

# PAVILHÃO ROCHA LIMA / LABORATÓRIOS IOC

## MEMORIAL DE CÁLCULO ESTRUTURA METÁLICA

### PROJETO EXECUTIVO

Nº DA META – 2023.021

Nº DA ORDEM – 2023.06.19.07

CONTRATAÇÃO DE SERVIÇO DE ENGENHARIA PARA  
DESENVOLVIMENTO DE PROJETOS DE ARQUITETURA E  
ENGENHARIA PARA EDIFICAÇÕES HOSPITALARES E DE  
PESQUISA DA FIOCRUZ/RJ.

**AGO / 2023**

C024A16A

**EST-016**

Contrato nº 034/2020

Controle de Revisões							
TE: Tipo: Emissão		A-Preliminar B- Para Aprovação	C- Para Conhecimento D- Para Cotação		E-Para Construção F- Conforme Comprado		G-Conforme Construído H-Cancelado
REV	TE	Descrição	Elaborado		Verificado		Aprovado
000	B	Emissão Inicial	Felipe	04/08/2023	Thiago	04/08/2023	

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	3
1.1	Informações Gerais do Projeto.....	3
1.1.1	Informações do contrato .....	3
2	BASES DE REFERÊNCIA DO DOCUMENTO .....	4
2.1	Referências Técnicas.....	4
3	PREMISSAS DE CÁLCULO .....	5
3.1	Parâmetros Gerais .....	5
3.1.1	Sistema de Unidades .....	5
3.1.2	Modelagem Matemática .....	5
3.1.3	Materiais .....	5
3.2	Condições Ambientais .....	6
3.2.1	Temperatura e Retração .....	6
3.2.2	Ventos .....	6
3.2.3	Condições Sísmicas.....	8
3.3	Carregamentos .....	9
3.3.1	Peso próprio.....	9
3.3.2	Sobrecargas acidentais.....	9
3.3.3	Cargas Permanentes .....	10
3.3.4	Equipamentos Especiais .....	11
3.3.5	Cargas Decorrentes do Processo Construtivo .....	11
3.4	Combinações e Fatores Parciais .....	11
3.5	Parâmetros gerais.....	11
4	MODELOS ESTRUTURAIS .....	12
5	ESFORÇOS ATUANTES E DESLOCAMENTOS .....	17
6	VERIFICAÇÃO DOS PERFIS METÁLICOS.....	20
7	CONCLUSÃO .....	22

# 1 INTRODUÇÃO

O presente documento tem como objetivo descrever o cálculo da estrutura metálica a ser executada no projeto da Fiocruz – Pavilhão Rocha Lima – IOC.

O objeto desta contratação é a prestação de Serviço de Engenharia para o desenvolvimento de Anteprojeto, Projetos Básicos Técnicos e Projetos Executivos nas áreas de Arquitetura, Estrutura, Instalações Prediais, Engenharia Mecânica, Automação, Infraestrutura (redes) e Urbanismo, e Desenho Industrial (mobiliário e sinalização), incluindo a realização de:

- Levantamentos e estudos preliminares;
- Maquetes eletrônicas e animações;
- Relatórios e peças técnicas para aprovação dos projetos;
- Licenciamento nos órgãos técnicos públicos municipais, estaduais e federais, e concessionárias e permissionárias de serviços públicos;
- Encargos e especificações de serviços;
- Orçamentos (estimativos e definitivo);
- Planejamento de execução de obras (faseamento e logística) e cronograma físico-financeiro;
- Projetos de canteiro de obra, áreas de vivências e instalações provisórias para viabilização de obras; e
- Certificação energética.

## 1.1 Informações Gerais do Projeto

### 1.1.1 Informações do contrato

Contratante: Fundação Oswaldo Cruz

Local: Instituto Nacional de Controle de Qualidade em Saúde – INCQS – Edifício Nº 035, Av. Brasil, 4365 - Manguinhos, Rio de Janeiro, RJ.

Tipo de Contratação: Licitação Pública, contrato 034/2020

Ordem de serviço: OS1, 2, 5 e 8 – data de início 16/11/2020

Projetista: Consorcio Concremat/MEP

## 2 BASES DE REFERÊNCIA DO DOCUMENTO

### 2.1 Referências Técnicas

Considera-se como referências técnicas para a elaboração os seguintes documentos, sendo todas as normas citadas nas versões mais atuais:

#### Normas:

- NBR 8681 – Ações e Segurança nas Estruturas;
- NBR 8800 – Projeto de Estruturas de Aço e de Estruturas Mistas de Aço e Concreto de Edifícios;
- NBR 6120 – Ações para o cálculo de estruturas de edificações;
- NBR 6123 – Forças Devido ao Vento em Edificações;
- NBR 15421 – Projeto de estruturas resistentes a sismos – Procedimento;
- NBR 14762 - Dimensionamento de estrutura de aço constituída por perfis formado a frio.

#### Referências Bibliográficas:

- Estrutura de aço: Dimensionamento de perfis formados a frio por Carlos Eduardo Javaroni.
- Edifícios estruturais em aço, Projeto e cálculo por Ildony H. Bellei.

