



**FACULDADE PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS DE  
CONSELHEIRO LAFAIETE**

**CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**



**MANOEL WAGNER SIMÃO MENINO**

**PROJETO E ORÇAMENTO COMPARATIVO ENTRE UMA  
EDIFICAÇÃO PROJETADA EM ESTRUTURA CONVENCIONAL DE  
CONCRETO ARMADO E PERFIL LAMINADO**

**Conselheiro Lafaiete, MG, Brasil  
2019**

**MANOEL WAGNER SIMÃO MENINO**

**PROJETO E ORÇAMENTO COMPARATIVO ENTRE UMA  
EDIFICAÇÃO PROJETADA EM ESTRUTURA CONVENCIONAL DE  
CONCRETO ARMADO E PERFIL LAMINADO**

Trabalho apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Faculdade Presidente Antônio Carlos de Conselheiro Lafaiete, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenharia Civil

Orientador: Tiago José Ferreira

**Conselheiro Lafaiete, MG, Brasil  
2019**

**MANOEL WAGNER SIMÃO MENINO**

**PROJETO E ORÇAMENTO COMPARATIVO ENTRE UMA  
EDIFICAÇÃO PROJETADA EM ESTRUTURA CONVENCIONAL DE  
CONCRETO ARMADO E PERFIL LAMINADO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
ao Curso de Engenharia Civil da Faculdade  
Presidente Antônio Carlos de Conselheiro  
Lafaiete, como requisito parcial para a obtenção  
do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em \_\_\_/\_\_\_/2019

**BANCA EXAMINADORA**

---

Tiago José Ferreira – Orientador

---

Tatiana Aparecida Rodrigues

---

Miguel Angelo Araujo Lima

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, que sempre iluminou meus caminhos, me abençoou e guardou até aqui.

A minha esposa Adriana, por sempre me apoiar e incentivar a buscar meus objetivos, e meus filhos Thiago e Julia que mesmo tão pequenos, sempre entenderam a importância dessa realização e sempre me deram forças para continuar.

A meus pais, Adão e Luzinete, por sempre acreditarem em mim.

A todos os professores que contribuíram com grandes ensinamentos para meu crescimento durante minha jornada acadêmica.

Ao meu orientador, Tiago José Ferreira, pela ajuda e conhecimentos transmitidos no decorrer deste trabalho.

## RESUMO

O presente trabalho visa à elaboração de um projeto residencial e o dimensionamento da edificação em dois sistemas estruturais, metálico e concreto-armado, com intuito de comparar o custo-benefício de cada uma delas.

O dimensionamento da estrutura em concreto armado foi obtido através do software Eberick V8, e o dimensionamento da estrutura em perfil laminado foi obtido através do software Cypecad, ambos os softwares geram um resumo de quantitativo de materiais que possibilitam determinar os custos das estruturas em cada modalidade construtiva.

Para os resultados comparativos foram considerados somente os quantitativos de materiais dos sistemas de vigas e pilares, para os dois modelos construtivos, sendo que, para o concreto armado utilizou-se o levantamento dos quantitativos das vigas estruturais, vigas baldrame e pilares, e para a estruturas metálicas utilizou-se o levantamento dos quantitativos de pilares e vigas metálicas e o baldrame em concreto armado.

**Palavras-chave:** Dimensionamento, concreto armado, perfil laminado, software.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Sapatas .....	17
Figura 2 – Bloco .....	18
Figura 2 – Radier.....	18
Figura 3 – Sapata associada.....	19
Figura 4 – Sapata corrida.....	19
Figura 5 – Estaca .....	20
Figura 6 – Execução de Tubulão a céu aberto.....	21
Figura 7 – Sistema Estrutural.....	21
Figura 8 – Pilares .....	22
Figura 9 – Figura 9 – Valores do coeficiente adicional para pilares .....	22
Figura 10 – Vigas .....	23
Figura 11 – Laje .....	24
Figura 12 – Concretagem de laje maciça.....	24
Figura 13 – Figura 13 – Valores de coeficiente adicional para lajes em balanço .....	25
Figura 14 – Laje nervurada .....	26
Figura 15 - Laje pré-moldada com preenchimento com blocos cerâmicos .....	26
Figura 16 – Bloco cerâmico de vedação com furos na horizontal .....	27
Figura 17 – Bloco cerâmico de vedação com furos na vertical .....	27
Figura 18 – Planta baixa do pavimento subsolo.....	33
Figura 19 – Planta baixa do pavimento térreo.....	34
Figura 20– Planta baixa do pavimento superior .....	34
Figura 21 – Corte AA.....	35
Figura 22 – Corte BB.....	35
Figura 23 – Configuração dos materiais no Eberick.....	36
Figura 24 – Configurações de dimensionamento .....	37
Figura 25 – Lançamento dos pavimentos .....	37
Figura 26 – Lançamentos pavimento térreo.....	38
Figura 27 – Lançamentos pavimento tipo 1 .....	39
Figura 28– Lançamentos pavimento tipo 2 .....	40
Figura 29– Lançamentos pavimento cobertura .....	41
Figura 30– Corte estrutural AA.....	42

Figura 31– Corte Estrutural BB .....	43
Figura 32 – Pórtico 3D .....	44
Figura 33 – Configuração dos materiais no Cypecad.....	45
Figura 34 – Edição de Grupos.....	46
Figura 35 – Lançamento das arquiteturas .....	46
Figura 36 – Lançamentos Fundações .....	47
Figura 37 – Lançamentos Baldrames.....	47
Figura 38– Lançamentos Fundações .....	48
Figura 39– Lançamento pavimento tipo 1 .....	49
Figura 40– Lançamento pavimento tipo 2 .....	50
Figura 41– Lançamento pavimento cobertura .....	51
Figura 42– Modelo 3D.....	52
Figura 43– Quantitativos de vigas Cypecad.....	55
Figura 44– Quantitativos de perfil para os pilares Cypecad .....	55
Figura 45– Quantitativos de aço para os pilares Cypecad .....	55

## **LISTA DE GRÁFICOS**

Gráfico 1– Percentual de custos na obra com estrutura de concreto armado.....	54
Gráfico 2– Percentual de custos na obra com estrutura de perfil laminado .....	59
Gráfico 3– Gráfico comparativo entre as estruturas .....	60

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1– Discriminação do custo das armaduras.....	53
Tabela 2– Custo total da estrutura de concreto armado .....	54
Tabela 3– Discriminação do custo das armaduras.....	56
Tabela 4– Custo da estrutura de concreto armado .....	56
Tabela 5– Custo total da estrutura .....	56

## **ANEXOS**

Anexo 1 – Lei de uso e ocupação do solo.....	62
Anexo 2 – Classes de agressividade ambiental .....	63
Anexo 3 – Classes de agressividade ambiental e cobertura nominal.....	63

# SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	12
1.1 Considerações iniciais .....	12
<b>1.2 Objetivos</b> .....	13
1.2.1 Objetivos gerais .....	13
1.2.2 Objetivos específicos.....	13
1.3. Justificativa .....	14
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	15
<b>2.1 Softwares utilizados para o dimensionamento das estruturas</b> .....	15
2.1.1 Eberick .....	15
2.1.2 Cypecad .....	16
<b>2.2 Elementos estruturais</b> .....	17
2.2.1 Fundação .....	17
2.2.1.1 Fundações diretas ou rasas .....	17
2.2.1.2 Sapata .....	17
2.2.1.3 Bloco .....	18
2.2.1.4 Radier.....	18
2.2.1.5 Sapata associada .....	19
2.2.1.6 Sapata corrida .....	19
2.2.2 Fundações profundas.....	20
2.2.2.1 Estaca .....	20
2.2.2.2 Tubulão .....	21
2.3 Pilares e pilares-parede.....	21
2.4 Vigas e vigas-parede.....	23
<b>2.5 Lajes</b> .....	24
2.5.1 Lajes maciças.....	24
2.5.2 Lajes nervuradas.....	25
2.5.3 Lajes Pré-moldadas.....	26
2.6 Alvenaria de vedação .....	27
<b>2.7 Aços estruturais e materiais de ligação</b> .....	28
2.7.1 Designação de produtos ASTM.....	28
2.7.2 Aços para perfis, barras e chapas.....	28

<b>2.8 Pré-dimensionamento</b> .....	28
2.8.1 Propriedades mecânicas .....	28
2.8.2 Segurança e estados-limites .....	28
<b>2.8.3 Classificação das ações</b> .....	29
2.8.3.1 Ações permanentes diretas .....	29
2.8.3.2 Ações permanentes indiretas .....	29
2.8.3.3 Ações variáveis .....	30
2.8.3.4 Ações excepcionais.....	31
2.8.4 Combinações de Ações.....	31
2.8.5 Combinações de Serviços.....	31
2.8.6 Condições analíticas de segurança.....	31
<b>3. METODOLOGIA</b> .....	33
3.1 Descrição da arquitetura e critérios de projeto .....	33
<b>3.2 Dimensionamento da estrutura em concreto armado</b> .....	36
3.2.1 Lançamento das arquiteturas e estruturas para dimensionamento .....	40
<b>3.3 Dimensionamento da estrutura em aço laminado</b> .....	45
3.3.1 Lançamento das arquiteturas e estruturas para dimensionamento .....	46
<b>4. ANÁLISE DOS RESULTADOS</b> .....	53
4.1 Orçamento da estrutura de concreto armado .....	53
4.2. Orçamento da estrutura de aço laminado .....	54
<b>5. CONCLUSÃO</b> .....	58
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	59
<b>7 ANEXOS</b> .....	62

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1 Considerações iniciais

O concreto armado é um processo construtivo inventado na Europa em meados do século XIX (SANTOS, 2006). A novidade está justamente na reunião da propriedade de resistência à tração do aço com a resistência à compressão do concreto, que permite vencer grandes vãos e alcançar alturas extraordinárias. Inicialmente empregado apenas em embarcações e tubulações hidráulicas, a partir de fins do século XIX o concreto armado passa a ser utilizado também nas edificações (SANTOS, 2006).

Contudo, em nenhum país desse mundo modernizado a tecnologia do concreto armado foi tão predominante quanto no Brasil. Ele é o material estrutural absolutamente hegemônico nas construções das cidades brasileiras, sejam elas formais ou informais (SANTOS, 2006).

De acordo com a norma ABNT NBR 6118 de 2014, os projetos de estruturas de concreto armado, devem atender aos requisitos mínimos de qualidade, durante sua construção e serviço, e também aos requisitos adicionais estabelecidos em conjunto entre o autor do projeto estrutural e o contratante, sendo eles: Capacidade resistente, desempenho em serviço e durabilidade.

Quanto à competição com outros métodos construtivos, de acordo com Lopes (2001), o mercado da construção civil no Brasil é dominado pelo uso do concreto armado.

Os perfis laminados a quente são produzidos através da laminação de blocos de aço, em sistema de laminação contínua. As limitações de fabricação são devidas às próprias cadeiras de laminação que impõem uma bitola de altura máxima e mínima, variável de acordo com o equipamento. Podem ser aplicados nos mais diversos segmentos da construção civil, indústria, construção naval e fundações (SCHMITZHAUS, 2015).

A norma ABNT NBR 8800 de 2008, com base no método dos estados-limites, estabelece os requisitos básicos que devem ser obedecidos no projeto à temperatura ambiente de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edificações, nas quais:

- Os perfis de aço sejam laminados ou soldados, ou de seção tubular com ou sem costura;
- As ligações sejam executadas com parafusos ou soldas;
- Os perfis de aço devem ser fabricados obedecendo-se às Normas Brasileiras aplicáveis ou, na ausência destas, às normas da ASTM aplicáveis;
- Os princípios gerais estabelecidos nesta Norma aplicam-se às estruturas de edifícios destinados à habitação, de edifícios de usos comercial e industrial e de edifícios públicos. Aplicam-se também às estruturas de passarelas de pedestres e a suportes de equipamentos.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivos gerais**

Elaborar um projeto de uma residência em terreno localizado em Conselheiro Lafaiete, no Bairro Real de Queluz, e dimensionar as estruturas da edificação em concreto armado e em aço laminado, com intuito de comparar as estruturas dos sistemas construtivos de vigas e pilares, também verificar o custo relacionado a cada tipo de estrutura.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

- Elaborar projeto arquitetônico atendendo os parâmetros da lei de uso e ocupação do solo da cidade de Conselheiro Lafaiete;
- Dimensionar a estrutura da edificação em concreto armado através do software de cálculo estrutural Eberick;
- Dimensionar a estrutura da edificação em perfil laminado através do software de cálculo estrutural Cypecad;
- Comparar os custos entre os dois modelos construtivos, levando em consideração somente os sistemas de vigas e pilares.

### **1.3 Justificativa**

O presente trabalho justifica-se pela importância de aumentar os conhecimentos com relação ao dimensionamento estrutural dos dois métodos construtivos, utilizando diferentes softwares, levando em consideração a mesma condição de projeto.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Softwares utilizados para o dimensionamento das estruturas**

#### **2.1.1 Eberick**

O Eberick se trata de Software para elaboração de projetos estruturais em concreto armado moldado in-loco, pré-moldado, alvenaria estrutural e estruturas mistas, com recursos que abrangem todas as etapas do projeto (ALTOQI, 2019).

Esse programa possui um ambiente de CAD próprio, com recursos específicos para modelagem de pilares, vigas, lajes, escadas, fundações, reservatórios, muros e elementos de outros materiais. O modelo criado pode ser visualizado no pântico 3D, facilitando o entendimento da geometria proposta (ALTOQI, 2019).

É importante ressaltar que o software gera o detalhamento dos elementos estruturais com suas armaduras com elevada qualidade e oferece uma série de opções para adequar os desenhos às suas necessidades. Além disso, gera a planta de formas de acordo com a geometria da estrutura, incluindo informações como: cotas, hachuras, eixos para locação e tabelas de sobrecargas (ALTOQI, 2019).

Também é gerado um relatório com o resumo dos materiais da edificação. Na tabela do resumo você poderá verificar o volume de concreto, peso de aço, área de forma, quantitativo de blocos de enchimento, consumo de aço e tabela de custos de materiais, forma e execução de cada peça estrutural (ALTOQI, 2019).

O Eberick possui diversas configurações que permitem ao usuário personalizar o processo de dimensionamento dos elementos estruturais de concreto armado. O dimensionamento é realizado pelo programa de acordo com as instruções normativas, porém existem diversos parâmetros variáveis de projeto durante este processo de dimensionamento, sendo responsabilidade do projetista definir os valores adotados para tais configurações (FRANCESCHI, 2019).

O programa é muito versátil, possibilita a importação de arquiteturas feitas no AutoCad ou em outros softwares como o Sketchup para ser trabalhado o dimensionamento da edificação, é bastante específico e rigoroso quanto aos esforços e as cargas lançadas em cada elemento estrutural, não retorna o cálculo da armadura

da estrutura e dimensionamento da fundação enquanto não forem corrigidos os erros na estrutura desejada.

O programa permite criar um documento único com o memorial de cálculo da edificação, contendo uma série de relatórios referentes à análise global, esforços e dimensionamento dos elementos e cargas nas fundações (ALTOQI, 2018).

