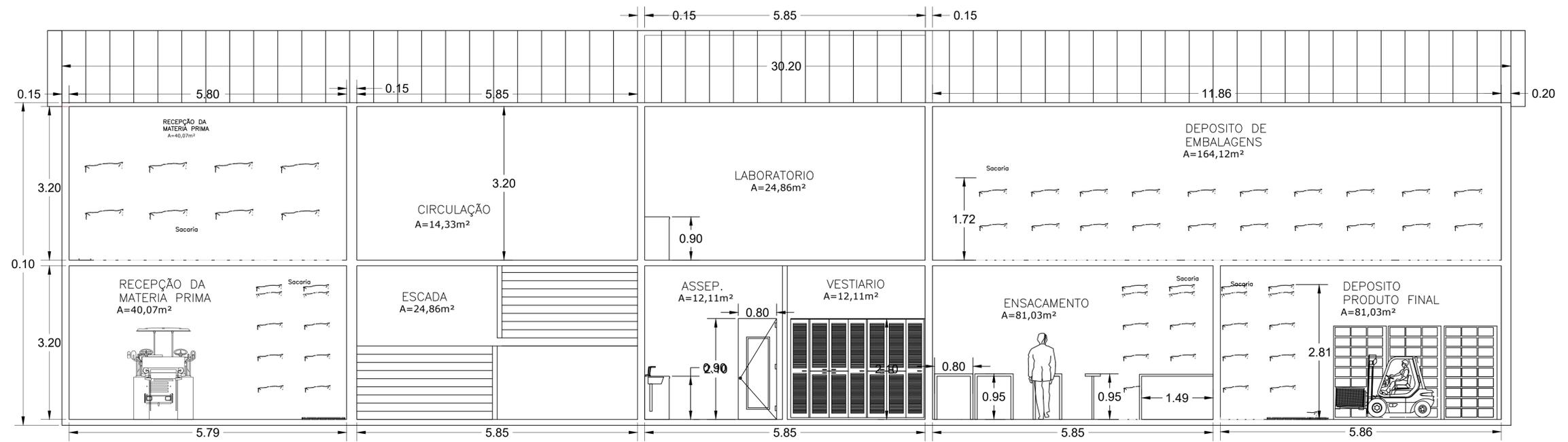
PLANTA LAYOUT - TERREO



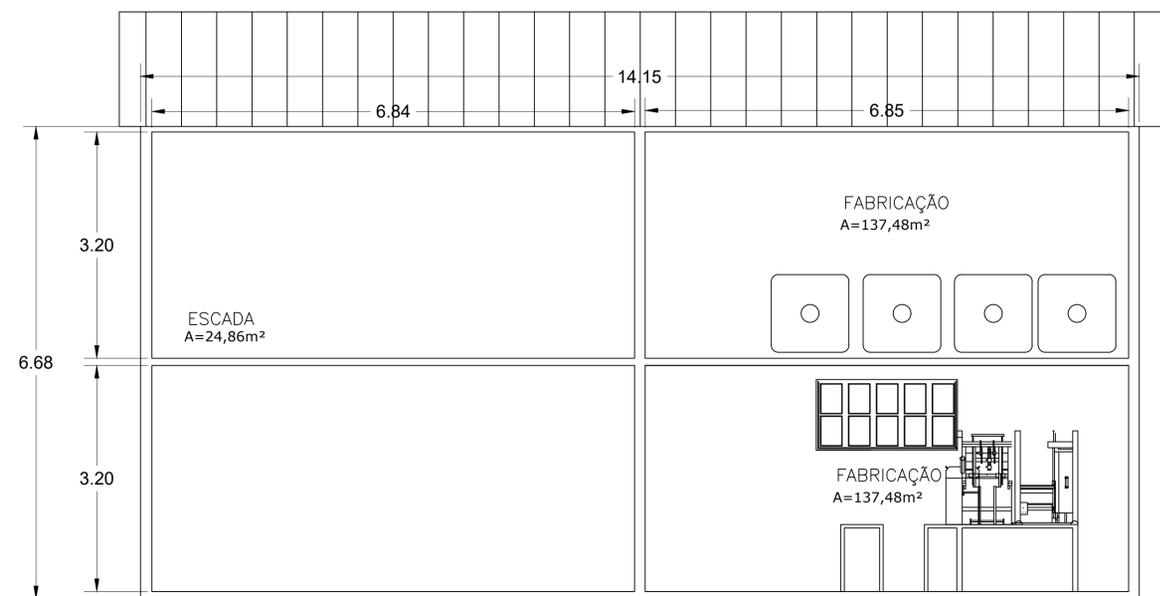
PLANTA BAIXA - 1º PAVIMENTO



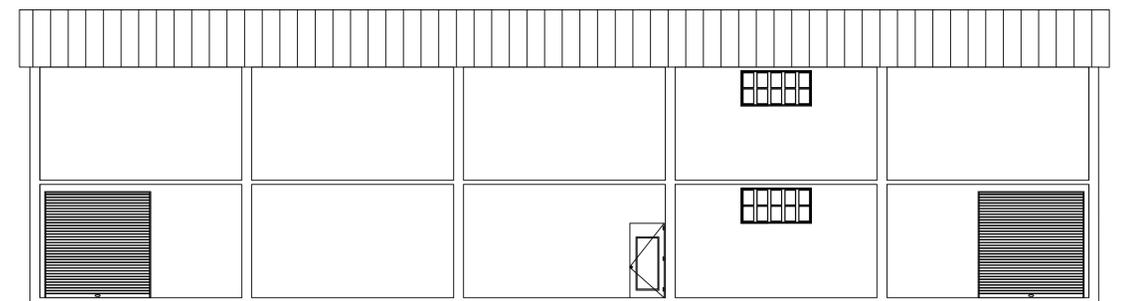
PLANTA LAYOUT - 1º PAVIMENTO



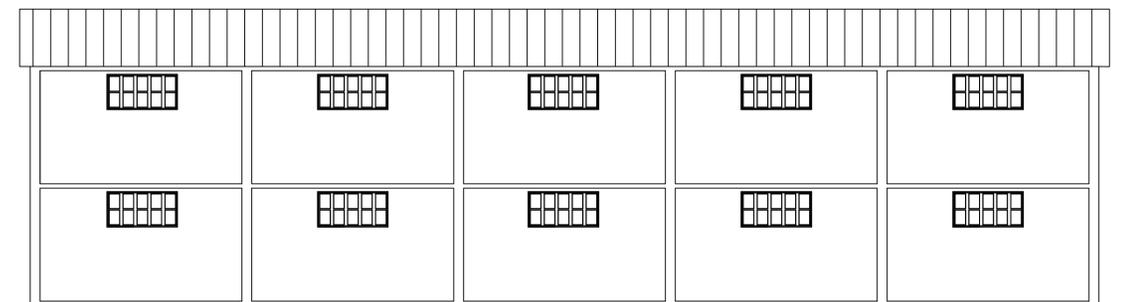
CORTE AA



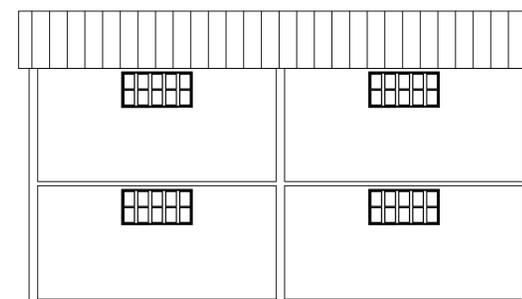
CORTE BB



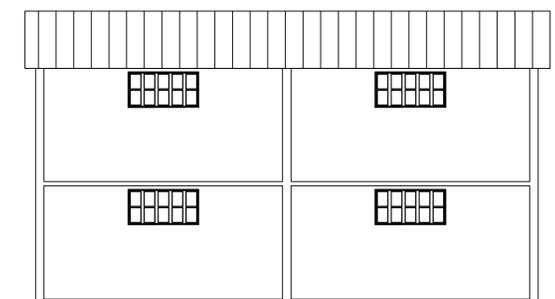
FACHADA PRINCIPAL



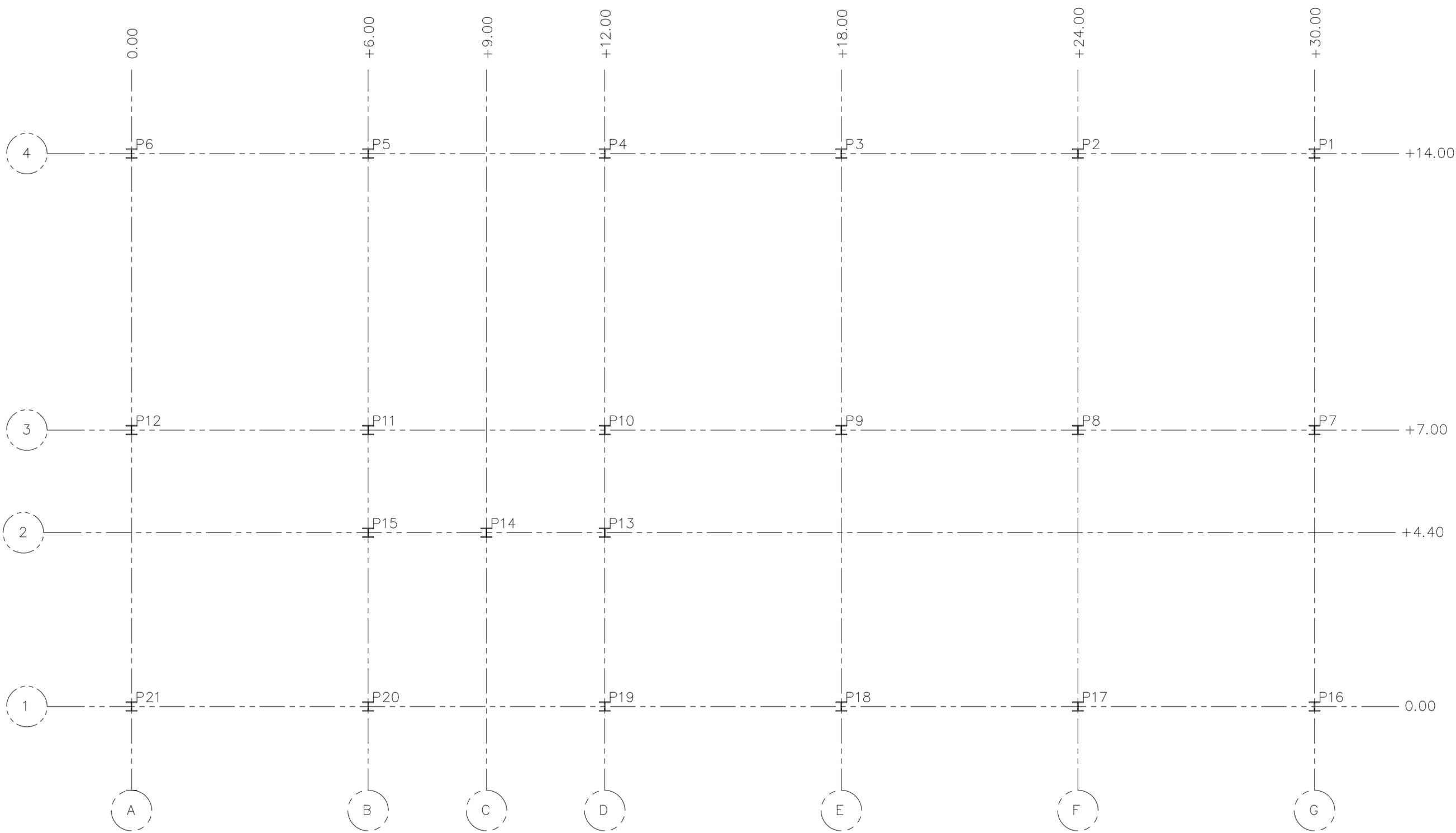
FACHADA POSTERIOR



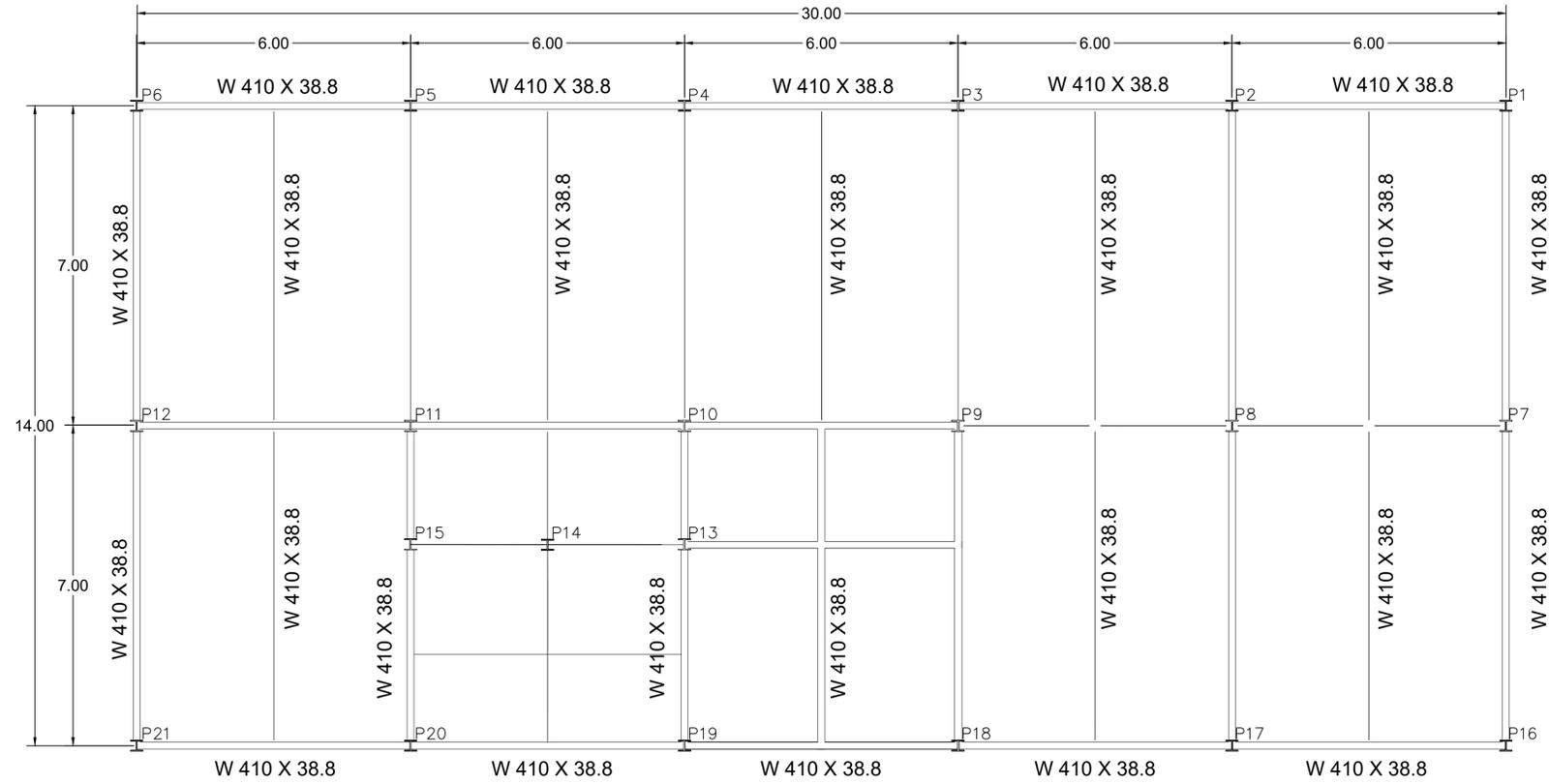
FACHADA LATERAL DIREITA



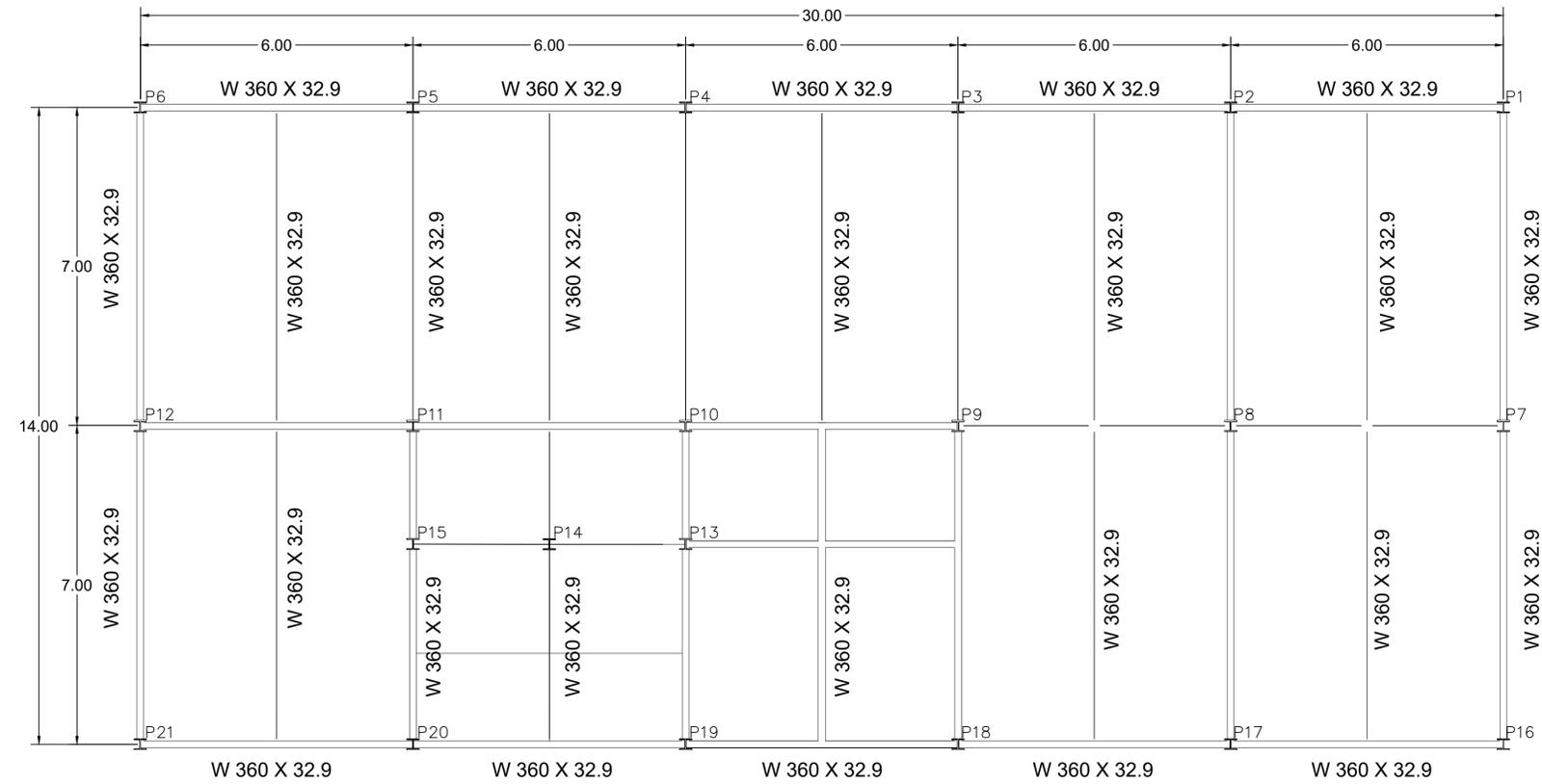
FACHADA LATERAL DIREITA



PLANTA DE EIXO DOS PILARES



PLANTA DE VIGAS COBERTURA



PLANTA DE VIGAS PISO