### 3 PREMISSAS DE CÁLCULO

A concepção da estrutura metálica se deu de acordo com os parâmetros e procedimentos delimitados na norma brasileira NBR 8800/2008.

#### 3.1 Parâmetros Gerais

##### 3.1.1 Sistema de Unidades

Todos os valores apresentados estão em:

- Forças: kN ou tf;
- Comprimentos: m ou cm;
- Temperatura: °C;

Exceto onde expressamente indicado ou em situações onde há unidades consagradas pela prática.

##### 3.1.2 Modelagem Matemática

Os modelos estruturais foram elaborados nos seguintes *softwares*:

- a) STRAP – Módulo Metálica: Modelagem e cálculo de estruturas metálicas.
- b) SAP 2000 – Verificação das frequências naturais da estrutura.

##### 3.1.3 Materiais

Foram adotados os seguintes materiais:

- Perfis Laminados – ASTM A527 GR50;
- Perfis Laminados (cantoneiras) – ASTM A36;
- Aço para perfis dobrados, chapas e placas de base – CSN-COR 420;
- Aço para Barras Redondas – SAE1020 ou ASTM A36
- Parafusos Galvanizados – ASTM A325;
- Módulo de Elasticidade  $E=200$  GPa;
- Coeficiente de Poisson  $\mu=0,3$ ;
- Módulo de elasticidade transversal  $G=70$  GPa;
- Coeficiente de dilatação térmica  $\beta_a=1,2 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ;
- Massa específica  $\rho=7850 \text{ kgf/m}^3$

###### a.1) Pintura

A pintura responsável por garantir que a estrutura fique mais resistente à oxidação será apresentada no projeto executivo.

#### a.2) Propriedades das soldas

- Solda – E70XX ( $f_w = 485 \text{ Mpa}$ ).

### 3.2 Condições Ambientais

#### 3.2.1 Temperatura e Retração

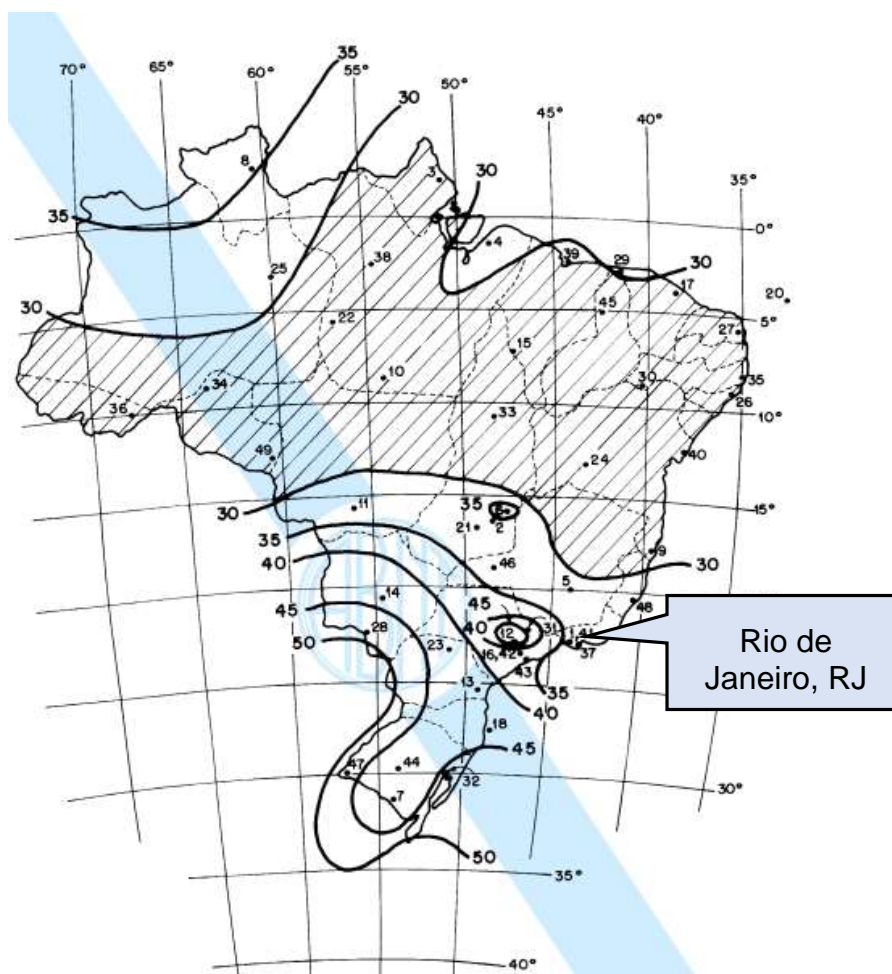
Foi considerada uma variação térmica de  $\pm 10^\circ\text{C}$  para os efeitos de temperatura e de  $-5^\circ\text{C}$  para o fenômeno de retração onde for justificável a análise no projeto.