### **2.1.2 Cypecad**

O CYPECAD é um programa para projeto estrutural em concreto armado, pré-moldado, protendido e misto de concreto e aço que engloba as etapas de lançamento do projeto, análise e cálculo estrutural, dimensionamento e detalhamento final dos elementos (MULTIPLUS, 2019).

Os recursos para detalhamento e dimensionamento estão de acordo com as normas brasileiras de concreto armado (NBR 6118:2014), fundações (NBR 6122), carregamentos (NBR 6120), barras (NBR 7480), ventos (NBR 6123), ações e combinações (NBR 8681) (MULTIPLUS, 2019).

Uma das principais vantagens do CYPECAD está na facilidade do lançamento da estrutura, com diversas ferramentas como o lançamento automático a partir da leitura de arquivos DWG/DXF já reconhece o pré-dimensionamento da seção do pilar assim como a continuidade entre os andares reconhecendo o ponto fixo. Reduz consideravelmente as redundâncias de cálculo como o peso próprio da estrutura que é calculado automaticamente pelo CYPECAD e detalhamento das armaduras. Possui em 6 conjuntos de módulos complementares e independentes para desenvolver projetos estruturais de edificações: Concreto, Lajes, Fundação, Metálicas Madeira e Módulos especiais (MULTIPLUS, 2019). O software possui um editor gráfico próprio que possui todos os recursos para desenvolver projetos estruturais (locação de pilares, detalhamento de vigas, lajes, fôrmas, armação e etc.), também detecta e avisa os possíveis erros gerados por um pré-dimensionamento irregular dos elementos estruturais, indicando quais os elementos e quais foram os critérios da norma que não foram satisfatórios (MULTIPLUS, 2019).

O programa também possui recursos exclusivos como rampas, escadas, lajes ou panos inclinados, vigas inclinadas em conjunto com a laje inclinada, lajes alveolares com bibliotecas de fabricantes, lajes pré-fabricadas, vigotas metálicas,

vigotas concretadas "in situ", detalhamento completo de lajes nervuradas, radier calculado sobre apoio elástico, vigas baldrame sobre apoio elástico, sapatas corridas, cintas de travamento, geração e visualização da armadura em 3D.

## 2.2 Elementos estruturais

### 2.2.1 Fundação

Fundações são os elementos estruturais com função de transmitir as cargas da estrutura ao terreno onde ela se apoia (AZEREDO, 1988). As fundações ou alicerces devem ser dimensionadas com a principal função transmitir os esforços e cargas das construções para o solo. Abaixo será descrito os dois grandes grupos onde são classificados os vários tipos de fundações.

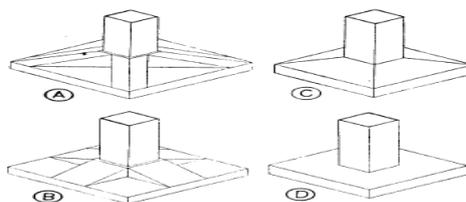
#### 2.2.1.1 Fundações diretas ou rasas:

Elemento de fundação em que a carga é transmitida ao terreno pelas tensões distribuídas sob a base da fundação, e a profundidade de assentamento em relação ao terreno adjacente à fundação é inferior a duas vezes a menor dimensão da fundação (NBR 6122/2010). Incluem-se neste tipo de fundação as sapatas, os blocos, os radier, as sapatas associadas, as vigas de fundação e as sapatas corridas.

#### 2.2.1.2 Sapata

Elemento de fundação superficial, de concreto armado, dimensionado de modo que as tensões de tração nele resultantes sejam resistidas pelo emprego de armadura especialmente disposta para esse fim (NBR 6122/2010).

Figura 1 – Sapatas

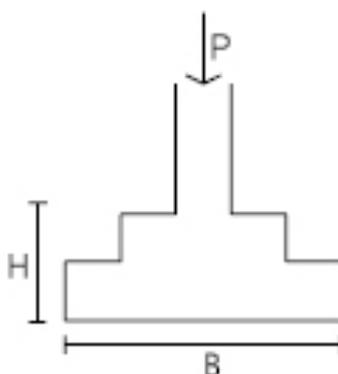


Fonte: Alonso (2010)

### 2.2.1.3 Bloco

Elemento de fundação superficial de concreto, dimensionado de modo que as tensões de tração nele resultantes sejam resistidas pelo concreto, sem necessidade de armadura (NBR 6122/2010).

Figura 2 – Bloco

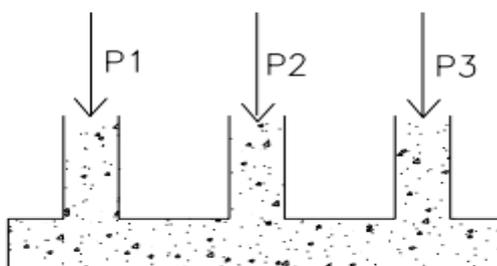


Fonte: Pereira (2018)

### 2.2.1.4 Radier

Elemento de fundação superficial que abrange parte ou todos os pilares de uma estrutura, distribuindo os carregamentos (NBR 6122/2010). Pode também ser comparado a uma laje e abrange toda a área da construção, recebe não somente a carga dos pilares como também a carga das paredes da superestrutura.

Figura 2 – Radier

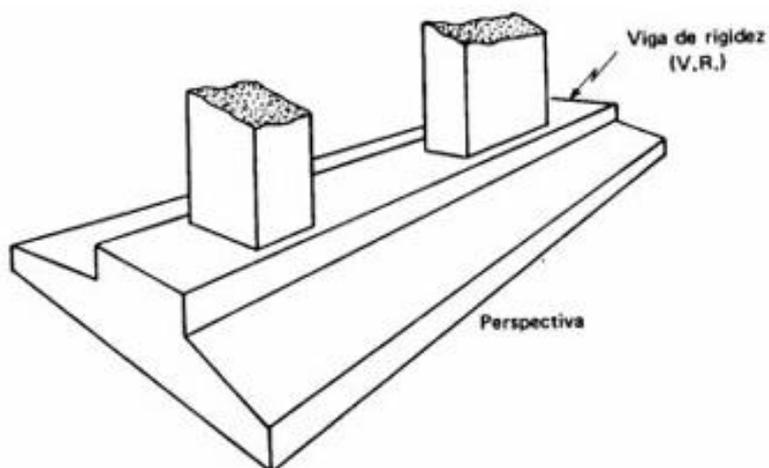


Fonte: Pereira (2018)

### 2.2.2 Sapata associada

Sapata comum a mais de um pilar (NBR 6122/2010), ou seja, a mesma sapata suporta dois pilares.

Figura 3 – Sapata associada

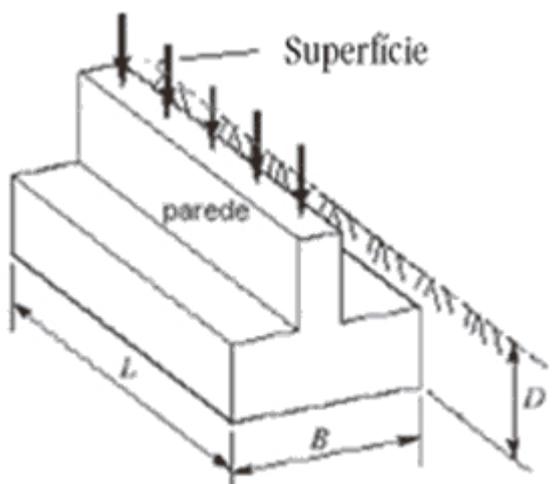


Fonte: Pereira (2018)

### 2.2.1.6 Sapata corrida

Sapata sujeita à ação de uma carga distribuída linearmente ou de pilares ao longo de um mesmo alinhamento (NBR 6122/2010).

Figura 4 – Sapata corrida



Fonte: Pereira (2018)

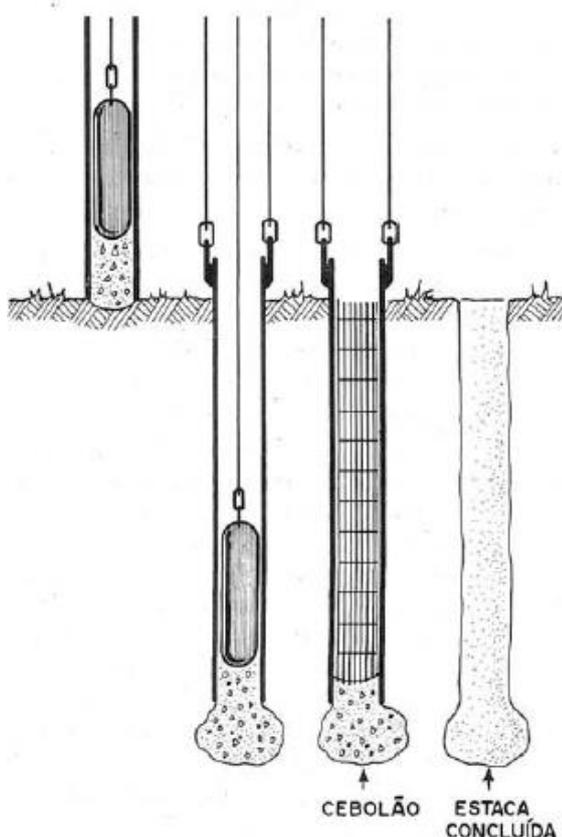
### 2.2.3 Fundações profundas:

Elemento de fundação que transmite a carga ao terreno ou pela base (resistência de ponta) ou por sua superfície lateral (resistência de fuste) ou por uma combinação das duas, devendo sua ponta ou base estar assente em profundidade superior ao dobro de sua menor dimensão em planta, e no mínimo 3,0 m. Neste tipo de fundação incluem-se as estacas e os tubulões (NBR 6122/2010).

#### 2.2.3.1 Estaca

Elemento de fundação profunda executado inteiramente por equipamentos ou ferramentas, sem que, em qualquer fase de sua execução, haja descida de pessoas. Os materiais empregados podem ser: madeira, aço, concreto pré-moldado, concreto moldado in loco ou pela combinação dos anteriores (NBR 6122/2010).

Figura 5 – Estaca



Fonte: Azeredo (1977)

### 2.2.3.2 Tubulão

Elemento de fundação profunda, escavado no terreno em que, pelo menos na sua etapa final, há descida de pessoas, que se faz necessária para executar o alargamento de base ou pelo menos a limpeza do fundo da escavação, uma vez que neste tipo de fundação as cargas são transmitidas preponderantemente pela ponta. (NBR 6122/2010).

Figura 6 – Execução de tubulão a céu aberto



Fonte: Pereira (2018)

## 2.3 Pilares e pilares-parede

Um pilar é um elemento estrutural vertical usado para receber os esforços diagonais de uma edificação e transferi-los para outros elementos, como as fundações. Normalmente está associado ao sistema laje-viga-pilar.

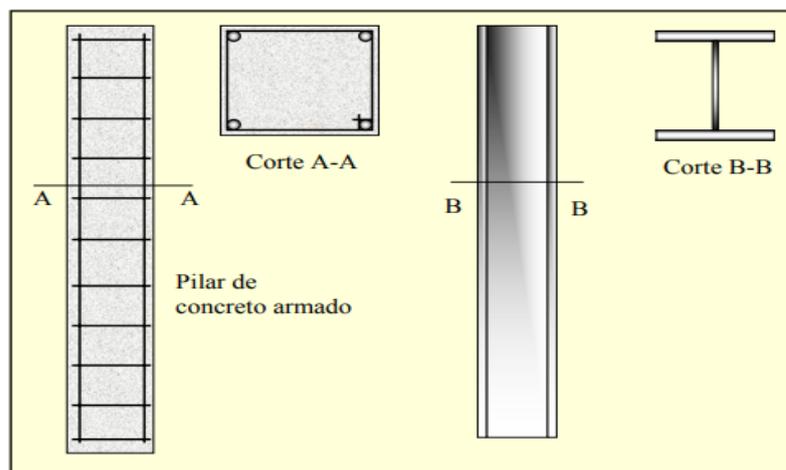
Figura 7 – Sistema estrutural



Fonte: Silva (2004)

De acordo com a NBR 6118 a seção transversal de pilares e pilares-parede maciços, qualquer que seja a sua forma, não pode apresentar dimensão menor que 19 cm.

Figura 8 – Pilares



Fonte: Silva (2004)

Ainda de acordo com a norma NBR 6118 para casos especiais, permite-se a consideração de dimensões entre 19 cm e 14 cm, desde que se multipliquem os esforços solicitantes de cálculo a serem considerados no dimensionamento por um coeficiente adicional  $\gamma_n$ , conforme ilustrado abaixo na Figura 9 encontrada na norma NBR6118 página 73. Em qualquer caso, não se permite pilar com seção transversal de área inferior a 360 cm<sup>2</sup> (NBR 6118/2014).

Figura 9 – Valores do coeficiente adicional para pilares

<b>b</b> cm	≥ 19	18	17	16	15	14
$\gamma_n$	1,00	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25

onde  
 $\gamma_n = 1,95 - 0,05 b$ ;  
**b** é a menor dimensão da seção transversal, expressa em centímetros (cm).

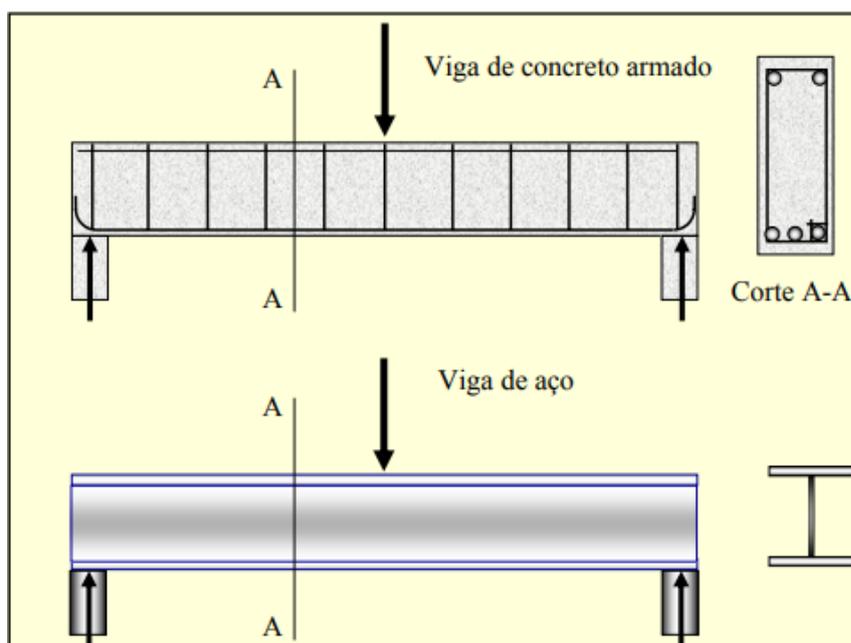
NOTA O coeficiente  $\gamma_n$  deve majorar os esforços solicitantes finais de cálculo quando de seu dimensionamento.