## **ANEXO A**

Neste Anexo consta os Anexos C, F e G da NBR 8800 / 2008 que foram utilizadas ao realizar o dimensionamento da estrutura metálica apresentada no capítulo 4.

## Anexo C (normativo)

### Deslocamentos máximos

#### C.1 Generalidades

Neste Anexo são apresentados os valores dos deslocamentos máximos requeridos para situações usuais nas construções. Esses deslocamentos devem ser entendidos como valores práticos a serem utilizados para verificação do estado-limite de serviço de deslocamentos excessivos da estrutura.

#### C.2 Considerações de projeto

**C.2.1** Os valores máximos requeridos para os deslocamentos verticais e horizontais são dados em C.3. Esses valores são empíricos e servem para comparação com os resultados da análise estrutural, feita conforme C.2.2. Em alguns casos, limites mais rigorosos podem ter que ser adotados, considerando, por exemplo, o uso da edificação, as características dos materiais de acabamento, o funcionamento adequado de equipamentos, questões de ordem econômica e a percepção de desconforto.

**C.2.2** Os deslocamentos devem ser calculados conforme 4.9.8, levando-se em conta a possibilidade de ocorrência de deformações plásticas no estado-limite de serviço. O efeito da rigidez à rotação das ligações, dependendo de avaliação do responsável pelo projeto, pode ter que ser também considerado.