#### 3.2.2 Ventos

As cargas de vento seguiram a NBR 6123, a partir da qual os seguintes parâmetros serão adotados:

Velocidade básica (Rio de Janeiro): 34 m/s (ver mapa de isopletas a seguir).

**Figura 1 – Isopletas de velocidade básica do vento**



Fonte: NBR 6123

Fator topográfico -  $S1 = 1,0$

Rugosidade do terreno, dimensões da edificação e altura sobre o terreno -  $S2$ :

- Categoria IV;
- Classe C;
- $50 \text{ m} < L1$ ;
- $Z \approx 11 \text{ m}$

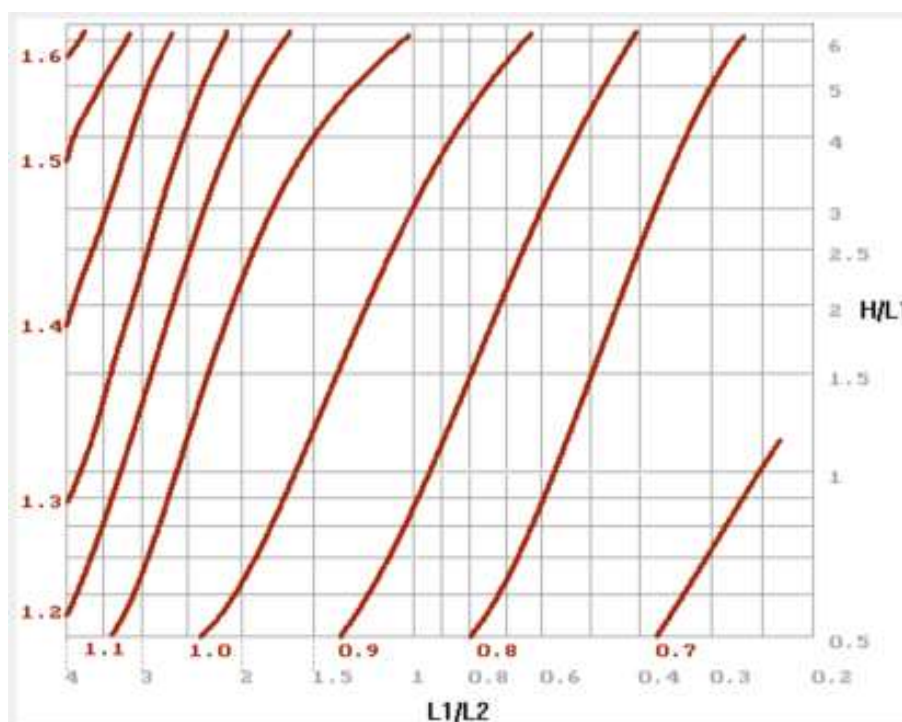
Portanto,  $S2 = 0,81$ ;

Fator estatístico -  $S3$ : 1,00 (Edificações em Geral).

Portanto:  $V_k = 1,0 \times 0,81 \times 1,00 \times 34 = 27,54 \text{ m/s}$ ;

Os coeficientes de arrasto foram calculados de acordo com o Âbaco a seguir, definido para ventos de alta turbulência:

**Figura 2 – Âbaco Coeficiente de Arrasto**



**Fonte: NBR 6123**

Onde:

$H$  = Altura da Edificação (m);

$L1$  e  $L2$ : Comprimento/largura (Lados da edificação - m).

