



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA, INSTITUTO
FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS,
CÂMPUS ANÁPOLIS**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA
MOBILIDADE**

**ANÁLISE COMPARATIVA DE PROJETO DE ESTRUTURA MISTA E CONCRETO
ARMADO CONVENCIONAL UTILIZANDO FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS**

FILIPE AUGUSTO LISBOA PIMENTA

ORIENTADOR (A): Prof.^a Ms. Paulo Henrique Menezes Silva

PUBLICAÇÃO:

ANÁPOLIS-GO

2021

ANÁLISE COMPARATIVA DE PROJETO DE ESTRUTURA MISTA E CONCRETO ARMADO CONVENCIONAL UTILIZANDO FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS

Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Civil da Mobilidade do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás - Campus Anápolis, como requisito parcial para conclusão de curso.

Orientador (a): Prof.^a Ms. Paulo Henrique Menezes Silva

ANÁPOLIS, 2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

PIMENTA, Filipe Augusto Lisboa

P644a Análise comparativa de projeto de estrutura mista e concreto armado convencional utilizando ferramentas computacionais / Filipe Augusto Lisboa Pimenta – Anápolis: IFG, 2021.
55 p. : il. color.

Orientador: Prof. Me. Paulo Henrique Menezes Silva.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -- Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás: Câmpus Anápolis – Engenharia Civil da Mobilidade, 2021.

1. Concreto armado. 2. Estruturas. 3. Estrutura mista - projeto. 4. Software. I. SILVA, Paulo Henrique Menezes orien. II. Título.

CDD 624.1



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
CÂMPUS ANÁPOLIS

ATA Nº 05/2021

ATA DA SESSÃO PÚBLICA DE APRESENTAÇÃO E DEFESA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

No 04º dia do mês de Agosto do ano de dois mil e vinte e um, às 15:45 horas, por meio de videoconferência realizada via Google Meet (<https://meet.google.com/odm-upyj-dgw>), foi realizada a sessão pública de apresentação e defesa do Trabalho de Conclusão de Curso da Graduando **FILIBE AUGUSTO LISBOA PIMENTA** (matrícula 20171060130010) do curso de Engenharia Civil da Mobilidade, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Estado de Goiás (IFG), Campus Anápolis. A banca foi composta pelos seguintes membros: Pedro Leite de Oliveira Santos, Dayane Lopes Marques Santana e Paulo Henrique Menezes Silva, sob a presidência do último. O trabalho de conclusão de curso tem como título "**ANÁLISE COMPARATIVA DE PROJETO DE ESTRUTURA MISTA E CONCRETO ARMADO CONVENCIONAL UTILIZANDO FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS**", da área de Estrutura de Concreto, sob orientação do Prof. Paulo Henrique Menezes Silva. Após a apresentação do Trabalho de Conclusão de Curso, tendo sido o autor arguido pela Banca Examinadora, a nota obtida foi 6,93 (Seis pontos e noventa e três décimos).

Encerra-se a presente sessão às 17 horas e 00 minutos. Eu, Prof. Paulo Henrique Menezes Silva, dato e assino a presente ata que segue assinada por todos os membros da Banca e pela graduanda.

Prof. Paulo Henrique Menezes Silva

(Assinado eletronicamente)

Profa. Dayane Lopes Marques Santana

(Assinado eletronicamente)

Eng.Civil Pedro Leite de Oliveira Santos

(Assinado eletronicamente)

FILIBE AUGUSTO LISBOA PIMENTA

(Graduando)

Documento assinado eletronicamente por:

- **Dayane Lopes Marques Santana**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 09/08/2021 17:00:43.
- **Paulo Henrique Menezes Silva**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 04/08/2021 20:23:41.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 04/08/2021. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifg.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 187007

Código de Autenticação: 442b7c63ab



Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Avenida Pedro Ludovico, s/ nº, Remy Cury, ANÁPOLIS / GO, CEP 75131-457
(62) 3703-3373 (ramal: 3373)

**TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAÇÃO NO
REPOSITÓRIO DIGITAL DO IFG - ReDi IFG**

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Digital (ReDi IFG), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IFG.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| ☐ Tese | ☐ Artigo Científico |
| ☐ Dissertação | ☐ Capítulo de Livro |
| ☐ Monografia – Especialização | ☐ Livro |
| ☒ TCC - Graduação | ☐ Trabalho Apresentado em Evento |
| ☐ Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor: Filipe Augusto Lisboa Pimenta Matrícula: 20171060130010

Título do Trabalho: ANÁLISE COMPARATIVA DE PROJETO DE ESTRUTURA MISTA E CONCRETO ARMADO CONVENCIONAL UTILIZANDO FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS

Autorização - Marque uma das opções

1. ☒ Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso aberto);
2. ☐ Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG somente após a data ____/____/____ (Embargo);
3. ☐ Não autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso restrito). Ao indicar a opção **2 ou 3**, marque a justificativa:
☐ O documento está sujeito a registro de patente.
☐ O documento pode vir a ser publicado como livro, capítulo de livro ou artigo.
☐ Outra justificativa: _____

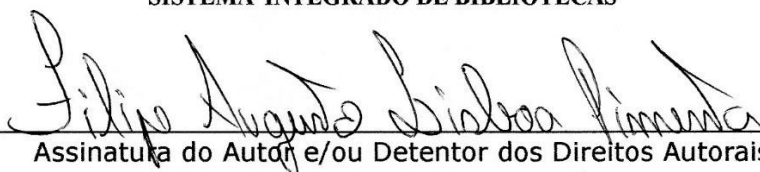
DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- i. o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- ii. obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- iii. cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

Anápolis, 28/09/2021.
Local Data

**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
SISTEMA INTEGRADO DE BIBLIOTECAS**


Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Dedico este trabalho aos meus pais, que sempre me incentivaram a percorrer o caminho do conhecimento, dos estudos, da honestidade e do esforço. Se hoje cheguei onde estou é graças à educação que ambos me deram.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me dar saúde, força e disposição ao longo deste trabalho.

Agradeço aos meus pais pelo amor e a criação que me deram, por me disponibilizarem as condições necessárias para concluir não somente este trabalho, mas todas as etapas da minha vida e por terem me apoiado em todas as dificuldades que eu tive nesse percurso.

A minha noiva Andressa, pelo carinho, pela compreensão nos momentos em que não pude lhe dar a devida atenção e por tornar meus dias mais felizes.

Aos meus familiares, que estiveram sempre ao meu lado, me incentivando e ajudando nas horas difíceis e comemorando minhas conquistas.