**C.2.3** O responsável técnico pelo projeto deve analisar criteriosamente cada situação e decidir se determinado deslocamento pode ser considerado um estado-limite reversível ou não. Na falta de uma melhor avaliação, se um elemento estrutural suportar somente componentes não sujeitos à fissuração e se seu comportamento em serviço for elástico, pode-se considerar o deslocamento excessivo como um estado-limite reversível. Por outro lado, se o elemento estrutural suportar componentes sujeitos à fissuração ou se o seu deslocamento em serviço levar à ocorrência de deformações plásticas, deve-se entender seu deslocamento excessivo como um estado-limite irreversível.

**C.2.4** O responsável técnico pelo projeto deve decidir quais combinações de serviço devem ser usadas, conforme o elemento estrutural considerado, as funções previstas para a estrutura, as características dos materiais de acabamento vinculados à estrutura e a seqüência de construção, exceto quando houver indicação na Tabela C.1 (ver Notas d, e, f e j desta Tabela). Dependendo dos fatores mencionados, pode ser que se tenha de alterar uma combinação de serviço comumente utilizada. Por exemplo, o deslocamento  $\delta_{\max}$  (ver C.3.1) está normalmente relacionado à aparência da estrutura, devendo-se usar combinações quase permanentes, conforme 4.7.7.3. No entanto, nas situações em que esse deslocamento venha a afetar o funcionamento de equipamentos, a causar empoçamentos na cobertura ou mesmo danos permanentes a elementos não-estruturais sujeitos à fissuração, como paredes divisórias e forros, colocados antes que as ações consideradas passem a atuar, deve-se então utilizar, no primeiro e segundo casos, combinação freqüente e, no terceiro, rara.

#### C.3 Valores máximos

**C.3.1** Os valores máximos para os deslocamentos verticais (flechas) e horizontais são dados na Tabela C.1 e em C.3.4. No caso dos deslocamentos verticais, tais valores têm como referência uma viga simplesmente apoiada, mostrada na Figura C.1, na qual  $\delta_0$  é a contraflecha da viga,  $\delta_1$  é o deslocamento devido às ações permanentes, sem efeitos de longa duração,  $\delta_2$  é o deslocamento devido aos efeitos de longa duração das ações permanentes (se houver),  $\delta_3$  é o deslocamento devido às ações variáveis, incluindo, se houver, os efeitos de longa duração devidos aos valores quase permanentes dessas ações,  $\delta_{\max}$  é o deslocamento máximo da viga no estágio final de carregamento levando-se em conta a contraflecha e  $\delta_{\text{tot}}$  é a soma de  $\delta_1$ ,  $\delta_2$  e  $\delta_3$ . A consideração dos efeitos de longa duração deve ser feita conforme O.1.2.1.

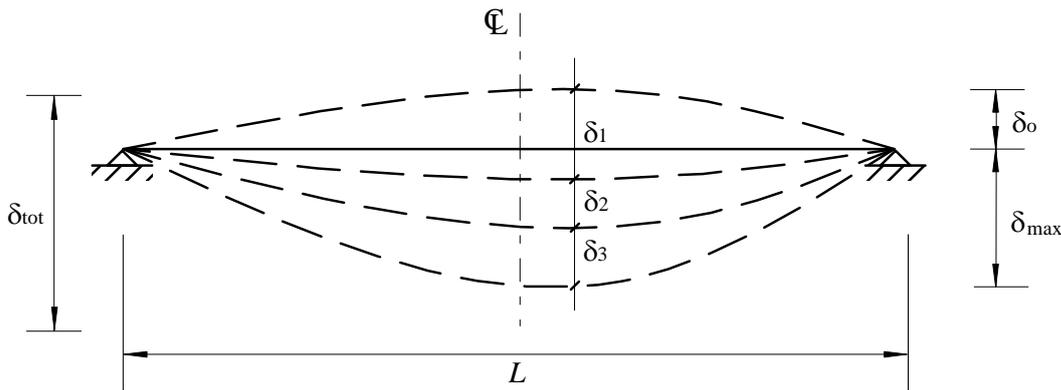


Figura C.1 — Deslocamentos verticais a serem considerados

**C.3.2** No cálculo dos deslocamentos verticais a serem comparados com os valores máximos dados na Tabela C.1, pode-se deduzir o valor da contraflecha da viga até o limite do valor da flecha proveniente das ações permanentes ( $\delta_1$  da Figura C.1).

**C.3.3** Em cada situação, o responsável técnico pelo projeto deve decidir qual(is) deslocamento(s), dado(s) esquematicamente na Figura C.1, deve(m) ser comparado(s) com os valores máximos da Tabela C.1 e quais os carregamentos (ou parte desses) serão considerados no cálculo, levando-se em conta a seqüência de construção. Na maioria das vezes, apenas a parcela do deslocamento devida às ações variáveis ( $\delta_3$ ), somada à parcela (se houver) dos efeitos de longa duração das ações permanentes ( $\delta_2$ ), é responsável por causar danos aos elementos não-estruturais. São comuns, entretanto, situações em que se deve somar também o deslocamento de parte das ações permanentes (aquela que passa a atuar somente após a construção do elemento não-estrutural considerado) ou mesmo considerar o deslocamento máximo,  $\delta_{max}$  (ver C.2.4). Deve-se também avaliar, em cada situação, a probabilidade de ocorrência simultânea de duas ou mais ações variáveis.

**C.3.4** Para galpões em geral e edifícios de um pavimento com paredes de alvenaria, além do disposto em C.3.1, deve ser limitado o deslocamento horizontal (perpendicular à parede) da estrutura, de maneira que a abertura da fissura que possa ocorrer na base da parede não seja superior a 1,5 mm, entendida a parede como painel rígido (Figura C.2).

