

2022

# 4º CONCURSO CBCA PARA ESTUDANTES DE ENGENHARIA

Conceitos da construção  
modular em um edifício  
comercial com estrutura em  
aço



# SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>6</b>
1.1. Definição do problema .....	6
1.2. Objetivos e motivação .....	6
<b>2. CONTEXTUALIZAÇÃO .....</b>	<b>6</b>
2.1. Construção Modular .....	6
2.2. Tipologias de acordo com o método construtivo .....	7
2.3 Localização da obra.....	8
2.4. Acessibilidade.....	9
2.5. Normas e Especificações Técnicas .....	11
2.6. Softwares Utilizados .....	11
<b>3. PROJETO E MEMÓRIA DE CÁLCULO.....</b>	<b>11</b>
3.1. Projeto (Anexo).....	11
3.2 Memória de Cálculo – Edifício comercial em aço .....	12
3.2.1 Descrição da Estrutura .....	12
3.2.1.1. Elementos principais.....	13
3.2.1.2. Elementos secundários .....	13
3.2.1.3. Contraventamentos .....	13
3.2.2. Especificação dos materiais estruturais.....	13
Perfil I ASTM A572 Gr. 50.....	14
Perfil Caixão ASTM A572 Gr. 50.....	14
Pré moldados .....	14
Chapas A ASTM A36.....	14
Parafusos ASTM A325.....	14
3.2.3 Ações e carregamentos.....	14
3.2.3.1. Carga variável:.....	14
3.2.3.2. Cargas permanentes:.....	18
3.2.3.3. Combinações: .....	19
3.2.4. Análise estrutural .....	20
3.2.4.1. Módulo típico do primeiro piso e cobertura .....	20

<b>3.2.4.2. Propriedade dos elementos estruturais .....</b>	<b>21</b>
<b>3.2.4.3. Casos de carga: .....</b>	<b>26</b>
3.2.4.4. Combinações de Carga .....	27
3.2.4.5. Esforços .....	28
3.2.4.6. Deslocamentos .....	30
3.2.4.7. Sequência executiva.....	32
<b>3.2.5. Dimensionamento dos elementos estruturais principais.....</b>	<b>33</b>
3.2.5.1. Vigas I de extremidade:.....	33
Flexão: .....	34
Cortante: .....	35
3.2.5.2. Vigas caixa internas:.....	36
Flexão: .....	36
Cortante: .....	38
Valores limites para flechas nas vigas: .....	38
3.2.5.3. Pilares H: .....	38
Compressão: .....	39
Flexão: .....	40
Cortante: .....	42
<b>3.2.6. Dimensionamento dos elementos estruturais de</b>	
<b>    contraventamento .....</b>	<b>42</b>
Tração: .....	43
Resistencia á ruptura da seção líquida: .....	44
Compressão: .....	45
<b>3.2.7. Dimensionamento da base das colunas.....</b>	<b>46</b>
<b>3.2.8. Concepção de todas as ligações.....</b>	<b>47</b>
<b>3.2.9. Esforços nas fundações .....</b>	<b>48</b>
<b>3.2.10. Manutenção .....</b>	<b>51</b>
<b>3.2.11. Comportamento em caso de incêndio.....</b>	<b>51</b>
<b>3.2.12. Consumo de aço estrutural estimado para a estrutura.....</b>	<b>52</b>
<b>3.2.13. Conclusão .....</b>	<b>52</b>
<b>4. REFERÊNCIAS .....</b>	<b>54</b>
<b>APENDICE A– ESFORÇOS NOS LEMENTOS TÍPICOS.....</b>	<b>55</b>
<b>APÊNDICE B – IMAGENS HUMANIZADAS .....</b>	<b>63</b>



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Acoplamento de módulos – Croqui Felipe Savassicarolina Ponce Chica.....	7
Figura 2: Tipologia .....	8
Figura 3: Implantação. Projeção do edifício.....	8
Figura 4: Rampa e corrimão.....	9
Figura 5: Escada da Entrada e corrimão.....	10
Figura 6: Escada dos Fundos e corrimão. ....	10
Figura 7: Elevador. ....	11
Figura 8: Edifício modulado no TEKLA.....	13
Figura 9: Perfil caixão .....	13
Figura 10: Gráfico de isopletas de velocidades básicas NBR 6123	16
Figura 11: Ábaco com valores de coeficiente de arrasto NBR 6123 .....	18
Figura 12: Modelo SAP2000 .....	21
Figura 13: Perfil contraventamento .....	22
Figura 14: Propriedades contraventamento .....	22
Figura 15: Perfil H pilar.....	23
Figura 16: Propriedades pilar.....	23
Figura 17: Propriedades da viga caixão.....	24
Figura 18: Perfil I viga transversal .....	25
Figura 19: Propriedades viga transversal.....	25
Figura 20: Perfil I longitudinal .....	26
Figura 21: Propriedades vigas longitudinal .....	26
Figura 22: Casos de carga.....	27
Figura 23: Combinação ELU .....	27
Figura 24: Combinação ELU com Carga frequente .....	28
Figura 25: Diagramas de Esforços Normais para combinações ELU .....	29
Figura 26: Diagramas de Esforços Cortantes .....	29
Figura 27: Diagramas de Momento para combinação ELU .....	30
Figura 28: Deslocamentos .....	31
Figura 29: Deslocamento no primeiro pavimento .....	31
Figura 30: Montagem do Pórtico.....	32
Figura 31: Pórticos com a laje alveolar apoiada.....	32
Figura 32: Montagem dos próximos módulos .....	33
Figura 33: Repetição dos módulos em todo o pavimento.....	33
Figura 34: Perfil I.....	33
Figura 35: Perfil caixão .....	36
Figura 36: Perfil H pilar.....	39
Figura 37: Contraventamento no TEKLA .....	43
Figura 38: Cantoneira contraventamento.....	43
Figura 39: Resistencia à ruptura .....	44

Figura 40: Ligação dos elementos de contraventamento.....	45
Figura 41: Bloco de concreto.....	46
Figura 42: Ligação da solda.....	47
Figura 43: Ligação base do pilar .....	48

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Tabela de especificação de lajes alveolares da empresa de pré-fabricados Engeprocon.....	15
Tabela 2: Parâmetros para cálculo de S2 NBR 6123.....	16
Tabela 3: Tabela resumindo cálculo das forças de vento.....	18
Tabela 4: Tabela de coeficientes de ponderação de ações NBR 8800 .....	19
<i>Tabela 5: Tabela de coeficientes de ponderação de ações NBR 8800 .....</i>	<i>19</i>
Tabela 6: Propriedades perfil I .....	33
Tabela 7: Propriedades perfil caixão .....	36
Tabela 8: Propriedades perfil H pilar.....	39
Tabela 9: Propriedades cantoneiras .....	43
Tabela 10: Tabela de esforços na fundação .....	48
<i>Tabela 11: Lista de materiais TEKLA .....</i>	<i>52</i>
Tabela 12: Lista de perfis TEKLA .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>

## **1. INTRODUÇÃO**

### **1.1. Definição do problema**

A proposta do 4º Concurso CBCA (Centro Brasileiro da Construção em Aço) para Estudantes de Engenharia 2022 consiste na concepção, projeto estrutural dos elementos e das ligações e aspectos de transporte e montagem de um edifício comercial com estrutura de aço ou mista de aço e concreto, seguindo os princípios da construção modular. Os projetos devem ser elaborados por uma equipe de estudantes de engenharia civil, com o suporte de um professor orientador, de modo a abordar diversos princípios de engenharia por meio de projetos que podem ser executados, a exclusivo critério do CBCA.

### **1.2. Objetivos e motivação**

Por meio dessa proposta, o concurso visa a aplicação dos fundamentos da engenharia, explorando a teoria e a prática. Deste modo, os alunos são incentivados a explorar possibilidades das construções modulares, promovendo o trabalho em equipe. É importante contemplar o uso correto e apropriado do aço considerando os requisitos que uma estrutura deve atender de estática, segurança e funcionalidade, viabilidade construtiva envolvendo a fabricação, o transporte e a montagem da estrutura, incluindo a concepção das ligações entre as peças.

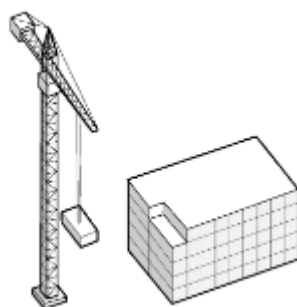
## **2. CONTEXTUALIZAÇÃO**

### **2.1. Construção Modular**

A sociedade do século XXI está crescendo e evoluindo em uma velocidade jamais vista, o planeta está com mais de 7 bilhões de seres humanos e a maioria da população mora e trabalha nas cidades, sendo assim cada vez mais edifícios residenciais, comerciais, galpões e indústrias são necessários para acompanhar esse desenvolvimento. A construção civil convencional (on-site) é realizada com muitos processos artesanais, sem um controle

adequado e padronizado. A alta demanda de construções exigiu do setor uma melhora na produtividade, agilidade da obra, previsibilidade no ciclo do empreendimento, rigorosa qualidade. Para atender essa demanda a solução é a construção modular (offsite), na qual a construção civil adota processos otimizados com alta precisão, diminuindo o desperdício a fim de industrializar a produção dos elementos que compõe o projeto, como as lajes, pilares e vigas pré-fabricadas, painéis de vedação e os módulos.

Os componentes pré-fabricados podem ser acoplados e/ou justapostos formando a edificação. É possível substituir ou adicionar módulos sem afetar o resto do sistema. Na figura 1 pode-se visualizar o acoplamento de um módulo.



*Figura 1: Acoplamento de módulos – Croqui Felipe Savassicarolina Ponce Chica*

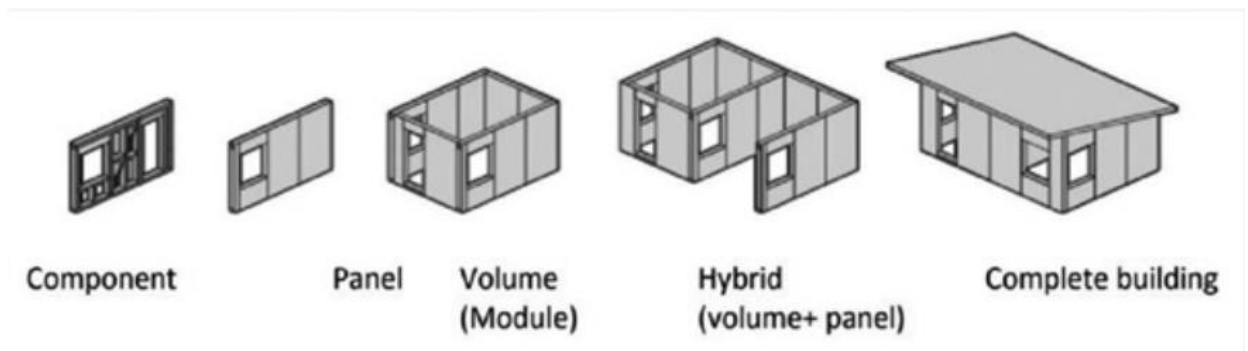
Objetivo geral da construção modular é minimizar a quantidade de trabalho que ocorre no canteiro de obras. Trazendo as etapas e processos para a fábrica (offsite) conseguindo uma maior eficiência, visto que em um ambiente de fábrica fechada, os procedimentos de supervisão são implementados com maior rigor. Ademais, menos trabalho no canteiro de obras significa menos perturbação para a vizinhança do empreendimento.

## **2.2. Tipologias de acordo com o método construtivo**

Existem 4 principais métodos construtivos para a edificação ser considerada uma construção modular, diferindo quanto ao grau de finalização do módulo montados em fábrica e transportados até o terreno, levando em consideração como se dará a união de componentes e elementos da edificação.

Suas categorias são:

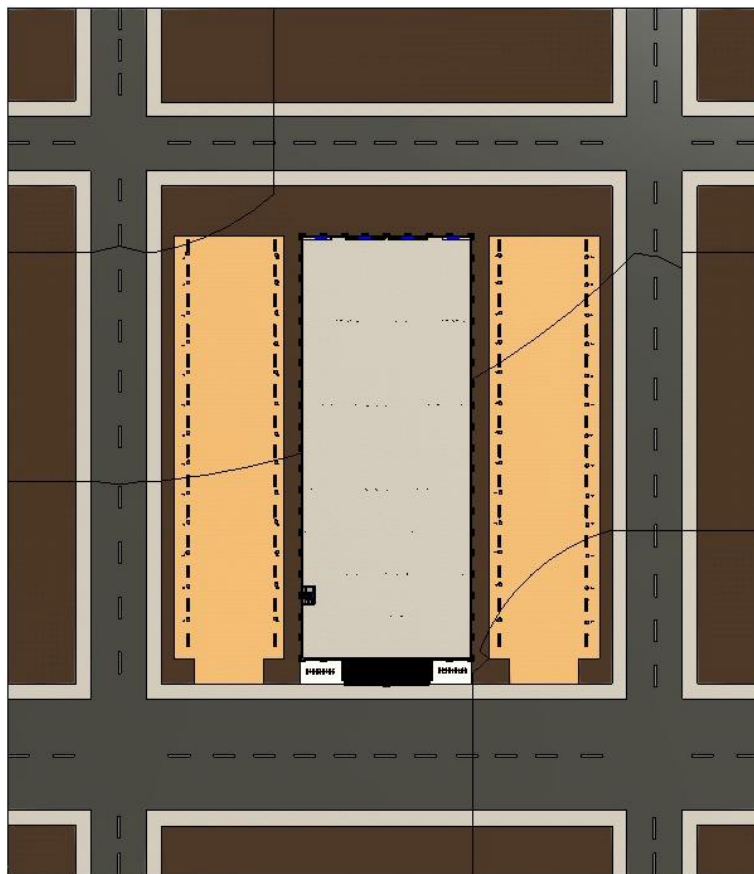
1. · Construção modular volumétrica, ou 3D;
2. · Construção modular painelizada, ou 2D;
3. · Construção modular paramétrica;
4. · Construção modular híbrida.



*Figura 2: Tipologia*

### 2.3 Localização da obra

O terreno de implantação da obra é em um bairro em expansão de uma cidade grande, tem topografia com pequena declividade, variando entre as cotas 80,0 m e 78,0 m, conforme ilustrado na figura 1. O projeto é de uma estrutura metálica mista para uma edificação comercial com dimensões em planta de 33.6 m x 84 m.



*Figura 3: Implantação. Projeção do edifício*

## 2.4. Acessibilidade

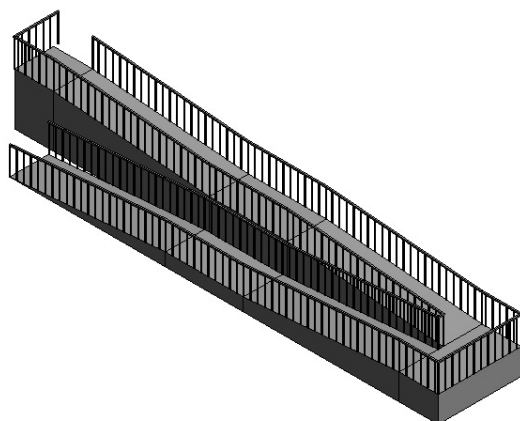
Acessibilidade é a inclusão de pessoas com deficiência ou com mobilidade reduzida no ambiente e nas atividades, com o intuito de integrá-las aos espaços sociais. Tem como objetivo proporcionar a melhoria da qualidade de vida das pessoas e a inclusão social, através da redução das desigualdades de oportunidades e remoção de obstáculos para locomoção. Garantindo a possibilidade de uma vida independente e exercício dos direitos de cidadania e de participação social. As principais normas regulamentadoras são:

- ABNT - NBR9050 – Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos;
- Constituição Federal, nos artigos 5º; 7º, XXXI; 23, II; 24, XIV; 37, VIII; 203, IV, V; 208, III, IV; 227, §1º, II, §2º e 244;
- Lei de Acessibilidade – Decreto de lei 5.296, de 2 de dezembro de 2004,
- Estatuto da Pessoa com Deficiência (lei federal nº 13.146/2015).

O projeto atende aos requisitos mínimos e restrições quanto à acessibilidade de pessoas com deficiência e atenderá as dimensões necessárias para rotação e translação do usuário com deficiência.

- **Rampa:**

Lances com 1,50 de largura e 34,50m de comprimento com inclinação igual a 12% e vão vertical vencido ao longo da rampa de 2,00m.



*Figura 4: Rampa e corrimão.*

- **Escada:**

- a) Escada da Entrada

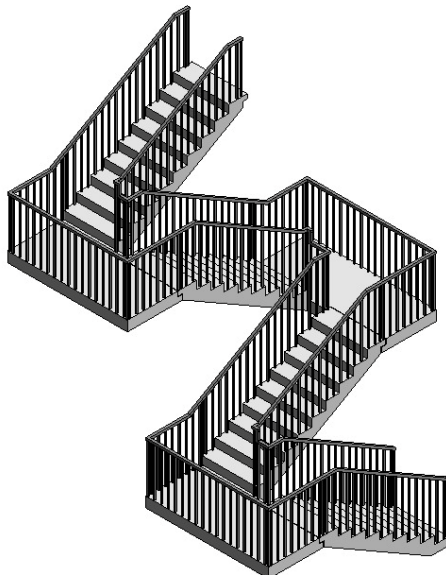
Lance e patamar com 1,20 de largura, contendo 36 degraus, cada degrau com 0,172m de espelho e 0,30m de pisada, vencendo um vão vertical por lance de 6,20m.



*Figura 5: Escada da Entrada e corrimão.*

b) Escada dos Fundos

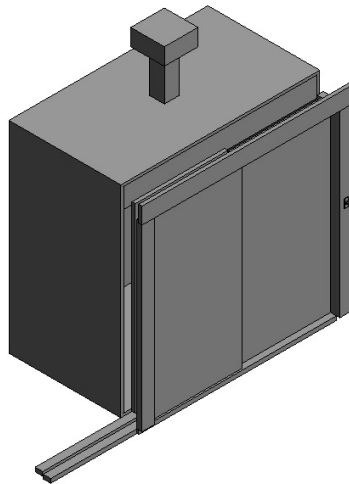
Lance e patamar com 1,20 de largura, contendo 24 degraus, cada degrau com 0,175m de espelho e 0,30m de pisada, vencendo um vão vertical por lance de 4,20m.



*Figura 6: Escada dos Fundos e corrimão.*

- **Elevador:**

Largura da abertura da porta 2,50m e altura da abertura da porta 2,325m, altura da cabine 2,40m, profundidade da cabine é 1,40m vencendo um vão vertical 6,20m.



