

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
ENGENHARIA CIVIL

ISAAC SAAR SOARES

PEDRO HENRIQUE NONATO DA LUZ LAGO TEIXEIRA

**SISTEMA INDUSTRIALIZADO DE UMA EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL DE
MÚLTIPLOS ANDARES EM ESTRUTURA METÁLICA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA/PR

2021

ISAAC SAAR SOARES

PEDRO HENRIQUE NONATO DA LUZ LAGO TEIXEIRA

**SISTEMA INDUSTRIALIZADO DE UMA EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL DE
MÚLTIPLOS ANDARES EM ESTRUTURA METÁLICA**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação,
apresentado como requisito parcial à obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Civil, do
Departamento Acadêmico de Construção Civil -
DACOC, da Universidade Tecnológica Federal do
Paraná – UTFPR, Campus Curitiba.

Orientadora: Prof.^a Dra. Érica Fernanda Aiko
Kimura

CURITIBA/PR

2021

FOLHA DE APROVAÇÃO
SISTEMA INDUSTRIALIZADO DE UMA EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL DE
MÚLTIPLOS ANDARES EM ESTRUTURA METÁLICA

Por

ISAAC SAAR SOARES

PEDRO HENRIQUE NONATO DA LUZ LAGO TEIXEIRA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, defendido e aprovado no primeiro
semestre de 2021, pela seguinte banca de avaliação presente:

Orientadora – Prof.^a Érica Fernanda Aiko Kimura, Dra.

UTFPR

Prof. José Manoel Caron, MSc

UTFPR

Prof.^a Renata Sá Brito Stramandinoli, Dra.

UTFPR

“A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso”

UTFPR - Deputado Heitor de Alencar Furtado, 5000- Curitiba - PR Brasil

www.utfpr.edu.br/dacoc-ct@utfpr.edu.br telefone DACOC: (041) 3279-4500

As invenções são, sobretudo, o resultado de um trabalho teimoso, em que não deve haver lugar para o esmorecimento.

(DUMONT, Santos)

RESUMO

SOARES, I. S.; TEIXEIRA, P. H. N. L. L. **Sistema Industrializado de uma Edificação Residencial de Múltiplos Andares em Estrutura Metálica.** 2021. 82 Páginas. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2021.

A crescente demanda de construções de baixo custo para atendimento da população de baixa renda tensiona a indústria da construção a buscar novas alternativas. Dentre as diversas opções, há a estrutura metálica industrializada. Utilizando-se dos critérios de dimensionamentos estabelecidos em normas, racionalização da estrutura e normas de habitabilidade, este trabalho visou não tão somente o dimensionamento estrutural de perfis metálicos, como também o estabelecimento de uma estrutura que atenda aos requisitos técnicos de habitabilidade do Programa Minha Casa, Minha Vida, possua uma fácil instalação, reduzidos custos de mão de obra, baixa produção de resíduos e alta aplicabilidade nos mais diversos cenários brasileiros.

Palavras-chave: Estrutura metálica. Habitação. Construção Industrializada.

ABSTRACT

SOARES, I. S.; TEIXEIRA, P. H. N. L. L. **Industrialized System in Structural Steel of a Multi-storey Residential Building**. 2021. 82 Pages. Undergraduate Thesis (Bachelor Degree in Civil Engineering) - Federal Technology University - Paraná. Curitiba, 2021.

The growing demand for low-cost housing to serve the low-income population forces the construction industry to seek new alternatives. Among the various options, there is the industrialized steel structure. By mean of the design criteria established in standards, rationalization of the structure and habitability standards, this work aims not only at the structural design of laminated steel profiles, but also at establishing a structure that meets the technical requirements for habitability of the Minha Casa, Minha Vida Program, having an easy installation, reduced labor costs, low waste production and high applicability in the most diverse Brazilian scenarios.

Keywords: Structural Steel. Housing. Industrialized Construction.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Unidades modulares utilizadas em uma construção	20
Figura 2 - Curva típica de tensão e deformação do aço laminado a quente	23
Figura 3 – Principais tipos de produtos laminados de utilização estrutural: (a) barras com diversas seções transversais, (b) chapas, (c) perfis estruturais laminados, (d) trilhos, (e) tubo quadrado, (f) tubo redondo	26
Figura 4 - Elementos da laje em Painel Wall	27
Figura 5 – Relação entre momento e rotação da estrutura em diferentes tipos de ligações	42
Figura 6 - Exemplos de ligações flexíveis	44
Figura 7 - Representação do comportamento de ligação rígida	45
Figura 8 - Exemplos de ligações rígidas	45
Figura 9 - Parafuso	46
Figura 10 – Momento torçor resultado do binário	47
Figura 11 – Momento fletor solicitante em ligações rígidas	48
Figura 12 - Planta adotada – Pavimento térreo	53
Figura 13 - Planta adotada – Pavimento Tipo	53
Figura 14 – Vista frontal	54
Figura 15 – Vista lateral	54
Figura 16 – Planta estrutural	55
Figura 17 – Renderização	56
Figura 18 – Planta estrutural do pavimento tipo	58
Figura 19 – Planta estrutural da cobertura	59
Figura 20 – Esforços P1	60
Figura 21 – Esforços V101	60
Figura 22 – Esforços V104	60
Figura 23 – Esforços V108	60
Figura 24 – Esforços V110	60
Figura 25 – Esforços V121	60
Figura 26 – Esforços V124	60
Figura 27 – Esforços V126	60
Figura 28 – Vista arquitetônica	61
Figura 29 – Vista estrutural	62
Figura 30 – Detalhe 1	62

Figura 31 – Detalhe 2	63
Figura 32 – Detalhe 3	63
Figura 33 – Detalhe 4	64
Figura 34 – Detalhe 5	64
Figura 35 – Detalhe 6	65

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Determinação dos parâmetros da escada	30
Equação 2 - Limite de esbeltez na compressão	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Deslocamentos máximos	51
Tabela 2 – Relação de esquadrias.....	55
Tabela 3 – Pré-dimensionamento de pilares.....	56
Tabela 4 – Pré-dimensionamento das vigas	57
Tabela 5 – Ações atuantes	57
Tabela 6 – Peso próprio.....	57
Tabela 7 – Principais esforços.....	59
Tabela 8 – Perfis dimensionados.....	60
Tabela 9 – Relação de ligações.....	61
Tabela 10 – Orçamento de revestimentos.....	65
Tabela 11 – Orçamento de esquadrias.....	66
Tabela 12 – Orçamento de perfis metálicos	66
Tabela 13 – Resumo do orçamento	67
Tabela 13 – Valores atualizados.....	72
Tabela 14 – Comparação de valores.....	72
Tabela 15 – Análise do desperdício.....	73

LISTA DE DIAGRAMAS

Diagrama 1 – Ações atuantes	32
Diagrama 2 – Resistência à tração.....	35
Diagrama 3 – Resistência à compressão.....	36
Diagrama 4 – Casos de flambagem da seção	37
Diagrama 5 – Resistência à flexão - FLT	37
Diagrama 6 – Resistência à flexão - FLM.....	38
Diagrama 7 – Resistência à flexão - FLA.....	38
Diagrama 8 – Resistência ao cisalhamento	40
Diagrama 9 – Flexo-compressão	41
Diagrama 10 – Parâmetros das ligações.....	43
Diagrama 11 – Verificação do parafuso	47
Diagrama 12 – Verificação das cantoneiras/chapas	48
Diagrama 13 – Verificação da solda.....	50

LISTA DE SIGLAS E ACRÔNIMOS

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnica
NBR	Norma Brasileira
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ELU	Estado-Limite Último
ELS	Estado-Limite de Serviço
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
ASTM	American Society for Testing and Materials
PMCMV	Programa Minha Casa, Minha Vida
INCC	Índice Nacional da Construção Civil

LISTA DE ACRÔNIMOS

PIB	Produto Interno Bruto
ONU	Organização das Nações Unidas
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
SINAPI	Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
1.1 JUSTIFICATIVA	15
1.2 OBJETIVOS	15
1.1.1 Objetivo Geral	15
1.1.2 Objetivos Específicos	15
1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....	16
2. REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1 CENÁRIO ATUAL DA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	17
2.2 HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL	17
2.2.1 Minha casa, Minha vida.....	18
2.3 CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA	18
2.4 SISTEMAS INDUSTRIAIS MODULARES	20
2.5 O AÇO COMO MATERIAL ESTRUTURAL.....	21
2.5.1 Propriedades Mecânicas do Aço.....	21
2.6 PERFIS DE AÇO LAMINADOS.....	25
2.7 ANÁLISE DE SEGUNDA ORDEM.....	26
2.8 PAINEL WALL.....	26
2.9 REFERENCIAL NORMATIVO PARA PROJETO DE ESTRUTURAS EM AÇO	28
2.10 Habitabilidade	28
3. METODOLOGIA.....	31
3.1 DETERMINAÇÃO DA EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL	31
3.2 POSICIONAMENTO DOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS	31
3.3 PRÉ-DIMENSIONAMENTO	32
3.4 DETERMINAÇÃO DAS AÇÕES	32
3.4.1 Ações permanentes	33

3.4.2	Ações variáveis.....	33
3.5	ANÁLISE ESTRUTURAL	33
3.6	VERIFICAÇÃO DA RESISTÊNCIA	34
3.6.1	Peças Sujeitas à Tração.....	34
3.6.2	Peças Sujeitas à Compressão.....	36
3.6.3	Peças Sujeitas à Flexão.....	37
3.6.4	Peças Sujeitas à Esforço Cortante	39
3.6.5	Barras Submetidas à Esforços Combinados	41
3.7	DETERMINAÇÃO DAS LIGAÇÕES.....	41
3.7.1	Barras com Ligações Flexíveis.....	43
3.7.2	Barras com Ligações Rígidas	44
3.7.3	Conexões Parafusadas	46
3.7.4	Conexões Soldadas.....	50
3.7.5	Verificação do ELS	51
3.8	DETALHAMENTO	51
3.9	ORÇAMENTO	52
4.	DESENVOLVIMENTO.....	53
4.1	DETERMINAÇÃO DA EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL	53
4.2	POSICIONAMENTO DOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS.....	55
4.3	PRÉ-DIMENSIONAMENTO	56
4.4	DETERMINAÇÃO DAS AÇÕES	57
4.5	ANÁLISE ESTRUTURAL	58
4.6	VERIFICAÇÃO DAS RESISTÊNCIAS.....	60
4.7	DETERMINAÇÃO DAS LIGAÇÕES.....	61
4.8	DETALHAMENTO	61
4.9	ORÇAMENTO	65
5.	LOGISTICA DE TRANSPORTE E MONTAGEM.....	68

5.1	TRANSPORTE DOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS.....	68
5.1.1	Tipos de veículos de transporte	69
5.2	MONTAGEM DOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS	70
6.	ANÁLISE DOS RESULTADOS	72
6.1	COMPARAÇÃO DOS CUSTOS.....	72
6.2	ANÁLISE DOS DESPERDÍCIOS	73
7.	CONCLUSÃO.....	75
	REFERÊNCIAS.....	76

1. INTRODUÇÃO

Com o avanço da construção civil, o uso dos elementos de aço tem se ampliado cada vez mais neste setor e, consolidando conceitos de modulações industrializadas e montagem *in loco*. Entretanto, apesar deste avanço, no Brasil as edificações construídas utilizando como elemento estrutural o aço, ainda não fazem parte da maioria. Contudo, é perceptível que, havendo a possibilidade de industrialização no modelo de construção de uma edificação residencial de baixo custo e de múltiplos andares utilizando as estruturas metálicas de maneira adequada, aumenta-se a popularidade deste modelo de edificação.

Sendo assim, como em outros ramos de atividade, o processo executivo deve ser atualizado conforme surjam novas tecnologias. Neste sentido, é importante que se estude alternativas para as soluções de engenharia de forma que se mantenham as características positivas e efetivas, e que se reduzam os gastos, resíduos e tempo de execuções desnecessário.

Este trabalho tem como tema principal estudar as possibilidades de se industrializar o processo de construção de uma edificação residencial de múltiplos andares em estruturas metálicas, utilizando o sistema modular como método construtivo e industrializado constituído de perfis metálicos laminados para compor os elementos estruturais da edificação. É previsto a compatibilização da estrutura com os demais elementos de vedação, piso e cobertura para análise de viabilidade.

Segundo Pfeil e Pfeil (2010), os elementos que normalmente compõem uma estrutura metálica, que atendem a Norma Brasileira (NBR) 8800:2008 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e satisfazem a necessidade de absorver as cargas de maneira efetiva são os elementos de aço do tipo laminado, soldado e forjado. Já os perfis formados a frio são cada vez mais viáveis para uso na construção civil, em vista da rapidez e economia. Para o dimensionamento desse elemento, é necessário conhecer com detalhes o seu comportamento estrutural, pois este possui algumas particularidades em relação às demais estruturas quando se refere ao dimensionamento (SILVA; PIERIN; SILVA, 2014).

1.1 JUSTIFICATIVA

Com o rápido avanço da tecnologia, as possibilidades e processos construtivos são ampliados permitindo que o planejamento e a execução das obras residenciais sejam mais rápidos e eficazes. Dito isso, com o intuito de garantir o melhor desempenho e viabilidade na execução das obras, é preciso que sejam utilizados os materiais mais adequados para cada finalidade.

Com o uso deste material o processo de industrialização torna-se mais eficaz, podendo ser ampliado sua capacidade de produção em construções mais enxutas, e isso, pode resultar em construções mais sustentáveis, e possivelmente mais baratas e viáveis.

O aço é um dos materiais que são mais utilizados na construção civil, e este dado está relacionado com sua ampla aplicabilidade, podendo ser empregado de maneira associada ao concreto ou servindo como elemento principal de sustentação da própria supraestrutura.

1.2 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Este trabalho propõe um modelo industrializado de uma edificação residencial de múltiplos andares e de baixo custo em estrutura de aço, efetuando-se o detalhamento da edificação e dos sistemas de ligações, considerando os custos, simplicidade de detalhamento, tempo de execução e critérios relacionados a sustentabilidade.

1.1.2 Objetivos Específicos

São objetivos específicos deste trabalho:

- Concepção de um sistema estrutural metálico em perfis laminados;
- Análise das cargas e dimensionamento dos perfis metálicos e ligações;
- Elaboração de detalhamento de forma otimizada, ou seja, com o máximo de padronização de componentes, perfis e ligações.

1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho está estruturado de forma a fornecer as informações mais relevantes para aplicação do aço em edifícios residenciais. Dessa forma, foi organizado nos seguintes capítulos:

1. Introdução: contextualização do trabalho por meio de uma abordagem do material estrutural e o processo de industrialização da construção em aço. Na sequência, apresentam-se os objetivos e justificativas para o desenvolvimento do presente trabalho.
2. Referencial Bibliográfico: Um breve estado da arte em que se abordam o perfil habitacional do país, assim como casos bem sucedidos nessa temática. O referencial teórico aborda as características do material aço e de sistemas estruturais leves. Em seguida, os aspectos envolvidos no desenvolvimento do projeto estrutural, com base nas normas técnicas vigentes, são detalhadamente comentados.
3. Metodologia: São comentadas etapas de desenvolvimento do projeto, desde a sua concepção até o levantamento do custo.
4. Desenvolvimento: Fase de definição do projeto arquitetônico, pré-dimensionamento dos componentes estruturais, análise do comportamento estrutural por meio de modelagem numérica, dimensionamento de componentes e ligações, logística de transporte e montagem e levantamento de custos.
5. Logística de Transporte e montagem.
6. Análise dos resultados.
7. Conclusão: Conclusão do estudo e propostas de pesquisas futuras.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 CENÁRIO ATUAL DA CONSTRUÇÃO CIVIL

A Indústria da Construção Civil é um dos setores mais importantes para a economia. O desenvolvimento e a capacidade de produção do país estão relacionados diretamente com o crescimento deste setor (Firjan, 2020).

Nos últimos 10 anos o segmento passou por um significativo processo de expansão no Brasil, com o crescimento do Produto Interno Bruto (PIB) do setor superando o do país. Mesmo considerando os efeitos da crise internacional, esse dinamismo vem sendo sustentado, o que implica novos desafios em relação à inovação, tecnologia, qualificação profissional e ao estabelecimento de ambientes de negócios que favoreçam a produtividade, a competitividade empresarial e o desenvolvimento do país.

A construção civil é dividida em dois segmentos principais: edificações e construção pesada (Andrade; Gomes, 2017, p. 2). O segmento de edificações é composto por obras habitacionais, comerciais, industriais, sociais e destinadas a atividades culturais, esportivas e de lazer. Esse segmento é caracterizado pelo grande consumo de material de construção e pela grande intensidade de mão de obra. Nesse segmento, predomina a construção habitacional com 53% do valor das obras em 2002, de acordo com a Pesquisa Anual da Indústria da Construção (PAIC), do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

2.2 HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL

O acesso à moradia é um direito básico garantido por lei (LEI N° 11.124, 2005) e que deve ser cumprido mesmo às famílias que não conseguem adquiri-la de acordo com as condições de mercado. A habitação é uma necessidade humana básica para a reprodução social dos indivíduos, sejam eles pobres, sejam ricos; morem na pequena cidade ou na metrópole (BUONFIGLIO, 2018).

As habitações de interesse social, em termos gerais, são aquelas destinadas às populações cujo nível de renda dificulta ou impede o acesso à moradia formal. Segundo o relatório de 2016 do Programa das Nações Unidas para os Assentamentos Humanos (ONU-HABITAT), existem 881 milhões de pessoas vivendo em favelas nas cidades dos países em desenvolvimento, e se estima que até 2025 seja provável que outras 1,6 bilhões de pessoas

precisem de moradia adequada e acessível. Neste aspecto, a discussão sobre Habitação de Interesse Social e sobre soluções alternativas com estudos de projetos de edificações residenciais multifamiliares, tem se tornado cada vez mais frequente nesse âmbito de solucionar parte do déficit habitacional.

2.2.1 Minha casa, Minha vida

O Programa Minha Casa, Minha Vida (PMCMV) foi estabelecido em 2009, visando facilitar a aquisição de imóveis por famílias com renda familiar entre zero e dez salários mínimos (AMICO, 2011). Segundo a Lei nº 11.977, de julho de 2009, o programa visa atingir seu objetivo por meio de alguns mecanismos, estando entre os principais, o subsídio à pessoa física no ato do financiamento e o subsídio por meio do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico Social (BNDES) às empresas.

O programa exige que as casas financiadas possuam no mínimo as seguintes especificações:

- Dois dormitórios;
- Sala de estar/refeições;
- Cozinha;
- Banheiro;
- Área de serviço;
- Área mínima de 39 m²;
- Atendimento ao mobiliário mínimo estabelecido pela Portaria 660/2018 do Ministérios das Cidades.

Neste cenário, uma possível solução para o desenvolvimento de habitações de interesse social em grande escala pode ser relacionada ao desenvolvimento de construções modulares industrializadas, o que reduziria o tempo de execução e conseqüentemente o custo.

2.3 CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA

A Revolução Industrial, iniciada na Inglaterra no século XVIII, trouxe mudanças econômicas e sociais com a evolução dos processos produtivos e uma nova concepção entre o trabalho humano e as máquinas. No século XIX a Revolução se internacionalizou, com as

novas técnicas industriais utilizando-se de um volume bem maior de matérias primas, visando única e exclusivamente ao crescimento comercial e econômico de alguns países.

A principal característica da Revolução Industrial foi a criação do sistema fabril mecanizado, isto é, as fábricas passaram da simples produção manufaturada para a complexa substituição do trabalho manual por máquinas. Essa substituição implicou na aceleração da produção de mercadorias, que passaram a ser produzidas em larga escala.

A necessidade de otimização dos serviços em todos os campos da indústria da construção civil, desde a administração do empreendimento até a montagem dos componentes na obra, fez com que os processos construtivos sofressem uma mudança radical. A racionalização da execução da obra foi o primeiro passo para a evolução desses processos, e isso inclui a distribuição dos produtos, limpeza e agilidade no canteiro, especialização dos profissionais envolvidos, maior controle das atividades exercidas durante o processo, busca da qualidade, utilização de programas computacionais, dentre outros, envolvendo, assim, toda a cadeia produtiva. Nesse sentido, a compatibilização dos projetos e uma maior informação sobre os produtos oferecidos no mercado para sua melhor adequação e utilização passam a ter maior importância durante o processo.