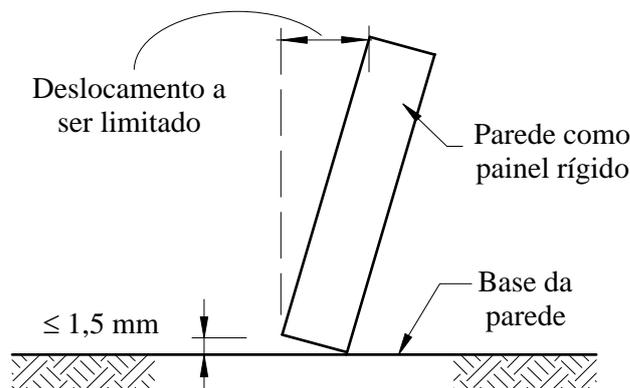


Figura C.2 — Parede como painel rígido

Tabela C.1 — Deslocamentos máximos

Descrição	$\delta^a$
- Travessas de fechamento	$L/180^b$
	$L/120^{c,d}$
- Terças de cobertura <sup>g)</sup>	$L/180^e$
	$L/120^f$
- Vigas de cobertura <sup>g)</sup>	$L/250^h$
- Vigas de piso	$L/350^h$
- Vigas que suportam pilares	$L/500^h$
Vigas de rolamento: <sup>j)</sup> - Deslocamento vertical para pontes rolantes com capacidade nominal inferior a 200 kN - Deslocamento vertical para pontes rolantes com capacidade nominal igual ou superior a 200 kN, exceto pontes siderúrgicas - Deslocamento vertical para pontes rolantes siderúrgicas com capacidade nominal igual ou superior a 200 kN - Deslocamento horizontal, exceto para pontes rolantes siderúrgicas - Deslocamento horizontal para pontes rolantes siderúrgicas	$L/600^i$ $L/800^i$ $L/1000^i$ $L/400$ $L/600$
Galpões em geral e edifícios de um pavimento: - Deslocamento horizontal do topo dos pilares em relação à base - Deslocamento horizontal do nível da viga de rolamento em relação à base	$H/300$ $H/400^{k,l}$
Edifícios de dois ou mais pavimentos: - Deslocamento horizontal do topo dos pilares em relação à base - Deslocamento horizontal relativo entre dois pisos consecutivos	$H/400$ $h/500^m$
Lajes mistas	Ver Anexo Q
<p><sup>a</sup> <math>L</math> é o vão teórico entre apoios ou o dobro do comprimento teórico do balanço, <math>H</math> é a altura total do pilar (distância do topo à base) ou a distância do nível da viga de rolamento à base, <math>h</math> é a altura do andar (distância entre centros das vigas de dois pisos consecutivos ou entre centros das vigas e a base no caso do primeiro andar).</p> <p><sup>b</sup> Deslocamento paralelo ao plano do fechamento (entre linhas de tirantes, caso estes existam).</p> <p><sup>c</sup> Deslocamento perpendicular ao plano do fechamento.</p> <p><sup>d</sup> Considerar apenas as ações variáveis perpendiculares ao plano de fechamento (vento no fechamento) com seu valor característico.</p> <p><sup>e</sup> Considerar combinações raras de serviço, utilizando-se as ações variáveis de mesmo sentido que o da ação permanente.</p> <p><sup>f</sup> Considerar apenas as ações variáveis de sentido oposto ao da ação permanente (vento de sucção) com seu valor característico.</p> <p><sup>g</sup> Deve-se também evitar a ocorrência de empoçamento, com atenção especial aos telhados de pequena declividade.</p> <p><sup>h</sup> Caso haja paredes de alvenaria sobre ou sob uma viga, solidarizadas com essa viga, o deslocamento vertical também não deve exceder a 15 mm.</p> <p><sup>i</sup> Valor não majorado pelo coeficiente de impacto.</p> <p><sup>j</sup> Considerar combinações raras de serviço.</p> <p><sup>k</sup> No caso de pontes rolantes siderúrgicas, o deslocamento também não pode ser superior a 50 mm.</p> <p><sup>l</sup> O diferencial do deslocamento horizontal entre pilares do pórtico que suportam as vigas de rolamento não pode superar 15 mm.</p> <p><sup>m</sup> Tomar apenas o deslocamento provocado pelas forças cortantes no andar considerado, desprezando-se os deslocamentos de corpo rígido provocados pelas deformações axiais dos pilares e vigas.</p>	

/ANEXO D

## Anexo F (normativo)

### Flambagem local de barras axialmente comprimidas

#### F.1 Generalidades

**F.1.1** Os elementos que fazem parte das seções transversais usuais, exceto as seções tubulares circulares, para efeito de flambagem local, são classificados em AA (duas bordas longitudinais vinculadas) e AL (apenas uma borda longitudinal vinculada), conforme 5.1.2.2.1.

**F.1.2** As barras submetidas à força axial de compressão, nas quais todos os elementos componentes da seção transversal possuem relações entre largura e espessura (relações  $b/t$ ) que não superam os valores de  $(b/t)_{lim}$  dados na Tabela F.1, têm o fator de redução total  $Q$  igual a 1,00.

**F.1.3** As barras submetidas à força axial de compressão, nas quais os elementos componentes da seção transversal possuem relações  $b/t$  maiores que os valores de  $(b/t)_{lim}$  dados na Tabela F.1 (elementos esbeltos), têm o fator de redução total  $Q$  dado por:

$$Q = Q_s Q_a$$

onde  $Q_s$  e  $Q_a$  são fatores de redução que levam em conta a flambagem local dos elementos AL e AA, cujos valores devem ser determinados como mostrado em F.2 e F.3, respectivamente. Deve-se ainda considerar que:

a) se a seção possuir apenas elementos AL:

$$Q = Q_s$$

b) se a seção possuir apenas elementos AA:

$$Q = Q_a$$

**F.1.4** As seções tubulares circulares devem ter o coeficiente  $Q$  determinado de acordo com F.4.

#### F.2 Elementos comprimidos AL

Os valores de  $Q_s$  a serem usados para os elementos comprimidos AL são os seguintes.

a) elementos do Grupo 3 da Tabela F.1:

$$Q_s = 1,340 - 0,76 \frac{b}{t} \sqrt{\frac{f_y}{E}}, \text{ para } 0,45 \sqrt{\frac{E}{f_y}} < \frac{b}{t} \leq 0,91 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$Q_s = \frac{0,53 E}{f_y \left(\frac{b}{t}\right)^2}, \text{ para } \frac{b}{t} > 0,91 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

b) elementos do Grupo 4 da Tabela F.1:

$$Q_s = 1,415 - 0,74 \frac{b}{t} \sqrt{\frac{f_y}{E}}, \text{ para } 0,56 \sqrt{\frac{E}{f_y}} < \frac{b}{t} \leq 1,03 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$Q_s = \frac{0,69 E}{f_y \left(\frac{b}{t}\right)^2}, \text{ para } \frac{b}{t} > 1,03 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

c) elementos do Grupo 5 da Tabela F.1:

$$Q_s = 1,415 - 0,65 \frac{b}{t} \sqrt{\frac{f_y}{k_c E}}, \text{ para } 0,64 \sqrt{\frac{E}{(f_y/k_c)}} < \frac{b}{t} \leq 1,17 \sqrt{\frac{E}{(f_y/k_c)}}$$

$$Q_s = \frac{0,90 E k_c}{f_y \left(\frac{b}{t}\right)^2}, \text{ para } \frac{b}{t} > 1,17 \sqrt{\frac{E}{(f_y/k_c)}}$$

com o coeficiente  $k_c$  dado por

$$k_c = \frac{4}{\sqrt{h/t_w}}, \text{ sendo } 0,35 \leq k_c \leq 0,76$$

d) elementos do Grupo 6 da Tabela F.1:

$$Q_s = 1,908 - 1,22 \frac{b}{t} \sqrt{\frac{f_y}{E}}, \text{ para } 0,75 \sqrt{\frac{E}{f_y}} < \frac{b}{t} \leq 1,03 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$Q_s = \frac{0,69 E}{f_y \left(\frac{b}{t}\right)^2}, \text{ para } \frac{b}{t} > 1,03 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

onde:

$h$  é a altura da alma;

$t_w$  é a espessura da alma;

$b$  e  $t$  são a largura e a espessura do elemento, respectivamente (ver Tabela F.1).