A Universidade, pela oportunidade. Aos mestres, por sua dedicação e conhecimentos transmitidos. E, por fim, a todos àqueles que de alguma forma contribuíram para que esse sonho se tornasse realidade.

RESUMO

Projetos arquitetônicos ousados vêm surgindo cada vez mais nos últimos anos, incentivando assim os estudos na área da engenharia civil que buscam viabilizar esses projetos. Uma das características desses projetos ousados é grandes vãos, inviáveis de serem executados no concreto armado, visto que o concreto apresenta uma alta resistência em relação a forças de compressão, porém, a sua resistência à força de tração não é satisfatória. Estima-se que a resistência a tração do concreto seja 1/10 de sua força à compressão. Uma solução para tais problemas de vãos grandes seria a estrutura mista. Esse trabalho apresenta um estudo de caso no qual uma casa de alto padrão apresenta um grande vão. Com isso, torna-se interessante estudar qual dos métodos (concreto armado ou estrutura mista) é mais viável para o caso estudado.

Palavras chaves: Análise. Concreto. Estrutura mista. Software's.

ABSTRACT

Bold architectural designs have emerged more frequently in recent years. Thus encouraging studies in the field of civil engineering, seeking to make these projects possible. One of the characteristics of these daring projects are large spans, which are not feasible to be executed in reinforced concrete, since the concrete has a high resistance in relation to compressive forces, however its resistance to traction forces is not satisfactory. The concrete's traction strength is estimated to be 1/10 of its compressive strength. A solution to these problems of large spans would be the mixed structure. This work presents a case study, in which a high standard house has a large span, making it interesting to study which of the two methods (reinforced concrete or mixed structure) are more viable for the case studied.

Keywords: Analysis. Concrete. Mixed structure. Software.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ELS	Estado Limite de serviço
ELS-F	Estado-limite de Deformação de Fissuras
ELS-W	Estado-limite de Abertura das Fissuras
ELU	Estado Limite Último
GO	Goiás
NBR	Norma Brasileira
RD	Resistência de Cálculo
SD	Solicitações de Cálculo
W _k	Abertura Característica de fissura na superfície do concreto

LISTA DE SÍMBOLOS

E_c – módulo de elasticidade secante do concreto

f_{ck} – resistência característica à compressão do concreto

$E_{c, red}$ – módulo de elasticidade reduzido do concreto

ψ_L – coeficiente que depende do tipo de carregamento, igual a 1,1 para cargas permanentes

φ_t – coeficiente de fluência

h_0 – espessura fictícia

A_c – área da seção transversal de concreto

u – perímetro da seção de concreto em contato com a atmosfera

$M_{d, mín}$ – momento fletor mínimo para cálculo da armadura mínima

W_0 – módulo de resistência da seção transversal bruta de concreto, relativo à fibra maistracionada.

$f_{ctk, sup}$ – resistência característica superior do concreto à tração

A_d – área mínima do duto

n_p – número de pavimentos

h – altura do degrau

b – largura do degrau

f_d – resistência de cálculo do material

f_k – resistência característica do material

γ_m – coeficiente ponderador da resistência

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - MATERIAIS BÁSICOS CONSTITUINTES DO CONCRETO.....	19
FIGURA 2 - FASES DO CONCRETO	19
FIGURA 3 - LAJE NERVURADA MOLDADA NO LOCAL COM ENCHIMENTO EM BLOCO DE CONCRETO CELULAR AUTO CLAVADO	21
FIGURA 4 - LAJE NERVURADA MOLDADA SEM MATERIAL DE ENCHIMENTO	22
FIGURA 5 - EXEMPLO DE LAJES LISA E COGUMELO.....	22
FIGURA 6 – LAJES MACIÇAS	23
FIGURA 7 - EXEMPLO DE ARMAÇÃO DE UMA VIGA CONTINUA	24
FIGURA 8 – PILAR.....	24
FIGURA 9 – PERFIS DOBRADOS.....	25
FIGURA 10 – PERFIL LAMINADO	26
FIGURA 11 - PERFIL SOLDADOS.....	26
FIGURA 12 – LAJES MISTAS	27
FIGURA 13 - VIGA MISTA CONECTADA A LAJE MISTA	27
FIGURA 14 - SEÇÕES TÍPICAS DE PILARES MISTOS.....	28
FIGURA 15 – SESSÃO DE VIGA MISTA	29
FIGURA 16 - TIPOS DE LIGAÇÕES.....	29
FIGURA 17 - PARAFUSO	30
FIGURA 18 - FACHADA	38
FIGURA 19 - PLANTA BAIXA COM ÊNFASE NO VÃO A SER ESTUDADO	38
FIGURA 20 – CATALOGO GERDAU	40
FIGURA 21 – DESLOCAMENTOS VIGA DE CONCRETO	51
FIGURA 22 – CONTRA FLECHA	51
FIGURA 23 - DESLOCAMENTOS VIGA DE METÁLICA.....	52

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – COEFICIENTE $\gamma_F = \gamma_{F1}, \gamma_{F3}$	33
TABELA 2 - VALORES DO COEFICIENTE γ_{F2}	33
TABELA 3 - COMBINAÇÕES DE SERVIÇO USUAIS.....	35
TABELA 4 - COMBINAÇÕES DE SERVIÇO USUAIS.....	36
TABELA 5 – ALTURAS E NÍVEIS DO PROJETO	40
TABELA 6 - CLASSE DE AGRESSIVIDADE AMBIENTAL ADOTADA	41
TABELA 7 - COBRIMENTOS DAS ARMADURAS	41
TABELA 8 - CARACTERÍSTICAS DO CONCRETO	41
TABELA 9 - COEFICIENTES DE PONDERAÇÃO DAS AÇÕES.....	42
TABELA 10 – COMBINAÇÕES.....	42
TABELA 11 – CARGAS DAS DO PAVIMENTO TÉRREO	43
TABELA 12 – CARGAS DE PAREDES	43
TABELA 13 – FORÇA ESTÁTICA DO VENTO DIREÇÃO X+ E X	44
TABELA 14 – FORÇA ESTÁTICA DO VENTO DIREÇÃO Y+ E Y.....	44
TABELA 15 – MATERIAL VIGA DE CONCRETO	45
TABELA 16 - ESFORÇOS DA VIGA VT3	45
TABELA 17 - DIMENSIONAMENTO DA ARMADURA POSITIVA.....	45
TABELA 18 - DIMENSIONAMENTO DA ARMADURA NEGATIVA.....	46
TABELA 19 - RESULTADOS DA VIGA VT3.....	46
TABELA 20 – MATERIAL VIGA METÁLICA	47
TABELA 21 – PERFIL VIGA METÁLICA	47
TABELA 22 – ESFORÇOS NORMAIS VIGA METÁLICA.....	47
TABELA 23 – FLEXÃO VIGA METÁLICA	48
TABELA 24 – CISLHAMENTO VIGA METÁLICA.....	48
TABELA 25 -TORÇÃO VIGA METÁLICA.....	48
TABELA 26 - ESFORÇOS COMBINADOS VIGA METÁLICA.....	49