Fonte: NBR 6118/2014, pag.73

## 2.4 Vigas e vigas-parede

Viga é um elemento estrutural que recebe as cargas transversais, normalmente é utilizada no sistema laje-viga-pilar e tem como função transmitir os esforços verticais recebidos da laje para o pilar, ou também, pode ser usada para transmitir uma carga concentrada se for utilizada como apoio para um pilar.

Figura 10 – Vigas



Fonte: Silva (2004)

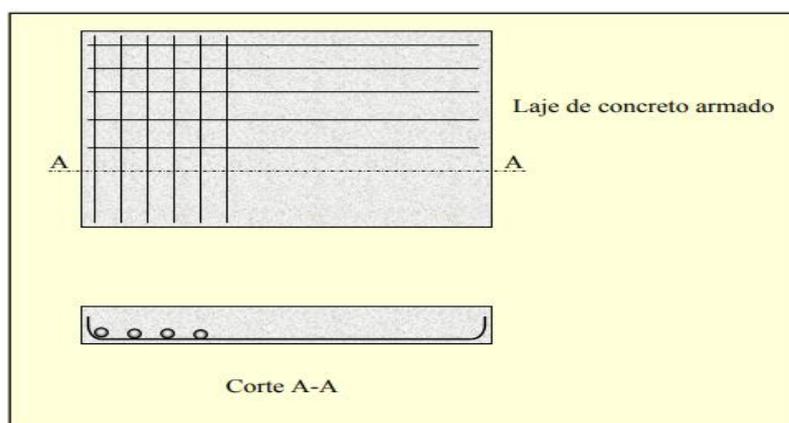
De acordo com a norma NBR6118 a seção transversal das vigas não pode apresentar largura menor que 12 cm e a das vigas-parede, menor que 15 cm. Estes limites podem ser reduzidos, respeitando-se um mínimo absoluto de 10 cm em casos excepcionais, sendo obrigatoriamente respeitadas as seguintes condições:

- a) alojamento das armaduras e suas interferências com as armaduras de outros elementos estruturais, respeitando os espaçamentos e cobrimentos estabelecidos nesta Norma;
- b) lançamento e vibração do concreto de acordo com a ABNT NBR 14931.

## 2.5 Lajes

As lajes são estruturas que separam pavimentos das edificações, tem finalidade de funcionar como teto e também dar receber contrapisos, esforços de transito de pessoas, veículos e cargas temporárias de acordo com a classificação da edificação. De acordo com a norma NBR 6118 temos três tipos de lajes: maciças, nervuradas e pré-moldadas.

Figura 11 – Laje



Fonte: Silva (2004)

### 2.5.1 Lajes maciças

São estruturas de concreto armado com espessura constante, executada na própria obra, utilizando do lançamento de concreto fresco sobre uma estrutura de formas planas e niveladas através de escoramentos metálicos ou de madeira, já preparada com as armaduras dimensionadas para laje de acordo com o projetado.

Figura 12 – Concretagem de laje maciça



Fonte: Carvalho (2014)

De acordo com a NBR6118 as lajes maciças devem ser respeitar os seguintes limites mínimos para a espessura:

- a) 7 cm para cobertura não em balanço;
- b) 8 cm para lajes de piso não em balanço;
- c) 10 cm para lajes em balanço;
- d) 10 cm para lajes que suportem veículos de peso total menor ou igual a 30 kN;
- e) 12 cm para lajes que suportem veículos de peso total maior que 30 kN;
- f) 15 cm para lajes com protensão apoiadas em vigas, com o mínimo de  $l/42$  para lajes de piso biapoiadas e  $l/50$  para lajes de piso contínuas;
- g) 16 cm para lajes lisas e 14 cm para lajes-cogumelo, fora do capitel.

Ainda de acordo com a norma NBR 6118 para o dimensionamento correto e seguro das lajes em balanço, os esforços solicitantes de cálculo a serem considerados devem ser multiplicados por um coeficiente adicional  $\gamma_n$ , conforme ilustrado na Figura 13.

Figura 13 – Valores de coeficiente adicional para lajes em balanço

$h$ cm	$\geq 19$	18	17	16	15	14	13	12	11	10
$\gamma_n$	1,00	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25	1,30	1,35	1,40	1,45

onde

$$\gamma_n = 1,95 - 0,05 h;$$

$h$  é a altura da laje, expressa em centímetros (cm).

NOTA O coeficiente  $\gamma_n$  deve majorar os esforços solicitantes finais de cálculo nas lajes em balanço, quando de seu dimensionamento.

Fonte: NBR 6118/2014, pag.74

## 2.5.2 Lajes nervuradas

Uma laje nervurada é constituída por um conjunto de vigas que se cruzam, solidarizadas pela mesa. Esse elemento estrutural terá comportamento intermediário entre o de laje maciça e o de grelha (Pinheiro e Razente, 2003). Ainda de acordo com os autores a principal característica das lajes nervuradas é a diminuição da quantidade

de concreto, na região tracionada, podendo-se usar um material de enchimento, além de reduzir o consumo de concreto, há um alívio do peso próprio.

Figura 14 – Laje nervurada



Fonte Pinheiro e Razente (2003)

### 2.5.3 Lajes Pré-moldadas

As lajes pré-moldadas podem ser moldadas no canteiro de obras, mas comumente são compradas prontas, são constituídas por vigotas de concreto e lajotas de concreto, cerâmica ou ainda isopor.

Figura 15 - Laje pré-moldada com preenchimento com blocos cerâmicos

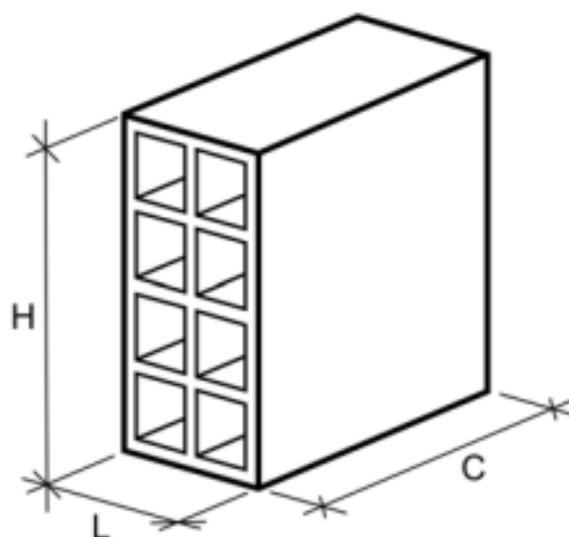


Fonte: Pereira (2019)

## 2.6 Alvenaria de vedação

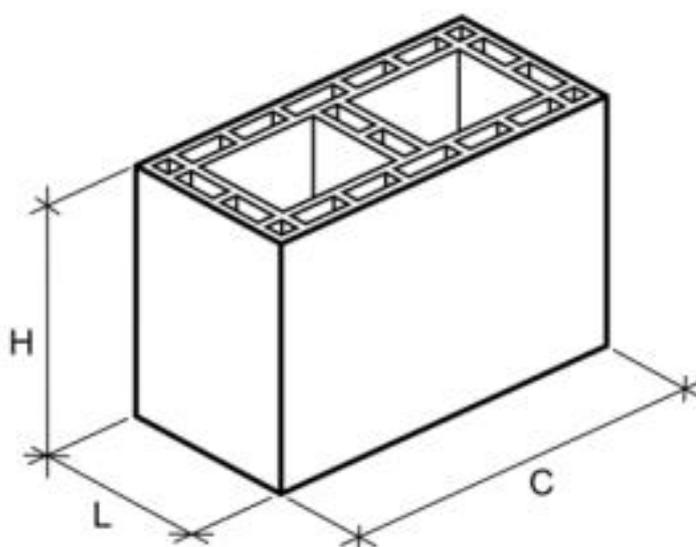
De acordo com a NBR 15270-1 os blocos cerâmicos para vedação constituem as alvenarias externas ou internas que não têm a função de resistir a outras cargas verticais, além do peso da alvenaria da qual faz parte.

Figura 16 – Bloco cerâmico de vedação com furos na horizontal



Fonte: NBR 15270-1 (2005)

Figura 17 – Bloco cerâmico de vedação com furos na vertical



Fonte: NBR 15270-1 (2005)

## **2.7 Aços estruturais e materiais de ligação**

### **2.7.1 Designação de produtos ASTM**

De acordo com a NBR8800(2008), os produtos especificados pela ASTM, quando suas dimensões e propriedades mecânicas são expressas no Sistema Internacional de Unidades, recebem no final da identificação a letra “M”. Nesta Norma, por simplicidade, essa letra é suprimida.

### **2.7.2 Aços para perfis, barras e chapas**

A NRB 8800(2008) determina que os aços aprovados para uso nesta norma para perfis, barras e chapas são aqueles com qualificação estrutural assegurada por Norma Brasileira ou norma ou especificação estrangeira, desde que possuam resistência ao escoamento máxima de 450 MPa e relação entre resistências à ruptura ( $f_u$ ) e ao escoamento ( $f_y$ ) não inferior a 1,18.

## **2.8 Pré-dimensionamento**

### **2.8.1 Propriedades mecânicas**

Para efeito de cálculo devem ser adotados conforme a NBR8800(2008), os seguintes valores de propriedades mecânicas:

- a) módulo de elasticidade,  $E = E_a = 200\ 000\ \text{MPa}$ ;
- b) coeficiente de Poisson,  $\nu_a = 0,3$ ;
- c) módulo de elasticidade transversal,  $G = 77\ 000\ \text{MPa}$ ;
- d) coeficiente de dilatação térmica,  $\beta_a = 1,2 \times 10^{-5}\ \text{°C}^{-1}$ ;
- e) massa específica,  $\rho_a = 7\ 850\ \text{kg/m}^3$ .

### **2.8.2 Segurança e estados-limites**

Conforme a NBR 8800(2008), devem ser considerados os estados-limites últimos (ELU) e os estados limites de serviço (ELS). Os estados-limites últimos estão

relacionados com a segurança da estrutura sujeita às combinações mais desfavoráveis de ações previstas em toda a vida útil, durante a construção ou quando atuar uma ação especial ou excepcional. Os estados-limites de serviço estão relacionados com o desempenho da estrutura sob condições normais de utilização.

### **2.8.3 Classificação das ações**

Para a análise estrutural a NBR 8800(2008) determina que deve ser considerada a influência de todas as ações que possam produzir efeitos significativos para a estrutura, levando-se em conta os estados-limites últimos e de serviço. As ações a considerar classificam-se, de acordo com a ABNT NBR 8681, em permanentes, variáveis e excepcionais.

#### **2.8.3.1 Ações permanentes diretas**

As ações permanentes diretas determinadas pela são constituídas pelo peso próprio da estrutura e pelos pesos próprios dos elementos construtivos fixos e das instalações permanentes. Constituem também ação permanente os empuxos permanentes, causados por movimento de terra e de outros materiais granulosos quando forem admitidos não removíveis (NBR 8800, 2008).

Os pesos específicos do aço e do concreto e os de outros materiais estruturais e dos elementos construtivos fixos correntemente empregados nas construções, na ausência de informações mais precisas, podem ser avaliados com base nos valores indicados na ABNT NBR 6120. Os pesos das instalações permanentes usualmente são considerados com os valores indicados pelos respectivos fornecedores.

#### **2.8.3.2 Ações permanentes indiretas**

As ações permanentes indiretas são constituídas pelas deformações impostas por retração e fluência do concreto, deslocamentos de apoio e imperfeições geométricas. A retração e a fluência do concreto de densidade normal devem ser calculadas conforme a ABNT NBR 6118. Para o concreto de baixa densidade, na

ausência de Norma Brasileira aplicável, devem ser calculadas conforme o Eurocode 2 Part 1-1.

Os deslocamentos de apoio somente precisam ser considerados quando gerarem esforços significativos em relação ao conjunto das outras ações. Esses deslocamentos devem ser calculados com avaliação pessimista da rigidez do material da fundação, correspondente, em princípio, ao quantil de 5% da respectiva distribuição de probabilidade. O conjunto formado pelos deslocamentos de todos os apoios constitui-se numa única ação (NBR8800, 2008).

### **2.8.3.3 Ações variáveis**

Ações variáveis são as que ocorrem com valores que apresentam variações significativas durante a vida útil da construção. As ações variáveis comumente existentes são causadas pelo uso e ocupação da edificação, como as ações decorrentes de sobrecargas em pisos e coberturas, de equipamentos e de divisórias móveis, de pressões hidrostáticas e hidrodinâmicas, pela ação do vento e pela variação da temperatura da estrutura.

As ações variáveis causadas pelo uso e ocupação são fornecidas pela ABNT NBR 6120 e, no caso de passarelas de pedestres, pela ABNT NBR 7188. Os esforços causados pela ação do vento devem ser determinados de acordo com a ABNT NBR 6123.

Em função de sua probabilidade de ocorrência durante a vida da construção, as ações variáveis são classificadas em normais ou especiais (NBR 8681, 2003):

- Ações variáveis normais: ações variáveis com probabilidade de ocorrência suficientemente grande para que sejam obrigatoriamente consideradas no projeto das estruturas de um dado tipo de construção;
- Ações variáveis especiais: nas estruturas em que devam ser consideradas certas ações especiais, como ações sísmicas ou cargas acidentais de natureza ou de intensidade especiais.

#### **2.8.3.4 Ações excepcionais**

São consideradas ações excepcionais aquelas decorrentes de causas como explosões, choques de veículos, incêndios, enchentes e sismos excepcionais. De acordo com a NBR 8800 para o projeto de estruturas sujeitas a situações excepcionais de carregamentos, cujos efeitos não possam ser controlados por outros meios, devem ser consideradas ações excepcionais com os valores definidos, em cada caso particular, por Normas Brasileiras específicas.

#### **2.8.4 Combinações de Ações**

A combinação das ações deve ser feita de forma que possam ser determinados os efeitos mais desfavoráveis para a estrutura; a verificação da segurança em relação aos estados-limites últimos e aos estados-limites de serviço deve ser realizada em função de combinações últimas e de combinações de serviço, respectivamente (NBR 6118, 2014).

#### **2.8.5 Combinações de Serviços**

São classificadas de acordo com sua permanência na estrutura e devem ser verificadas como estabelecido a seguir (NBR 6118, 2014):

- Quase permanentes: podem atuar durante grande parte do período de vida da estrutura, e sua consideração pode ser necessária na verificação do estado-limite de deformações excessivas;
- Frequentes: repetem-se muitas vezes durante o período de vida da estrutura, e sua consideração pode ser necessária na verificação dos estados-limites de formação de fissuras, de abertura de fissuras e de vibrações excessivas. Podem também ser consideradas para verificações de estados-limites de deformações excessivas decorrentes de vento ou temperatura que podem comprometer as vedações;
- Raras: ocorrem algumas vezes durante o período de vida da estrutura, e sua consideração pode ser necessária na verificação do estado-limite de formação de fissuras.

### **2.8.6 Condições analíticas de segurança**

As condições analíticas de segurança estabelecem que as resistências não devem ser menores que as solicitações e devem ser verificadas em relação a todos os estados limites e todos os carregamentos especificados para o tipo de construção considerado, ou seja, em qualquer caso deve ser respeitada a condição (NBR 6118, 2014):  $R_d \geq S_d$ .