Se existirem dois ou mais elementos AL com fatores de redução  $Q_s$  diferentes, deve-se adotar o menor destes fatores.

Tabela F.1 — Valores de  $(b/t)_{lim}$

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

<sup>a</sup> O coeficiente  $k_c$  é dado em F.2.

### F.3 Elementos comprimidos AA

**F.3.1** O fator de redução  $Q_a$  das seções transversais com elementos comprimidos AA, cuja relação entre largura e espessura ultrapassa os valores indicados na Tabela F.1, é definido como:

$$Q_a = \frac{A_{ef}}{A_g}$$

onde  $A_g$  é a área bruta e  $A_{ef}$  a área efetiva da seção transversal, dada por:  $A_{ef} = A_g - \sum (b - b_{ef}) t$  com o somatório estendendo-se a todos os elementos AA. Nessa expressão  $b$  e  $t$  são, respectivamente, a largura e a espessura de um elemento comprimido AA, conforme Tabela F.1;  $b_{ef}$  é a largura efetiva de um elemento comprimido AA, conforme F.3.2.

**F.3.2** A largura efetiva dos elementos AA é igual a:

$$b_{ef} = 1,92 t \sqrt{\frac{E}{\sigma}} \left[ 1 - \frac{c_a}{b/t} \sqrt{\frac{E}{\sigma}} \right] \leq b$$

onde  $c_a$  é um coeficiente, igual a 0,38 para mesas ou almas de seções tubulares retangulares e 0,34 para todos os outros elementos e  $\sigma$  é a tensão que pode atuar no elemento analisado, tomada igual a:

$$\sigma = \chi f_y$$

com  $\chi$  obtido conforme 5.3.3, adotando  $Q$  igual a 1,0. Opcionalmente, de forma conservadora, pode-se tomar:

$$\sigma = f_y$$

### F.4 Paredes de seções tubulares circulares

Nas seções tubulares circulares, o fator de redução para flambagem local da parede é dado por:

a)  $Q = 1,00$  para  $\frac{D}{t} \leq 0,11 \frac{E}{f_y}$

b)  $Q = \frac{0,038 E}{D/t f_y} + \frac{2}{3}$  para  $0,11 \frac{E}{f_y} < \frac{D}{t} \leq 0,45 \frac{E}{f_y}$

onde:

$D$  é o diâmetro externo da seção tubular circular;

$t$  é a espessura da parede.

**F.4.2** Não é prevista a utilização de seções tubulares circulares com  $D/t$  superior a  $0,45 \frac{E}{f_y}$ .

## Anexo G (normativo)

### Momento fletor resistente de cálculo de vigas de alma não-esbelta

#### G.1 Generalidades

**G.1.1** Este Anexo apresenta os procedimentos para determinação do momento fletor resistente de cálculo de vigas de alma não-esbelta.

**G.1.2** Vigas de alma não-esbelta são aquelas constituídas por seções I, H, U, caixão e tubulares retangulares, cujas almas, quando perpendiculares ao eixo de flexão, têm parâmetro de esbeltez  $\lambda$  inferior ou igual a  $\lambda_r$  ( $\lambda$  e  $\lambda_r$  definidos na Tabela G.1 para o estado-limite FLA), por seções tubulares circulares com relação entre diâmetro e espessura de parede não superior a  $0,45 E/f_y$  e por seções T, seções formadas por duas cantoneiras em T, seções sólidas circulares ou retangulares com quaisquer dimensões.

**G.1.3** Para facilitar o uso deste Anexo, a simbologia utilizada encontra-se detalhada em G.3.

#### G.2 Momento fletor resistente de cálculo

**G.2.1** Para os tipos de seção e eixos de flexão indicados na Tabela G.1, para o estado-limite FLT, o momento fletor resistente de cálculo é dado por:

$$a) \quad M_{Rd} = \frac{M_{p\ell}}{\gamma_{a1}}, \text{ para } \lambda \leq \lambda_p$$

$$b) \quad M_{Rd} = \frac{C_b}{\gamma_{a1}} \left[ M_{p\ell} - (M_{p\ell} - M_r) \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \right] \leq \frac{M_{p\ell}}{\gamma_{a1}}, \text{ para } \lambda_p < \lambda \leq \lambda_r$$

$$c) \quad M_{Rd} = \frac{M_{cr}}{\gamma_{a1}} \leq \frac{M_{p\ell}}{\gamma_{a1}}, \text{ para } \lambda > \lambda_r$$

Os valores do momento fletor resistente de cálculo para este estado-limite são válidos para aplicação das forças transversais externas, caso existam, na semi-altura da seção transversal.

**G.2.2** Para os tipos de seção e eixos de flexão indicados na Tabela G.1, para os estados-limites FLM e FLA, o momento fletor resistente de cálculo é dado por:

$$a) \quad M_{Rd} = \frac{M_{p\ell}}{\gamma_{a1}}, \text{ para } \lambda \leq \lambda_p$$

$$b) \quad M_{Rd} = \frac{1}{\gamma_{a1}} \left[ M_{p\ell} - (M_{p\ell} - M_r) \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \right], \text{ para } \lambda_p < \lambda \leq \lambda_r$$

$$c) \quad M_{Rd} = \frac{M_{cr}}{\gamma_{a1}}, \text{ para } \lambda > \lambda_r \text{ (não aplicável à FLA - ver Anexo H)}$$

**G.2.3** Para as seções T fletidas em relação ao eixo central de inércia perpendicular à alma:

— estado-limite FLT

$$M_{Rd} = \frac{1}{\gamma_{al}} \frac{\pi \sqrt{EI_y GJ}}{L_b} \left( B + \sqrt{1 + B^2} \right) \leq \frac{M_{p\ell}}{\gamma_{al}}$$

onde:

$$B = \pm 2,3 \frac{d}{L_b} \sqrt{\frac{I_y}{J}}$$

com o sinal positivo usado quando a extremidade da alma oposta à mesa estiver tracionada e o negativo em caso contrário (se essa extremidade estiver comprimida em algum ponto ao longo do comprimento destravado, o sinal negativo deve ser usado).

— estado-limite FLM (aplicável apenas se a mesa estiver total ou parcialmente comprimida)

$$M_{Rd} = \frac{M_{p\ell}}{\gamma_{al}}, \text{ para } \lambda \leq \lambda_p$$

$$M_{Rd} = \frac{1}{\gamma_{al}} \left( 1,19 - 0,50\lambda \sqrt{\frac{f_y}{E}} \right) f_y W_c, \text{ para } \lambda_p < \lambda \leq \lambda_r$$

$$M_{Rd} = \frac{1}{\gamma_{al}} \frac{0,69 E W_c}{\lambda^2}, \text{ para } \lambda > \lambda_r$$

com:

$$\lambda = \frac{b_f}{2t_f}$$

$$\lambda_p = 0,38 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$\lambda_r = 1,0 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

**G.2.4** Para as seções formadas por duas cantoneiras iguais em contato e unidas por solda contínua, constituindo uma seção tipo T, fletidas em relação ao eixo central de inércia perpendicular ao eixo de simetria, aplica-se o disposto em G.2.3, tomando no estado-limite FLM:

$$\lambda = \frac{b}{t}$$

onde  $b$  é a largura e  $t$  é a espessura da aba comprimida de uma das cantoneiras.