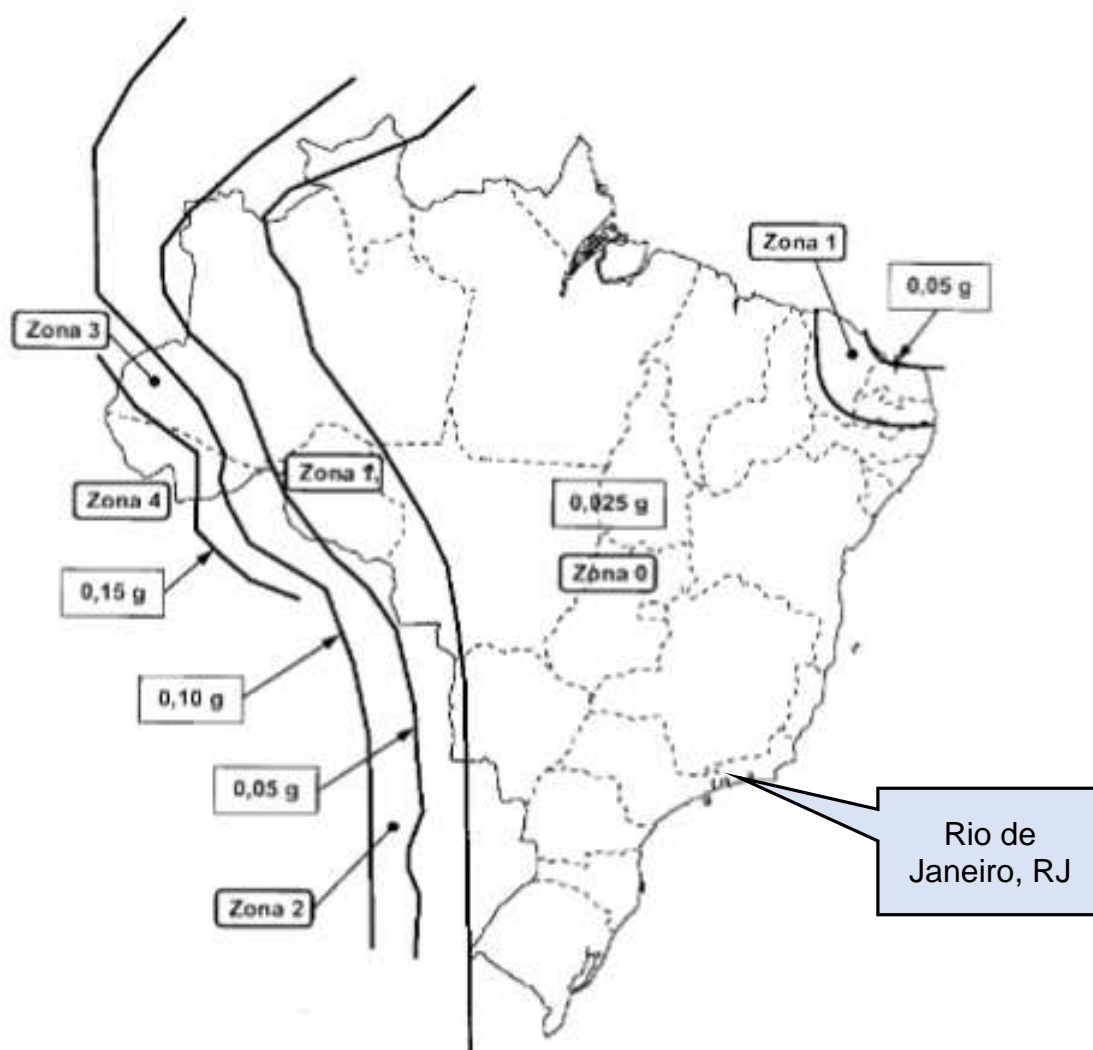


### 3.2.3 Condições Sísmicas

De acordo com a NBR 15421, item 7.3.1 é descrito que: (...) “7.3.1 Requisitos de análise para categoria sísmica A (...) Para as estruturas localizadas na zona sísmica 0, nenhum requisito de resistência sísmica é exigido.” (...)

No mapeamento de aceleração sísmica, a seguir, fica claro que Salvador, BA enquadra-se na zona 0, que está dentro da categoria sísmica A, ou seja, não há necessidade de avaliação sísmica.

**Figura 3 – Mapeamento de Aceleração Sísmica**



Fonte: NBR 15421



### 3.3 Carregamentos

A seguir serão apresentados os carregamentos que foram considerados no projeto.

#### 3.3.1 Peso próprio

Foi adotado o peso específico de 78,5 kN/m³ para o aço.

#### 3.3.2 Sobrecargas acidentais

As seguintes sobrecargas, quando aplicável, foram adotadas de acordo com a utilização de cada ambiente:

a) Área técnica:

**Figura 4 – Cargas gerais acidentais - Área técnicas**

Áreas técnicas a,c As cargas devem ser validadas caso a caso, porém com os valores mínimos indicados nesta Tabela.	Barrilete	1,5	d
	Áreas técnicas em geral (fora da projeção dos equipamentos), exceto barrilete	3	-
	Sala de ventiladores, pressurização, exaustores	3	-
	Sala de ar-condicionado ( <i>fan coil</i> )	4	-
	Sala de painéis elétricos de baixa tensão	4	-
	Sala de gerador e transformador (com leiaute)	3	-
	Sala de gerador e transformador (sem leiaute)	10	-
	Sala de <i>no-breaks</i>	7,5	-
	Sala de baterias	10	-
	CPD (centro de processamento de dados)	5	-
	Casa de máquinas de elevador de passageiros ( $v \leq 1,0$ m/s)	30 e,f	g
	Casa de máquinas de elevador de passageiros ( $v > 1,0$ m/s)	50 e,f	g
	Poço de elevador de passageiros	50 f	-
	Poço de plataforma de elevação motorizada para pessoas com mobilidade reduzida	2,5 h	-

Fonte: NBR 6120

a) Coberturas em geral:

As sobrecargas das coberturas sobre pavimentos de concreto armado estão, quando aplicável, apresentadas a seguir:

**Figura 5 – Cargas gerais acidentais – Coberturas em geral (sem estrutura metálica e telha inclinada) - (kN/m²)**

Coberturas <sup>a,g,n,o</sup> Cargas para estruturas de concreto armado, mistas de aço e concreto e alvenaria estrutural. Outras coberturas: ver 6.4	Com acesso apenas para manutenção ou inspeção	1	9
	Com placas de aquecimento solar ou fotovoltaicas	1,5	9
	Outros usos: conforme o item pertinente desta Tabela.		