Para a verificação do estado limite último de perda de equilíbrio como corpo rígido,  $R_d$  e  $S_d$  devem assumir os valores de cálculo das ações estabilizantes e desestabilizantes respectivamente.

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1 Descrição da arquitetura e critérios de projeto

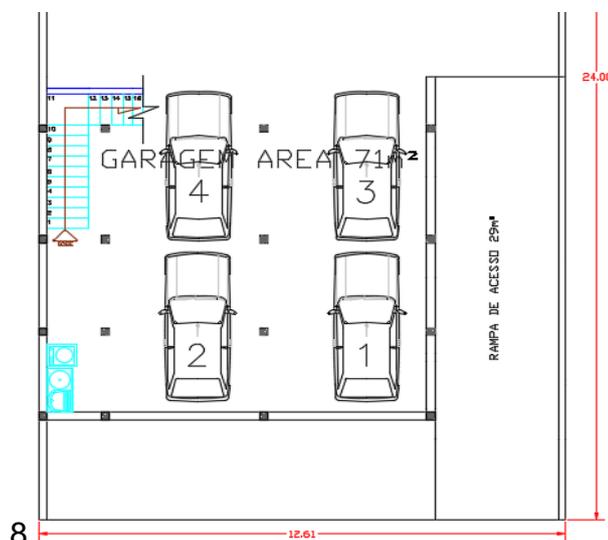
A edificação está prevista para ser construída em Conselheiro Lafaiete/MG, mais especificamente, para um lote em declive localizado no bairro Real de Queluz.

O projeto arquitetônico foi desenvolvido de acordo com a lei de uso e ocupação do solo da cidade, seguindo o zoneamento ZR3 de a conforme ilustrado no anexo 1. Se trata de uma edificação unifamiliar que possui 3 pavimentos, sendo eles uma garagem de 71m<sup>2</sup> (que acomoda 4 carros e lavanderia) e 2 pavimentos tipo de 56 m<sup>2</sup>. O primeiro nível dos pavimentos é composto de sala de estar, escritório, sala de jantar, lavabo, cozinha e área de serviço. O segundo nível dos pavimentos é composto por uma suíte com closet exclusivo e varanda, banheiro social e dois quartos com varanda. Para o ático da edificação, está previsto uma casa para duas caixas d'água de 500 litros.

A edificação dimensionada é uma residência unifamiliar de médio porte e requer a aplicação da maioria dos conceitos lecionados nas aulas relacionadas às estruturas de concreto armado. Além disso, o seu tamanho possibilita que os resultados das comparações entre os tipos de estruturas utilizadas e orçamentos sejam mais evidentes.

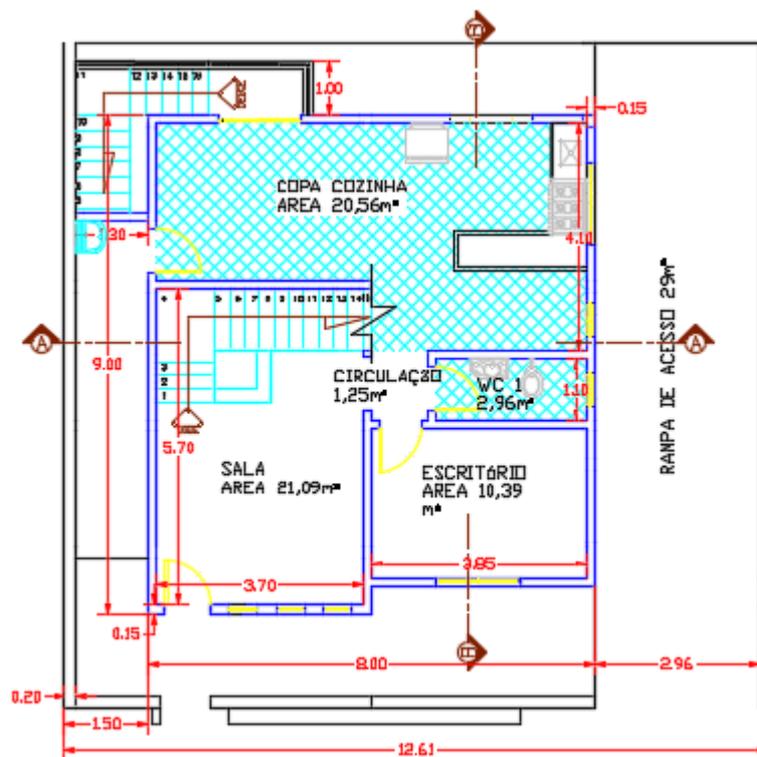
Nas Figuras 18, 19, 20, 21 e 22, podem ver as plantas baixas dos pavimentos subsolo, térreo, superior e também os cortes.

Figura 18– Planta baixa do pavimento subsolo



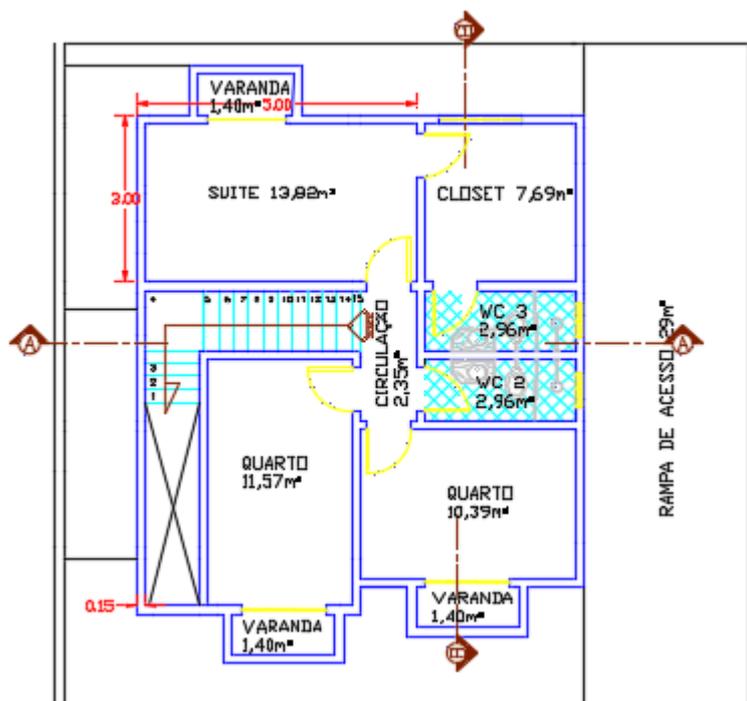
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 19 – Planta baixa do pavimento térreo



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 20 – Planta baixa do pavimento superior



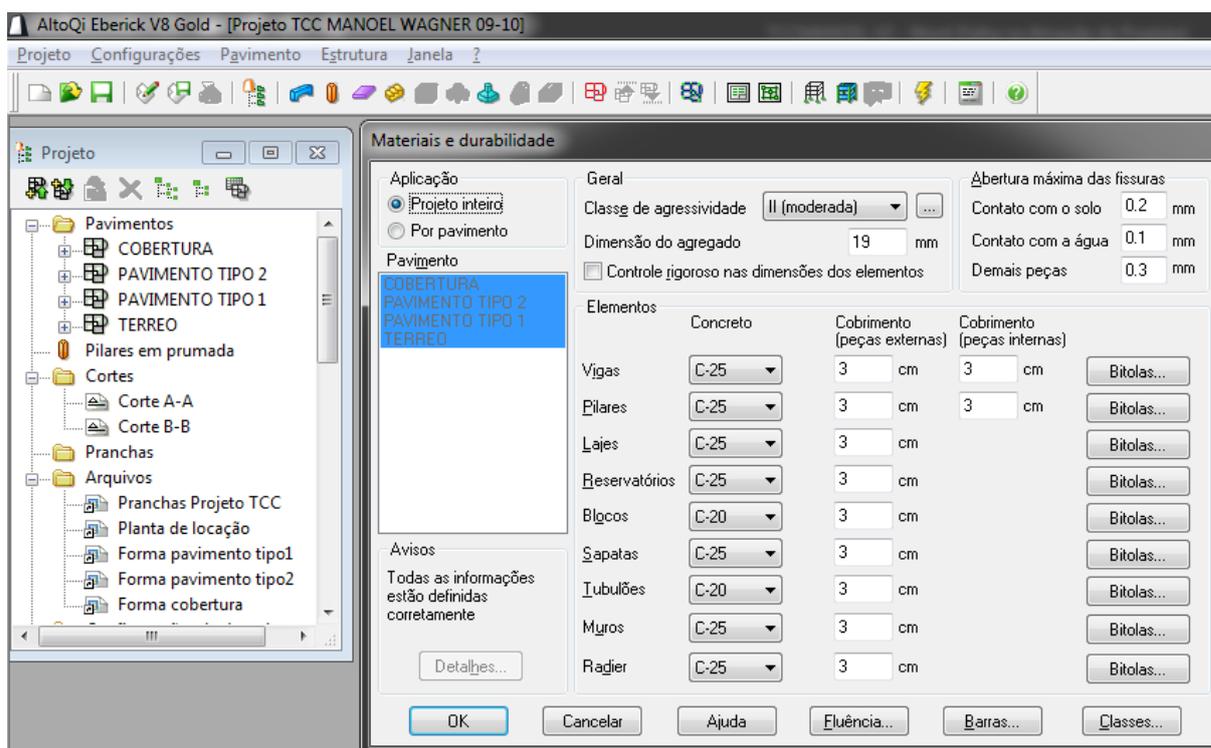
Fonte: Elaborado pelo autor



### 3.2 Dimensionamento da estrutura em concreto armado

O dimensionamento da estrutura de concreto armado foi realizado através do software Eberick V8 da empresa AutoQI. Antes de iniciar o lançamento da estrutura, foram definidas a classe de agressividade ambiental como classe II (moderada) e a resistência do concreto de 25 MPa, como está ilustrado na Figura 23.

Figura 23 – Configuração dos materiais no Eberick



Fonte: Elaborado pelo autor

Durante o lançamento da estrutura foram incluídos os esforços: cargas de parede nas vigas, carga acidental e de revestimento nas lajes.

Também foram alteradas as configurações de dimensionamento do software com critérios para que a estrutura não fique superdimensionada atendendo a NBR 6118 e foi observado que o Eberick faz várias recomendações que também seguem a norma, então cabe ao projetista, reduzir ou aumentar valores e coeficientes de acordo com a realidade da obra. Configurações alteradas na aba de 'Dimensionamento' conforme a Figura 24.

Figura 24 – Configurações de dimensionamento

Fonte: Elaborado pelo autor

### 3.2.1 Lançamento das arquiteturas e estruturas para dimensionamento

Os lançamentos das arquiteturas em formato DWG foram feitos independentes em cada nível da edificação, conforme descritos na janela “Pavimentos”, visando assertividade quanto ao lançamento dos pilares e vigas em conforme o planejado, ilustrado na Figura 25:

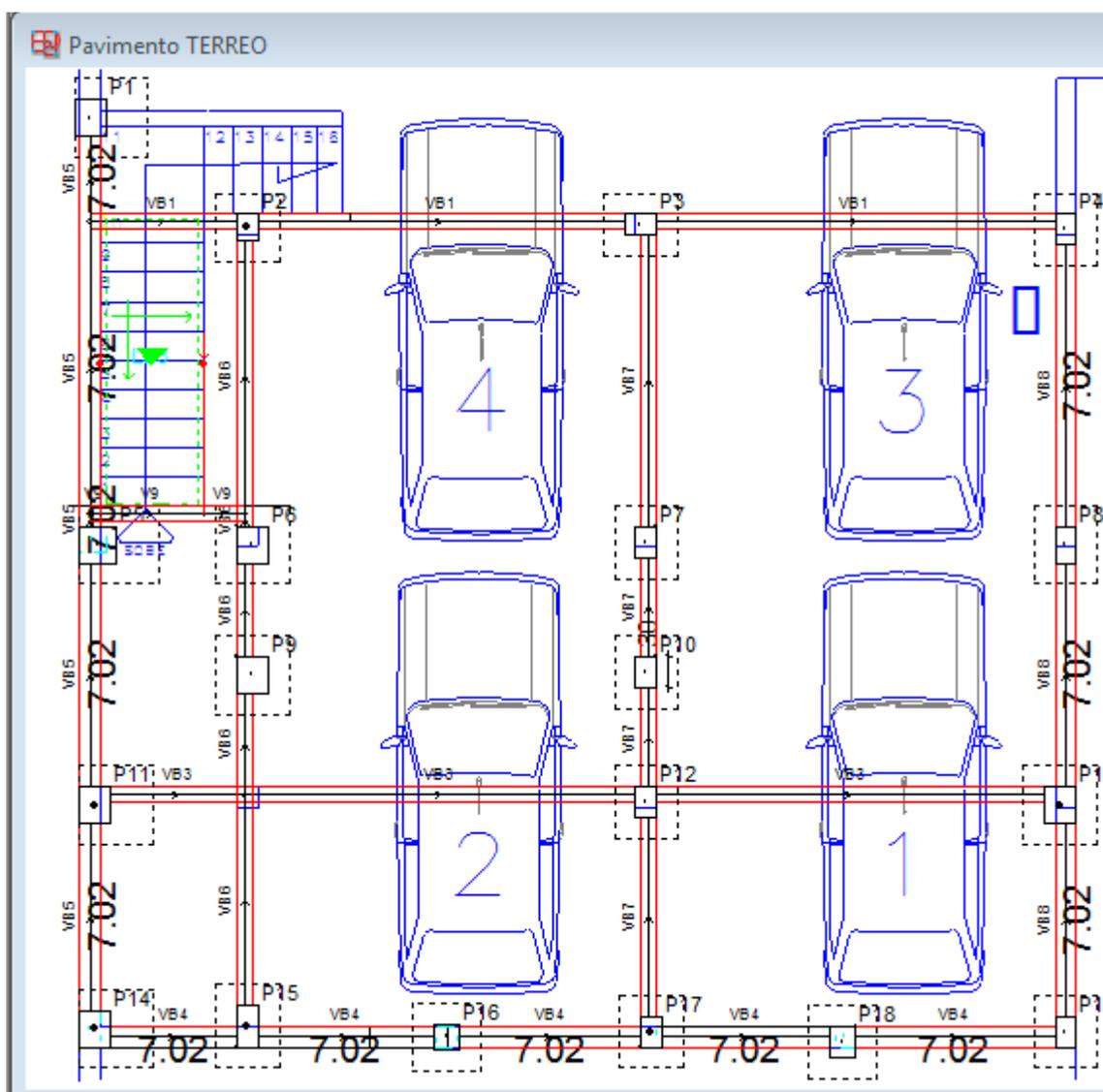
Figura 25 – Lançamento dos pavimentos

	Pavimento	Altura (m)	Nível (m)	Lance
1	COBERTURA	3.00	9.00	4
2	PAVIMENTO TIPO 2	3.00	6.00	3
3	PAVIMENTO TIPO 1	3.00	3.00	2
4	TERREO	1.50	0.00	1
5				
6				
7				

Fonte: Elaborado pelo autor

Pode-se ver nas Figuras 26, 27, 28 e 29 que os lançamentos das estruturas foram feitos em função das arquiteturas já ilustradas no capítulo 3.1. As Figuras 30 e 31 demonstram os cortes na estrutura, e tem-se o pórtico 3D da estrutura na Figura 32.

