



**UNIFAP**  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAPÁ

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAPÁ  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS  
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

WILLIANDER DE ALMEIDA MARQUES

**ANÁLISE COMPARATIVA DO CUSTO DA ESTRUTURA DE UMA RESIDÊNCIA  
DE ALTO PADRÃO CONSIDERANDO A SOLUÇÃO EM CONCRETO ARMADO  
CONVENCIONAL E ESTRUTURA METÁLICA.**

MACAPÁ – AP

2023

WILLIANDER DE ALMEIDA MARQUES

**ANÁLISE COMPARATIVA DO CUSTO DA ESTRUTURA DE UMA RESIDÊNCIA  
DE ALTO PADRÃO CONSIDERANDO A SOLUÇÃO EM CONCRETO ARMADO  
CONVENCIONAL E ESTRUTURA METÁLICA.**

Trabalho de conclusão de curso de graduação  
apresentado à Universidade Federal do Amapá-  
UNIFAP, como pré-requisito para obtenção do  
título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Me. Jair José dos Santos  
Gomes

MACAPÁ – AP

2023

WILLIANDER DE ALMEIDA MARQUES

**ANÁLISE COMPARATIVA DO CUSTO DA ESTRUTURA DE UMA RESIDÊNCIA DE ALTO PADRÃO CONSIDERANDO A SOLUÇÃO EM CONCRETO ARMADO CONVENCIONAL E ESTRUTURA METÁLICA.**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado à Universidade Federal do Amapá-UNIFAP, como pré-requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Macapá – AP, 3 de outubro de 2023

**BANCA EXAMINADORA**

JAIR JOSE DOS SANTOS  
GOMES:61275239234  
9234

Assinado de forma digital por JAIR JOSE DOS SANTOS  
GOMES:61275239234  
Dados: 2023.10.14 11:56:50 -03'00'

---

Prof. Me. Jair José dos Santos Gomes – Orientador  
Universidade Federal do Amapá

Documento assinado digitalmente



ADENILSON COSTA DE OLIVEIRA  
Data: 14/10/2023 08:23:30-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof. Me. Adenilson Costa de Oliveira  
Universidade Federal do Amapá

Documento assinado digitalmente



JOSE VITOR BORGES DE ASSIS  
Data: 13/10/2023 19:09:50-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof. Me. José Vitor Borges de Assis  
Universidade Federal do Amapá

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Biblioteca Central/UNIFAP-Macapá-AP  
Elaborado por Cristina Fernandes – CRB-2 / 1569

---

M357 Marques, Williander de Almeida.

ANÁLISE COMPARATIVA DO CUSTO DA ESTRUTURA DE UMA RESIDÊNCIA DE ALTO PADRÃO CONSIDERANDO A SOLUÇÃO EM CONCRETO ARMADO CONVENCIONAL E ESTRUTURA METÁLICA / Williander de Almeida Marques. - Macapá, 2023.

1 recurso eletrônico. 86 folhas.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal do Amapá, Coordenação do Curso de Engenharia Civil, Macapá, 2023.

Orientador: Jair José dos Santos Gomes.

Modo de acesso: World Wide Web.

Formato de arquivo: Portable Document Format (PDF).

1. Concreto armado. 2. Estrutura metálica. 3. Custo. I. Jair José dos Santos Gomes, orientador. II. Universidade Federal do Amapá. III. Título.

CDD 23. ed. – 624.1834

---

MARQUES, Williander de Almeida Marques. ANÁLISE COMPARATIVA DO CUSTO DA ESTRUTURA DE UMA RESIDÊNCIA DE ALTO PADRÃO CONSIDERANDO A SOLUÇÃO EM CONCRETO ARMADO CONVENCIONAL E ESTRUTURA METÁLICA. Orientador: Jair José dos Santos Gomes. 2023. 86 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Coordenação do Curso de Engenharia Civil. Universidade Federal do Amapá, Macapá, 2023.

## Resumo

A elaboração do projeto estrutural desempenha um papel de extrema importância no setor da construção civil, uma vez que as estruturas têm uma função fundamental na garantia da segurança e estabilidade de qualquer edificação. O propósito deste trabalho busca identificar as diferenças entre os custos de execução de uma casa de alto padrão em concreto armado e alternadamente em estrutura metálica, na cidade de Macapá-AP, a fim de definir o sistema construtivo mais vantajoso em termos de custo. Para tanto, é necessário informar que tanto o dimensionamento da estrutura metálica, como também a do concreto convencional foi realizado com auxílio do software de cálculo Cypecad, seguindo as normas pertinentes. Nesse sentido, após o cálculo das estruturas foi realizado o levantamento de quantitativos necessário para a execução de cada estrutura, utilizando como base de dados a tabela do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI). Nesse contexto, os resultados revelaram que o sistema estrutural em concreto armado convencional se destacou, proporcionando uma economia notável de 72,3% em comparação com a estrutura metálica. Em outras palavras, mostrou-se a ser escolha mais vantajosa em termos de custos.

**Palavras-chave:** Estruturas. Concreto armado. Estrutura metálica. Custo.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1– Diagrama tensão x deformação .....	15
Figura 2 - Chapa grossa .....	20
Figura 3 - Perfis laminados .....	21
Figura 4– Barra redonda lisa e nervurada .....	22
Figura 5 – Perfis soldados.....	22
Figura 6 – Perfis soldados CS, VS, CVS e VSM .....	23
Figura 7 - Coeficiente de arrasto, $C_a$ , para edificações paralelepípedicas em vento de baixa turbulência. ....	27
Figura 8 - Isopletas com os valores da velocidade básica do vento (em m/s) no Brasil.....	28
Figura 9 - Fator Topográfico S1, Taludes .....	28
Figura 10 - Fator Topográfico, Morros.....	29
Figura 11-Fluxo de carga em uma estrutura .....	32
Figura 12 - Combinações últimas normais. ....	34
Figura 13 - Combinações quase permanentes.....	34
Figura 14 - Etapas da orçamentação .....	38
Figura 15 – Dimensão considerada da edificação.....	42
Figura 16 – Considerações do vento.....	43
Figura 17 – Estrutura em concreto armado .....	44
Figura 18 – Estrutura metálica .....	45
Figura 19 – Divisão dos custos totais.....	47
Figura 20 - Divisão dos custos totais.....	49
Figura 21 – Comparativo dos custos das fundações.....	50
Figura 22 - Comparativo dos custos dos pilares.....	50
Figura 23 - Comparativo dos custos das vigas.....	51
Figura 24 - Comparativo dos custos das lajes.....	51
Figura 25 – Comparativo do peso próprio das estruturas.....	52
Figura 26 - Comparativo final dos custos totais.....	52
Figura 27 – Arquitetônico térreo .....	59
Figura 28 – Arquitetônico superior .....	60
Figura 29 - Arquitetônico cobertura .....	61
Figura 30 – Corte 01 .....	62
Figura 31 – Corte 02 .....	62

Figura 32 - Vista 3D (concreto armado) .....	64
Figura 33 - Locação (concreto armado) .....	65
Figura 34 – Térreo (concreto armado) .....	66
Figura 35 – Escada (concreto armado) .....	67
Figura 36 - Superior (concreto armado) .....	68
Figura 37 – Cobertura (concreto armado) .....	69
Figura 38 – Reservatório (concreto armado) .....	70
Figura 39 – Corte C (concreto armado).....	71
Figura 40 – Corte 8 (concreto armado) .....	71
Figura 41 - Vista 3D (estrutura metálica).....	73
Figura 42– Locação (estrutura metálica) .....	74
Figura 43 - Topo-pilar (estrutura metálica) .....	75
Figura 44 – Térreo (estrutura metálica) .....	76
Figura 45– Escada (estrutura metálica).....	77
Figura 46 - Superior (estrutura metálica).....	78
Figura 47 – Cobertura (estrutura metálica).....	79
Figura 48 – Reservatório (estrutura metálica) .....	80
Figura 49 – Corte C (estrutura metálica) .....	81
Figura 50– Corte 9 (estrutura metálica).....	81

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Fator topográfico em função da inclinação do talude. ....	29
Tabela 2– Parâmetros meteorológicos.....	31
Tabela 3- Valores mínimos do fator estatístico S3. ....	32
Tabela 4 - Valores dos coeficientes de ponderações das ações. ....	35
Tabela 5 - Valores dos fatores de combinação e de redução, para as ações variáveis .....	35
Tabela 6- Cargas .....	41
Tabela 7– Coeficiente de arrasto. ....	42
Tabela 8– Levantamento de quantitativos da superestrutura. ....	46
Tabela 9- Levantamento de quantitativos da fundação. ....	47
Tabela 10- Levantamento de quantitativos dos pilares e vigas. ....	48
Tabela 11- Levantamento de quantitativos das lajes.....	48
Tabela 12- Levantamento de quantitativos da fundação .....	48
Tabela 13 - Orçamento das estruturas em concreto armado.....	83
Tabela 14 - Orçamento das estruturas em estrutura metálica .....	85

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>10</b>
<b>2 JUSTIFICATIVA</b> .....	<b>12</b>
<b>3 OBJETIVOS</b> .....	<b>13</b>
3.1. GERAIS .....	13
3.2. ESPECÍFICOS .....	13
<b>4. REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>14</b>
4.1. CONCRETO ARMADO .....	14
4.1.1. CONCRETO EM COMPRESSÃO .....	14
4.1.2. CONCRETO EM TRAÇÃO .....	14
4.1.3. MÓDULO DE DEFORMAÇÃO LONGITUDINAL DO CONCRETO .....	15
4.1.4. PROPRIEDADES DO CONCRETO .....	16
4.1.5. FLUÊNCIA DO CONCRETO .....	16
4.1.6. RETRAÇÃO DO CONCRETO .....	17
4.1.7. AÇO PARA CONCRETO .....	17
4.1.8. VANTAGENS E DESVANTAGENS DO CONCRETO ARMADO .....	17
4.1.8.1 VANTAGENS .....	17
4.1.8.2 DESVANTAGENS .....	17
4.2. AÇO .....	18
4.2.1. AÇOS ESTRUTURAIS DE PERFIS .....	18
4.2.1.1. PROPRIEDADES MECÂNICAS .....	18
4.2.1.2. COMPOSIÇÕES QUÍMICAS .....	18
4.2.1.3. CLASSIFICAÇÃO .....	19
4.2.2. PERFIS ESTRUTURAIS .....	20
4.2.2.1. PERFIS LAMINADOS .....	20
4.2.2.2. PERFIS SOLDADOS .....	22
4.2.3. VANTAGENS E DESVANTAGENS DO AÇO .....	24
4.2.3.1. VANTAGENS .....	24
4.2.3.2. DESVANTAGENS .....	24
4.2.4. AÇÕES E SEGURANÇA NAS ESTRUTURAS .....	24
4.2.4.1. PERMANENTES .....	25

4.2.4.2. VARIÁVEIS.....	25
4.2.4.3. EXCEPCIONAIS.....	25
4.3. FORÇAS DEVIDO AO VENTO .....	26
4.3.1. FORÇA DE ARRASTO.....	26
4.3.1.1. COEFICIENTE DE ARRASTO $C_a$ .....	26
4.3.2. VELOCIDADE BÁSICA DO VENTO.....	27
4.3.3. FATOR TOPOGRÁFICO $S_1$ .....	28
4.3.4. FATOR $S_2$ .....	29
4.3.4.1. RUGOSIDADE DO TERRENO.....	29
4.3.4.2. DIMENSÃO DA EDIFICAÇÃO.....	30
4.3.4.3. ALTURA DO TERRENO.....	30
4.3.5. FATOR ESTATÍSTICO $S_3$ .....	31
4.4. SISTEMAS ESTRUTURAIS.....	32
4.5. ESTADOS LIMITES .....	33
4.5.1. ELU.....	33
4.5.2. ELS.....	33
4.6. COMBINAÇÕES DE AÇÕES.....	34
4.7. ORÇAMENTO.....	36
4.7.1. ATRIBUTOS DO ORÇAMENTO.....	36
4.7.1.1. ESPECIFICIDADE.....	36
4.7.1.2. TEMPORALIDADE.....	36
4.7.1.3. APROXIMAÇÃO.....	37
4.7.2. ETAPAS DE ORÇAMENTAÇÃO.....	37
4.7.3. SISTEMA NACIONAL DE PESQUISA DE CUSTOS E ÍNDICES DA CONSTRUÇÃO CIVIL (SINAPI).....	38
<b>5 METODOLOGIA.....</b>	<b>40</b>
5.1. ESTUDO DE CASO.....	40
5.2. CONCEPÇÃO E DIMENSIONAMENTO.....	40
5.2.1. LEVANTAMENTO DE DADOS.....	41
5.2.2. CARGAS CONSIDERADAS.....	41
5.2.3. DADOS DE ENTRADA.....	43

<b>6 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>46</b>
6.1. LEVANTAMENTO DE QUANTITATIVOS.....	46
6.1.1. CONCRETO ARMADO .....	46
6.1.2. ESTRUTURA METÁLICA.....	47
6.2. COMPARATIVO FINAL DE CUSTO ENTRE A ESTRUTURA METÁLICA E CONCRETO CONVENCIONAL .....	49
<b>7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>54</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>56</b>
<b>ANEXO A – ARQUITETURA DA CASA DE ALTO-PADRÃO .....</b>	<b>58</b>
<b>ANEXO B – PROJETO EM CONCRETO ARMADO CONVENCIONAL .....</b>	<b>63</b>
<b>ANEXO C – PROJETO EM ESTRUTURA METÁLICA .....</b>	<b>72</b>
<b>ANEXO D – PLANILHAS ORÇAMENTÁRIAS.....</b>	<b>82</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O projeto estrutural é uma parte fundamental do processo de construção civil, uma vez que as estruturas são responsáveis por suportar as cargas que operam sobre a edificação e garantem a segurança e a estabilidade da construção. Nesse sentido, essas cargas podem ser causadas devido ao peso próprio dos materiais, ao tipo de uso da edificação e das condições ambientais.

Segundo Bellei (2011), as estruturas e os elementos estruturais devem ter resistência adequada, bem como rigidez e dureza para permitir funcionalidade adequada durante a vida útil da estrutura. O projeto deve prover ainda alguma reserva de resistência, acima das que seriam necessárias para resistir às cargas de serviço, ou seja, a estrutura deve prever a possibilidade de um excesso de carga (solicitação).

Por conseguinte, é necessário a definição das cargas que atuarão na estrutura, a seleção dos materiais mais adequados, a definição da geometria no dimensionamento dos elementos incorporados, como também a análise dos esforços e das deformações na estrutura. Além disso, é importante salientar sobre a verificação da segurança e da durabilidade da edificação.

O concreto armado é o material composto, obtido pela associação do concreto com barras de aço, convenientemente colocadas em seu interior. Em virtude da baixa resistência à tração do concreto (cerca de 10% da resistência a compressão), as barras de aço cumprem a função de absorver os esforços de tração na estrutura. As barras de aço também servem para aumentar a capacidade de carga das peças comprimidas (Araújo, 2010).

A estrutura de aço é mais adequada às obras em que há a necessidade de vencer grandes vãos, como é o caso de ginásios de esportes, estádios, centros de compras, galpões e hangares, ou grandes alturas, como em edifícios altos. Além disso, por causa do menor peso próprio da estrutura, o uso do aço é vantajoso quando as condições do solo são pouco favoráveis para a fundação (Fakury, 2016).

De acordo com Mattos (2006), é importante informar que independentemente de localização, recursos, prazo, cliente e tipo de projeto, uma obra é eminentemente uma atividade econômica e, como tal, o aspecto custo reveste-se de especial importância.

O orçamento para a construção de uma casa em uma cidade é diferente do orçamento de uma casa igual em outra cidade. Não se pode falar em orçamento padronizado ou generalizado. Por mais que um orçamentista se baseie em algum trabalho anterior, é sempre necessário adaptá-lo à obra em questão (Mattos, 2006).

## **2 JUSTIFICATIVA**

Por conta da exigência de maior celeridade no processo de construção, é relevante ressaltar que estruturas metálicas apresentam um processo mais veloz. Entretanto, é essencial contar com profissionais especializados em sua montagem. Em suma, cada alternativa tem suas vantagens e desvantagens, e a análise de cada obra permitirá determinar qual solução é mais eficiente naquela região.

Nesse caso, o intuito deste estudo, envolve a comparação de dois métodos construtivos, um mais tradicional na região, enquanto o outro utilizado em algumas soluções como em coberturas, galpões, mezaninos, mas não é muito utilizado em residências de alto padrão como sistema estrutural principal. Além disso, é preciso comparar os orçamentos para fazer uma avaliação orçamentária adequada.

### **3 OBJETIVOS**

#### **3.1. GERAIS**

O presente trabalho busca identificar as diferenças entre os custos de execução de uma casa de alto padrão em concreto convencional e a outra em estrutura metálica em Macapá-AP, a fim de determinar o sistema construtivo mais vantajosos em termos de custos.

#### **3.2. ESPECÍFICOS**

- Realizar a concepção e dimensionamento em concreto armado e em estrutura metálica, utilizando o software de cálculo Cypecad.
- Levantar os quantitativos de materiais para execução de cada estrutura.
- Elaborar um orçamento que contemple os custos desses componentes, utilizando como base de dados a tabela do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI).
- Avaliar qual o sistema construtivo é mais vantajoso em termos de custos.

## 4. REFERENCIAL TEÓRICO

### 4.1. CONCRETO ARMADO

Segundo Carvalho (2014), o concreto armado é obtido por meio da associação entre concreto simples e armadura convenientemente colocada (armadura passiva), de tal modo que ambos resistam solidariamente aos esforços solicitantes. Desta forma, os dois materiais, concreto e aço, devem cooperar harmoniosamente, o que é viável graças às forças de aderência entre a superfície do aço e concreto.

#### 4.1.1. CONCRETO EM COMPRESSÃO

Para avaliar a resistência de um concreto a compressão, é necessário realizar um certo número de ensaios de corpos de prova. Devido a fatores de natureza aleatória, como a falta de homogeneidade da mistura, graus de compactação diferentes para corpos de prova diferentes, dentre outros, verifica-se experimentalmente uma razoável dispersão dos valores de resistência obtidos em um lote de corpos de prova. Além disso, é importante salientar que é possível definir a resistência média do concreto,  $f_{cm}$ , e a resistência características à compressão,  $f_{ck}$ . Aliado a isso,  $S$  significa o desvio padrão das resistências.

$$f_{ck} = f_{cm} - 1,645S \quad (1)$$

Na prática, o calculista estipula um valor de  $f_{ck}$ . e o utiliza nos cálculos. É incumbência do construtor fabricar (ou adquirir) um concreto com as mesmas características, o que pode exigir a realização de testes de concretos com diversos traços (relação entre água; cimento, areia e brita) até encontrar o adequado. Depois disso, é necessário realizar um número mínimo de ensaios para verificar se o concreto utilizado na construção atende à resistência especificada. (Araújo, 2010).

#### 4.1.2. CONCRETO EM TRAÇÃO

A resistência à tração do concreto pode ser determinada em três ensaios diferentes: ensaio de tração axial, ensaio de compressão diametral ou ensaio de flexão. Entretanto, no dimensionamento dos elementos estruturais, a resistência à tração é desprezada, uma vez que ela tem pouca importância na capacidade de carga da estrutura. Todavia, é utilizada na verificação das deformações da estrutura sob as cargas de serviço, é importante levar em conta a colaboração do concreto.

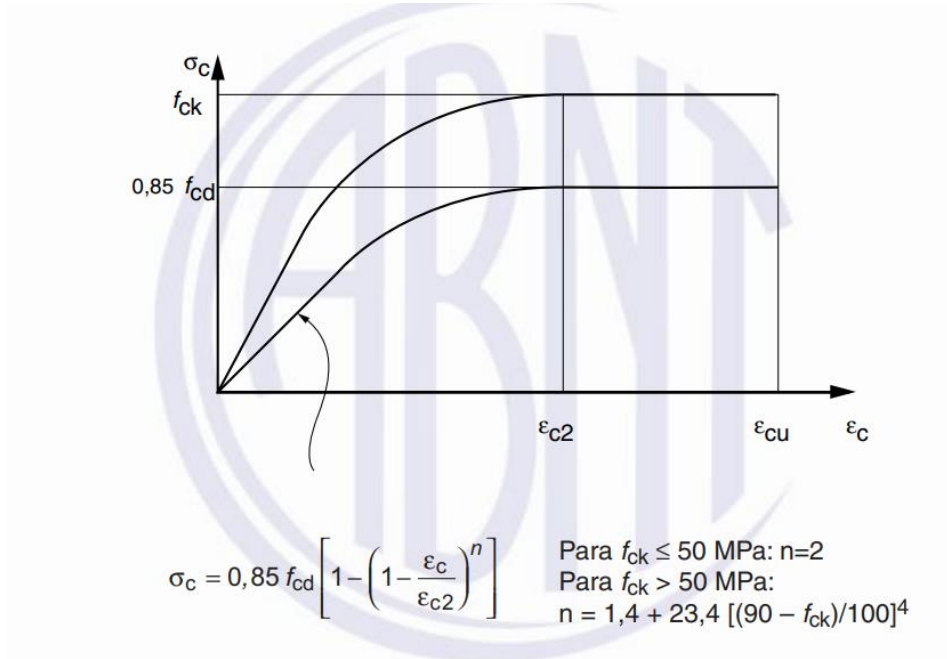
### 4.1.3. MÓDULO DE DEFORMAÇÃO LONGITUDINAL DO CONCRETO

O concreto apresenta um comportamento não linear, quando submetido a tensões de certa magnitude. Esse comportamento é decorrente da microfissuração progressiva na interface entre o agregado graúdo e a pasta de cimento.

De acordo com a norma ABNT 6118/2014, é necessário utilizar os procedimentos de teste definidos pela ABNT NBR 8522 para determinar o módulo de elasticidade ( $E_{ci}$ ) do concreto com 28 dias de idade.

A norma brasileira ABNT NBR 6118:2014, fornece ao concreto, para análises no estado-limite último, o diagrama de tensão versus deformação na compressão ( $\sigma_c \times \epsilon_c$ ) mostrado na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**

Figura 1– Diagrama tensão x deformação



Fonte: NBR 6118/14

O módulo de elasticidade do concreto, a ser utilizado nos cálculos estruturais, é o secante, dado, em MPa, por:

$$E_c = \alpha_i \alpha_E 5600 \sqrt{f_{ck}} \quad (2)$$

$$\alpha_i = 0,8 + 0,2 \frac{f_{ck}}{80} \leq 1,0 \quad (3)$$

$\alpha_E = 1,2$  para basalto e diabásio;

$\alpha_E = 1,0$  para granito e gnaisse;

$\alpha_E = 0,9$  para calcário;

$\alpha_E = 0,7$  para arenito.

Onde a resistência característica à compressão,  $f_{ck}$ , deve ser expressa também em MPa. O coeficiente de Poisson, o coeficiente de dilatação térmica, a massa específica e o peso específico são iguais, respectivamente, a:

$$\nu_c = 0,2$$

$$\beta_c = 10 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

$$\rho_c = 2400 \text{ kg/m}^3$$

No caso do concreto armado, pode-se considerar que a massa e o peso específicos sofrem acréscimos de  $100 \text{ kg/m}^3$  e  $1 \text{ kN/m}^3$ , respectivamente, tornando-se:

$$\rho_{ca} = 2500 \text{ kg/m}^3$$

$$\gamma_{ca} = 25 \text{ kN/m}^3$$

Salienta-se que os valores de densidade e peso específico fornecidos são aqueles que podem ser adotados para efeito de cálculo se a densidade real não for conhecida.

#### **4.1.4. PROPRIEDADES DO CONCRETO**

As propriedades do concreto, como o módulo de deformação longitudinal e as resistências à tração e à compressão, sofrem uma contínua variação no tempo em virtude das reações químicas decorrentes da hidratação do cimento. Esse fenômeno, denominado envelhecimento, ocorre durante praticamente toda a vida útil da estrutura, sendo muito acentuado nos primeiros dias após a concretagem. Além disso, as propriedades do concreto em uma certa idade dependem do tipo de cimento e das condições de cura (temperatura e umidade).

#### **4.1.5. FLUÊNCIA DO CONCRETO**

A fluência do concreto pode ser dividida em dois tipos: fluência básica e fluência por secagem. A fluência básica ocorre sem qualquer transferência de água entre o concreto e o ambiente ao redor. Em estruturas de grande porte, como barragens de concreto massa, a fluência básica é a principal forma de fluência observada. Por outro lado, em estruturas mais esbeltas, como os edifícios tradicionais, a influência por secagem assume uma importância significativa.

#### **4.1.6. RETRAÇÃO DO CONCRETO**

Segundo Araújo (2010), retração é a redução de volume do concreto durante o processo de endurecimento, devido à diminuição do volume de água dos poros. Usualmente, a retração é dividida em retração autógena e retração por secagem (ou retração hidráulica). A retração autógena ocorre sem perda de água para o exterior e é consequência da remoção de água dos poros capilares pela hidratação do cimento. A retração hidráulica é influenciada pelas condições ambientais (umidade relativa, temperaturas, vento, etc.).

#### **4.1.7. AÇO PARA CONCRETO**

As armaduras para concreto armado podem ser classificadas em barras e fios. As barras possuem diâmetros mínimos de 6,3 mm, sendo obtidas por laminação a quente. Os fios apresentam diâmetro máximo de 10 mm, sendo obtidas por trefilação ou laminação a frio. Na nomenclatura usual de projeto, tanto as barras laminadas, quanto os fios trefilados, são designados simplesmente por barras da armadura.

#### **4.1.8. VANTAGENS E DESVANTAGENS DO CONCRETO ARMADO**

##### **4.1.8.1 VANTAGENS**

- Apresenta boa resistência à maioria das solicitações
- Tem boa trabalhabilidade.
- Permite obter estruturas monolíticas, o que não ocorre com as de aço, madeira e pré-moldadas. Existe aderência entre o concreto já endurecido e o que é lançado posteriormente, facilitando a transmissão de esforços.
- As técnicas de execução são razoavelmente dominadas em todo o país.
- Apresenta durabilidade e resistência ao fogo superiores com relação à madeira e ao aço, desde que os cobrimentos e a qualidade do concreto estejam de acordo com as condições do meio em que está inserida a estrutura.
- É resistente a choques e vibrações, efeitos térmicos, atmosféricos e desgastes mecânicos.

##### **4.1.8.2. DESVANTAGENS**

- Resulta em elementos com maiores dimensões que o aço, o que, com seu peso específico elevado ( $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$ ), acarreta em peso próprio muito grande, limitando seu uso em determinadas situações ou elevando bastante seu custo.