*Figura 7: Elevador.*

## **2.5. Normas e Especificações Técnicas**

- ABNT NBR 8800: 2008-Projeto de Estruturas de Aço e de Estruturas Mistas de Aço e de Concreto de Edifícios;
- ABNT NBR 6123: 1990 -Forças devidas ao vento em edificações;
- ABNT - NBR 14762: 2010 – Dimensionamento de estruturas de aço perfil formados a frio
- ABNT - NBR9050 – Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos

## **2.6. Softwares Utilizados**

- AutoCad 2022
- Revit 2022
- SAP2000v22.0.0 2022
- TEKLA2021 2022

# **3. PROJETO E MEMÓRIA DE CÁLCULO**

## **3.1. Projeto (Anexo)**

Desenhos de conjunto com a identificação de todas as peças da estrutura e com tabelas de quantidades. Os desenhos de conjunto serão compostos por:

- Plantas:

PRANCHA N° 01 – Planta dos apoios com tabela de esforços na fundação

PRANCHA N° 02 – Planta do nível térreo

PRANCHA N° 03 – Planta do piso

PRANCHA N° 04 – Planta da cobertura

- Cortes;

PRANCHA N° 05 – Cortes longitudinal e transversal

- Desenhos de detalhes:

PRANCHA N° 06 E 07 – Ligações entre elementos da estrutura:

Bases de pilares;

Ligações entre vigas;

Ligações entre vigas e pilares

Ligações dos contraventamentos;

PRANCHA N° 08 – Ligações da estrutura com elementos de vedação vertical e da cobertura;

### **3.2 Memória de Cálculo – Edifício comercial em aço**

#### **3.2.1 Descrição da Estrutura**

Trata-se da estrutura de um edifício comercial formado por perfis metálicos, as vigas de extremidade são formadas por perfis I e os pilares por perfis H. Para as vigas internas foram utilizados os perfis caixa nele foram soldados perfis tubulares para servir de apoio para as lajes alveolares ( Figura 9 ), a mesa inferior terá uma largura maior na qual serão soldados 2 perfis tubulares para apoio das lajes alveolares.

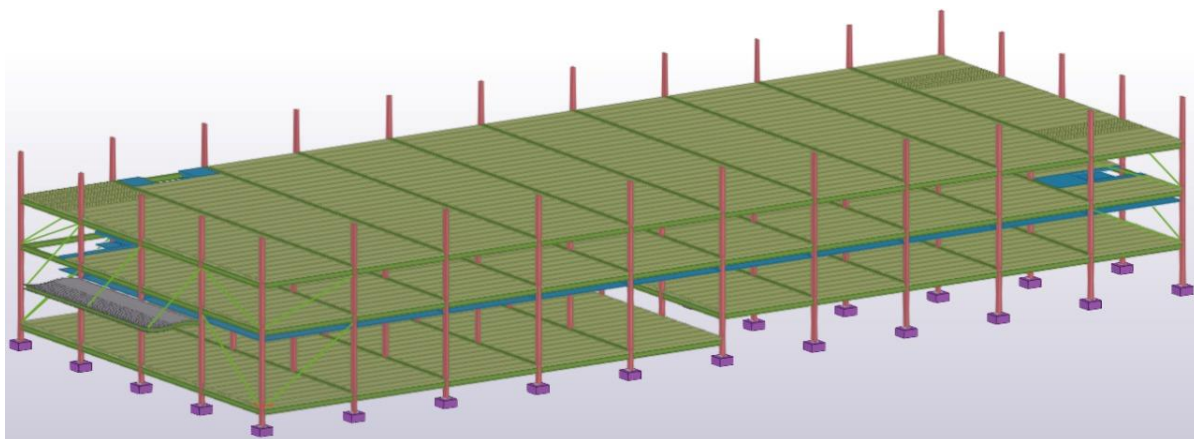


Figura 8: Edifício modulado no TEKLA

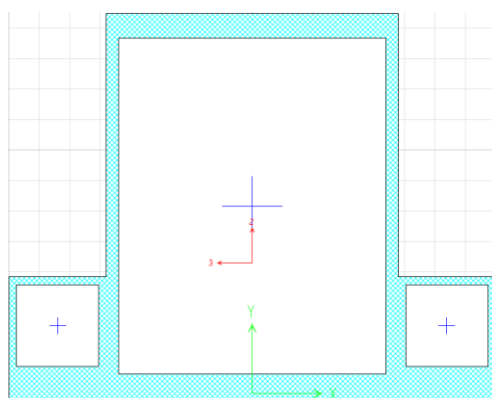


Figura 9: Perfil caixão

#### 3.2.1.1. Elementos principais

Lajes alveolares, vigas de extremidade e os pilares formados por perfis I, vigas internas formadas por perfis caixão com a aba inferior com uma largura maior onde serão soldados 2 perfis tubulares para apoio das lajes alveolares (detalhes nas pranchas).

#### 3.2.1.2. Elementos secundários

Enrijecedores (de base de pilar e de alma das vigas), chapas de ligação, montantes de perfis formados a frio para fixação dry wall para as paredes internas e fixação de vidros da fachada, escada pré-moldada de concreto, rampa moldada in loco

#### 3.2.1.3. Contraventamentos

Cantoneiras de abas iguais parafusadas em chapas Gusset

### 3.2.2. Especificação dos materiais estruturais

#### Propriedades dos Materiais

Perfil I ASTM A572 Gr. 50

Resistência ao escoamento:  $f_y = 250$  MPa

Resistência à ruptura:  $f_u = 450$  MPa

Módulo de elasticidade:  $E_s = 200$  GPa

Perfil Caixão ASTM A572 Gr. 50

Resistência ao escoamento:  $f_y = 250$  MPa

Resistência à ruptura:  $f_u = 450$  MPa

Módulo de elasticidade:  $E_s = 200$  GPa

Pré moldados

Resistência à ruptura:  $f_{ck} = 25$  MPa

(Seguindo os devidos controles de qualidade referente a cura acabamento ensaios realizados nas fabricas dos fornecedores).

Chapas A ASTM A36

Resistência ao escoamento:  $f_y = 250$  MPa

Resistência à ruptura  $f_u = 400$  MPa

Módulo de elasticidade  $E_s = 210$  GPa

Parafusos ASTM A325

Resistência ao escoamento:  $f_{yb} = 635$  MPa

Resistência à ruptura:  $f_{ub} = 825$  MPa

### 3.2.3 Ações e carregamentos

#### 3.2.3.1. Carga variável:

Sobrecarga de utilização de  $300 \text{ kg/m}^2$

De acordo com a NBR 6120 para cargas de edifícios comerciais e considerando que o vão a ser vencido pelas lajes alveolares seja os 8,40 m, de acordo com a tabela abaixo a altura necessária seria de 21cm (LP-21)

*Tabela 1:* Tabela de especificação de lajes alveolares da empresa de pré-fabricados Engeprocon

INFORMAÇÃO TÉCNICA DAS LAJES ALVEOLARES												
SOBRE - CARGAS EM KFG/M <sup>2</sup>												
VÃO (M)	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1500	2000
3,00	LP-15	LP-15	LP-15	LP-15	LP-15	LP-15	LP-15	LP-15	LP-15	LP-15	LP-15	LP-15
3,50	LP-15	LP-15	LP-15	LP-15	LP-15	LP-15	LP-15	LP-15	LP-15	LP-15	LP-15	LP-15
4,00	LP-15	LP-15	LP-15	LP-15	LP-15	LP-15	LP-15	LP-15	LP-15	LP-15	LP-15	LP-15
4,50	LP-15	LP-15	LP-15	LP-15	LP-15	LP-15	LP-15	LP-15	LP-15	LP-15	LP-15	LP-21
5,00	LP-15	LP-15	LP-15	LP-15	LP-15	LP-15	LP-15	LP-15	LP-15	LP-15	LP-21	LP-21
5,50	LP-15	LP-15	LP-15	LP-15	LP-15	LP-15	LP-15	LP-15	LP-15	LP-15	LP-21	LP-26
6,00	LP-15	LP-15	LP-15	LP-15	LP-15	LP-15	LP-15	LP-15	LP-21	LP-21	LP-21	LP-26
6,50	LP-15	LP-15	LP-15	LP-15	LP-15	LP-15	LP-15	LP-21	LP-21	LP-21	LP-21	LP-26
7,00	LP-15	LP-15	LP-15	LP-15	LP-15	LP-21	LP-21	LP-21	LP-21	LP-21	LP-26	LP-26
7,50	LP-15	LP-15	LP-15	LP-15	LP-21	LP-21	LP-21	LP-21	LP-21	LP-21	LP-26	LP-33
8,00	LP-15	LP-15	LP-15	LP-21	LP-21	LP-21	LP-21	LP-21	LP-21	LP-26	LP-26	LP-33
8,50	LP-21	LP-21	LP-21	LP-21	LP-21	LP-21	LP-21	LP-21	LP-26	LP-26	LP-33	-
9,00	LP-21	LP-21	LP-21	LP-21	LP-21	LP-21	LP-26	LP-26	LP-26	LP-26	LP-33	-
9,50	LP-21	LP-21	LP-21	LP-21	LP-21	LP-26	LP-26	LP-26	LP-26	LP-33	LP-33	-
10,00	LP-21	LP-21	LP-21	LP-21	LP-26	LP-26	LP-26	LP-26	LP-33	LP-33	-	-
10,50	LP-21	LP-21	LP-21	LP-21	LP-26	LP-26	LP-26	LP-33	LP-33	LP-33	-	-
11,00	LP-21	LP-21	LP-21	LP-21	LP-26	LP-26	LP-33	LP-33	LP-33	LP-33	-	-
11,50	LP-21	LP-21	LP-26	LP-26	LP-26	LP-26	LP-33	LP-33	LP-33	-	-	-
12,00	LP-21	LP-21	LP-26	LP-26	LP-26	LP-33	LP-33	LP-33	-	-	-	-
12,50	LP-21	LP-26	LP-26	LP-26	LP-33	LP-33	LP-33	-	-	-	-	-
13,00	LP-21	LP-26	LP-26	LP-33	LP-33	LP-33	-	-	-	-	-	-
13,50	LP-21	LP-26	LP-26	LP-33	LP-33	-	-	-	-	-	-	-
14,00	LP-26	LP-26	LP-33	LP-33	-	-	-	-	-	-	-	-
14,50	LP-26	LP-26	LP-33	LP-33	-	-	-	-	-	-	-	-
15,00	LP-26	LP-26	LP-33	LP-33	-	-	-	-	-	-	-	-

\*Outras sobre-carga sob consulta

Para as cargas de ventos foi considerado a norma NBR 6123 e a velocidade básica da cidade de Teresina do Estado do Piauí

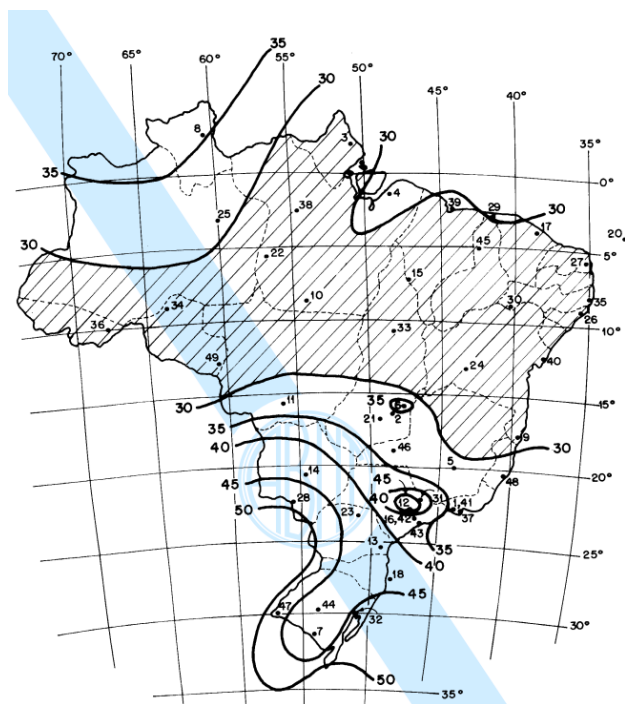


Figura 10: Gráfico de isopletas de velocidades básicas NBR 6123

De acordo com o gráfico das isopletas da NBR 6123, a velocidade básica no Piauí seria em torno de 30 m/s, assim foi considerado 33m/s.

Para o fator topográfico S1, foi considerado que o edifício está localizado em terreno plano ou fracamente acidentado, portanto  $S1 = 1,0$

Para o fator estatístico S3, foi considerado uma edificação para comércio e indústria com alto fator de ocupação, portanto  $S3 = 1,0$

Para o fator de rugosidade S2, foi considerado o terreno aberto com poucos obstáculos isolados (categoria II) e classe C pois a maior dimensão horizontal do edifício ultrapassa 50m

Tabela 2: Parâmetros para cálculo de S2 NBR 6123

Categoria	Relevo
I	Superfícies lisas de grandes dimensões, com mais de 5 km de extensão.
II	Terrenos abertos com poucos obstáculos isolados.
III	Terrenos planos ou ondulados com obstáculos.
IV	Terrenos com obstáculos numerosos e pouco espaçados.
V	Terrenos com obstáculos numerosos, grandes, altos e pouco espaçados.

Classe	Tamanho da Edificação
A	Maior dimensão horizontal ou vertical < 20m.
B	Maior dimensão horizontal ou vertical entre 20 e 50m.
C	Maior dimensão horizontal ou vertical > 50m.

Categoria	Parâmetro	Classes		
		A	B	C
I	b	1,10	1,11	1,12
	p	0,06	0,065	0,07
II	b	1,00	1,00	1,00
	p	0,085	0,09	0,10
III	b	0,94	0,94	0,93
	p	0,10	0,105	0,115
IV	b	0,86	0,85	0,84
	p	0,12	0,125	0,135
V	b	0,74	0,73	0,71
	p	0,15	0,16	0,175
I a V	Fr	1,00	0,98	0,95

Portanto:

$$b = 0,93, p = 0,115 \text{ e } Fr = 0,95$$

Assim:

$$S2 = b * Fr * \left(\frac{z}{10}\right)^p = 0,93 * 0,95 * \left(\frac{z}{10}\right)^{0,115}$$

A tabela 3 a seguir mostra o resumo das principais forças concentradas aplicadas ao edifício nas principais cotas, onde a força do vento fica em função da altura z, portanto e função do fator S2

$$Vk = V0 * S1 * S2 * S3$$

Onde:

Vk = velocidade característica do vento em (m/s)

$$Fa = \frac{Ca * q * Ae}{1000} (kN)$$

Onde:

Fa = Força resultante (kN)

Ca = Coeficiente de arrasto em função da relação geométrica entre as dimensões em planta e a altura

q = Pressão dinâmica de vento na fachada (N/m<sup>2</sup>)

Ae = Área de impacto do vento na fachada (m<sup>2</sup>)

A pressão de vento (q) é dada pela seguinte expressão

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

Serão analisados dois casos, com o vento agindo perpendicularmente a maior dimensão em planta e com vento agindo perpendicularmente a menor dimensão em planta. O pior caso será utilizado na análise estrutural adiante.

Comprimento do edifício = 84,0m

Largura do edifício = 33,6m

Altura = 13,4m

O valor do coeficiente de arrasto Ca foi retirado do gráfico da NBR 6123, e depende das relações entre altura e largura perpendicular a direção de atuação do vento e das relações entre as dimensões em planta.

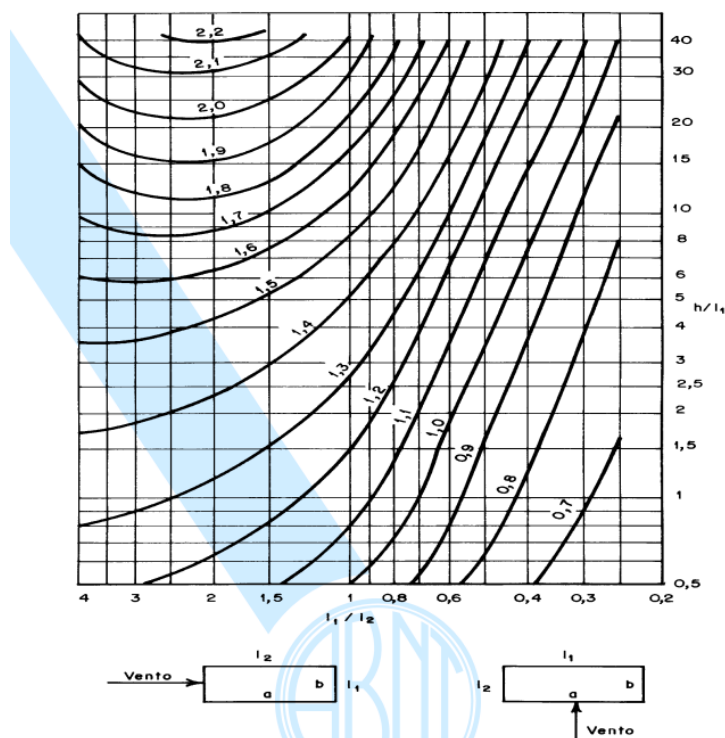


Figura 11: Ábaco com valores de coeficiente de arrasto NBR 6123

Tabela 3: Tabela resumindo cálculo das forças de vento

CASO VENTO AGINDO NA MAIOR DIMENSÃO EM PLANTA = 84 M									
l1/l2		2,5							
H/l1		0,16							
Ca		1,2							
cota (m)	Z (m)	S2	Vk (m/s)	q (N/m²)	b (m)	h (m)	Ae (m²)	Fhk (kN)	Fhd (kN)
78,25	0	0	0	0	8,4	3	12,6	0	0,00
80,25	2	0,87	28,78	507,77	8,4	3	25,2	15,35	21,50
84,45	6,2	0,96	31,69	615,45	8,4	3	25,2	18,61	26,06
91,65	13,4	1,03	33,83	701,61	8,4	3	12,6	10,61	14,85

CASO VENTO AGINDO NA MENOR DIMENSÃO EM PLANTA = 33,6 M									
l1/l2		0,4							
H/l1		0,40							
Ca		0,7							
cota (m)	Z (m)	S2	Vk (m/s)	q (N/m²)	b (m)	h (m)	Ae (m²)	Fhk (kN)	Fhd (kN)
78,25	0	0	0	0	8,4	3	12,6	0	0,00
80,25	2	0,87	28,78	507,77	8,4	3	25,2	8,96	12,54
84,45	6,2	0,96	31,69	615,45	8,4	3	25,2	10,86	15,20
91,65	13,4	1,03	33,83	701,61	8,4	3	12,6	6,19	8,66

### 3.2.3.2. Cargas permanentes:

Peso próprio dos revestimentos adotado foi de 100 kg/m²

Peso próprio da estrutura foi calculado automaticamente (cargas DEAD do SAP 2000)

### 3.2.3.3. Combinações:

Os valores dos coeficientes de ponderação  $\gamma_f$  e dos coeficientes de combinação  $\psi_0$  são estabelecidos pela Norma NBR 8800, para os vários casos de ações e são transcritos abaixo.