Figura 26– Lançamentos pavimento térreo

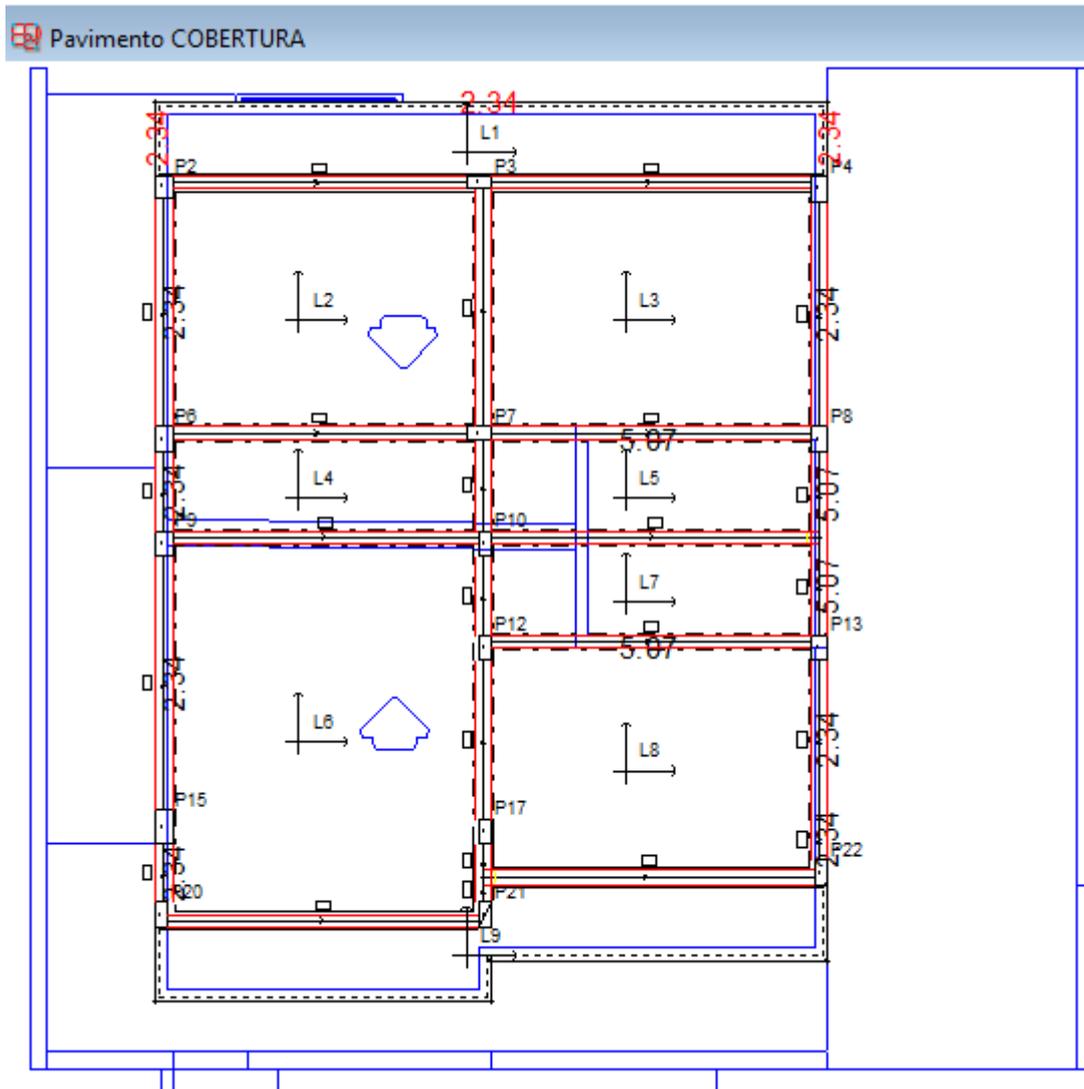


Fonte: Elaborado pelo autor



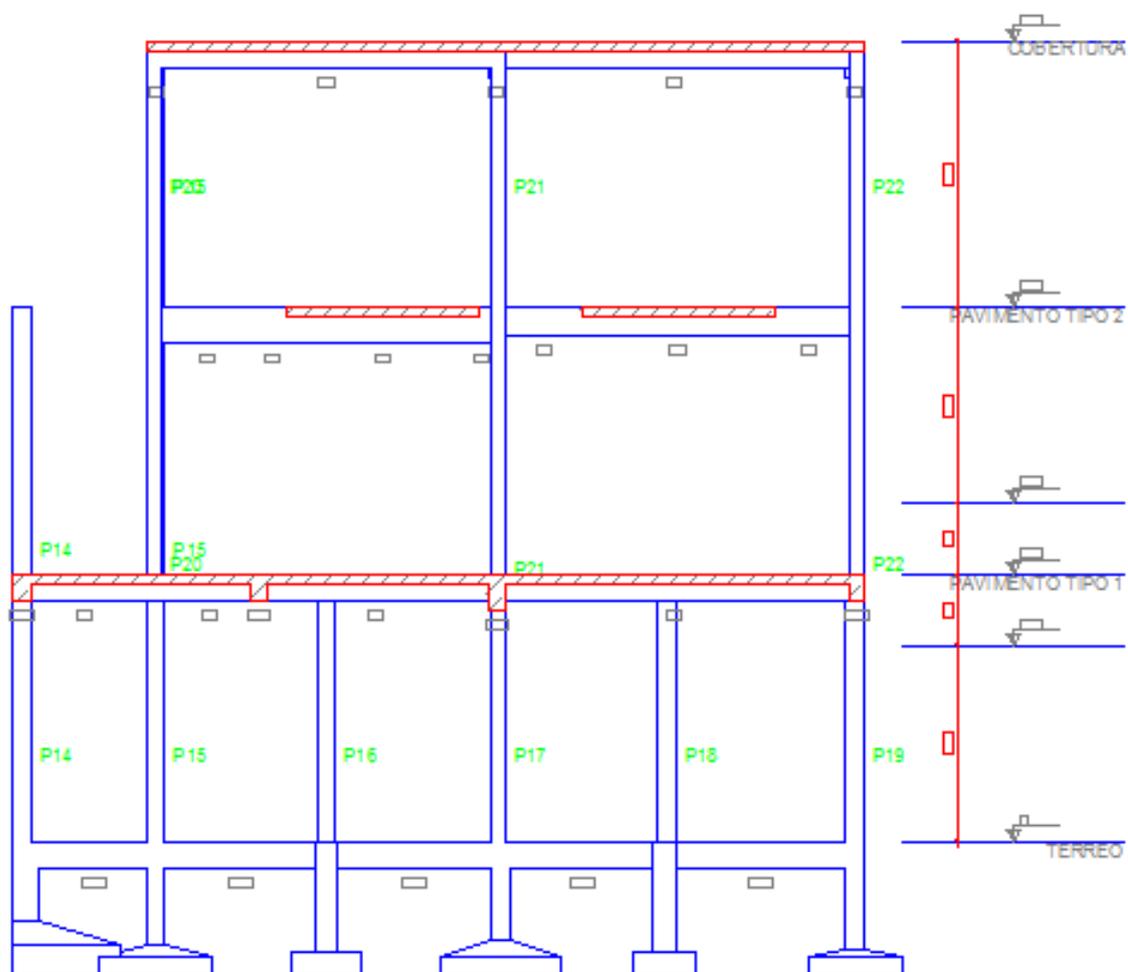


Figura 29– Lançamentos pavimento cobertura



Fonte: Elaborado pelo autor

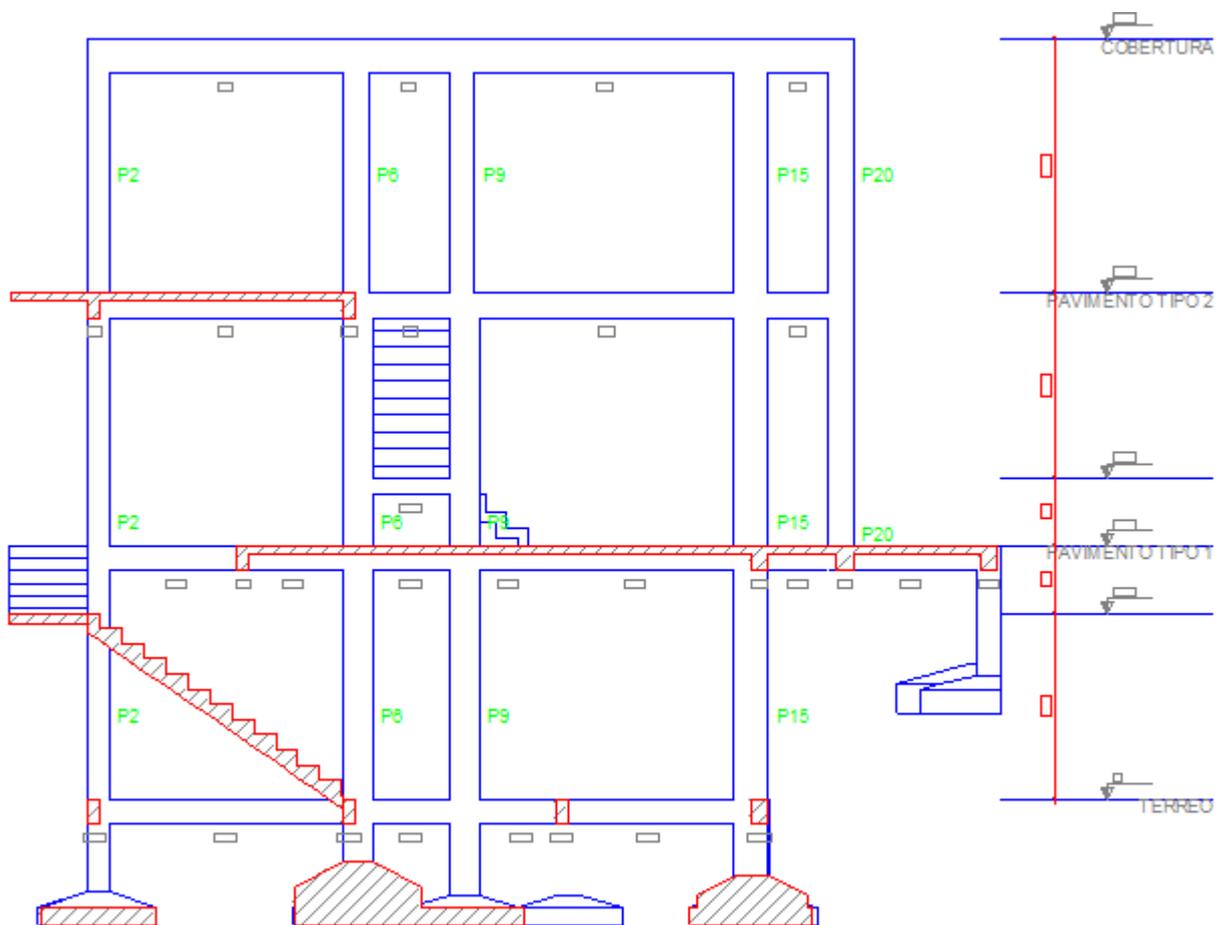
Figura 30– Corte estrutural AA



Corte A-A

Fonte: Elaborado pelo autor

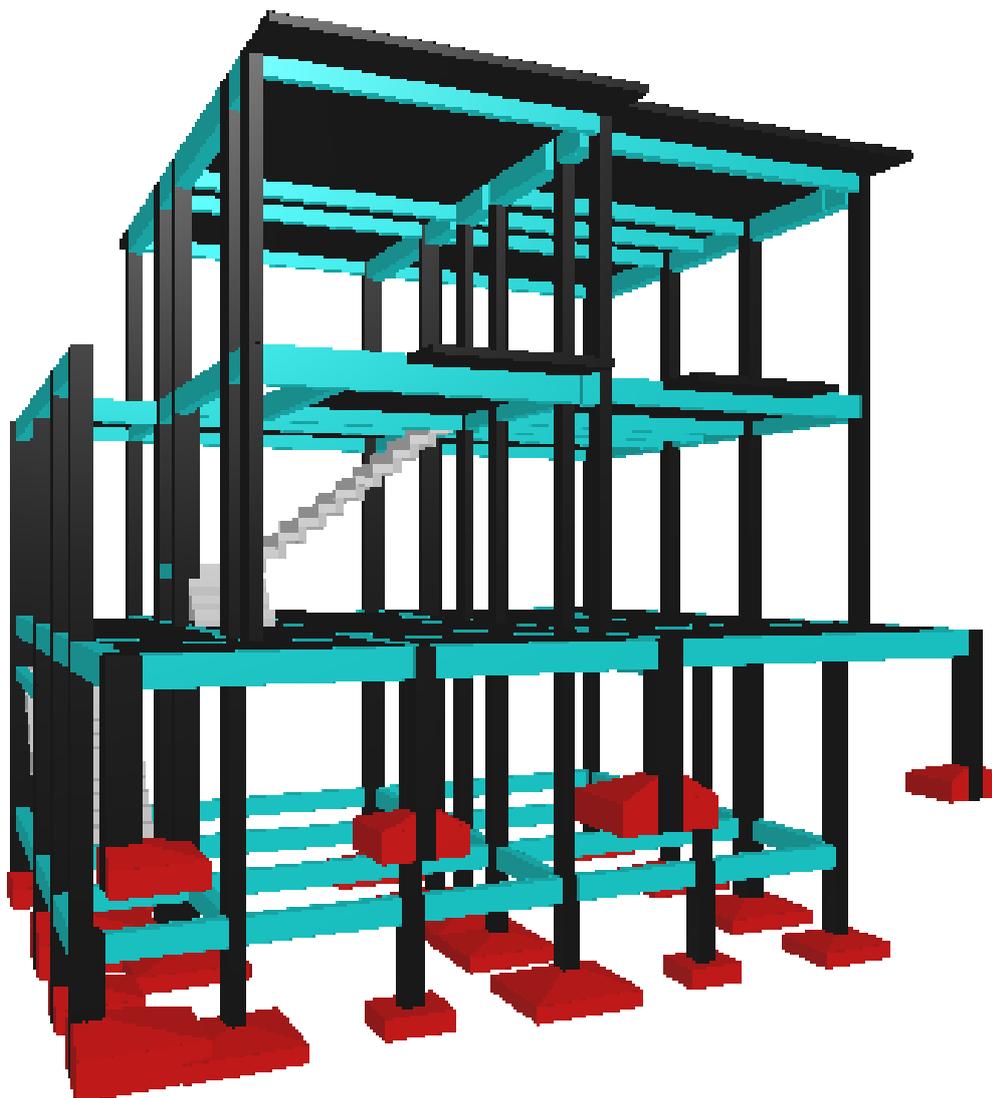
Figura 31– Corte Estrutural BB



Corte B-B

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 32 – Pórtico 3D



Fonte: Elaborado pelo autor

Os pilares 20, 21 e 22 foram acrescentados a fim de diminuir o vão das vigas V7, V8, e V9 que antes não satisfaziam o estado limite de serviço, mesmo com seções acima de seções adotadas para esse tipo de obra e cargas utilizadas, como 25x50cm.