Fonte: NBR 6120.

**Figura 6 – Cargas gerais acidentais – Coberturas com estrutura metálica e telha**

As demais coberturas devem ser projetadas para suportar uma carga variável uniformemente distribuída conforme a expressão a seguir:

$$q = 0,50 \times \alpha \quad \text{onde} \quad 0,25 \text{ kN/m}^2 \leq q \leq 0,50 \text{ kN/m}^2$$

$$\alpha = \begin{cases} 1,0 & 1\% < i \leq 2\% \\ 2,0 - 0,5 \times i & 2\% < i < 3\% \\ 0,5 & i \geq 3\% \end{cases}$$

onde

*i* é a inclinação da cobertura, medida entre a cumeeira e a extremidade mais baixa, expressa em porcentagem (%);

Fonte: NBR 6120

### 3.3.3 Cargas Permanentes

#### a) Paredes em *drywall*:

Para as paredes em *drywall* não se considerou a carga linear posicionada de acordo com a arquitetura. Visto que é possível a alteração de layout e mudança de posição deste tipo de parede ao longo do período de utilização do edifício, adotou-se um acréscimo de 70 kgf/m² de carga distribuída em área sobre os pisos, para compreender os esforços proveniente deste tipo de parede.

#### b) Cargas permanentes gerais dos pavimentos:

Para as cargas permanentes gerais dos pavimentos, quando aplicável, foi considerado 100kgf/m².

### 3.3.4 Equipamentos Especiais

Cargas provenientes de equipamentos especiais foram avaliados caso-a-caso, a depender do projeto das demais disciplinas envolvidas. Entretanto, em geral adotou-se 500 kgf/m<sup>2</sup> de carga accidental nestas regiões.

### 3.3.5 Cargas Decorrentes do Processo Construtivo

Cargas provenientes do processo construtivo, quando aplicável, foram avaliadas no projeto.

## 3.4 Combinações e Fatores Parciais

Figura 7 – Combinações

Efeito P-Delta

Clique no carregamento para alterar seu status.

Nº	P-Delta	Título
1	Computar	PP
2	Computar	PPlaje
3	Computar	Perm
4	Computar	SC
5	Computar	V0
6	Computar	V180
7	Computar	V90
8	Computar	V270
9	Computar	1*1.25+2*1.40+3*1.40+4*1.50
10	Computar	1*1.25+2*1.40+3*1.40+4*1.50+Vento*0.84
11	Computar	1*1.25+2*1.40+3*1.40+4*1.20+Vento*1.40
12	Computar	1*1.00+2*1.00+Vento*1.40

Fechar

Fonte: Autoral

As combinações foram calculadas como carga para ser possível a consideração dos efeitos de segunda ordem.

### 3.5 Parâmetros gerais

- Esbeltez admissível:
  - Compressão = 200;
  - Tração = 300;
- Fator de Capacidade: Seção não passa quando a capacidade > 1,02
- E.L.U.:  $\gamma_{a1}=1,1$ ;  $\gamma_{a2}=1,35$ ;

## 4 MODELOS ESTRUTURAIS

Para a análise dos esforços na estrutura foi utilizada a modelagem matemática a partir do software STRAP, adotando as premissas de cálculo já informadas anteriormente. Após inserção dos dados no modelo, procedeu-se o dimensionamento conforme normas vigentes. A seguir são apresentadas explanações do modelo.

### I) Tipo do Modelo Estrutural

Na análise estrutural das estruturas metálicas foi utilizado o método dos elementos finitos.

### II) Deformações e esforços de cálculo

Para a avaliação das deformações das estruturas, foram consideradas as combinações em serviço, já mencionadas.

### III) Dimensionamento das barras

#### - EQUAÇÕES PARA VERIFICAÇÃO DAS PEÇAS TRACIONADAS

No dimensionamento, deve ser atendida a condição:  $N_{t,Sd} \leq N_{t,Rd}$

Para escoamento da seção bruta –

$$N_{t,Rd} = \frac{A_g f_y}{\gamma_{a1}}$$

$$\gamma_{a1} : 1,1$$

Para ruptura da seção líquida -

$$N_{t,Rd} = \frac{A_n f_u}{\gamma_{a2}}$$

$$\gamma_{a2} = 1,35$$

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

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

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

$A_e$  é a área líquida efetiva da seção transversal da barra.

$f_y$  é a resistência ao escoamento do aço.

$f_u$  é a resistência à ruptura do aço.

## - EQUAÇÕES PARA VERIFICAÇÃO DAS PEÇAS COMPRIMIDAS

No dimensionamento, deve ser atendida a condição:  $N_{c,Sd} \leq N_{c,Rd}$

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

Fator de redução associado à resistência à compressão,  $\chi$  é dado por:

$$\text{- para } \lambda_0 < 1,5: \chi = 0,658^{\lambda_0^2}$$

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

Índice de esbeltez reduzido,  $\lambda_0$  é dado por:

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{Q A_g f_y}{N_e}}$$

$Q$  é o fator de redução total associado à flambagem local.