Tabela 4: Tabela de coeficientes de ponderação de ações NBR 8800

Combinações	Ações Permanentes (G) ( $\gamma_g$ ) <sup>1)3)</sup>					
	Diretas					Indiretas
	Peso próprio de estruturas metálicas	Pequena Variabilidade <sup>6)</sup>	Peso próprio de estruturas moldadas no local e de elementos construtivos industrializados	Grande Variabilidade <sup>6)</sup>	Peso próprio de elementos construídos em geral e equipamentos	
		Peso próprio de estruturas pré-moldadas		Peso próprio de elementos construídos industrializados com adições <i>in loco</i>		
Normais	1,25 (1,00)	1,30 (1,00)	1,35 (1,00)	1,40 (1,00)	1,50 (1,00)	1,20 (0)
Especiais ou de construção	1,15 (1,00)	1,20 (1,00)	1,25 (1,00)	1,30 (1,00)	1,40 (1,00)	1,20 (0)
Excepcionais	1,10 (1,00)	1,15 (1,00)	1,15 (1,00)	1,20 (1,00)	1,30 (1,00)	0 (0)
	Ações variáveis ( $\gamma_q$ ) <sup>1)4)</sup>					
	Efeito da temperatura <sup>2)</sup> (T)	Ação do vento (W)	Ações Truncadas <sup>5)</sup>	Demais ações variáveis, incluindo as decorrentes do uso e ocupação (L)		
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		

Tabela 5: Tabela de coeficientes de ponderação de ações NBR 8800

AÇÕES		$\gamma_{f2}$ <sup>5)</sup>			
		$\psi_{f,j}$ <sup>6)</sup>	$\psi_0$	$\psi_1$ <sup>3)</sup>	$\psi_2$ <sup>4)</sup>
Cargas acidentais de edifícios	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 <sup>1)</sup>	$\psi_{L,L}$	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 <sup>2)</sup>	$\psi_{L,P}$	0,7	0,6	0,4
	Bibliotecas, arquivos, depósitos, oficinas e garagens e sobrecargas em coberturas (Ver Anexo B.5.1, da ABNT NBR 8800/2008)	$\psi_{L,S}$	0,8	0,7	0,6
Vento	Pressão dinâmica do vento nas estruturas em geral	$\psi_W$	0,6	0,3	0
Temperatura	Variações uniformes de temperatura em relação à média anual local	$\psi_T$	0,6	0,5	0,3
Cargas móveis e seus efeitos dinâmicos	Passarelas de pedestres	$\psi_{L,PP}$	0,6	0,4	0,3
	Vigas de rolamentos de pontes rolantes	$\psi_{L,VR}$	1,0	0,8	0,5
	Pilares e outros elementos ou subestruturas que suportam vigas de rolamento de pontes rolantes	$\psi_{L,CP}$	0,7	0,6	0,4

Yf lajes alveolares = 1,40 (estrutura pré-moldada com adição in loco do concreto da capa)

Yf peso próprio = 1,25 (peso próprio de estrutura metálica)

Yf cargas de vento = 1,4 ,  $\psi_0 = 0,6$

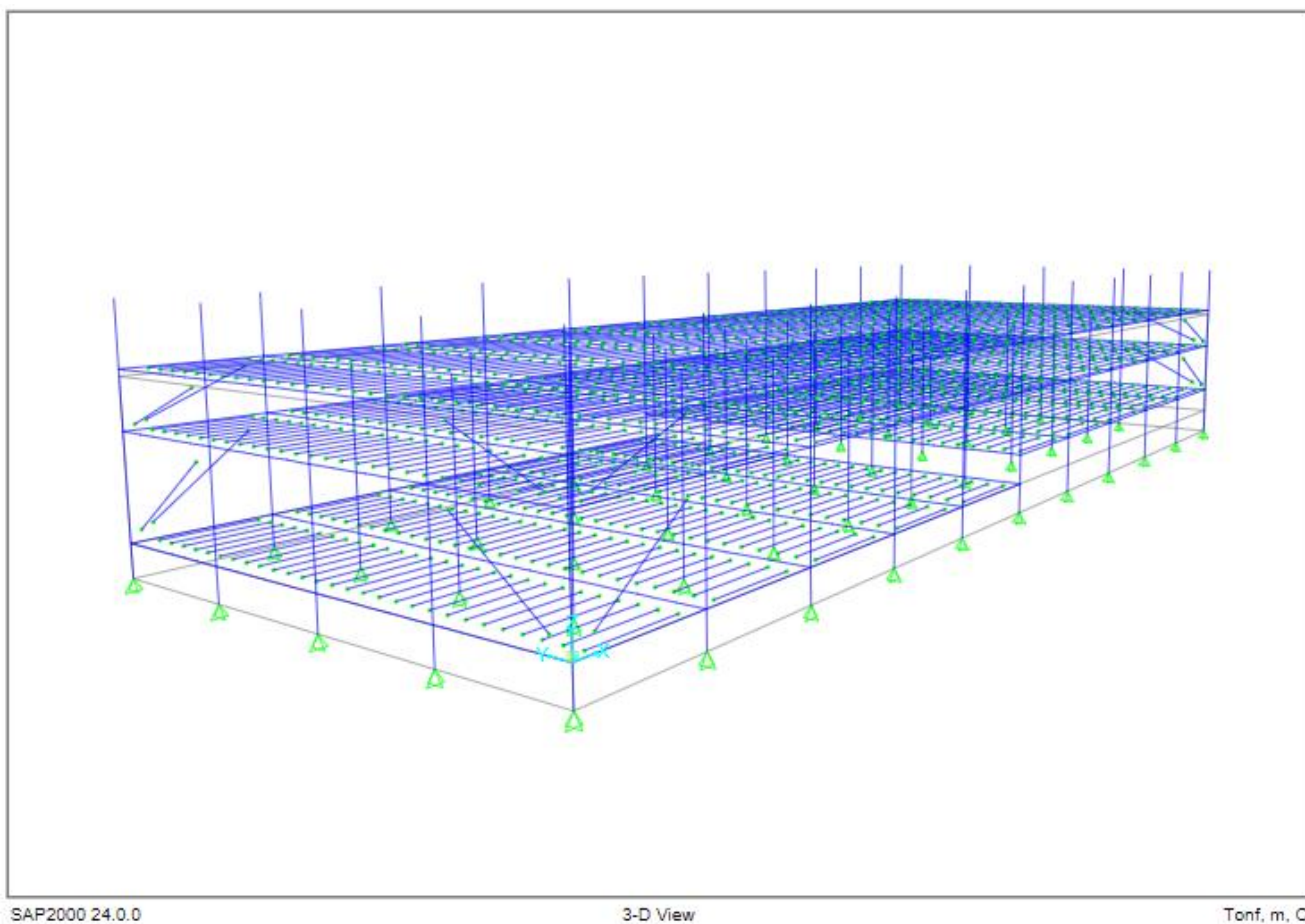
Yf cargas de ocupação/sobrecarga = 1,5,  $\psi_0 = 0,7$

#### 3.2.4. Análise estrutural

##### **3.2.4.1. Módulo típico do primeiro piso e cobertura**

O projeto é de uma estrutura metálica mista para uma edificação comercial com dimensões em planta de 33,60m x 84,00m, foram considerados módulos de 8,40 x 8,40m, o primeiro pavimento possui um desnível de 2,00m vencido com uma rampa, temos uma escada na entrada e outra para os fundos, além de um elevador. O valor de 1,20m corresponde ao espaço disponível entre o piso acabado e o forro; o valor de 3,60m corresponde ao espaço disponível entre a face inferior da cobertura e a platibanda, havendo 0,40m entre forro e face inferior da estrutura; O sistema de ar-condicionado foi compatibilizado, solucionando possíveis interferências utilizando o clash do Revit.

Para determinar os esforços solicitantes na estrutura, criou-se um modelo no Software SAP2000, considerando as ações e carregamentos descritas no item 3.2.3. A laje foi modelada como um elemento retangular maciço com área equivalente ao da laje alveolar apenas para garantir a mesma distribuição de carga e o mesmo peso próprio. O contraventamento e as lajes foram considerados rotulados como mostrado na figura:



*Figura 12: Modelo SAP2000*

#### **3.2.4.2. Propriedade dos elementos estruturais**

Os perfis e propriedades dos elementos estruturais do projeto estão demonstrados nas Figuras 13 até a Figura 21.

**Section Name**  **Display Color**

**Section Notes**

---

**Dimensions**

Outside vertical leg ( t3 )

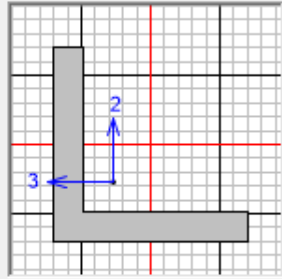
Outside horizontal leg ( t2 )

Horizontal leg thickness ( tf )

Vertical leg thickness ( tw )

Fillet Radius

**Section**



---

**Material**

**Property Modifiers**

**Properties**

Figura 13: Perfil contraventamento

Section Name		<div>Contra</div>	
Properties			
Cross-section (axial) area	4,487E-03	Section modulus about 3 axis (top)	7,438E-05
Moment of Inertia about 3 axis	6,566E-06	Section modulus about 3 axis (bottom)	1,696E-04
Moment of Inertia about 2 axis	6,566E-06	Section modulus about 2 axis (left)	1,696E-04
Product of Inertia about 2-3	3,817E-06	Section modulus about 2 axis (right)	7,438E-05
Torsional constant	5,130E-07	Warping Constant (Cw)	6,272E-10
Shear area in 2 direction	2,426E-03	Plastic modulus about 3 axis	1,341E-04
Shear area in 3 direction	2,426E-03	Plastic modulus about 2 axis	1,341E-04
CG offset in 3 direction	0,0248	Radius of Gyration about 3 axis	0,0383
CG offset in 2 direction	-0,0248	Radius of Gyration about 2 axis	0,0383
Shear Center Offset (x3)*	0,0277	* Value is not used in analysis	
Shear Center Offset (x2)*	-0,0277		

Figura 14: Propiedades contraventamento

**Section Name**  **Display Color**

**Section Notes**

---

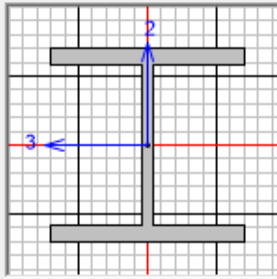
**Dimensions**

Outside height ( t3 )	<input type="text" value="0,3"/>
Top flange width ( t2 )	<input type="text" value="0,3"/>
Top flange thickness ( tf )	<input type="text" value="0,025"/>
Web thickness ( tw )	<input type="text" value="0,016"/>
Bottom flange width ( t2b )	<input type="text" value="0,3"/>
Bottom flange thickness ( tfb )	<input type="text" value="0,025"/>
Fillet Radius	<input type="text" value="0,"/>

**Material**

**Property Modifiers**

**Section**



**Properties**

Figura 15: Perfil H pilar

**Section Name**

**Properties**

Cross-section (axial) area	<input type="text" value="0,019"/>	Section modulus about 3 axis (top)	<input type="text" value="2,035E-03"/>
Moment of Inertia about 3 axis	<input type="text" value="3,052E-04"/>	Section modulus about 3 axis (bottom)	<input type="text" value="2,035E-03"/>
Moment of Inertia about 2 axis	<input type="text" value="1,126E-04"/>	Section modulus about 2 axis (left)	<input type="text" value="7,506E-04"/>
Product of Inertia about 2-3	<input type="text" value="0,"/>	Section modulus about 2 axis (right)	<input type="text" value="7,506E-04"/>
Torsional constant	<input type="text" value="3,289E-06"/>	Warping Constant (Cw)	<input type="text" value="2,127E-06"/>
Shear area in 2 direction	<input type="text" value="4,800E-03"/>	Plastic modulus about 3 axis	<input type="text" value="2,313E-03"/>
Shear area in 3 direction	<input type="text" value="0,0125"/>	Plastic modulus about 2 axis	<input type="text" value="1,141E-03"/>
CG offset in 3 direction	<input type="text" value="0,"/>	Radius of Gyration about 3 axis	<input type="text" value="0,1267"/>
CG offset in 2 direction	<input type="text" value="0,"/>	Radius of Gyration about 2 axis	<input type="text" value="0,077"/>
Shear Center Offset (x3)*	<input type="text" value="0,"/>		
Shear Center Offset (x2)*	<input type="text" value="0,"/>		

\* Value is not used in analysis

Figura 16: Propiedades pilar

**Base Material**

A36

**Orientation of 2-Axis for These Properties**

☒ Default ☐ User

Angle from X- to 2-Axis

**Mesh Size**

Max. Mesh Size (Absolute)  m

Max. Mesh Size (Relative)

**Properties**

Xcg	0
Ycg	0,1345
A	4,601E-03
J	9,999E-05
I33	1,048E-04
I22	9,833E-05
I23	0
AS2	1,486E-03
AS3	2,827E-03
S33(+face)	4,103E-04
S33(-face)	7,255E-04
S22(+face)	3,933E-04
S22(-face)	3,933E-04
Z33	5,106E-04
Z22	5,394E-04
r33	0,1509
r22	0,1462
d33pna	-0,0766
d22pna	0

Figura 17: Propriedades da viga caixão

**Section Name**  **Display Color** ■

**Section Notes**

---

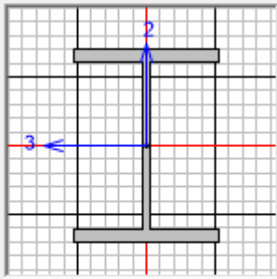
**Dimensions**

Outside height ( t3 )	<input type="text" value="0,4"/>
Top flange width ( t2 )	<input type="text" value="0,3"/>
Top flange thickness ( tf )	<input type="text" value="0,025"/>
Web thickness ( tw )	<input type="text" value="0,016"/>
Bottom flange width ( t2b )	<input type="text" value="0,3"/>
Bottom flange thickness ( tfb )	<input type="text" value="0,025"/>
Fillet Radius	<input type="text" value="0,"/>

**Material**

**Property Modifiers**

**Section**



**Properties**

Figura 18: Perfil I viga transversal

**Section Name**

**Properties**

Cross-section (axial) area	<input type="text" value="0,0206"/>	Section modulus about 3 axis (top)	<input type="text" value="2,926E-03"/>
Moment of Inertia about 3 axis	<input type="text" value="5,853E-04"/>	Section modulus about 3 axis (bottom)	<input type="text" value="2,926E-03"/>
Moment of Inertia about 2 axis	<input type="text" value="1,126E-04"/>	Section modulus about 2 axis (left)	<input type="text" value="7,508E-04"/>
Product of Inertia about 2-3	<input type="text" value="0,"/>	Section modulus about 2 axis (right)	<input type="text" value="7,508E-04"/>
Torsional constant	<input type="text" value="3,425E-06"/>	Warping Constant (Cw)	<input type="text" value="3,955E-06"/>
Shear area in 2 direction	<input type="text" value="6,400E-03"/>	Plastic modulus about 3 axis	<input type="text" value="3,303E-03"/>
Shear area in 3 direction	<input type="text" value="0,0125"/>	Plastic modulus about 2 axis	<input type="text" value="1,147E-03"/>
CG offset in 3 direction	<input type="text" value="0,"/>	Radius of Gyration about 3 axis	<input type="text" value="0,1686"/>
CG offset in 2 direction	<input type="text" value="0,"/>	Radius of Gyration about 2 axis	<input type="text" value="0,0739"/>
Shear Center Offset (x3)*	<input type="text" value="0,"/>		
Shear Center Offset (x2)*	<input type="text" value="0,"/>		

\* Value is not used in analysis

Figura 19: Propriedades viga transversal

**Section Name**  **Display Color**

**Section Notes**

---

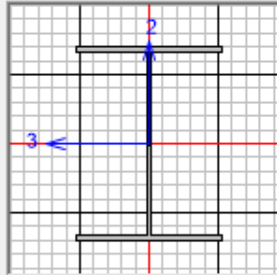
**Dimensions**

Outside height ( t3 )	<input type="text" value="0,4"/>
Top flange width ( t2 )	<input type="text" value="0,3"/>
Top flange thickness ( tf )	<input type="text" value="0,0125"/>
Web thickness ( tw )	<input type="text" value="8,000E-03"/>
Bottom flange width ( t2b )	<input type="text" value="0,3"/>
Bottom flange thickness ( tfb )	<input type="text" value="0,0125"/>
Fillet Radius	<input type="text" value="0,"/>

**Material**

**Property Modifiers**

**Section**



**Properties**

Figura 20: Perfil I longitudinal

**Section Name**

**Properties**

Cross-section (axial) area	<input type="text" value="0,0105"/>	Section modulus about 3 axis (top)	<input type="text" value="1,584E-03"/>
Moment of Inertia about 3 axis	<input type="text" value="3,168E-04"/>	Section modulus about 3 axis (bottom)	<input type="text" value="1,584E-03"/>
Moment of Inertia about 2 axis	<input type="text" value="5,627E-05"/>	Section modulus about 2 axis (left)	<input type="text" value="3,751E-04"/>
Product of Inertia about 2-3	<input type="text" value="0,"/>	Section modulus about 2 axis (right)	<input type="text" value="3,751E-04"/>
Torsional constant	<input type="text" value="4,435E-07"/>	Warping Constant (Cw)	<input type="text" value="2,112E-06"/>
Shear area in 2 direction	<input type="text" value="3,200E-03"/>	Plastic modulus about 3 axis	<input type="text" value="1,734E-03"/>
Shear area in 3 direction	<input type="text" value="6,250E-03"/>	Plastic modulus about 2 axis	<input type="text" value="5,685E-04"/>
CG offset in 3 direction	<input type="text" value="0,"/>	Radius of Gyration about 3 axis	<input type="text" value="0,1737"/>
CG offset in 2 direction	<input type="text" value="0,"/>	Radius of Gyration about 2 axis	<input type="text" value="0,0732"/>
Shear Center Offset (x3)*	<input type="text" value="0,"/>		
Shear Center Offset (x2)*	<input type="text" value="0,"/>		

\* Value is not used in analysis

Figura 21: Propriedades vigas longitudinal

### 3.2.4.3. Casos de carga:

De acordo com o item 3.2.3 os casos de cargas considerados no nosso modelo foram os mostrados na Figura 22:

**Load Patterns**

Load Pattern Name	Type	Self Weight Multiplier	Auto Lateral Load Pattern
DEAD	Dead	1	
DEAD	Dead	1	
Sobrecarga	Live	0	
Vento	Other	0	

Figura 22: Casos de carga

### 3.2.4.4. Combinações de Carga

Com os casos de cargas demonstrados no item anterior, foram feitas as seguintes combinações:

**Load Combination Name** (User-Generated)

Notes

**Load Combination Type**

**Options**

**Define Combination of Load Case Results**

Load Case Name	Load Case Type	Mode	Scale Factor
DEAD	Linear Static		1,35
DEAD	Linear Static		1,35
Sobrecarga	Linear Static		1,5
Vento	Linear Static		0,84

Figura 23: Combinação ELU

Load Combination Name

(User-Generated)

ELS CF

Notes

Modify/Show Notes...