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 – MOMENTOS FLETORES VIGA DE CONCRETO.....	50
GRÁFICO 2 - MOMENTOS FLETORES VIGA METÁLICA.....	50

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
1.1 OBJETIVOS GERAIS.....	15
1.1.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
1.2 JUSTIFICATIVA.....	17
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO	18
2 REFERENCIAL TEÓRICO	19
2.1 CONCRETO ARMADO	19
2.1.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS	19
2.1.2 MASSA ESPECÍFICA.....	20
2.1.3 ELEMENTOS	21
2.2 ESTRUTURAS MISTAS	25
2.2.1 MASSA ESPECÍFICA DO AÇO	25
2.2.2 PERFIS.....	25
2.2.3 ELEMENTOS DA ESTRUTURA MISTA.....	26
2.2.4 INTERAÇÃO AÇO-CONCRETO.....	28
2.3 CRITÉRIOS DE SEGURANÇA.....	30
2.3.1 Estado Limite Último (ELU).....	30
2.3.2 Estado Limite de Serviço (ELS).....	31
2.4 COMBINAÇÕES DE AÇÕES	32
2.4.1 COMBINAÇÕES ÚLTIMAS	34
2.4.2 COMBINAÇÕES DE SERVIÇOS.....	35
2.5 SOFTWARE EBERICK.....	36
3 OBJETO DE ESTUDO	38
4 METODOLOGIA	39
4.1 LANÇAMENTO DA ESTRUTURA	39
4.2 CRITÉRIOS DE PROJETOS	40
4.2.1 CRITÉRIO DE DURABILIDADE.....	41

4.2.2 PROPRIEDADES DO CONCRETO	41
4.2.3 AÇÕES DE CARREGAMENTO.....	41
4.2.4 CARREGAMENTO	42
4.2.5 VERIFICAÇÃO DE ESTABILIDADE GLOBAL	44
4.3 APRESENTAÇÃO DOS DADOS.....	44
4.3.1 CÁLCULO VIGA CONCRETO.....	45
4.3.2 VERIFICAÇÃO VIGA METÁLICA	46
4.3.3 ANÁLISE DE DIAGRAMA.....	50
4.3.4 VANTAGENS E DESVANTAGENS DA VIGA DE CONCRETO	52
4.3.5 VANTAGENS E DESVANTAGENS DA VIGA DE CONCRETO METÁLICA	53
5 CONCLUSÃO	54
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, é de fácil percepção a evolução da engenharia em suas diversas áreas, assim, denotando um crescimento considerável. É notório que por meio da ousadia dos projetos arquitetônicos tornou-se necessária a aplicação de métodos que contemplem melhorias quanto à qualidade, bem como melhor custo benefício dos materiais e insumos utilizados nas obras. O desafio de tornar real o que foi pensado na concepção do projeto arquitetônico tem aumentado o interesse em pesquisas cada vez mais aprimoradas no setor da construção civil.

Sabe-se que o concreto tem resistência à tração várias vezes inferior à resistência à compressão e que é necessário em alguns casos que seja estudada a viabilidade de uma solução para esse problema, como a estrutura mista aço-concreto, visto que o aço tem alta resistência à tração, assim suprimindo a necessidade de resistência a tração do concreto.

Dentre os vários motivos da escolha da estrutura mista, vale ressaltar alguns, como a eficácia do método, durabilidade do objeto em questão, possibilidade de vencer grandes vãos, execução de projetos arquitetônicos mais complexos e velocidade na execução, além de permitir sua aplicação em processos de reforço e recuperação de estruturas.

Entretanto, para que esse elemento se comporte como estrutura mista é necessário um trabalho conjunto entre perfil de aço e laje de concreto. Para tanto, são utilizados conectores de cisalhamento, os quais visam restringir a movimentação dos elementos estruturais, tanto na vertical como na longitudinal, garantindo a existência de interação entre laje e viga (KOTINDA, 2006).

1.1 OBJETIVOS GERAIS

Apresentar um comparativo de dimensionamento entre duas estruturas, aço- concreto e concreto convencional com o auxílio da ferramenta computacional comercial EBERICK®, a fim de se avaliar parâmetros qualitativos.

1.1.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Apresentar os parâmetros geométricos e mecânicos característicos dos elementos e materiais utilizados em estrutura mista e de concreto convencional como sistema construtivo;

- Apresentar uma proposta de dimensionamento de um exemplo genérico em concreto armado convencional e estrutura mista com o auxílio do EBERICK®;
- Analisar as singularidades de cada modelo a fim de apontar as vantagens e desvantagens do dimensionamento da mesma estrutura proposta frente à escolha de um dos sistemas construtivos adotados neste estudo;

1.2 JUSTIFICATIVA

O uso da solução de estrutura mista para edifícios tem apresentado significativo crescimento nos últimos anos no Brasil. Fenômeno esse que se deve em grande parte à necessidade de vencer vãos livres de grandes dimensões com elementos de estrutura reduzida.

Entre os profissionais da construção civil, é de conhecimento comum que quando se está elaborando um projeto estrutural deve ser considerado o melhor método e escolha dos materiais. O método determinará o desempenho da estrutura em questão, tendo como principal objetivo suportar as cargas que serão submetidas e relacionar os materiais necessários para execução com seus respectivos quantitativos, visando sempre o melhor custo-benefício dos mesmos.

Este trabalho tem como objetivo apresentar uma metodologia de comparação entre sistemas construtivos distintos em concreto armado convencional e estrutura mista aço-concreto, a fim de se entender as características particulares de cada um quanto ao seu desempenho estrutural.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho foi dividido em 3 capítulos. O capítulo 1 faz uma introdução ao tema, onde são apresentados os principais objetivos, bem como uma justificativa para a realização do trabalho.

O capítulo 2 apresenta uma abordagem sobre os temas de concreto armado, estrutura mista e critérios de segurança para projetos.