Diante desta nova realidade, no sentido de aprimorar os processos construtivos, as construtoras passaram a combater o desperdício e a improvisação procurando obter um gerenciamento global do empreendimento tirando partido do desenvolvimento tecnológico e de programas de qualidade. Assim, abre-se espaço para uma indústria de montagem de edificações, sendo a produtividade avaliada com maior rigor. Em síntese, planejamento e padronização de procedimentos associados ao desenvolvimento tecnológico dos produtos, dão início ao que se pode chamar de construção industrializada.

Em decorrência desta nova linha de trabalho, o conceito de construção enxuta, *lean construction*, surge a partir de uma filosofia de trabalho que valoriza transparência nas rotinas e eliminação de etapas de trabalho que não agregam valor ao produto final. Um dos fundamentos principais desta filosofia é entender os sistemas de produção como uma rede de fluxos de processos (materiais) compostos de atividades de espera, processamento, transporte e inspeção. Um dos objetivos da construção enxuta é eliminar as atividades de espera, transporte e inspeção e, ao mesmo tempo, aumentar a eficiência e o valor produzido nas atividades de processamento. Na verdade, todas as abordagens aplicadas na indústria da manufatura são aplicáveis à indústria da construção civil, sem restrições (Santos, 1998).

2.4 SISTEMAS INDUSTRIAIS MODULARES

A industrialização na construção civil ganha corpo com a montagem de componentes, ou mesmo pequenos módulos (banheiros, caixas de escada e de elevadores), para atingir seu máximo proveito, com a montagem de toda a edificação, em módulos pré-fabricados. Este novo modelo de construção pode ser denominado como construção modular.

Na parte estrutural da edificação, os sistemas modulares construtivos também utilizam a pré-fabricação de elementos estruturais e auxiliares fora do local de destino (LAWSON, 2007; LACEY et al., 2018). A utilização desse sistema permite o desenvolvimento de unidades volumétricas estruturais ou secundárias com alto controle de qualidade e rapidez na construção (MARTINS, Christian. 2018).

Em edifícios de pequeno porte as unidades modulares formam uma estrutura autoportante apoiadas umas nas outras em função da sua própria estrutura modular (NUIC, L, 2003). Já em edifícios mais altos as unidades modulares são fixadas em um sistema estrutural independente, como mostrado na Figura 1 (Lawson, 1999).

Figura 1 - Unidades modulares utilizadas em uma construção



Fonte: Lawson (1999)

Dentre os fatores que influenciam a escolha pela utilização da construção modular pode-se citar a velocidade de construção no local, o grande número de repetição de componentes ou de ambientes e um maior controle das operações durante a construção (NUIC, 2003). Podemos observar a semelhança deste método de construção com a fabricação

dos automóveis, onde os módulos são produzidos simultaneamente em uma linha de produção.

2.5 O AÇO COMO MATERIAL ESTRUTURAL

As formas mais usuais de metais ferrosos são o aço, o ferro fundido e o ferro forjado, sendo o aço mais importante atualmente. O aço e o ferro fundido são ligas de ferro e carbono, com elementos residuais decorrentes do processo de fabricação, como, silício, manganês, fósforo e enxofre, e elementos adicionais que proporcionam melhorias nas características físicas e mecânicas do material denominado elemento de liga (PFEIL, 2009).

Segundo Pfeil e Pfeil (2010), em função dos teores de elementos de liga e de elementos residuais, os aços estruturais podem ser classificados em dois principais tipos:

- Aços-carbono: Estes são divididos entre baixo carbono (até 0,29% de carbono), e médio carbono (0,30% a 0,59% de carbono) e alto carbono (0,60% a 2,00% de carbono), são aços que contém em sua composição teores normais de elementos residuais, apresentando ainda uma elevação na resistência conforme aumenta-se o seu teor de carbono, porém reduz sua ductilidade
- Aços-liga: Estes são aços-carbono que apresentam em sua composição altos teores de elementos residuais ou acrescidos de elementos de liga como o níquel, cobre e o manganês por exemplo, levando a uma elevada resistência mesmo em teores de carbono inferiores à 0,20%.

Existem mais de 3500 tipos diferentes de aços e cerca de 75% deles foram desenvolvidos nos últimos 20 anos. Os aços-carbono possuem em sua composição apenas quantidades limitadas dos elementos químicos que é ajustada de acordo com o interesse de sua utilização. Na construção civil, o interesse maior recai sobre os chamados aços estruturais de média e alta resistência mecânica, termo designativo de todos os aços que, devido à sua resistência, ductilidade e outras propriedades, são adequadas para a utilização em elementos da construção sujeitos a carregamento (CBCA, 2014).

2.5.1 Propriedades Mecânicas do Aço

As propriedades mecânicas dos materiais são de extrema importância na concepção de projetos arquitetônicos e de engenharia no geral. Cada material apresenta diferentes

propriedades e cada uma delas tem impacto diretamente à qual finalidade terá o seu uso. A resistência mecânica e o módulo de elasticidade caracterizam as deformações que o corpo sofre em função de uma determinada tensão aplicada sobre ele. Também tem outras propriedades mecânicas de grande interesse para a engenharia estrutural, como, dureza, tenacidade, dilatação, relaxação e fadiga (SILVA E PANNONI, 2010).

As seguintes características físicas podem ser adotadas em todos os tipos de aço estrutural na faixa normal de temperatura atmosférica. Com base na norma brasileira ABNT NBR 8800:2008.

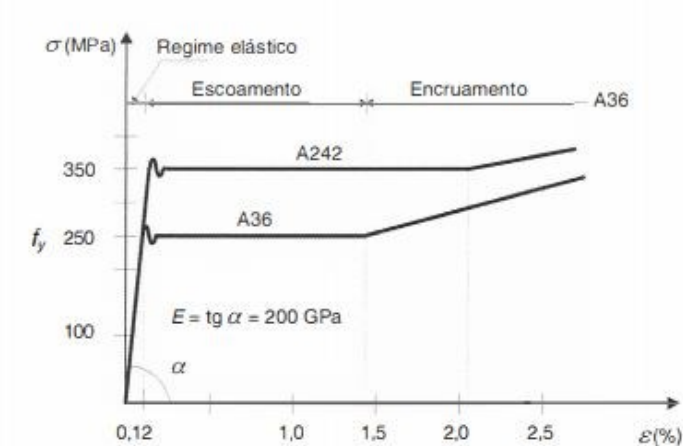
- Módulo de deformação longitudinal ou módulo de elasticidade $E = 200000 \text{ MPa}$;
- Coeficiente de Poisson $\nu_a = 0,3$;
- Coeficiente de dilatação térmica $\beta_a = 12 \cdot 10^{-6} / ^\circ\text{C}$;
- Massa específica $\rho_a = 7850 \text{ kg/m}^3$.

2.5.1.1 Relação constitutiva do aço laminado

A relação entre a tensão e a deformação interna resultante pode ser acompanhada pelo diagrama tensão-deformação. Os valores para a construção deste diagrama são obtidos submetendo o material a um ensaio de tração, onde a deformação é medida com o auxílio de um aparelho acoplado à máquina de ensaio denominado extensômetro. Dentro de um certo limite (fase elástica), uma peça sofre deformação que obedece a lei de Hooke, ou seja, é proporcional ao esforço aplicado, onde é representado pelo trecho retilíneo do diagrama, constante essa denominada de módulo de elasticidade ou módulo de deformação longitudinal. Após esse limite tem se o início da fase plástica onde ocorre uma deformação crescente sem variação de tensão, sendo seu valor constante conhecido como limite de escoamento (f_y). Após o escoamento ainda na tensão plástica o aço sofre um rearranjo e o material passa pelo limite de resistência do aço. Para encontrar seu limite de escoamento se faz necessário dividir o valor da carga máxima que ele suporta, antes de escoar, pela área de seção transversal inicial do corpo de prova (MATOS DIAS, 1997).

Nas Figura 2 é possível verificar o comportamento dos perfis de aço laminados a quente, com sua curva de tensão-deformação.

Figura 2 - Curva típica de tensão e deformação do aço laminado a quente



Fonte: Pfeil (2010)

2.5.1.2 Elasticidade

Na medida que existem pequenos níveis de carregamento, há uma pequena deformação no material, e com a retirada da tensão que este carregamento exerce, a deformação no material cessa, esse fenômeno é denominado de comportamento elástico do material.

2.5.1.3 Ductilidade

É a capacidade do material de se deformar sob a ação das cargas sem que haja o rompimento da peça. Os aços quando sujeitos a tensões elevadas, sofrem deformações plásticas capazes de redistribuir as tensões. Assim esse comportamento permite que se considere em uma ligação parafusada, com distribuição uniforme da carga entre os parafusos, por exemplo. Além disto, o efeito local da ductilidade conduz a mecanismos de rupturas acompanhados de grandes deformações que funcionam como avisos de cargas elevadas (PFEIL, 2009).

2.5.1.4 Resiliência e Tenacidade

Ambas tratam da capacidade que o material tem de absorver energia quando submetido à carga de impacto. Resiliência é a capacidade de absorver energia mecânica em regime elástico, ou a capacidade de restituir energia mecânica absorvida (PFEIL, 2009).

Tenacidade é a energia total, elástica e plástica que um material pode absorver por unidade de volume até a sua ruptura (MATOS DIAS, 1997).

2.5.1.5 Fragilidade

Os aços podem se tornar frágeis pela ação de diversos agentes: baixas temperaturas ambientes, efeitos térmicos locais, causados por solda por exemplo. É de grande importância conhecer as condições em que os aços se comportam até que se tornem frágeis, uma vez que materiais com esta característica se rompem bruscamente (PONTES; LIMÃO, 2019).

2.5.1.6 Dureza

É a capacidade do material resistir ao risco ou a abrasão. Pode ser observada pela resistência que a superfície do material oferece à penetração de uma peça de maior dureza (PFEIL, 2009).

2.5.1.7 Tensões residuais

Por definição, tensões residuais são as tensões elásticas existentes em um corpo sem a existência de carregamentos externos ou gradientes de temperatura. As tensões residuais podem ser desenvolvidas pelo resfriamento após a laminação de chapas, cantoneiras, perfis etc.

As tensões residuais são notadas na produção de estruturas metálicas envolvendo aquecimento e resfriamento (soldagem, corte com maçarico) promovendo o surgimento de novas tensões residuais. Esse é o caso de perfis soldados nos quais, nas regiões adjacentes aos cordões de solda, permanecem tensões longitudinais de tração após o resfriamento (SILVA E PANNONI, 2010).

2.5.1.8 Corrosão

De um modo geral, a corrosão é um processo resultante da ação do meio sobre um determinado material, causando sua deterioração. Este processo de reação do aço com elementos presentes no ambiente em que se encontra exposto promove a perda de seção da peça de aço.

A proteção a peças expostas ao ar é feita através de pinturas ou galvanização. Em alguns casos, tem-se a possibilidade de adição de cobre na composição química do aço, aumentando sua resistência à corrosão atmosférica. Com essa adição extra de cobre, o aço

quando exposto ao ar, desenvolve uma película (pátina) produzida pela própria corrosão, que se transforma em uma barreira que reduz a evolução do processo (PFEIL, 2009).

2.6 PERFIS DE AÇO LAMINADOS

Os perfis laminados a quente são produzidos através da laminação de blocos de aço, em sistema de laminação contínua. Os perfis são constituídos a partir do processo de laminação do material pelo qual o aço é transformado, segundo Pfeil e Pfeil (2010), nos principais produtos siderúrgicos utilizados pela indústria de construção, a saber, chapas e perfis laminados.

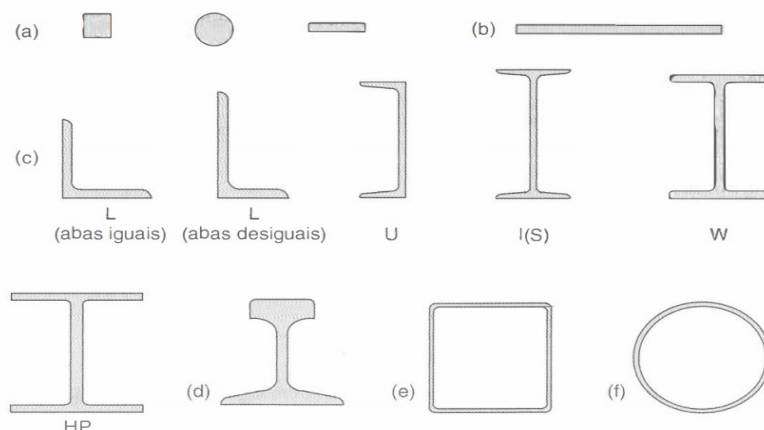
O processo consiste em utilizar placas inicialmente aquecidas ao rubro e introduzidas em laminadores desbastadores, nos quais dois rolos giratórios comprimem a placa, reduzindo sua seção e aumento seu comprimento. São necessárias diversas passagens nos laminadores, nas quais a distância entre os rolos é progressivamente reduzida.

Devido ao seu método de fabricação, formatos e o fato de ser peça única, sem soldas ou dobraduras, estes tipos de perfis adquirem uma resistência estrutural maior do que comparados aos perfis simplesmente dobrados a frio. Na fabricação também são utilizadas composições do aço visando maiores resistências com menor massa por metro.

Por outro lado, o aspecto negativo dos perfis laminados é que, como são perfis produzidos na fábrica em larga escala, há limitações de especificações aos perfis comercializados e produzidos, ou seja, a escolha do perfil deve ocorrer a partir de tabelas de fornecedores.

Na Figura 3 são apresentadas as seções transversais dos principais tipos de perfis de aço laminados.

Figura 3 – Principais tipos de produtos laminados de utilização estrutural: (a) barras com diversas seções transversais, (b) chapas, (c) perfis estruturais laminados, (d) trilhos, (e) tubo quadrado, (f) tubo redondo



Fonte: Pfeil (2009)

2.7 ANÁLISE DE SEGUNDA ORDEM

A análise de primeira ordem pressupõe para o cálculo de esforços e deslocamentos o equilíbrio da estrutura em sua posição inicial indeformada. Já a análise de segunda ordem, estabelece o equilíbrio da estrutura na posição deformada, gerando esforços adicionais devido às forças aplicadas sobre os deslocamentos. Ou seja, os efeitos devem ser determinados por meio da consideração do comportamento não linear dos materiais e da configuração deformada na análise do equilíbrio. Estas considerações são denominadas análise não linear física e não linear geométrica. Os esforços totais são, então, iguais à soma dos esforços de primeira e segunda ordem.

A NBR 8800:2008 orienta que as cargas horizontais sejam de 0,3% das cargas gravitacionais e a aplicação do efeito P-delta. Segundo LOPES (2005), o efeito P-delta consiste em fazer inúmeras iterações atualizando sempre a matriz de rigidez em função da carga horizontal e do deslocamento. Quando não há mais deslocamento relativo dos nós da estrutura, a análise então converge e tem-se então o deslocamento total da estrutura. Se a análise não convergir, significa que a estrutura apresenta rigidez insuficiente (NARDI; FICANHA; PRAVIA, 2010).

2.8 PAINEL WALL

O Painel *Wall* é muito interessante para obras e empreendimentos que necessita de uma solução construtiva de ótimo custo-benefício, maior rapidez e controle do processo. O

painel é composto por um núcleo de madeira laminada entre duas lâminas de madeira, sendo revestido externamente por placas cimentícias em cimento reforçado com fio sintético.

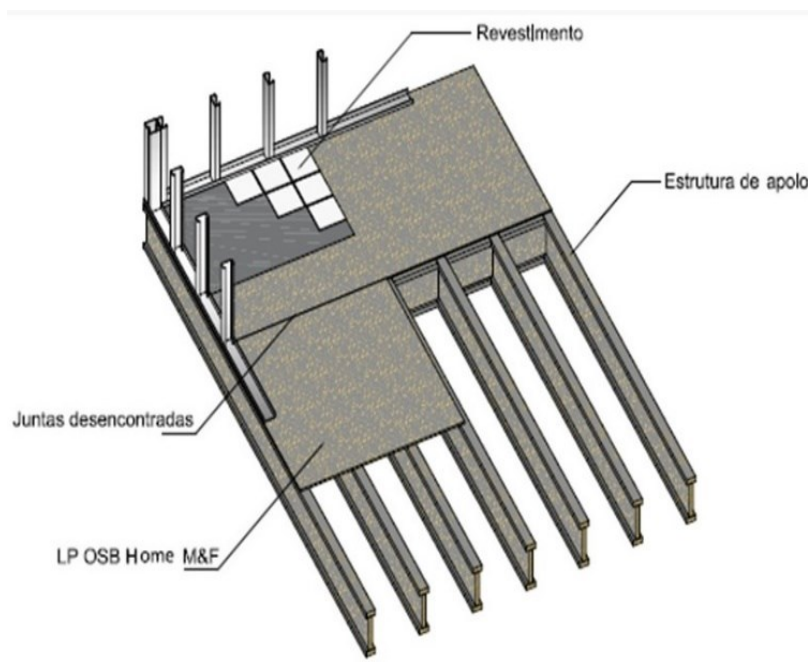
O Painel Wall pode ter as espessuras de 40 mm e 55 mm, largura de 1,20 m e comprimento máximo de 3,05 m. A placa deve possuir apoios a cada 1,25 m.

Esse sistema pode ser utilizado em paredes, pisos e coberturas. Quando é executada na cobertura, costuma ser impermeabilizada, sem prejuízo ao projeto de escoamento das águas pluviais.

No presente trabalho que trata de estrutura metálica industrializada, optou-se por trabalhar com lajes e paredes do tipo Painel *Wall*, que são conhecidas pela sua facilidade na execução e que pode ser dimensionada a partir dos catálogos dos fabricantes de cada material que a compõe.

Na Figura 4 é possível verificar os principais elementos que compõem a laje do tipo Painel Wall

Figura 4 - Elementos da laje em Painel Wall



Fonte: CentroPlac (2011)

2.9 REFERENCIAL NORMATIVO PARA PROJETO DE ESTRUTURAS EM AÇO

As principais normas aplicáveis em projetos de edificações realizadas em estruturas metálicas são:

- ABNT NBR 8800:2008 – Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios: trata dos critérios de dimensionamento de perfis e ligações, bem como estabelece demais requisitos construtivos que possibilitem a ocupação e o uso adequado da edificação;
- ABNT NBR 6120:2019 – Cargas para o cálculo de estruturas em edificações: estabelece valores determinísticos de ações para os quais a estrutura deve ser dimensionada;
- ABNT NBR 6123:1988 – Forças devidas ao vento em edificações: esta norma estabelece o procedimento de cálculo para determinação da ação decorrente do perfil de velocidade do vento.

2.10 HABITABILIDADE

A Portaria nº 660/2018 do Ministério das Cidades estabelece diversas diretrizes que devem ser respeitadas, principalmente em relação aos equipamentos mínimos que devem ser considerados no momento do dimensionamento dos cômodos da unidade habitacional. Os equipamentos mínimos e as dimensões que devem ser consideradas são os seguintes:

- Dormitório de casal:
 - 1 cama (1,40 m x 1,90 m)
 - 1 criado-mudo (0,50 m x 0,50 m);
 - 1 guarda-roupas (1,60 m x 0,50 m);
 - Circulação mínima de 0,50 m.
- Dormitório para duas pessoas:
 - 2 camas (0,90 m x 1,90 m);
 - 1 criado-mudo (0,50 m x 0,50 m);
 - 1 guarda-roupas (1,50 m x 0,50 m);
 - Circulação mínima de 0,50 m.
- Cozinha:
 - Largura mínima de 1,80 m;
 - Pia (1,20 m x 0,50 m);

- Fogão (0,55 m x 0,60 m);
- Geladeira (0,70 m x 0,70 m).
- Sala de estar/refeições:
 - Largura mínima de 2,40 m;
 - Sofá de três lugares;
 - Mesa para quatro pessoas;
 - Estante/armário TV;
- Banheiro:
 - Largura mínima de 1,50 m;
 - 1 lavatório sem coluna;
 - 1 vaso sanitário;
 - 1 box com ponto para chuveiro (0,90 x 0,95).
- Área de serviço:
 - 1 tanque (0,52 x 0,53);
 - 1 máquina (0,60 x 0,65 m).

A Portaria também estabelece que em edificações com mais de dois pavimentos deve ser previsto e indicado em planta um local para instalação futura do elevador, não sendo necessário a realização de nenhuma obra física para este fim.