### 3.3 Dimensionamento da estrutura em aço laminado

O dimensionamento da estrutura de aço laminado foi realizado através do software CYPECAD 2016 da empresa CYPE. Antes de iniciar o lançamento da estrutura, foram definidas as normas de referência para os dimensionamentos e características do concreto e aço laminado como está ilustrado na Figura 33.

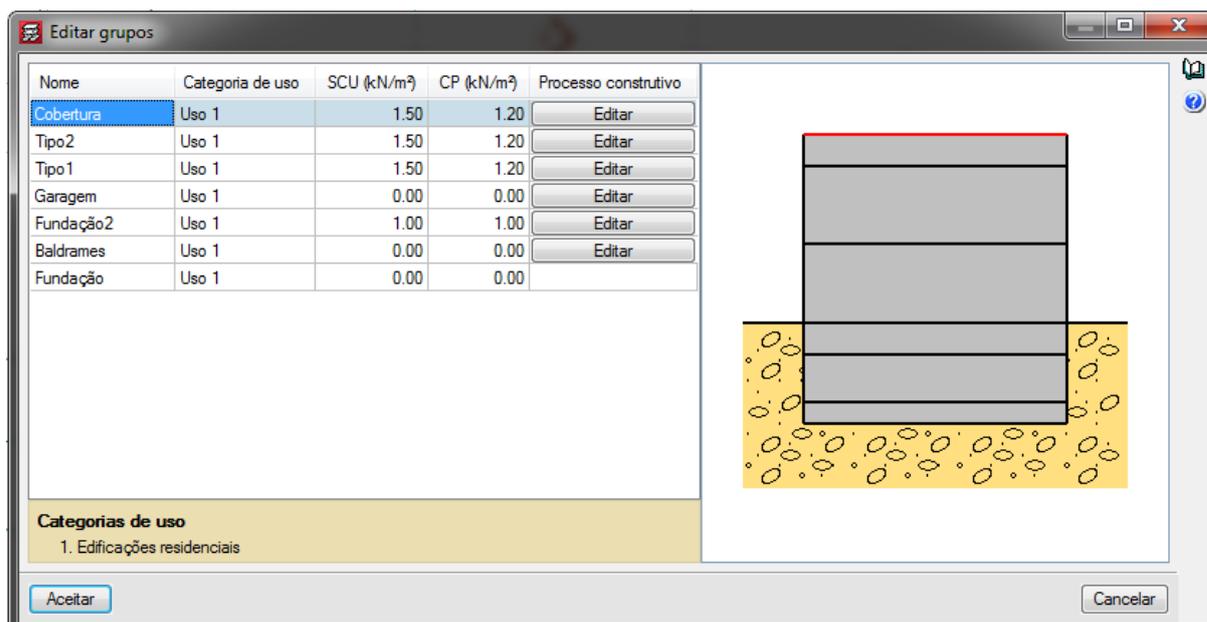
Figura 33 – Configuração dos materiais no Cypecad

Dados gerais	
Chave:	TCC COMPARATIVO
Descrição:	TCC COMPARATIVO
Normas:	ABNT NBR 6118:2014, AISI, NBR8800, NBR 7190 e Eurocódigo 9
<b>Concreto armado</b>	
<b>Concreto</b>	
Pisos	C25, em geral
Fundação	C25, em geral
Tubulões	C25, em geral
Pilares	C25, em geral
Cortinas	C25, em geral
Características do agregado	Calcário (19 mm)
<b>Aço</b>	
Barras	CA-50 e CA-60
Parafusos	ISO 898.C4.6
<b>Perfis</b>	
<b>Aço</b>	
Laminados e soldados	A-36 250Mpa
Dobrados	A-36
<b>Madeira</b>	
	Serrada - Coníferas - C20
<b>Alumínio extrudado</b>	
	EN AW-5083 - F

Fonte: Elaborado pelo autor

Também foram criados grupos para os níveis da edificação de acordo com os níveis do terreno da fundação até a cobertura. Nessa etapa foi definida a categoria de uso da edificação como edificações residenciais e também definidos os valores de sobrecarga (SCU) e cargas permanentes (CP) para cada nível, foi introduzido um nível intermediário como “Fundação2” para o lançamento das fundações que seguem o desnível do terreno, conforme ilustrado na Figura 34.

Figura 34 – Edição de Grupos



Fonte: Elaborado pelo autor

### 3.3.1 Lançamento das arquiteturas e estruturas para dimensionamento

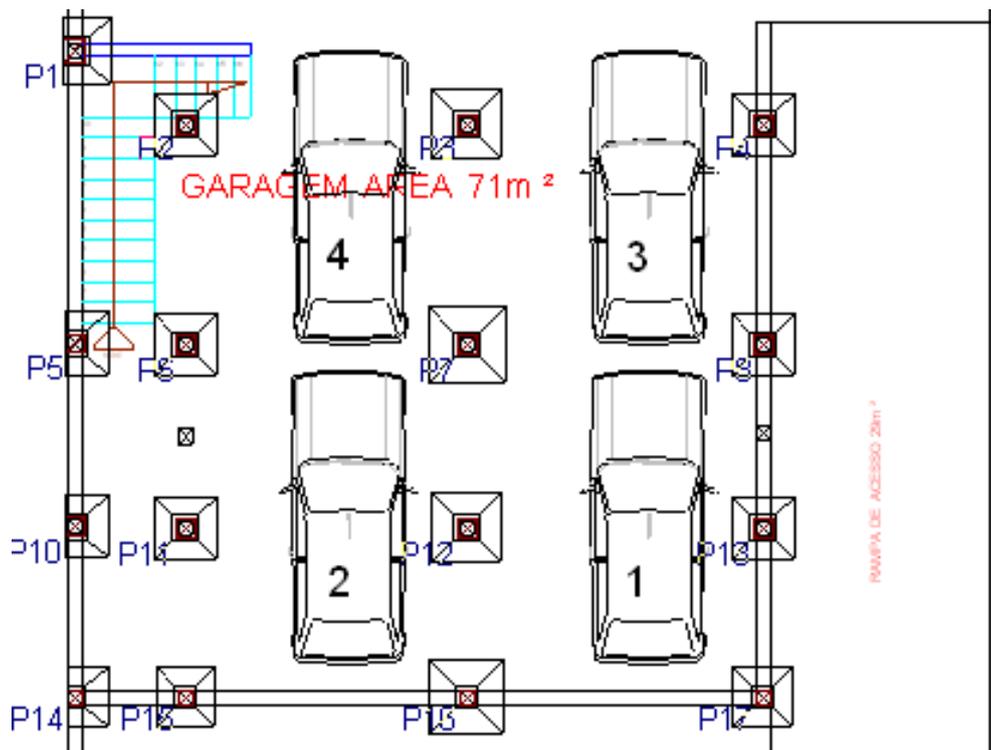
Foram associadas todas as arquiteturas (ilustradas anteriormente no capítulo 3.1 desse documento) necessárias do projeto para o dimensionamento correto. Cada prancha foi associada a seu respectivo nível para os devidos lançamentos de toda a estrutura de acordo com a Figura 35. Todos os lançamentos em seus respectivos níveis foram feitos seguindo como referência as arquiteturas lançadas em cada nível, conforme as Figuras 36 a 41 a seguir, e na Figura 42 pode-se observar o modelo 3D gerado pela modelagem do software. Para os pilares e vigas de fundação foram utilizadas estruturas de concreto armado.

Figura 35 – Lançamento das arquiteturas

Visível	Leve	Máscara	Nome	Grupo
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	COBERTURA.dwg	COBERTURA	Tipo2, Cobertura
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	GARAGEM.dwg	GARAGEM	Entrada de pilares, Fundação, Baldrames, Garagem
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	TIPO 1.dwg	TIPO 1	Entrada de pilares, Fundação2, Garagem
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	TIPO 2.dwg	TIPO 2	Entrada de pilares, Tipo1, Cobertura

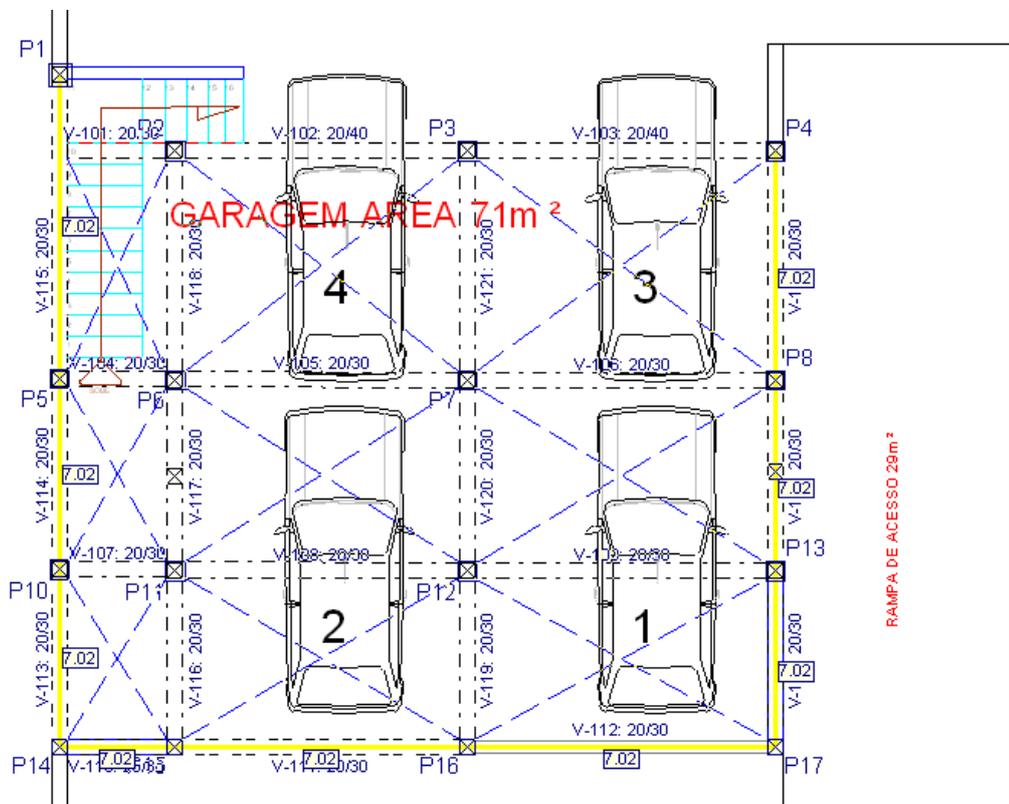
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 36 – Lançamentos Fundações



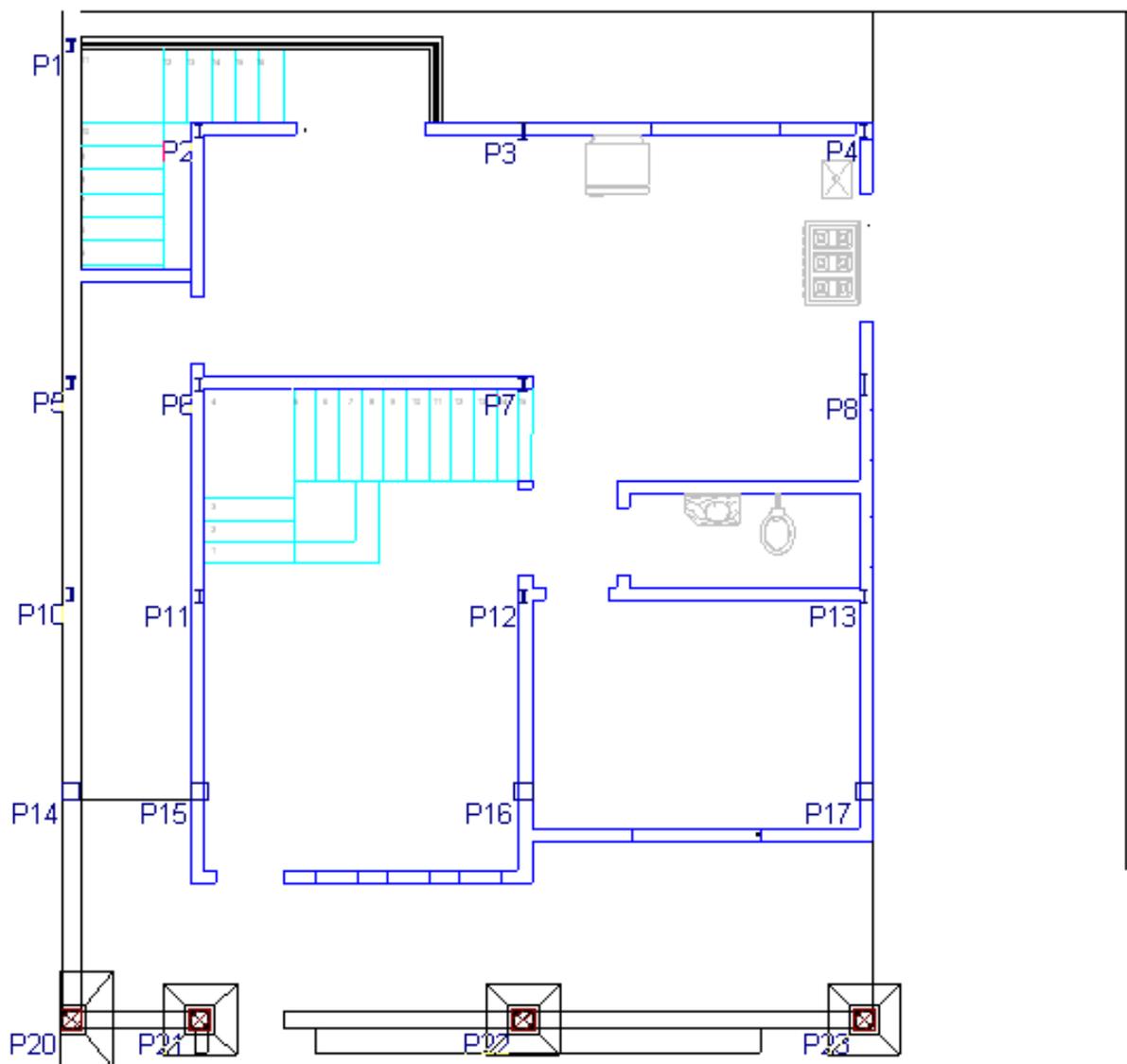
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 37 – Lançamentos Baldrame