- As reformas e adaptações são, muitas vezes, de difícil execução.
- São necessários um sistema de fôrmas e a utilização de escoramentos (quando não se faz uso da pré-moldagem) que geralmente precisam permanecer no local até que o concreto alcance resistência adequada.

## **4.2. AÇO**

### **4.2.1. AÇOS ESTRUTURAIS DE PERFIS**

Os aços empregados na fabricação de perfis de seção aberta, incluindo chapas e barras redondas lisas, devem ter qualidade estrutural, isto é, precisam possuir propriedades mecânicas adequadas para a utilização em peças submetidas a tensões e deformações, além de durabilidade a fim de atender às exigências de vida útil. Quanto às propriedades mecânicas, os aços estruturais devem ter nível apropriado de resistência mecânica, ductilidade, tenacidade, resiliência, soldabilidade, dureza superficial e homogeneidade. No que se refere à durabilidade, é necessário que tenham um padrão mínimo de resistência à corrosão. Além disso, os aços estruturais devem ter custo competitivo para utilização na construção civil. (Fakury, 2016).

#### **4.2.1.1. PROPRIEDADES MECÂNICAS**

Para realizar o cálculo, é necessário utilizar os valores a seguir, dentro da faixa típica de temperaturas do ambiente, para os tipos de aço mencionados.

- $E = 200.000$  MPa, módulo de elasticidade do aço (todos os aços);
- $G = 77.200$  MPa, módulo de elasticidade transversal do aço;
- $\nu_a = 0,3$ , coeficiente de Poisson;
- $\beta_a = 12 \times 10^{-6}$  por  $^{\circ}\text{C}^{-1}$ , coeficiente de dilatação térmica;
- $\gamma_a = 7850$  kg/m<sup>3</sup>, massa específica.

#### **4.2.1.2. COMPOSIÇÕES QUÍMICAS**

Em sua composição química, os aços estruturais possuem uma porcentagem de ferro superior a 95% e carbono numa porcentagem máxima de 0,29%. Além desses componentes, considerados principais, esses aços podem possuir outros elementos químicos em pequenas quantidades. Alguns elementos são prejudiciais, como o enxofre e o fósforo, provenientes do processo de fabricação. Outros são adicionados intencionalmente, como o manganês, o silício, o cobre, o cromo, o nióbio, o vanádio,

o níquel, o titânio e o molibdênio, a fim de melhorar determinadas propriedades mecânicas ou a durabilidade do aço, embora também possam apresentar efeitos nocivos. Pequenas variações nas quantidades de carbono e dos outros elementos permitem obter aços com qualidades diferentes.

Assim, o carbono, por exemplo, é o principal elemento utilizado para aumentar a resistência mecânica, mas apresenta o inconveniente de reduzir a soldabilidade e a ductilidade. Também aumentam a resistência o manganês, o silício, o cobre, o cromo, o titânio e o níquel, mas esses elementos reduzem a soldabilidade e a ductilidade. O cobre, o cromo e o níquel igualmente aumentam a resistência à corrosão atmosférica, assim como o molibdênio. Já o nióbio, o vanádio e o molibdênio aumentam a resistência mecânica sem prejudicar a soldabilidade.

#### **4.2.1.3. CLASSIFICAÇÃO**

Os aços estruturais mais frequentemente utilizados no Brasil são classificados como aços-carbono e aços de baixa liga e alta resistência mecânica, devido à qualidade fornecida por sua composição química. Esses tipos de aços podem ter resistência atmosférica que varia entre o normal e uma resistência superior ao normal. Quando apresentam essa resistência superior, são conhecidos como aços resistentes à resistência atmosférica.

- **Aços-carbono:** Os aços-carbono, também chamados aços de média resistência mecânica ou aços comuns ao carbono, apresentam resistência ao escoamento máxima de 300 MPa. O nível de resistência desses aços se deve principalmente à presença do carbono, numa quantidade entre 0,15% e 0,29%, e do manganês, em porcentagem máxima de 1,5%. Também costumam possuir silício, cobre, fósforo e enxofre.
- **Aços de baixa liga e alta resistência:** Os aços de baixa liga e alta resistência mecânica, também conhecidos como aços microligados ou simplesmente aços de alta resistência, têm teor de carbono entre 0,05% e 0,25% e de manganês inferior a 2%, acrescidos de elementos de liga, como cobre, níquel, cromo, nióbio, vanádio, molibdênio e titânio, entre outros, que melhoram suas propriedades mecânicas. Esses aços foram desenvolvidos para proporcionar propriedades mecânicas superiores às dos aços-carbono, com baixo custo de produção, tendo resistência ao escoamento situada entre 275 MPa e 450 MPa.

- Aços resistentes à corrosão atmosférica: Os aços-carbono e os aços de baixa liga e alta resistência mecânica podem conter elementos como cobre, cromo e níquel em porcentagens adequadas, de modo a terem resistência à corrosão atmosférica superior à normal, constituindo os aços resistentes à corrosão atmosférica.

#### 4.2.2. PERFIS ESTRUTURAIS

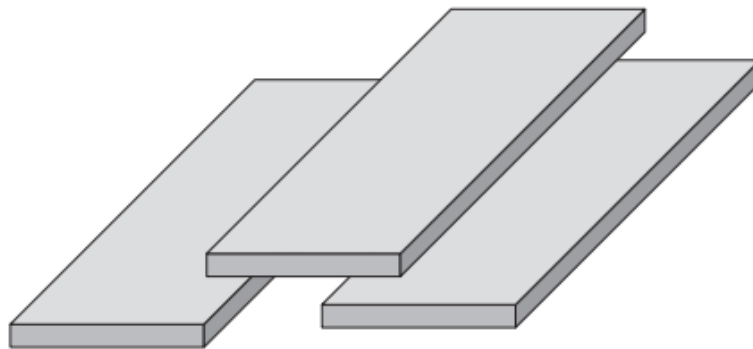
Os perfis estruturais de aço previstos pela ABNT NBR 8800:2008 mais utilizados na construção civil brasileira podem ser classificados, segundo o modo de obtenção, como perfis laminados e perfis soldados.

##### 4.2.2.1. PERFIS LAMINADOS

Os perfis laminados são aqueles obtidos por meio de um processo de transformação mecânica de metais chamado laminação. Nesse processo, a forma de um corpo metálico é alterada para torná-lo adequado a determinada aplicação.

- Chapas: as chapas podem ser grossas (isto é, com espessura igual ou superior a 4,75 mm) ou finas (de espessura inferior a 4,75 mm).

Figura 2 - Chapa grossa

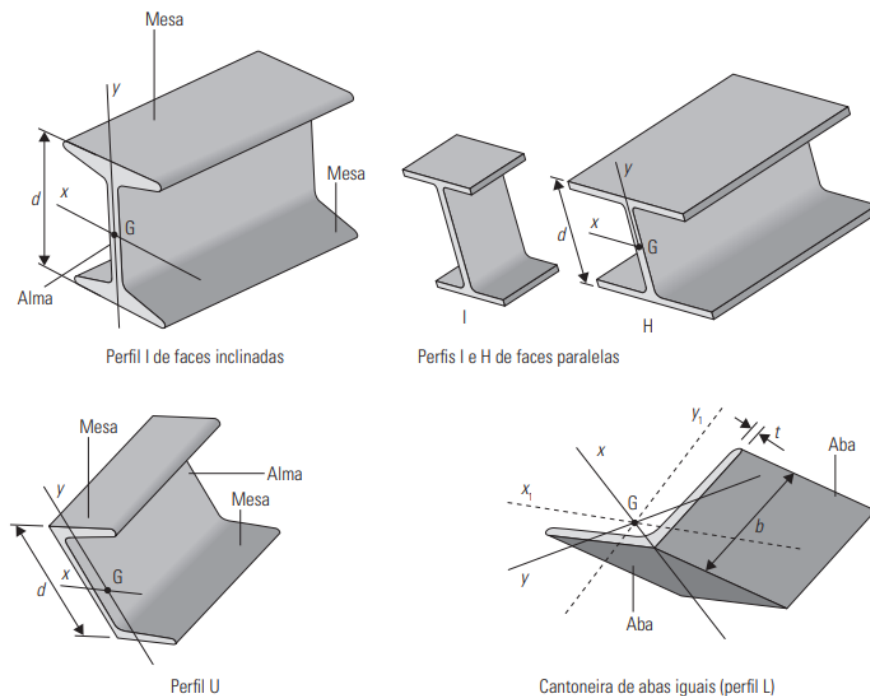


Fonte: Fakury, 2016.

- Perfis I de faces inclinadas: os perfis I de faces inclinadas (a face interna das mesas não é paralela à externa) obedecem a uma antiga padronização norte-americana e podem ter altura variando entre 76,2 mm (3") e 508 mm (20").
- Perfis U: os perfis U, são produzidos no Brasil por diversas empresas, entre as quais a Gerdau e a ArcelorMittal, com vários aços, mas principalmente com ASTM A36. Podem possuir altura entre 76,2 mm (3") e 381 mm (15"), e também obedecem a uma antiga padronização norte-americana.

- Perfis L (cantoneiras): Possuem sempre abas iguais e podem pertencer a uma série baseada em polegadas ou a uma série métrica. A série baseada em polegadas segue uma antiga padronização norte-americana, sendo composta por cantoneiras com largura variando entre 12,7 mm (1/2") e 203,2 mm (8"). Já a série métrica obedece à Norma Brasileira ABNT NBR 6109:1994 e é constituída por cantoneiras cujas dimensões principais (largura das abas e espessura) são fornecidas em múltiplos de 1 mm, com a largura variando entre 40 mm e 100 mm.
- Perfis I e H de faces paralelas: os perfis I e H de faces paralelas, assim chamados por terem a face interna das mesas paralela à externa, são inspirados em padronizações norte-americana e europeia e produzidos no Brasil pela Gerdau, principalmente com aço ASTM A572-Grau 50.

Figura 3 - Perfis laminados

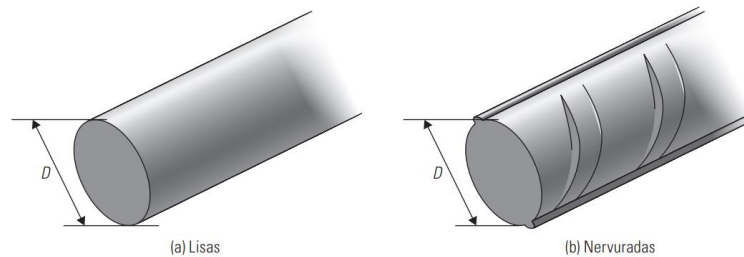


Fonte: Fakury, 2016.

- Barra redonda lisa e nervuradas: As barras redondas lisas são produzidas no Brasil pela Gerdau e pela ArcelorMittal, entre outras empresas, com diâmetro entre 6,35 mm e 88,9 mm. Essas barras são muito empregadas como tirantes ou como elementos de contraventamento, situações em que a solicitação atuante é de tração axial. Enquanto, as barras redondas nervuradas são

fabricadas no Brasil por diversas empresas, entre as quais a Gerdau e a ArcelorMittal, com diâmetro entre 5,0 mm e 40 mm, para uso como armadura de concreto, inclusive nos elementos estruturais mistos de aço e concreto (as nervuras proporcionam a aderência adequada entre a barra e o concreto).

Figura 4– Barra redonda lisa e nervurada

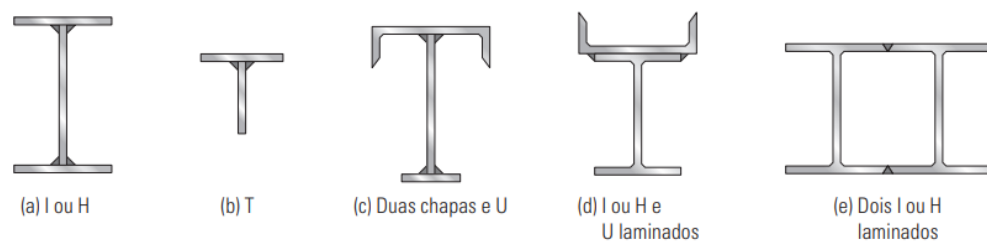


Fonte: Fakury, 2016.

#### 4.2.2.2. PERFIS SOLDADOS

Os perfis soldados são aqueles formados por dois ou mais perfis laminados (lembra-se aqui que as chapas são consideradas perfis laminados) unidos continuamente entre si por meio de solda elétrica. Esses perfis, em geral, são utilizados quando se necessita de seções transversais com dimensões maiores que as dos perfis laminados disponíveis (por exemplo, um perfil I ou H com altura ou largura maior que a fornecida pelos laminados) ou, então, para se obter uma forma especial de seção transversal, em decorrência de exigências estruturais ou arquitetônicas.

Figura 5 – Perfis soldados

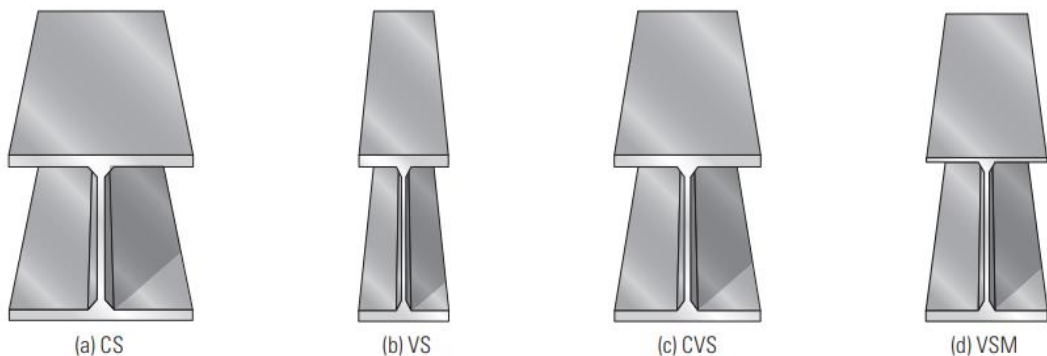


Fonte: Fakury, 2016.

No Brasil, esses perfis são prescritos pela norma ABNT NBR 5884:2005, que, além de fixar requisitos para fabricação, os divide nas quatro séries de dimensões padronizadas seguintes:

- série CS (colunas soldadas): composta de perfis H duplamente simétricos, apropriados para serem usados como barras submetidas de modo predominante à força axial de compressão, como é o caso da maioria dos pilares. A largura das mesas é sempre igual à altura da seção da transversal, que varia entre 150 mm e 750 mm;
- série VS (vigas soldadas): composta de perfis I duplamente simétricos, apropriados para serem usados como barras na maioria dos casos fletidas, como as vigas. A altura desses perfis varia entre 150 mm e 2.000 mm e está entre uma vez e meia e quatro vezes a largura das mesas;
- série CVS (colunas-vigas soldadas): composta de perfis intermediários entre I e H, duplamente simétricos, apropriados para serem usados como barras submetidas a esforços combinados de flexão e compressão axial, como pilares de pórticos sob ações vertical e lateral. A altura desses perfis varia entre 150 mm e 1.000 mm e está entre uma e uma vez e meia a largura das mesas;
- série VSM (vigas soldadas monossimétricas): composta de perfis I monossimétricos (as duas mesas possuem a mesma largura, mas espessuras diferentes), apropriados para serem usados, por exemplo, em vigas mistas, em que a mesa de menor espessura fica diretamente sob a laje e tem pouca influência na capacidade resistente. A altura desses perfis varia entre 150 mm e 650 mm e está entre uma e quatro vezes a largura das mesas.

Figura 6 – Perfis soldados CS, VS, CVS e VSM



Fonte: Fakury, 2016.

### **4.2.3. VANTAGENS E DESVANTAGENS DO AÇO**

#### **4.2.3.1. VANTAGENS**

- Elevada resistência mecânica;
- Elevada ductilidade;
- Alto grau de confiança;
- Canteiro de obras menor, limpo e organizado;
- Facilidade de reforço e ampliação;
- Reciclagem e aproveitamento;
- Rapidez de execução.

#### **4.2.3.2. DESVANTAGENS**

- Corrosão;
- Comportamento em situação de incêndio;
- Exige mão de obra especializada;
- Em algumas regiões, às vezes é difícil encontrar determinados aços e perfis.

### **4.2.4. AÇÕES E SEGURANÇA NAS ESTRUTURAS**

O dimensionamento adequado de uma estrutura lhe garante segurança e capacidade para desempenhar satisfatoriamente a função à qual se destina. Para isso, deve obedecer a uma norma técnica, que, por sua vez, adota um método de cálculo. Estruturas de construções de características diferentes, como edifícios, torres de transmissão de energia e pontes, possuem normas distintas.

Além disso, para cada material estrutural existem normas específicas. Assim, estruturas de aço (incluindo as mistas de aço e concreto), de concreto e de madeira possuem suas próprias normas, contemplando as particularidades dos materiais. Até para um mesmo material estrutural e para construções de características iguais pode haver mais de uma norma, para levar em conta adequadamente o comportamento de produtos específicos. É o caso das estruturas de aço, que possuem uma norma para estruturas de edifícios constituídas por perfis soldados e laminados, e outra norma para estruturas de edifícios constituídas por perfis formados a frio. Também existem normas para o dimensionamento estrutural à temperatura ambiente e em situação de incêndio. No projeto estrutural, as ações são classificadas em permanentes, variáveis ou excepcionais.

#### **4.2.4.1. PERMANENTES**

As ações permanentes são aquelas praticamente invariáveis ao longo da vida útil da estrutura, e se subdividem em diretas e indiretas. As ações permanentes diretas são o peso próprio da estrutura e de todos os elementos componentes da construção, tais como pisos, paredes permanentes, revestimentos e acabamentos, instalações, equipamentos fixos, entre outros, e os empuxos devidos ao peso próprio de terras não removíveis. As ações permanentes indiretas são a protensão, os recalques de apoio e a retração dos materiais.

#### **4.2.4.2. VARIÁVEIS**

As ações variáveis são aquelas que variam com o tempo, podendo ter natureza e intensidade normais, ou natureza ou intensidade especial. As ações variáveis de natureza e intensidade normais assumem valores significativos durante uma fração importante da vida útil da estrutura, embora, em alguns intervalos, possam ser, inclusive, nulas. Estão entre essas ações as decorrentes do uso e ocupação da edificação, como sobrecargas em pisos e coberturas; as oriundas de equipamentos móveis e de divisórias móveis, do vento usual e da variação de temperatura (causada pelo clima ou por equipamentos); e, ainda, as ações truncadas, ou seja, cuja superação do valor máximo estipulado é impedida por um dispositivo físico, como a água de uma caixa d'água. As ações variáveis de natureza ou intensidade especial são transitórias, com duração muito pequena em relação ao período de vida útil da estrutura, possuindo valores que ultrapassam os das outras ações variáveis, como é o caso das ações decorrentes de sismos e do transporte eventual de um equipamento de grande peso.

#### **4.2.4.3. EXCEPCIONAIS**

As ações excepcionais também variam com o tempo, mas assumem valores significativos apenas durante uma fração muito pequena da vida útil da estrutura e, além disso, têm baixa probabilidade de ocorrência. Enquadram-se nessa categoria as ações decorrentes de explosões, choques de veículos ou embarcações, ventos extraordinários (furacão, tornado), incêndio, sismos excepcionais etc. Essas ações precisam ser consideradas somente em determinados tipos de construção, nos quais não é possível tomar medidas que anulem ou atenuem a severidade das consequências de seus efeitos.

### 4.3. FORÇAS DEVIDO AO VENTO

De acordo com a NBR 6123:88, essa norma fornece a velocidade básica do vento em todo o território nacional, que é transformado em força atuante na edificação, levando-se em conta parâmetros como a forma da edificação e a existência de obstáculos em suas vizinhanças.

#### 4.3.1. FORÇA DE ARRASTO

Com o objetivo de se calcular a força de arrasto aplicada sobre a face de uma edificação, leva-se em consideração a formulação matemática abordada na NBR 6123, com a seguinte expressão:

$$F = C_a \cdot q \cdot A_e \quad (4)$$

A expressão para a força de arrasto é função do coeficiente de arrasto  $C_a$ , pressão dinâmica do vento  $q$  e área frontal efetiva  $A_e$ .

##### 4.3.1.1. COEFICIENTE DE ARRASTO $C_a$

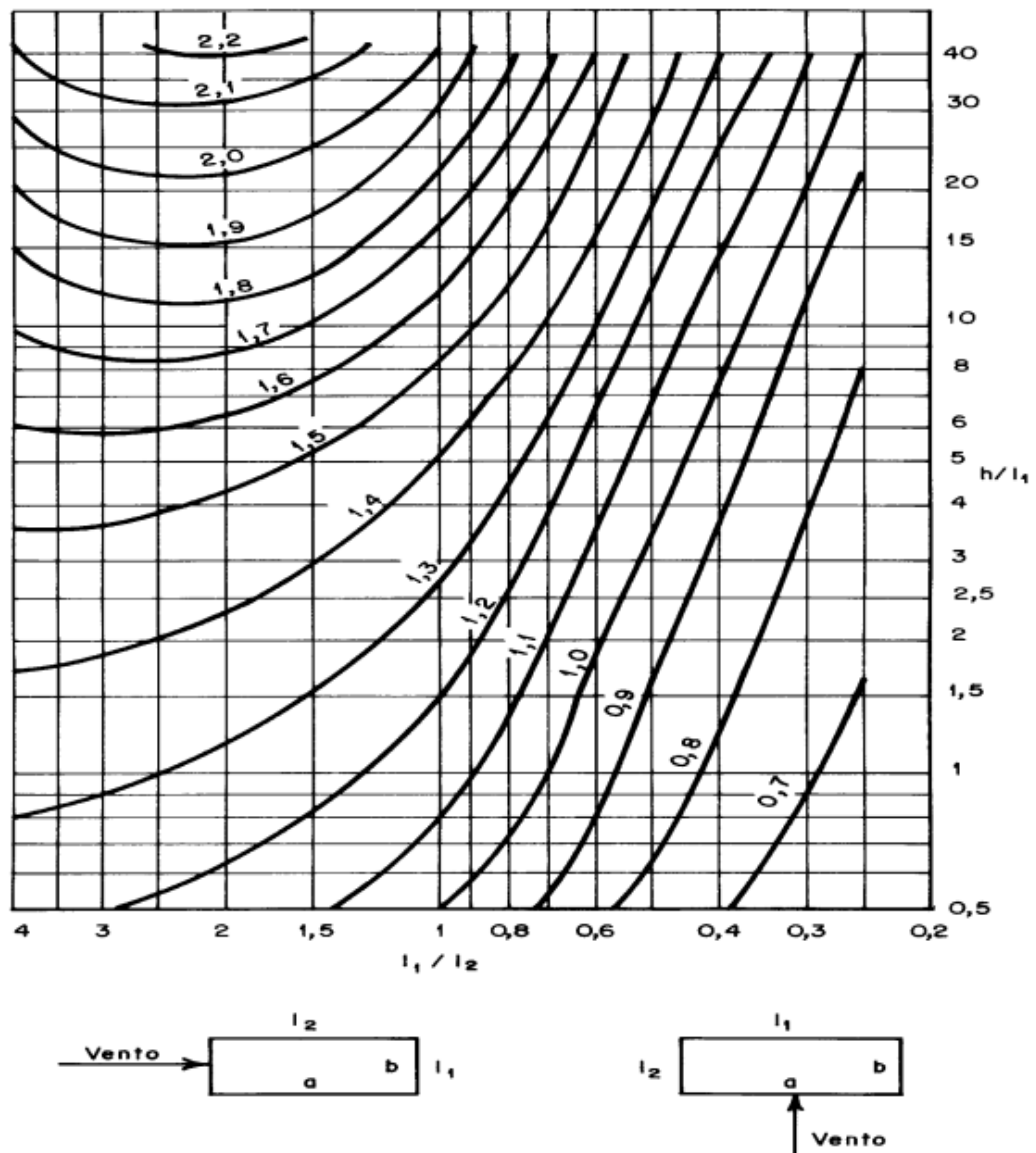
Para definição do coeficiente de arrasto  $C_a$ , a norma considera que existem dois tipos de incidência de vento em uma edificação: vento de alta turbulência e vento de baixa turbulência. Segundo o item 6.5.3 – NBR 6123, a edificação é considerada de alta turbulência sob a condição de que a altura da mesma não exceda duas vezes a altura média das edificações nas vizinhanças, estendendo-se estas na direção e sentido do vento incidente, e uma distância mínima de:

- 500 metros para uma edificação de 40 metros de altura;
- 1000 metros para uma edificação com até 55 metros de altura;
- 2000 metros para uma edificação com até 70 metros de altura;
- 3000 metros para uma edificação com até 80 metros de altura;

Ao contrário, para as edificações que não atendam a essas condições mínimas, o vento é considerado de baixa turbulência.

Para determinação dos coeficientes de arrasto, desenvolveram-se gráficos que são função das dimensões da edificação em planta  $I1$  e  $I2$  (conforme a Figura 7), e função da altura  $H$  da edificação pela sua face de incidência de vento  $H/I1$ .

Figura 7 - Coeficiente de arrasto,  $C_a$ , para edificações paralelepípedicas em vento de baixa turbulência.

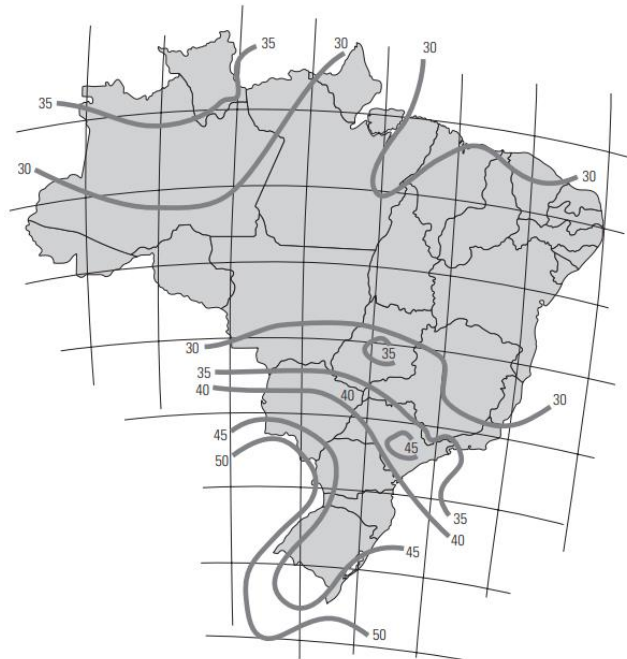


Fonte: NBR 6123/88

#### 4.3.2. VELOCIDADE BÁSICA DO VENTO

Segundo a NBR 6123:88, a velocidade básica do vento,  $V_0$ , é a velocidade de uma rajada de 3 s, excedida em média uma vez em 50 anos, a 10 m acima do terreno, em campo aberto e plano, como mostra a Figura 8.