O capítulo 3 apresenta as características da residência que será utilizada como objeto de estudo e uma breve justificativa sobre a escolha da mesma.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 CONCRETO ARMADO

2.1.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS

Não se sabe ao certo quando se iniciou a utilização do concreto armado no Brasil. No entanto, apesar de existirem diversas soluções construtivas, que podem variar muito dependendo da região, o concreto armado se tornou um dos principais métodos construtivos, isso, devido à facilidade de se encontrar mão de obra. O concreto é composto por água, cimento, brita ou pedra (agregado graúdo) e agregado miúdo (areia) (FIGURA 1).

Figura 1 - Materiais básicos constituintes do concreto



Fonte: Bastos (2006).

Apesar de esta ser a configuração mais comum, também é possível adicionar aditivos para melhorar ou modificar suas propriedades básicas. A mistura do cimento com a água forma a pasta; a mistura da pasta com areia forma a argamassa e a mistura da argamassa com a pedra forma o concreto (FIGURA 2). (BASTOS, 2006).

Figura 2 - Fases do concreto



Fonte: Bastos (2006).

Para que um material seja considerado bom, deve atender características básicas como resistência e durabilidade. O concreto possui alta resistência à compressão e alta durabilidade, no entanto, possui baixa resistência à tração. Para que essa baixa resistência à tração fosse suprida, constatou-se a necessidade de aliar a resistência à compressão do concreto com a resistência à tração do aço, formado assim o concreto armado (BASTOS, 2006).

O cimento é uma substância sílico-calcária, cuja sua fabricação é realizada de acordo com as especificações presentes na NBR 16697 (ABNT, 2018). Também é um material excelente para coesão e endurecimento do concreto. A brita é a principal responsável pela resistência à compressão do composto, podendo ter variadas dimensões, de acordo com as necessidades. A areia é responsável por proporcionar a ligação entre os materiais, além de contribuir para a resistência mecânica.

O aço é utilizado como vergalhões com sessões circulares. Quando vários destes vergalhões são inseridos no concreto é formada a armadura (CLÍMACO, 2015). Geralmente, utiliza-se o aço CA-50 nos vergalhões de maior diâmetro, como nos longitudinais de vigas e o aço CA-60 em locais onde é possível utilizar diâmetros menores, como nos estribos (ARAÚJO, 2014).

A NBR 6118 (ABNT, 2014), estipula que as estruturas de concreto armado devem garantir as seguintes condições: capacidade resistência a ruptura, desempenho em serviço e que assegure que as estruturas não apresentem danos que comprometam o uso e alta durabilidade. A união destes dois elementos, concreto e aço, é capaz de proporcionar estruturas de alta confiabilidade em relação à segurança, acompanhadas por uma longa vida útil.

2.1.2 MASSA ESPECÍFICA

A massa específica dos concretos mais comuns pode variar entre 2.000 e 2800 kg/m³. Caso a massa específica real não seja conhecida, a ABNT 2018 (item 8.2.2), determina que se deve adotar o valor de 2.400 kg/m³ para o concreto simples e 2.500 kg/m³ para o Concreto Armado. Caso a massa específica do concreto simples seja conhecida, é permitido acrescentar 100 a 150 kg/m³ para que seja definido o valor da massa específica do Concreto Armado. É importante ressaltar que a NBR 6118 refere-se aos concretos com massa específica entre 2.000 e 2.800 kg/m³, sendo com materiais secos em estufa (BASTOS, 2006).

2.1.3 ELEMENTOS

As estruturas de concreto armado, independente do seu porte, compreendem 3 principais elementos: lajes, vigas e pilares. Existem também outros elementos que podem não ser necessários em todas as obras, como os blocos, estacas, tubulões, vigas, paredes, tirantes e outros (BASTOS, 2006).

2.1.3.1 LAJES

As lajes são estruturas horizontais com largura e comprimento diversas vezes superior à sua espessura e fazem a divisão entre cada pavimento. As lajes são responsáveis por receberem a boa parte dos carregamentos que atuam sobre a estrutura. Esses carregamentos são distribuídos pela superfície e descarregam em vigas e pilares.

Existem diferentes tipos de lajes. Nesse contexto, são divididas em quatro grupos, mais utilizados e classificados de acordo com o tipo de apoio: lajes apoiadas em vigas, lajes nervuradas, lajes maciças e lajes cogumelo/lisas. O processo mais tradicional de moldagem é o para lajes apoiadas em vigas, assim, transmitindo o carregamento para as vigas de apoio (CLÍMACO, 2015).

Segundo a NBR 6118/03, item 14.7.7, “Lajes nervuradas são as lajes moldadas no local (FIGURA 3), ou com nervuras pré-moldadas, cuja zona de tração para momentos positivos está localizada nas nervuras entre as quais pode ser colocado material inerte” (ABNT, 2018).

Figura 3 - Laje nervurada moldada no local com enchimento em bloco de concreto celular auto clavado.



Fonte: Bastos (2006).

Também á lajes nervuradas que são moldadas no local sem material de enchimento, feitas com moldes plásticos removíveis (FIGURA 4), (BASTOS, 2006).

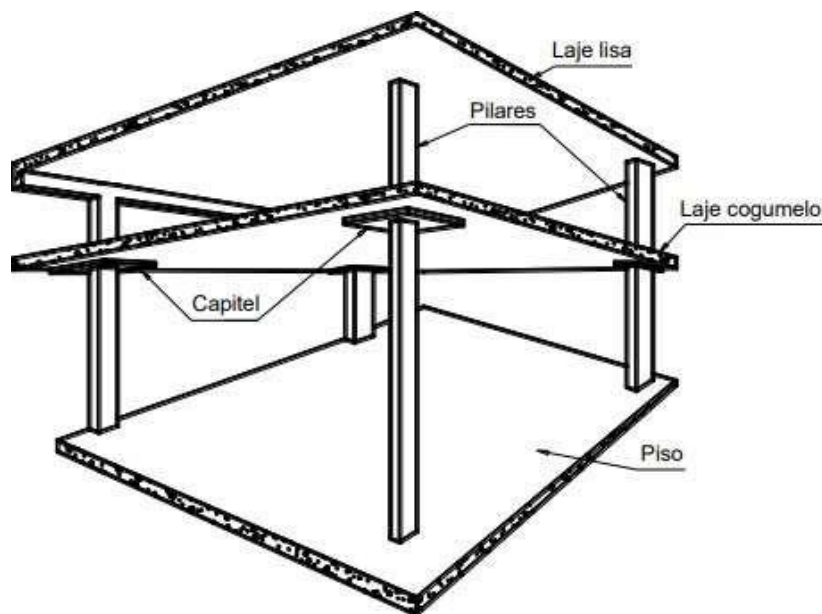
Figura 4 - Laje nervurada moldada sem material de enchimento.