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

## - EQUAÇÕES PARA DIMENSIONAMENTO DOS PARAFUSOS E CHUMBADORES

- Tração:

$$F_{t,Rd} = \frac{A_{be} f_{ub}}{\gamma_{a2}}$$

$f_{ub}$  é a resistência à ruptura do material do parafuso/chumbador à tração.

$A_{be}$  é a área efetiva do parafuso/chumbador.

- Cisalhamento com plano de corte passando pela rosca:

$$F_{v,Rd} = \frac{0,4 A_b f_{ub}}{\gamma_{a2}}$$

$f_{ub}$  é a resistência à ruptura do material do parafuso/chumbador á tração.

$A_b$  é a área bruta do parafuso/chumbador.

- Pressão de contato em furos

$$F_{c,Rd} = \frac{1,5 \ell_t t f_u}{\gamma_{a2}} \leq 3,0 d_b t f_u / \gamma_{a2}$$

$\ell_t$  é a distância, na direção da força, entre a borda do furo e a borda do furo adjacente ou a borda livre.

$d_b$  é o diâmetro do parafuso.

$t$  é a espessura da parte ligada.

$f_u$  é a resistência à ruptura do aço da parede do furo.

- Tração e cisalhamento combinados

$$\left( \frac{F_{t,Sd}}{F_{t,Rd}} \right)^2 + \left( \frac{F_{v,Sd}}{F_{v,Rd}} \right)^2 \leq 1,0$$

## - COMPRIMENTO DE ANCORAGEM DOS CHUMBADORES

Resistência de aderência de cálculo

$$f_{bd} = \eta_1 \eta_2 \eta_3 f_{ctd}$$

$$\eta_1 = 1,0 \text{ para barras lisas}$$

$$\eta_3 = 1,0 \text{ para } \phi < 32 \text{ mm};$$

$$\eta_2 = 1,0 \text{ para situações de boa aderência}$$

$$\eta_3 = (132 - \phi)/100, \text{ para } \phi \geq 32 \text{ mm};$$

Comprimento de ancoragem básico

$$\ell_b = \frac{\phi f_{yd}}{4 f_{bd}}$$

Comprimento de ancoragem necessário

$$\ell_{b, nec} = \alpha \ell_b \frac{A_{s,calc}}{A_{s,ef}}$$

## - EQUAÇÕES PARA OS ELEMENTOS DAS LIGAÇÕES

- Elementos tracionados

- Para o estado-limite último de escoamento:

$$F_{Rd} = \frac{f_y A_s}{\gamma_{a1}}$$

- Para o estado-limite último de ruptura:

$$F_{Rd} = \frac{f_u A_s}{\gamma_{a2}} \quad A_s = A_n \leq 0,85 A_g$$

- Elementos comprimidos

- Para o estado-limite último de escoamento, aplicável quando  $KL/r \leq 25$

$$F_{Rd} = \frac{f_y A_s}{\gamma_{a1}}$$

- Colapso por rasgamento

$$F_{t,Rd} = \frac{1}{\gamma_{a2}} (0,60 f_u A_{nv} + C_{ts} f_u A_{nt}) \leq \frac{1}{\gamma_{a2}} (0,60 f_y A_{gv} + C_{ts} f_u A_{nt})$$



$A_{gv}$  é a área bruta sujeita a cisalhamento;

$A_{nv}$  é a área líquida sujeita a cisalhamento;

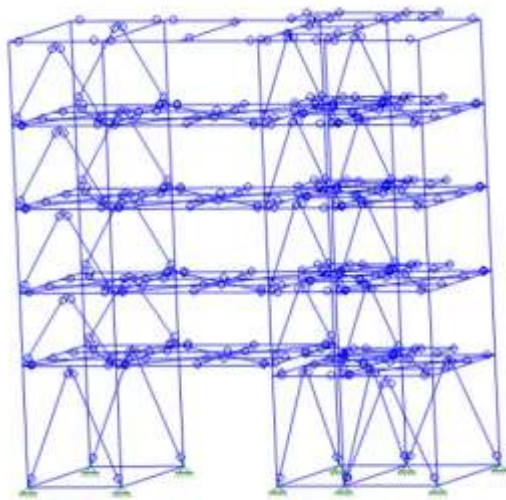
$A_{nt}$  é a área líquida sujeita à tração;

$C_{ts}$  é igual a 1,0 quando a tensão de tração na área líquida for uniforme, e igual a 0,5 quando for não-uniforme.