Load Combination Type

Linear Add

Options

Convert to User Load Combo

Create Nonlinear Load Case from Load Combo

Define Combination of Load Case Results

Load Case Name	Load Case Type	Mode	Scale Factor
DEAD	Linear Static		1,
DEAD	Linear Static		1,
Sobrecarga	Linear Static		0,4

Add

Modify

Delete

Figura 24: Combinação ELU com Carga frequente

#### 3.2.4.5. Esforços

Os esforços analisados no edifício para a combinação ELU foram os de normal, cortante e de momento conforme as Figuras abaixo

Normal:

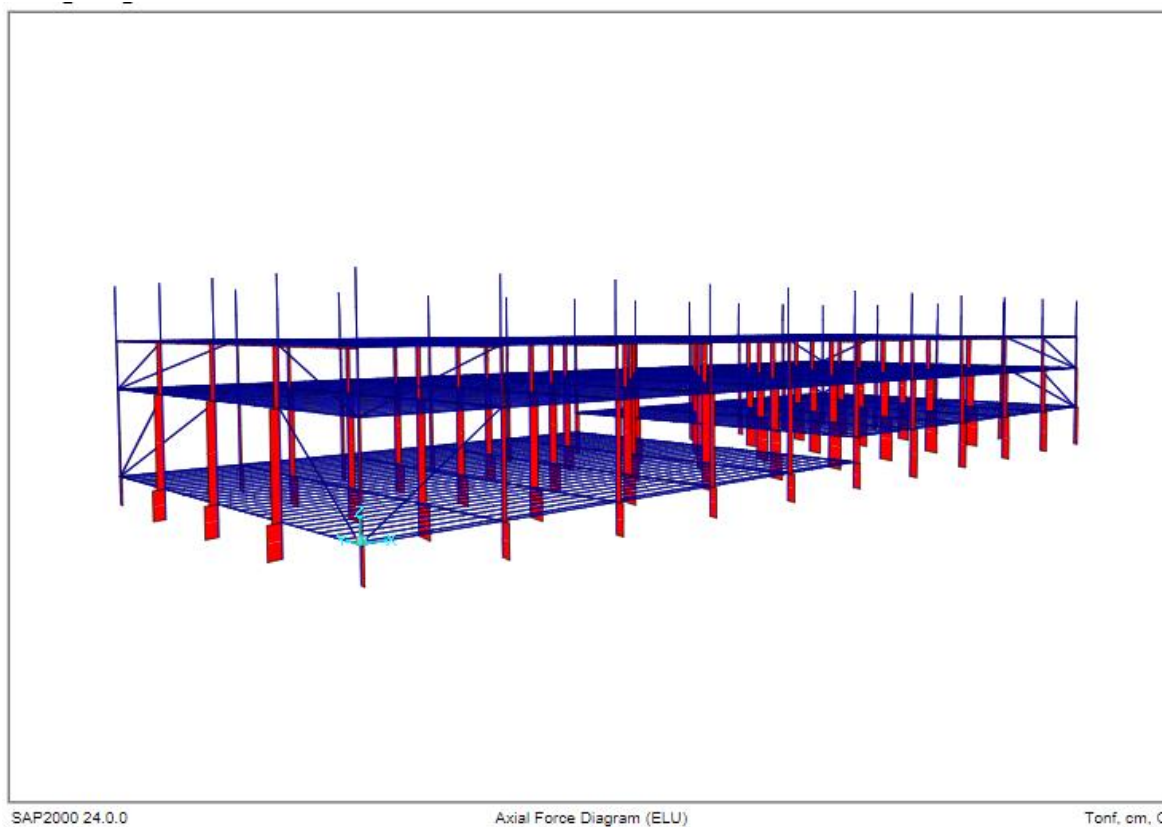


Figura 25: Diagramas de Esforços Normais para combinações ELU

Cortante:

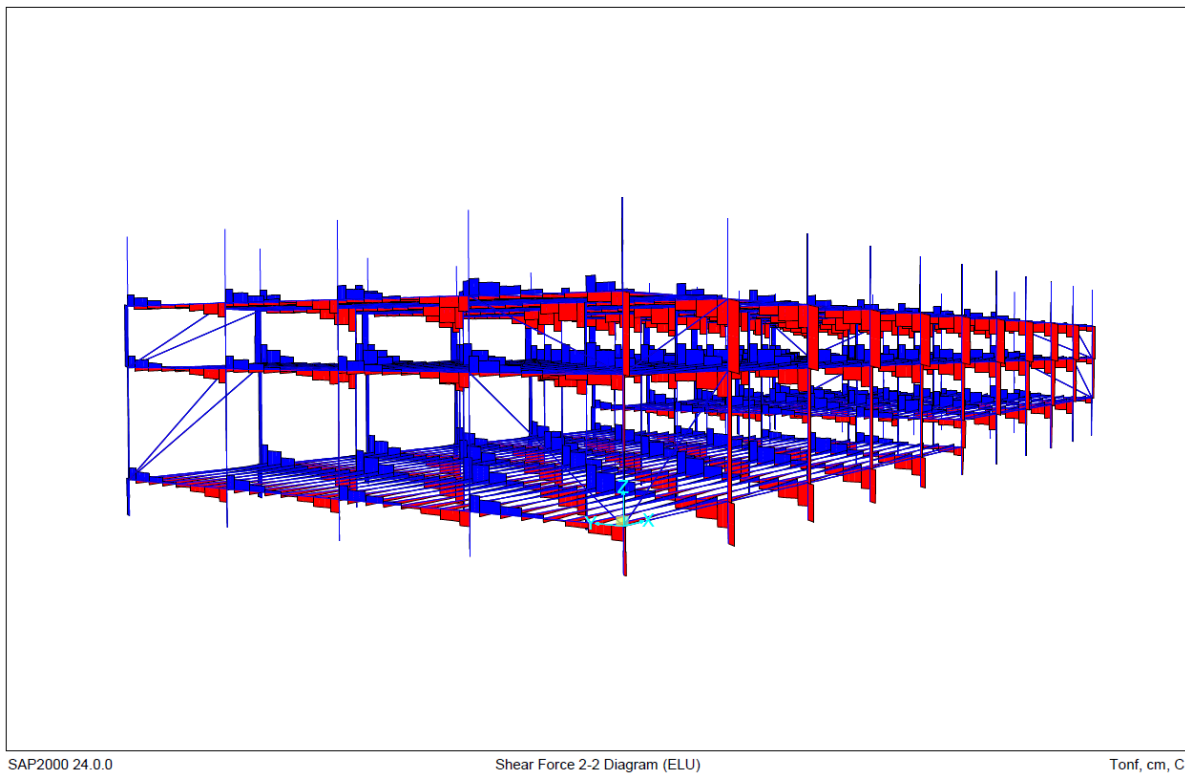
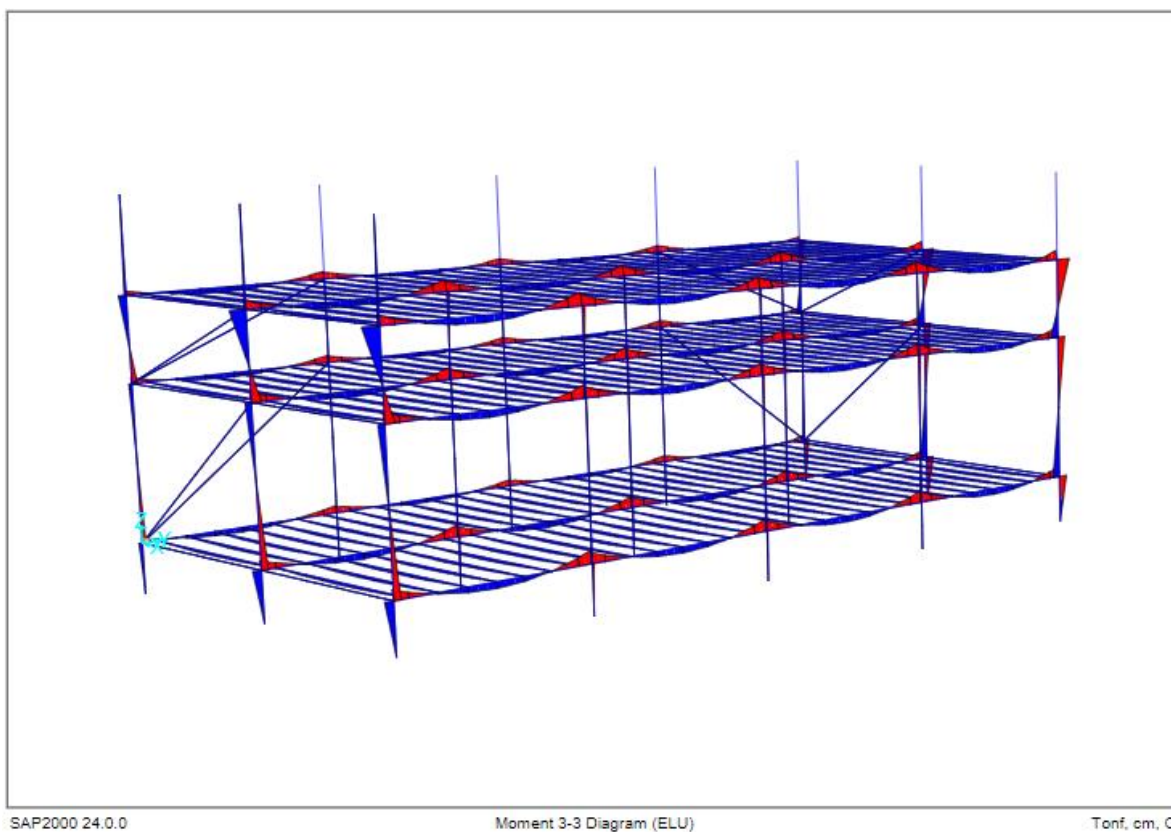


Figura 26: Diagramas de Esforços Cortantes para combinações ELU

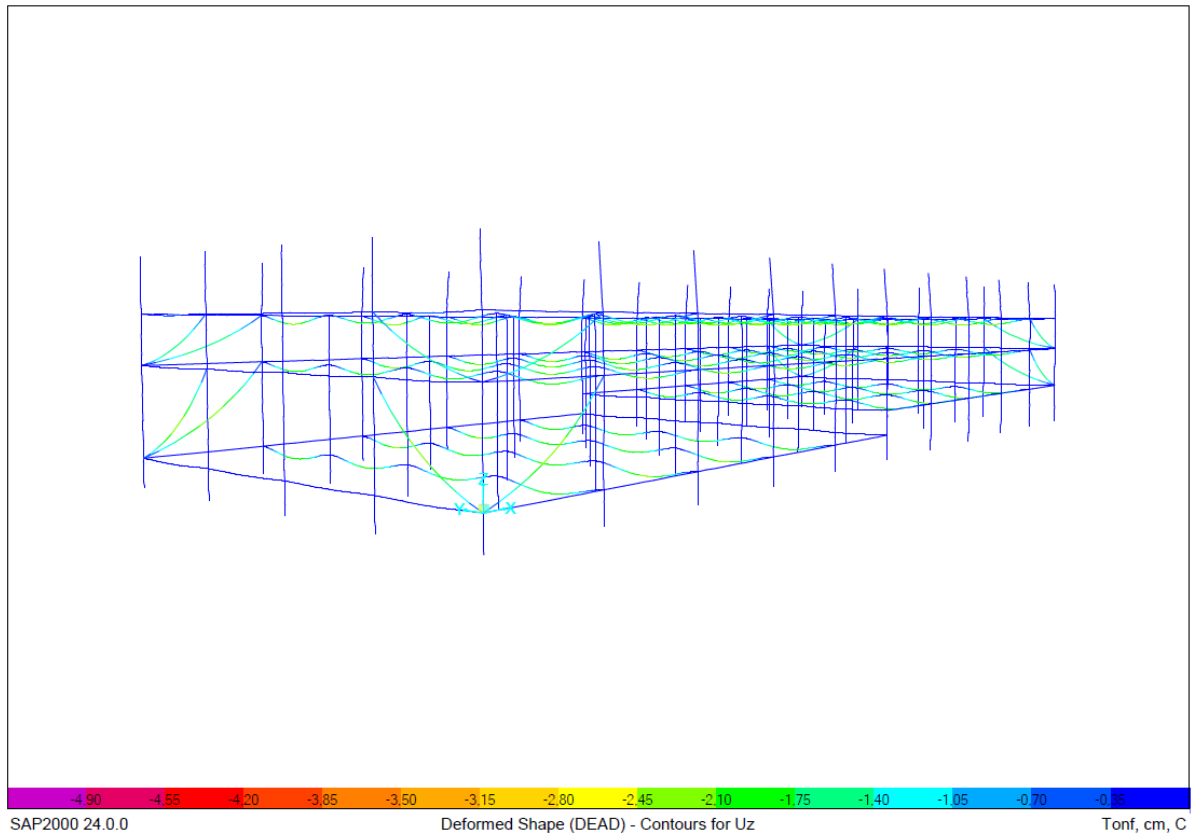
Momento:



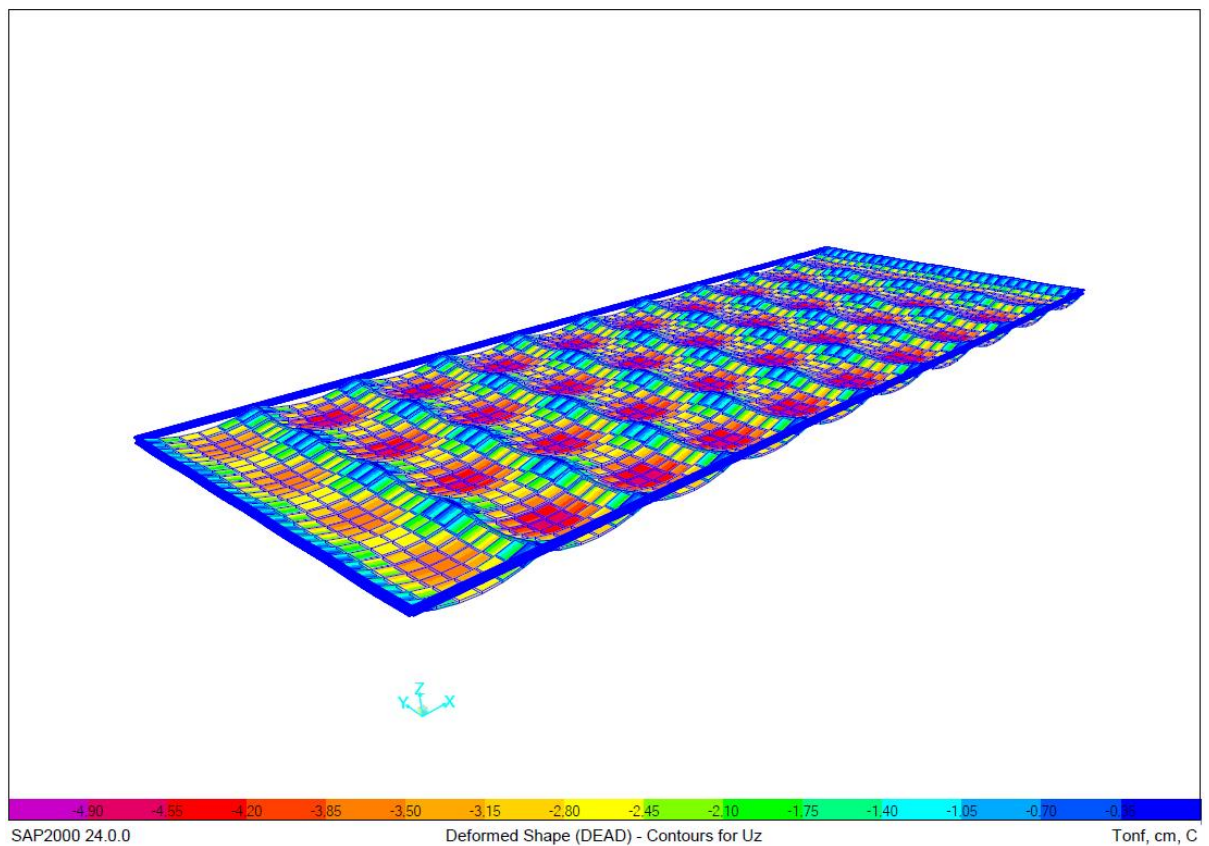
*Figura 27: Diagramas de Momento para combinação ELU*

#### **3.2.4.6. Deslocamentos**

O edifício analisado obteve os principais deslocamentos apresentados nas Figura 28 e Figura 29:



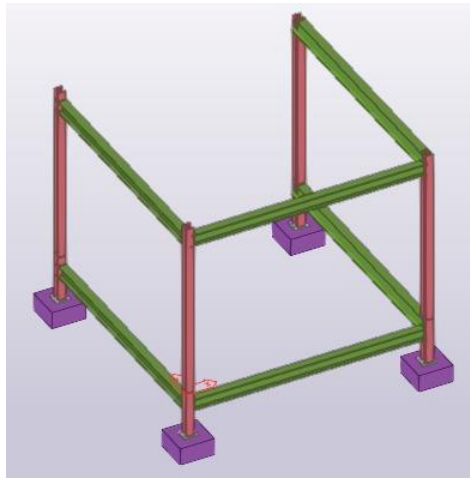
*Figura 28: Deslocamentos*



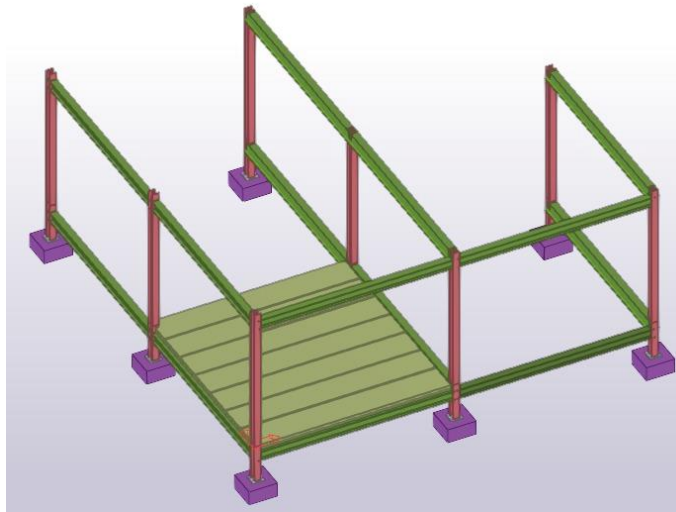
*Figura 29: Deslocamento no primeiro pavimento*

### 3.2.4.7. Sequência executiva

Sequência construtiva onde, 1º é feito a montagem do pórtico no canteiro de obra, em seguida esse pórtico é erguido e alocado com ajuda de um guindaste, com dois pórticos alocados são apoiadas as lajes alveolares. Posteriormente monta-se os próximos módulos de 8,40 x 8,40m. Em seguida, monta-se as escadas com guindaste e realiza-se a concretagem do pavimento. Após o término do primeiro pavimento repete-se os passos para a realização dos próximos pavimentos. Terminando todos os pavimentos coloca-se os painéis de vidro na estrutura finalizando o edifício.