Fonte: Bastos (2006).

Segundo a definição da NBR 6118 (item 14.7.8): “Lajes-cogumelo são lajes apoiadas diretamente em pilares com capitéis, enquanto lajes lisas são apoiadas nos pilares sem capitéis”, como pode ser observado logo abaixo (FIGURA 5). São usuais em todo tipo de construção de médio e grande porte, inclusive em edifícios relativamente altos. (BASTOS, 2019).

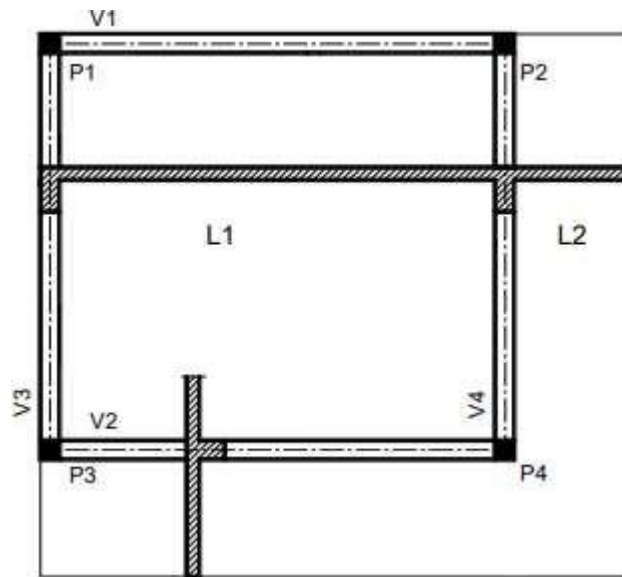
Figura 5 - Exemplo de lajes lisas e cogumelo.



Fonte: Bastos (2006).

“Lajes maciças são aquelas com a espessura totalmente preenchida com concreto – sem vazios, contendo armaduras embutidas no concreto e apoiadas ao longo de toda ou em parte do perímetro.” (BASTOS, 2019).

Figura 6 – Lajes maciças.



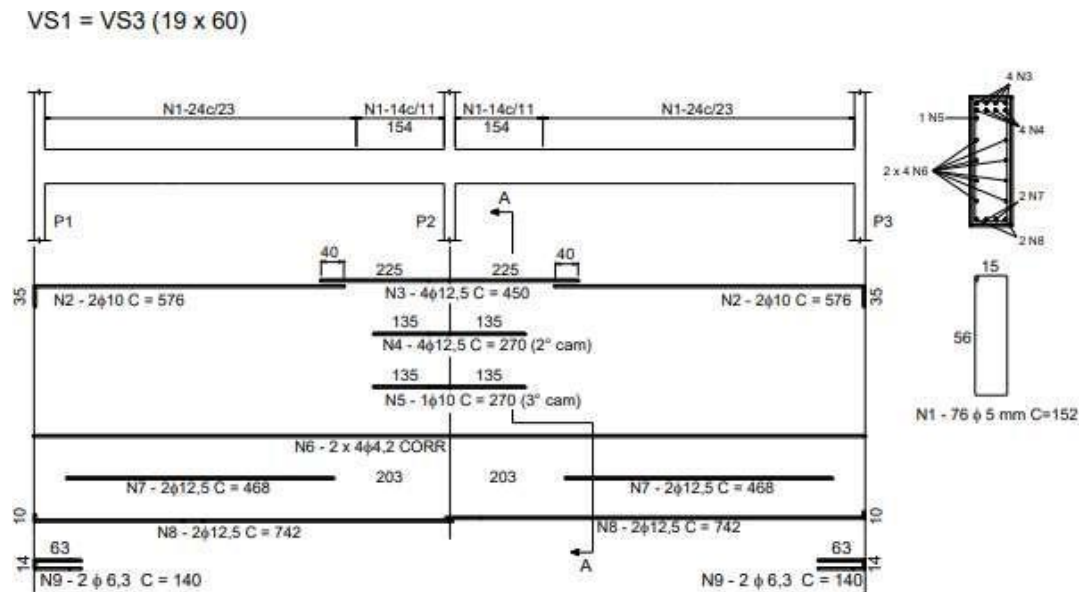
Fonte: Bastos (2006).

2.1.3.2 VIGAS

As vigas são solicitadas ao longo da sua extensão por cargas verticais concentradas ou distribuídas. Geralmente são apoiadas em pilares, descarregando as cargas nos mesmos (BORGES, 2015).

Vigas, lajes e pilares formam a estrutura de contraventamento responsável pela estabilidade global dos edifícios. Geralmente as vigas são compostas por armaduras longitudinais e transversais, no qual as transversais são os estribos e a longitudinais barras longitudinais (BASTOS, 2019). (FIGURA 7)

Figura 7 - Exemplo de armação de uma viga contínua.

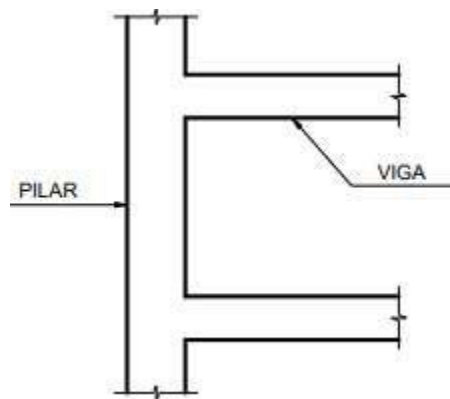


Fonte: Bastos (2006).

2.1.3.3 PILARES

Pilares são “elementos lineares de eixo reto, usualmente dispostos na vertical, em que as forças normais de compressão são preponderantes”, como pode ser observado logo abaixo (FIGURA 8), (NBR 6118, item 14.4.1.2). Os pilares são responsáveis por receberem o carregamento das vigas e distribuir o mesmo nas fundações.

Figura 8 – Pilar.



Fonte: Bastos (2006).

2.2 ESTRUTURAS MISTAS

Estrutura mista é aquela que utiliza métodos construtivos distintos na mesma estrutura. Estrutura mista aço-concreto, só é possível devido ao valor do coeficiente de dilatação dos dois materiais serem próximos. Caso a diferença fosse exorbitante, poderia causar fissuras, assim, inviabilizando o método construtivo. A norma utilizada para o cálculo é a (ABNT, 2008).