A Lei nº 11.095, de 21 de julho de 2004, do Município de Curitiba, estabelece que edificações que possuem uma diferença entre o piso de acesso à edificação até o último pavimento acima de 9,50 metros são obrigadas a possuir elevadores, porém, caso a última laje seja utilizada somente como fechamento, pode-se desconsiderá-la da altura total.

A ABNT NBR 15575:2013 da Associação Brasileira de Normas Técnicas estabelece os critérios mínimos de desempenho que devem ser atingidos para que se possa considerar uma residência habitável. A norma será utilizada visando complementar as especificações da Portaria nº 660/2018, visto que essa não possui todas as medidas dos móveis que devem ser considerados.

- Sala de estar/refeições:
 - Sofá de três lugares (1,70 m x 0,70 m);
 - Mesa para quatro pessoas (diâmetro de 0,95 m);
 - Estante/armário para TV (0,80 m x 0,50 m);
- Banheiro:

- Largura mínima de 1,50 m;
- 1 lavatório sem coluna (0,39 m x 0,29 m);
- 1 vaso sanitário (0,60 m x 0,70 m).

A ABNT NBR 9050:2020 estabelece os requisitos que as edificações devem obedecer em relação à acessibilidade, apresentando requisitos em relação ao dimensionamento dos degraus da escada, largura dos acessos e a necessidade de patamares de acordo com o desnível vencido. Essa norma estabelece, também, que as dimensões dos degraus devem seguir a Equação 1, apresentada a seguir, possuir uma largura mínima de 1,20 m e apresentar um patamar a cada mudança de direção ou a cada 3,20 m de desnível vencidos.

Equação 1 - Determinação dos parâmetros da escada

$$0,63 m \leq p + 2e \leq 0,65 m$$

Sendo:

p = Profundidade dos pisos, estando no seguinte intervalo $0,28 m \leq p \leq 0,32 m$;

e = Altura dos espelhos, estando no seguinte intervalo $0,16 m \leq e \leq 0,18 m$.

3. METODOLOGIA

Neste capítulo serão apresentados os métodos utilizados para abordagem do tema, podendo ser organizado nas seguintes etapas:

Etapa 1: Definição da planta e pré-dimensionamento;

Etapa 2: Análise estrutural para cálculo dos esforços, dimensionamento de perfis e ligações;

Etapa 3: Quantitativo, orçamentação e detalhamento.

3.1 DETERMINAÇÃO DA EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL

Antes de iniciar o dimensionamento das peças da estrutura metálica foi necessário definir a planta da edificação. Para elaboração do pavimento-tipo foi considerado todas as diretrizes presentes na Portaria nº 660, visando atender os requisitos necessários para enquadramento no Programa Minha Casa, Minha Vida, apresentados nos subcapítulos 2.2.1 e 2.7.3. A edificação foi limitada à quatro andares, visando não necessitar de elevadores, conforme Lei nº 11.095 do Município de Curitiba. O dimensionamento dos degraus ocorrerá de acordo com a ABNT NBR 9050:2020.

Além do atendimento às normas, foi visado durante a elaboração do projeto medidas que utilizem de forma mais eficiente às peças metálicas, isto é, utilizando todo o seu comprimento comercial (12 metros) ou, em casos que seja necessário realizar algum corte, que as peças sejam divididas de forma a se encaixar em outro local, assim evitando o desperdício.

3.2 POSICIONAMENTO DOS ELEMENTOS ESTRUTURAIIS

A definição da localização dos elementos estruturais foi determinada devido a diversos fatores. Inicialmente foi definido de acordo com os centros estimados de carga e a geometria da edificação. Além dos centros de cargas, também foi considerado o vão máximo permitido para utilização de Painel *Wall* na laje.

3.3 PRÉ-DIMENSIONAMENTO

Para realização do pré-dimensionamento de pilares foi utilizado o limite de esbeltez conforme a equação 2.

Equação 2 - Limite de esbeltez na compressão

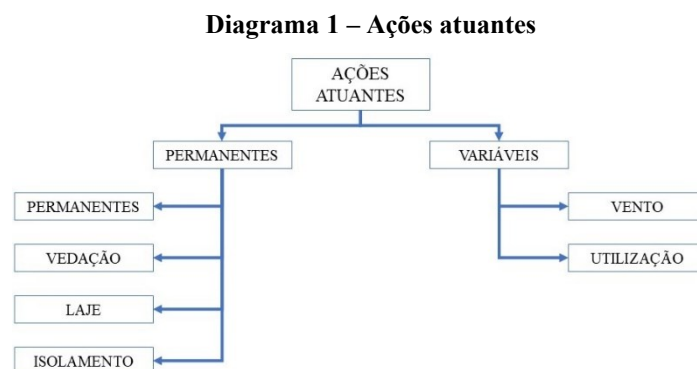
$$\lambda = \frac{l}{r} \leq 100$$

A norma estabelece um limite de $\lambda \leq 200$, porém, considerando que os pilares estão sujeitos à esforços nos três eixos, adotou-se um valor inferior. O raio de giração pode ser obtido diretamente dos catálogos comerciais.

O pré-dimensionamento das vigas foi efetuado por meio do método recomendado por Margarido (2007). Segundo o autor, deve-se adotar uma viga com altura entre 1/15 e 1/25 do vão, em caso de vigas isostáticas, podendo-se adotar 80% do vão real em caso de vigas hiperestáticas.

3.4 DETERMINAÇÃO DAS AÇÕES

As ações atuantes sobre uma edificação residencial podem ser visualizadas no Diagrama 1.



Fonte: Autoria própria

3.4.1 Ações permanentes

Consiste em sua maior parte no peso próprio das estruturas e demais componentes construtivos. Para sua quantificação, é necessário estabelecer os materiais utilizados na edificação. No presente trabalho foram adotados os seguintes componentes:

- Estrutura em perfis metálicos laminados;
- Vedação externa e interna com paredes duplas de Paineis *Wall* de 40 mm com preenchimento de lã de vidro.
- Impermeabilização da laje superior com manta asfáltica de 0,5 cm de espessura;
- Laje em painéis *wall* de 55 mm.

O peso próprio da estrutura é determinado pelo próprio programa que foi utilizado para os cálculos estruturais, considerando o material e a seção transversal adotada, porém é necessário realizar um pré-dimensionamento.

As ações devido a vedação e a impermeabilização podem ser obtidas diretamente da norma ABNT NBR 6120:2019.

3.4.2 Ações variáveis

A ação devido a utilização da edificação pode ser obtida diretamente da ABNT NBR 6120:2019, considerando essa como um edifício residencial.

A ação do vento é determinada de acordo com a ABNT NBR 6123:1988 Versão corrigida 2/2013. O procedimento de cálculo para determinação da ação estática devida à velocidade foi aplicado sobre o objeto de estudo, que consiste em um edifício de uso residencial, cujas dimensões são 12 metros x 12 metros em planta e altura total de 10 metros, a ser construído em terreno plano, em uma região do subúrbio densamente povoada. Visando auxiliar o cálculo das ações ocasionadas pela atuação do vento, foi utilizado o programa Visual Ventos, desenvolvido pela Universidade de Passo Fundo.

3.5 ANÁLISE ESTRUTURAL

A análise estrutural foi efetuada utilizando o *software* SAP 2000. O modelo matemático utilizado pelo programa aplica o Método dos Elementos Finitos. O modelo numérico do

presente trabalho utilizou elementos finitos de barra com seis graus de liberdade nodais, em que três são as translações e três são as rotações nas direções das coordenadas cartesianas globais x, y e z. Foi utilizada a biblioteca de materiais já implementada no *software*, porém foi necessário ajustar alguns parâmetros para se adequar as normas brasileiras. Além disso, como este programa não contempla as normas brasileiras, as combinações de ações foram inseridas de forma manual.

As seções transversais dos elementos de barras foram inseridas no programa de acordo com os perfis metálicos comerciais normatizados pela ABNT NBR 15980:2020 – Perfis Laminados para Uso Estrutural – Dimensões e Tolerâncias. As ações aplicáveis ao objeto em estudo, com exceção do peso próprio da estrutura, foram lançadas manualmente, assim como as combinações.

Estruturas leves e edificadas com barras esbeltas, a exemplo das estruturas metálicas, tem como característica sua deslocabilidade. Dessa forma, na etapa de processamento, foi necessária a realização da Análise de Segunda Ordem, por meio da consideração do efeito P-Delta.

Na etapa de pós-processamento são obtidas a envoltória de esforços solicitantes no Estado Limite Último (ELU) para cada componente tipo. Também são obtidos o campo de deslocamentos global no edifício e local em vigas no Estado Limite de Serviço (ELS).

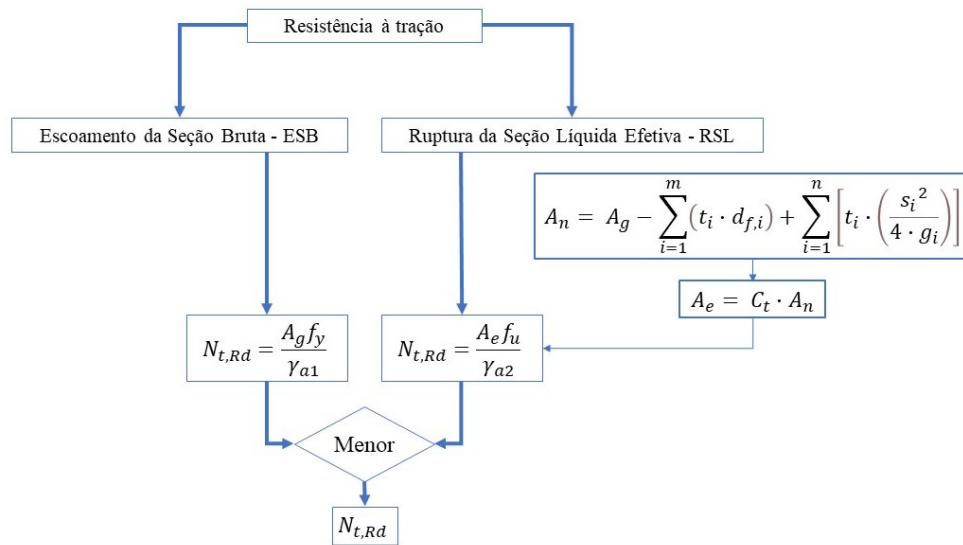
3.6 VERIFICAÇÃO DA RESISTÊNCIA

Esta etapa consiste na determinação das forças resistentes de cálculo dos componentes, verificando as peças adotadas em fase de pré-dimensionamento e as ligações, com base nas prescrições da ABNT NBR 8800:2008, de acordo com a tipo de esforço ao qual estão sujeitas. Os subitens na sequência descrevem os critérios de verificação em forma de fluxograma.

3.6.1 Peças Sujetas à Tração

A verificação das resistências das peças submetidas à tração foi efetuada de acordo com o Diagrama 2.

Diagrama 2 – Resistência à tração



Fonte: Autoria própria

Sendo:

A_g = Área bruta da seção;

A_n = Área líquida da seção;

A_e = Área efetiva da seção

$N_{t,Rd}$ = Força resistente normal;

C_t = Coeficiente de redução da área líquida;

f_y = Resistência ao escoamento;

f_u = Resistência à ruptura;

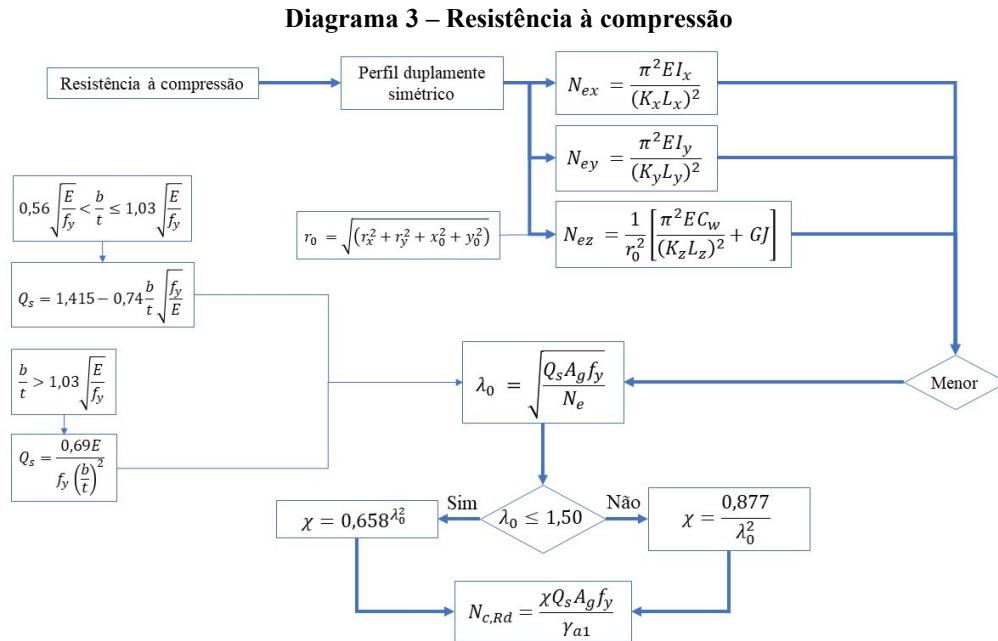
γ_{a1} = Fator de minoração da resistência ao escoamento;

γ_{a2} = Fator de minoração da resistência à ruptura.

d = Diâmetro dos parafusos.

3.6.2 Peças Sujeitas à Compressão

A resistência foi calculada conforme o diagrama 3.



Sendo:

$N_{c,Rd}$ = Resistência à compressão;

E = Módulo de elasticidade do aço;

I = Momento de inércia da seção;

K = Coeficiente de flambagem de barras comprimidas;

L = Comprimento;

N_e = Força axial de flambagem elástica;

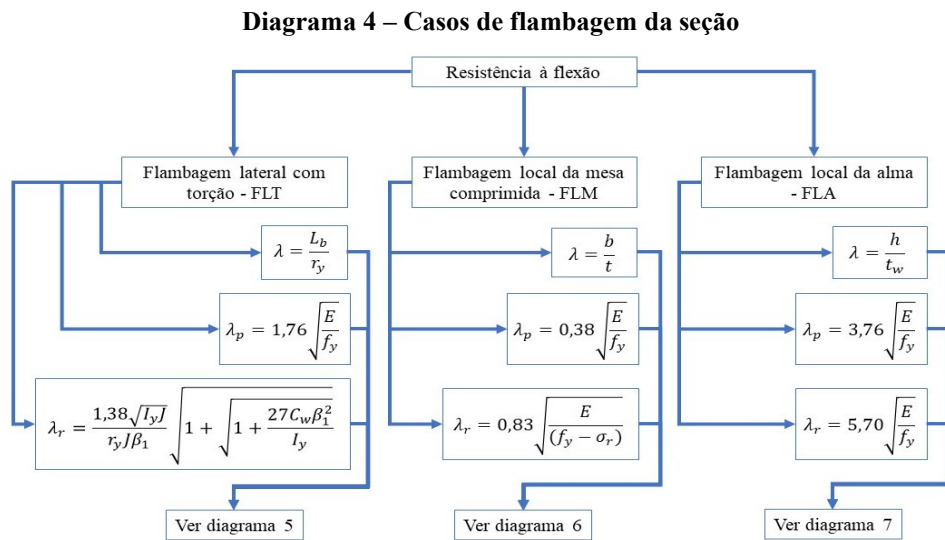
λ_0 = Índice de esbeltez reduzido;

χ = Fator de redução associado à resistência à compressão;

Q = Fator de redução total associado à flambagem local.

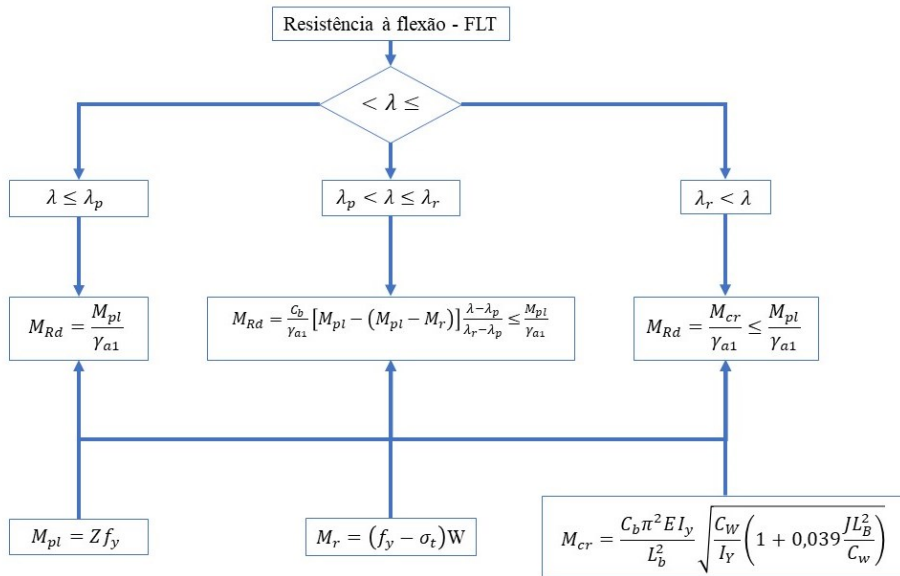
3.6.3 Peças Sujeitas à Flexão

Em peças sujeitas à flexão, segundo a ABNT NBR 8800:2008, a verificação da resistência de cálculo ao momento fletor, M_{Rd} , se faz necessária. Para tanto são necessárias as considerações e verificações a respeito dos estados-limites últimos de flambagem lateral por torção (FLT), flambagem local da mesa comprimida (FLM), flambagem local da alma (FLA). A marcha de cálculo para peças submetidas à flexão pode ser visualizada através dos Diagramas 4 – 7.