*Figura 30: Montagem do Pórtico*



*Figura 31: Pórticos com a laje alveolar apoiada*

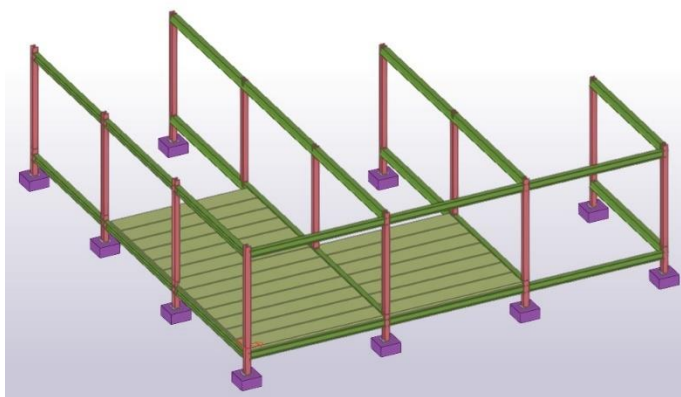


Figura 32: Montagem dos próximos módulos

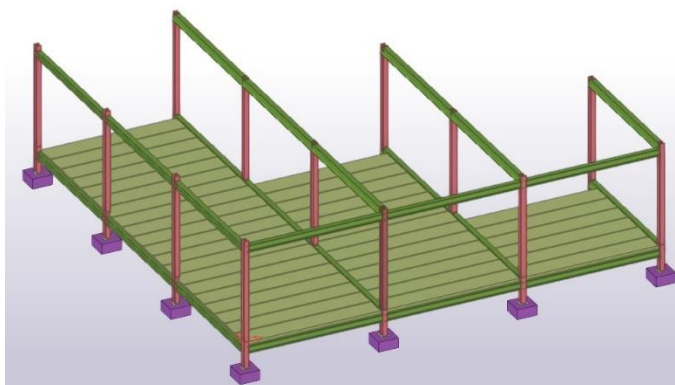


Figura 33: Repetição dos módulos em todo o pavimento

### 3.2.5. Dimensionamento dos elementos estruturais principais

#### 3.2.5.1. Vigas I de extremidade:

Dados da seção de cálculo:

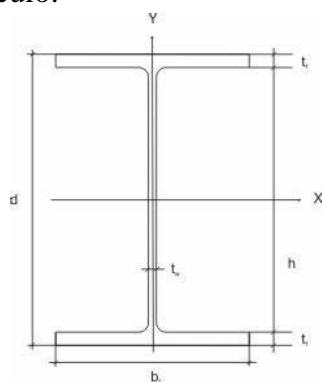


Figura 34: Perfil I

Tabela 6: Propriedades perfil I

E (Mpa)	200000	Ag (cm <sup>2</sup> )	206,00
G (Mpa)	77000	Zx (cm <sup>3</sup> )	3302,50
fy (Mpa)	250	Ix (cm <sup>4</sup> )	58529,17
fu (Mpa)	400	Wx (cm <sup>3</sup> )	2926,46
d (mm)	400	rx (cm)	14,98

h (mm)	350	I <sub>y</sub> (cm <sup>4</sup> )	11261,95
tw (mm)	16	W <sub>y</sub> (cm <sup>3</sup> )	750,80
tf (mm)	25	r <sub>y</sub> (cm)	7,39
bf (mm)	300	J (cm <sup>4</sup> )	360,29
vão (m)	8,4	β <sub>1</sub> (1/cm)	0,0071073
		C <sub>w</sub> (cm <sup>6</sup> )	3959278,13

**Flexão:**

**Plastificação**

$$M_{pl} = Z * f_y = \frac{3302,5 * 25}{100} = 825,63 \text{ kNm}$$

$$MRd_{plastificação} = \frac{M_{pl}}{1,1} = \frac{825,63}{1,1} = 750,57 \text{ kNm}$$

**FLA**

$$\lambda = \frac{h}{tw} = \frac{350}{16} = 21,88$$

$$\lambda_p = 3,76 * \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 3,76 * \sqrt{\frac{20000}{25}} = 106,35$$

$\lambda < \lambda_p < \lambda_r \rightarrow \text{anexo G NBR8800, viga no esbelta}$

$$MRd_{FLA} = MRd_{plastificação} = 750,57 \text{ kNm}$$

**FLM**

$$\lambda = \frac{bf}{2 * tf} = \frac{300}{2 * 25} = 6,00$$

$$\lambda_p = 0,38 * \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 0,38 * \sqrt{\frac{20000}{25}} = 10,75$$

$$\lambda < \lambda_p$$

$$MRd_{FLM} = MRd_{plastificação} = 750,57 \text{ kNm}$$

### **FLT**

$C_b = 1,14$  (considerado, a favor da segurança, valor para vigas bi apoiadas, apesar do esquema estático das vigas ser mais próximo de bi engastado devido as ligações soldadas entre vigas e pilares)

$L_b = 840$  cm (considerado o próprio valor do vão, sem travamentos laterais)

$$\lambda = \frac{L_b}{r_y} = \frac{840}{7,39} = 113,61$$

$$\lambda_p = 1,76 * \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 1,76 * \sqrt{\frac{20000}{25}} = 49,78$$

$$\begin{aligned} \lambda_r &= \frac{1,38\sqrt{I_y * J}}{r_y * J * \beta_1} * \sqrt{1 + \sqrt{1 + \frac{27 * C_w * \beta_1}{I_y}}} \\ &= \frac{1,38\sqrt{11261,95 * 360,29}}{7,39 * 360,29 * 0,0071} * \sqrt{1 + \sqrt{1 + \frac{27 * 3959278,13 * 0,0071}{11261,95}}} = 218,58 \end{aligned}$$

$$\lambda_p < \lambda < \lambda_r$$

$$M_r = 0,7 * W_x * f_y = \frac{0,7 * 2926,46 * 25}{100} = 512,13 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned} MRd_{FLT} &= \frac{C_b}{1,1} * (M_{pl} - (M_{pl} - M_r) * \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p}) \leq \frac{M_{pl}}{1,1} \\ \rightarrow \frac{1,14}{1,1} * (825,63 - (825,63 - 512,13) * \frac{113,61 - 49,78}{218,58 - 49,78}) &= 732,80 \text{ kNm} \leq 750,57 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Portanto:

$$MRd_{viga} = 732,80 \text{ kNm}$$

### **Cortante:**

$a = 840$  cm (sem enrijecedores intermediários, apenas nos apoios)

$$\frac{a}{h} = \frac{840}{35} = 24 > 3$$

$$K_v = 5$$

$$A_w = d * t_w = 40 * 1,6 = 64 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl} = 0,60 * A_w * f_y = 0,60 * 64 * 25 = 960 \text{ kN}$$

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = \frac{350}{16} = 21,88$$

$$\lambda_p = 1,10 * \sqrt{\frac{Kv * E}{fy}} = 1,10 * \sqrt{\frac{5 * 20000}{25}} = 69,57$$

$$\lambda < \lambda_p$$

$$VRd_{viga} = \frac{V_{pl}}{1,1} = \frac{960}{1,1} = 872,73 \text{ kN}$$

### 3.2.5.2. Vigas caixão internas:

Dados da seção de cálculo:

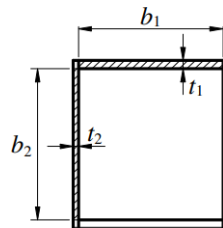


Figura 35: Perfil caixão

Tabela 7: Propriedades perfil caixão

E (Mpa)	200000	Ag (cm <sup>2</sup> )	121,25
G (Mpa)	77000	Ix (cm <sup>4</sup> )	13215,03
fy (Mpa)	250	Wx (cm <sup>3</sup> )	961,09
fu (Mpa)	400	rx (cm)	10,44
tipo	caixão	Zx (cm <sup>3</sup> )	967,58
vão (m)	8,4	Iy (cm <sup>4</sup> )	8922,53
b1 (mm)	200	Wy (cm <sup>3</sup> )	793,11
t1 (mm)	15	ry (cm)	8,58
b2 (mm)	245	J (cm <sup>4</sup> )	76,90
t2 (mm)	12,5		

**Flexão:**

#### Plastificação

$$M_{pl} = Z * fy = \frac{967,58 * 25}{100} = 241,89 \text{ kNm}$$

$$MRd_{plastificação} = \frac{M_{pl}}{1,1} = \frac{241,89}{1,1} = 219,90 \text{ kNm}$$

#### FLA

$$\lambda = \frac{h}{tw} = \frac{245}{12,5} = 19,6$$

$$\lambda_p = 3,76 * \sqrt{\frac{E}{fy}} = 3,76 * \sqrt{\frac{20000}{25}} = 106,35$$

$\lambda < \lambda_p < \lambda_r \rightarrow \text{anexo G NBR8800, viga no esbelta}$

$$MRd_{FLA} = MRd_{plastificação} = 219,90 \text{ kNm}$$

### **FLM**

$$\lambda = \frac{b1}{t1} = \frac{200}{15} = 13,33$$

$$\lambda_p = 1,12 * \sqrt{\frac{E}{fy}} = 1,12 * \sqrt{\frac{20000}{25}} = 31,68$$

$$\lambda < \lambda_p$$

$$MRd_{FLM} = MRd_{plastificação} = 219,90 \text{ kNm}$$

### **FLT**

$C_b = 1,14$  (considerado, a favor da segurança, valor para vigas bi apoiadas, apesar do esquema estático das vigas ser mais próximo de bi engastado devido as ligações soldadas entre vigas e pilares)

$L_b = 840 \text{ cm}$  (considerado o próprio valor do vão, sem travamentos laterais)

$$\lambda = \frac{Lb}{ry} = \frac{840}{8,58} = 10,38$$

$$\lambda_p = \frac{0,13 * E}{Mpl} * \sqrt{J * A} = \frac{0,13 * 20000}{21990} * \sqrt{76,90 * 121,25} = 10,38$$

$$\lambda_r = \frac{2 * E}{Mr} * \sqrt{J * A} = \frac{2 * 20000}{16819} * \sqrt{76,90 * 121,25} = 10,38$$

$$\lambda_p < \lambda < \lambda_r$$

$$Mr = 0,7 * Wx * fy = \frac{0,7 * 961,09 * 25}{100} = 168,19 \text{ kNm}$$

$$MRd_{FLT} = \frac{Cb}{1,1} * (Mpl - (Mpl - Mr) * \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p}) \leq \frac{Mpl}{1,1}$$

$$\rightarrow \frac{1,14}{1,1} * (241,89 - (241,89 - 168,19) * \frac{10,38 - 10,38}{10,38 - 10,38}) = 220,20 \text{ kNm} > 219,90 \text{ kNm}$$

Portanto:

$$MRd_{viga} = 219,90 \text{ kNm}$$

### Cortante:

a = 840 cm (sem enrijecedores intermediários, apenas nos apoios)

Portanto:

$$Kv = 5$$

$$Aw = 2 * h * tw = 2 * 24,5 * 1,25 = 61,25 \text{ cm}^2$$

$$Vpl = 0,60 * Aw * fy = 0,60 * 61,25 * 25 = 918,75 \text{ kN}$$

$$\lambda = \frac{h}{tw} = \frac{245}{12,5} = 19,6$$

$$\lambda_p = 1,10 * \sqrt{\frac{Kv * E}{fy}} = 1,10 * \sqrt{\frac{5 * 20000}{25}} = 69,57$$

$$\lambda < \lambda_p$$

$$VRd_{viga} = \frac{Vpl}{1,1} = \frac{918,75}{1,1} = 835,23 \text{ kN}$$

### Valores limites para flechas nas vigas:

$$\text{Vigas de piso: } \frac{L}{350} = \frac{840}{350} = 2,40 \text{ cm}$$

$$\text{Vigas de cobertura: } \frac{L}{250} = \frac{840}{250} = 3,35 \text{ cm}$$

#### 3.2.5.3. Pilares H:

**Dados:**

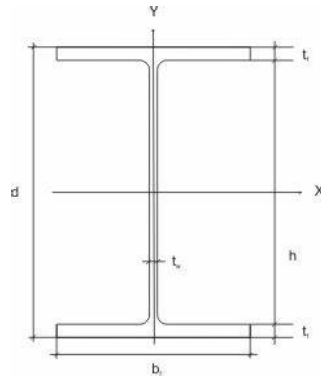


Figura 36: Perfil H pilar

Tabela 8: Propriedades perfil H pilar

E (Mpa)	200000	Ag (cm <sup>2</sup> )	190,00
G (Mpa)	77000	Zx (cm <sup>3</sup> )	2312,50
fy (Mpa)	250	Ix (cm <sup>4</sup> )	30520,83
fu (Mpa)	400	Wx (cm <sup>3</sup> )	2034,72
d (mm)	300	rx (cm)	12,67
h (mm)	250	Iy (cm <sup>4</sup> )	11258,53
tw (mm)	16	Wy (cm <sup>3</sup> )	750,57
tf (mm)	25	ry (cm)	7,70
bf (mm)	300	J (cm <sup>4</sup> )	346,63
Lx (m)	4,5	β1 (1/cm)	0,005
Ly (m)	4,5	Cw (cm <sup>6</sup> )	2128566,46
Lz (m)	4,5	Kx = Ky = Kz = 1	(apoiado-apoiado)

### Compressão:

Flambagem local elementos AA

$$\frac{b}{t} = \frac{250}{16} = 15,63$$

$$\frac{b}{t} \lim = 1,49 * \sqrt{\frac{E}{fy}} = 1,49 * \sqrt{\frac{20000}{25}} = 42,14$$

$$\frac{b}{t} < \frac{b}{t} \lim \rightarrow Qa = 1$$

Flambagem local elementos AL

$$\frac{b}{t} = \frac{300}{2 * 25} = 6,00$$

$$\frac{b}{t} \lim = 0,56 * \sqrt{\frac{E}{fy}} = 0,56 * \sqrt{\frac{20000}{25}} = 15,84$$

$$\frac{b}{t} < \frac{b}{t} \lim \rightarrow Q_s = 1$$

$$Q = Q_a * Q_s = 1$$

Flambagem global

$$Ne_x = \frac{\pi^2 * E * I_x}{(Kl_x)^2} = \frac{\pi^2 * 20000 * 30520,83}{(1 * 450)^2} = 29750,97 \text{ kN}$$

$$Ne_y = \frac{\pi^2 * E * I_y}{(Kl_y)^2} = \frac{\pi^2 * 20000 * 11258,53}{(1 * 450)^2} = 10974,55 \text{ kN}$$

$$Ne_z = \left( \frac{1}{r_0^2} \right) * \left( \frac{\pi^2 * E * C_w}{(Kl_z)^2} + G * J \right)$$

$$= \left( \frac{1}{\sqrt{12,67^2 + 7,70^2}} \right) * \left( \frac{\pi^2 * 20000 * 2128566,46}{(1 * 450)^2} + 7700 * 346,63 \right) = 31395,11 \text{ kN}$$

Portanto eixo y é mais crítico ( menor Ne)

$$\lambda_y = \frac{Kl_y}{r_y} = \frac{450}{7,70} = 58,46 < 200 \rightarrow OK \text{ para ELS}$$

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{Q * Ag * fy}{Ne}} = \sqrt{\frac{1 * 190 * 25}{10974,55}} = 0,66 < 1,5$$

$$\chi = 0,658^{\lambda_0^2} = 0,658^{0,66^2} = 0,83$$

portanto

$$NcRd = \frac{Q * \chi * Ag * fy}{1,1} = \frac{1 * 0,83 * 190 * 25}{1,1} = 3602,68 \text{ kN}$$

**Flexão:**

### **Plastificação**

$$M_{pl} = Z * fy = \frac{2312,50 * 25}{100} = 578,68 \text{ kNm}$$

$$MRd_{\text{plastificação}} = \frac{M_{pl}}{1,1} = \frac{578,68}{1,1} = 525,27 \text{ kNm}$$

### **FLA**

$$\lambda = \frac{h}{tw} = \frac{250}{16} = 15,63$$

$$\lambda_p = 3,76 * \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 3,76 * \sqrt{\frac{20000}{25}} = 106,35$$

$\lambda < \lambda_p < \lambda_r \rightarrow$  anexo G NBR8800 , viga no esbelta

$$MRd_{FLA} = MRd_{plastificação} = 525,27 \text{ kNm}$$

### **FLM**

$$\lambda = \frac{bf}{2 * tf} = \frac{300}{2 * 25} = 6,00$$

$$\lambda_p = 0,38 * \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 0,38 * \sqrt{\frac{20000}{25}} = 10,75$$

$$\lambda < \lambda_p$$

$$MRd_{FLM} = MRd_{plastificação} = 525,27 \text{ kNm}$$

### **FLT**

$C_b = 1,14$  (considerado, a favor da segurança, valor para vigas bi apoiadas, apesar do esquema estático das vigas ser mais próximo de bi engastado devido as ligações soldadas entre vigas e pilares)