Figura 8 - Isopletas com os valores da velocidade básica do vento (em m/s) no Brasil.

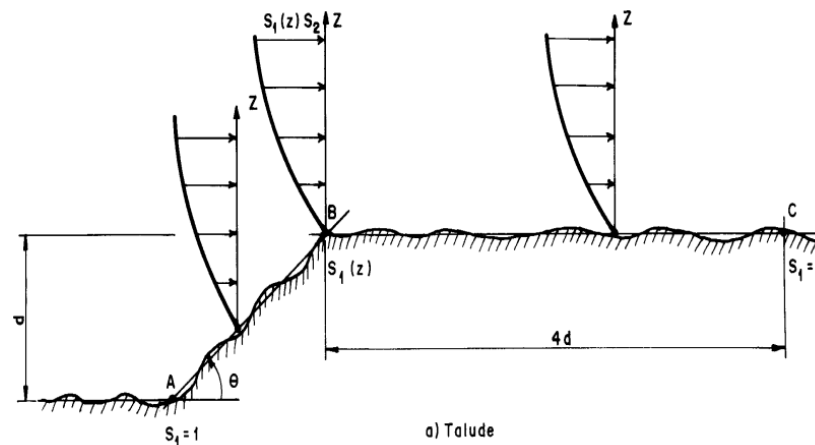


Fonte: Fakury, 2016.

#### 4.3.3. FATOR TOPOGRÁFICO S1

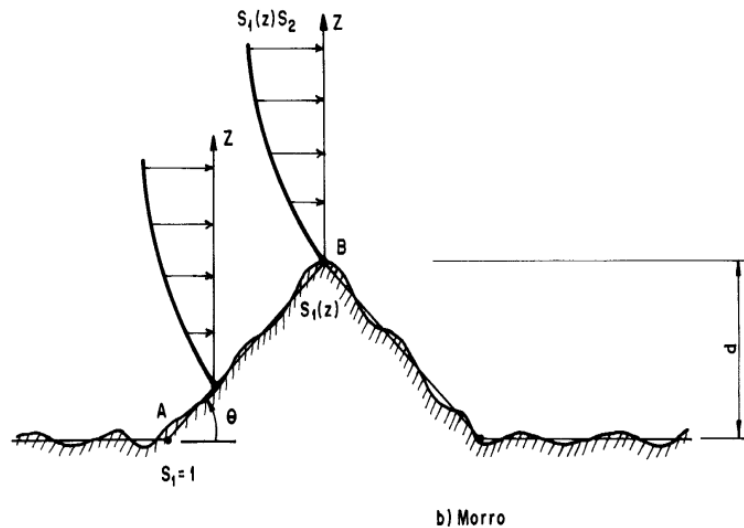
O fator S1 para o cálculo da velocidade característica leva em consideração as variações do relevo no entorno da edificação. Além disso, para terrenos planos ou fracamente acidentados, seu valor é igual a 1,0. Quando a edificação se localiza no topo de taludes ou morros, o valor de **S1** será uma função da altura  $z$ , medida a partir da superfície do terreno no ponto considerado, de acordo com as Figuras 9 e 10.

Figura 9 - Fator Topográfico S1, Taludes



Fonte: NBR 6123/88

Figura 10 - Fator Topográfico, Morros.



Fonte: NBR 6123/88

Para o caso de ângulos de inclinação menores que  $3^\circ$ , o valor de  $S_1$  será 1, do contrário, o fator estatístico deve ser calculado conforme a Tabela 1.

Tabela 1 - Fator topográfico em função da inclinação do talude.

Inclinação do talude/morro ( $\theta$ )	Fator topográfico ( $S_1$ )
$\theta \leq 3^\circ$	$S_1(z) = 1$
$6^\circ \leq \theta \leq 17^\circ$	$S_1(z) = 1 + \left(2,5 - \frac{z}{d}\right) \tan(\theta - 3^\circ) \geq 1$
$\theta \geq 45^\circ$	$S_1(z) = 1 + \left(2,5 - \frac{z}{d}\right) 0,31 \geq 1$

Fonte: NBR 6123/88

#### 4.3.4. FATOR S2

O fator S2 considera o efeito combinado da rugosidade do terreno, da variação da velocidade do vento com a altura acima do terreno e das dimensões da edificação ou parte da edificação em consideração.

##### 4.3.4.1. RUGOSIDADE DO TERRENO

- Categoria I: Superfícies lisas de grandes dimensões, com mais de 5 km de extensão, medida na direção e sentido do vento incidente. Exemplos: mar calmo, lagos e rios, pântanos sem vegetação.
- Categoria II: Terrenos abertos em nível ou aproximadamente em nível, com poucos obstáculos isolados, tais como árvores e edificações baixas.

Exemplos: zonas costeiras planas; pântanos com vegetação rala; campos de aviação; pradarias e charnecas; fazendas sem sebes ou muros. A cota média do topo dos obstáculos é considerada inferior ou igual a 1,0 m.

- Categoria III: Terrenos planos ou ondulados com obstáculos, tais como sebes e muros, poucos quebra-ventos de árvores, edificações baixas e esparsas. Exemplos: granjas e casas de campo, com exceção das partes com matos; fazendas com sebes e/ou muros; subúrbios a considerável distância do centro, com casas baixas e esparsas. A cota média do topo dos obstáculos é considerada igual a 3,0 m.
- Categoria IV: Terrenos cobertos por obstáculos numerosos e pouco espaçados, em zona florestal, industrial ou urbanizada. Exemplos: zonas de parques e bosques com muitas árvores; cidades pequenas e seus arredores; subúrbios densamente construídos de grandes cidades; áreas industriais plena ou parcialmente desenvolvidas. A cota média do topo dos obstáculos é considerada igual a 10 m.
- Categoria V: Terrenos cobertos por obstáculos numerosos, grandes, altos e pouco espaçados. Exemplos: florestas com árvores altas, de copas isoladas; centros de grandes cidades; complexos industriais bem desenvolvidos. A cota média do topo dos obstáculos é considerada igual ou superior a 25 m.

#### 4.3.4.2. DIMENSÃO DA EDIFICAÇÃO

- Classe A: edificações com altura (ou dimensão horizontal) máxima de 20 metros e duração da rajada de vento em 3s.
- Classe B: edificações com altura (ou dimensão horizontal) entre 20 e 50 metros e duração da rajada de vento em 5s.
- Classe C: edificações com altura (ou dimensão horizontal) acima de 50 metros e duração da rajada de vento em 10s.

#### 4.3.4.3. ALTURA DO TERRENO

O fator  $S_2$  usado no cálculo da velocidade do vento em uma altura  $z$  acima do nível geral do terreno é obtido pela expressão:

$$S_2 = b \cdot Fr(z/10)^p \quad (5)$$

onde:

$z$  = altura, em metros, medida a partir da superfície do terreno no ponto considerado;  
 $b$  = parâmetro meteorológico referente à categoria de rugosidade do terreno e à classe da edificação;

$p$  = expoente da lei potencial de variação;

$Fr$  = fator de rajada.

Com o fator de rajada  $Fr$ , é possível transformar a velocidade de rajada medida em 3 segundos de observação na velocidade média horária. Para isso, a NBR 6123 (ABNT,1988) fornece os fatores que, multiplicados pela velocidade de rajada, permitem obter esta transformação como mostra a Tabela 2.

Tabela 2– Parâmetros meteorológicos.

Categoria	$z_g$ (m)	Parâmetro	Classes		
			A	B	C
I	250	b	1,10	1,11	1,12
		p	0,06	0,065	0,07
II	300	b	1,00	1,00	1,00
		$F_r$	1,00	0,98	0,95
		p	0,085	0,09	0,10
III	350	b	0,94	0,94	0,93
		p	0,10	0,105	0,115
IV	420	b	0,86	0,85	0,84
		p	0,12	0,125	0,135
V	500	b	0,74	0,73	0,71
		p	0,15	0,16	0,175

Fonte: NBR:6123/88

#### 4.3.5. FATOR ESTATÍSTICO S3

Segundo a NBR 6123, o fator estatístico S3 é baseado em conceitos estatísticos. e considera o grau de segurança requerido e a vida útil da edificação. Segundo a definição da norma, a velocidade básica do vento apresenta um período de recorrência médio de 50 anos. A probabilidade de que a velocidade  $V_0$  seja igualada ou excedida nesse período é de 63%. Na falta de uma norma específica sobre segurança nas edificações, os valores mínimos do fator S3 são os indicados na Tabela 3.

Tabela 3- Valores mínimos do fator estatístico  $S_3$ .

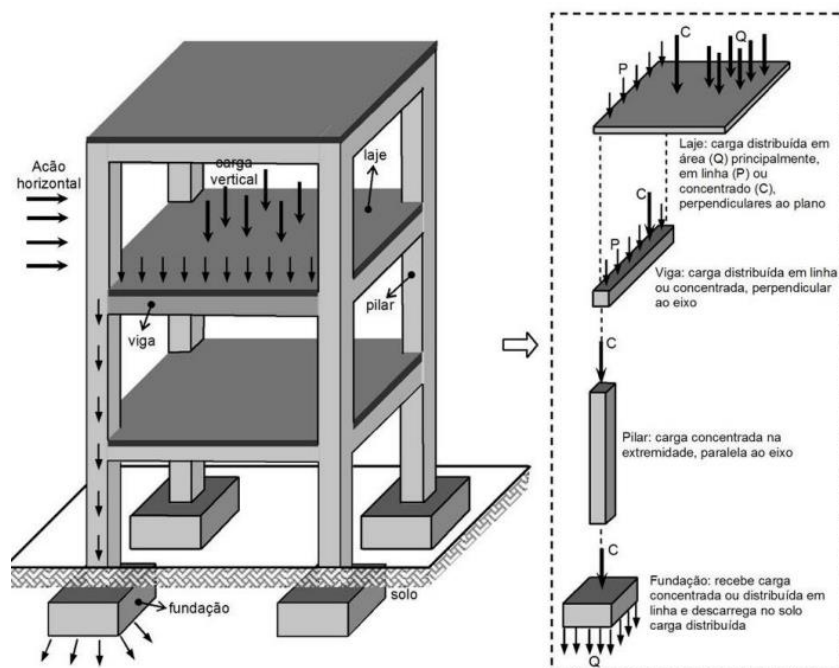
Grupo	Descrição	$S_3$
1	Edificações cuja ruína total ou parcial pode afetar a segurança ou possibilidade de socorro a pessoas após uma tempestade destrutiva (hospitais, quartéis de bombeiros e de forças de segurança, centrais de comunicação, etc.)	1,10
2	Edificações para hotéis e residências. Edificações para comércio e indústria com alto fator de ocupação	1,00
3	Edificações e instalações industriais com baixo fator de ocupação (depósitos, silos, construções rurais, etc.)	0,95
4	Vedações (telhas, vidros, painéis de vedação, etc.)	0,88
5	Edificações temporárias. Estruturas dos grupos 1 a 3 durante a construção	0,83

Fonte: NBR 6123/1988

#### 4.4. SISTEMAS ESTRUTURAIS

Os sistemas estruturais são formados principalmente por elementos horizontais e verticais sendo eles as vigas, as lajes e os pilares. No entanto, em função do arranjo desses elementos e do comportamento estrutural esperado, outros elementos estruturais podem ser necessários, entre eles citam-se os contraventamentos e os painéis. Nesse sentido, o sistema estrutural tem a função de resistir às ações e às forças laterais e gravitacionais.

Figura 11-Fluxo de carga em uma estrutura



Fonte: Freitas, 2016.

Segundo Mortari (apud Lima, 2019), para que uma estrutura resista aos esforços causados pelo vento e seu peso próprio apresentando deslocamentos laterais aceitáveis é necessário executar uma estrutura auxiliar compatibilizada com os demais sistemas, a qual é conhecida como contraventamento.

Contraventamentos são compostos por barras adicionadas às estruturas com a finalidade de reduzir ou impedir deslocamentos horizontais, utilizados principalmente para fornecer estabilidade às estruturas que sofrem ação do vento, podem ser utilizados na vertical (travamento de vigas e pilares) ou na horizontal (travamento de coberturas). (Matos, 2014).

#### **4.5. ESTADOS LIMITES**

De acordo com a NBR 8681:2003, os estados limites podem ser estados limites últimos ou estados limites de serviço. Os estados limites considerados nos projetos de estruturas dependem dos tipos de materiais de construção empregados e devem ser especificados pelas normas referentes ao projeto de estruturas com eles construídas.

##### **4.5.1. ELU**

O estado limite último está relacionado ao colapso ou a qualquer outra forma de ruína estrutural que determine a paralisação, no todo ou em parte, do uso da estrutura. Nesse sentido, devem ser verificadas os seguintes estados limites últimos.

- Perda do equilíbrio da estrutura, admitida como corpo rígido;
- Ruptura ou deformação plástica excessiva dos materiais;
- Transformação da estrutura, no todo ou em parte, em sistema hipostático;
- Instabilidade por deformação;
- Instabilidade dinâmica.

##### **4.5.2. ELS**

Os estados limites de serviço são aqueles relacionados ao conforto do usuário e à durabilidade, aparência e boa utilização das estruturas, seja em relação aos usuários, seja em relação às máquinas e aos equipamentos suportados pelas estruturas. Além disso, no período de vida da estrutura, os estados limites de serviço são caracterizados por:

- Danos ligeiros ou localizados, que comprometam o aspecto estético da construção ou a durabilidade da estrutura;
- Deformações excessivas que afetem a utilização normal da construção ou seu aspecto estético;
- Vibração excessiva ou desconfortável.

#### 4.6. COMBINAÇÕES DE AÇÕES

As combinações últimas se referem à verificação dos estados limites últimos (resistência da estrutura).

Figura 12 - Combinações últimas normais.

$$F_d = \underbrace{\gamma_g F_{gk} + \gamma_{\varepsilon g} F_{\varepsilon gk}}_{\text{Permanente}} + \underbrace{\gamma_q \left( F_{q1k} + \sum_{j=2}^n \psi_{0j} F_{qjk} \right) + \gamma_{\varepsilon q} \psi_{0\varepsilon} F_{\varepsilon qk}}_{\text{Variável}}$$

Fonte: Kimura,2007.

As combinações de serviço se referem à verificação dos estados limites de serviço (funcionamento da estrutura).

Figura 13 - Combinações quase permanentes

$$F_d = \underbrace{\gamma_g F_{gk}}_{\text{PERMANENTE DIRETA (Peso próprio, empuxo...)}} + \underbrace{\gamma_{\varepsilon g} F_{\varepsilon gk}}_{\text{PERMANENTE INDIRETA (Retração, imperfeições...)}} + \underbrace{\gamma_q \left( F_{q1k} + \sum_{j=2}^n \psi_{0j} F_{qjk} \right)}_{\substack{\text{PRINCIPAL} \\ \text{DEMAIS}}} + \underbrace{\gamma_{\varepsilon q} \psi_{0\varepsilon} F_{\varepsilon qk}}_{\text{VARIÁVEIS INDIRETAS (Temperatura...)}}$$

VARIÁVEIS DIRETAS (Carga de uso, vento...)

Fonte: Kimura,2007.

O valor característico de uma ação, seja ela permanente ou variável, é transformado para o seu respectivo valor de cálculo externo por meio do coeficiente ponderador comumente chamado de coeficiente de segurança.

Tabela 4 - Valores dos coeficientes de ponderações das ações.

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

Fonte: NBR 8800/08

Tabela 5 - Valores dos fatores de combinação e de redução, para as ações variáveis

Ações		$\gamma_{f2}$ <sup>a</sup>		
		$\Psi_0$	$\Psi_1$ <sup>d</sup>	$\Psi_2$ <sup>e</sup>
Ações variáveis causadas pelo uso e ocupação	Locais em que não há predominância de pesos e de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, nem de elevadas concentrações de pessoas <sup>b)</sup>	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>c</sup>	0,7	0,6	0,4
	Bibliotecas, arquivos, depósitos, oficinas e garagens e sobrecargas em coberturas (ver B.5.1)	0,8	0,7	0,6
Vento	Pressão dinâmica do vento nas estruturas em geral	0,6	0,3	0
Temperatura	Variações uniformes de temperatura em relação à média anual local	0,6	0,5	0,3
Cargas móveis e seus efeitos dinâmicos	Passarelas de pedestres	0,6	0,4	0,3
	Vigas de rolamento de pontes rolantes	1,0	0,8	0,5
	Pilares e outros elementos ou subestruturas que suportam vigas de rolamento de pontes rolantes	0,7	0,6	0,4

Fonte: NBR 8800/08

## **4.7. ORÇAMENTO**

Um orçamento pode ser definido como a determinação dos gastos necessários para a realização de um projeto, de acordo com um plano de execução previamente estabelecido, gastos esses traduzidos em termos quantitativos. (Limmer, 1996).

Em geral, um orçamento é determinado somando-se os custos diretos - mão-de-obra de operários, material, equipamento - e os custos indiretos - equipes de supervisão e apoio, despesas gerais do canteiro de obras, taxas, etc. - e por fim adicionando-se impostos e lucro para se chegar ao preço de venda. Além disso, todo orçamento baseia-se num projeto, seja ele básico ou executivo, uma vez que é o projeto que norteia o orçamentista. (Mattos, 2006).

### **4.7.1. ATRIBUTOS DO ORÇAMENTO**

Segundo Mattos (2006), uma composição de custos não pode ser vista como uma fria coleção de números que pode ser retirada de um livro ou de um manual. Ao contrário, ainda que o processo de elaboração dos custos seja regido por conceitos fundamentais de orçamentação, ele deve ser capaz de retratar a realidade do projeto. Por se tratar de um estudo feito a priori, há sempre uma margem de incerteza embutida no orçamento. Muitas são as premissas de cálculo adotadas e a defasagem de tempo entre o momento da orçamentação e o da realização da tarefa pode ser bastante dilatado.

#### **4.7.1.1. ESPECIFICIDADE**

Todo serviço de engenharia terá seu custo variando em função das características de cada obra, de seu projeto e respectivas especificações técnicas. A especificidade também está relacionada com condições locais da obra tais como clima, relevo, diferenças tributárias, solo, características urbanas etc. Um único projeto de edificação, se executado em regiões distintas, vai ter um orçamento diferente para cada localidade. (TCU, 2014. p. 18).

#### **4.7.1.2. TEMPORALIDADE**

Os valores orçados tornam-se defasados ao longo do tempo. Tal fato ocorre tanto em função da perda do poder aquisitivo da moeda (inflação), quanto em função de flutuações de preços dos insumos, alterações tributárias, evolução dos métodos construtivos, bem como diferentes cenários financeiros e gerenciais, que limitam no

tempo a validade e a precisão de um orçamento. Em regra, quanto mais tempo transcorrer após a elaboração do orçamento, menor será a sua precisão na estimativa do custo efetivo da obra. Assim, o orçamento tem sua validade associada a uma determinada data-base. (TCU, 2014. p. 19).

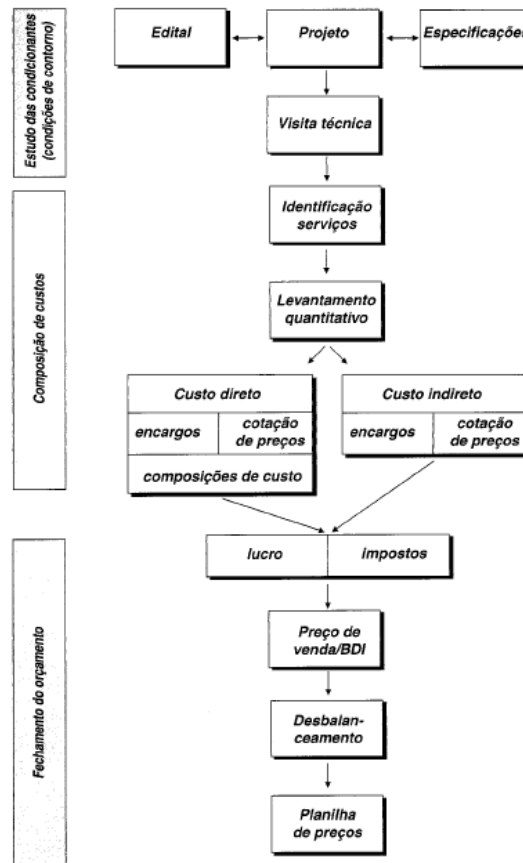
#### **4.7.1.3. APROXIMAÇÃO**

Por ser baseado em previsões, todo orçamento é aproximado. Porém, o orçamento necessita ser tão preciso quanto possível. Há que se evitar, por exemplo, arredondamentos em demasia nos preços unitários, pois, ao se multiplicar tais preços por quantidades elevadas, as diferenças podem ser relevantes, afastando o valor final da realidade de mercado. Igualmente importante é entender que quanto mais preciso for o orçamento, mais levantamentos ele exigirá e, portanto, mais oneroso ele será para o contratante da obra. (TCU, 2014. p. 19).

#### **4.7.2. ETAPAS DE ORÇAMENTAÇÃO**

De acordo com Mattos (2006), a orçamentação engloba três grandes etapas de trabalho: estudo das condicionantes (condições de contorno), composição de custos e determinação do preço como mostra a Figura 14. Primeiro estudam-se os documentos disponíveis, realiza-se visita de campo, e fazem-se consultas ao cliente. Em seguida, monta-se o custo, que é proveniente das definições técnicas, do plano de ataque da obra, dos quantitativos dos serviços, das produtividades e da cotação de preços de insumos. Por fim, soma-se o custo indireto, aplicam-se os impostos e aplica-se a margem de lucratividade desejada, obtendo-se assim o preço de venda da obra.

Figura 14 - Etapas da orçamentação



Fonte: Mattos, 2006.

#### 4.7.3. SISTEMA NACIONAL DE PESQUISA DE CUSTOS E ÍNDICES DA CONSTRUÇÃO CIVIL (SINAPI)

O Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil - SINAPI tem por objetivo a produção de séries mensais de custos e índices para o setor habitacional, e de séries mensais de salários medianos de mão de obra e preços medianos de materiais, máquinas e equipamentos e serviços da construção para os setores de saneamento básico, infraestrutura e habitação. O Sistema é uma produção conjunta do IBGE e da Caixa Econômica Federal - Caixa, realizada por meio de acordo de cooperação técnica, cabendo ao Instituto a responsabilidade da coleta, apuração e cálculo, enquanto à CAIXA, a definição e manutenção dos aspectos de engenharia, tais como projetos, composições de serviços etc. As estatísticas do SINAPI são fundamentais na programação de investimentos, sobretudo para o setor público. Os preços e custos auxiliam na elaboração, análise e avaliação de orçamentos, enquanto

os índices possibilitam a atualização dos valores das despesas nos contratos e orçamentos.

Por conseguinte, é importante salientar com relação a determinação das composições de custo unitário, uma vez que elas representam a mão de obra, materiais e equipamentos necessários para a sua elaboração. Adiante, a mão de obra deve ser acompanhada dos encargos sociais e trabalhistas previstos em Lei. Esses encargos incidem sobre o salário do trabalhador, os valores variam de acordo com o estado do país. Ainda há os encargos complementares, referem-se aos direitos que os trabalhadores possuem, como EPI's, vale transporte, vale compras, café da manhã e seguro de vida

Sobre os insumos de mão de obra incidem Encargos Sociais, de forma percentual, com cálculo específico para cada estado. Mensalmente, a CAIXA divulga dois tipos de relatórios de preços: (i) desonerados - consideram os efeitos da desoneração da folha de pagamentos da construção civil (Lei 13.161/2015), ou seja, obtidos com exclusão da incidência de 20% dos custos com INSS no cálculo do percentual relativo aos Encargos Sociais; (ii) não desonerados – consideram a parcela de 20% de INSS nos Encargos Sociais. (Toso apud SINAPI,2020. p.29).

## **5 METODOLOGIA**

Inicialmente, o foco deste estudo é referente ao dimensionamento em concreto convencional de uma residência de alto padrão e posteriormente em estrutura metálica, visando avaliar os custos dessas estruturas, pretende-se realizar um estudo comparativo direcionado a elas.

Diante disso, o dimensionamento foi realizado com auxílio do software de cálculo Cypecad, tanto para cálculos em concreto armado quanto em estrutura metálica. Esse programa oferece uma variedade de recursos para a concepção estrutural, seguindo as normas pertinentes e proporcionando agilidade em sua utilização.

Além disso, após a realização do processo de cálculo das estruturas, é fundamental o levantamento de materiais relevantes para a execução de cada estrutura, em seguida, elaborar um orçamento que contemple os custos desses componentes. Dessa forma, foi preciso utilizar como base de dados a tabela do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI). Por fim, avaliar qual o sistema construtivo é mais vantajoso em termos de custos.

### **5.1. ESTUDO DE CASO**

Neste presente trabalho a residência de alto-padrão (Anexo A) é formada por dois pavimentos com área total de 271,24 m<sup>2</sup>, na qual o primeiro com área construída 117,88 m<sup>2</sup>, e o segundo com 153,36 m<sup>2</sup>. Nesse sentido, é importante salientar as dificuldades desse projeto, uma vez que devido a divisa do terreno, será necessário adoção de soluções como vigas alavancas e vigas sobre vigas entre outras dificuldades que arquitetura exige para o desenvolvimento do projeto, tanto em estrutura metálica e em concreto convencional.

### **5.2. CONCEPÇÃO E DIMENSIONAMENTO**

A concepção e o dimensionamento estrutural são etapas essenciais no projeto de estruturas metálicas, como também de concreto armado. Esses processos envolvem a análise das cargas atuantes na estrutura, a determinação dos elementos estruturais necessários para resistir a essas cargas e a verificação de sua capacidade de suportar as solicitações.

Nesse sentido, a concepção inicial de ambas soluções foram as mesmas, buscando maneiras de otimizar a estrutura, para que dessa forma afete com relação ao custo. Além disso, as normas vigentes consideradas foram:

- NBR 6118:2014 Projeto de estruturas de concreto – Procedimento;
- NBR 8800:2008 Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto armado;
- NBR 6120:2019 Ações para o cálculo de estruturas de edificações;
- NBR 6123:1988 Forças devido ao vento.

### 5.2.1. LEVANTAMENTO DE DADOS

Em primeiro lugar, de acordo com a arquitetura, decidiu-se os possíveis lugares para a colocação dos pilares. Adiante, com posse do arquivo em DWG da arquitetura foi feita a introdução dos pilares levando em consideração a divisa do terreno. Dessa forma, realizou-se a modelagem da estrutura tanto em concreto convencional, como também em estrutura metálica.

### 5.2.2. CARGAS CONSIDERADAS

As cargas consideradas foram de acordo com a NBR 6120:2019 ações para o cálculo de estruturas de edificações. Diante disso, com base na arquitetura, definiu-se em cargas permanentes e variáveis como mostra a Tabela 6.