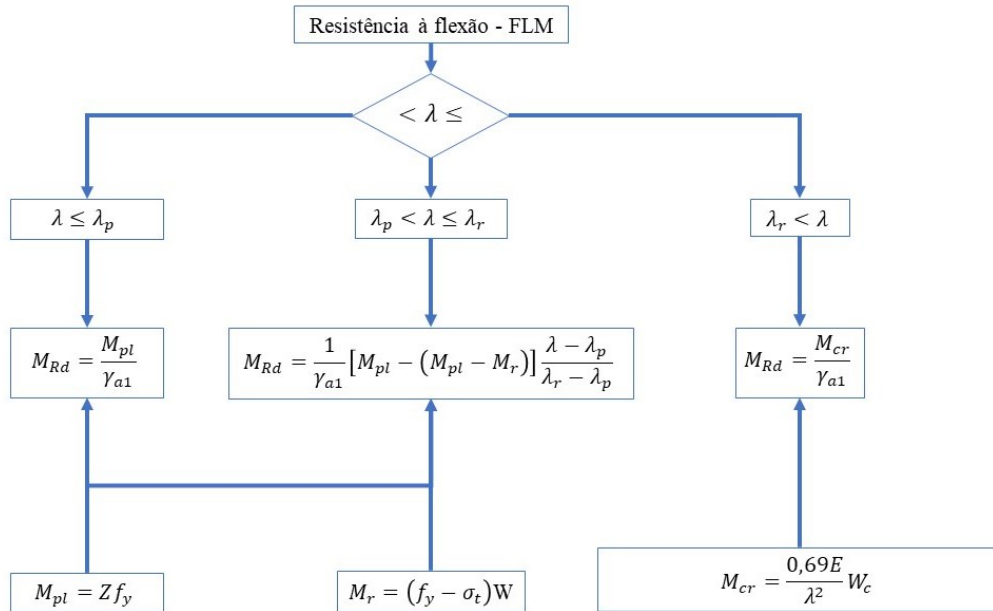


Fonte: Autoria própria

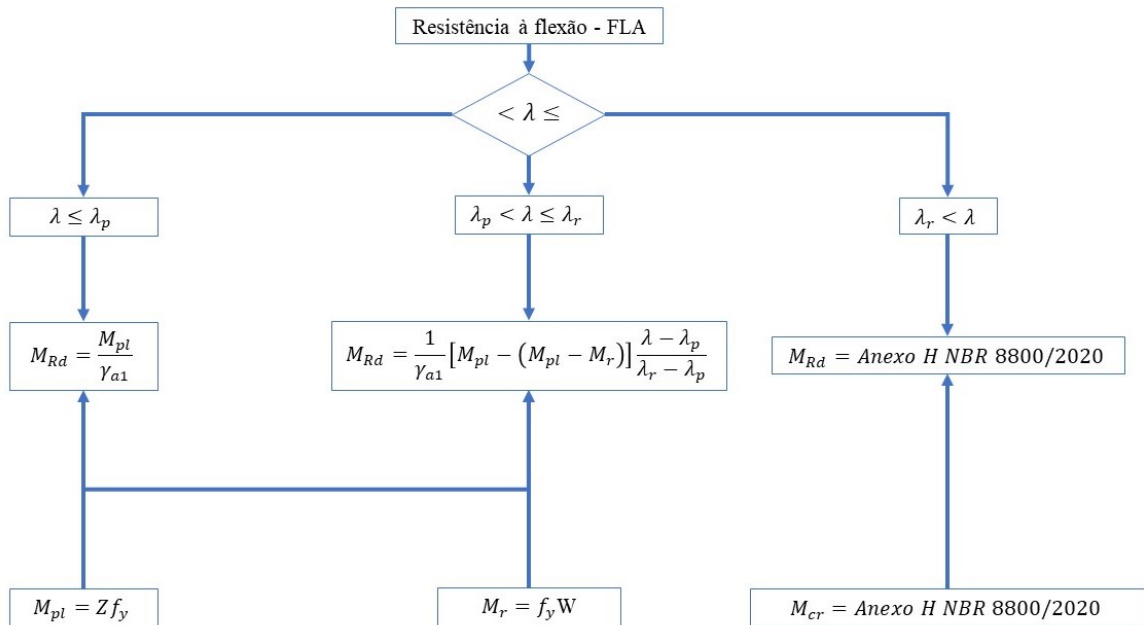
Diagrama 5 – Resistência à flexão - FLT



Fonte: Autoria própria

Diagrama 6 – Resistência à flexão - FLM

Fonte: Autoria própria

Diagrama 7 – Resistência à flexão - FLA

Fonte: Autoria própria

Sendo:

C_w = Constante de empenamento;

C_b = Coeficiente que considera a variação do esforço fletor de cálculo no comprimento destravado L_b ;

I_y = Momento de inércia em torno do eixo y;

J = Constante de torção da seção transversal;

L_b = Comprimento destravado;

M_{Rd} = Momento resistente;

M_{cr} = Momento fletor de flambagem elástica;

M_{pl} = Momento fletor de plastificação;

M_r = Momento fletor de início do escoamento;

W = Módulo de resistência (mínimo) elástico;

W_c = Módulo de resistência elástico do lado comprimido;

b_f = Largura total da mesa;

d = Altura externa da seção

r_y = Raio de giração em torno do eixo y;

t_f = Espessura da mesa;

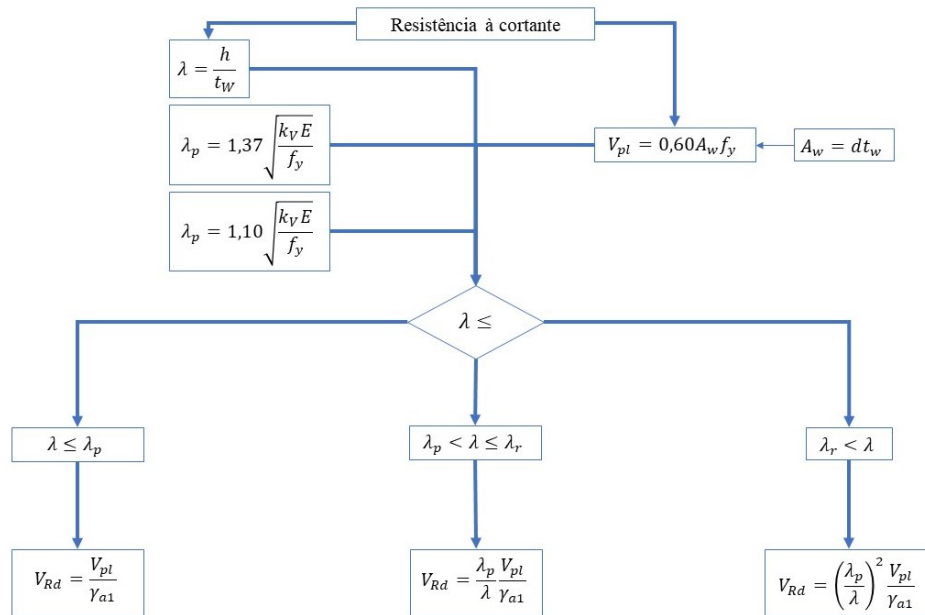
λ_p = Parâmetro de esbeltez correspondente à plastificação;

λ_r = Parâmetro de esbeltez correspondente ao início do escoamento.

3.6.4 Peças Sujeitas à Esforço Cortante

A norma ABNT NBR 8800:2008 define alguns parâmetros para a força cortante resistente de cálculo, V_{Rd} , das barras fletidas, considerando os estados-limites últimos de escoamento e flambagem por cisalhamento. A resistência ao cisalhamento de seções I, H e U pode ser obtida conforme o Diagrama 8.

Diagrama 8 – Resistência ao cisalhamento



Fonte: Autoria própria

Sendo:

$$k_v = \left\{ \begin{array}{l} 5,0 \text{ para almas sem enrijecedores transversais, para } \frac{a}{h} > 3 \text{ ou para } \frac{a}{h} > \left[\frac{260}{h/t_w} \right]^2 \\ 5 + \frac{5}{(a/h)^2}, \text{ para todos os outros casos} \end{array} \right.$$

a = Distância entre as linhas de centro de dois enrijecedores transversais adjacentes;

h = Altura da alma, tomada igual à distância entre as faces internas das mesas nos perfis soldados e igual a esse valor menos os dois raios de concordância entre mesa e alma nos perfis laminados;

t_w = Espessura da alma;

V_{pl} = Força cortante correspondente à plastificação da alma por cisalhamento;

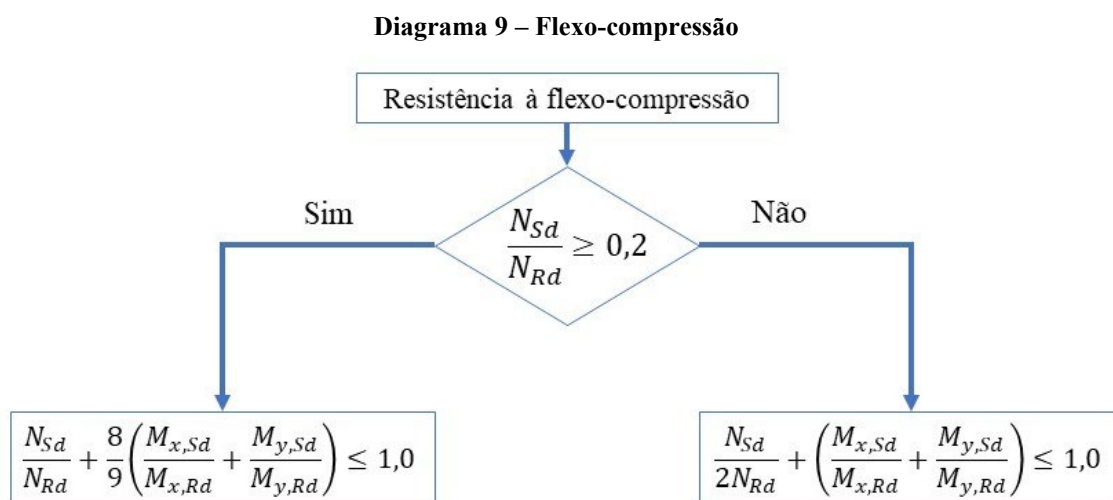
V_{Rd} = Resistência de cálculo ao cisalhamento;

d = Altura total da seção transversal;

t_w = Espessura da alma.

3.6.5 Barras Submetidas à Esforços Combinados

Para a atuação simultânea da força axial de tração ou de compressão e de momentos fletores, deve ser obedecida a limitação fornecida pelas seguintes expressões:



Fonte: Autoria própria

Sendo:

N_{Sd} = força axial solicitante de cálculo de tração ou de compressão;

N_{Rd} = força axial resistente de cálculo de tração ou de compressão;

$M_{x,Sd}$ e $M_{y,Sd}$ = momentos fletores solicitantes de cálculo, respectivamente em relação aos eixos x e y da seção transversal;

$M_{x,Rd}$ e $M_{y,Rd}$ = momentos fletores resistentes de cálculo, respectivamente em relação aos eixos x e y da seção transversal.

3.7 DETERMINAÇÃO DAS LIGAÇÕES

Segundo o Manual de ligações em aço, o termo ligação é aplicado a todos os detalhes construtivos que promovam a união de partes da estrutura entre si, ou a união com elementos externos a ela, como, as fundações (CBCA, 2017).

A escolha do tipo de ligação, ou conexão influencia significativamente no desempenho da estrutura, no projeto e no comportamento global, seja conexão rígida ou

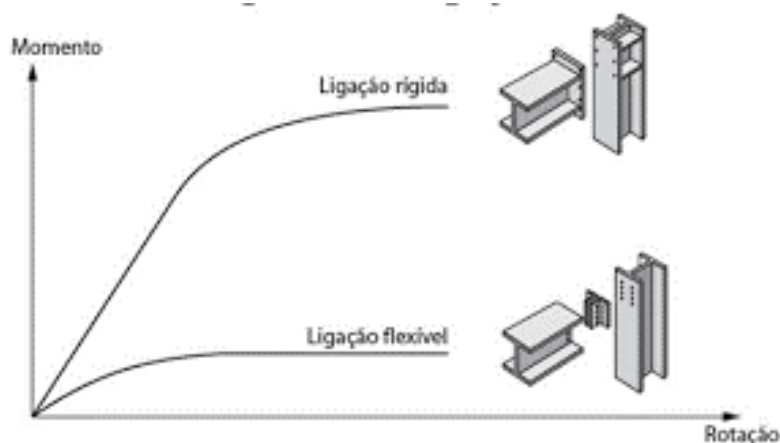
flexível, por contato ou por atrito. Cada ligação possui suas limitações construtivas, suas facilidades na execução e montagem e na fabricação. Segundo MATOS DIAS (1997) as conexões são executadas mediante soldagem ou aparafusamento.

A ABNT NBR 8800:2008, no item 6.1.1.2 define que "as ligações metálicas consistem em elementos de ligação, como enrijecedores, chapas de ligação, cantoneiras e consolos, e meios de ligação como soldas, parafusos, barras redondas rosqueadas e pinos". Estabelece ainda que esses componentes devem ser dimensionados de forma que sua resistência de cálculo nos estados-limites aplicáveis seja sempre maior ou igual às solicitações de cálculo.

A tipologia da ligação adotada deve representar, de maneira fiel, o comportamento estrutural idealizado no modelo numérico. Dessa forma, nós contínuos entre barras requerem uma distribuição de componentes, seja parafusos, soldas e metais base, que garantam transferência total do momento fletor entre viga e pilar de momento fletor entre viga e pilar. Dessa forma, a rotação relativa entre ambas as barras é próxima de zero. Já, nos nós idealizados como articulados, o detalhamento dos componentes deve ser tal que permita a rotação relativa entre barras. Essa tipologia foi utilizada entre as vigas que sustentam o piso.

A figura 5 ilustra o comportamento das ligações flexíveis, solicitadas em sua totalidade ao esforço cortante, e as rígidas, ou com transferência de momento fletor, com base na relação momento fletor atuante e rotação relativa entre as barras. Tais classificações são melhores descritas nos subitens a seguir.

Figura 5 – Relação entre momento e rotação da estrutura em diferentes tipos de ligações



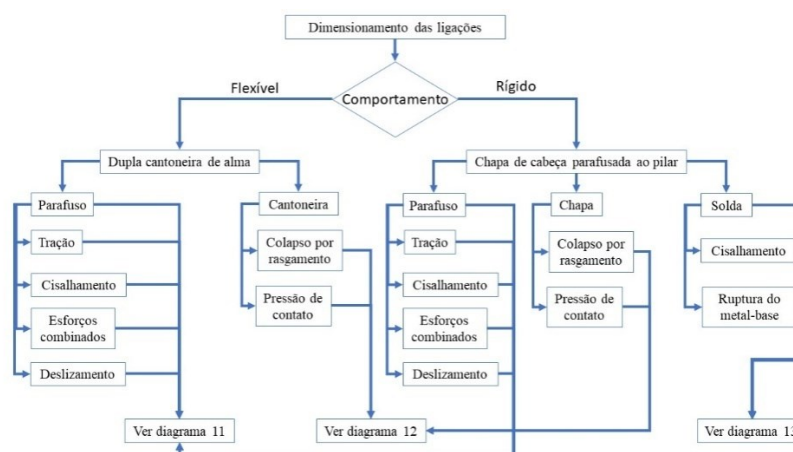
Fonte: Queiroz (2012)

As ligações devem atender aos parâmetros dispostos no Diagrama 10. Este procedimento foi esquematizado para duas tipologias, a citar:

- Ligação flexível, composta por parafusos e dupla cantoneira, conectada na alma das vigas;
- Ligação rígida, composta por chapa de extremidade, conectada na viga por meio de solda e no pilar por meio de parafusos.

Na sequência, descrevem-se o procedimento de cálculo para os dispositivos de ligação e metal base de cada detalhamento proposto, bem como os esforços a que cada componente é solicitado.

Diagrama 10 – Parâmetros das ligações



Fonte: Autoria própria

3.7.1 Barras com Ligações Flexíveis

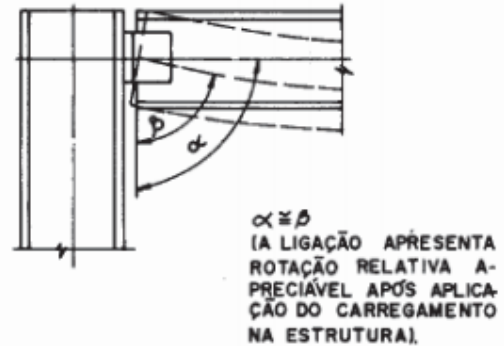
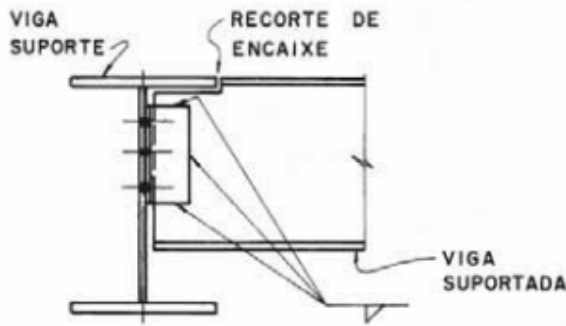
Estas são definidas como as ligações que transmitem apenas esforço de cisalhamento e normal, têm uma resistência à rotação desprezível e, portanto, não transferem momentos significativos nos Estados Limites Últimos. Esta definição determina o cálculo global da estrutura, no qual as vigas são calculadas como simplesmente apoiadas, nós de barras de treliças considerados livres à rotação e, quando se tratar de base de pilares, são calculadas para os esforços axial e transversal atuantes (VERGÍLIO, S. A. L. 2011).

Nas Figuras apresentadas abaixo estão representados alguns tipos de ligações do tipo flexíveis (ou “simples”):

- Dupla cantoneira de alma (em extremidades de vigas);

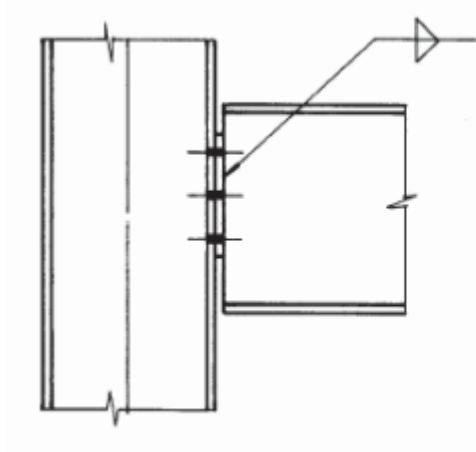
- Placas de extremidade flexíveis;
- Chapas de nó (ou gusset);
- Ligação de barras de treliça unidas diretamente umas às outras.

Figura 6 - Exemplos de ligações flexíveis



a) Dupla cantoneira de alma

b) Placa de extremidade na lateral da alma



c) Placa de extremidade no topo da alma

Fonte: Figuras a, b e c: Instituto Brasileiro de Siderurgia (2004)

3.7.2 Barras com Ligações Rígidas

Na análise elástica, a ABNT NBR 8800:2008, no item 6.1.2.1, estabelece que uma ligação viga-pilar pode ser considerada rotulada se $S_i \leq 0,5 E I_V/L_V$ e pode ser considerada rígida se $S_i \geq 25 E I_V/L_V$. Nesta formulação, S_i é a rigidez da ligação, correspondente à 2/3 do momento resistente de cálculo da ligação, simplificada denominada de rigidez inicial e I_V e L_V são o momento de inércia da seção transversal no plano da estrutura e o comprimento da viga conectada à ligação, respectivamente.

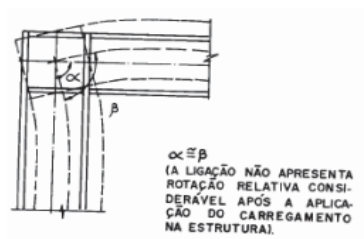
A rigidez S_i pode ser determinada de acordo com a norma europeia Eurocode 3:2007, *Design of steel structures - Part 1-8: General - Design of joints*, ou com base em resultados experimentais.

Na sequência do item 6.1.2.1 são estabelecidas as condições da aplicabilidade das considerações de rigidez.

O método indicado - descrito no Eurocode 3 *Part 1-8* no item 6.3, *Rotational Stiffness*, é trabalhoso e só se torna prático se aplicado através de software apropriado. Entretanto, a ABNT NBR 8800:2008, no item 6.1.2.3, permite que, a critério do responsável técnico pelo projeto, as ligações usuais, pré-qualificadas como rotuladas ou rígidas, possam ser simuladas com estes comportamentos na análise estrutural.

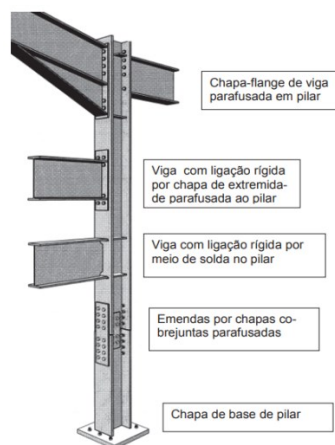
As Figuras 7 e 8 ilustram situações em que as ligações são consideradas como rígidas.

Figura 7 - Representação do comportamento de ligação rígida



Fonte: Instituto Brasileiro de Siderurgia (2004)

Figura 8 - Exemplos de ligações rígidas

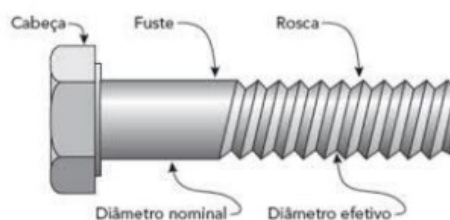


Fonte: Adaptado de Steel Construction Institute (1997)

3.7.3 Conexões Parafusadas

Os parafusos são formados geralmente por três partes, cabeça, fuste e rosca como ilustrado na Figura 8. São identificados pelo diâmetro nominal, porém sua resistência a tração é função do diâmetro efetivo, sendo a área da seção transversal que passa pela rosca, valendo 75% da área nominal (MATOS DIAS, 1997).