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 38– Lançamentos Fundações

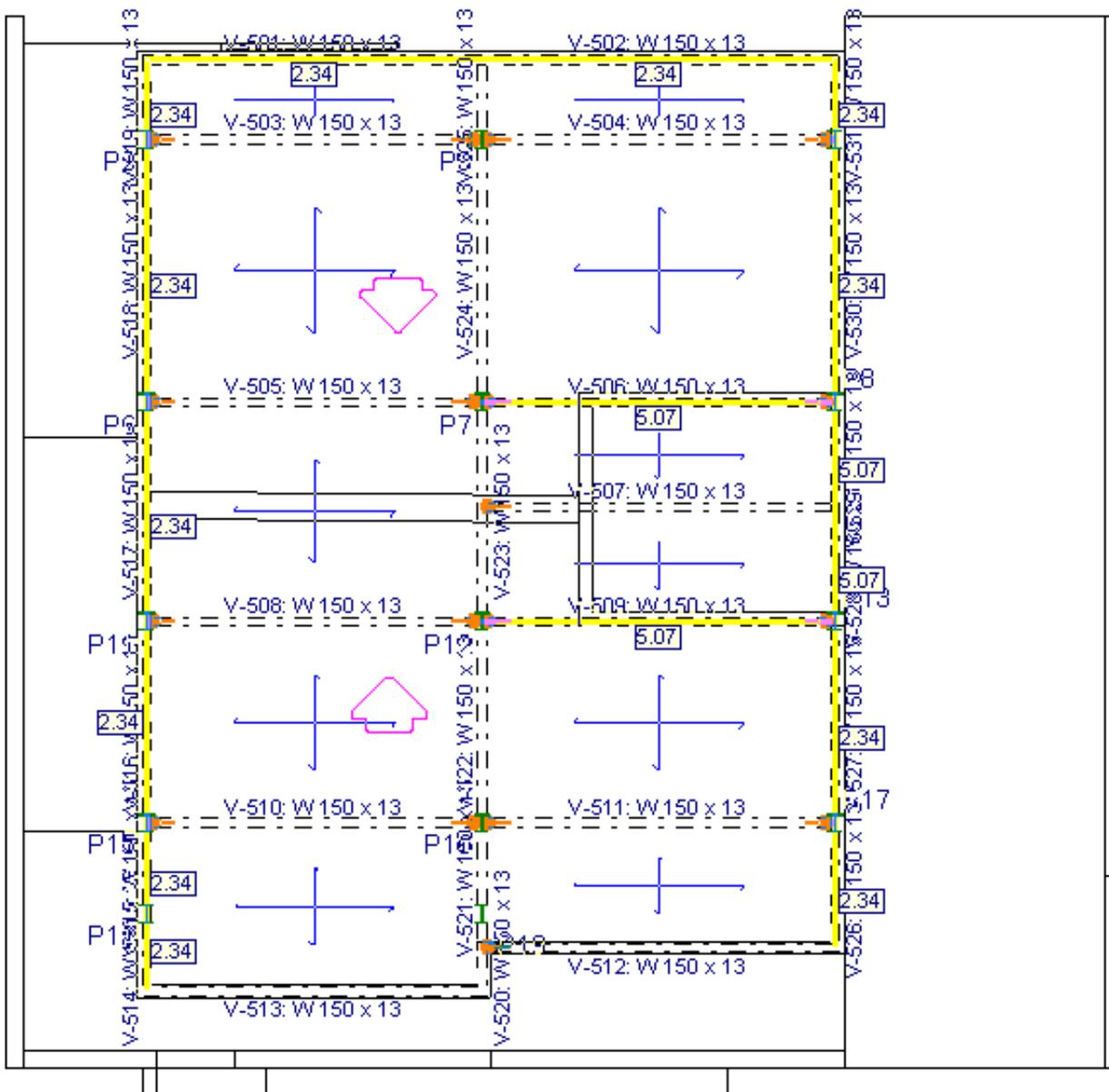


Fonte: Elaborado pelo autor





Figura 41– Lançamento pavimento cobertura



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 42– Modelo 3D



Fonte: Elaborado pelo autor

## 4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

### 4.1. Orçamento da estrutura de concreto armado

A quantidade de armadura e o volume de concreto necessário para a estrutura foi gerado pelo software, sendo assim os valores obtidos utilizados para o orçamento foram apenas o resumo de material das vigas e pilares. Desta forma possibilitou a comparação de maneira mais assertiva com a estrutura metálica, que também foram orçadas apenas as estruturas dos pilares e vigas.

Foi elaborado um resumo dos materiais e custos, no qual a Tabela 1 apresenta a quantidade de barras de vergalhão para cada bitola com seus respectivos custos discriminados. Os preços das barras de vergalhão com doze metros, foram obtidos com base na cidade de Conselheiro Lafaiete (MG).

Tabela 1: Discriminação do custo das armaduras

Aço	Diâmetro (mm)	Peso + 10%(Kg)			Peso da barra de 12m	Número de barras aproximado	Número de barras	Custo Unitário da barra (R\$)	Custo por Diâmetro (R\$)
		Vigas	Pilares	Total					
CA50	6.3	5,9	-	5,9	2,94	2,0	2	8,79	17,64
	8.0	508,1	-	508,1	4,74	107,2	107	19,49	2089,21
	10.0	170,6	734,8	905,4	7,404	122,3	122	28,90	3534,04
	12.5	182,1	60,2	242,3	11,556	21,0	21	43,21	906,00
	16.0	23	41,9	64,9	18,963	3,4	3	70,90	242,65
CA60	5.0	297,2	287,9	585,1	1,848	316,6	317	10,69	3384,59
<b>Custo total (R\$)</b>								<b>R\$ 10.174,14</b>	

Fonte: Elaborado pelo autor

Para determinar o restante do custo da estrutura de concreto armado foi considerado o custo do bombeamento, e o valor das formas pela tabela SINAPI 2019.

Para o concreto foi utilizado o preço do usinado C25 e para as formas foram consideradas chapas de madeira compensada resinada com espessura de 17 mm. A seguir, o quadro 2 demonstra a quantidade de concreto e de formas necessárias para vigas e pilares de toda a edificação, com o fechamento do custo final da estrutura.

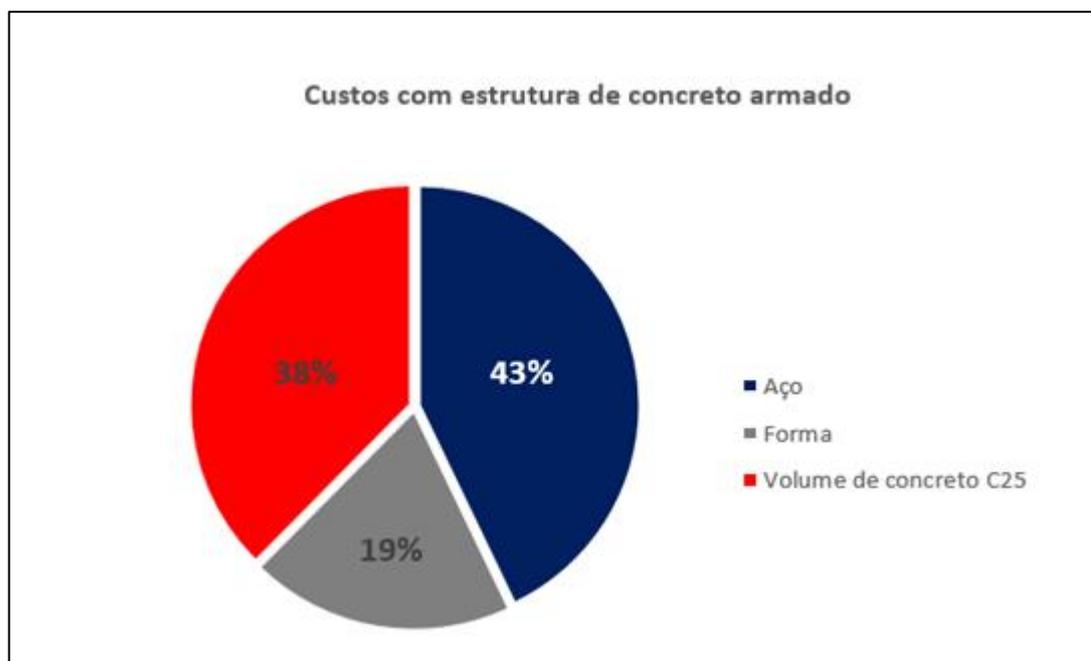
Tabela 2: Custo total da estrutura de concreto armado

Descrição	Vigas	Pilares	Total	Custo(R\$)	Custo total(R\$)
Volume de concreto C25(m <sup>3</sup> )	18,04	12,65	30,69	290,74	8922,8106
Área de forma(m <sup>2</sup> )	259,93	201,55	461,48	10,00	4614,8
Aço			-		10174,14
<b>Custo total (R\$)</b>					<b>R\$ 23.711,75</b>

Fonte: Elaborado pelo autor

O gráfico 1 ilustra o percentual dos custos relacionados ao aço, a forma e ao concreto obtidos para execução em concreto armado.

Gráfico 1– Percentual de custos na obra com estrutura de concreto armado



Fonte: Elaborado pelo autor

#### 4.2. Orçamento da estrutura de aço laminado

A quantidade de aço laminado, armadura e o volume de concreto necessários para a estrutura foram gerados pelo software, conforme ilustrado nas Figuras 43, 44 e 45. Também foram levantados os custos de forma semelhante ao item anterior, utilizando apenas os valores obtidos das vigas e pilares. Para essa estrutura foram consideradas os baldrame e pilaretes em concreto armado.

Figura 43– Quantitativos de vigas Cypecad

Relatório quantitativos de vigas						
Obra: TCC COMPARATIVO						
Data: 20/10/2019 20:51:10						
<b>Materiais:</b>						
Concreto: C25, em geral						
Aço: CA-50 e CA-60						
Aço Perfis:						
Laminado e soldado: A-36 , 250.00 MPa						
Dobrado: A-36, 250.00 MPa						
<b>Resumo de quantitativos (+10%)</b>						
	Tipo Aço	Ø5 kg	Ø6.3 kg	Ø8 kg	Ø10 kg	Total kg
Baldrames	CA-50 e CA-60	93.0	3.1	104.1		200.2
Garagem	CA-50 e CA-60	40.4	2.5	43.0	6.1	92.0
<b>Total Obra</b>		<b>133.4</b>	<b>5.6</b>	<b>147.1</b>	<b>6.1</b>	<b>292.2</b>
<b>Resumo de quantitativos (Perfis)</b>						
		C.perf. m	P.perf. kg			
<b>Aço laminado e soldado ( A-36 )</b>						
<b>I</b>						
	W 150 x 13	207.41	2702.70			
	W 200 x 19.3	23.67	466.35			
	W 200 x 31.3	7.80	246.76			
	W 250 x 17.9	6.30	114.24			
	<b>Total I</b>	<b>245.18</b>	<b>3530.05</b>			
	<b>Total Aço laminado e soldado ( A-36 )</b>	<b>245.18</b>	<b>3530.05</b>			
	<b>Total Obra</b>	<b>245.18</b>	<b>3530.05</b>			

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 44– Quantitativos de perfil para os pilares Cypecad

Aço em perfis laminados: A-36			
Resumo de quantitat.			
Tipo aço	Tipo perfil	Comprimento (m)	Peso (Kg)
Aços laminados	W 200 x 35.9	132.00	4734
	<b>Total</b>		<b>4734</b>
<b>Total obra</b>			<b>4734</b>

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 45– Quantitativos de aço para os pilares Cypecad

Aço em barras e estribos: CA-50 e CA-60						
Resumo de quantitat. (+10%)						
Piso	Tipo aço	Diam.	Comprimento (m)	Peso (Kg)	Formas m2	Concreto m3
Piso 1	Aço em barras	Ø10	52.50	36		
	Aço em estribos	Ø5	116.30	20		
	Aço em arranques	Ø10	40.18	27		
	<b>Total</b>			<b>83</b>	<b>5.80</b>	<b>0.38</b>
Piso 3	Aço em barras	Ø10	83.68	57		
	Aço em estribos	Ø5	165.92	29		
	Aço em arranques	Ø10	25.12	17		
	<b>Total</b>			<b>103</b>	<b>13.20</b>	<b>0.68</b>
<b>Totais</b>	Aço em barras	Ø10	136.18	93		
	Aço em estribos	Ø5	282.22	49		
	Aço em arranques	Ø10	65.30	44		
<b>Total obra</b>			<b>186</b>	<b>19.00</b>	<b>1.06</b>	

Fonte: Elaborado pelo autor

Foram elaboradas tabelas para mensurar os custos com a parte da estrutura de concreto armado, ilustradas nas Tabelas 3 e 4.

Tabela 3: Discriminação do custo das armaduras

Aço	Diâmetro (mm)	Peso + 10%(Kg)			Peso da barra de 12m	Número de barras aproximado	Número de barras	Custo Unitário da barra(R\$)	Custo por Diâmetro (R\$)
		Vigas	Pilares	Total					
CA50	6.3	5,6	-	5,6	2,94	1,9	2	8,79	16,74
	8.0	147,1	-	147,1	4,74	31,0	31	19,49	604,85
	10.0	6,1	274	280,1	7,404	37,8	38	28,90	1093,31
	12.5	-	-	0	11,556	0,0	0	43,21	0,00
	16.0	-	-	0	18,963	0,0	0	70,90	0,00
CA60	5.0	133,4	98	231,4	1,848	125,2	125	10,69	1338,56
<b>Custo total (R\$)</b>								<b>R\$ 3.053,47</b>	

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 4: Custo da estrutura de concreto armado

Descrição	Vigas	Pilares	Total	Custo(R\$)	Custo total(R\$)
Volume de concreto C25(m <sup>3</sup> )	6,46	1,06	7,52	290,74	2186,3648
Área de forma(m <sup>2</sup> )	41,93	19	60,93	10,00	609,3
Aço				-	3053,47
<b>Custo total (R\$)</b>				<b>R\$ 5.849,13</b>	

Fonte: Elaborado pelo autor

Com a relação dos perfis metálicos das vigas e pilares, a estrutura foi orçada através do valor do quilograma dos perfis laminados I e H, obtidos na tabela SINAPI2019 (Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil) de Belo Horizonte, MG, cujo valor é R\$5,82/Kg. Logo, foi calculado o custo total em relação ao peso de toda estrutura necessária, através da multiplicação da massa nominal (kg) pelo preço do quilo (5,82). A Tabela 5 demonstra um resumo com o custo total da estrutura metálica.