Tabela 6- Cargas

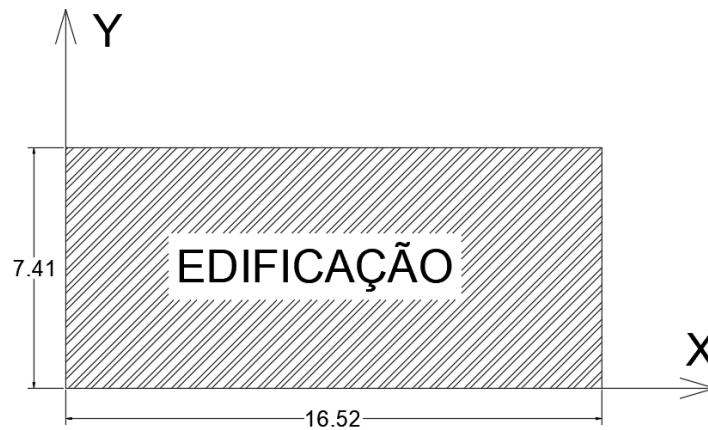
CARGAS CONSIDERADAS		
PERMANENTES	Revestimento de pisos	100kgf/m <sup>2</sup>
	Bloco de cerâmica vazado (9cm)	150kgf/m <sup>2</sup>
	Bloco de cerâmica vazado (19cm)	270kgf/m <sup>2</sup>
	Impermeabilização com manta asfáltica (5mm)	11kgf/m <sup>2</sup>
	Telha de fibrocimento ondulada e estrutura de madeira	40kgf/m <sup>2</sup>
	Forro	10kgf/m <sup>2</sup>
VARIÁVEIS	Cobertura	100kgf/m <sup>2</sup>
	Dormitórios	150kgf/m <sup>2</sup>
	Sala, copa, cozinha, sanitários	150kgf/m <sup>2</sup>
	Áreas de uso comum	300kgf/m <sup>2</sup>
	Corredores de uso comum	300kgf/m <sup>2</sup>
	Escadas	250kgf/m <sup>2</sup>

Fonte: Autor (2023)

Além disso, faz-se necessário salientar os valores considerados que não estão na Tabela 6, que a carga dos reservatórios. Nesse sentido, a arquitetura estabeleceu que seria necessários dois reservatórios de 2000L. Adiante, considerou-se o peso da água de  $1\text{tonf/m}^3$  e a área de cada reservatório de  $1,77\text{ m}^2$ . Portanto, a carga considerada foi de  $1,13\text{tonf/m}^2$ .

Por conseguinte, é importante informar sobre a força de arrasto aplicada sobre a estrutura em concreto convencional como também a metálica. Na Figura 15, mostra as dimensões consideradas da edificação.

Figura 15 – Dimensão considerada da edificação.



Fonte: Autor (2023)

Aliado a isso, considerou-se o vento de baixa turbulência e com as dimensões da edificação, calculou-se o coeficiente de arrasto (Tabela 7).

Tabela 7– Coeficiente de arrasto.

EIXO X (m)		Ca	EIXO Y (m)		Ca
L1	7,41	0,8	L1	16,52	1,2
L2	16,52		L2	7,41	
h	9,20		h	9,20	
L1/L2	0,45		L1/L2	2,23	
h/L1	1,24		h/L1	0,56	

Fonte: Autor (2023)

Por fim, determinou-se os fatores necessário para entrada de dados no software para determinação da força de arrasto (Figura 16).


Figura 16 – Considerações do vento.

**NBR 6123**


NBR 6123. Forças devidas ao vento em edificações


Ação de vento segundo X      + X       - X


Ação de vento segundo Y      + Y       - Y


Larguras de faixa:    Y: 0.00-7.41    X: 0.00-16.52    Por planta 

Velocidade Básica:  m/s

Categoria:  

Classe:  

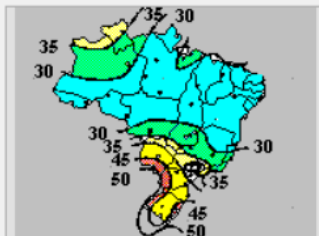
Fator Probabilístico:  

Fator Topográfico +x:  

Fator Topográfico -x:

Fator Topográfico +y:

Fator Topográfico -y:



Fonte: Autor (2023)

### 5.2.3. DADOS DE ENTRADA

Depois de definir todas as cargas e concluir a modelagem, fez-se necessário inserir os valores de entrada no software para realizar o cálculo preciso da estrutura. O programa de cálculo estrutural Cypecad utiliza configurações com base em normas predeterminadas, dessa forma, foram respeitados de acordo com a NBR 6118:2014 e a NBR 8800:2008.

A respeito da estrutura metálica, utilizou-se perfis Gerdau, sendo para as vigas perfis I, enquanto para os pilares perfil H. Além disso, o aço considerado foi ASTM A 572 Grau 50, com módulo de elasticidade  $f_y = 345$  MPa. Nesse sentido, a laje utilizada foi a treliçada unidirecional com bloco de EPS.

Com relação a estrutura em concreto armado, definiu-se a classe de agressividade ambiental igual a II (moderada). Portanto, o tipo de concreto e os cobrimentos das peças estruturais, referem-se ao concreto classe C25.

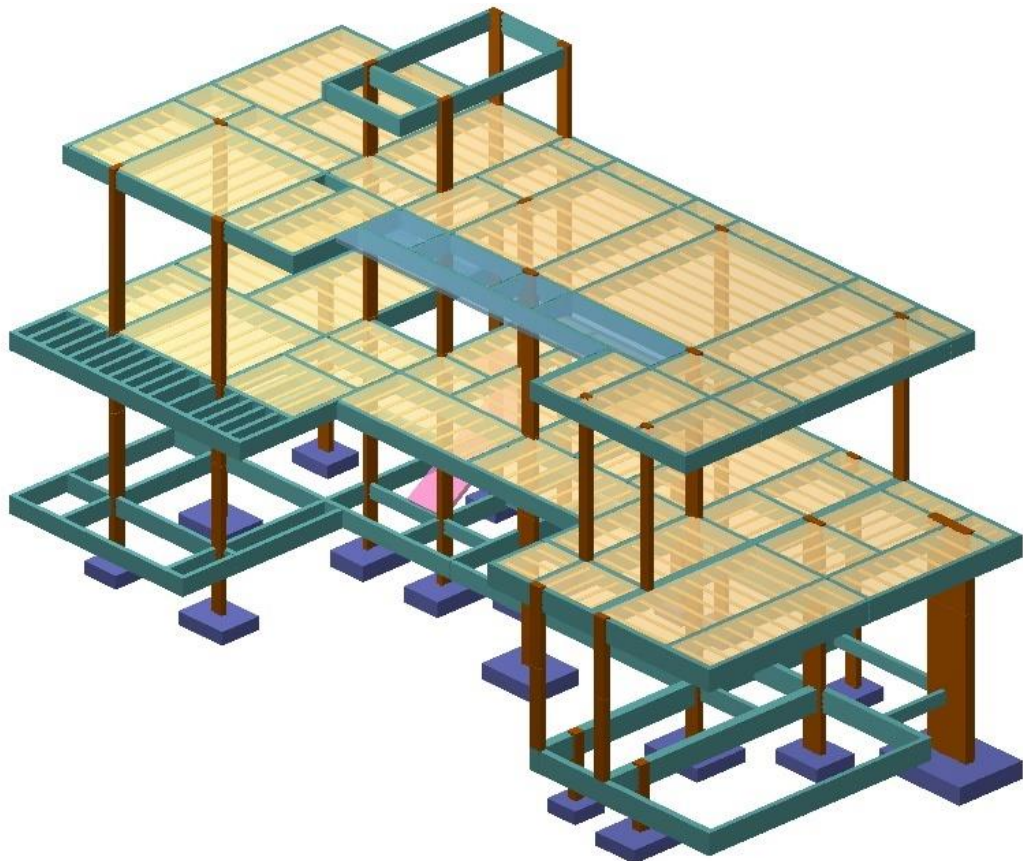
Aliado a isso, realizou-se a inserção das cargas na edificação, como também foi definido a tensão admissível do solo de 2 kgf/cm<sup>2</sup>. Nesse sentido, é importante

informar que de acordo com a NBR 6122:2019 quando o vento é variável principal, considerou-se uma majoração 15% da tensão admissível do solo. Além disso, considerou-se uma  $f_{ck}$  de 20MPa para as sapatas.

Por conseguinte, iniciou-se o processo de cálculo da estrutura, e posteriormente, observou-se as mudanças das seções adotadas inicialmente na estrutura em concreto convencional, como também na estrutura metálica, que ocorreu as mudanças nos perfis metálicos adotados inicialmente. Além disso, é importante salientar que esse processo de cálculo ocorreu inúmeras vezes, tendo em vista buscar a otimização da estrutura, visando menores custos tanto para estrutura metálica quanto para o concreto convencional.

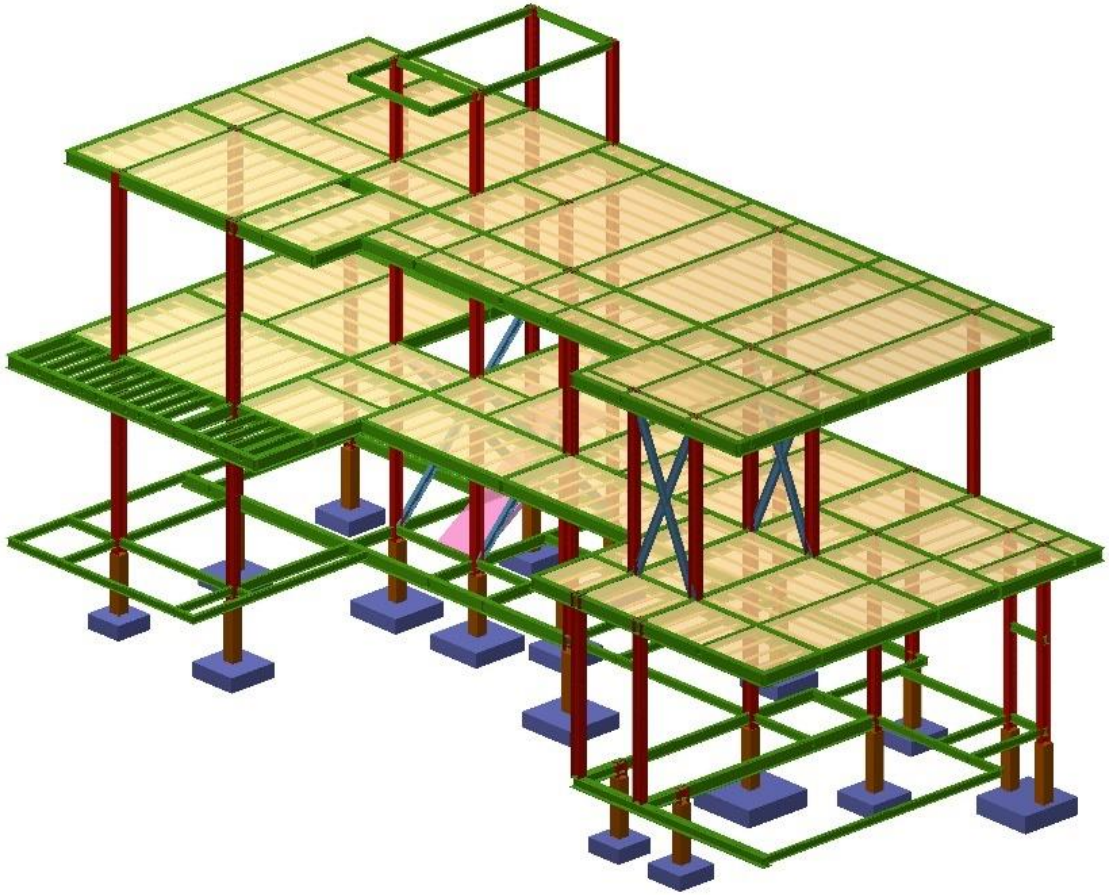
Em seguida, percebeu-se que com relação a estrutura metálica houve a necessidade de adoção de contraventamentos como soluções estruturais, tendo em vista que não obedecia aos preceitos normativos com relação ao estado limite de serviço. Por fim, finalizou-se o dimensionamento da estrutura em concreto armado como mostra a Figura 17, como também da estrutura em estrutura metálica Figura 18.

Figura 17 – Estrutura em concreto armado



Fonte: Autor (2023)

Figura 18 – Estrutura metálica



Fonte: Autor (2023)

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste ponto, a partir dos resultados obtidos da pesquisa através da metodologia adotada, com base no dimensionamento do software de cálculo Cypecad, destacamos o levantamento de custos considerando as perdas e utilizando como base de dados a tabela do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da construção Civil (SINAPI), na qual considerou o relatório de preço desonerado. Em sequência, avaliou-se os custos totais, a fim de definir qual o sistema construtivo é mais vantajoso em termos de custos (Anexo D).

### 6.1. LEVANTAMENTO DE QUANTITATIVOS

#### 6.1.1. CONCRETO ARMADO

Após o dimensionamento da estrutura em concreto armado, realizou-se o levantamento de quantitativos necessários para a superestrutura como mostra a Tabela 8.

Tabela 8– Levantamento de quantitativos da superestrutura.

Descrição	Bitola (CA-50/60)	Comprimento (m)	Peso (kg)	Fôrmas (m <sup>2</sup> )	Superfície (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )
Lajes pré-moldadas	Ø5	713.70	124	-	212.06	13.87
	Ø10	114.16	77			
	Total + 10%		201			
Lajes maciças	Ø5	370.45	63	-	14.13	1.26
	Ø8	7.80	3			
	Total + 10%		66			
Vigas de concreto	Ø6.3	3072.08	827	296.91	58.98	25.45
	Ø8	402.10	174			
	Ø10	576.22	390			
	Ø12.5	563.19	597			
	Ø16	161.02	279			
	Total + 10%		2267			
Pilares em concreto	Ø6.3	1216.76	328	126.46	-	6.85
	Ø10	355.52	243			
	Ø12.5	243.30	258			
	Ø16	429.38	746			
	Total + 10%		1575			

Fonte: Autor (2023)

Nesse sentido, é importante informar sobre a locação dos pilares de fundação e também do posicionamento dos elementos estruturais como se observa no Anexo B. Além disso, definiu-se que a fundação seria em sapatas, diante disso, realizou-se o levantamento de quantitativos como mostra a Tabela 9.

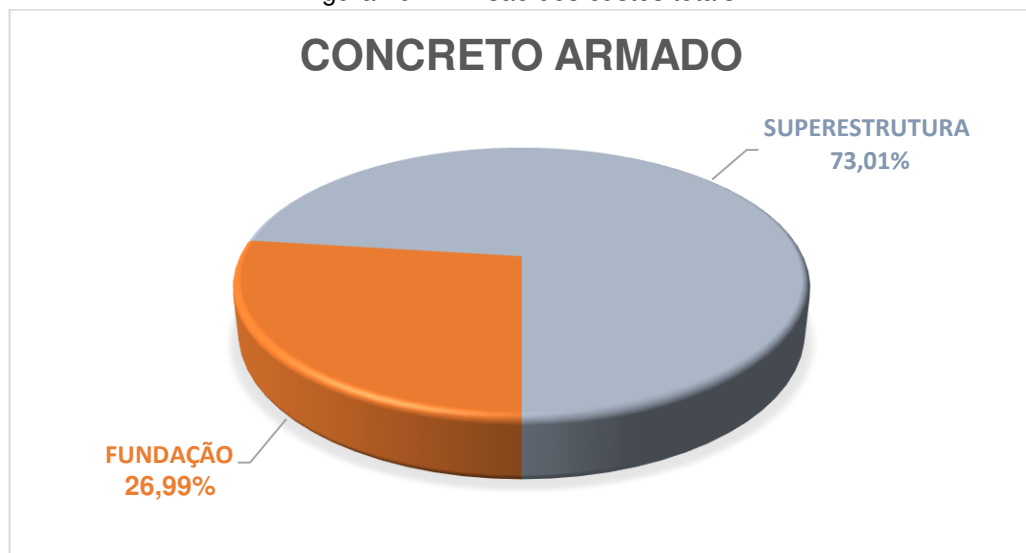
Tabela 9- Levantamento de quantitativos da fundação.

Descrição	Bitola (CA-50)	Comprimento (m)	Peso (kg)	Fôrmas (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )
Sapatas	Ø10	98	67	24.62	7.18
	Ø12.5	145.83	155		
Total + 10%			222		

Fonte: Autor (2023)

Em consequência disso, tomando como base o SINAPI, o custo total da estrutura em concreto armado (Anexo D) foi de R\$232.259,35. Além disso, com relação ao custo das fundações foi de R\$62.687,81, representando cerca de 26,99% do custo total. Ademais, considerou-se fundação os seguintes elementos: sapatas, vigas baldrame e pilares de arranque, enquanto o restante é a superestrutura como mostra a Figura 19. Sendo assim, a superestrutura representou cerca de 73,01% do custo total, que equivale a R\$169.571,55. Em suma, faz-se necessário informar que foi considerado as perdas de acordo com o indicado pelo SINAPI, e naquelas que não possuíam, definiu-se o valor de 10%.

Figura 19 – Divisão dos custos totais.



Fonte: Autor (2023)

### 6.1.2. ESTRUTURA METÁLICA

Em seguida ao dimensionamento da estrutura em estrutura metálica, elaborou-se o levantamento de quantitativos necessários para a superestrutura como pode-se conferir nas Tabela 10 e 11.

Tabela 10- Levantamento de quantitativos dos pilares e vigas.

DESCRIÇÃO	PERFIL	kg/m	Comp. (m)	Peso (kg)
PILARES	W 200x35.9	35,9	98,30	3528
	W 200x46.1	46,1	37,80	1742
VIGAS	W 150x13	13	114,92	1493
	W 150x18	18	99,18	1785
	W 200x22.5	22,5	51,68	1162
	W 200x46.1	46,1	6,22	286
	W 250 x 32.7	32,7	185,07	6051
	W 250x38.5	38,5	61,92	2383
TOTAL				18430

Fonte: Autor (2023)

Tabela 11- Levantamento de quantitativos das lajes.

Descrição	Bitola (CA-50/60)	Comprimento (m)	Peso (kg)	Superfície (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )
Laje pré-moldada	Ø5	871.50	149	222.42	14.55
	Ø10	74	49		
Total + 10%			160		

Fonte: Autor (2023)

Além do mais, é importante salientar sobre a locação dos pilares de fundação, como também na localização dos elementos estruturais como mostra o Anexo C. Com relação a estrutura metálica, é importante salientar que a fundação utilizada foi sapatas, uma vez que na estrutura em concreto armado, empregou-se sapatas e para fins comparativos de custo, adotou-se a mesma solução para ambos os casos. Após isso, foi dimensionado a fundação e feito o levantamento de quantitativos da fundação como mostra a Tabela 12.

Tabela 12- Levantamento de quantitativos da fundação

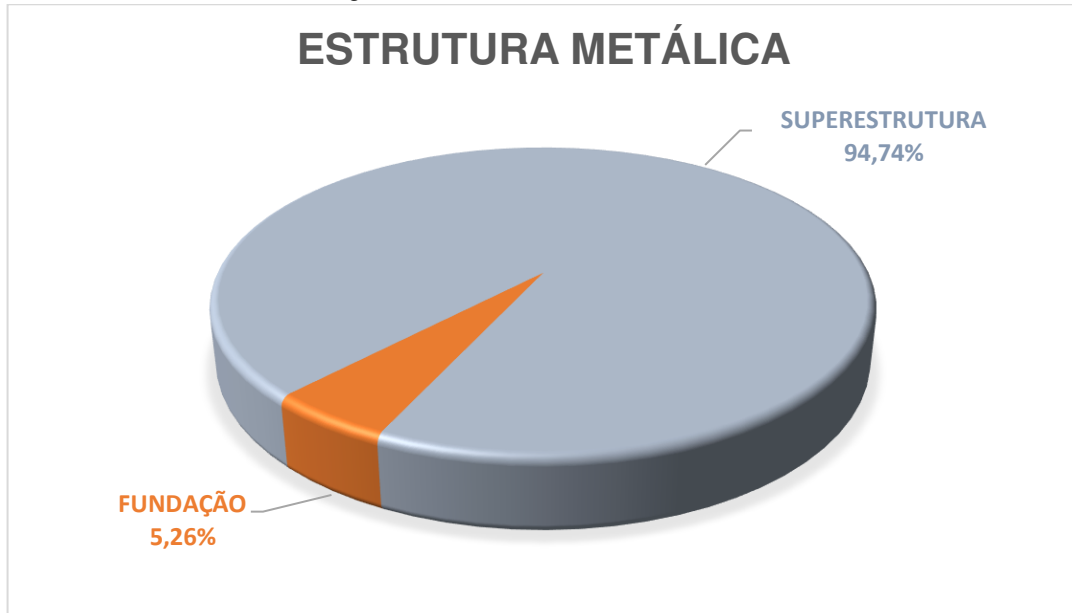
Descrição	Bitola (CA-50)	Comprimento (m)	Peso (kg)	Fôrmas (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )
Sapatas	Ø10	132.8	90	21.25	5.62
	Ø12.5	66.04	70		
Total + 10%			160		

Fonte: Autor (2023)

Dessa maneira, baseando-se pelo SINAPI, o custo total da estrutura metálica (Anexo D) foi de R\$ 400.477,29. Aliás, o custo das fundações foi de R\$ 21.046,61, representando cerca de 5,26% do custo total. Além disso, considerou-se fundação as sapatas e pilares de arranque, enquanto o restante definiu em superestrutura como mostra a Figura 20. Dessa forma, a superestrutura representou cerca de 94,74% do custo total, que equivale a R\$ 379.430,67. Além disso, considerou a ligação soldada

para fins orçamentários, já que não foi feito o dimensionamento da mesma. Por fim, os pilares e vigas metálicas foi considerado uma perda de 5%, enquanto os outros foram de acordo com o indicado pelo SINAPI, e naqueles que não possuíam, definiu-se o valor de 10%.

Figura 20 - Divisão dos custos totais.



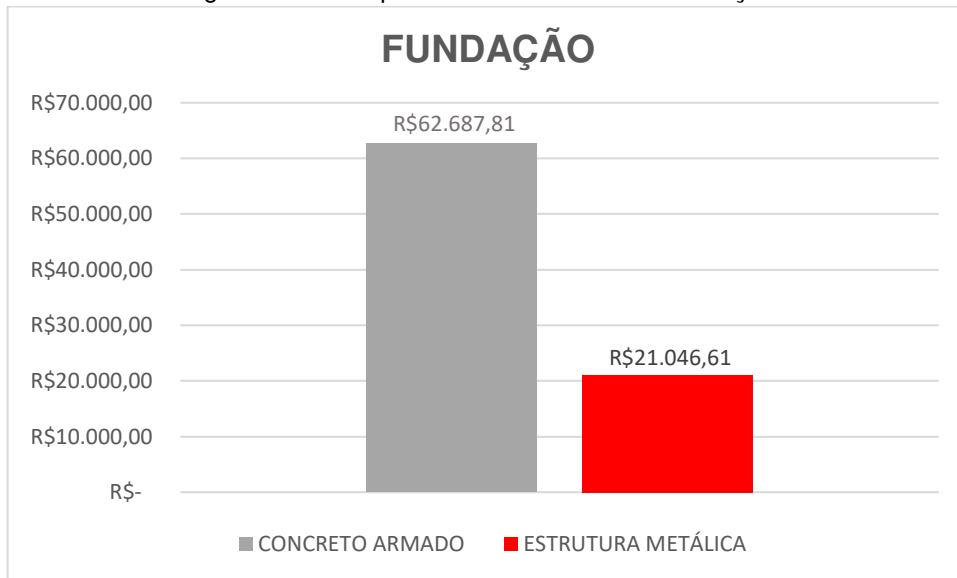
Fonte: Autor (2023)

## 6.2. COMPARATIVO FINAL DE CUSTO ENTRE A ESTRUTURA METÁLICA E CONCRETO CONVENCIONAL

Após o levantamento dos quantitativos, fez-se necessário a comparação entre os dois sistemas estruturais para definir qual o sistema construtivo é mais vantajoso em termos de custos. Dessa forma, é importante salientar que de acordo com os objetivos iniciais, buscou-se os valores mais próximos da realidade.

Inicialmente, é necessário informar sobre o comparativo dos custos das fundações como mostra a Figura 21, tendo em vista que o sistema estrutural em concreto armado apresentou um custo de R\$62.687.81, enquanto que em estrutura metálica representou um valor de R\$21.046,61. Diante disso, esse resultado mostra que a fundação para o sistema estrutural em concreto armado é 197,85% mais onerosa do que o sistema em estrutura metálica.

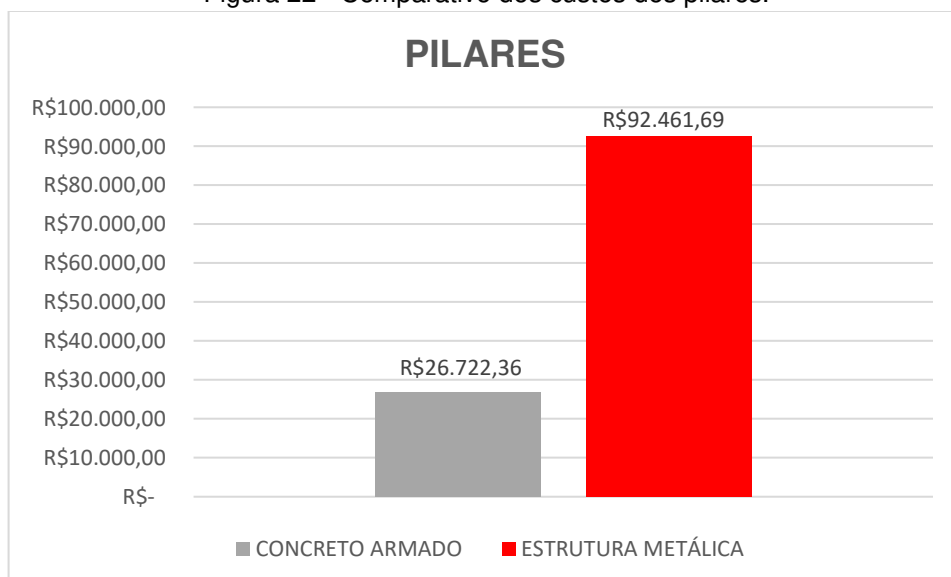
Figura 21 – Comparativo dos custos das fundações.



Fonte: Autor (2023)

Por conseguinte, é importante informar a respeito do comparativo dos custos dos pilares como é apresentado na Figura 22, uma vez que o sistema estrutural em estrutura metálica com relação aos pilares custou R\$92.461,69, à medida que os pilares do sistema estrutural em concreto armado representaram R\$26.722,36. Dessa forma, esse resultado aponta que os pilares do sistema estrutural em estrutura metálica é 246,01% mais custoso do que o sistema estrutural em concreto armado.