Figura 9 - Parafuso



Fonte: EcivilUFES, 2013

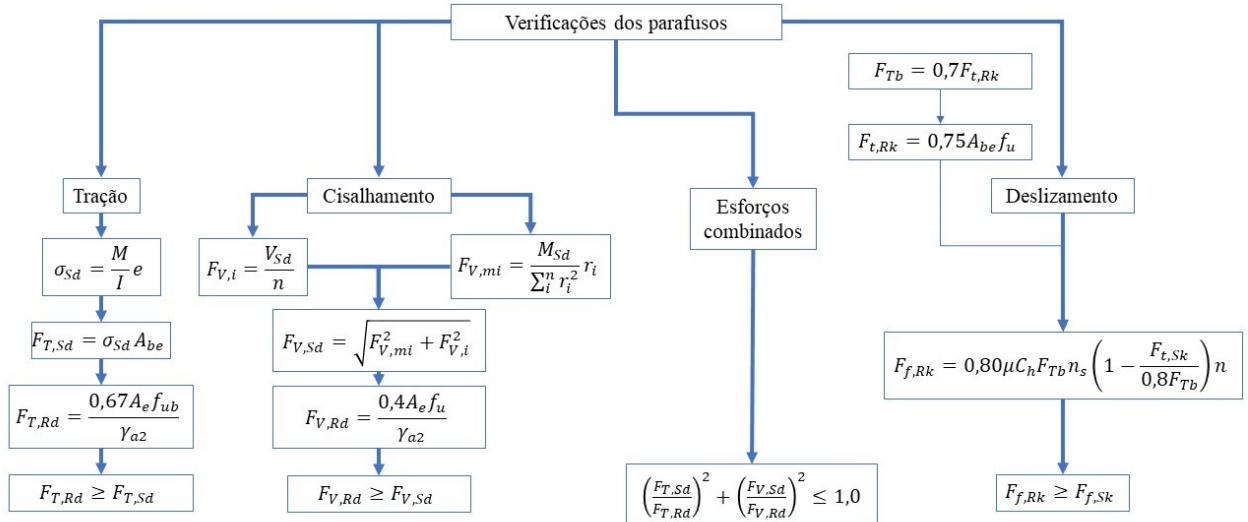
Os parafusos são divididos em duas categorias, os comuns e os de alta resistência. O parafuso comum possui baixa resistência mecânica, e é fabricado conforme especificação americana ASTM A 307, com $41,5 \text{ kN/cm}^2$ de resistência à ruptura por tração. Sua instalação é feita por meio de chave manual simples, e sem controle de torque. Dessa forma, não se pode considerar sua resistência por atrito entre as chapas: assim, prevê-se a movimentação relativa entre os elementos conectados. Por este motivo são utilizados em peças secundárias, como em guarda corpo, corrimão, terças e elementos com baixas solicitações (MATOS DIAS, 1997).

Já os parafusos de alta resistência são utilizados nas ligações principais, sendo utilizado o tipo fabricado conforme a especificação americana ASTM A 325, com resistência a ruptura de $82,5 \text{ kN/cm}^2$ para parafusos com diâmetro menor ou igual a 25,4 mm.

Para diâmetros maiores que 25,4 mm, a resistência à ruptura nominal é de $72,5 \text{ kN/cm}^2$. Estes parafusos exigem que se tenha controle do torque, após o aperto inicial com chave comum, de maneira que proporcione maior rigidez à ligação e impeça a movimentação das partes conectadas, conseqüentemente, garantindo a resistência por atrito entre os metais base (MATOS DIAS, 1997).

Há diversas verificações que devem ser efetuadas para definição do diâmetro, quantidade e disposição na peça dos parafusos. A marcha de cálculo para verificação das ligações parafusadas pode ser visualizada no Diagrama 11 para os parafusos e 12 para as chapas.

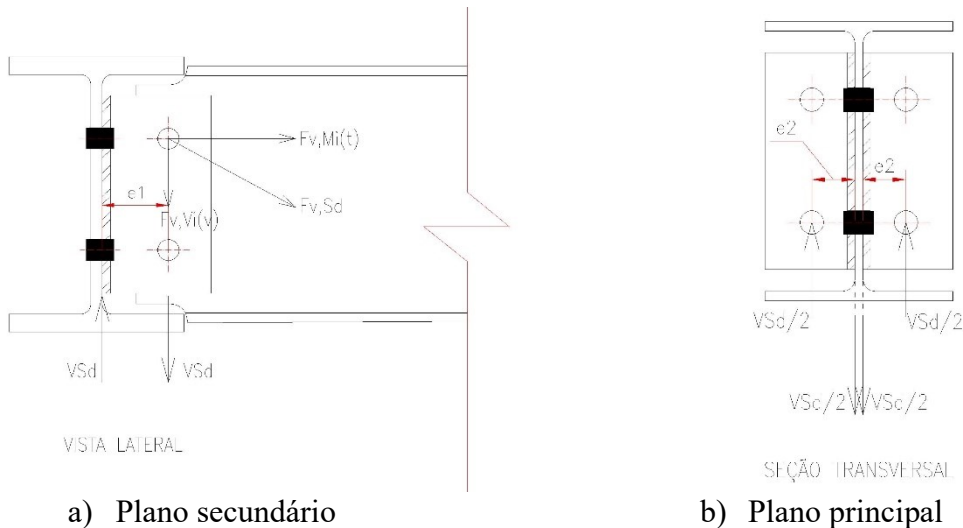
Diagrama 11 – Verificação do parafuso



Fonte: Autoria própria

O momento torçor M_{sd} é o resultado do binário de forças verticais entre dois centros de ligação separados por uma excentricidade que ocorre em ligações flexíveis, conforme ilustra a figura 10. No plano das vigas secundárias, tal excentricidade é indicada como e_1 (figura 10.a) e, no plano da viga principal, a excentricidade a provocar M_{sd} é a e_2 (figura 10.b). A excentricidade e_1 também resulta no momento fletor M na linha de parafusos da viga principal.

Figura 10 – Momento torçor resultado do binário

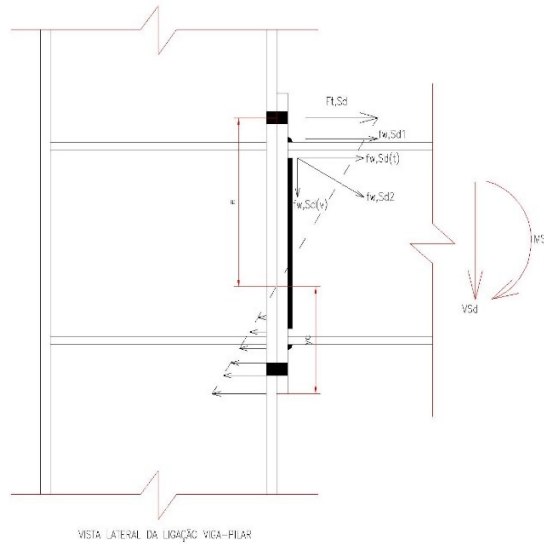


Fonte: Autoria própria

O momento fletor solicitante de cálculo M , em ligações rígidas, é o que resulta da análise estrutural, conforme a figura 11. A tensão de tração σ é calculada a partir da distância

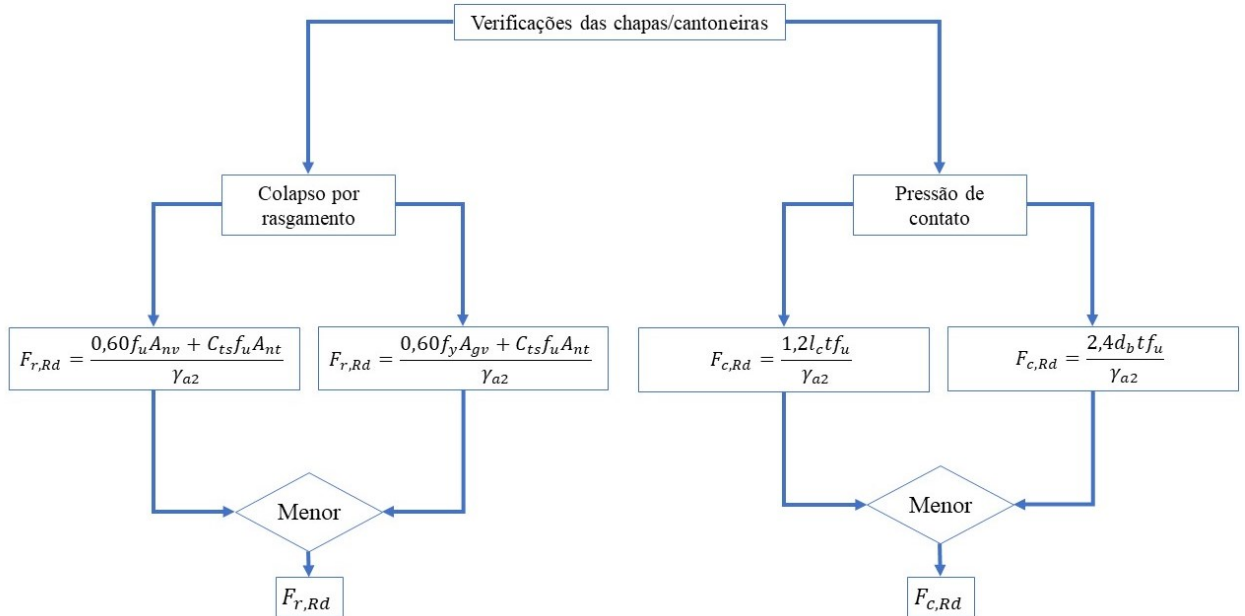
“e” entre a posição da linha neutra e o dispositivo a ser verificado. Para cálculo da tensão de tração solicitante no parafuso, o momento de inércia I é referente à área efetiva dos parafusos tracionados e a área de contato sob compressão da chapa de topo. Já, para a solda, o momento de inércia é referente à seção transversal formada pelo contorno soldado.

Figura 11 – Momento fletor solicitante em ligações rígidas



Fonte: Autoria própria

Diagrama 12 – Verificação das cantoneiras/chapas



Fonte: Autoria própria

Sendo:

$F_{v,sd}$ = Força cisalhante resultante por parafuso;

$F_{v,i}$ = Força cisalhante por parafuso;

$F_{v,mi}$ = Força cisalhante por parafuso devido ao binário;

V_{sd} = Cortante de projeto;

n = Número de parafusos.

M_{sd} = Momento resultante do binário, conforme equação XX;

r_i = Distância até o centro de gravidade da peça.

e = Excentricidade do parafuso.

A_b = Área do conector;

f_{ub} = resistência à ruptura por tração do conector.

l_f = distância entre a borda do furo e a borda do furo adjacente ou a borda livre;

d_b = diâmetro do parafuso;

t = espessura da chapa;

f_u = resistência à ruptura do aço da chapa.

f_{ub} = resistência à ruptura do material do parafuso à tração;

A_{nv} = Área líquida cisalhada;

A_{gv} = Área bruta cisalhada;

A_{nt} = Área líquida tracionada;

$C_t = 1,0$ quando a tensão de tração é uniforme ou $0,5$ para tensão não uniforme.

F_{tb} = força de protensão mínima;

$F_{t,sk}$ = força de tração solicitante de cálculo;

n_s = número de planos de deslizamento e cisalhamento;

γ_e = coeficiente de ponderação da resistência (1,00 para as combinações excepcionais e 1,20 para as demais);

μ = coeficiente médio de atrito;

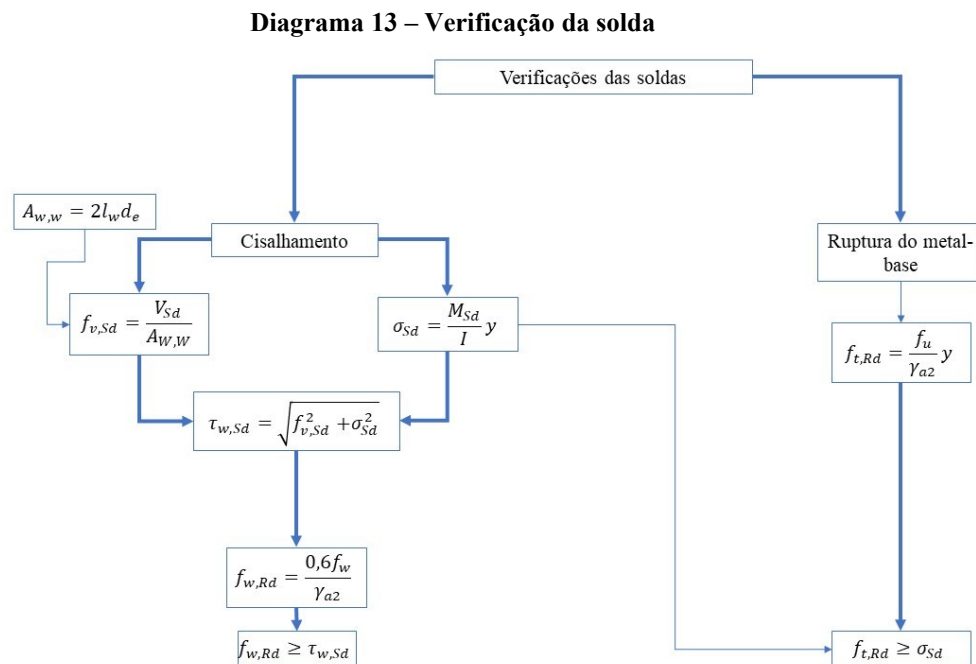
C_h = fator de furo, igual a 1,00 para furos-padrão.

3.7.4 Conexões Soldadas

A ligação feita por meio da solda é uma união por coalescência do material, obtida por fusão das partes adjacentes, a energia que promove essa fusão pode ser de origem elétrica, química, óptica ou mecânica. De maneira geral, a fusão do aço é provocada pelo calor de um arco voltaico, que ocorre entre um eletrodo metálico e o aço a soldar, havendo deposição do material.

As ligações soldadas apresentam a grande vantagem de simplificar o detalhamento. Em contrapartida exigem mão-de-obra qualificada, condições de execução controladas e necessidade de inspeção.

O presente trabalho considerou soldas de filete entre vigas e chapas de extremidade. A verificação da sua resistência pode ser obtida por meio do diagrama 13.



Fonte: Autoria própria

Sendo:

$F_{v,Sd}$ = Esforço devido à cortante;

$A_{w,w}$ = Área da alma;

$f_{w,Rd}$ = Resistência ao cisalhamento da solda;

$f_{t,Rd}$ = Resistência à tração por ruptura;

f_w = Resistência do material da solda;

y = Distância do centro de gravidade até o ponto analisado;

$\tau_{w,Sd}$ = Resultante dos esforços;

σ_{Sd} = Esforço devido ao momento fletor;

3.7.5 Verificação do ELS

Os deslocamentos dos perfis foram verificados os Estados Limite de Serviço de acordo recomendáveis pela ABNT NBR 8800:2008, a citar Combinações quase permanentes de serviço e Combinações frequentes de serviço. Os principais critérios podem ser visualizados na tabela 1.

Tabela 1 – Deslocamentos máximos

Descrição	Deslocamento limite
Travessas de fechamento	L/180
	L/120
Vigas de cobertura	L/250
Vigas de piso	L/350
Deslocamento horizontal - Total	H/400
Deslocamento horizontal - Relativo	h/500

Fonte: ABNT (2008)

3.8 DETALHAMENTO

O detalhamento consiste da proposta de plantas arquitetônica e estruturais, vistas, renderizações, assim como detalhes da estrutura e dos elementos de ligação.

3.9 ORÇAMENTO

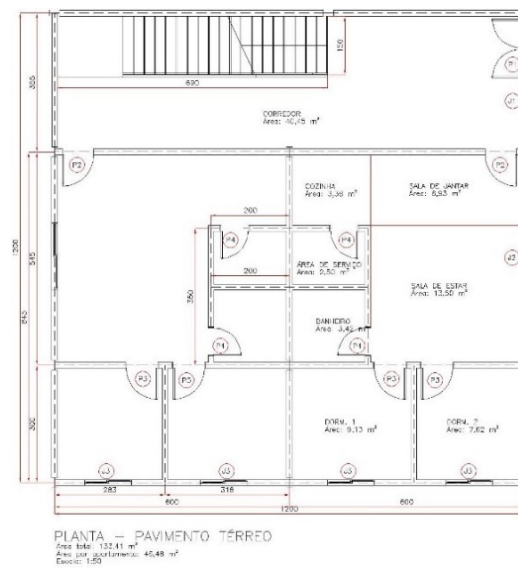
Visando comparar o sistema desenvolvido neste trabalho com o sistema de alvenaria padrão, foi efetuada a orçamentação do custo de construção, levando em consideração o Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI), assim como pesquisa de mercado para os componentes que não estejam presentes na tabela referencial. Os custos obtidos foram comparados aos valores averiguados por Dellatorre (2014) para estruturas de alvenaria estrutural e convencional.

4. DESENVOLVIMENTO

4.1 DETERMINAÇÃO DA EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL

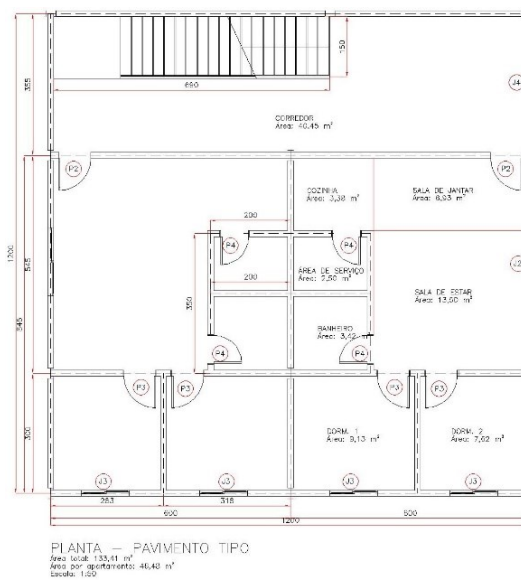
Considerando as normas, leis e diretrizes elencadas anteriormente foram determinadas as plantas e vistas a seguir. As Figuras 12 e 13 ilustram as plantas arquitetônicas do pavimento térreo e do pavimento tipo, respectivamente. Estes são fundamentais para se elaborar o sistema estrutural.

Figura 12 - Planta adotada – Pavimento térreo



Fonte: Autoria própria

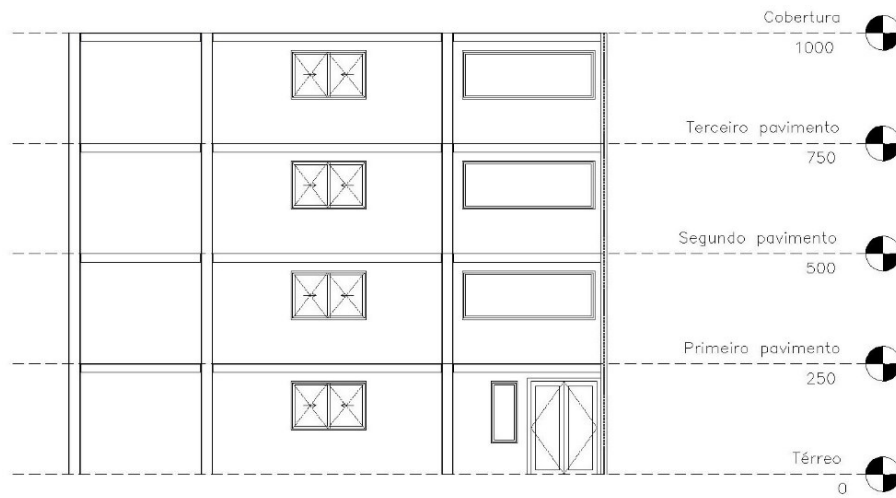
Figura 13 - Planta adotada – Pavimento Tipo



Fonte: Autoria própria

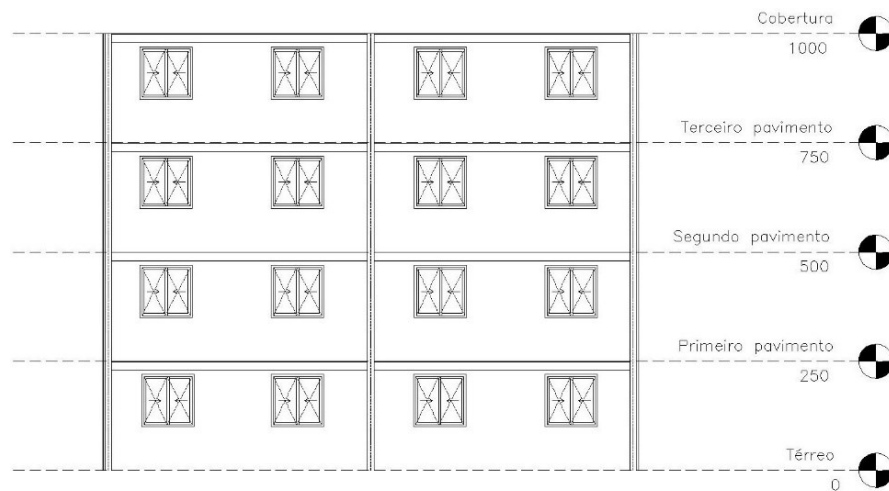
As figuras 14 e 15 ilustram a elevação frontal e lateral, com posição e nível das aberturas previstas. Observa-se que a estabilização do edifício dispensa contraventamentos laterais e é garantida pela continuidade das ligações entre viga e pilar. Esta proposta foi adotada com intuito de evitar interferências em fachadas. Como o edifício proposto é de pequena altura em relação as suas dimensões em planta, esta estratégia mantém o limite de deslocabilidade global dentro do aceitável.