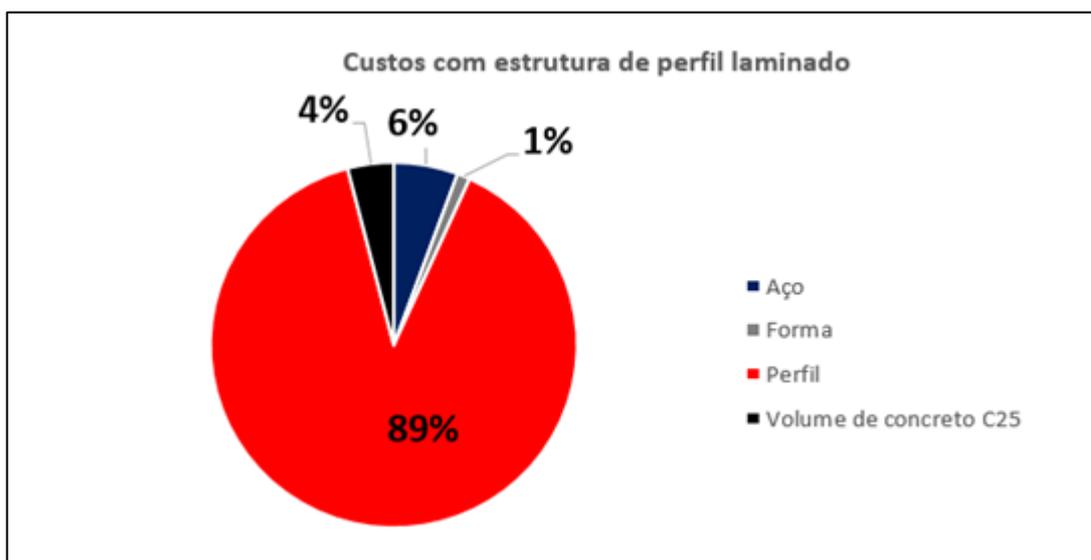
Tabela 5: Custo total da estrutura

Descrição	Vigas(kg)	Pilares(kg)	Total(kg)	Custo por kg(R\$)	Custo total(R\$)
Perfil	3530	4734	8264	5,82	48096,48
Est. Convencional			-		5849,13
<b>Custo total (R\$)</b>				<b>R\$ 53.945,61</b>	

Fonte: Elaborado pelo autor

O Gráfico 2 apresenta o percentual de custos na obra com a estrutura de perfil laminado.

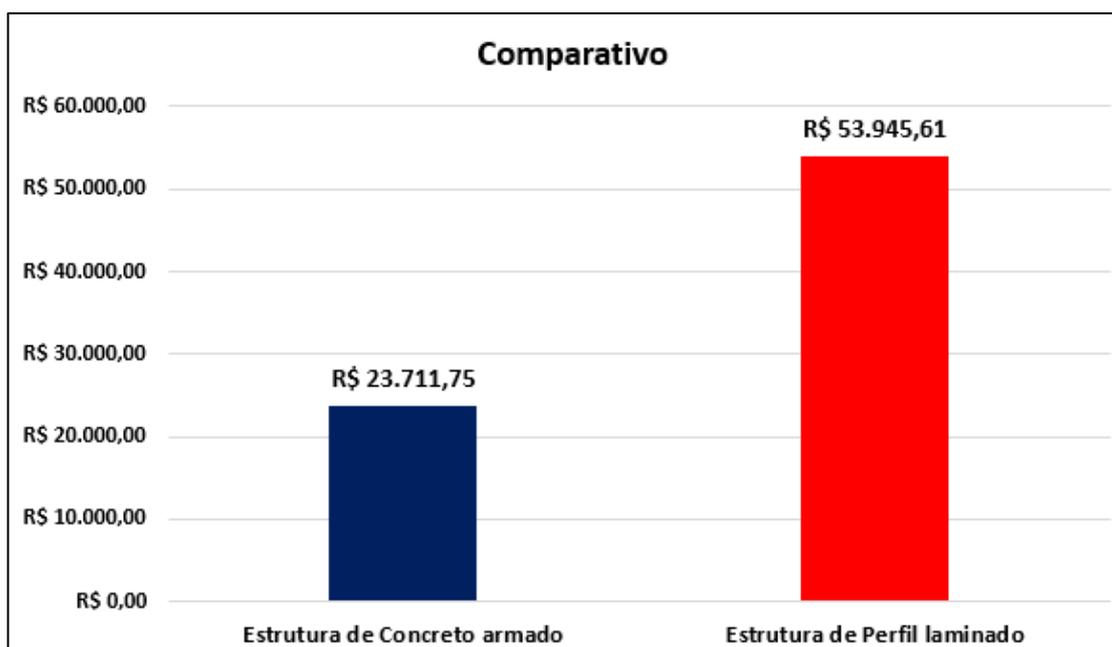
Gráfico 2 - Percentual de custos na obra com estrutura de perfil laminado



Fonte: Elaborado pelo autor

O Gráfico 3 ilustra a diferença de valores gastos entre as estruturas dimensionadas para os fins comparativos.

Gráfico 3 – Gráfico comparativo entre as estruturas



Fonte: Elaborado pelo autor

## 5. CONCLUSÃO

Através do presente estudo comparativo das estruturas dimensionadas em concreto armado e perfil laminado, tendo como base uma edificação residencial a ser construída em Conselheiro Lafaiete, utilizando os softwares Eberick e Cypecad, foi possível chegar aos projetos e dimensionamentos detalhados das estruturas, bem como seus quantitativos de materiais para as estruturas de vigas e pilares, que foram o principal foco do estudo comparativo.

Levou-se em consideração somente os custos com materiais (relacionados às vigas baldrame, pilares e vigas), não sendo mensurados os custos com mão de obra e equipamentos, tendo assim em vista que o estudo feito para o dimensionamento da estrutura de concreto armado teria de um custo de R\$23.711,75 enquanto a estrutura de perfil laminado, dimensionada com os mesmos critérios do dimensionamento convencional, seria de valor R\$53.945,612.

Com a significativa diferença entre os valores orçados, tem-se como uma primeira opção (avaliando somente os custos de material) a estrutura de concreto armado, visto que a diferença entre os custos orçados é de 227,51%.

Portanto, a economia de uma obra com estrutura metálica depende de diversos fatores quando comparada a uma com estrutura de concreto armado. Por esse motivo devem ser muito bem analisadas para obter um melhor custo benefício e ser assertivo na escolha do sistema construtivo ideal.

É importante ressaltar que existem parâmetros não avaliados neste estudo que podem influenciar nas vantagens de cada sistema construtivo. As estruturas metálicas geram esforços menores para a fundação, tem o tempo reduzido para construção, não necessita de formas. Em comparação, o sistema construtivo em concreto armado não exige mão de obra especializada, sendo mais barato e acessível.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALONSO, Urbano Rodriguez, **Exercícios de Fundações**, 2ª Edição – 2010 – Ed. Edgar Blucher Ltda.,1977.

ALTOQI. (28 de 05 de 2019). **O que o Eberick faz**. Fonte: AltoQI: Disponível em <https://www.altoqi.com.br/eberick/>

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, 1980.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8681. Ações e segurança nas estruturas - procedimento. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS: NBR 6122: Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS: NBR 6123: Forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro, 1988.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS: NBR 14931: Execução de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS: NBR 15270-1: Componentes cerâmicos Parte 1: Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação — Terminologia e requisitos. Rio de Janeiro, 2005.

AZEREDO, Hélio Alves de. **O Edifício Até sua Cobertura**. São Paulo. Ed. Edgar Blucher Ltda., 1977.

CARVALHO, Kelly. (2014) **Cuidados em todo o processo de concretagem de lajes**, Disponível em: <http://construcaomercado17.pini.com.br/negocios-incorporacao-construcao/155/cuidados-em-todo-o-processo-de-concretagem-de-lajes-desde-313039-1.aspx>. Acesso em 31/05/2019.

FABRÍCIO, MÁRCIO M. e ROSSIGNOLO JOÃO A. **FUNDAÇÕES, SAP0653 – Tecnologia das Construções II.2015**. Disponível em: <http://www.profwillian.com/sistemas>. Acesso em 01/06/2019.

FRANCESCHI LUCAS (2019). **Principais configurações de dimensionamento no Eberick**. Disponível em: <https://suporte.altoqi.com.br/>. Acesso em 02/06/2019.

LEI COMPLEMENTAR Nº 31, DE 04 DE ABRIL DE 2011. Disponível em: <https://sapl.conselheirolafaiete.mg.leg.br/norma/52> Acesso em 10/05/2019.

LOPES, J. A. E. **Produtividade da mão de obra em projetos de estruturas metálicas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

MULTIPLUS, Softwares Técnicos (2019). **Software para cálculo estrutural e projeto estrutural em concreto armado, pré-moldado, protendido e misto de concreto-aço**. Disponível em: <https://multiplus.com/software/cypecad/>. Acesso em 20/04/2019.

PEREIRA, Caio. **Noções básicas de Fundações..2018** Disponível em: <https://www.escolaengenharia.com.br/nocoas-basicas-de-fundacoes/> Acesso em: 01/06/2019.

PEREIRA, Caio. **Laje Pré-Moldada: O que é, principais tipos e vantagens.2019** Disponível em: [www.escolaengenharia.com.br/tubulao-a-ceu-aberto/](http://www.escolaengenharia.com.br/tubulao-a-ceu-aberto/). Acesso em: 01/06/2019.

PEREIRA, Alessandro Guimarães (Cuiabá - MT 2013). **Técnicas de Construção**  
Disponível em:

[http://www.gestaoescolar.diaadia.pr.gov.br/arquivos/File/proffuncionario/cadernos/disc\\_ft\\_ie\\_cad\\_12\\_md\\_tecnicas\\_de\\_construcao.pdf](http://www.gestaoescolar.diaadia.pr.gov.br/arquivos/File/proffuncionario/cadernos/disc_ft_ie_cad_12_md_tecnicas_de_construcao.pdf). Acesso em 20/05/2019.

PINHEIRO, Libânio M. e Razente, Júlio A. USP – EESC – Departamento de Engenharia de Estruturas. 2003. **ESTRUTURAS DE CONCRETO**. Disponível em:  
<http://www.set.eesc.usp.br/mdidatico/concreto/Textos>. Acesso em 31/05/2019.

SANTOS, Roberto Eustáquio dos (2006). **A cultura do concreto armado no Brasil: educação e deseducação dos produtores do espaço construído**. In: *Anais do IV Congresso Brasileiro de História da Educação*. Goiânia: Universidade Católica de Goiânia, 2006. Disponível em:

[http://www.mom.arq.ufmg.br/mom/05\\_biblioteca/acervo/santos\\_cultura/santos\\_cultura.htm](http://www.mom.arq.ufmg.br/mom/05_biblioteca/acervo/santos_cultura/santos_cultura.htm).

SIQUEIRA, Antônio Augusto Sousa(2018). **Eberick, o software para cálculo estrutural**(25 Jan 2018). Disponível em: <https://www.engenhariamoderna.net/single-post/2018/01/25/Eberick-o-software-para-c%C3%A1lculo-estrutural>. Acesso em 20/04/2019.

SILVA, V.P. **Pré-dimensionamento das lajes de concreto, vigas e pilares de aço**. Escola Politécnica da USP, 2004. Disponível em:  
<http://www.lmc.ep.usp.br/disciplinas/pef2603/lajes.pdf>. Acesso em 31/05/2019.

SCHMITZHAUS, Felipe (27 de abril de 2015). **Perfis Estruturais de Aço: O que é um Perfil Laminado?**

Disponível em: <http://felipeschmitzhaus.blogspot.com/2015/04/perfis-estruturais-de-aco-o-que-e-um.html>. Acesso em 20/05/2019.

## 7. ANEXOS

### Anexo 1 – Lei de uso e ocupação do solo

#### Seção III

#### Zona Residencial 3 - ZR3 (Cor Azul Claro)

Art. 18 - A Zona Residencial 3 (ZR3), compreende áreas residenciais onde são permitidos outros usos não prejudiciais à função residencial, observado o disposto no art. 19 desta Lei Complementar.

Art. 19 - Observadas as definições constantes no Capítulo VI desta Lei Complementar, na Zona Residencial 3 (ZR3) serão permitidas as seguintes categorias de uso:

- I - residencial unifamiliar;
- II - residencial multifamiliar horizontal;
- III - residencial multifamiliar vertical;
- IV - comércio de atendimento local;
- V - serviços de atendimento local;
- VI - institucional local;
- VII - institucional de bairro.

7

Avenida Prefeito Mário Rodrigues Pereira, 10 – Centro – Conselheiro Lafaiete.



**GOVERNO DO MUNICÍPIO DE CONSELHEIRO LAFAIETE**  
**GABINETE DO PREFEITO**

§1º - Dentre os usos referidos no “caput” deste artigo, ficam terminantemente proibidos aqueles que, a juízo da autoridade competente, provoquem ruídos, odores, gases, poeira, fumaça ou qualquer outra emanção incômoda ou prejudicial à vizinhança.

§2º - Ficará, também, a juízo da autoridade competente, quando de interesse público, determinar que se aplique somente as categorias de uso previstas nos incisos I, II, III e VI do caput deste artigo, devendo neste caso ser classificado como Zona Residencial 3 Especial (ZR3E).

Art. 20 - As categorias de usos de que trata o art. 19 desta Lei Complementar deverão se enquadrar nas características dos Modelos de Ocupação (MO) indicados no quadro a seguir:

Índice de Aproveitamento	4,5 (quatro vírgula cinco)
Taxa de Ocupação	85% (oitenta e cinco por cento)
Afastamento Frontal	1,5 (um vírgula cinco) metro
Afastamento de Fundos	1,5 (um vírgula cinco) metro
Afastamento Lateral	Zero no térreo/subsolo 1,5 (um vírgula cinco) metro nos demais pavimentos, de cada lado
Número de Pavimentos	4 (quatro)
Taxa de Permeabilidade	15% (quinze por cento)
Altura Máxima	16 (dezesesseis) metros

Fonte: LEI COMPLEMENTAR Nº 31, DE 04 DE ABRIL DE 2011

## Anexo 2 – Classes de agressividade ambiental

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana <sup>1), 2)</sup>	Pequeno
III	Forte	Marinha <sup>1)</sup>	Grande
		Industrial <sup>1), 2)</sup>	
IV	Muito forte	Industrial <sup>1), 3)</sup>	Elevado
		Respingos de maré	

<sup>1)</sup> Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

<sup>2)</sup> Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) em: obras em regiões de clima seco, com umidade relativa do ar menor ou igual a 65%, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos, ou regiões onde chove raramente.

<sup>3)</sup> Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

Fonte: NBR 6118/2014, pag.16

## Anexo 3 – Classes de agressividade ambiental e cobrimento nominal

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental (tabela 6.1)			
		I	II	III	IV <sup>3)</sup>
		Cobrimento nominal mm			
Concreto armado	Laje <sup>2)</sup>	20	25	35	45
	Viga/Pilar	25	30	40	50
Concreto protendido <sup>1)</sup>	Todos	30	35	45	55

<sup>1)</sup> Cobrimento nominal da armadura passiva que envolve a bainha ou os fios, cabos e cordoalhas, sempre superior ao especificado para o elemento de concreto armado, devido aos riscos de corrosão fragilizante sob tensão.

<sup>2)</sup> Para a face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contrapiso, com revestimentos finais secos tipo carpete e madeira, com argamassa de revestimento e acabamento tais como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros tantos, as exigências desta tabela podem ser substituídas por 7.4.7.5, respeitado um cobrimento nominal  $\geq 15$  mm.

<sup>3)</sup> Nas faces inferiores de lajes e vigas de reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos, a armadura deve ter cobrimento nominal  $\geq 45$  mm.

Fonte: NBR 6118/2014, pag.19