**G.2.5** Para as seções formadas por duas cantoneiras iguais com afastamento correspondente à espessura de chapas espaçadoras, constituindo uma seção similar à T, fletidas em relação ao eixo central de inércia perpendicular ao eixo de simetria, para o estado-limite FLT, deve-se usar a expressão dada em G.2.3. Para o estado-limite de flambagem local da aba:

- a) quando as abas das cantoneiras paralelas ao eixo de flexão encontram-se comprimidas, aplica-se o procedimento dado em G.2.3 para FLM, com

$$\lambda = \frac{b}{t}$$

onde  $b$  é a largura e  $t$  a espessura das abas comprimidas das cantoneiras;

- b) quando as abas das cantoneiras perpendiculares ao eixo de flexão encontram-se com a extremidade livre comprimida, tem-se:

$$M_{Rd} = \frac{M_{p\ell}}{\gamma_{al}}, \text{ para } \lambda \leq \lambda_p$$

$$M_{Rd} = \frac{1}{\gamma_{al}} \left( 2,43 - 1,72\lambda \sqrt{\frac{f_y}{E}} \right) f_y W_c, \text{ para } \lambda_p < \lambda \leq \lambda_r$$

$$M_{Rd} = \frac{1}{\gamma_{al}} \frac{0,71EW_c}{\lambda^2}, \text{ para } \lambda > \lambda_r$$

com:

$$\lambda = \frac{b}{t}$$

$$\lambda_p = 0,38 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$\lambda_r = 1,0 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

onde  $b$  é a largura e  $t$  é a espessura das abas com a extremidade livre comprimida das cantoneiras.

**G.2.6** Para as seções sólidas circulares e retangulares fletidas em relação ao eixo de menor momento de inércia:

$$M_{Rd} = \frac{M_{p\ell}}{\gamma_{al}}$$

**G.2.7** Para as seções tubulares circulares, para o estado-limite de flambagem local da parede do tubo, o único aplicável, com  $D/t$  não superior a  $0,45 E/f_y$ , tem-se:

$$b) \quad M_{Rd} = \frac{M_{p\ell}}{\gamma_{al}}, \text{ para } \lambda \leq \lambda_p$$

$$c) \quad M_{Rd} = \frac{1}{\gamma_{al}} \left( \frac{0,021 E}{D/t} + f_y \right) W, \text{ para } \lambda_p < \lambda \leq \lambda_r$$

$$d) \quad M_{Rd} = \frac{1}{\gamma_{al}} \frac{0,33 E}{D/t} W, \text{ para } \lambda > \lambda_r$$

com:

$$\lambda = \frac{D}{t}$$

$$\lambda_p = \frac{0,07 E}{f_y}$$

$$\lambda_r = \frac{0,31 E}{f_y}$$

Tabela G.1 — Parâmetros referentes ao momento fletor resistente

Tipo de seção e eixo de flexão	Estados-limites aplicáveis	$M_r$	$M_{cr}$	$\lambda$	$\lambda_p$	$\lambda_r$
Seções I e H com dois eixos de simetria e seções U não sujeitas a momento de torção, fletidas em relação ao eixo de maior momento de inércia	FLT	$(f_y - \sigma_r)W$ Ver Nota 5	Ver Nota 1	$\frac{L_b}{r_y}$	$1,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$	Ver Nota 1
	FLM	$(f_y - \sigma_r)W$ Ver Nota 5	Ver Nota 6	$\frac{b}{t}$ Ver Nota 8	$0,38 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$	Ver Nota 6
	FLA	$f_y W$	Viga de alma esbelta (Anexo H)	$\frac{h}{t_w}$	$3,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$	$5,70 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$
Seções I e H com apenas um eixo de simetria situado no plano médio da alma, fletidas em relação ao eixo de maior momento de inércia (ver Nota 9)	FLT	$(f_y - \sigma_r)W_c$ $\leq f_y W_t$ Ver Nota 5	Ver Nota 2	$\frac{L_b}{r_{yc}}$	$1,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$	Ver Nota 2
	FLM	$(f_y - \sigma_r)W_c$ Ver Nota 5	Ver Nota 6	$\frac{b}{t}$ Ver Nota 8	$0,38 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$	Ver Nota 6
	FLA	$f_y W$	Viga de alma esbelta (Anexo H)	$\frac{h_c}{t_w}$	$\frac{\frac{h_c}{h_p} \sqrt{\frac{E}{f_y}}}{\left(0,54 \frac{M_{pl}}{M_r} - 0,09\right)^2} \leq \lambda_r$	$5,70 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$
Seções I e H com dois eixos de simetria e seções U fletidas em relação ao eixo de menor momento de inércia	FLM Ver Nota 3	$(f_y - \sigma_r)W$	Ver Nota 6	$\frac{b}{t}$ Ver Nota 8	$0,38 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$	Ver Nota 6
	FLA Ver Nota 3	$f_y W_{ef}$ Ver Nota 4	$\frac{W_{ef}^2}{W} f_y$ Ver Nota 4	$\frac{h}{t_w}$	$1,12 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$	$1,40 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$
Seções sólidas retangulares fletidas em relação ao eixo de maior momento de inércia	FLT	$f_y W$	$\frac{2,00 C_b E}{\lambda} \sqrt{JA}$	$\frac{L_b}{r_y}$	$\frac{0,13 E}{M_{pl}} \sqrt{JA}$	$\frac{2,00 E}{M_r} \sqrt{JA}$
Seções-caixão e tubulares retangulares, duplamente simétricas, fletidas em relação a um dos eixos de simetria que seja paralelo a dois lados	FLT Ver Nota 7	$(f_y - \sigma_r)W$ Ver Nota 5	$\frac{2,00 C_b E}{\lambda} \sqrt{JA}$	$\frac{L_b}{r_y}$	$\frac{0,13 E}{M_{pl}} \sqrt{JA}$	$\frac{2,00 E}{M_r} \sqrt{JA}$
	FLM	$f_y W_{ef}$ Ver Nota 4	$\frac{W_{ef}^2}{W} f_y$ Ver Nota 4	$\frac{b}{t}$ Ver Nota 8	$1,12 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$	$1,40 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$
	FLA	$f_y W$	-	$\frac{h}{t_w}$	Ver Nota 10	$5,70 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$

Exemplar autorizado para uso exclusivo - PETROLEO BRASILEIRO - 33.000.167/0036-31

As Notas relacionadas à Tabela G.1 são as seguintes:

$$1) \lambda_r = \frac{1,38\sqrt{I_y J}}{r_y J \beta_1} \sqrt{1 + \sqrt{1 + \frac{27 C_w \beta_1^2}{I_y}}}$$