$L_b = 840 \text{ cm}$  (considerado o próprio valor do vão, sem travamentos laterais)

$$\lambda = \frac{L_b}{r_y} = \frac{840}{7,70} = 109,12$$

$$\lambda_p = 1,76 * \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 1,76 * \sqrt{\frac{20000}{25}} = 49,78$$

$$\begin{aligned} \lambda_r &= \frac{1,38\sqrt{I_y * J}}{r_y * J * \beta_1} * \sqrt{1 + \sqrt{1 + \frac{27 * C_w * \beta_1}{I_y}}} \\ &= \frac{1,38\sqrt{11258,53 * 346,63}}{7,70 * 346,63 * 0,005} * \sqrt{1 + \sqrt{1 + \frac{27 * 2128566,46 * 0,005}{11258,53}}} = 285,86 \end{aligned}$$

$$\lambda_p < \lambda < \lambda_r$$

$$Mr = 0,7 * Wx * fy = \frac{0,7 * 2034,72 * 25}{100} = 356,08 \text{ kNm}$$

$$MRd_{FLT} = \frac{Cb}{1,1} * (Mpl - (Mpl - Mr) * \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p}) \leq \frac{Mpl}{1,1}$$

$$\rightarrow \frac{1,14}{1,1} * (578,68 - (578,68 - 356,08) * \frac{109,12 - 49,78}{285,86 - 49,78}) = 541,30 \text{ kNm} > 525,27 \text{ kNm}$$

Portanto:

$$MRd_{viga} = 525,27 \text{ kNm}$$

**Cortante:**

a=450 cm (sem enrijecedores intermediários, apenas nos apoios)

portanto:

$$\frac{a}{h} = \frac{450}{25} = 18 > 3$$

$$Kv = 5$$

$$Aw = d * tw = 30 * 1,6 = 48 \text{ cm}^2$$

$$Vpl = 0,60 * Aw * fy = 0,60 * 48 * 25 = 720 \text{ kN}$$

$$\lambda = \frac{h}{tw} = \frac{250}{16} = 15,63$$

$$\lambda_p = 1,10 * \sqrt{\frac{Kv * E}{fy}} = 1,10 * \sqrt{\frac{5 * 20000}{25}} = 69,57$$

$$\lambda < \lambda_p$$

$$VRd_{viga} = \frac{Vpl}{1,1} = \frac{720}{1,1} = 654,55 \text{ kN}$$

### 3.2.6. Dimensionamento dos elementos estruturais de contraventamento

Foi realizado um pré-dimensionamento das cantoneiras de acordo com valor limite de esbeltez a compressão para ELS. o maior comprimento das cantoneiras é mostrado na figura abaixo:

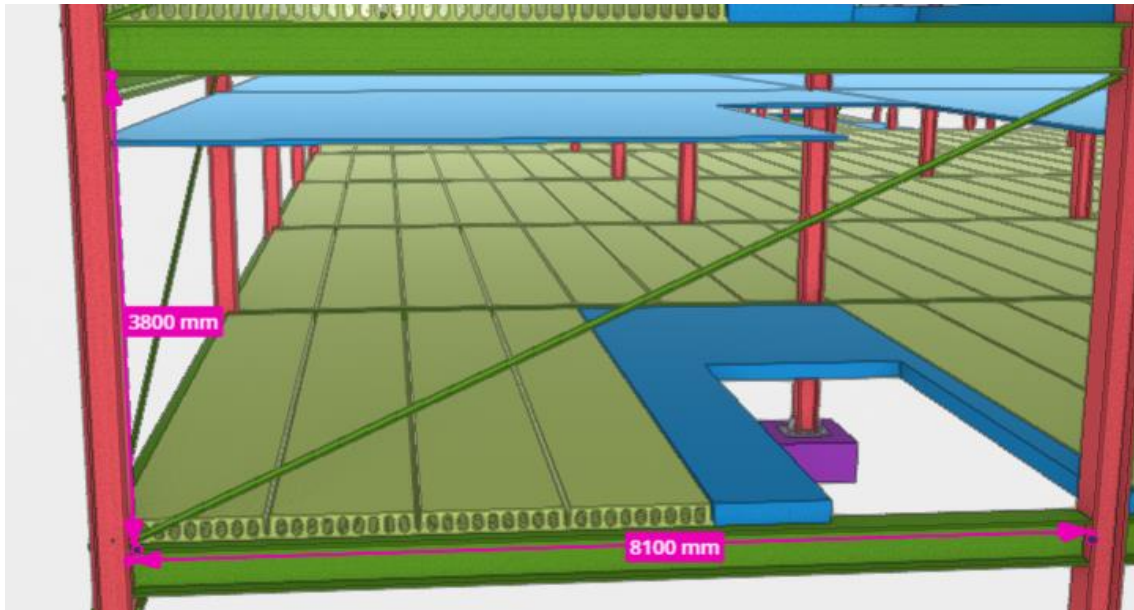


Figura 37: Contraventamento no TEKLA

$$L = \sqrt{3,8^2 + 8,2^2} = 9,03 \text{ m}$$

$$\frac{L}{r_{\min}} \leq 200 \rightarrow \frac{903}{r_{\min}} \leq 200 \rightarrow r_{\min} = 4,52 \text{ cm}$$

foi escolhido a cantoneira de abas iguais L127x127x19,1, cujo raio de giração mínimo é:

$$r_{\min} = r_z = 2,46 \text{ cm}$$

**Tração:**

Dados cantoneira

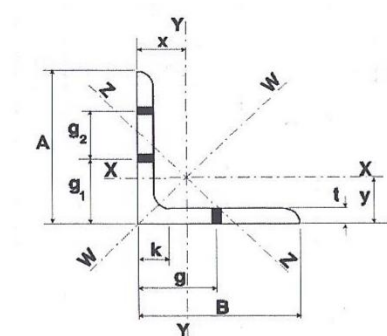


Figura 38: Cantoneira contraventamento

Tabela 9: Propriedades cantoneiras

hx (mm)	127
hy (mm)	127
t (mm)	19,1

$A_g$ (cm <sup>2</sup> )	44,76
$I_x$ (cm <sup>4</sup> )	653
$r_x$ (cm <sup>3</sup> )	3,82
$I_y$ (cm <sup>4</sup> )	653,00
$r_y$ (cm)	3,82
$r_{\min} = r_z$ (cm)	2,46
$x = y$ (cm)	3,86

Resistência ao escoamento da sua seção bruta:

$$N_{t,Rd1} = \frac{A_g \cdot f_y}{\gamma_{\alpha_1}} = \frac{44,76 \cdot 25}{1,10} = 1017,27 \text{ kN}$$

**Resistencia á ruptura da seção líquida:**

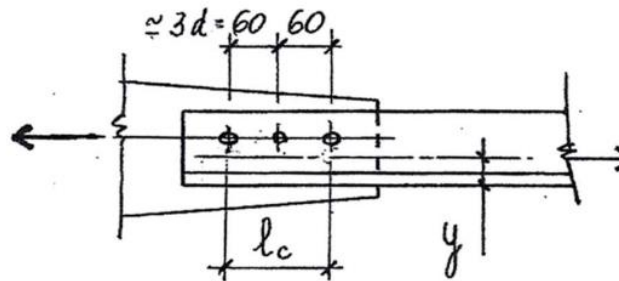


Figura 39: Resistencia à ruptura

$$N_{t,Rd2} = \frac{A_e \cdot f_u}{\gamma_{\alpha_2}}$$

Sendo:

$$A_e = A_n \cdot C_t$$

$$A_n = A_g - n \cdot (d + 3,5) = 4476 - 1 \cdot (20 + 3,5) = 4416,0 \text{ mm}^2$$

$$C_t = 1 - \frac{e_c}{l_c} = 1 - \frac{3,86}{12} = 0,68 \rightarrow 0,60 < C_t < 0,90$$

$$N_{t,Rd2} = \frac{A_e \cdot f_u}{\gamma_{\alpha_2}} = \frac{44,16 \cdot 0,68 \cdot 40}{1,35} = 889,74 \text{ kN}$$

Portanto:

$$N_{t,Rd} = 889,74 \text{ kN}$$

Para a verificação do cisalhamento nos parafusos, tem-se:

$$F_{R,d} = \frac{0,4 \cdot A_b \cdot f_{ub}}{\gamma_{\alpha_2}}$$

$$F_{R,d1} = \frac{0,4 \cdot \left( \frac{\pi \cdot 2,5^2}{4} \right) \cdot 82,5}{1,35} = 120 \text{ kN (1 parafuso)}$$

$$F_{R,d} = 3 \cdot 120 = 360 \text{ kN (3 parafusos)}$$

Chapa:

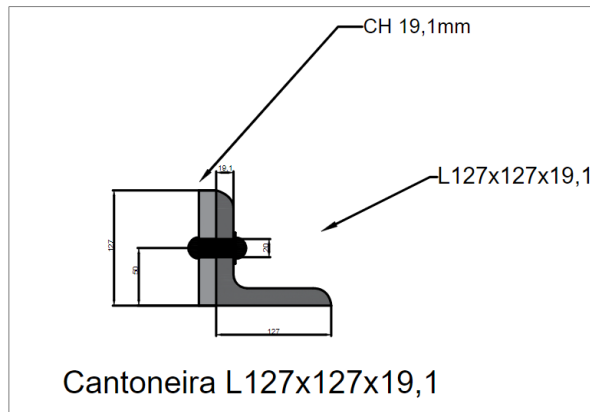


Figura 40: Ligação dos elementos de contraventamento

rasgamento da chapa:

$$F_{c,Rd1} = \frac{1,5 \cdot l_f \cdot t \cdot f_u}{\gamma_{\alpha_2}} = \frac{1,5 \cdot (12,7 - 5) \cdot 1,91 \cdot 40}{1,35} = 653,64 \text{ kN}$$

Esmagamento da chapa:

$$F_{c,Rd2} = \frac{3,0 \cdot d_b \cdot t \cdot f_u}{\gamma_{\alpha_2}} = \frac{3,0 \cdot 2,5 \cdot 1,91 \cdot 40}{1,35} = 424,44 \text{ kN}$$

Portanto:

$$F_{c,Rd} = 424,44 \text{ kN}$$

**Compressão:**

$$\frac{b}{t} = \frac{127}{19,1} = 6,65$$

$$\frac{b}{t} \lim = 0,45 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 0,45 \cdot \sqrt{\frac{20000}{25}} = 12,73$$

$$\frac{b}{t} < \frac{b}{t} \lim \rightarrow Q = 1$$

Flambagem global

$$\frac{L}{r_x} = \frac{903}{3,82} = 236,39 \rightarrow Kl_x = 32 \cdot r_x + 1,25 \cdot L_x$$

$$= 32 \cdot 3,82 + 1,25 \cdot 903 = 1250,99 \text{ cm}$$

$$N_{e_x} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_x}{(Kl_x)^2} = \frac{\pi^2 \cdot 20000 \cdot 653}{(1250,99)^2} = 82,36 \text{ kN}$$

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{Q \cdot A_g \cdot f_y}{N_e}} = \sqrt{\frac{1 \cdot 44,76 \cdot 25}{82,36}} = 3,69 > 1,5$$

$$\chi = \frac{0,877}{\lambda_0^2} = \frac{0,877}{2,69^2} = 0,06$$

Portanto:

$$N_{cRd} = \frac{Q * \chi * A_g * f_y}{1,1} = \frac{1 * 0,06 * 44,76 * 25}{1,1} = 65,67 \text{ kN}$$

### 3.2.7. Dimensionamento da base das colunas

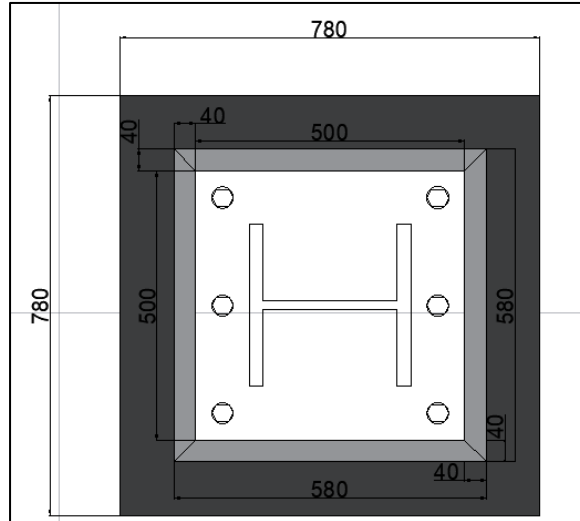


Figura 41: Bloco de concreto

#### Bloco de concreto

$$f_{ck} = 25 \text{ Mpa}$$

$$A_1 = 58 * 58 = 3364 \text{ cm}^2$$

$$A_2 = 78 * 78 = 6084 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_{c,Rd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c * \gamma_n} * \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \leq f_{ck} \rightarrow \frac{25}{1,4 * 1,4} * \sqrt{\frac{3364}{6084}} = 9,48 \text{ MPa} < 25 \text{ MPa}$$

$$B = D = 78 \text{ cm}$$

$$m = \frac{D - 0,95 * d}{2} = \frac{78 - 0,95 * 30}{2} = 24,74 \text{ cm}$$

$$n = \frac{B - 0,8 * b_f}{2} = \frac{78 - 0,8 * 30}{2} = 27 \text{ cm}$$

Portanto:

Admitindo uma normal solicitante de 100 kN (força reduzida considerando a contribuição dos enrijecedores que não serão considerados no cálculo)

$$\sigma_{c,sd} = \frac{N_{sd}}{A_1} = \frac{100}{3364} = 0,0298 \frac{kN}{cm^2} = 0,298 MPa < 9,48 MPa \rightarrow OK!$$

$$t \geq 1,483 * n * \sqrt{\frac{\sigma_{c,sd}}{f_y}} \geq 16 mm \rightarrow 1,483 * 270 * \sqrt{\frac{0,298}{250}} \\ = 13,87 mm < 16 mm$$

adotado  $t = 25 mm$

### 3.2.8. Concepção de todas as ligações

As ligações de viga e pilar serão soldadas com o objetivo de enrijecer o pórtico inicial aliviando a adoção de mais estruturas de contraventamento.

A ligação das cantoneiras de contraventamento e pilares serão uma ligação parafusada utilizando chapas Gusset e nas ligações dos pilares e da fundação serão utilizados chumbadores mecânicos e enrijecedores transversais e esse perfil será soldado na placa de base. Conforme os desenhos abaixo:

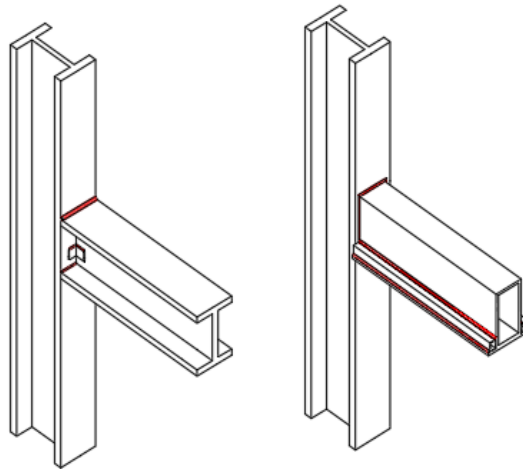


Figura 42: Ligação da solda

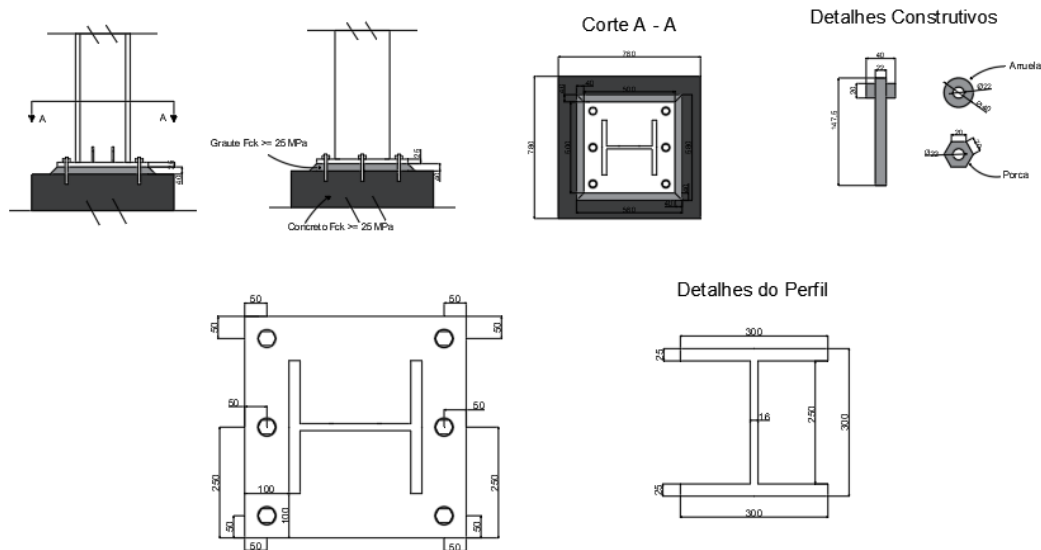


Figura 43: Ligação base do pilar

### 3.2.9. Esforços nas fundações

Os esforços resultantes nas fundações são descritos na tabela, observando a tabela pode-se concluir que o maior esforço se deve à combinação ELU que apresenta um valor de aproximadamente 2000 kN

Tabela 10: Tabela de esforços na fundação

Tabela de esforços:

Table: Joint Reactions		
Joint	OutputCase	F3 Tonf
56	DEAD	25,0119
56	sobrecarga	16,679
56	Vento	-5,3752
56	ELU	54,2695
57	DEAD	40,3723
57	sobrecarga	30,4318
57	Vento	-1,8032
57	ELU	98,6357
58	DEAD	40,6697
58	sobrecarga	31,0504
58	Vento	-2,3305
58	ELU	99,522
59	DEAD	40,6669
59	sobrecarga	31,0416
59	Vento	-2,3514
59	ELU	99,4876
60	DEAD	40,6885
60	sobrecarga	31,0295
60	Vento	-2,1502
60	ELU	99,6676
61	DEAD	41,2914
61	sobrecarga	30,8341
61	Vento	-3,5899
61	ELU	98,979
62	DEAD	40,7722
62	sobrecarga	31,0993
62	Vento	-2,292
62	ELU	99,7661
63	DEAD	40,7038
63	sobrecarga	31,0747
63	Vento	-2,5785
63	ELU	99,3962