Figura 14 – Vista frontal



Fonte: Autoria própria

Figura 15 – Vista lateral



Fonte: Autoria própria

A relação de esquadrias para fins de orçamentação é descrita na tabela 2:

Tabela 2 – Relação de esquadrias

Código	Especificação	Dimensões (cm)	Quantidades
P1	Porta de giro dupla - Vidro	140x210	1
P2	Porta de giro - Madeira maciça	80x210	8
P3	Porta de giro – Madeira semi-oca	80x210	16
P4	Porta de giro – Madeira semi-oca	70x210	16
J1	Janela fixa – Alumínio	60x130	1
J2	Janela de correr 2 folhas - Alumínio	170x110	8
J3	Janela de correr 2 folhas - Alumínio	110x110	16
J4	Janela fixa – Alumínio	300x110	3

Fonte: Autoria própria

4.2 POSICIONAMENTO DOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS

O posicionamento dos elementos estruturais foi definido de acordo com o estabelecido no subcapítulo 3.2, podendo ser visualizado nas Figuras 16 e 17. Observa-se na figura 13 a orientação dos pilares, bem como a distância entre as vigas secundárias do piso. Ressalta-se que o modelo estrutural considera a ligação entre vigas e pilares como rígidas e, entre vigas secundárias e vigas principais, como flexíveis.

Figura 16 – Planta estrutural



Fonte: Autoria própria

Figura 17 – Renderização



Fonte: Autoria própria

4.3 PRÉ-DIMENSIONAMENTO

O pré-dimensionamento dos pilares leva em consideração o comprimento de flambagem e o limite de esbeltez. Adotando-se o limite de esbeltez de 100 e o valor do comprimento de flambagem de 65% do comprimento real, conforme recomendação da ABNT NBR 8800:2008 para estruturas duplamente engastadas, é possível obter o raio de giração e a especificação dos pilares. Na Tabela 3 é possível visualizar o pré-dimensionamento dos pilares.

Tabela 3 – Pré-dimensionamento de pilares

Código	Comprimento total	Comprimento entre engastes	Comprimento de flambagem	Raio de giração	Especificação
P1 – P11	10,0 m	2,50 m	3,00 m	3,00 cm	W 150 x 22,5

Fonte: Autoria própria

O pré-dimensionamento das vigas considera a altura da viga como função do vão vencido nas taxas de 1/15 e 1/25. Na Tabela 4 é possível visualizar os vãos e a especificação da viga quando consideradas essas taxas e a viga como hiperestática.

Tabela 4 – Pré-dimensionamento das vigas

Código	Vão real (m)	Vão de cálculo (m)	Altura recomendada (mm)	Especificação
V101	12,00	9,60	384 - 640	W 410 x 38,8
V102	7,00	5,60	224 - 373	W 250 x 17,9
V103 - V108	6,00	4,8	240 - 400	W 250 x 17,9
V109, V115 - V119	3,55	2,84	114 - 189	W 150 x 13,0
V110 - V114	1,90	1,52	61 - 101	W 150 x 13,0
V120 - V130	5,45	4,36	174 - 291	W 200 x 15,0
V131 - V141	3,00	2,4	96 - 160	W 150 x 13,0

Fonte: Autoria própria

As vigas do último andar na região da escada são iguais as V109, V115-V119, visando suportar as cargas da cobertura.

4.4 DETERMINAÇÃO DAS AÇÕES

As ações atuantes obtidas por meio das normas, catálogos e/ou calculados, utilizadas no pré-dimensionamento, estão dispostos na Tabela 5.

Tabela 5 – Ações atuantes

Ação	Carga	Fonte dos dados
Cargas permanentes		
Laje de Painel Wall	0,37kN/m ²	Catálogo Eternit
Paredes em Painel Wall ¹	0,70 kN/m ²	Catálogo Eternit
Revestimento do piso	1,0 kN/m ²	ABNT NBR 6120:2019
Revestimento da cobertura	1,8 kN/m ²	ABNT NBR 6120:2019
Peso próprio	Tabela 5	
Cargas variáveis		
Vento	0,82 kN/m ²	Visual ventos
Utilização	2,5 kN/m ²	ABNT NBR 6120:2019

Fonte: Autoria própria

As cargas lineares advindas do peso próprio foram obtidas das tabelas referenciais para perfis laminados e podem ser visualizadas na Tabela 6.

Tabela 6 – Peso próprio

Código	Ação linear
V101	0,38 kN/m

¹ Incluso as placas, lâ de vidro e os valores correspondentes aos perfis metálicos necessários para fixação.

V102	0,18 kN/m
V103 - V108	0,18 kN/m
V109, V115 - V119	0,13 kN/m
V110 – V114	0,13 kN/m
V120 – V130	0,15 kN/m
V131 – V141	0,13 kN/m

Fonte: Autoria própria

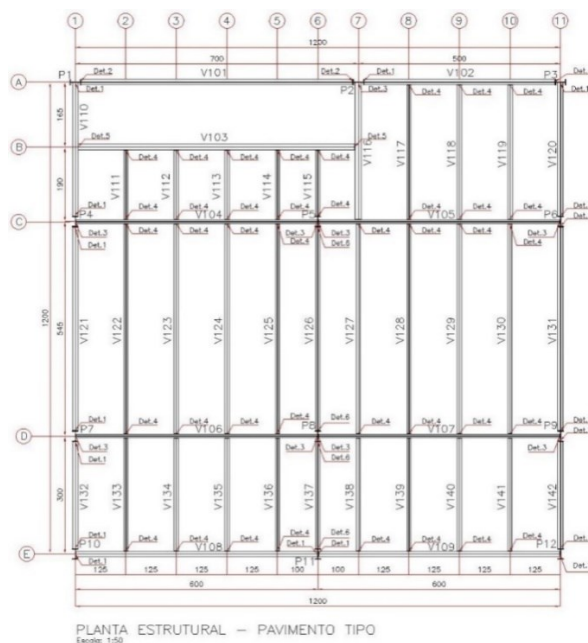
4.5 ANÁLISE ESTRUTURAL

A determinação dos esforços foi realizada com o auxílio do *software* computacional SAP 2000®. Os esforços solicitantes da estrutura foram obtidos após realizar a inserção das cargas permanentes e variáveis que agem sobre a estrutura, e definição das combinações para os estados limites. Foi realizada a análise não linear de segunda ordem, que considera a posição deslocada, bem como uma não linearidade de material, prevista em norma.

Os esforços foram definidos a partir das combinações de estados limites últimos, e as combinações de estado limite de serviços foram definidas para determinar os deslocamentos máximos da estrutura.

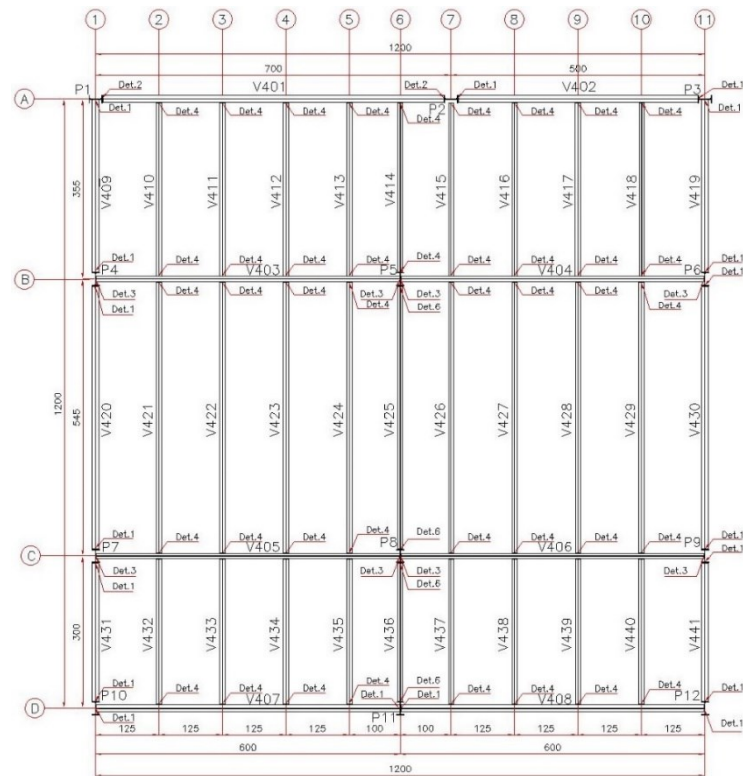
Durante a execução do modelo estrutural foi necessário inserir um pilar na viga V101, pois havia um excesso de deslocamento vertical. A nova estrutura pode ser visualizada nas Figuras 18 e 19. Os principais esforços obtidos podem ser visualizados na tabela 7.

Figura 18 – Planta estrutural do pavimento tipo



Fonte: Autoria própria

Figura 19 – Planta estrutural da cobertura

PLANTA ESTRUTURAL – COBERTURA
Escala: 1:50

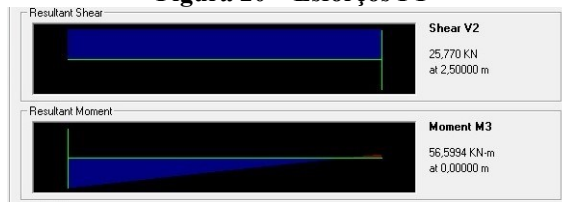
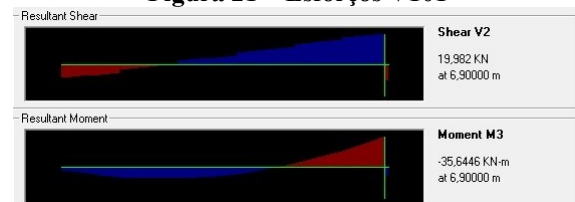
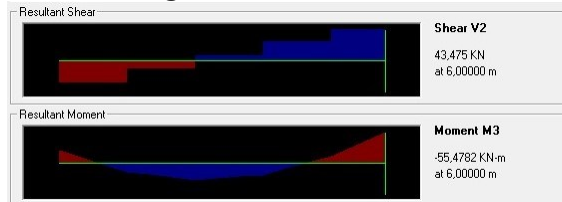
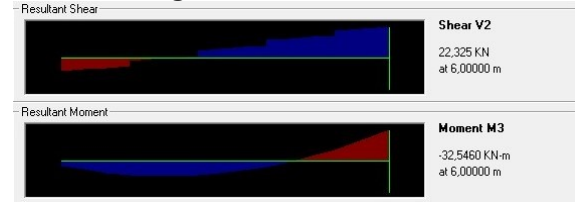
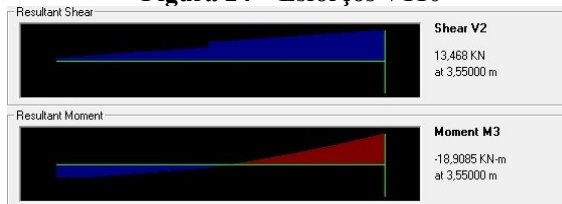
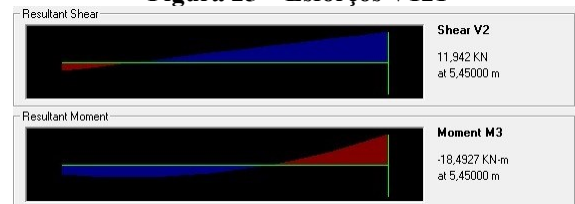
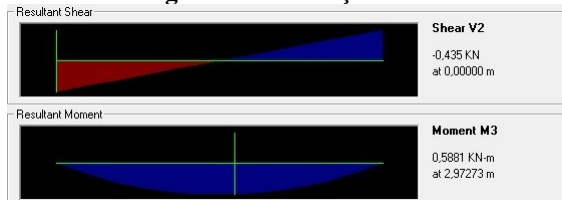
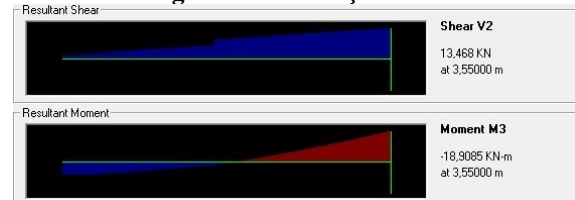
Fonte: Autoria própria

Tabela 7 – Principais esforços

Código	Esforço normal (kN)	Esforço cortante (kN)	Momento fletor (kN.m)
P1	-368,88	25,77	56,60
V101	-1,68	19,98	-35,64
V104	0,29	-35,02	-40,33
V108	0,05	22,33	-32,55
V110	-3,22	13,50	-18,91
V121	-0,88	11,94	-18,50
V124	-0,05	0,44	0,59
V126	-0,05	-7,79	-8,80

Fonte: Autoria própria

A disposição dos esforços nos perfis, conforme foi fornecido pelo SAP 2000, pode ser visualizada nas Figuras 20 – 27.

Figura 20 – Esforços P1**Figura 21 – Esforços V101****Figura 22 – Esforços V104****Figura 23 – Esforços V108****Figura 24 – Esforços V110****Figura 25 – Esforços V121****Figura 26 – Esforços V124****Figura 27 – Esforços V126**

Fonte: Autoria própria

4.6 VERIFICAÇÃO DAS RESISTÊNCIAS

Os perfis das tabelas 3 e 4 tiveram suas dimensões alteradas, seja por superação da capacidade mecânica do perfil ou pelo excesso de deslocamento. Na tabela 8 é possível visualizar os perfis dimensionados e a porcentagem de utilização de sua capacidade de resistência. Foi utilizada a planilha elaborada pelo Eng. Felipe Jacob como auxílio no dimensionamento dos perfis

Tabela 8 – Perfis dimensionados

Código	Especificação	Capacidade utilizada (%)
P1-P12	W 250 x 38,5	82,12%
V101, V102, V108, V109, V110, V120, V121, V131, V132, V142	W 200 x 26,6	94,7%
V103, V116	W 150 x 22,5	95,9%
V104 – V107	W 150 x 24,0	96,6%
V111 – 119, V122 – V125, V127 – V130, V133 – V136, V138 - V141	W 150 x 13,0	44,1%
V126, V137	W 150 x 13,0	77,2%

Fonte: Autoria própria

4.7 DETERMINAÇÃO DAS LIGAÇÕES

As ligações foram determinadas conforme o item 3.7, sendo utilizado ligações rígidas do tipo chapa de cabeça nas interfaces viga-pilar e ligações flexíveis do tipo parafusada com cantoneiras nas interfaces viga-viga. A tabela 9 apresenta a relação de ligações, sendo que os detalhes podem ser visualizados nas Figuras 28 - 24.

Tabela 9 – Relação de ligações

Código	Detalhe	Comportamento
V101	Detalhe 2	Rígido
V102, V108, V109, V110, V120, V121, V131, V132, V142	Detalhe 1	Rígido
V103, V116	Detalhe 5	Flexível
V104 – V107	Detalhe 3	Rígido
V111 – V114, V116 - 119, V122 – V125, V127 - V130, V133 – V136, V138 -V142	Detalhe 4	Flexível
V115, V126, V137	Detalhe 6	Rígido

Fonte: Autoria própria

A ligação da base do pilar com os respectivos blocos não foi dimensionada.

4.8 DETALHAMENTO

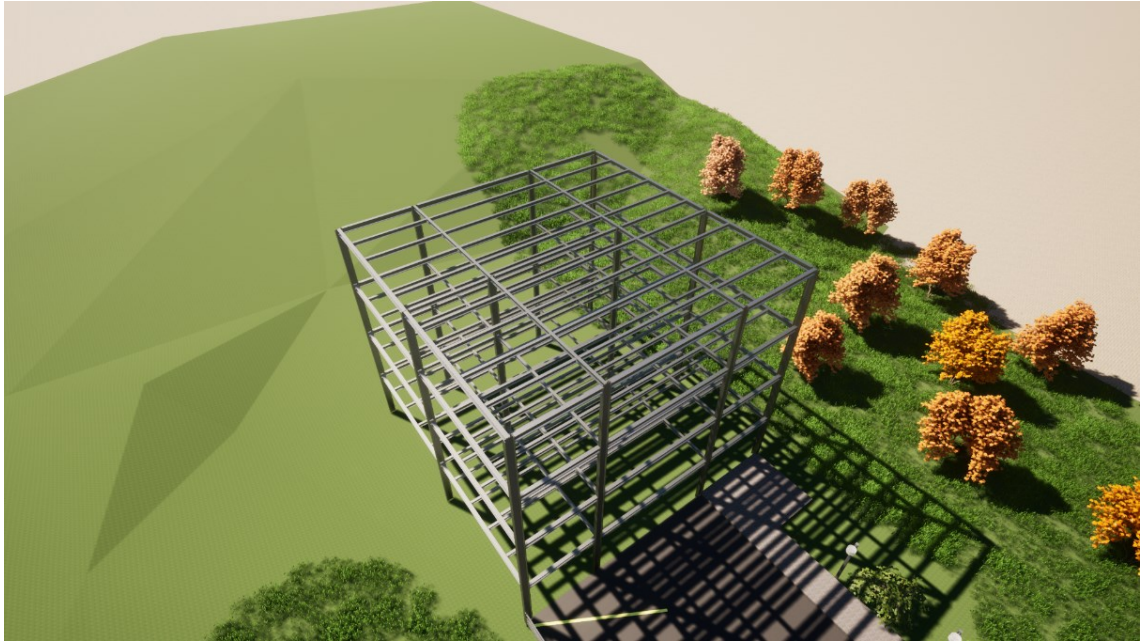
Utilizando os perfis e as ligações calculadas foi possível realizar o detalhamento da estrutura, conforme pode ser visualizado nas figuras 28 a 35.