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

onde:

$$\beta_1 = \frac{(f_y - \sigma_r) W}{E J}$$

$$C_w = \frac{I_y (d - t_f)^2}{4}, \text{ para seções I}$$

$$C_w = \frac{t_f (b_f - 0,5 t_w)^3 (d - t_f)^2}{12} \left[ \frac{3(b_f - 0,5 t_w) t_f + 2(d - t_f) t_w}{6(b_f - 0,5 t_w) t_f + (d - t_f) t_w} \right], \text{ para seções U}$$

$$2) \lambda_r = \frac{1,38\sqrt{I_y J}}{r_{yc} J \beta_1} \sqrt{\beta_2 + \sqrt{\beta_2^2 + \frac{27 C_w \beta_1^2}{I_y}}}$$

$$M_{cr} = \frac{C_b \pi^2 E I_y}{L_b^2} \left[ \beta_3 + \sqrt{\beta_3^2 + \frac{C_w}{I_y} \left(1 + 0,039 \frac{J L_b^2}{C_w}\right)} \right]$$

onde:

$$\beta_1 = \frac{(f_y - \sigma_r) W_c}{E J}$$

$$\beta_2 = 5,2 \beta_1 \beta_3 + 1$$

$$\beta_3 = 0,45 \left( d - \frac{t_{fs} + t_{fi}}{2} \right) \left( \frac{\alpha_y - 1}{\alpha_y + 1} \right), \text{ com } \alpha_y \text{ conforme Nota 9 a seguir}$$

$$C_w = \frac{\left( d - \frac{t_{fs} + t_{fi}}{2} \right)^2}{12} \left( \frac{t_{fi} b_{fi}^3 t_{fs} b_{fs}^3}{t_{fi} b_{fi}^3 + t_{fs} b_{fs}^3} \right)$$

3) O estado-limite FLA aplica-se só à alma da seção U, quando comprimida pelo momento fletor. Para seção U, o estado-limite FLM aplica-se somente quando a extremidade livre das mesas for comprimida pelo momento fletor.

4)  $W_{ef}$  é o módulo de resistência mínimo elástico, relativo ao eixo de flexão, para uma seção que tem uma mesa comprimida (ou alma comprimida no caso de perfil U fletido em relação ao eixo de menor inércia) de largura igual a  $b_{ef}$ , dada por F.3.2, com  $\sigma$  igual a  $f_y$ . Em alma comprimida de seção U fletida em relação ao eixo de menor momento de inércia,  $b = h$ ,  $t = t_w$  e  $b_{ef} = h_{ef}$ .

5) A tensão residual de compressão nas mesas,  $\sigma_r$ , deve ser tomada igual a 30% da resistência ao escoamento do aço utilizado.

6) Para perfis laminados:  $M_{cr} = \frac{0,69 E}{\lambda^2} W_c$ ,  $\lambda_r = 0,83 \sqrt{\frac{E}{(f_y - \sigma_r)}}$

Para perfis soldados:  $M_{cr} = \frac{0,90 E k_c}{\lambda^2} W_c$ ,  $\lambda_r = 0,95 \sqrt{\frac{E}{(f_y - \sigma_r) / k_c}}$

com  $k_c$  conforme F.2.

7) O estado-limite FLT só é aplicável quando o eixo de flexão for o de maior momento de inércia.

8)  $b/t$  é a relação entre largura e espessura aplicável à mesa do perfil; no caso de seções I e H com um eixo de simetria,  $b/t$  refere-se à mesa comprimida (para mesas de seções I e H,  $b$  é a metade da largura total, para mesas de seções U, a largura total, para seções tubulares retangulares, a largura da parte plana e para perfis caixa, a distância livre entre almas).

9) Para essas seções, devem ser obedecidas as seguintes limitações:

a)  $\frac{1}{9} \leq \alpha_y \leq 9$

com

$$\alpha_y = \frac{I_{yc}}{I_{yt}}$$

b) a soma das áreas da menor mesa e da alma deve ser superior à área da maior mesa.

10) Para seções-caixa:  $\lambda_p = 3,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$

Para seções tubulares retangulares:  $\lambda_p = 2,42 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$

### G.3 Simbologia

Para este Anexo adota-se a seguinte simbologia adicional:

FLA - flambagem local da alma;

FLM - flambagem local da mesa comprimida;

- FLT - flambagem lateral com torção;
- $C_w$  - constante do empenamento da seção transversal;
- $D$  - diâmetro externo da seção tubular circular;
- $I_y$  - momento de inércia da seção em relação ao eixo que passa pelo plano médio da alma;
- $I_{yc}$  - momento de inércia da mesa comprimida em relação ao eixo que passa pelo plano médio da alma (se no comprimento destravado houver momentos positivo e negativo, tomar a mesa de menor momento de inércia em relação ao eixo mencionado);
- $I_{yt}$  - momento de inércia da mesa tracionada em relação ao eixo que passa pelo plano médio da alma (se no comprimento destravado houver momentos positivo e negativo, tomar a mesa de maior momento de inércia em relação ao eixo mencionado);
- $J$  - constante de torção da seção transversal;
- $L_b$  - distância entre duas seções contidas à flambagem lateral com torção (comprimento destravado);
- $M_{cr}$  - momento fletor de flambagem elástica;
- $M_{pl}$  - momento fletor de plastificação da seção transversal, igual ao produto do módulo de resistência plástico ( $Z$ ) pela resistência ao escoamento do aço ( $f_y$ );
- $M_r$  - momento fletor correspondente ao início do escoamento, incluindo a influência das tensões residuais em alguns casos;
- $W$  - módulo de resistência (mínimo) elástico da seção, relativo ao eixo de flexão;
- $W_c$  - módulo de resistência elástico do lado comprimido da seção, relativo ao eixo de flexão;
- $W_t$  - módulo de resistência elástico do lado tracionado da seção, relativo ao eixo de flexão;
- $b_f$  - largura total da mesa ( $b_{fs}$  e  $b_{fi}$  representam as larguras totais das mesas superior e inferior);
- $d$  - altura externa da seção, medida perpendicularmente ao eixo de flexão;
- $h$  - altura da alma, tomada igual à distância entre faces internas das mesas nos perfis soldados e igual a esse valor menos os dois raios de concordância entre mesa e alma nos perfis laminados e igual ao comprimento da parte plana nas seções tubulares retangulares;
- $h_c$  - duas vezes a distância do centro geométrico da seção transversal à face interna da mesa comprimida;
- $h_p$  - duas vezes a distância da linha neutra plástica da seção transversal à face interna da mesa comprimida;
- $r_y$  - raio de giração da seção em relação ao eixo principal de inércia perpendicular ao eixo de flexão;
- $r_{yc}$  - raio de giração da seção T formada pela mesa comprimida e a parte comprimida da alma anexa, em regime elástico, em relação ao eixo que passa pelo plano médio da alma (se houver momentos positivo e negativo no comprimento destravado, tomar a seção T de menor raio de giração em relação ao eixo mencionado);
- $t_f$  - espessura da mesa ( $t_{fs}$  e  $t_{fi}$  representam as espessuras das mesas superior e inferior);
- $\lambda_p$  - parâmetro de esbelteza correspondente à plastificação;
- $\lambda_r$  - parâmetro de esbelteza correspondente ao início do escoamento.