## 5 ESFORÇOS ATUANTES E DESLOCAMENTOS

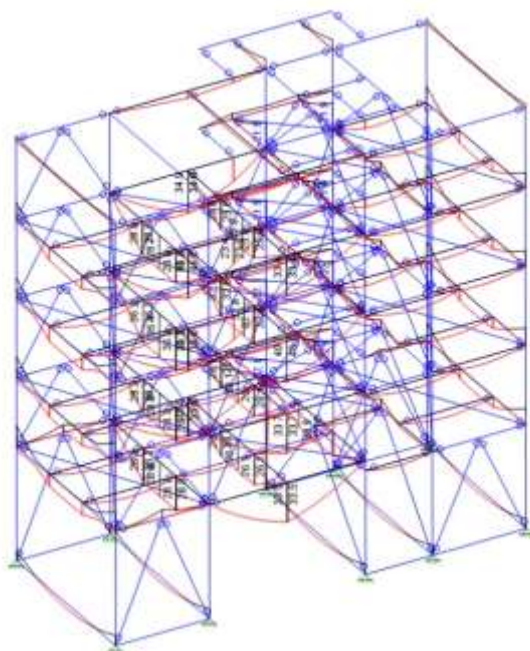
A seguir são apresentados os principais esforços solicitantes obtidos após o cálculo da estrutura metálica, bem como os deslocamentos dos elementos estruturais.