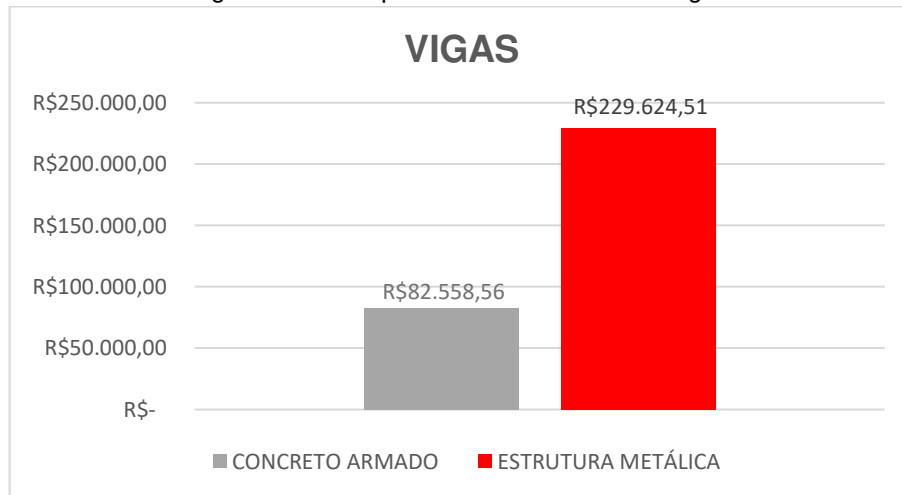
Figura 22 - Comparativo dos custos dos pilares.



Fonte: Autor (2023)

De acordo com a Figura 23, com relação ao comparativo dos custos das vigas, é necessário salientar que o sistema estrutural em estrutura metálica a respeito das vigas custou R\$229.624,51, enquanto as vigas em concreto armado foi R\$82.558,56. Diante disso, esse resultado mostra que as vigas em estrutura metálica são 178,14% mais onerosas do que as vigas em concreto armado.

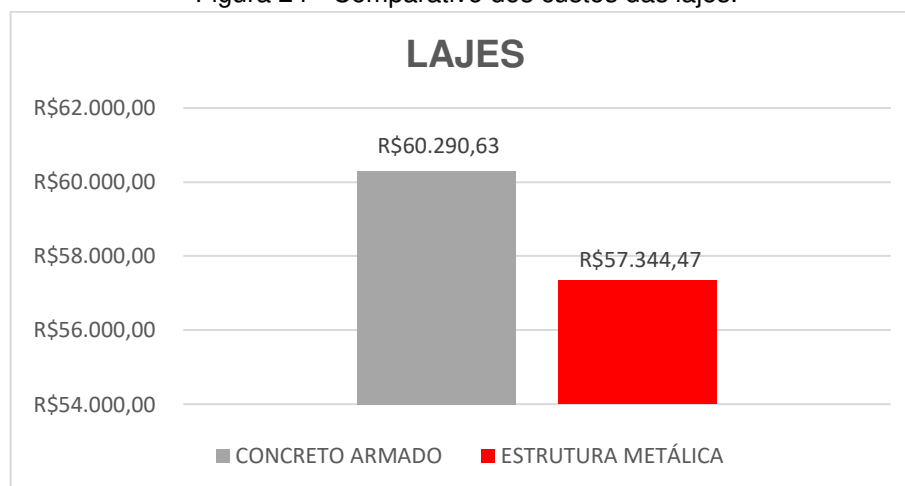
Figura 23 - Comparativo dos custos das vigas.



Fonte: Autor (2023)

Além disso, como mostra a Figura 24, refere-se ao comparativo dos custos das lajes. Nesse sentido, o sistema estrutural em concreto armado com relação as lajes utilizadas custaram R\$60.290,63, enquanto nas lajes utilizadas no sistema estrutural em estrutura metálica foi R\$57.344,47. Ademais, o resultado apresentado aponta que as lajes no sistema estrutural em concreto armado mostram serem 5,14% mais onerosas em comparação as lajes utilizadas na estrutura metálica.

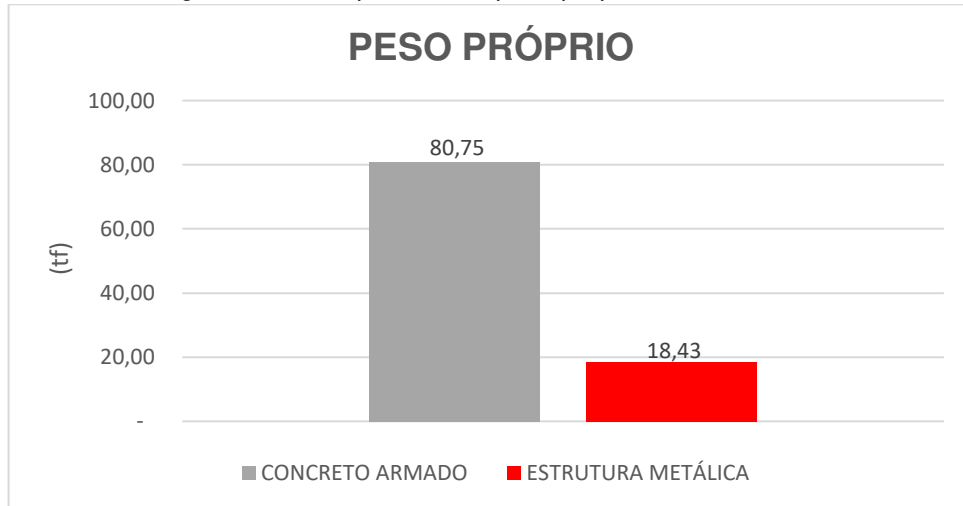
Figura 24 - Comparativo dos custos das lajes.



Fonte: Autor (2023)

Diante disso, é importante salientar com relação ao peso próprio dos sistemas estruturais propostos neste trabalho como mostra a Figura 25. Já que os resultados mostram que a estrutura em concreto armado é 4,38 mais pesada, além disso, com relação ao peso próprio, considerou-se somente as vigas e pilares.

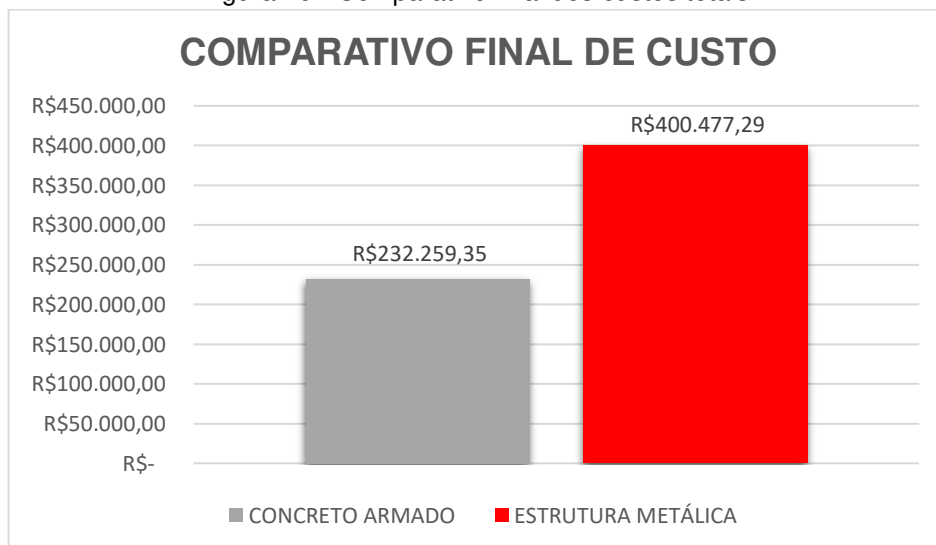
Figura 25 – Comparativo do peso próprio das estruturas.



Fonte: Autor (2023)

Em suma, com base nos resultados apresentados é possível determinar o comparativo final dos sistemas estruturais como é mostrado na Figura 26. Nesse sentido, o custo final da estrutura metálica foi R\$400.477,29, enquanto no sistema estrutural em concreto armado o custo representou R\$232.259,35, ou seja, o resultado final determinou que a estrutura metálica apresentou um valor 72,43% mais oneroso.

Figura 26 - Comparativo final dos custos totais.



Fonte: Autor (2023)

Por fim, o resultado final deste estudo corrobora com Mota (2020), na qual em sua pesquisa verificou-se que o custo da estrutura metálica foi superior em aproximadamente 61% em relação aos custos de concreto armado. Adiante, faz-se necessário informar que de acordo com Lima (2017), a estrutura em concreto armado se mostrou ser cerca de 52,05% mais barata do que a metálica, corroborando os resultados apresentados neste estudo.

Dessa maneira, ressalta-se o custo mais elevado da estrutura metálica, uma vez que essa solução apresenta maior celeridade no processo de construção, entretanto, devem contar com profissionais especializados. Ademais, é importante informar com relação ao tempo de execução, já que segundo CBCA, pode levar a uma redução de até 40% no tempo de execução quando comparado com outros processos convencionais. Além disso, a estrutura metálica é menos agressiva ao meio ambiente, tendo em vista que o aço é 100% reciclável e as estruturas podem ser desmontadas e reaproveitadas com menor geração de rejeitos.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No decorrer deste estudo, buscou-se comparar dois métodos construtivos, um mais tradicional na região, enquanto o outro mais utilizado em soluções como em coberturas, mezaninos entre outros, mas não comumente utilizado em residências de alto padrão como sistema estrutural principal.

O objetivo deste estudo foi destacar as diferenças nos custos de execução entre uma residência de alto padrão construída em concreto armado e outra com estrutura metálica em Macapá-AP. Nesse sentido, determinou-se a solução mais adequada com relação aos custos.

Diante disso, quanto ao software Cypecad, mostrou-se competente nas funções necessárias, entretanto existe limitações ou dificuldades no seu uso. Já que com relação as ligações na estrutura metálica, ocorreu dificuldades em sua utilização, portanto para este trabalho não foi feito dimensionamento da mesma. Por conseguinte, considerou-se as perdas dos materiais, com o orçamento de ambas as soluções estruturais foi possível determinar a aquela com melhor custo benefício.

Com base nos resultados obtidos, percebeu-se que o sistema estrutural em concreto armado se destacou como a opção mais vantajosa em termos de custos, resultando em uma economia de R\$168.217,93 em comparação com a estrutura metálica, representando uma economia de 72,43%. Todavia, é importante salientar que o sistema estrutural em concreto armado é 4,38 mais pesado com relação a estrutura metálica, o que resulta em economia significativa em termos de fundação quando se opta pela estrutura metálica.

Em consequência disso, faz-se necessário informar a respeito da estrutura metálica, uma vez que apesar de ser mais onerosa devido aos insumos e também por contar com mão de obra mais especializada, apresentam um processo de execução mais veloz do que com relação ao tradicional. Além disso, a construção em aço, dispensa escoramento e fôrmas e a ausência de materiais diferentes reduzem a área necessária no canteiro de obras, como também colaboram para manter o canteiro limpo e organizado.

Por fim, para definir qual o sistema construtivo mais econômico, é necessário levar em conta outras variáveis que não foram adotados neste trabalho, como o prazo da obra, determinação das ligações metálicas, entre outros fatores que afetariam no

orçamento final. A partir do exposto acima, sugere-se novas pesquisas que podem ser desenvolvidas a partir deste trabalho:

- Fazer uma comparação com relação ao tempo de execução dos sistemas estruturais propostos;
- Utilizar outras bases de dados para o orçamento, como por exemplo composições próprias.
- Sugerir outros sistemas estruturais, como por exemplo concreto protendido, e avaliar o custo.
- Realizar uma análise comparativa entre uma estrutura em concreto convencional e outra em concreto protendido, e mostrar as diferenças no custo.
- Utilizar outros tipos de lajes, como por exemplo a Steel deck.

## REFERÊNCIAS

ARAÚJO, José Milton de. **Curso de concreto armado** / José Milton de Araújo. – Rio Grande: Dunas, 2010. v.1, 3.ed.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de Estruturas de Concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações**. Rio de Janeiro, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6122: Projeto e Execução de Fundações**. Rio de Janeiro, 2019.

BELLEY, Ildony H. **Edifícios de múltiplos andares de aço** / Ildony H. Bellei, Fernando O. Pinho. 2. Ed. – São Paulo :Pini, 2008.

BRASIL. Tribunal de Contas da União. **Orientações para elaboração de planilhas orçamentárias de obras públicas** / Tribunal de Contas da União, Coordenação-Geral de Controle Externo da Área de Infraestrutura e da Região Sudeste. – Brasília: TCU, 2014. 145 p. : il.

CARVALHO, Roberto Chust. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado: segundo a NBR 6118:2014** / Roberto Chust Carvalho, Jasson Rodrigues de Figueiredo Filho. 4.ed.415 p.

CBCA. **Construção em aço e sustentabilidade**. Disponível em: <https://www.cbca-acobrasil.org.br/site/vantagens-e-sustentabilidade.php>. Acesso em: 7 set. 2023.

FAKURY, Ricardo Hallal. **Dimensionamento básico de elementos estruturais de aço e mistos de aço e concreto**/ Ricardo Hallal Fakury, Ana Lydia Reis de Castro e Silva, Rodrigo Barreto Caldas. – São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2016.b

FREITAS, L. W. Análise estrutural de um edifício em concreto armado e proposta de um novo projeto estrutural – estudo de caso. 2016. 103 f. Trabalho de conclusão de curso (Especialização) – Centro Universitário do Sul de Minas – Unis/MG, Varginha, 2016.

GERDAU. **PERFIS ESTRUTURAIS GERDAU INFORMAÇÕES TÉCNICAS**. Disponível em: <https://api.aecweb.com.br/cls/catalogos/28792/22314/catalogo-gerdau-perfis-estruturais.pdf>. Acesso em: 10 set. 2023.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA. **SINAPI – Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil**. Rio de Janeiro: IBGE, 2023. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/precos-e-custos/9270-sistema-nacional-de-pesquisa-de-custos-e-indices-da-construcao-civil.html?=&t=o-que-e>. Acesso em: 8 set. 2023.

KIMURA, Alio. **Informática aplicada em estruturas de concreto armado : cálculos de edifícios com o uso de sistemas computacionais** / Alio Kimura. - São Paulo:Pini, 2007.

LIMA, João Lucas Rufino de. **ESTUDO COMPARATIVO ENTRE ESTRUTURA METÁLICA E DE CONCRETO ARMADO EM UMA EDIFICAÇÃO: ESTUDO DE CASO**/ João Lucas Rufino de Lima. – Brasília, 2017- 73 p.

LIMMER, Carl V. **Planejamento, Orçamentação e Controle de Projetos e Obras**. Rio de Janeiro. ITC. 1997.

MATOS, R. C. B. **Sistemas de contraventamentos em Edifícios de Estrutura Metálica**. Trabalho de Conclusão de Curso, Centro Universitário de Brasília, Brasília, 2014, p. 14.

MATTOS, Aldo Dórea. **Como preparar orçamentos de obras: dicas para orçamentistas, estudos de caso, exemplos** / Aldo Dórea Mattos. –São Paulo: Editora Pini, 2006.

MORTARI, N.N.; SILVA, T.E.A. **Análise comparativa de arranjos de contraventamento em estrutura de aço**. TCC, Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiás. 2021, p. 10.

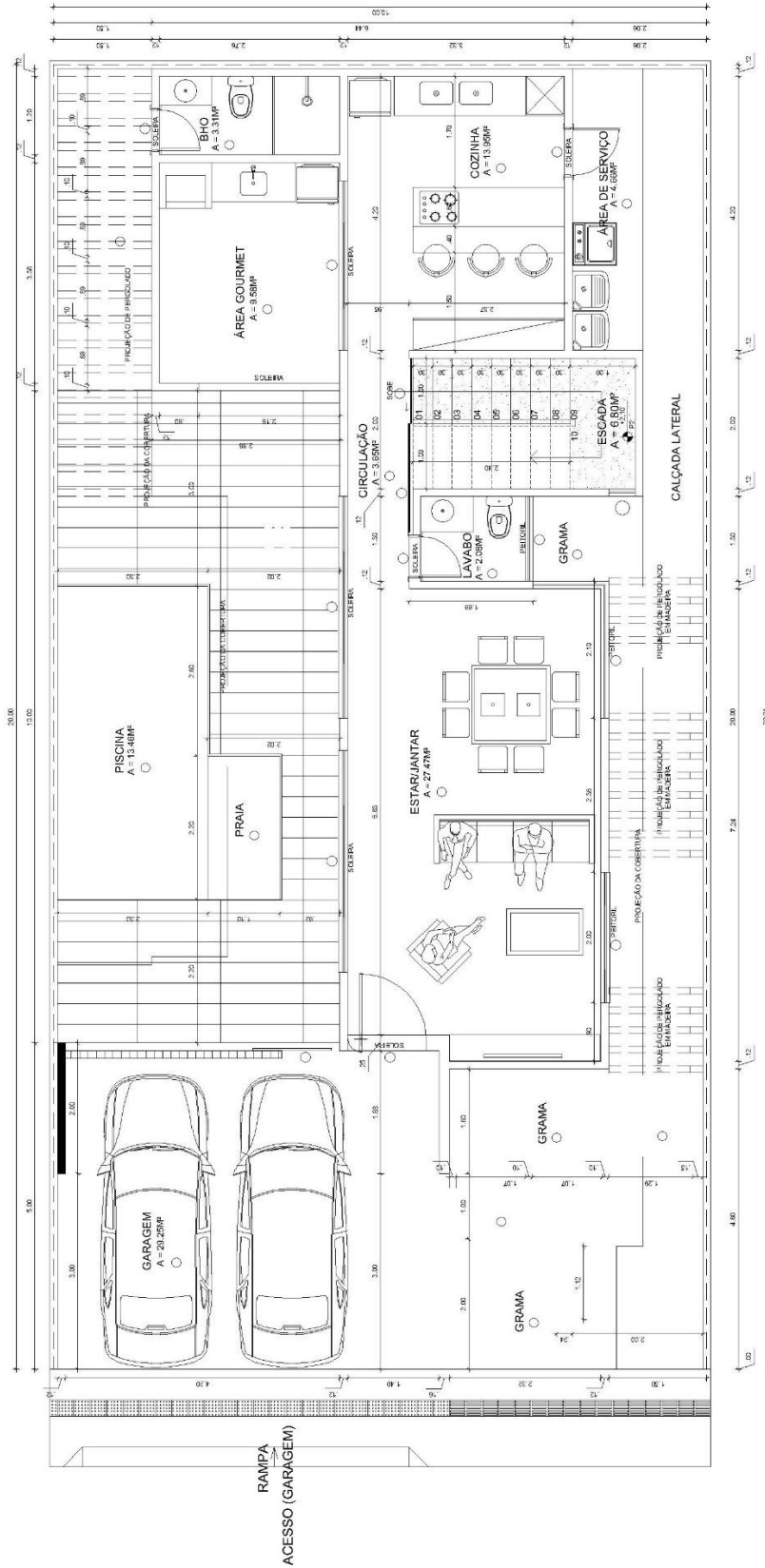
MOTA, André Guilherme. **ANÁLISE COMPARATIVA DE CUSTO DE MATERIAIS ENTRE UMA ESTRUTURA EM CONCRETO ARMADO E METÁLICA ESTUDO DE CASO NA CIDADE DE PALMAS/TO**. / André Guilherme Mota. – Palmas, TO, 2020. 76 f.

SANTOS, Vagner Henrique dos. **Comparação do método discreto da NBR 6123 e do método do vento sintético para edificações em concreto armado de múltiplos pavimentos** / Vagner Henrique dos Santos.-- 2018. 126 f.: il.; 30 cm.

TOSO, Luiz Henrique. **AS VARIAÇÕES DOS CUSTOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL COM A PANDEMIA: ESTUDO DE CASO EM OBRA RESIDENCIAL**, 2021. 87 f. TCC – Universidade Tecnológica Federal do Paraná – PB.

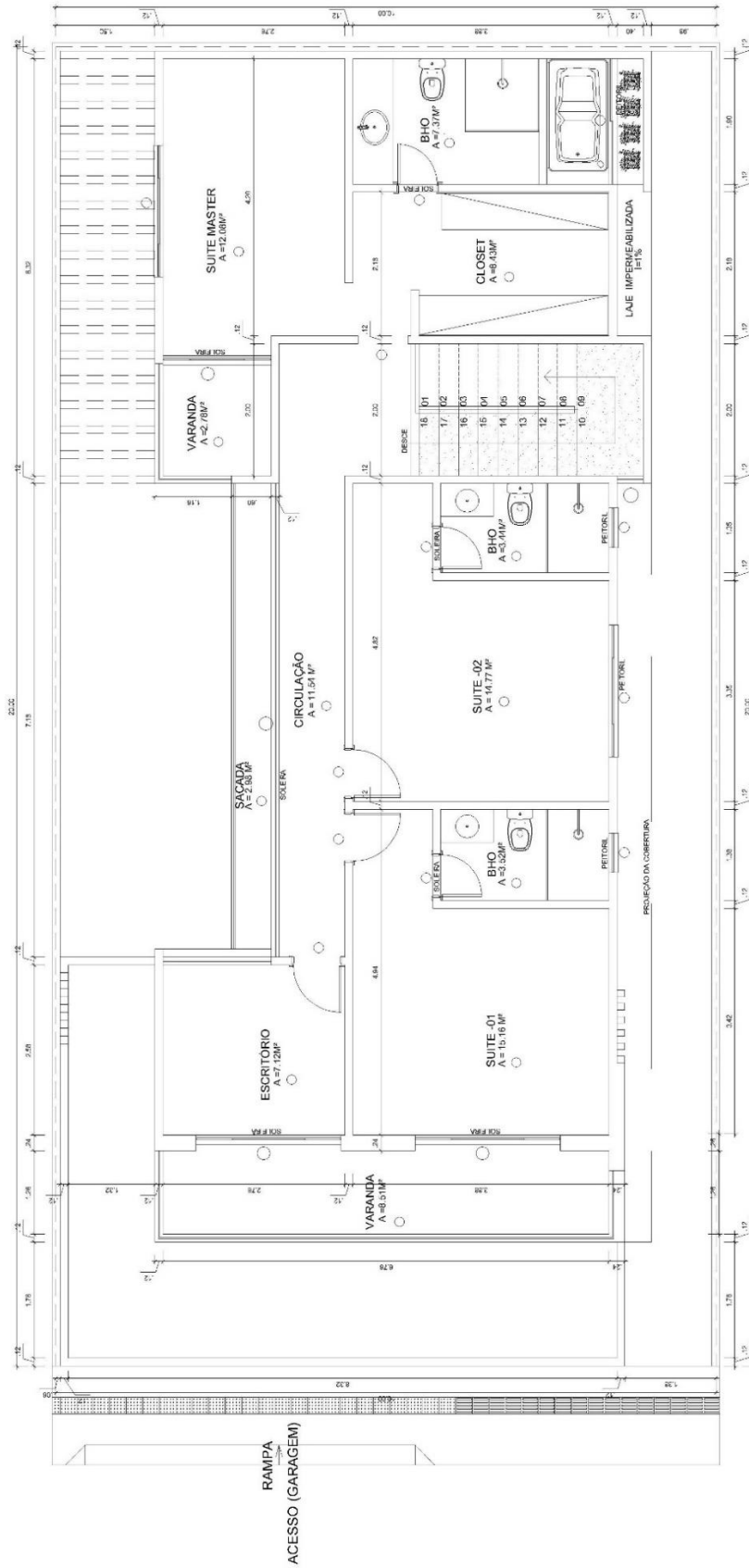
**ANEXO A – ARQUITETURA DA CASA DE ALTO-PADRÃO**