64	DEAD	40,7153
64	sobrecarga	31,09
64	Vento	-2,5878
64	ELU	99,427
65	DEAD	40,4742
65	sobrecarga	30,5287
65	Vento	-2,2357
65	ELU	98,5553
66	DEAD	24,0992
66	sobrecarga	16,0244
66	Vento	-5,2908
66	ELU	52,1263
67	DEAD	42,6955
67	sobrecarga	31,7793
67	Vento	4,7978
67	ELU	109,338
68	DEAD	76,7545
68	sobrecarga	64,1506
68	Vento	0,2686
68	ELU	200,07
69	DEAD	76,7941
69	sobrecarga	64,1876
69	Vento	0,2758
69	ELU	200,1851
70	DEAD	76,7954
70	sobrecarga	64,1884
70	Vento	0,2764
70	ELU	200,1886
71	DEAD	76,7914
71	sobrecarga	64,1847
71	Vento	0,2662
71	ELU	200,1692
72	DEAD	79,1314
72	sobrecarga	64,449
72	Vento	0,5819
72	ELU	203,9897
73	DEAD	76,7595
73	sobrecarga	64,1566
73	Vento	0,2714
73	ELU	200,0883
74	DEAD	76,7672
74	sobrecarga	64,1636
74	Vento	0,2865
74	ELU	200,1219
75	DEAD	76,7661
75	sobrecarga	64,1629
75	Vento	0,2874
75	ELU	200,12
76	DEAD	76,7259
76	sobrecarga	64,1249
76	Vento	0,2837
76	ELU	200,0056
77	DEAD	43,4631
77	sobrecarga	32,3644
77	Vento	4,5094
77	ELU	111,0097
78	DEAD	41,8629
78	sobrecarga	31,3346
78	Vento	-0,0659
78	ELU	103,4615
79	DEAD	76,0588
79	sobrecarga	63,5631
79	Vento	0,0199
79	ELU	198,0408
80	DEAD	76,0566
80	sobrecarga	63,5607
80	Vento	0,0195
80	ELU	198,0338
81	DEAD	76,0562
81	sobrecarga	63,5604
81	Vento	0,0194
81	ELU	198,0328
82	DEAD	76,0573
82	sobrecarga	63,5614

82	Vento	0,0194
82	ELU	198,0357
83	DEAD	77,9084
83	sobrecarga	63,4665
83	Vento	0,0276
83	ELU	200,3991
84	DEAD	76,0333
84	sobrecarga	63,5409
84	Vento	0,0148
84	ELU	197,9687
85	DEAD	76,0315
85	sobrecarga	63,5393
85	Vento	0,015
85	ELU	197,964
86	DEAD	76,0318
86	sobrecarga	63,5396
86	Vento	0,015
86	ELU	197,965
87	DEAD	76,0338
87	sobrecarga	63,5419
87	Vento	0,0155
87	ELU	197,9715
88	DEAD	41,896
88	sobrecarga	31,3604
88	Vento	-0,0717
88	ELU	103,5399
89	DEAD	42,6955
89	sobrecarga	31,7793
89	Vento	-4,2195
89	ELU	101,7635
90	DEAD	76,7545
90	sobrecarga	64,1506
90	Vento	-0,0871
90	ELU	199,7712
91	DEAD	76,7941
91	sobrecarga	64,1876
91	Vento	-0,098
91	ELU	199,8712
92	DEAD	76,7954
92	sobrecarga	64,1884
92	Vento	-0,0988
92	ELU	199,8734
93	DEAD	76,7914
93	sobrecarga	64,1847
93	Vento	-0,0886
93	ELU	199,8712
94	DEAD	79,1314
94	sobrecarga	64,449
94	Vento	-0,3567
94	ELU	203,2013
95	DEAD	76,7595
95	sobrecarga	64,1566
95	Vento	-0,0985
95	ELU	199,7776
96	DEAD	76,7672
96	sobrecarga	64,1636
96	Vento	-0,1134
96	ELU	199,786
97	DEAD	76,7661
97	sobrecarga	64,1629
97	Vento	-0,114
97	ELU	199,7828
98	DEAD	76,7259
98	Multidão	64,1249
98	Vento	-0,1071
98	ELU	199,6773
99	DEAD	43,4631
99	sobrecarga	32,3644
99	Vento	-4,1545
99	ELU	103,7321
100	DEAD	25,0119
100	sobrecarga	16,679
100	Vento	4,8555
100	ELU	62,8632

101	DEAD	40,3723
101	sobrecarga	30,4318
101	Vento	1,6083
101	ELU	101,5013
102	DEAD	40,6697
102	sobrecarga	31,0504
102	Vento	2,1338
102	ELU	103,272
103	DEAD	40,6669
103	sobrecarga	31,0416
103	Vento	2,1546
103	ELU	103,2726
104	DEAD	40,6885
104	sobrecarga	31,0295
104	Vento	1,9531
104	ELU	103,1144
105	DEAD	41,2914
105	sobrecarga	30,8341
105	Vento	3,3377
105	ELU	104,7982
106	DEAD	40,7722
106	sobrecarga	31,0993
106	Vento	2,104
106	ELU	103,4587
107	DEAD	40,7038
107	sobrecarga	31,0747
107	Vento	2,3905
107	ELU	103,5702
108	DEAD	40,7153
108	sobrecarga	31,09
108	Vento	2,3998
108	ELU	103,6166
109	DEAD	40,4742
109	sobrecarga	30,5287
109	Vento	2,0493
109	ELU	102,1547
110	DEAD	24,0992
110	sobrecarga	16,0244
110	Vento	5,0012
110	ELU	60,7716

### 3.2.10. Manutenção

A corrosão dos metais afeta a durabilidade dos componentes metálicos das estruturas, esse processo de corrosão eletroquímica consiste na reação de oxidação e a de redução. A corrosão atmosférica é o resultado da interação entre o metal e a atmosfera, forma espontaneamente uma película muito fina de óxidos sólidos.

Portanto estruturas de aço, expostas à atmosfera, sem proteção, poderão estar sujeitas à deterioração.

As formas de proteção amplamente empregadas são pintura, galvanização, proteção Catódica. Porém se não realizadas podem gerar falhas que necessitaram de manutenção; as falhas com mais frequência encontradas em estruturas construídas em aço, são as de: Corrosão localizada, Corrosão generalizada, Deformações excessivas, Flambagem local ou global, Fratura e propagação de fraturas

### 3.2.11. Comportamento em caso de incêndio

A estrutura de um projeto é composta por materiais estruturais como o aço e o concreto, ambos perdem rigidez e resistência na ocorrência de um incêndio, por causa do fluxo de calor do fogo que é quente e a estrutura fria, causando deformações térmicas surgindo esforços adicionais.

Visando a segurança estrutural em caso de incêndio, deve-se evitar a temperatura de colapso ou crítica. Para isso foram desenvolvidas exigências de resistências ao fogo em

forma de tempo que são o TRRF (tempo requerido de resistência ao fogo) ou o tempo equivalente. Os tempos ficam entre 30 e 120 minutos. Quanto maior o risco à vida humana e a altura do edifício, maior a exigência e o tempo requerido de resistência ao fogo.

As altas temperaturas nas estruturas de aço podem ser prevenidas usando um revestimento térmico que possui uma baixa massa específica aparente, baixa condutividade térmica, alto calor específico, adequada resistência mecânica quando expostos a impactos, garantia de integridade durante a evolução do incêndio, custo compatível.

Como exemplos pode-se citar as Argamassa projetada “Cimentitious”, Fibra projetada, Placas, Pintura intumescente.

### 3.2.12. Consumo de aço estrutural estimado para a estrutura

O consumo de aço de todo o projeto foi calculado utilizando o software TEKLA, obtendo os resultados mostrados nas tabelas a seguir:

*Tabela 11: Lista de materiais TEKLA*

Trimble   Tekla Structures - Lista de Perfis					Folha: 1	
Projeto: Trimble Brasil Ltda					Data: 28.08.2022	
					Hora: 01:34:08	
Posição	Qte	Perfil	Material	Compr.(mm)	Área(m2)	Peso(kg)
0(?)	717	PD44X11	A325	22	0.0	16912.7
1(?)	60	CS300X149	A572	6200	11.0	35024.7
2(?)	32	CVS400X162	A572	8250	16.3	42785.8
3(?)	60	CVS400X82	A572	8400	16.7	41529.6
4(?)	56	CS300X149	A572	3600	6.4	29243.2
5(?)	3	CVS300X113	A572	2455	3.9	826.3
6(?)	3	D50	A36	6435	1.0	290.0
7(?)	3	CVS300X113	A572	2433	3.9	819.7
8(?)	1	CVS300X113	A572	16799	26.5	1898.4
9(?)	104	HQ370X12.5-25***	A325	8400	25.6	213447.8
10(?)	27	CS300X149	A572	3335	5.9	13434.7
11(?)	50	CS300X149	A572	4200	7.5	29187.2
12(?)	208	SHS100X8	A36	8399	3.4	40378.5
17(?)	4	L127X19	A36	9006	4.6	1264.6
18(?)	2	L127X19	A36	10207	5.2	716.6
19(?)	2	L127X19	A36	9219	4.7	647.2
20(?)	4	L127X19	A36	8727	4.4	1225.4
21(?)	2	L127X19	A36	8947	4.6	628.1
22(?)	2	L127X19	A36	9962	5.1	699.4
PC_F-11	30	1200X600	CONCRET***	1200	5.8	64800.0
PC_F-***	25	1200X600	CONCRET***	1200	5.8	54000.0
PC_S-***	14	200X3735	CONCRET***	8287	43.7	84915.6
PC_S-11	36	40X8400	CONCRET***	8400	142.5	254016.0
PC_S-***	36	40X8400	CONCRET***	8400	142.5	254016.0
PC_S-***	2	40X8400	CONCRET***	8400	125.4	12384.0
PC_V-***	194	HCS1245X200	CONCRET***	8287	0.0	2022562.0
PC_V-***	590	HCS1245X200	CONCRET***	8175	0.0	6067591.7
				2267	187345	622.0
				2267	622.0	9285245.3

### 3.2.13. Conclusão

Conclui-se desse proposto trabalho que na construção modular é de suma importância a presença de componentes estruturais de aço, devido a sua precisão construtiva de milímetros, o menor prazo de execução pois existe a possibilidade de se trabalhar simultaneamente em diversas frentes de serviços e gerar maior produtividade e eficiência na obra, canteiro de

obra organizado com um ambiente limpo melhorando as condições de segurança do trabalhador, menor geração de entulho , além do aço ser um material reciclável contribuindo na preservação do meio ambiente. A estrutura do edifício atendeu a estática, segurança, funcionalidade e viabilidade construtiva, fazendo o uso correto do aço e das vantagens da construção modular.

#### **4. REFERÊNCIAS**

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

CATÁLOGO GERDAU. Catálogo de perfis estruturais. Gerdau, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 9050: Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos. 2015. Rio de Janeiro, 2015.

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

CENTRO BRASILEIRO DA CONSTRUÇÃO EM AÇO - Manual de Construção em Aço Construção Modular 2022, Rio de Janeiro, 2022.

CENTRO BRASILEIRO DA CONSTRUÇÃO EM AÇO - Manual de Construção em Aço, Resistência ao Fogo das Estruturas de Aço, 2005

CENTRO BRASILEIRO DA CONSTRUÇÃO EM AÇO - Manual de Construção em Aço, Projeto e Durabilidade, 2009

CENTRO BRASILEIRO DA CONSTRUÇÃO EM AÇO - Conheça as vantagens da construção em aço para a sustentabilidade

## APENDICE A– ESFORÇOS NOS LEMENTOS TÍPICOS

Frame	Perfil	Caso de carga	P (kN)	V2 (kN)	V3 (kN)	T (kN.m)	M2 (kN.m)	M3 (kN.m)
1021	Pilar	ELS CF	-316,84	-31,04	1,50	0,00	0,00	0,00
1021	Pilar	ELS CF	-315,34	-31,04	1,50	0,00	-1,50	31,04
1021	Pilar	ELS CF	-313,85	-31,04	1,50	0,00	-3,00	62,09
1037	Pilar	ELS CF	-536,25	-25,88	0,39	0,00	0,00	0,00
1037	Pilar	ELS CF	-534,76	-25,88	0,39	0,00	-0,39	25,88
1037	Pilar	ELS CF	-533,27	-25,88	0,39	0,00	-0,78	51,76
1044	Pilar	ELS CF	-532,12	-20,88	-0,47	0,00	0,00	0,00
1044	Pilar	ELS CF	-529,14	-20,88	-0,47	0,00	0,94	41,76
1044	Pilar	ELS CF	-526,15	-20,88	-0,47	0,00	1,87	83,52
1052	Pilar	ELS CF	-305,09	-9,91	-0,77	0,00	0,00	0,00
1052	Pilar	ELS CF	-302,11	-9,91	-0,77	0,00	1,55	19,82
1052	Pilar	ELS CF	-299,12	-9,91	-0,77	0,00	3,09	39,64
1064	Pilar	ELS CF	-554,07	0,02	1,77	0,00	0,00	0,00
1064	Pilar	ELS CF	-552,58	0,02	1,77	0,00	-1,77	-0,02
1064	Pilar	ELS CF	-551,09	0,02	1,77	0,00	-3,55	-0,03
1070	Pilar	ELS CF	-1049,11	0,70	0,06	0,00	0,00	0,00
1070	Pilar	ELS CF	-1047,62	0,70	0,06	0,00	-0,06	-0,70
1070	Pilar	ELS CF	-1046,13	0,70	0,06	0,00	-0,12	-1,40
1077	Pilar	ELS CF	-1024,22	0,42	-0,03	0,00	0,00	0,00
1077	Pilar	ELS CF	-1021,24	0,42	-0,03	0,00	0,05	-0,85
1077	Pilar	ELS CF	-1018,26	0,42	-0,03	0,00	0,11	-1,70
1085	Pilar	ELS CF	-564,09	0,06	0,51	0,00	0,00	0,00
1085	Pilar	ELS CF	-561,11	0,06	0,51	0,00	-1,01	-0,12
1085	Pilar	ELS CF	-558,12	0,06	0,51	0,00	-2,02	-0,23
1087	Pilar	ELS CF	-543,97	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1087	Pilar	ELS CF	-542,48	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1087	Pilar	ELS CF	-540,99	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,01
1093	Pilar	ELS CF	-1032,95	0,00	-0,05	0,00	0,00	0,00
1093	Pilar	ELS CF	-1031,46	0,00	-0,05	0,00	0,05	0,00
1093	Pilar	ELS CF	-1029,97	0,00	-0,05	0,00	0,09	0,00
1100	Pilar	ELS CF	-1014,50	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
1100	Pilar	ELS CF	-1011,51	0,00	0,01	0,00	-0,02	0,00
1100	Pilar	ELS CF	-1008,53	0,00	0,01	0,00	-0,05	0,00
1108	Pilar	ELS CF	-544,40	-0,03	0,00	0,00	0,00	0,00
1108	Pilar	ELS CF	-541,42	-0,03	0,00	0,00	0,00	0,06
1108	Pilar	ELS CF	-538,44	-0,03	0,00	0,00	0,00	0,11
1312	Viga l transv	ELS CF	6,89	-88,22	-0,02	0,00	0,00	-139,43
1312	Viga l transv	ELS CF	6,89	-87,74	-0,02	0,00	0,01	-113,03

1312	Viga I transv	ELS CF	6,89	-87,25	-0,02	0,00	0,01	-86,78
1313	Viga I transv	ELS CF	6,89	-64,06	0,00	0,00	0,01	-80,24
1313	Viga I transv	ELS CF	6,89	-63,41	0,00	0,00	0,01	-54,75
1313	Viga I transv	ELS CF	6,89	-62,76	0,00	0,00	0,01	-29,51
1313	Viga I transv	ELS CF	6,89	-62,12	0,00	0,00	0,02	-4,54
1314	Viga I transv	ELS CF	6,89	-38,92	0,00	0,00	0,02	6,05
1314	Viga I transv	ELS CF	6,89	-38,27	0,00	0,00	0,02	21,48
1314	Viga I transv	ELS CF	6,89	-37,63	0,00	0,00	0,02	36,66
1314	Viga I transv	ELS CF	6,89	-36,98	0,00	0,00	0,02	51,58
1315	Viga I transv	ELS CF	6,89	-13,78	0,00	0,00	0,02	58,65
1315	Viga I transv	ELS CF	6,89	-13,14	0,00	0,00	0,02	64,04
1315	Viga I transv	ELS CF	6,89	-12,49	0,00	0,00	0,02	69,16
1315	Viga I transv	ELS CF	6,89	-11,84	0,00	0,00	0,02	74,03
1316	Viga I transv	ELS CF	6,89	11,35	0,00	0,00	0,02	73,97
1316	Viga I transv	ELS CF	6,89	12,00	0,00	0,00	0,02	69,30
1316	Viga I transv	ELS CF	6,89	12,65	0,00	0,00	0,02	64,37
1316	Viga I transv	ELS CF	6,89	13,29	0,00	0,00	0,02	59,18
1317	Viga I transv	ELS CF	6,89	36,49	0,00	0,00	0,02	52,03
1317	Viga I transv	ELS CF	6,89	37,14	0,00	0,00	0,02	37,30
1317	Viga I transv	ELS CF	6,89	37,78	0,00	0,00	0,02	22,32
1317	Viga I transv	ELS CF	6,89	38,43	0,00	0,00	0,02	7,08
1318	Viga I transv	ELS CF	6,89	61,63	0,00	0,00	0,02	-3,50
1318	Viga I transv	ELS CF	6,89	62,27	0,00	0,00	0,02	-28,28
1318	Viga I transv	ELS CF	6,89	62,92	0,00	0,00	0,02	-53,32
1318	Viga I transv	ELS CF	6,89	63,57	0,00	0,00	0,02	-78,61
1319	Viga I transv	ELS CF	6,89	86,76	-0,02	0,00	0,02	-84,98
1319	Viga I transv	ELS CF	6,89	87,25	-0,02	0,00	0,02	-111,08
1319	Viga I transv	ELS CF	6,89	87,73	-0,02	0,00	0,03	-137,33
1696	Viga caixaão	ELS CF	38,32	-165,90	-0,02	0,01	0,00	-233,78
1696	Viga caixaão	ELS CF	38,32	-165,63	-0,02	0,01	0,01	-184,05
1696	Viga caixaão	ELS CF	38,32	-165,36	-0,02	0,01	0,01	-134,40
1697	Viga caixaão	ELS CF	38,32	-118,97	0,00	0,01	0,01	-134,31
1697	Viga caixaão	ELS CF	38,32	-118,62	0,00	0,01	0,01	-86,79
1697	Viga caixaão	ELS CF	38,32	-118,26	0,00	0,01	0,01	-39,41
1697	Viga caixaão	ELS CF	38,32	-117,91	0,00	0,01	0,01	7,82
1698	Viga caixaão	ELS CF	38,32	-71,52	0,00	0,01	0,01	7,85