Figura 28 – Vista arquitetônica



Fonte: Autoria própria

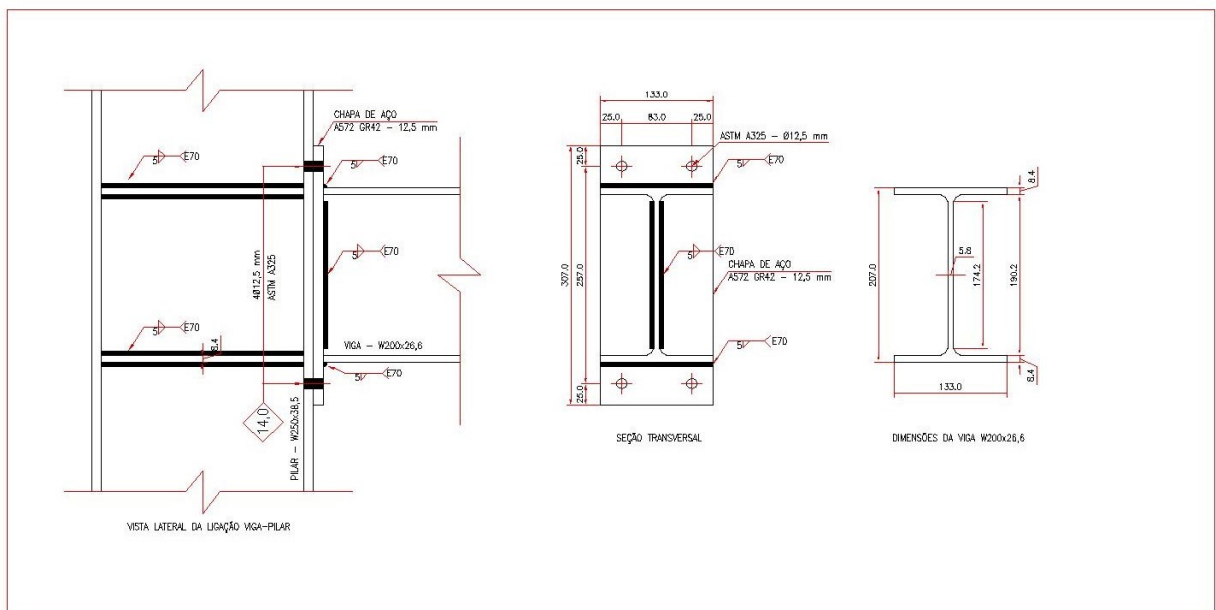
Figura 29 – Vista estrutural



Fonte: Autoria própria

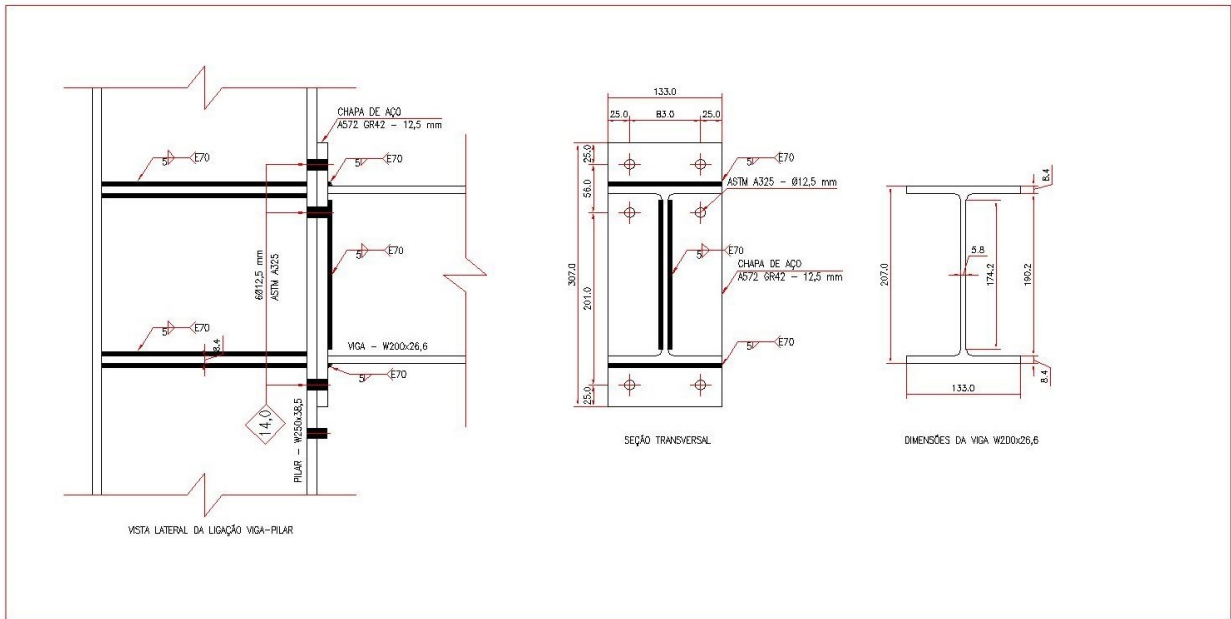
Figura 30 – Detalhe 1

DETALHE 1 – RÍGIDO



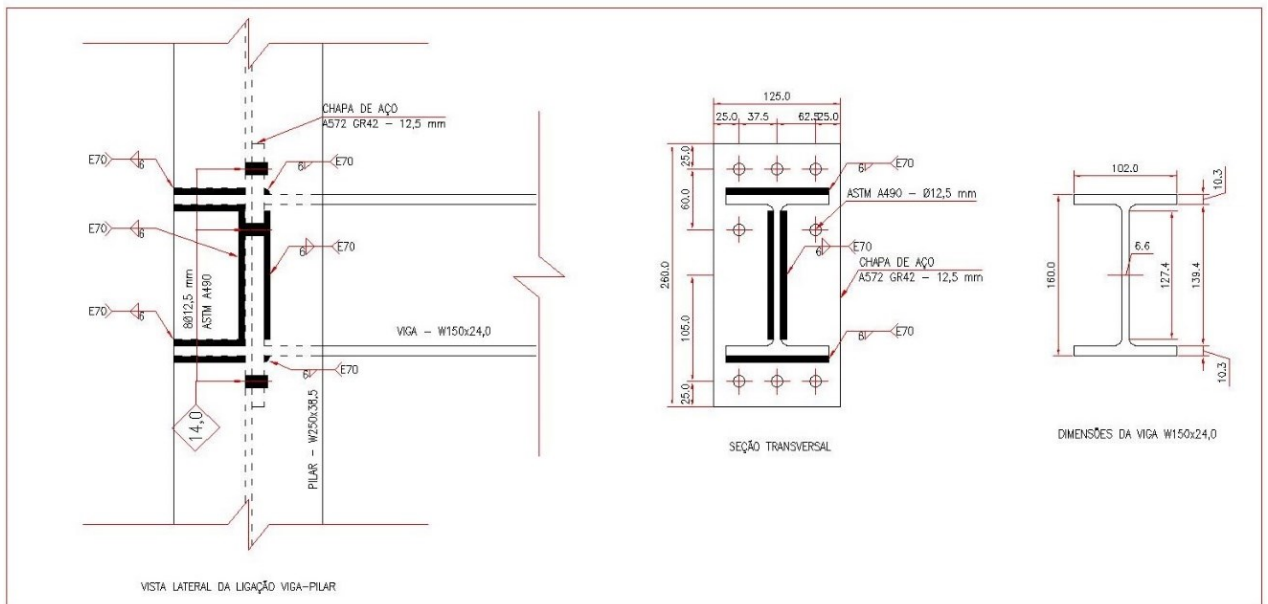
Fonte: Autoria própria

Figura 31 – Detalhe 2
DETALHE 2 – RÍGIDO



Fonte: Autoria própria

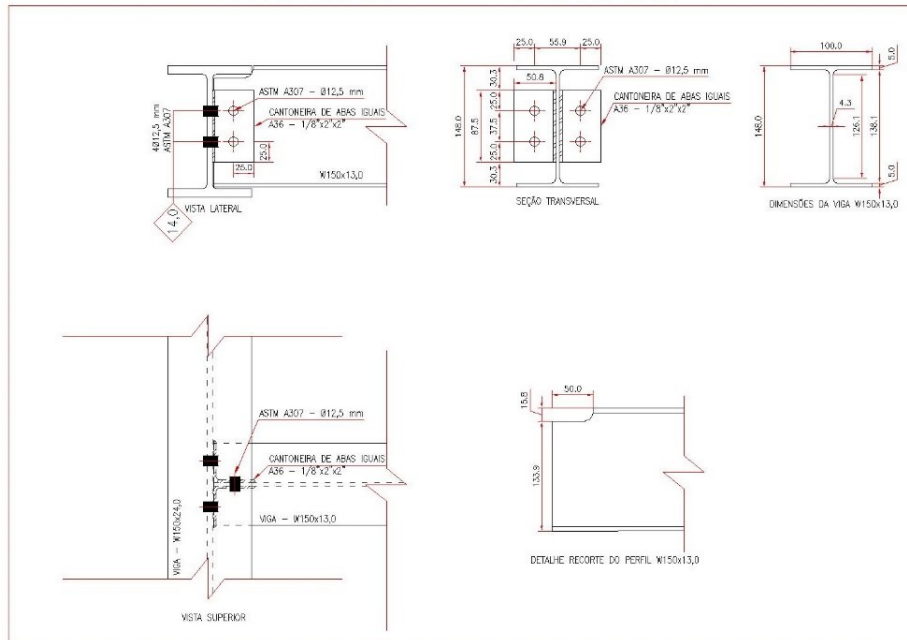
Figura 32 – Detalhe 3
DETALHE 3 – RÍGIDO



Fonte: Autoria própria

Figura 33 – Detalhe 4

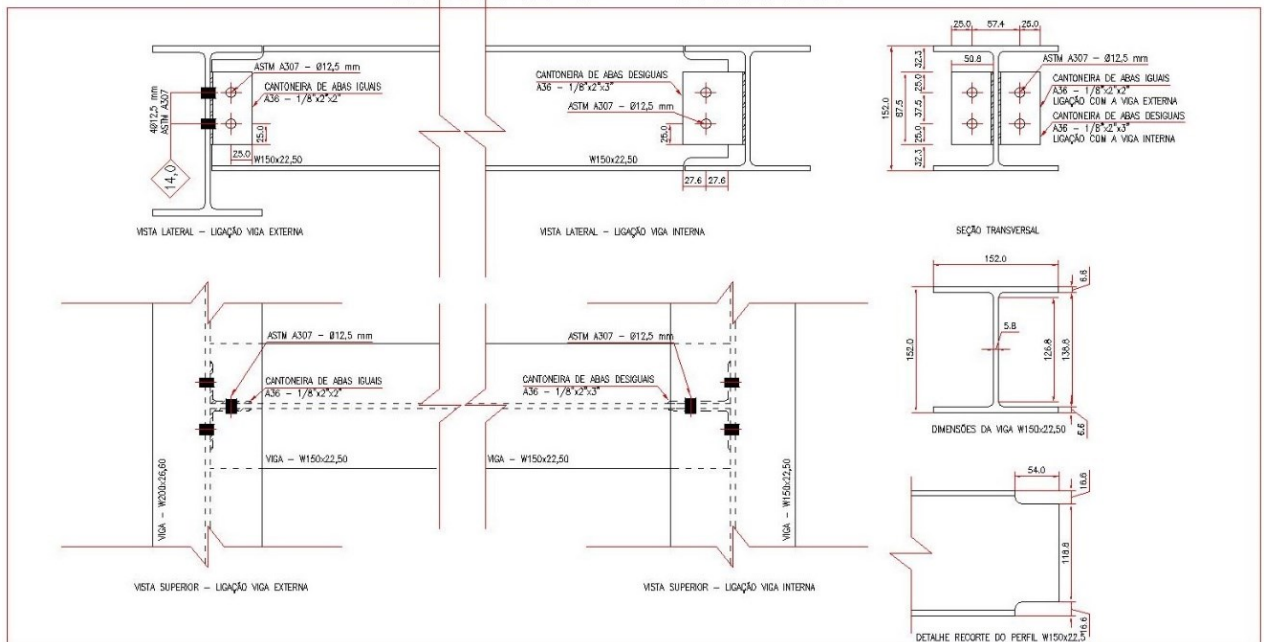
DETALHE 4 – FLEXÍVEL



Fonte: Autoria própria

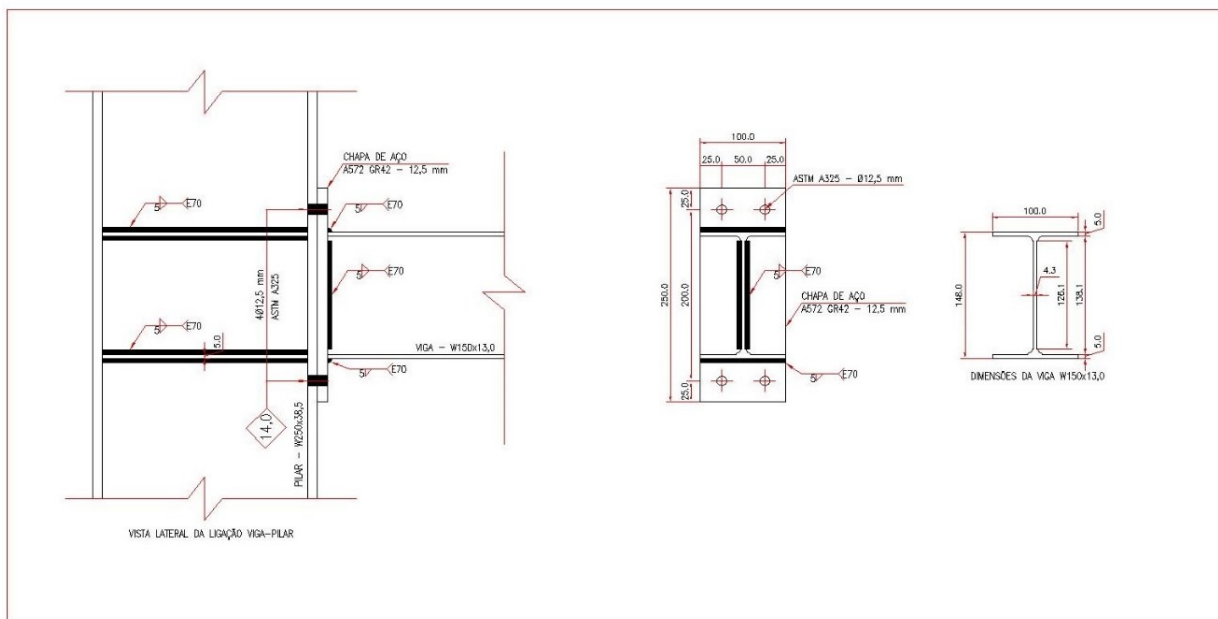
Figura 34 – Detalhe 5

DETALHE 5 – FLEXÍVEL



Fonte: Autoria própria

Figura 35 – Detalhe 6
DETALHE 6 – RÍGIDO



Fonte: Autoria própria

4.9 ORÇAMENTO

Através da definição do projeto arquitetônico, dimensionamento dos perfis e detalhamento das ligações foi possível levantar os quantitativos. Utilizando as composições de preços presentes no SINAPI de março de 2021 pode-se levantar o custo estimado da obra, conforme pode ser visualizado nas tabelas 10, 11 e 12.

Tabela 10 – Orçamento de revestimentos

Revestimento	Unidade	Quantidade total	Referência	Custo unitário (R\$)	Custo total (R\$)
Painel Wall 40 mm	m ²	897,46	96361 - Modificada	251,38	225.600,17
Painel Wall 55 mm - Lajes	m ²	517,94	96110 - Modificada	184,46	95.537,48
Lã de vidro	m ²	897,46	96372	31,18	27.982,80
Forro de gesso	m ²	493,84	96109	38,43	18.978,27
Manta asfáltica	m ²	229,40	98546	78,72	18.058,37
Piso cerâmico	m ²	74,40	93389	45,63	3.394,87
Azulejo cerâmico	m ²	372,00	93392	42,79	15.917,88
Proteção mecânica para manta	m ²	147,56	98563	28,82	4.252,68
Total (R\$)					409.722,53
Total (R\$/m²)					569,06

Fonte: Autoria própria

Tabela 11 – Orçamento de esquadrias

Esquadria	Unidade	Quantidade total	Referência	Custo unitário (R\$)	Custo total (R\$)
Porta de giro – Dupla – Vidro – 140x210	un	1	102185	2.887,18	225.600,17
Porta de giro – Madeira maciça – 80x210	m ²	13,44	90791	641,55	95.537,48
Porta de giro – Semi-oca – 80x210	m ²	26,88	90790	546,66	27.982,80
Porta de giro – Semi-oca – 70x210	m ²	23,52	90789	529,75	18.978,27
Janela fixa – Alumínio – 60x130	m ²	0,78	100674	379,81	18.058,37
Janela fixa – Alumínio – 300x110	m ²	9,90	100674	379,81	3.394,87
Janela de correr – Alumínio – 2 folhas – 170x110	m ²	29,92	94570	343,87	15.917,88
Janela de correr – Alumínio – 2 folhas – 110x110	m ²	9,68	94570	343,87	4.252,68
Total (R\$)					42.915,76
Total (R\$/m²)					59,61

Fonte: Autoria própria

Tabela 12 – Orçamento de perfis metálicos

Perfil	Unidade	Quantidade total	Referência	Custo unitário (R\$)	Custo total (R\$)
W150x13,0 - Soldada	kg	439,40	100764	17,04	225.600,17
W150x13,0 - Parafusada	kg	4.716,40	100763	17,13	95.537,48
W150x22,5 - Soldada	kg	239,63	100764	17,04	27.982,80
W150x22,5 - Parafusada	kg	472,50	100763	17,13	18.978,27
W150x24,0- Soldada	kg	2.304,00	100764	17,04	18.058,37
W200x26,6- Soldada	kg	5.107,20	100764	17,04	3.394,87

W250x38,5	kg	4.620,00	100766	16,83	15.917,88
Total (R\$)					304.467,89
Total (R\$/m²)					422,91

Fonte: Autoria própria

Todas as composições consideradas já consideram os materiais, acessórios, maquinários, transporte dentro do canteiro e a mão de obra necessária para a execução, excluindo-se somente o deslocamento do local de compra dos materiais até o canteiro de obras. Na tabela 13 é possível visualizar o resumo dos custos averiguados.

Tabela 13 – Resumo do orçamento

Item	Custo total (R\$)	Custo total por área (R\$/m²)
Revestimentos	409.722,53	569,06
Esquadrias	42.915,76	59,61
Perfis metálicos	304.467,89	422,91
Custo total (R\$)		R\$ 757.136,19
Custo total por área (R\$/m²)		R\$ 1.051,58

Fonte: Autoria própria

5. LOGISTICA DE TRANSPORTE E MONTAGEM

Embora seja viável a fabricação de estruturas mais simples no próprio canteiro, a situação mais comum é aquela em que a fabricação e a montagem ocorram em locais diferentes, principalmente se tratando de estruturas metálicas, onde o processo de fabricação ocorre em fabricas e siderúrgicas. Neste caso as estruturas de aço deverão ser transportadas até o local da montagem após a fabricação. A matéria-prima utilizada nas estruturas, como chapas e perfis, também depende de transporte desde a usina siderúrgica ou distribuidor até a fábrica (PINHO, 2005).

A montagem de cada peça em seu lugar na estrutura será realizada por equipamentos de içamento como gruas e guindastes. Estes meios de levantamento de peças também possuem limites de capacidade de carga, que acarretam limitações no peso das peças. Além destes, os seguintes fatores podem se constituir em limitações para as dimensões, pesos e volumes das peças - seja em conjunto, seja individualmente:

1. Problemas relativos ao trajeto de transporte, como limitações quanto a largura, altura e pesos máximos permitidos.
2. Limites impostos pelo processo de montagem ou peça disponibilidade de espaço no armazenamento.
3. Limitações relativas à estabilidade das peças durante o processo de montagem, seja de uma peça individualmente durante o içamento, seja após ocupar seu lugar na estrutura.

Por estas razões ou outras derivadas destas, as peças devem ser concebidas na fase de projeto e arranjadas para o transporte, de modo a não acarretarem problemas nas fases de transporte e montagem (PINHO, 2005).

5.1 TRANSPORTE DOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS

O Brasil possui uma diversificada rede de sistemas de transporte, que contribui com o desenvolvimento econômico e com a integração do país, os modais de transporte aéreo, aquaviário, ferroviário e rodoviário se complementam, permitindo o escoamento de produtos entre as regiões. O transporte de mercadorias por caminhões entre 1945 e 1980 esteve em ascendência e os motivos principais para este crescimento foram atribuídos inicialmente ao objetivo exportador do modal ferroviário. Seguidamente, devido a sua degradação em função de poucos investimentos, associado à baixa produtividade dos portos que foi provocada, entre

outras, pela legislação desestimuladora que os cercava no sentido de desencorajar as inovações necessárias em organização e tecnologia, impossibilitando a competitividade, intensificou a escolha pelo transporte rodoviário (SCHMIDT, 2011).

No entanto, outros fatores viabilizam o crescimento acelerado do modal rodoviário: reduzido custo de implantação por quilômetro, prazo de maturação e prazo de retorno dos investimentos menores, adaptação gradual das estradas e o modal rodoviário foi alavancado pela expansão da indústria automobilística no país (GRACIANO, 1971).

5.1.1 Tipos de veículos de transporte

1. Caminhão toco – Possui um eixo simples na carroceria que é montada sobre o mesmo chassi da cabina do motorista, onde se encontra o outro eixo do veículo. Possui capacidade de carga de aproximadamente 8t. As dimensões aproximadas da carroceria são:
 - Comprimento: 6,9m
 - Largura: 2,4m
2. Caminhão Trucado ou “Truck” – Com eixo duplo na carroceria, sendo um dos dois o motriz. A carroceria é montada sobre o mesmo chassi da cabina, onde se encontra o terceiro eixo do veículo. Possui capacidade de carga de aproximadamente 15t. As dimensões aproximadas da carroceria são:
 - Comprimento: 7,8m
 - Largura: 2,4m
 - Cavalos mecânicos com semirreboque (carreta) – Composto de dois veículos distintos: o primeiro é o veículo trator ou tracionador, o cavalo mecânico, que possui normalmente dois eixos, um frontal bem abaixo da cabina, responsável pela direção do veículo e o outro eixo motriz na parte de trás. Eventualmente o chamado 3º eixo será instalado, atrás do eixo motriz na extremidade frontal (onde existe uma articulação) e em três eixos traseiros tandem, dotados de quatro rodas cada. Possui capacidade de carga de aproximadamente 27t. As dimensões aproximadas da carroceria são:
 - Comprimento: 14,8m
 - Largura: 2,5m

Os três tipos de veículos apresentados fazem parte daqueles chamados de veículos normais. Existem outros tipos de veículos para transporte de cargas conhecidos como veículos especiais, estes possuem as dimensões de comprimento e largura que ultrapassam as dimensões do veículo padrão, conforme resolução 210/06 do CONTRAN.