Figura 27 – Arquitetônico térreo



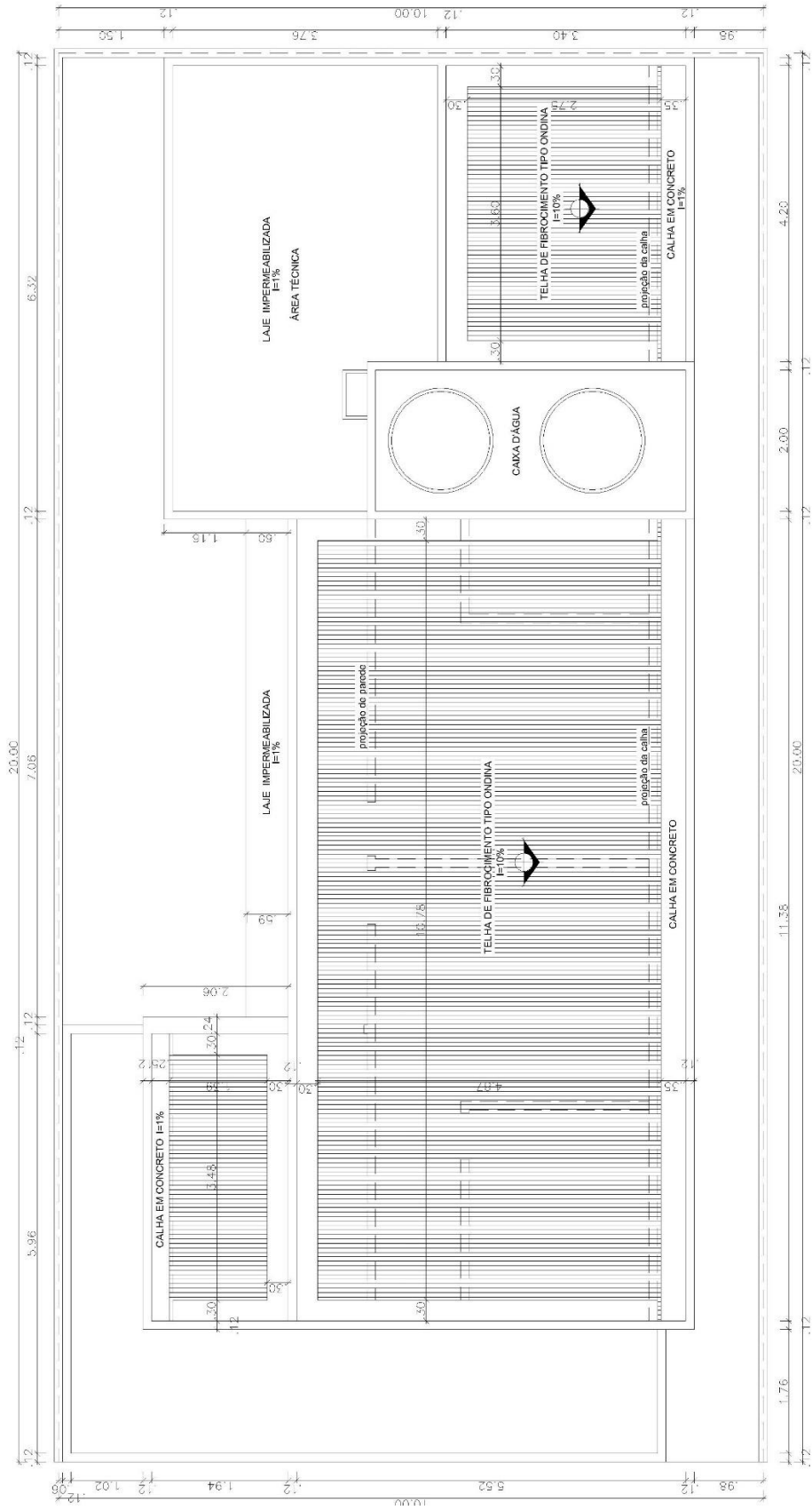
Fonte: Empresa de arquitetura

Figura 28 – Arquitetônico superior



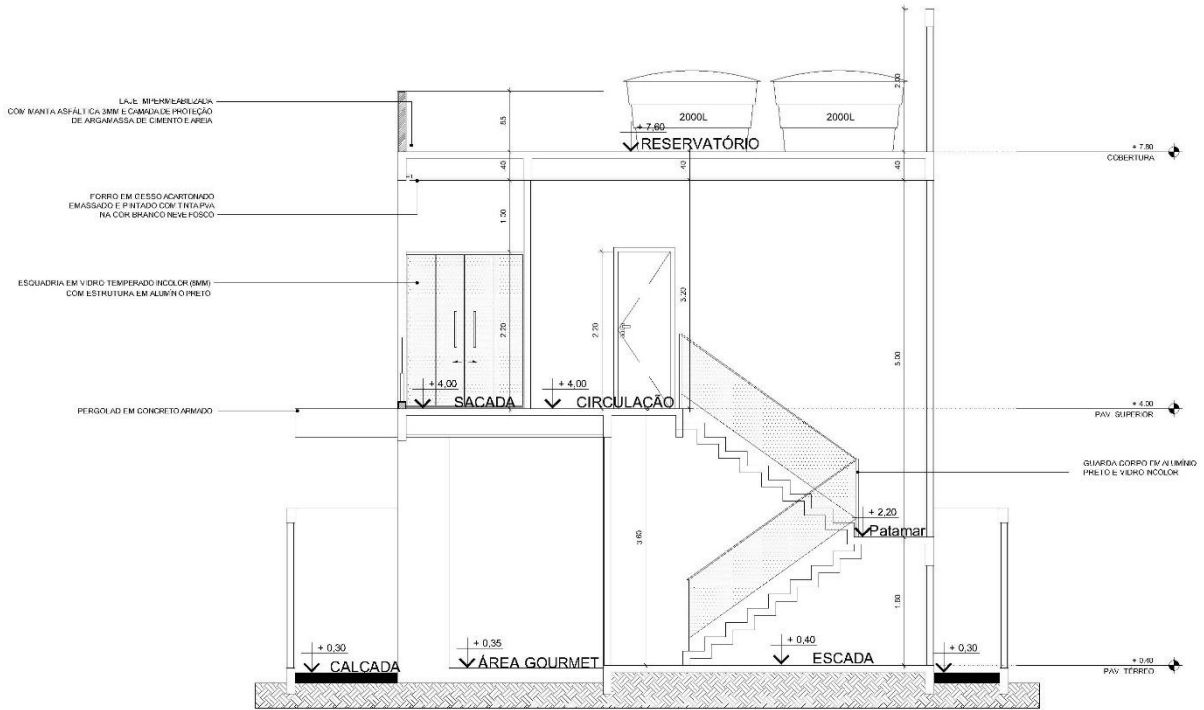
Fonte: Empresa de arquitetura

Figura 29 - Arquitetônico cobertura



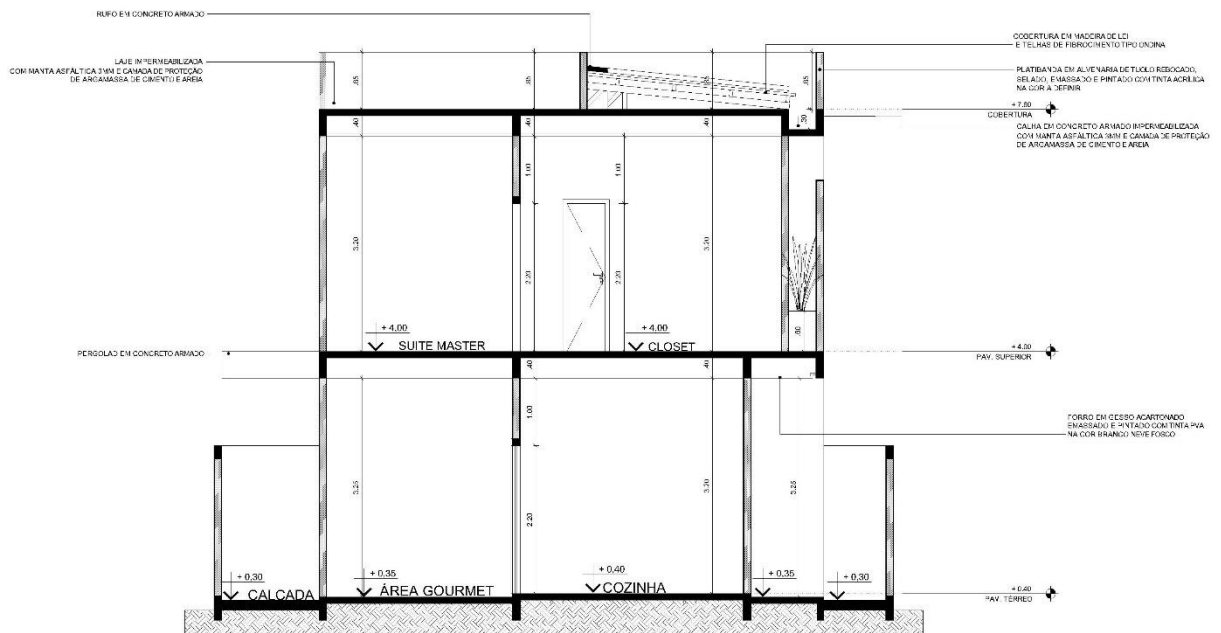
Fonte: Empresa de arquitetura

Figura 30 – Corte 01



Fonte: Empresa de arquitetura

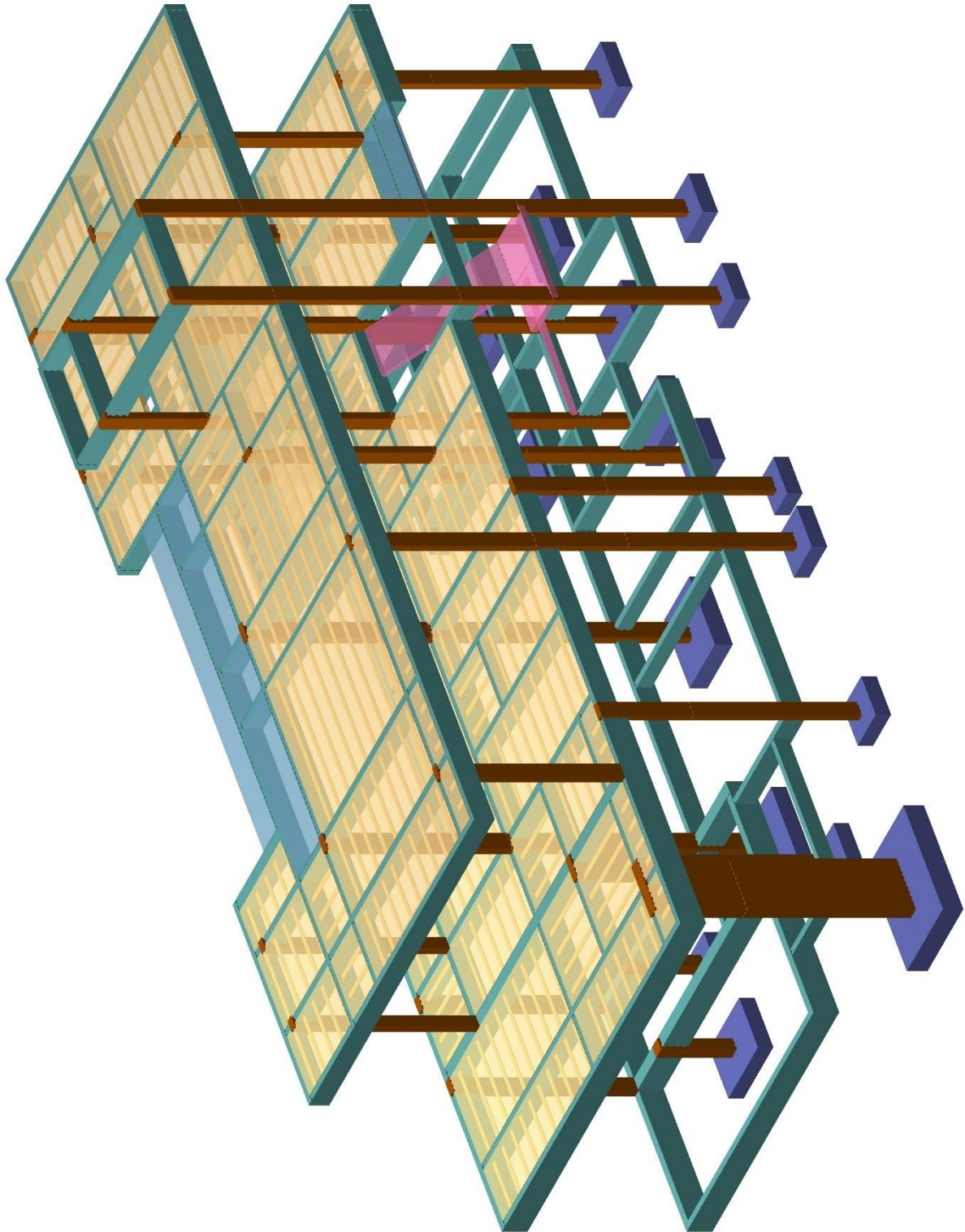
Figura 31 – Corte 02



Fonte: Empresa de arquitetura

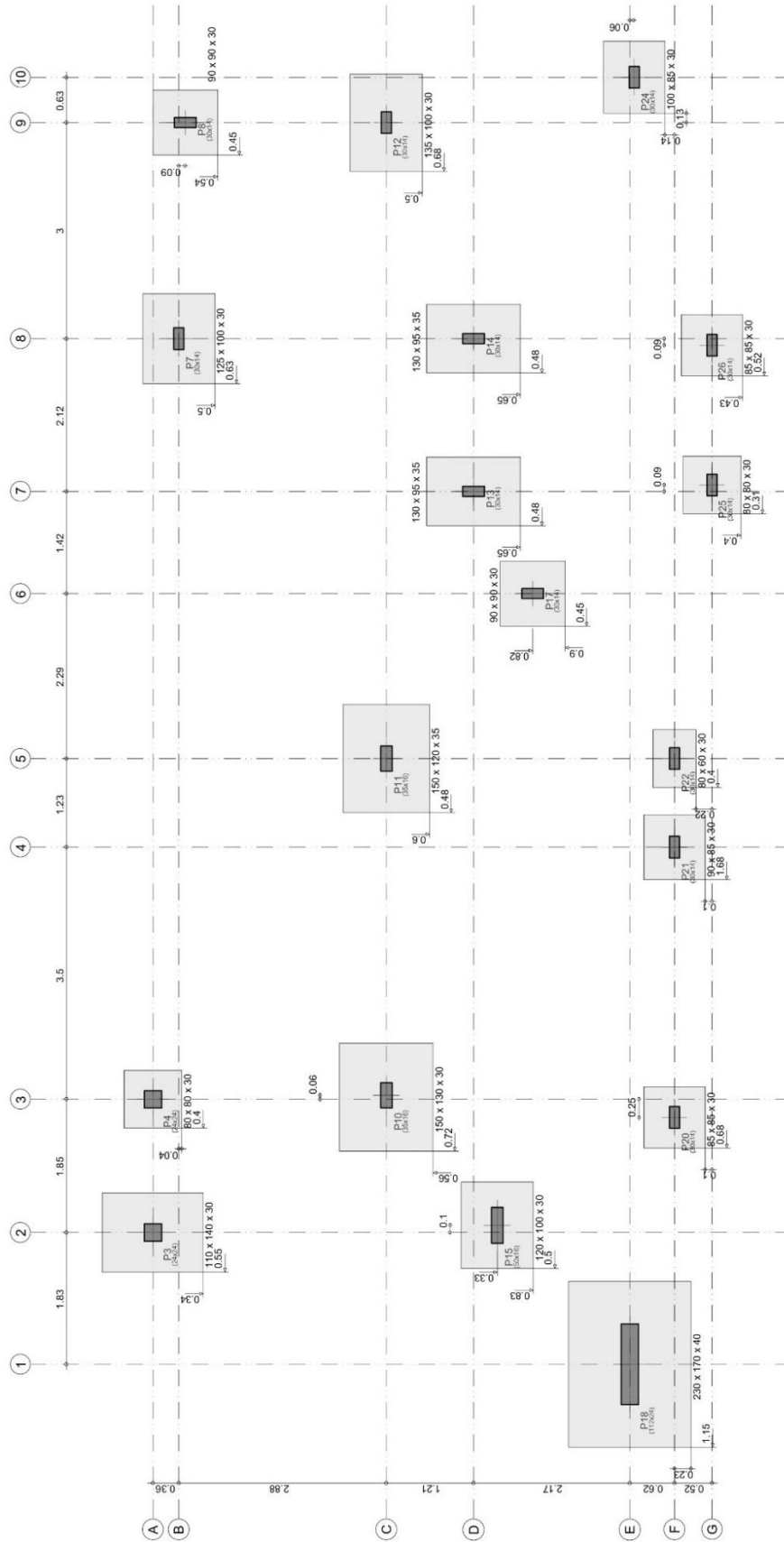
**ANEXO B – PROJETO EM CONCRETO ARMADO CONVENCIONAL**

Figura 32 - Vista 3D (concreto armado)



Fonte: Autor (2023)

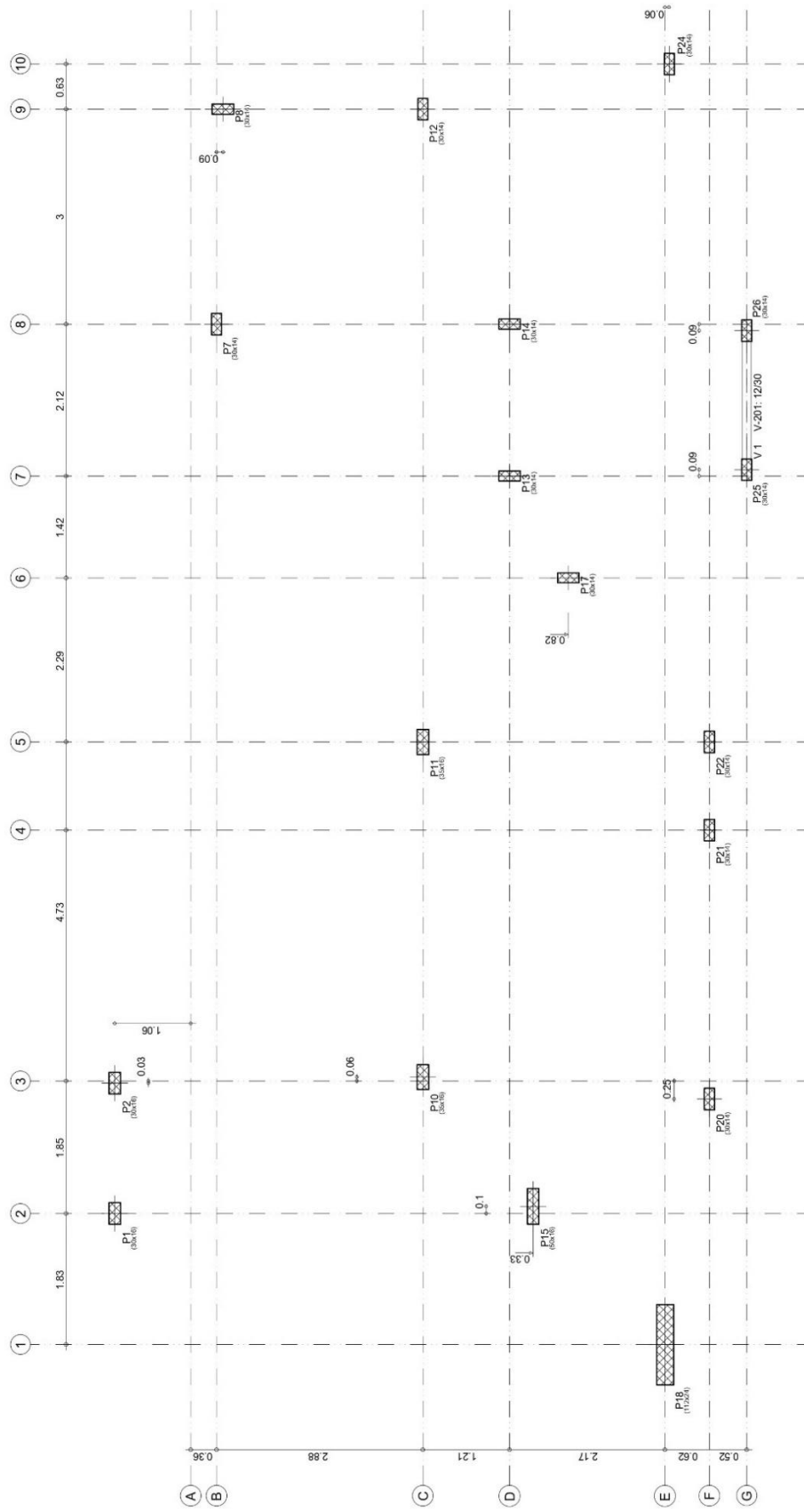
Figura 33 - Locação (concreto armado)



Fonte: Autor (2023)

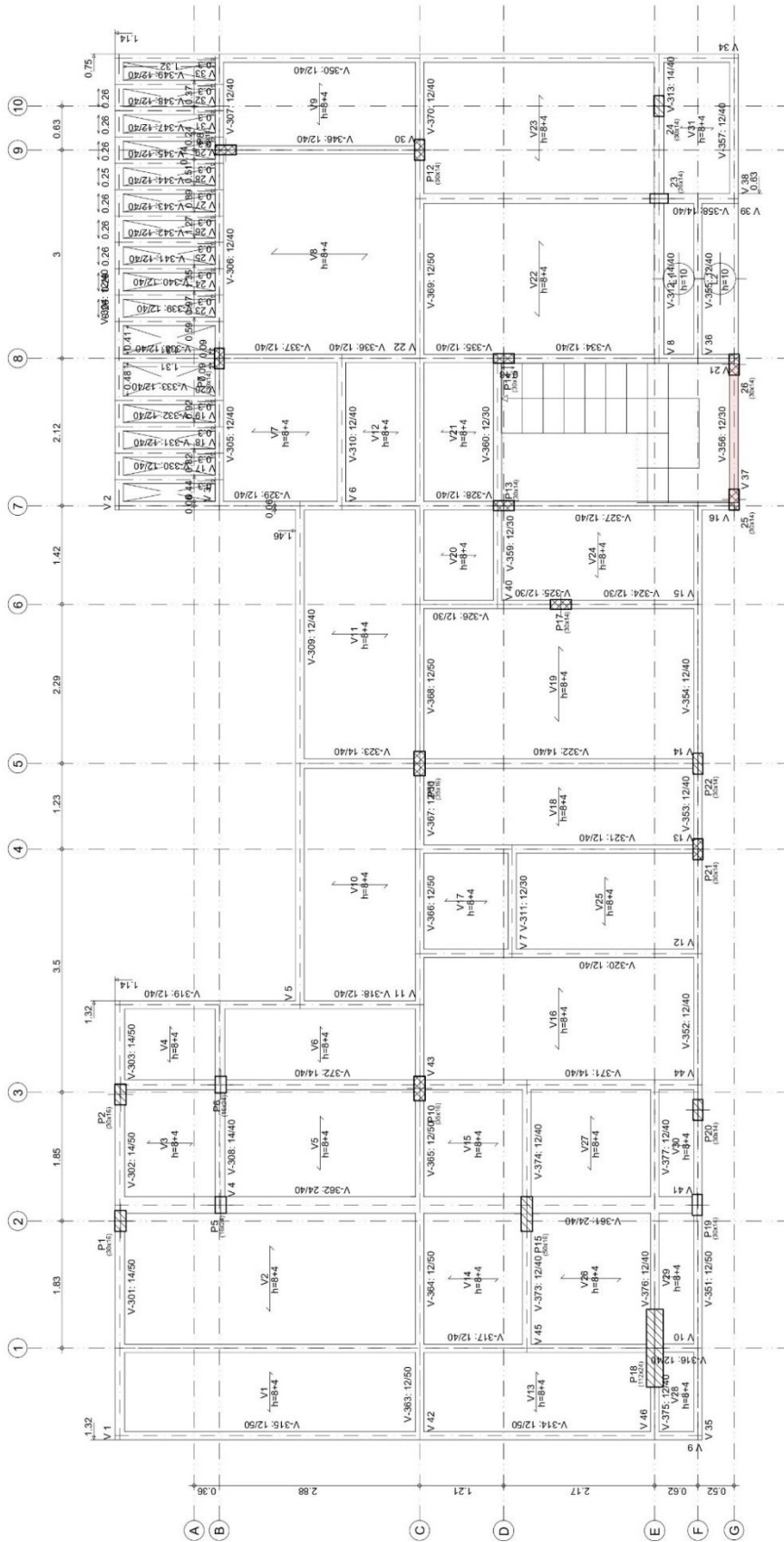


Figura 35 – Escada (concreto armado)



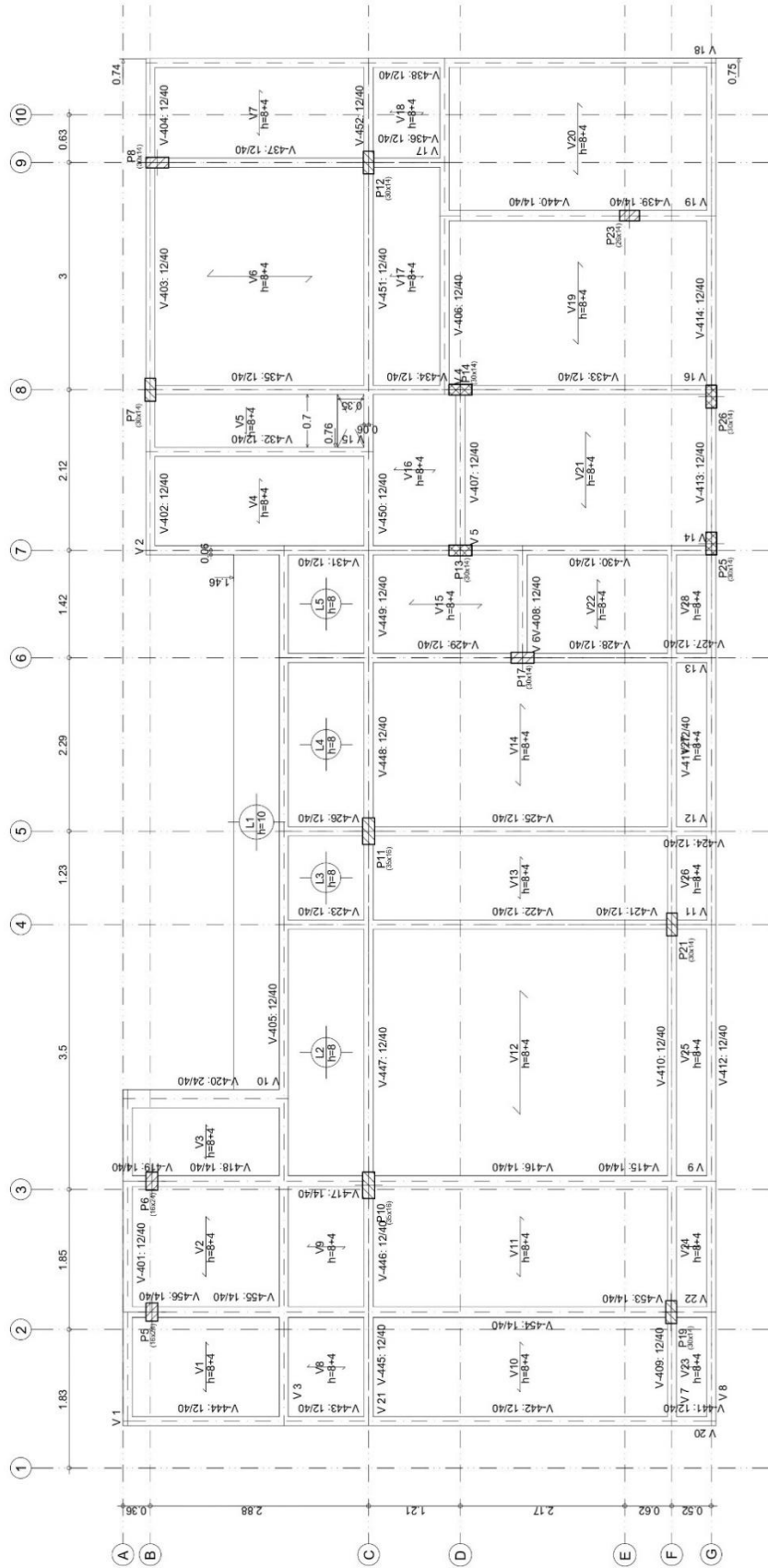
Fonte: Autor (2023)

Figura 36 - Superior (concreto armado)