2.2.1 MASSA ESPECIFICA DO AÇO

A norma NBR 8800 (ABNT, 2008), diz que a massa específica e o módulo de elasticidade do aço são elevadas, sendo respectivamente igual a 7850 kg/m^3 e 200000 MPa .

2.2.2 PERFIS

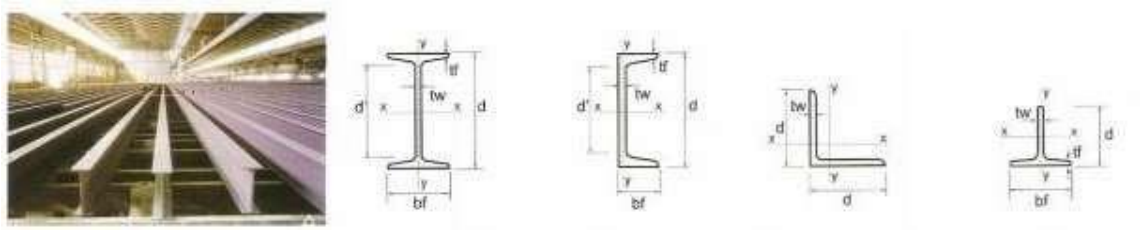
Os perfis (FIGURA 9) utilizados podem ser dobrados a frio, laminados ou soldados. Os perfis dobrados são chapas dúcteis dobradas na forma do perfil desejado.

Figura 9 – Perfis dobrado



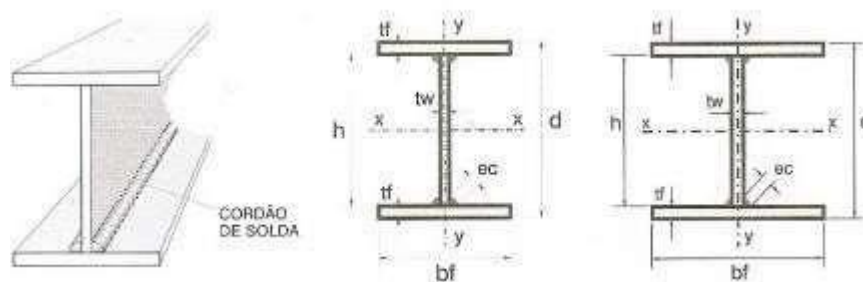
Fonte: Dias (2006).

Os perfis laminados (FIGURA 10) são aços pré-aquecidos, que passam por vários laminadores para adquirir a forma desejada.

Figura 10 – Perfil laminado.

Fonte: Dias (2006).

Já os perfis soldados (FIGURA 11) são formados por chapas de aço unidas através de solda. Desse modo, são divididos de acordo com sua utilização: Série VS que são perfis soldados para vigas em que $1,5 < d/bf \leq 4$, Série CVS que são perfis soldados para vigas e pilares em que $1 < d/bf \leq 1,5$ e Série CS: perfis soldados para pilares em que $d/bf = 1$.

Figura 11- Perfil soldados.

Fonte: Dias (2006).

2.2.3 ELEMENTOS DA ESTRUTURA MISTA

Esse sistema, diferente do concreto armado convencional, é constituído por 3 elementos estruturais, são elas: lajes, vigas e pilares.

Norma utilizada para o cálculo: NBR 8800.

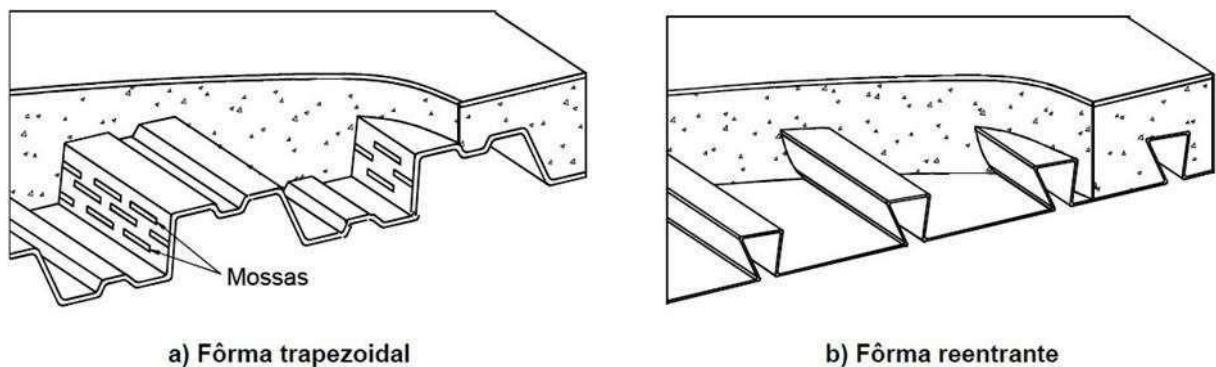
2.2.2.1 LAJES MISTAS

Lajes mistas também são conhecidas como lajes *steel deck* e lajes com formas de aço incorporadas. Elas são formadas por concreto armado moldado *in loco* e perfil de aço. Durante o processo de construção os perfis de aço funcionam como fôrma. Na etapa final, após o

concreto atingir 75% da sua resistência a compressão, os materiais atuam juntos e a forma de aço começa agir como armadura positiva da laje (NBR 8800, 2008).

Conforme a NBR 8800 (ABNT, 2008), para que o concreto e o aço trabalhem juntos é necessário ter aderência entre eles. Nas formas trapezoidais as massas formam uma ligação mecânica, assim garantindo a aderência. Nas formas reentrantes isso é garantido devido ao confinamento do concreto. (FIGURA 12).

Figura 12 – Lajes mistas.

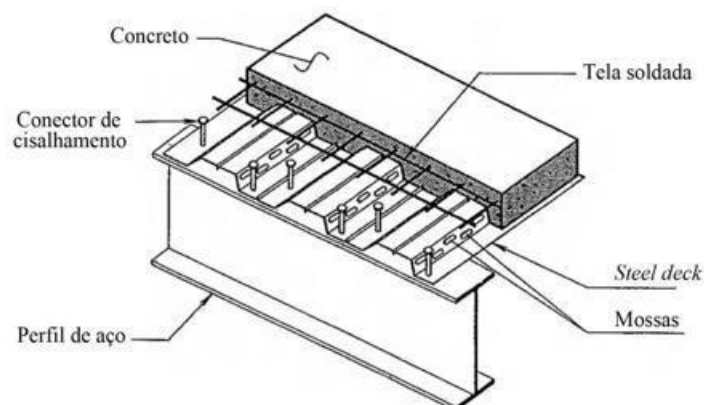


Fonte: NBR 8800 (2008).