**Figura 8: Modelo estrutural**



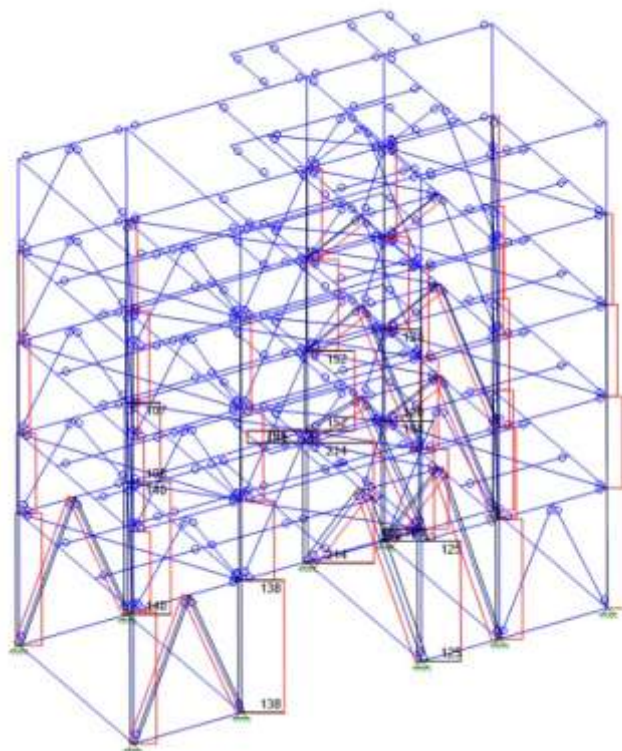
Fonte: Autoral

**Figura 9: Envoltória de combinações - Momentos fletores M3 - (tfm).**



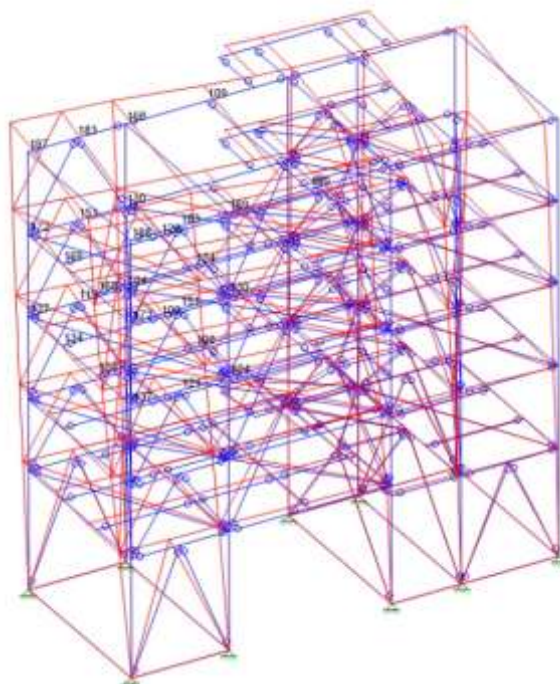
Fonte: Autoral

**Figura 10: Envoltória de combinação - Esforço axial - (tf).**



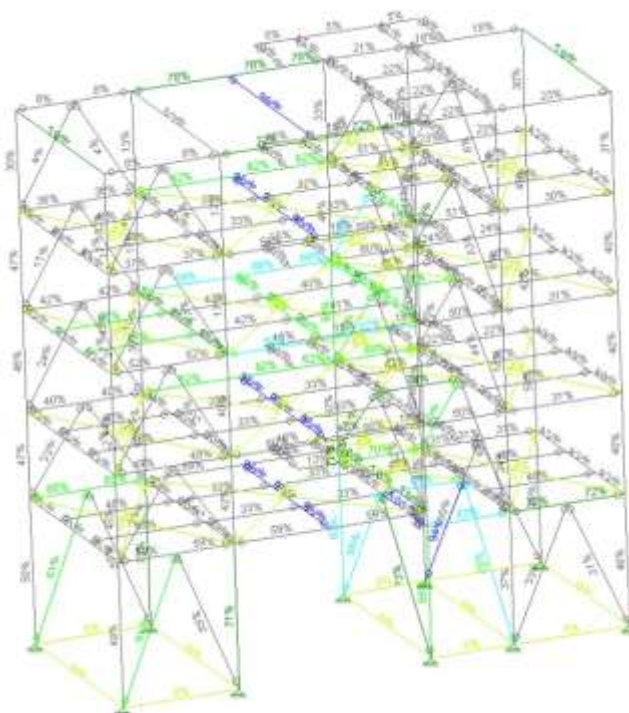
**Fonte: Autoral**

**Figura 11: Deslocamentos na estrutura metálica**



**Fonte: Autoral**

**Figura 12: Capacidade de trabalho dos perfis e verificação dos perfis.**



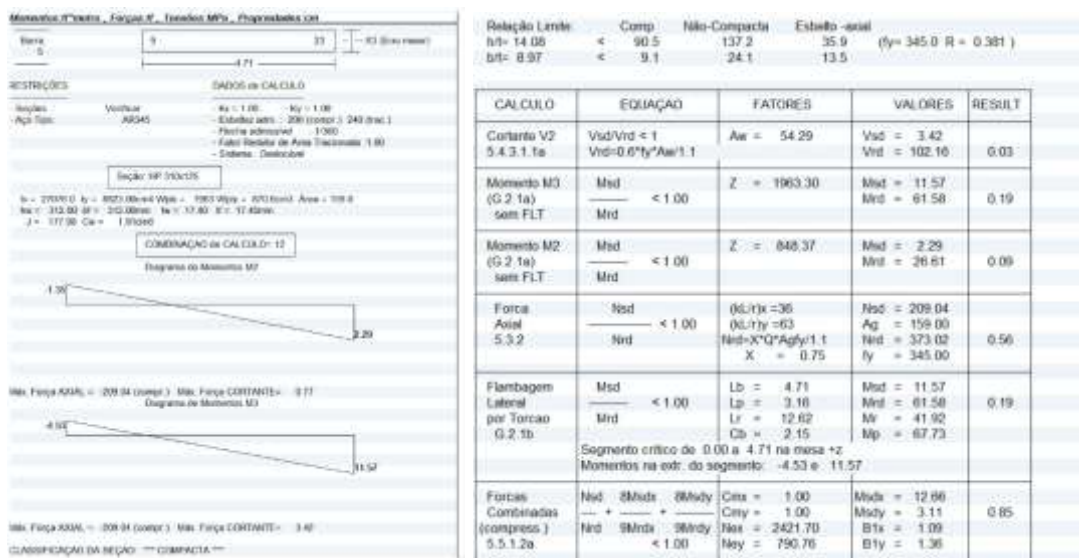
**Fonte: Autoral**



## 6 VERIFICAÇÃO DOS PERFIS METÁLICOS

A fim de se garantir que os perfis resistem a solicitação resultante da pior combinação de cargas, tem-se:

Figura 13: Capacidade dos pilares.



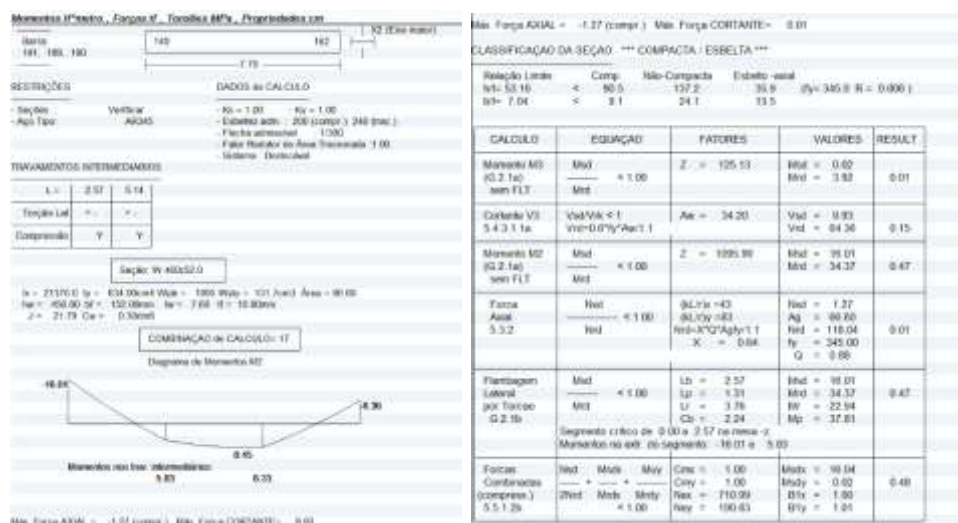
Fonte: Autoral

Figura 14: Capacidade dos contraventamentos.



Fonte: Autoral

**Figura 15: Capacidade das vigas.**



Fonte: Autoral

Vale ressaltar que essas verificações representam os piores casos tanto de solicitações quanto de resistência.

## 7 CONCLUSÃO

Por fim, entende-se que as premissas e o dimensionamento geral das estruturas seguiram as normas técnicas vigentes e a boa prática da engenharia.