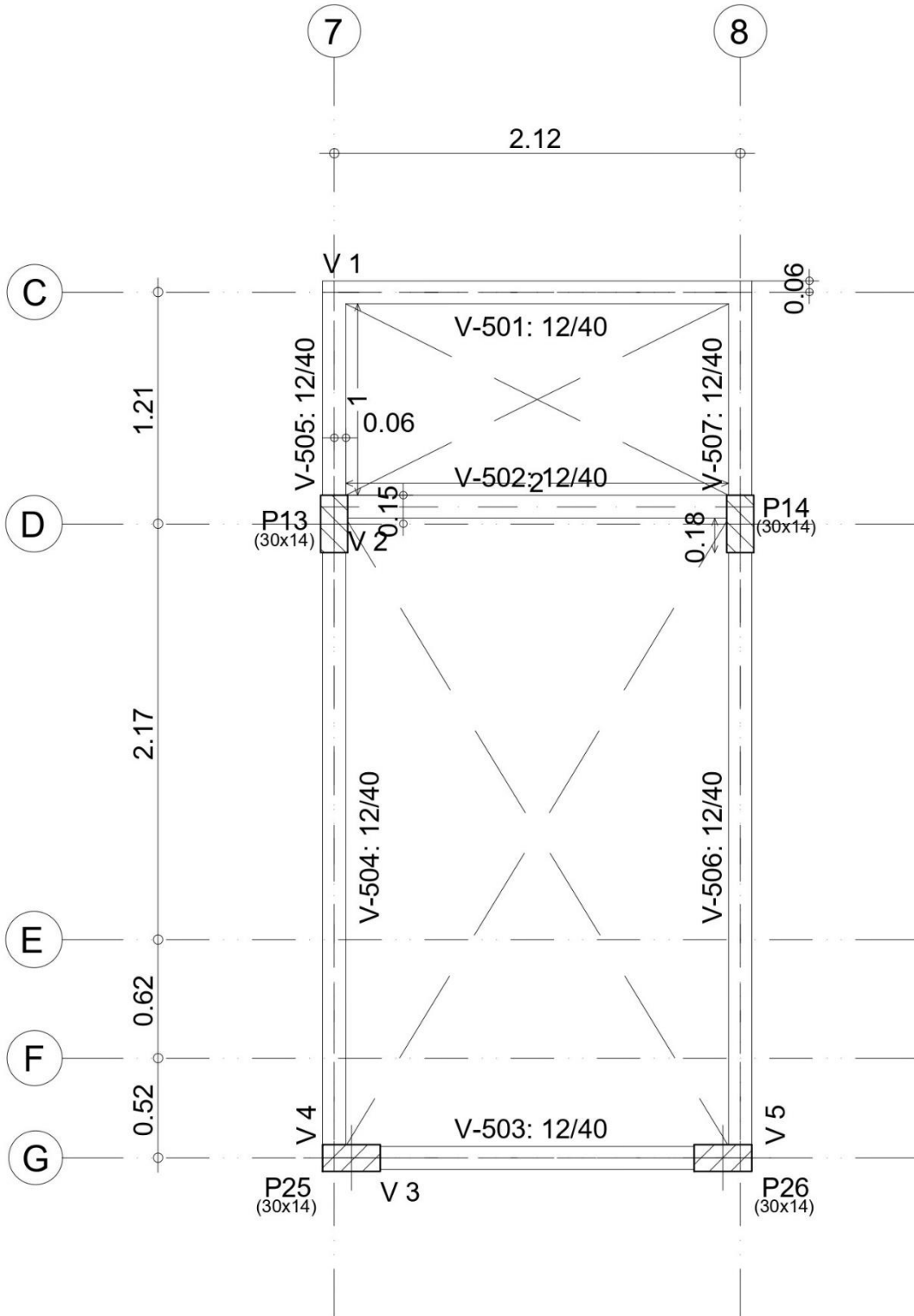
Fonte: Autor (2023)

Figura 37 – Cobertura (concreto armado)



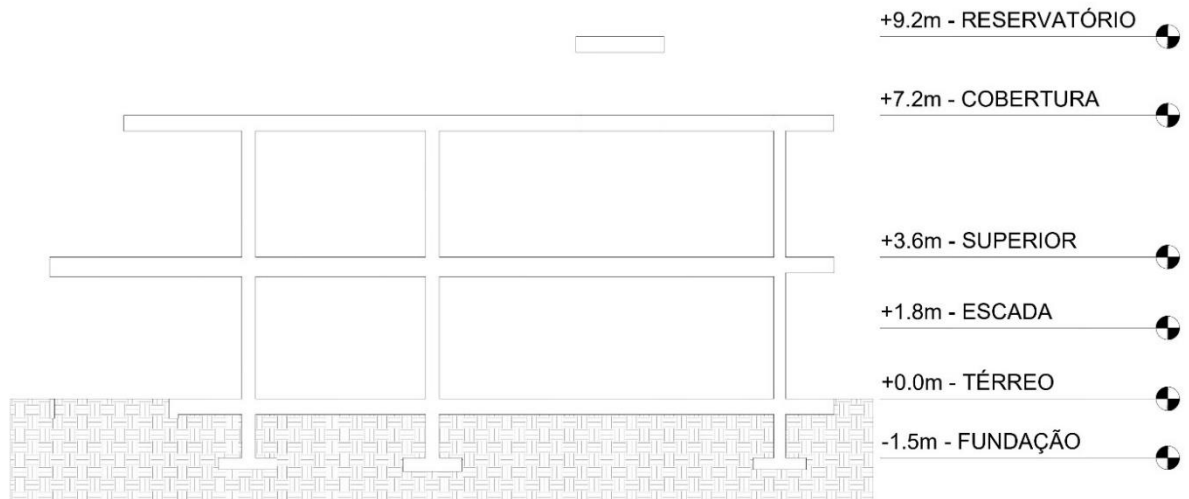
Fonte: Autor (2023)

Figura 38 – Reservatório (concreto armado)



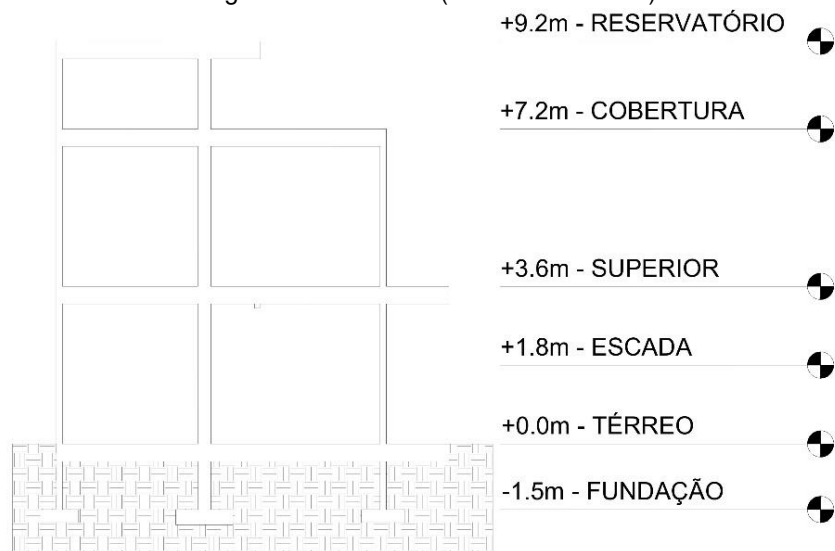
Fonte: Autor (2023)

Figura 39 – Corte C (concreto armado)



Fonte: Autor (2023)

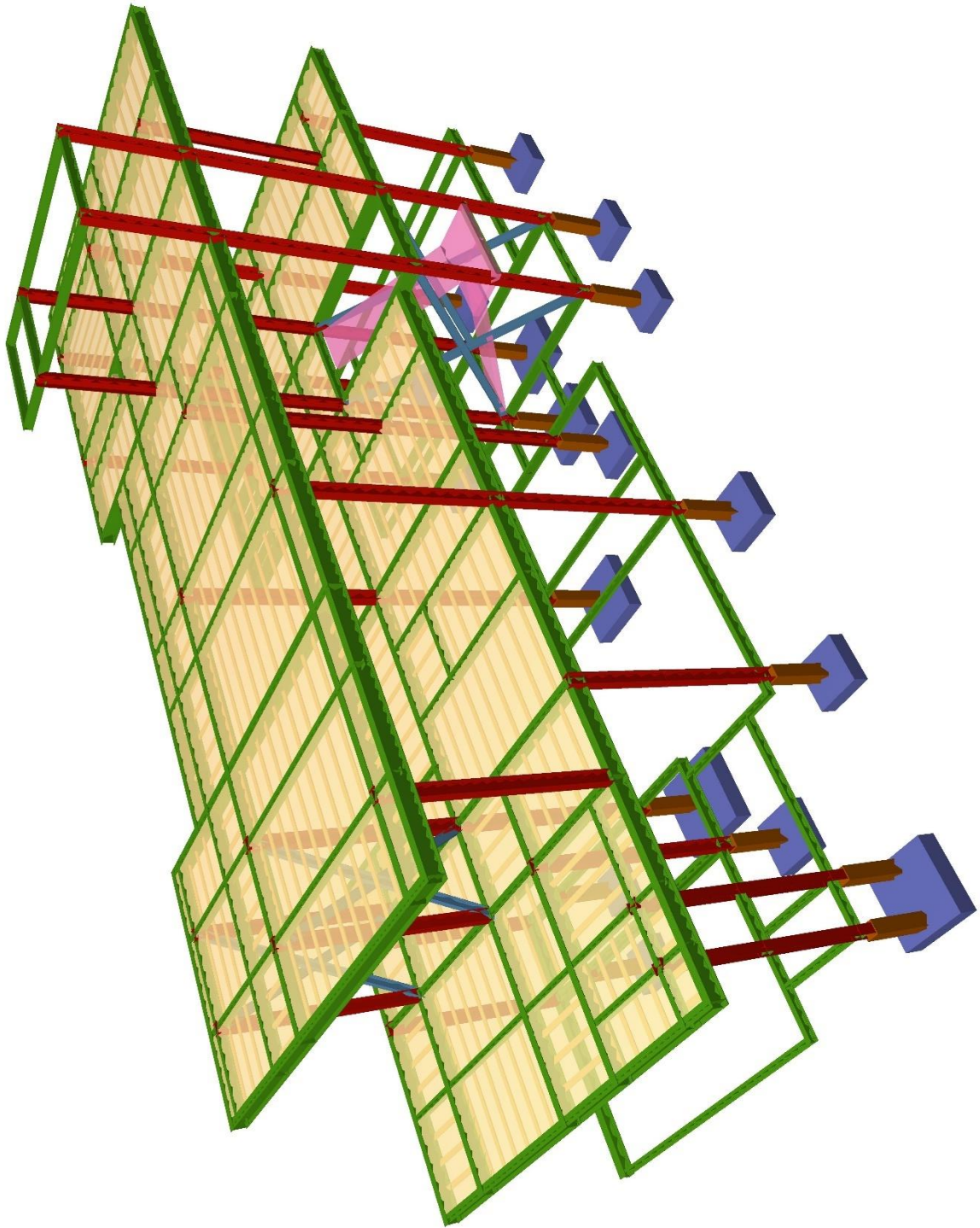
Figura 40 – Corte 8 (concreto armado)



Fonte: Autor (2023)

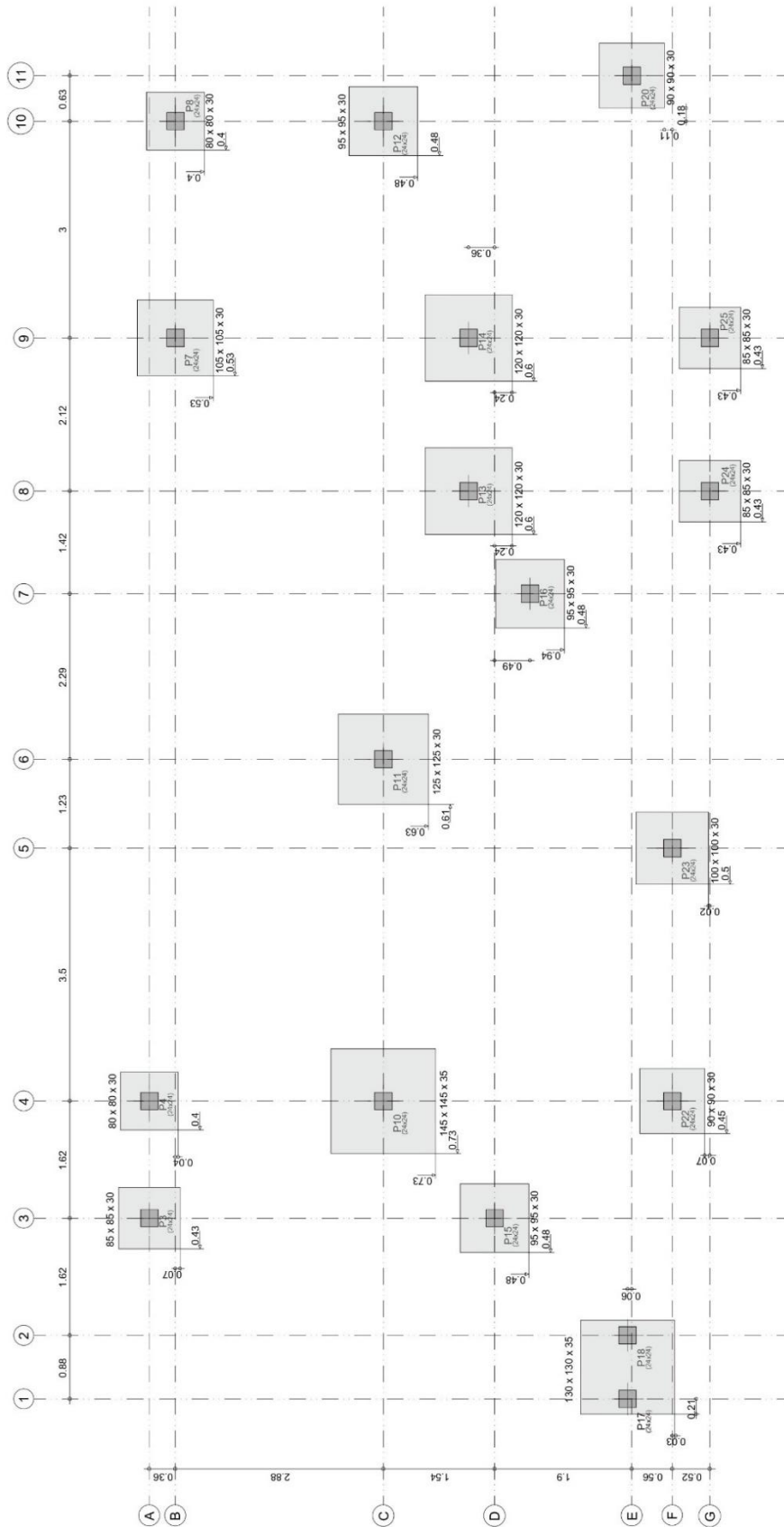
**ANEXO C – PROJETO EM ESTRUTURA METÁLICA**

Figura 41 - Vista 3D (estrutura metálica)



Fonte: Autor (2023)

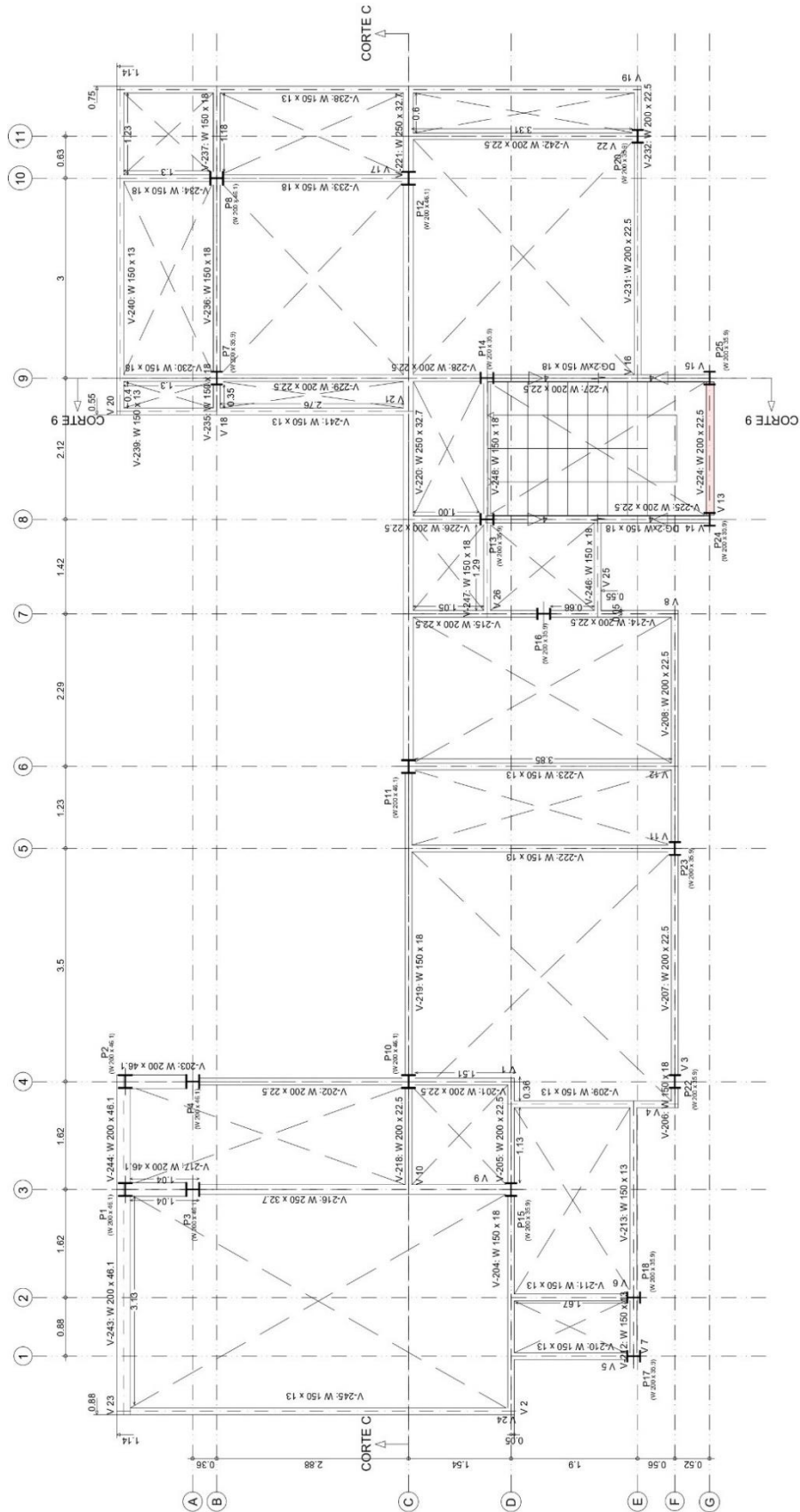
Figura 42– Locação (estrutura metálica)



Fonte: Autor (2023)

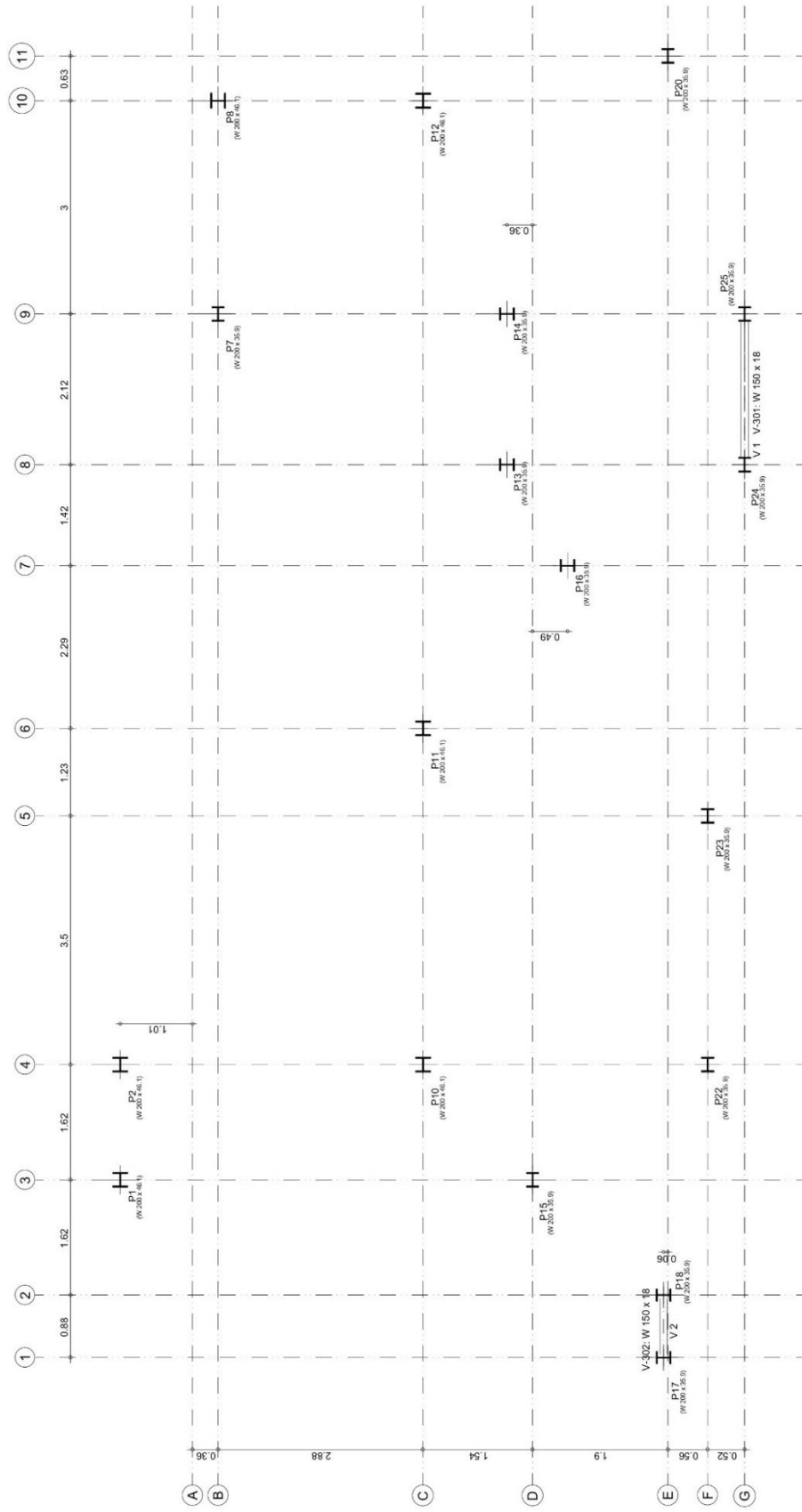


Figura 44 – Térreo (estrutura metálica)



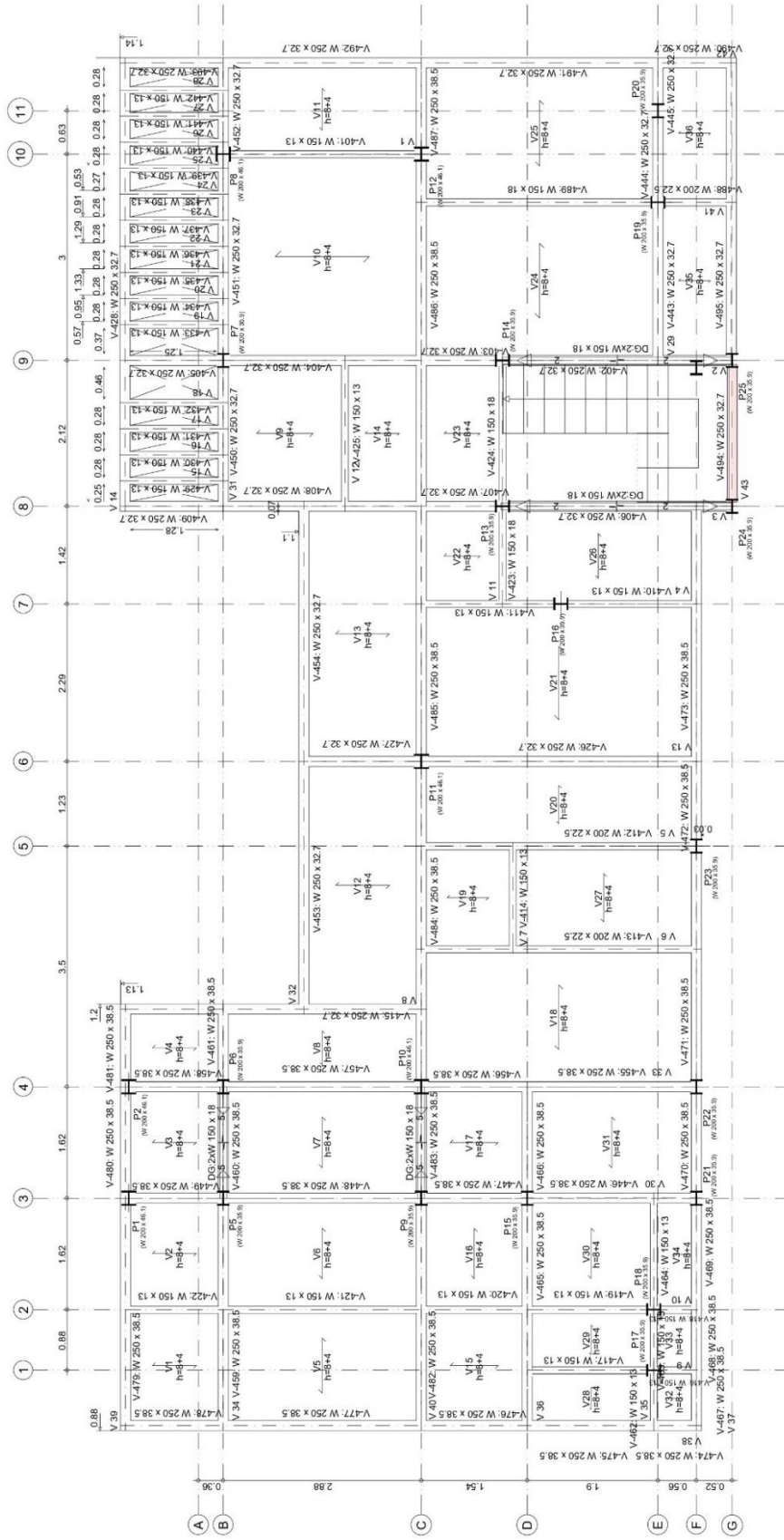
Fonte: Autor (2023)

Figura 45– Escada (estrutura metálica)