1698	Viga caixão	ELS CF	38,32	-71,16	0,00	0,01	0,01	36,39
1698	Viga caixão	ELS CF	38,32	-70,80	0,00	0,01	0,01	64,78
1698	Viga caixão	ELS CF	38,32	-70,45	0,00	0,01	0,01	93,03
1699	Viga caixão	ELS CF	38,32	-24,06	0,00	0,01	0,01	93,02
1699	Viga caixão	ELS CF	38,32	-23,70	0,00	0,01	0,01	102,57
1699	Viga caixão	ELS CF	38,32	-23,35	0,00	0,01	0,01	111,98
1699	Viga caixão	ELS CF	38,32	-22,99	0,00	0,01	0,01	121,25
1700	Viga caixão	ELS CF	38,32	23,40	0,00	0,01	0,01	121,22
1700	Viga caixão	ELS CF	38,32	23,76	0,00	0,01	0,01	111,79
1700	Viga caixão	ELS CF	38,32	24,11	0,00	0,01	0,01	102,22
1700	Viga caixão	ELS CF	38,32	24,47	0,00	0,01	0,01	92,50
1701	Viga caixão	ELS CF	38,32	70,86	0,00	0,01	0,01	92,47
1701	Viga caixão	ELS CF	38,32	71,22	0,00	0,01	0,01	64,05
1701	Viga caixão	ELS CF	38,32	71,57	0,00	0,01	0,02	35,50
1701	Viga caixão	ELS CF	38,32	71,93	0,00	0,01	0,02	6,80
1702	Viga caixão	ELS CF	38,32	118,32	0,00	0,01	0,02	6,77
1702	Viga caixão	ELS CF	38,32	118,68	0,00	0,01	0,02	-40,63
1702	Viga caixão	ELS CF	38,32	119,03	0,00	0,01	0,01	-88,17
1702	Viga caixão	ELS CF	38,32	119,39	0,00	0,01	0,01	-135,85
1703	Viga caixão	ELS CF	38,32	165,78	-0,02	0,01	0,01	-135,87
1703	Viga caixão	ELS CF	38,32	166,04	-0,02	0,01	0,02	-185,64
1703	Viga caixão	ELS CF	38,32	166,31	-0,02	0,01	0,02	-235,49
1824	Viga caixão	ELS CF	25,66	-165,79	-0,01	0,01	0,00	-220,64
1824	Viga caixão	ELS CF	25,66	-165,52	-0,01	0,01	0,01	-170,94
1824	Viga caixão	ELS CF	25,66	-165,25	-0,01	0,01	0,01	-121,33
1825	Viga caixão	ELS CF	25,66	-118,86	0,00	0,01	0,01	-127,38
1825	Viga caixão	ELS CF	25,66	-118,51	0,00	0,01	0,01	-79,91
1825	Viga caixão	ELS CF	25,66	-118,15	0,00	0,01	0,01	-32,58
1825	Viga caixão	ELS CF	25,66	-117,80	0,00	0,01	0,01	14,61
1826	Viga caixão	ELS CF	25,66	-71,40	0,00	0,01	0,01	4,99
1826	Viga caixão	ELS CF	25,66	-71,05	0,00	0,01	0,01	33,48
1826	Viga caixão	ELS CF	25,66	-70,69	0,00	0,01	0,01	61,83
1826	Viga caixão	ELS CF	25,66	-70,34	0,00	0,01	0,01	90,03
1827	Viga caixão	ELS CF	25,66	-23,95	0,00	0,01	0,01	83,68
1827	Viga caixão	ELS CF	25,66	-23,59	0,00	0,01	0,01	93,19
1827	Viga caixão	ELS CF	25,66	-23,23	0,00	0,01	0,01	102,55

1827	Viga caixão	ELS CF	25,66	-22,88	0,00	0,01	0,01	111,78
1828	Viga caixão	ELS CF	25,66	23,51	0,00	0,01	0,01	111,83
1828	Viga caixão	ELS CF	25,66	23,87	0,00	0,01	0,01	102,35
1828	Viga caixão	ELS CF	25,66	24,22	0,00	0,01	0,01	92,73
1828	Viga caixão	ELS CF	25,66	24,58	0,00	0,01	0,01	82,97
1829	Viga caixão	ELS CF	25,66	70,97	0,00	0,01	0,01	89,40
1829	Viga caixão	ELS CF	25,66	71,33	0,00	0,01	0,01	60,94
1829	Viga caixão	ELS CF	25,66	71,68	0,00	0,01	0,01	32,34
1829	Viga caixão	ELS CF	25,66	72,04	0,00	0,01	0,01	3,59
1830	Viga caixão	ELS CF	25,66	118,43	0,00	0,01	0,01	13,21
1830	Viga caixão	ELS CF	25,66	118,79	0,00	0,01	0,02	-34,23
1830	Viga caixão	ELS CF	25,66	119,14	0,00	0,01	0,02	-81,82
1830	Viga caixão	ELS CF	25,66	119,50	0,00	0,01	0,02	-129,55
1831	Viga caixão	ELS CF	25,66	165,89	0,00	0,01	0,02	-123,65
1831	Viga caixão	ELS CF	25,66	166,16	0,00	0,01	0,02	-173,46
1831	Viga caixão	ELS CF	25,66	166,42	0,00	0,01	0,02	-223,34
2284	Contra	ELS CF	-35,76	-1,48	0,00	0,00	0,00	0,00
2284	Contra	ELS CF	-34,67	0,00	0,00	0,00	0,00	3,86
2284	Contra	ELS CF	-33,58	1,48	0,00	0,00	0,00	0,00
2293	Contra	ELS CF	-9,23	-1,48	0,00	0,00	0,00	0,00
2293	Contra	ELS CF	-8,63	0,00	0,00	0,00	0,00	3,35
2293	Contra	ELS CF	-8,04	1,48	0,00	0,00	0,00	0,00

1021	Pilar	ELU	-542,70	-43,27	2,02	0,00	0,00	0,00
1021	Pilar	ELU	-540,68	-43,27	2,02	0,00	-2,02	43,27
1021	Pilar	ELU	-538,67	-43,27	2,02	0,00	-4,04	86,53
1037	Pilar	ELU	-989,79	-34,32	1,15	0,00	0,00	0,00
1037	Pilar	ELU	-987,78	-34,32	1,15	0,00	-1,15	34,31
1037	Pilar	ELU	-985,76	-34,32	1,15	0,00	-2,30	68,63
1044	Pilar	ELU	-997,66	-30,49	-0,86	0,00	0,00	0,00
1044	Pilar	ELU	-993,63	-30,49	-0,86	0,00	1,71	60,97
1044	Pilar	ELU	-989,61	-30,49	-0,86	0,00	3,42	121,94
1052	Pilar	ELU	-521,26	4,86	-1,25	0,00	0,00	0,00
1052	Pilar	ELU	-517,24	4,86	-1,25	0,00	2,50	-9,72
1052	Pilar	ELU	-513,21	4,86	-1,25	0,00	4,99	-19,43
1064	Pilar	ELU	-1093,38	-0,03	15,36	0,00	0,00	0,00
1064	Pilar	ELU	-1091,37	-0,03	15,36	0,00	-15,36	0,03
1064	Pilar	ELU	-1089,35	-0,03	15,36	0,00	-30,71	0,06
1070	Pilar	ELU	-2039,90	23,72	0,01	0,00	0,00	0,00
1070	Pilar	ELU	-2037,88	23,72	0,01	0,00	-0,01	-23,72

1070	Pilar	ELU	-2035,87	23,72	0,01	0,00	-0,02	-47,44
1077	Pilar	ELU	-2000,88	14,86	0,01	0,00	0,00	0,00
1077	Pilar	ELU	-1996,86	14,86	0,01	0,00	-0,01	-29,72
1077	Pilar	ELU	-1992,83	14,86	0,01	0,00	-0,02	-59,45
1085	Pilar	ELU	-1110,10	-0,02	13,53	0,00	0,00	0,00
1085	Pilar	ELU	-1106,07	-0,02	13,53	0,00	-27,05	0,03
1085	Pilar	ELU	-1102,04	-0,02	13,53	0,00	-54,10	0,06
1087	Pilar	ELU	-1034,62	0,01	10,81	0,00	0,00	0,00
1087	Pilar	ELU	-1032,60	0,01	10,81	0,00	-10,81	-0,01
1087	Pilar	ELU	-1030,59	0,01	10,81	0,00	-21,63	-0,01
1093	Pilar	ELU	-2003,99	22,04	-0,09	0,00	0,00	0,00
1093	Pilar	ELU	-2001,98	22,04	-0,09	0,00	0,09	-22,04
1093	Pilar	ELU	-1999,97	22,04	-0,09	0,00	0,17	-44,07
1100	Pilar	ELU	-1979,69	13,61	0,02	0,00	0,00	0,00
1100	Pilar	ELU	-1975,66	13,61	0,02	0,00	-0,04	-27,22
1100	Pilar	ELU	-1971,63	13,61	0,02	0,00	-0,09	-54,44
1108	Pilar	ELU	-1035,40	-0,05	11,79	0,00	0,00	0,00
1108	Pilar	ELU	-1031,37	-0,05	11,79	0,00	-23,57	0,11
1108	Pilar	ELU	-1027,35	-0,05	11,79	0,00	-47,15	0,22
1312	Viga I transv	ELU	6,04	-169,14	0,02	0,00	0,21	-264,66
1312	Viga I transv	ELU	6,04	-168,49	0,02	0,00	0,21	-214,02
1312	Viga I transv	ELU	6,04	-167,83	0,02	0,00	0,20	-163,57
1313	Viga I transv	ELU	6,04	-122,00	0,02	0,00	0,20	-149,44
1313	Viga I transv	ELU	6,04	-121,13	0,02	0,00	0,19	-100,81
1313	Viga I transv	ELU	6,04	-120,26	0,02	0,00	0,19	-52,53
1313	Viga I transv	ELU	6,04	-119,38	0,02	0,00	0,18	-4,60
1314	Viga I transv	ELU	6,04	-73,55	0,02	0,00	0,18	16,22
1314	Viga I transv	ELU	6,04	-72,68	0,02	0,00	0,17	45,47
1314	Viga I transv	ELU	6,04	-71,81	0,02	0,00	0,16	74,37
1314	Viga I transv	ELU	6,04	-70,94	0,02	0,00	0,15	102,92
1315	Viga I transv	ELU	6,04	-25,11	0,02	0,00	0,15	116,12
1315	Viga I transv	ELU	6,04	-24,23	0,02	0,00	0,15	125,99
1315	Viga I transv	ELU	6,04	-23,36	0,02	0,00	0,14	135,51
1315	Viga I transv	ELU	6,04	-22,49	0,02	0,00	0,13	144,68
1316	Viga I transv	ELU	6,04	23,34	0,02	0,00	0,13	143,66
1316	Viga I transv	ELU	6,04	24,22	0,02	0,00	0,12	134,15
1316	Viga I transv	ELU	6,04	25,09	0,02	0,00	0,11	124,28
1316	Viga I transv	ELU	6,04	25,96	0,02	0,00	0,10	114,07
1317	Viga I transv	ELU	6,04	71,79	0,02	0,00	0,10	99,35

1317	Viga I transv	ELU	6,04	72,67	0,02	0,00	0,09	70,45
1317	Viga I transv	ELU	6,04	73,54	0,02	0,00	0,08	41,21
1317	Viga I transv	ELU	6,04	74,41	0,02	0,00	0,07	11,62
1318	Viga I transv	ELU	6,04	120,24	0,02	0,00	0,07	-9,11
1318	Viga I transv	ELU	6,04	121,11	0,02	0,00	0,07	-57,38
1318	Viga I transv	ELU	6,04	121,99	0,02	0,00	0,06	-106,00
1318	Viga I transv	ELU	6,04	122,86	0,02	0,00	0,05	-154,97
1319	Viga I transv	ELU	6,04	168,69	-0,02	0,00	0,05	-166,18
1319	Viga I transv	ELU	6,04	169,34	-0,02	0,00	0,05	-216,88
1319	Viga I transv	ELU	6,04	170,00	-0,02	0,00	0,06	-267,78
1696	Viga caixaão	ELU	68,49	-320,64	0,02	0,04	0,19	-438,39
1696	Viga caixaão	ELU	68,49	-320,28	0,02	0,04	0,18	-342,25
1696	Viga caixaão	ELU	68,49	-319,92	0,02	0,04	0,18	-246,22
1697	Viga caixaão	ELU	68,49	-228,27	0,02	0,04	0,18	-245,74
1697	Viga caixaão	ELU	68,49	-227,79	0,02	0,04	0,17	-154,53
1697	Viga caixaão	ELU	68,49	-227,30	0,02	0,04	0,16	-63,51
1697	Viga caixaão	ELU	68,49	-226,82	0,02	0,04	0,16	27,32
1698	Viga caixaão	ELU	68,49	-135,17	0,02	0,04	0,16	27,38
1698	Viga caixaão	ELU	68,49	-134,69	0,02	0,04	0,15	81,35
1698	Viga caixaão	ELU	68,49	-134,21	0,02	0,04	0,14	135,13
1698	Viga caixaão	ELU	68,49	-133,73	0,02	0,04	0,13	188,71
1699	Viga caixaão	ELU	68,49	-42,07	0,02	0,04	0,13	188,54
1699	Viga caixaão	ELU	68,49	-41,59	0,02	0,04	0,13	205,27
1699	Viga caixaão	ELU	68,49	-41,11	0,02	0,04	0,12	221,81
1699	Viga caixaão	ELU	68,49	-40,63	0,02	0,04	0,11	238,15
1700	Viga caixaão	ELU	68,49	51,03	0,02	0,04	0,11	237,89
1700	Viga caixaão	ELU	68,49	51,51	0,02	0,04	0,10	217,38
1700	Viga caixaão	ELU	68,49	51,99	0,02	0,04	0,10	196,68
1700	Viga caixaão	ELU	68,49	52,47	0,02	0,04	0,09	175,79
1701	Viga caixaão	ELU	68,49	144,13	0,02	0,04	0,09	175,57
1701	Viga caixaão	ELU	68,49	144,61	0,02	0,04	0,08	117,82
1701	Viga caixaão	ELU	68,49	145,09	0,02	0,04	0,07	59,88
1701	Viga caixaão	ELU	68,49	145,57	0,02	0,04	0,07	1,74
1702	Viga caixaão	ELU	68,49	237,23	0,02	0,04	0,07	1,69
1702	Viga caixaão	ELU	68,49	237,71	0,02	0,04	0,06	-93,29
1702	Viga caixaão	ELU	68,49	238,19	0,02	0,04	0,05	-188,47

1702	Viga caixão	ELU	68,49	238,67	0,02	0,04	0,04	-283,85
1703	Viga caixão	ELU	68,49	330,33	-0,01	0,04	0,04	-283,56
1703	Viga caixão	ELU	68,49	330,69	-0,01	0,04	0,04	-382,71
1703	Viga caixão	ELU	68,49	331,05	-0,01	0,04	0,05	-481,97
1824	Viga caixão	ELU	42,96	-319,67	0,01	0,03	0,18	-409,23
1824	Viga caixão	ELU	42,96	-319,31	0,01	0,03	0,18	-313,38
1824	Viga caixão	ELU	42,96	-318,95	0,01	0,03	0,18	-217,64
1825	Viga caixão	ELU	42,96	-227,29	0,02	0,03	0,18	-230,58
1825	Viga caixão	ELU	42,96	-226,81	0,02	0,03	0,17	-139,76
1825	Viga caixão	ELU	42,96	-226,33	0,02	0,03	0,16	-49,13
1825	Viga caixão	ELU	42,96	-225,85	0,02	0,03	0,16	41,31
1826	Viga caixão	ELU	42,96	-134,20	0,02	0,03	0,16	22,39
1826	Viga caixão	ELU	42,96	-133,71	0,02	0,03	0,15	75,97
1826	Viga caixão	ELU	42,96	-133,23	0,02	0,03	0,14	129,36
1826	Viga caixão	ELU	42,96	-132,75	0,02	0,03	0,13	182,55
1827	Viga caixão	ELU	42,96	-41,10	0,02	0,03	0,13	170,61
1827	Viga caixão	ELU	42,96	-40,62	0,02	0,03	0,13	186,96
1827	Viga caixão	ELU	42,96	-40,14	0,02	0,03	0,12	203,11
1827	Viga caixão	ELU	42,96	-39,66	0,02	0,03	0,11	219,06
1828	Viga caixão	ELU	42,96	52,00	0,02	0,03	0,11	219,88
1828	Viga caixão	ELU	42,96	52,48	0,02	0,03	0,10	198,99
1828	Viga caixão	ELU	42,96	52,96	0,02	0,03	0,10	177,90
1828	Viga caixão	ELU	42,96	53,44	0,02	0,03	0,09	156,61
1829	Viga caixão	ELU	42,96	145,10	0,02	0,03	0,09	169,78
1829	Viga caixão	ELU	42,96	145,58	0,02	0,03	0,08	111,65
1829	Viga caixão	ELU	42,96	146,06	0,02	0,03	0,07	53,32
1829	Viga caixão	ELU	42,96	146,54	0,02	0,03	0,06	-5,20
1830	Viga caixão	ELU	42,96	238,20	0,01	0,03	0,06	13,66
1830	Viga caixão	ELU	42,96	238,68	0,01	0,03	0,06	-81,71
1830	Viga caixão	ELU	42,96	239,16	0,01	0,03	0,05	-177,28
1830	Viga caixão	ELU	42,96	239,64	0,01	0,03	0,05	-273,04
1831	Viga caixão	ELU	42,96	331,30	0,01	0,03	0,05	-262,53
1831	Viga caixão	ELU	42,96	331,66	0,01	0,03	0,04	-361,97
1831	Viga caixão	ELU	42,96	332,02	0,01	0,03	0,04	-461,53
2284	Contra	ELU	-111,00	-2,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2284	Contra	ELU	-109,53	0,00	0,00	0,00	0,00	5,21
2284	Contra	ELU	-108,05	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00

2293	Contra	ELU	-37,26	-2,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2293	Contra	ELU	-36,45	0,00	0,00	0,00	0,00	4,52
2293	Contra	ELU	-35,64	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00

## APÊNDICE B – IMAGENS HUMANIZADAS