No presente trabalho, as peças metálicas com maiores dimensões possuem cerca de 10 metros de comprimento longitudinal, ou seja, não haverá necessidade da contratação de veículos especiais para o transporte das peças metálicas da origem até o canteiro de obra. Podendo ser realizada, portanto, pelo veículo do tipo Caminhão Truncado, com eixo duplo na carroceria. No entanto, deve ser observada a capacidade de carga.

5.2 MONTAGEM DOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS

A montagem de estruturas em aço é um processo industrializado, já que grande parte das peças são concebidas em fábrica. Entretanto, para que a etapa seja bem-sucedida, deve haver rigoroso planejamento entre equipamentos, mão de obra e materiais. É necessário que haja um cronograma executivo, assim como em qualquer obra de construção civil, bem como cálculos de cargas durante o processo, verificação, alinhamento e nivelamento dos elementos estruturais, incluindo as ligações, de forma que a estrutura obtenha estabilidade global e segurança aos usuários (COSTA, 2018).

Em relação à mão de obra básica de uma construção metálica BELLEI (2008, pág. 284), destaca os seguintes profissionais:

- a) Engenheiro - Responsável pela gerência do canteiro de obras; resolução dos problemas técnicos que envolvem a montagem; contatos com o cliente, fornecedores e administração central da empresa;
- b) Administrativo - Responsável por compras, contratação de pessoal, despesas de canteiro;
- c) Ferramenteiro/Almoxarife – Guarda de ferramentas, equipamentos e materiais consumíveis;
- d) Topógrafo - Verifica o alinhamento, nivelamento, prumo e dimensões das bases e peças da estrutura;
- e) Encarregado/Mestre - Responsável pela liderança do pessoal de mão-de-obra direta; determina juntamente com o engenheiro o cumprimento da sequência de peças a serem montadas;
- f) Montador - Executa a montagem das peças da estrutura, coloca e aperta parafusos, posiciona peças a serem soldadas na pré-montagem, executa verificação dimensional e de alinhamentos juntamente com a topografia;
- g) Soldador - Executa a soldagem das juntas a serem soldadas no canteiro, conforme procedimentos e dimensionamento de projeto; cuida do abastecimento de eletrodos nas estufas;

- h) Maçariqueiro - Executa cortes com maçarico onde necessário;
- i) Pintor - Executa dosagem de tintas e catalisadores, diluição com solventes, limpeza do equipamento de pintura, retoques e pintura das estruturas;
- j) Ajudante - Executa serviços auxiliares como descarga de peças, retoques de pintura, montagem de andaimes, localização e içamento de peças, ligação com cabos de aço ou cintas para içamento das peças e separação de parafusos.

Considerando que a montagem de estruturas metálicas seja um processo industrializado, após a fabricação das peças e antes do transporte até a obra, os elementos estruturais podem ser montados, em partes, ainda na fábrica, como por exemplo, a soldagem das placas de base ou chapas de ligação aos perfis metálicos, bem como a execução dos furos para os parafusos. Além destes processos, deve haver ainda a conferência de medidas, com ajustes necessários, evitando desta forma problemas e etapas construtivas no canteiro de obras (COSTA, 2018).

O processo de montagem de uma estrutura de aço consiste na união de peças pré-fabricadas no canteiro de obras, para formação do conjunto da estrutura. Para a montagem de quaisquer estruturas, sempre serão utilizados equipamentos mecânicos que possibilitem o içamento das peças de maneira segura (PINHO, 2005).

Os dois principais e mais comuns equipamentos de içamento vertical são as guias e os guindastes. As guias se caracterizam por possuírem uma torre vertical na qual se apoia uma lança horizontal. Os guindastes mais comuns são formados por um veículo de deslocamento sobre o solo, do qual parte uma lança que se projeta para cima formando vários ângulos com a horizontal.

Como todas as demais etapas de construção de edificações em estruturas de aço, a montagem deve ser planejada visando o aproveitamento dos materiais, mão de obra e do uso dos equipamentos dentro do canteiro, visando sempre à redução dos deslocamentos das peças. Devem ser observados fatores como capacidade do equipamento, em tonelada montada por dia, bem como sua posição estratégica em relação à obra.

6. ANÁLISE DOS RESULTADOS

6.1 COMPARAÇÃO DOS CUSTOS

Através da estimativa de cargas, análise estrutural, dimensionamento dos perfis e ligações foi possível obter uma estrutura composta de perfis globalmente esbeltos. Para avaliar a viabilidade da estrutura metálica é necessário comparar o custo das peças dimensionadas com as metodologias padrões de construção. Segundo Dellatorre (2014), o custo por metro quadrado de um edifício de alvenaria estrutural é de R\$ 102,15/m² e o edificado utilizado concreto armado convencional, considerando os blocos de vedação, é de R\$ 160,52/m². Tais valores devem ser atualizados para que seja possível realizar a comparação com a estrutura metálica dimensionada, ainda mais frente à recente elevação dos custos dos materiais de construção devido ao período pandêmico (CBIC, 2021).

Os valores levantados por Dellatore (2014) foram atualizados considerando o Índice Nacional de Custo da Construção (INCC) para o período de setembro de 2014, referência utilizada pelo autor, até março de 2021, ponto de referência deste trabalho. Os valores corrigidos podem ser visualizados na tabela 13.

Tabela 13 – Valores atualizados

Tipo da estrutura	Referência original	Valor original (R\$/m²)	Inflação acumulada (%)	Custo por metro quadrado(R\$/m²)
Alvenaria estrutural	Setembro/2014	102,15	45,04	148,15
Estrutura convencional	Setembro/2014	160,52	45,04	232,81

Fonte: Autoria própria

A comparação dos valores atualizados com os obtidos para a estrutura metálica, considerando somente a estrutura e os revestimentos, podem ser visualizados na tabela 14.

Tabela 14 – Comparação de valores

Tipo da estrutura	Custo por metro quadrado(R\$/m²)
Alvenaria estrutural	148,15
Estrutura convencional	232,81
Estrutura metálica	991,97

Fonte: Autoria própria

É possível visualizar que o custo da estrutura metálica ficou quase sete vezes mais cara que o edifício em alvenaria estrutural e mais de quatro vezes mais caro que a estrutura convencional. Há diversas hipóteses para discrepância entre o edifício em aço e as demais metodologias de edificação, sendo as principais elencadas a seguir:

1. A utilização de painéis *Wall* na laje requisitou suportes posicionados a cada 1,25 metros, esses perfis foram dimensionados utilizando seções W, o que ocasionou a uma limitação comercial de qual seria o perfil mínimo a se adotar (W 150x13,00). Tal perfil se encontra superdimensionado, como é possível visualizar na tabela 7, utilizando-se, na situação mais carregada, de somente 44,1% de toda a resistência disponível. O superdimensionamento e a maior presença desses suportes provocaram um considerável aumento no custo por metro quadrado, visto que esses perfis correspondem por mais de 26% do custo total da estrutura metálica;

2. A utilização de painéis *Wall* como revestimento externo, interno e nas lajes causou um grande desequilíbrio orçamentário, correspondendo por mais de 42% de toda a edificação.

Mesmo considerando somente a parte estrutural do edifício com estrutura em concreto armado e comparando-a com a estrutura da edificação em aço, ainda há uma diferença de aproximadamente três vezes no custo por metro quadrado (R\$ 137,47/m² contra R\$ 422,91/m²), evidenciando que a principal causa do custo excessivo foi ocasionado pelo superdimensionamento dos suportes da laje e não pela escolha do revestimento.

6.2 ANÁLISE DOS DESPERDÍCIOS

Uma das propostas deste trabalho é reduzir ao máximo o desperdício de matéria-prima, sendo que uma das principais diretrizes do projeto arquitetônico era a utilização do comprimento comercial das peças metálicas, de forma a evitar os excessos. Considerando os perfis metálicos utilizados, seus comprimentos comerciais e a quantidade de cada um, é possível estimar quantos perfis seriam necessários, assim como prever o desperdício, conforme pode ser visualizado na tabela 15.

Tabela 15 – Análise do desperdício

Perfil	Quantidade (kg)	Número de perfis	Taxa de utilização (%)	Desperdício
W150x13,0	5.155,80	33	100%	0%
W150x22,5	712,13	2,64	88%	12%
W 150x24,0	2.304,00	8	100%	0%
W200x26,6	5.107,20	16	100%	0%
W250x38,50	4.620,00	12	83,3%	16,67%

Fonte: Autoria própria

Em sua maior parte, há aproveitamento de todo o comprimento dos perfis metálicos, com exceção dos perfis utilizados no contorno da escada e nos pilares. As principais causas que levaram ao desperdício de matéria foram:

1. A otimização dos perfis do entorno da escada é dificultada pela imposição de limites rígidos nas dimensões dos pisos e espelhos, o que levou a utilização de um perfil de comprimento subótimo;
2. O desperdício advindo dos perfis metálicos utilizados nos pilares é ocasionado pela imposição de um pé-direito de 2,50 metros durante a elaboração do projeto arquitetônico, o que limitou a altura da estrutura em 10 metros. O pé-direito do edifício pode ser aumentado para 3,00 metros, assim, além do aumento no conforto e prestígio dos apartamentos, o perfil W250x38,50 seria utilizado em sua plenitude;
3. As sobras das barras podem ser utilizadas na fabricação de enrijecedores de alma.

7. CONCLUSÃO

Este trabalho, através da análise bibliográfica, estudos, desenvolvimento arquitetônico, análise estrutural e orçamentária possibilitou a verificação da viabilidade da utilização de perfis estruturais na edificação de prédios de baixo custo. Verificou-se que, da forma em que foi modelado, os custos de se utilizar perfis laminados em toda a estrutura da edificação se torna inviável. Apesar dos custos proibitivos averiguados na análise orçamentária, foi possível desenvolver um projeto arquitetônico que possui baixíssimos níveis de desperdício.

Mais do que os acertos deste trabalho, é necessário se atentar aos problemas na modelagem que ultimamente levaram ao fracasso da análise orçamentária, levando consigo o aprendizado que estes trouxeram. Tais erros, se corrigidos, podem levar a uma nova solução para o problema crônico de falta de habitação no território nacional. Com base nos resultados obtidos, é interessante considerar outras alternativas construtivas.

Por último, mas não menos importante, é necessário indicar o caminho a se tomar para correção dos problemas. Considerando os erros elencados no capítulo 6, assim como outras questões referentes à habitabilidade e viabilidade, levanta-se as sugestões de futuros projetos, pesquisas e adequações a este trabalho:

- Utilização de outros perfis metálicos laminados (L, I, U, T), formados à frio ou até mesmo perfis de alumínio na estrutura de suporte do piso, visando reduzir o custo por metro quadrado;
- Remodelagem do modelo arquitetônico, visando utilizar os perfis dos pilares em sua plenitude, assim como adequação da escada ao novo pé-direito;
- Verificação do atendimento às normas de conforto termoacústico do projeto elaborado neste trabalho;
- Elaboração dos projetos de fundação e complementares, assim como elaboração de cronogramas e orçamentos, visando o estabelecimento de um padrão construtivo completo;
- Estudo de outros materiais de revestimento e na laje, visando a redução no custo por metro quadrado.

REFERÊNCIAS

- AMICO, F. **O Programa Minha Casa, Minha Vida e a Caixa Econômica Federal**. Rio de Janeiro: Centro Internacional Celso Furtado de Políticas para o Desenvolvimento, 2011;
- ANDRADE, A. C.C.; Gomes, C.F.S. **Cenários Prospectivos Para O Setor Da Construção Civil No Brasil E No Rio De Janeiro**. Revista ENEGEP, Joinville, SC, 13 out. 2017;
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120: Ações para cálculo de estruturas de edificações**. Rio de Janeiro, RJ. 2019;
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123: Forças devidas ao vento em edificações**. Rio de Janeiro, RJ. 1988;
- 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, RJ. 2008;
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9050: Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos**. Rio de Janeiro, RJ. 2020;
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575: Edificações habitacionais - Desempenho**. Rio de Janeiro, RJ. 2013;
- BELLEI, Ildony H. **Edifícios de múltiplos andares em aço**. Fernando O. Pinho, Mauro O. Pinho. 2ª ed. – São Paulo/SP. Editora PINI, 2008.
- BRASÍLIA, Lei nº 10.124, de 16 de junho de 2005. **Sistema Nacional de Habitação de Interesse Social**. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2005/Lei/L11124.htm. Acesso em: 20 set. 2020;
- BRASÍLIA, Lei nº 11.977, de 07 de julho de 2009. **Diretrizes para a elaboração de projetos no âmbito do programa Minha Casa, Minha Vida**. Disponível em: https://www.in.gov.br/web/guest/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/50484132/do1-2018-11-16-portaria-n-660-de-14-de-novembro-de-2018-50483803. Acesso em: 28 set. 2020;
- BRASÍLIA, Portaria nº 660, de 16 de novembro de 2018. **Programa Minha Casa, Minha Vida**. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-

2010/2009/Lei/L11977.htm#:~:text=Disp%C3%B5e%20sobre%20o%20Programa%20Minha,de%2010%20de%20julho%20de>. Acesso em: 28 set. 2020;

CASTRO, Betina Guimarães dos Santos. **Utilização de Estruturas Metálicas em Edificações Residenciais Unifamiliares**. 2005, Ouro Preto. UFOP;

CATÁLOGO HEAVY DUTY, soldas, 2016. Disponível em: <http://www.heavyduty.com.br/catálogos>. Acesso em: 03/10/2020, às 18h.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. **Custo com materiais de construção aumentou 25,05% em 12 meses**. Brasil, 2021. Disponível em: <<https://cbic.org.br/custo-com-materiais-de-construcao-aumentou-2505-em-12-meses/>>.

Acesso em: 12/05/2021

DELLATORRE, Lázaro Augusto. **Análise Comparativa de Custo entre Edifício de Alvenaria Estrutural e de Concreto Armado Convencional**. 2014, Santa Maria. UFSM.

EcivilUFES. **Ligações parafusadas**, 15 de fevereiro de 2013. Disponível em: <https://ecivilufes.files.wordpress.com/2013/02/02-ligac3a7c3b5es-parafusadas.pdf>. Acesso em: 03/10/2020.

ETERNIT. **Sistemas Construtivos: Catálogo Técnico**. 2020. Eternit.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDISATION - EUROCODE 3: **design of steel structures - part 1-8: design of joints**. Brussels, 2007.

FIRJAN, Sistema. **Construção Civil: Desafios 2020**;

GERDAU AÇOMINAS. **Tabela de bitolas**. [20--], São Paulo. GERDAU;

GRACIANO, Márcio Lucas. **Transporte: fator de desenvolvimento econômico e social**. Rio de Janeiro: Cia Brasileira, 1971.

GUINZELLI, Adriano José. **Projeto Estrutural de Uma Edificação Residencial com Estrutura Metálica**. 2017, Pato Branco. UTFPR;

INABA, Roberto. **Construções Metálicas: O uso do Aço na Construção Civil**. 2002. Portal Metálica. Disponível em: <<http://www.metalica.com.br/construcoes-metalicas-o-uso-do-aco-na-construcao-civil>>. Acesso em: 27 nov. 2020;

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Pesquisa Anual da Indústria da Construção Civil – PAIC**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/industria/9018-pesquisa-anual-da-industria-da-construcao.html?=&t=o-que-e>>. Acesso em: 20 set. 2020;

INSTITUTO BRASILEIRO DE SIDERURGIA. **Ligações em estruturas metálicas**. 3. ed. Rio de Janeiro: CBCA, 2004;

JACOB, Felipe. **Planilha de cálculo NBR 8800-08**, 2019. Disponível em: <<http://calculistadeaco.com.br/download-planilha-de-calculo-nbr8800-08/>>. Acesso em: 19 abr. 2021.

LAWSON, R. M. **Building Design Using Modules**. England: The Steel Construction Institute. 2007;

LAWSON, R.M. **Modular construction using light steel framing: an architect's guide** (SCI – P272). The Steel Construction Institute. 1999.

LOPES, Pires Arlindo. **Estudos sobre diferentes métodos de análise p-delta: Teoria e Prática na Engenharia Civil**, 2005.

MARGARIDO, A. F. **Fundamentos de Estruturas: Um programa para arquitetos e engenheiros que se iniciam no estudo das estruturas**. 3ª ed. Brasil: Zigate, 2007.

MARTINS, C. G. F. **Proposta de projetos de passarelas modulares para pedestres constituídas por perfis de aço formados a frio**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2019;

NARDI, Fábio A.; FICANHA, Ricardo; PRAVIA, Zacarias M. Chamberlain. **ANÁLISE DE SEGUNDA ORDEM EM EDIFÍCIOS MODELADOS TRIDIMENSIONALMENTE: APLICAÇÕES, DIFICULDADES E RECOMENDAÇÕES**. Congresso Latino-Americano da Construção Metálica, São Paulo. 31, ago. 2010.

NUIC, LAILA. **Proposta de Sistema Estrutural Modular em Perfis Metálicos Tubulares para Galpões**. 2003, Ouro Preto. Universidade Federal de Ouro Preto - UFOP;

PFEIL W.; PFEIL, M. **Estruturas em aço: dimensionamento prático segundo a NBR 8.800:2008**. 8. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2010;

PFEIL, W. **Estrutura de aço**, 8ª edição, Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda., Rio, 2009;

QUEIROZ, G.; VILELA, P. M. L. **Ligações, regiões nodais e fadiga de estruturas de aço**. Belo Horizonte: Código Editora, 2012;

SANTOS, Aguinaldo dos. **O princípio da transparência aplicado ao canteiro de obras**. Revista Técnica. São Paulo, ano 7, n.37, p.40-44, nov./dez.1998;

SAP 2000. Versão 16.0.0.0. [S. l.]: Computers and Structures Inc.2013.

SCHMIDT, Elcio Luís. **O sistema de transporte de cargas no Brasil e sua influencia sobre a Economia**. Florianópolis: 2011. 88p. Monografia (Graduação em Ciências Econômicas) – Departamento de Ciências Econômicas – Universidade de Santa Catarina. 2011.

SILVA, Valdir Pignatta; PANNONI, Fabio Domingos. **Estruturas de Aço para Edifícios: Aspectos tecnológicos e de concepção**. São Paulo: Blucher, 2010;

SILVA, Edson L. PIERIN, Igor. SILVA, Valdir, P. e. **Estruturas compostas por perfis formados a frio – Dimensionamento pelo método das larguras efetivas e aplicação conforme ABNT NBR 14762:2010 e ABNT NBR 6355:2012**. Instituto Aço Brasil/Centro Brasileiro da Construção em Aço. Rio de Janeiro, 2014;

SILVA JUNIOR, Roberto França da. **Geografia de redes e da logística no transporte rodoviário de cargas: fluxos e mobilidade geográfica do capital**. 2004. 270 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geografia, Departamento de Pós-graduação, Unesp, Presidente Prudente, 2004.

STEEL CONSTRUCTION INSTITUTE. **Handbook of structural steelwork**. 3. ed. London: BCSA, 2006.

UN-HABITAT. **WORLD CITIES REPORT 2016. Chapter 3**. Disponível em: <http://wcr.unhabitat.org/wp-content/uploads/2017/03/Chapter3-WCR-2016.pdf>. Acesso em: 20 set. 2020;

SILVA, Valdir; PANNONI, Fabio. **Estruturas de aço para edifícios**, Blucher Editora, São Paulo, 2010.

LIMÃO, Annie Dos Reis; PONTES, Luana Lima. **Estudo De Projeto E Orçamento De Execução De Uma Edificação Em Estrutura Metálica Sustentável**. TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEvangélica, Anápolis, GO, p 138 2019.

Tecnologia da Arquitetura. **Steel Deck - Fôrma Laje Metálica**. Disponível em: <https://designcompartilhado.wordpress.com/2014/07/01/forma-laje-metalica-steel-deck/> acessado em: 13/10/2020.

VERGÍLIO, S. A. L. **Ligações em Estruturas Metálicas com ênfase em perfis formados a frio**. Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia - UNESP. Ilha Solteira, SP. 2011.

VISUALVENTOS. Versão 2.0.0.0. Passo Fundo: Universidade de Passo Fundo, 2007. Disponível em: <http://www.ertools.upf.br/index.php?option=com_content&task=view&id=29&Itemid=15>. Acesso em: 15jan. 2021