2.2.2.2 VIGAS MISTAS

Segundo Alva (2000), vigas mistas geralmente são utilizadas como perfis ou treliças de aço. As vigas são ligadas a laje por conectores. Em edifícios, é mais comum utilizar vigas de perfil “I”, esse perfil é composto por duas mesas, com afastamento, ligadas por uma alma de menor espessura. Estes perfis possuem boa capacidade de resistência aos esforços de tração e compressão. (FIGURA 13).

Figura 13- Viga mista conectada a laje mista.

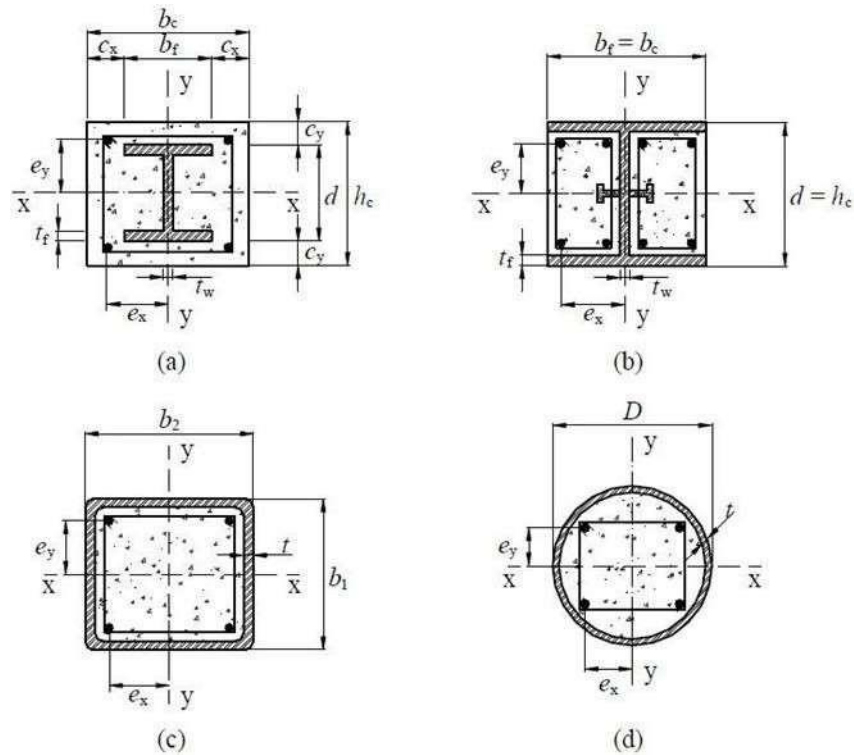


Fonte: adaptada de TARANATH (2008).

2.2.2.3 PILARES MISTOS

Pilares mistos são constituídos por perfis metálicos preenchidos ou revestidos por concreto, no qual o revestimento pode ser total ou parcial. (FIGURA 14).

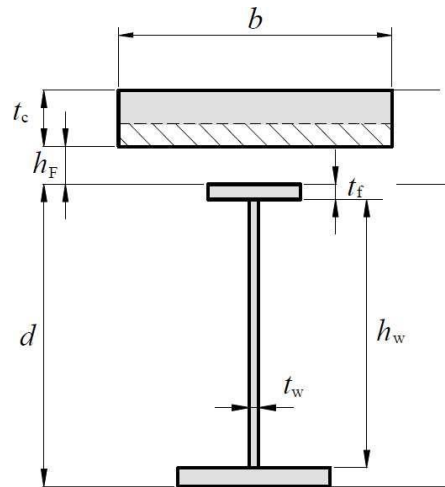
Figura 14- Seções típicas de pilares mistos



Fonte: NBR 8800 (2008).

2.2.4 INTERAÇÃO AÇO-CONCRETO

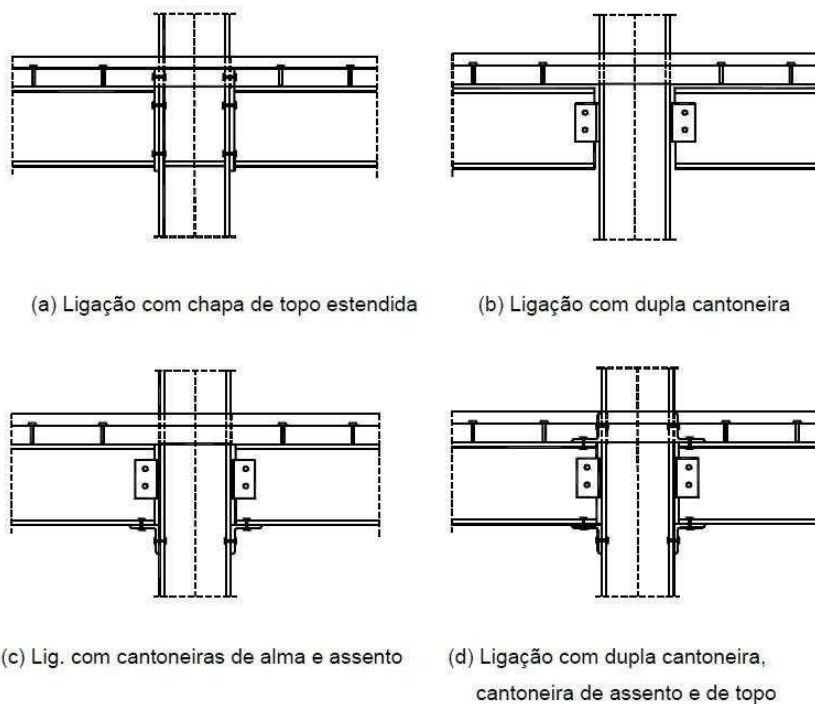
Segundo Toledo (2011), para que o sistema funcione é necessário ter uma interação entre o concreto e o aço. Para isso, são utilizados conectores de cisalhamento que permitem que os dois elementos trabalhem em conjunto. Um exemplo disso, (FIGURA 15), são as vigas mistas (laje de concreto e viga de aço), que utiliza conectores, interligando os dois elementos e absorvendo os esforços do cisalhamento horizontal paralelo ao eixo da viga.