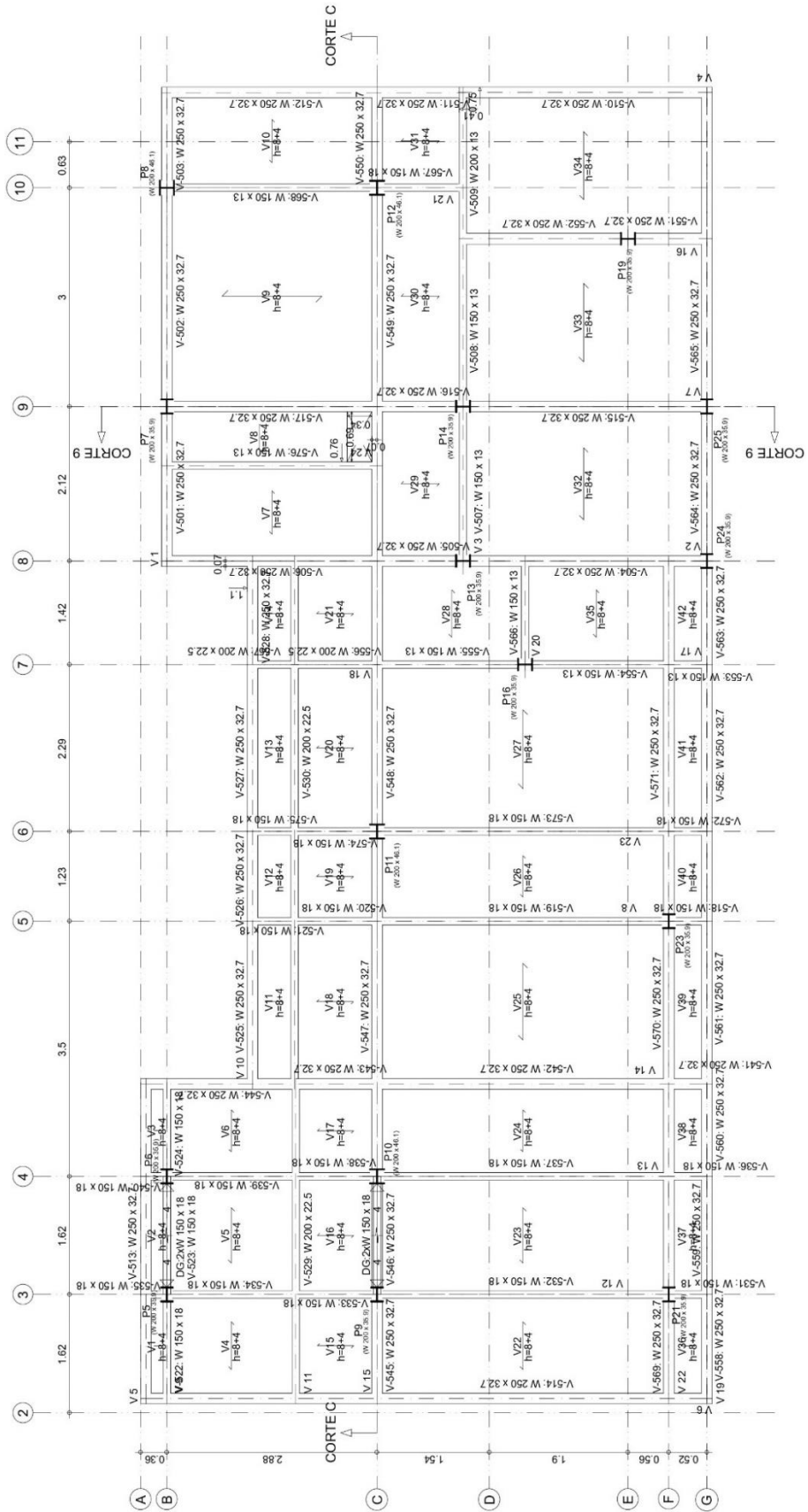
Fonte: Autor (2023)

Figura 46 - Superior (estrutura metálica)



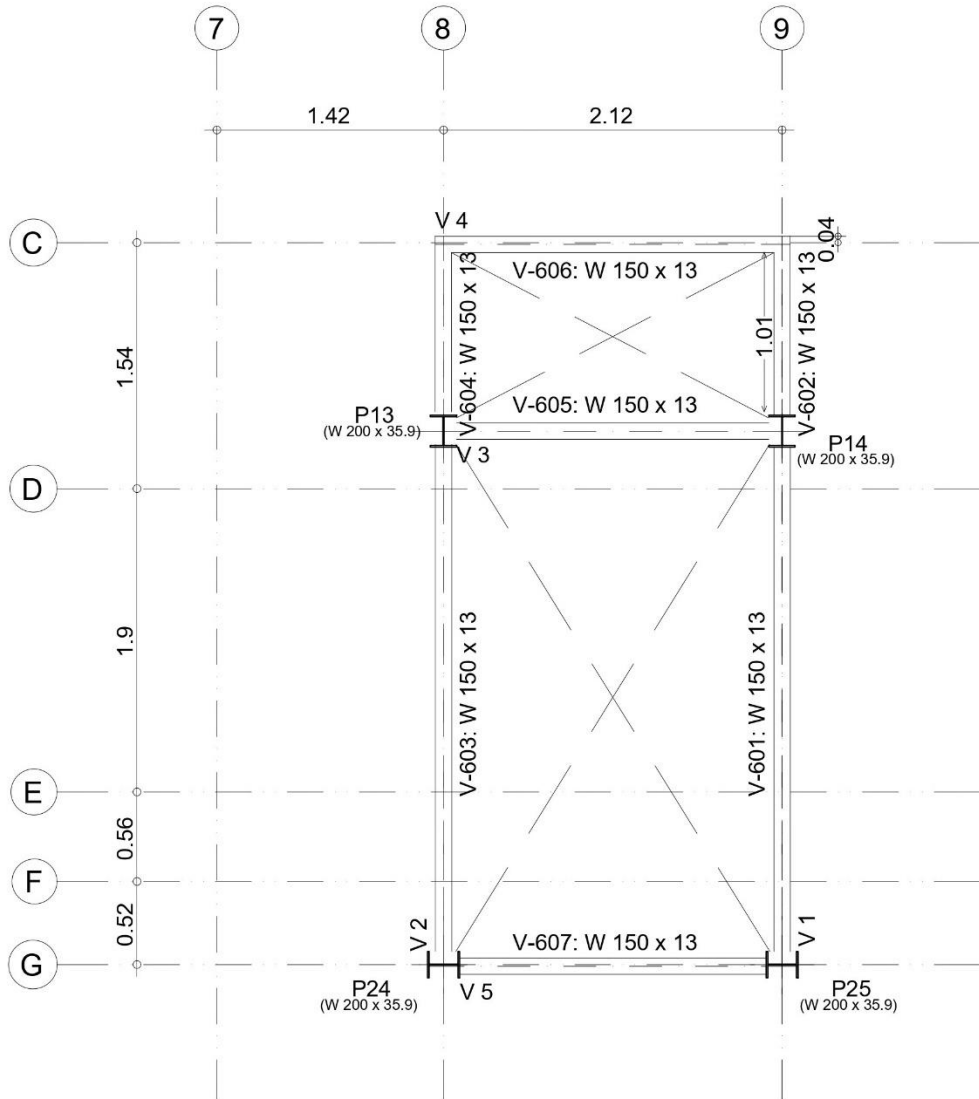
Fonte: Autor (2023)

Figura 47 – Cobertura (estrutura metálica)



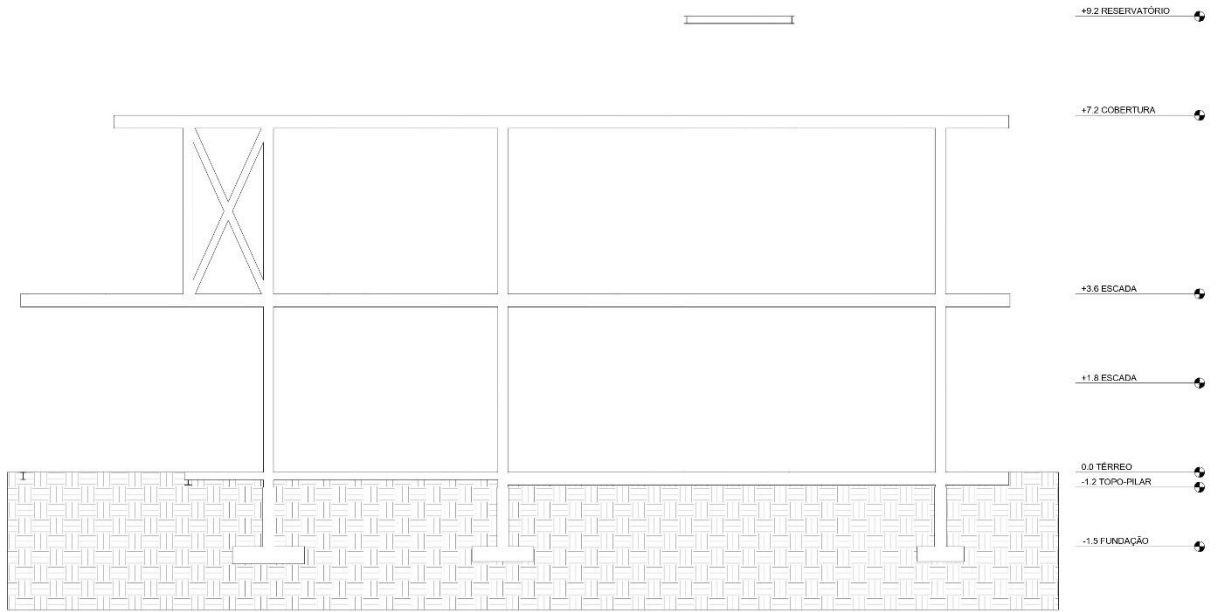
Fonte: Autor (2023)

Figura 48 – Reservatório (estrutura metálica)



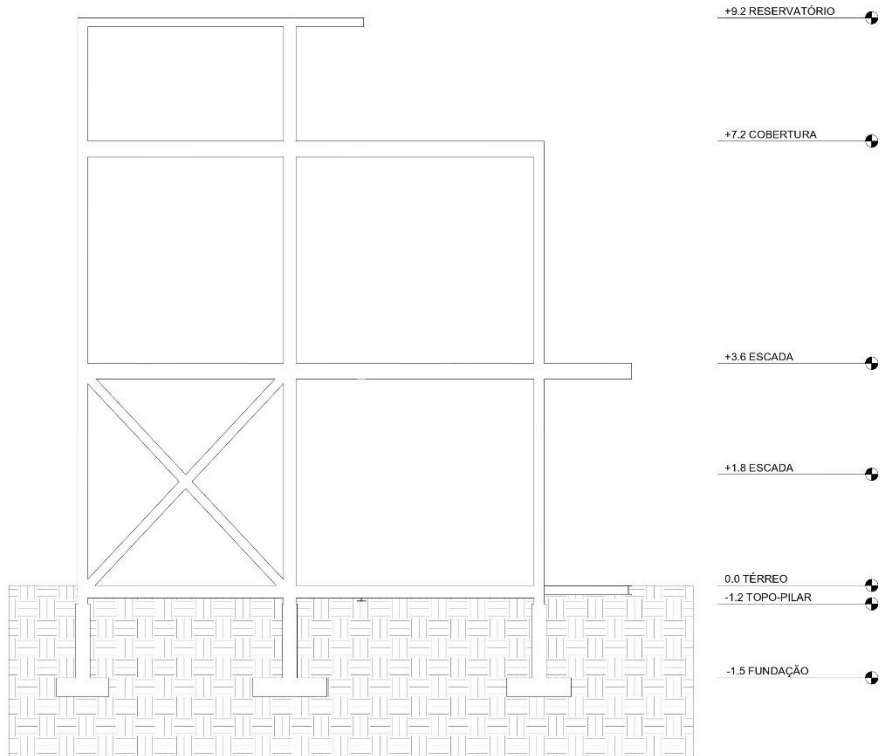
Fonte: Autor (2023)

Figura 49 – Corte C (estrutura metálica)



Fonte: Autor (2023)

Figura 50– Corte 9 (estrutura metálica)



Fonte: Autor (2023)

**ANEXO D – PLANILHAS ORÇAMENTÁRIAS**

Tabela 13 - Orçamento das estruturas em concreto armado

ITEM	REFERÊNCIA	CÓDIGO	DISCRIMINAÇÃO	UND.	QUANT.	VALOR UNITÁRIO	VALOR TOTAL	Peso (%)
<b>1</b>			<b>FUNDAÇÕES-SAPATAS</b>				<b>R\$17.015,82</b>	<b>7,33%</b>
1.1	SINAPI	96523	ESCAVAÇÃO MANUAL PARA BLOCO DE COROAMENTO OU SAPATA, COM PREVISÃO DE FÔRMA. AF_06/2017	M3	32,86	R\$71,43	R\$2.347,19	1,01%
1.2	SINAPI	96619	LASTRO DE CONCRETO MAGRO, APLICADO EM BLOCOS DE COROAMENTO OU SAPATAS, ESPESSURA DE 5 CM. AF_08/2017	M2	21,91	R\$36,86	R\$807,60	0,35%
1.3	SINAPI	96532	FABRICAÇÃO, MONTAGEM E DESMONTAGEM DE FÔRMA PARA SAPATA, EM MADEIRA SERRADA, E=25 MM, 2 UTILIZAÇÕES. AF_06/2017	M2	27,08	R\$163,14	R\$4.418,16	1,90%
1.4	SINAPI	96546	ARMAÇÃO DE BLOCO, VIGA BALDRAME OU SAPATA UTILIZANDO AÇO CA50 DE 10 MM - MONTAGEM. AF_06/2017	KG	67,00	R\$15,02	R\$1.006,34	0,43%
1.5	SINAPI	96547	ARMAÇÃO DE BLOCO, VIGA BALDRAME OU SAPATA UTILIZANDO AÇO CA50 DE 12,5 MM - MONTAGEM. AF_06/2017	KG	155,00	R\$12,75	R\$1.976,25	0,85%
1.6	SINAPI	96556	CONCRETAGEM DE SAPATAS, FCK 30 MPA, COM USO DE BOMBA LANÇAMENTO, ADENSAMENTO E ACABAMENTO. AF_11/2016	M3	7,18	R\$899,76	R\$6.460,28	2,78%
<b>2</b>			<b>VIGA BALDRAME</b>				<b>R\$27.718,46</b>	<b>11,93%</b>
2.1	SINAPI	96527	ESCAVAÇÃO MANUAL DE VALA PARA VIGA BALDRAME (INCLUINDO ESCAVAÇÃO PARA COLOCAÇÃO DE FÔRMAS). AF_06/2017	M3	5,46	R\$93,66	R\$511,71	0,22%
2.2	SINAPI	94962	CONCRETO MAGRO PARA LASTRO, TRAÇO 1:4,5:4,5 (CIMENTO/AREIA MÉDIA/ BRITA 1) - PREPARO MECÂNICO COM BETONEIRA 400 L. AF_05/2021	M3	0,78	R\$515,38	R\$402,25	0,17%
2.3	SINAPI	96533	FABRICAÇÃO, MONTAGEM E DESMONTAGEM DE FÔRMA PARA VIGA BALDRAME, EM MADEIRA SERRADA, E=25 MM, 2 UTILIZAÇÕES. AF_06/2017	M2	85,71	R\$83,07	R\$7.120,10	3,07%
2.4	SINAPI	96544	ARMAÇÃO DE BLOCO, VIGA BALDRAME OU SAPATA UTILIZANDO AÇO CA50 DE 6,3 MM - MONTAGEM. AF_06/2017	KG	238,00	R\$17,45	R\$4.153,10	1,79%
2.5	SINAPI	96545	ARMAÇÃO DE BLOCO, VIGA BALDRAME OU SAPATA UTILIZANDO AÇO CA50 DE 8 MM - MONTAGEM. AF_06/2017	KG	53,00	R\$16,62	R\$880,86	0,38%
2.6	SINAPI	96546	ARMAÇÃO DE BLOCO, VIGA BALDRAME OU SAPATA UTILIZANDO AÇO CA50 DE 10 MM - MONTAGEM. AF_06/2017	KG	84,00	R\$15,02	R\$1.261,68	0,54%
2.7	SINAPI	96547	ARMAÇÃO DE BLOCO, VIGA BALDRAME OU SAPATA UTILIZANDO AÇO CA50 DE 12,5 MM - MONTAGEM. AF_06/2017	KG	60,00	R\$12,75	R\$765,00	0,33%
2.8	SINAPI	96548	ARMAÇÃO DE BLOCO, VIGA BALDRAME OU SAPATA UTILIZANDO AÇO CA50 DE 16 MM - MONTAGEM. AF_06/2017	KG	47,00	R\$12,21	R\$573,87	0,25%
2.9	SINAPI	96555	CONCRETAGEM DE BLOCOS DE COROAMENTO E VIGAS BALDRAME, FCK 30 MPA, COM USO DE JERICA LANÇAMENTO, ADENSAMENTO E ACABAMENTO. AF_06/2017	M3	6,97	R\$869,13	R\$6.057,84	2,61%
2.10	SINAPI	98557	IMPERMEABILIZAÇÃO DE SUPERFÍCIE COM EMULSÃO ASFÁLTICA, 2 DEMÃOS AF_06/018	M2	77,92	R\$76,90	R\$5.992,05	2,58%
<b>3</b>			<b>PILARES</b>				<b>R\$44.675,89</b>	<b>19,24%</b>
3.1	SINAPI	92411	MONTAGEM E DESMONTAGEM DE FÔRMA DE PILARES RETANGULARES E ESTRUTURAS SIMILARES, PÉ-DIREITO SIMPLES, EM MADEIRA SERRADA, 2 UTILIZAÇÕES. AF_09/2020	M2	139,11	R\$136,70	R\$19.015,79	8,19%
3.2	SINAPI	92760	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 6,3 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	328,00	R\$15,37	R\$5.041,36	2,17%
3.3	SINAPI	92762	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 10 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	243,00	R\$13,66	R\$3.319,38	1,43%

3.4	SINAPI	92763	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 12,5 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	258,00	R\$11,63	R\$3.000,54	1,29%
3.5	SINAPI	92764	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 16 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	746,00	R\$11,39	R\$8.496,94	3,66%
3.6	SINAPI	103672	CONCRETAGEM DE PILARES, FCK = 25 MPA, COM USO DE BOMBA - LANÇAMENTO, ADENSAMENTO E ACABAMENTO. AF_02/2022	M3	6,85	R\$846,99	R\$5.801,88	2,50%
<b>4</b>			<b>VIGAS</b>				<b>R\$82.558,56</b>	<b>35,55%</b>
4.1	SINAPI	92447	MONTAGEM E DESMONTAGEM DE FÔRMA DE VIGA, ESCORAMENTO COM PONTALETE DE MADEIRA, PÉ-DIREITO SIMPLES, EM MADEIRA SERRADA, 2 UTILIZAÇÕES. AF_09/2020	M2	240,78	R\$148,90	R\$35.851,99	15,44%
4.2	SINAPI	92760	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 6,3 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	827,00	R\$15,37	R\$12.710,99	5,47%
4.3	SINAPI	92761	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 8 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	174,00	R\$14,99	R\$2.608,26	1,12%
4.4	SINAPI	92762	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 10 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	390,00	R\$13,66	R\$5.327,40	2,29%
4.5	SINAPI	92763	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 12,5 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	597,00	R\$11,63	R\$6.943,11	2,99%
4.6	SINAPI	92764	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 16 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	279,00	R\$11,39	R\$3.177,81	1,37%
4.7	SINAPI	103674	CONCRETAGEM DE VIGAS E LAJES, FCK=25 MPA, PARA LAJES PREMOLDADAS COM USO DE BOMBA - LANÇAMENTO, ADENSAMENTO E ACABAMENTO. AF_02/2022	M3	18,48	R\$862,50	R\$15.939,00	6,86%
<b>5</b>			<b>LAJES</b>				<b>R\$60.290,63</b>	<b>25,96%</b>
5.1	SINAPI	92482	MONTAGEM E DESMONTAGEM DE FÔRMA DE LAJE MACIÇA, PÉ-DIREITO SIMPLES, EM MADEIRA SERRADA, 1 UTILIZAÇÃO. AF_09/2020	M2	15,54	R\$220,32	R\$3.424,43	1,47%
5.2	SINAPI	101963	LAJE PRÉ-MOLDADA UNIDIRECIONAL, BIAPOIADA, PARA PISO, ENCHIMENTO EM CERÂMICA, VIGOTA CONVENCIONAL, ALTURA TOTAL DA LAJE (ENCHIMENTO+CAPA) = (8+4). AF_11/2020	M2	233,27	R\$171,22	R\$39.939,80	17,20%
5.3	SINAPI	103674	CONCRETAGEM DE VIGAS E LAJES, FCK=25 MPA, PARA LAJES PREMOLDADAS COM USO DE BOMBA - LANÇAMENTO, ADENSAMENTO E ACABAMENTO. AF_02/2022	M3	13,87	R\$862,50	R\$11.962,88	5,15%
5.4	SINAPI	103675	CONCRETAGEM DE VIGAS E LAJES, FCK=25 MPA, PARA LAJES MACIÇAS OU NERVURADAS COM USO DE BOMBA - LANÇAMENTO, ADENSAMENTO E ACABAMENTO. AF_02/2022_PS	M3	1,26	R\$847,97	R\$1.068,44	0,46%
5.5	SINAPI	92768	ARMAÇÃO DE LAJE DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-60 DE 5 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	187,00	R\$15,11	R\$2.825,57	1,22%
5.6	SINAPI	92770	ARMAÇÃO DE LAJE DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 8 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	3,00	R\$14,62	R\$43,86	0,02%
5.7	SINAPI	92771	ARMAÇÃO DE LAJE DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 10 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	77,00	R\$13,32	R\$1.025,64	0,44%
<b>TOTAL</b>							<b>R\$232.259,35</b>	<b>100,00%</b>

Fonte: Autor (2023)

Tabela 14 - Orçamento das estruturas em estrutura metálica

ITEM	REFERÊNCIA	CÓDIGO	DISCRIMINAÇÃO	UND.	QUANT.	VALOR UNITÁRIO	VALOR TOTAL	Peso(%)
<b>1</b>			<b>FUNDAÇÕES-SAPATAS</b>				<b>R\$13.722,64</b>	<b>3,43%</b>
1.1	SINAPI	96523	ESCAVAÇÃO MANUAL PARA BLOCO DE COROAMENTO OU SAPATA, COM PREVISÃO DE FÔRMA. AF_06/2017	M3	27,17	R\$71,43	R\$1.940,75	0,48%
1.2	SINAPI	96619	LASTRO DE CONCRETO MAGRO, APLICADO EM BLOCOS DE COROAMENTO OU SAPATAS, ESPESSURA DE 5 CM. AF_08/2017	M2	18,11	R\$36,86	R\$667,53	0,17%
1.3	SINAPI	96532	FABRICAÇÃO, MONTAGEM E DESMONTAGEM DE FÔRMA PARA SAPATA, EM MADEIRA SERRADA, E=25 MM, 2 UTILIZAÇÕES. AF_06/2017	M2	23,38	R\$163,14	R\$3.813,40	0,95%
1.4	SINAPI	96546	ARMAÇÃO DE BLOCO, VIGA BALDRAME OU SAPATA UTILIZANDO AÇO CA50 DE 10 MM - MONTAGEM. AF_06/2017	KG	90,00	R\$15,02	R\$1.351,80	0,34%
1.5	SINAPI	96547	ARMAÇÃO DE BLOCO, VIGA BALDRAME OU SAPATA UTILIZANDO AÇO CA50 DE 12,5 MM - MONTAGEM. AF_06/2017	KG	70,00	R\$12,75	R\$892,50	0,22%
1.6	SINAPI	96556	CONCRETAGEM DE SAPATAS, FCK 30 MPA, COM USO DE BOMBA LANÇAMENTO, ADENSAMENTO E ACABAMENTO. AF_11/2016	M3	5,62	R\$899,76	R\$5.056,65	1,26%
<b>2</b>			<b>PILARES EM CONCRETO ARMADO</b>				<b>R\$7.323,98</b>	<b>1,83%</b>
2.1	SINAPI	92411	MONTAGEM E DESMONTAGEM DE FÔRMA DE PILARES RETANGULARES E ESTRUTURAS SIMILARES, PÉ-DIREITO SIMPLES, EM MADEIRA SERRADA, 2 UTILIZAÇÕES. AF_09/2020	M2	22,77	R\$136,70	R\$3.112,66	0,78%
2.2	SINAPI	92760	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 6,3 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	61,00	R\$15,37	R\$937,57	0,23%
2.3	SINAPI	92762	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 10 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	92,00	R\$13,66	R\$1.256,72	0,31%
2.4	SINAPI	92763	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 12,5 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	66,00	R\$11,63	R\$767,58	0,19%
2.5	SINAPI	92764	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 16 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	16,00	R\$11,39	R\$182,24	0,05%
2.6	SINAPI	103672	CONCRETAGEM DE PILARES, FCK = 25 MPA, COM USO DE BOMBA - LANÇAMENTO, ADENSAMENTO E ACABAMENTO. AF_02/2022	M3	1,26	R\$846,99	R\$1.067,21	0,27%
<b>3</b>			<b>PILARES METÁLICOS</b>				<b>R\$92.461,69</b>	<b>23,09%</b>
3.1	SINAPI	100766	PILAR METÁLICO PERFIL LAMINADO OU SOLDADO EM AÇO ESTRUTURAL, COM CONEXÕES SOLDADAS, INCLUSOS MÃO DE OBRA, TRANSPORTE E IÇAMENTO UTILIZANDO GUINDASTE - FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO. AF_01/2020_PA	KG	5071,95	R\$18,23	R\$92.461,69	23,09%
<b>4</b>			<b>VIGAS METÁLICAS</b>				<b>R\$229.624,51</b>	<b>57,34%</b>
4.1	SINAPI	100764	VIGA METÁLICA EM PERFIL LAMINADO OU SOLDADO EM AÇO ESTRUTURAL, COM CONEXÕES SOLDADAS, INCLUSOS MÃO DE OBRA, TRANSPORTE E IÇAMENTO UTILIZANDO GUINDASTE - FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO. AF_01/2020_PA	KG	12665,44	R\$18,13	R\$229.624,51	57,34%
<b>5</b>			<b>LAJES</b>				<b>R\$57.344,47</b>	<b>14,32%</b>
5.1	SINAPI	101963	LAJE PRÉ-MOLDADA UNIDIRECIONAL, BIAPOIADA, PARA PISO, ENCHIMENTO EM CERÂMICA, VIGOTA CONVENCIONAL, ALTURA TOTAL DA LAJE (ENCHIMENTO+CAPA) = (8+4). AF_11/2020	M2	244,66	R\$171,22	R\$41.891,03	10,46%
5.2	SINAPI	103674	CONCRETAGEM DE VIGAS E LAJES, FCK=25 MPA, PARA LAJES PREMOLDADAS COM USO DE BOMBA - LANÇAMENTO, ADENSAMENTO E ACABAMENTO. AF_02/2022	M3	14,55	R\$862,50	R\$12.549,38	3,13%

5.3	SINAPI	92768	ARMAÇÃO DE LAJE DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-60 DE 5 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	149,00	R\$15,11	R\$2.251,39	0,56%
5.4	SINAPI	92771	ARMAÇÃO DE LAJE DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 10 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG	49,00	R\$13,32	R\$652,68	0,16%
<b>TOTAL</b>							<b>R\$400.477,29</b>	<b>100,00%</b>

Fonte: Autor (2023)