Figura 15 – Sessão de viga mista

Fonte: Toledo (2011).

2.2.4.1 LIGAÇÕES

A NBR 8800 (ABNT, 2008, p. 223), define que “Uma ligação é denominada mista quando a laje de concreto participa da transmissão de momento fletor de uma viga mista para um pilar ou para outra viga mista no vão adjacente [...]” (FIGURA 16).

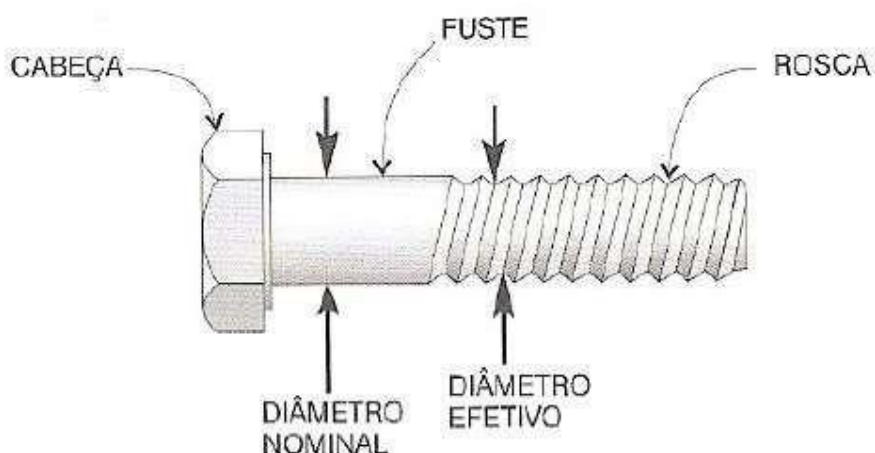
Figura 16- Tipos de ligações

Fonte: Figueiredo; Gonçalves (2007).

2.2.4.2 CONEXÕES PARAFUSADAS

Os parafusos são formados pela cabeça, pelo fuste e pela rosca. São identificados pelo diâmetro nominal, mas a resistência à tração é função do diâmetro efetivo (FIGURA 6).

Figura 17 - Parafuso



Fonte: Dias (2006).

As conexões parafusadas são classificadas pela forma de transmissão dos esforços aos parafusos, como ligação à tração, à força cortante e aos esforços combinados de ambas.

2.3 CRITÉRIOS DE SEGURANÇA

A princípio, é importante ressaltar que os critérios de seguranças adotados em cálculos têm como origem a NBR 8681 e os estados-limites aplicados serão os estados-limites últimos e estados-limites de serviço (ABNT, 2014). A segurança trabalha relacionando a resistência com a ruptura da estrutura, utilizando métodos estatísticos, portanto, determinísticos. É possível realizar sua análise a partir das solicitações de cálculo (s_d) e resistência de cálculo (r_d), sendo que s_d deve ser menor que R_d .

2.3.1 Estado Limite Último (ELU)

A NBR 8681 (item 3.2.2) define como “estados que, pela sua simples ocorrência, determinam a paralisação no todo ou em parte do uso da construção”. Então, é o estado em que ocorrerá a ruptura da estrutura.

2.3.2 Estado Limite de Serviço (ELS)

A NBR 8681 (item 3.2.2) define como “estados que, por sua ocorrência, repetição ou duração, causam efeitos estruturais que não respeitam as condições especificadas para o uso normal da construção, ou que são indícios de comprometimento da durabilidade da estrutura”.

Por sua vez, a NBR 6118 (item 10.4) define sendo “aqueles relacionados ao conforto do usuário e à durabilidade, aparência e boa utilização das estruturas, seja em relação aos usuários ou em relação às máquinas e aos equipamentos suportados pelas estruturas. A segurança das estruturas de concreto pode exigir a verificação de alguns estados limites de serviço, definidos na seção 3. Em construções especiais, pode ser necessária a verificação da segurança em relação a outros estados-limites de serviço não definidos nesta norma”.

Em suma, se uma estrutura alcança o Estado Limite De Serviço, ela não irá colapsar (romper), pois não alcançou a sua capacidade máxima de resistência à carga, porém, está em risco.

A seguir, são apresentadas algumas definições dos tipos de estados limites de serviço, segundo a NBR 6114 (item 3.2):

- Estado-Limite De Formação De Fissuras (ELS-F)

“Estado em que se inicia a formação de fissuras. Admite-se que este estado-limite é atingido quando a tensão de tração máxima na seção transversal for igual a $f_{ct,f}$ (ver 13.4.2 e 17.3.4).” Sendo que $f_{ct,f}$ é a resistência do concreto à força de tração no momento que sofre flexão. (BASTOS, 2019)

- Estado-Limite De Abertura Das Fissuras (ELS-W)

“Estado em que as fissuras se apresentam com aberturas iguais aos máximos especificados em 13.4.2 (ver 17.3.3).” O comprimento da abertura é denominado por w_k , o limite adotado serve para garantir a proteção do ambiente externo, impedindo assim a sua degradação.

- Estado-Limite De Deformações Excessivas (ELS-Def)

“Estado em que as deformações atingem os limites estabelecidos para a utilização normal, dados em 13.3 (ver 17.3.2).” Portanto, torna-se impossível o uso de uma estrutura nesse estado-limite, isso, por comprometer a edificação ou pelo aspecto visual, devido as grandes deformações.

2.4 COMBINAÇÕES DE AÇÕES

Em conformidade com a NBR 6118 (2014), todas as combinações que possam produzir efeitos relevantes para a estrutura têm que ser consideradas na concepção estrutural do projeto. Como também a NBR 8681 (2004) classifica as ações a serem consideradas em permanentes, variáveis e as excepcionais.

À vista disso, pode-se afirmar que as ações permanentes são aquelas que em suma não se alteram durante o tempo de vigor da construção, como o peso próprio e os maquinários implantados. Também, as ações permanentes são divididas em duas ramificações, sendo elas citadas abaixo.

Ações permanentes indiretas são provenientes das deformações constatadas no concreto, em contrapartida, ações permanentes diretas são aquelas constituídas pelo peso da estrutura em si, pelos pesos de seus elementos construtivos e empuxos fixos e das instalações permanentes.

As ações variáveis na estrutura são aquelas que podem mudar de maneira considerável, com grande probabilidade de sofrer alterações durante a vida útil da edificação, como por exemplo – peso extra proveniente de manutenções, mudanças no design do projeto, ações climáticas, pressões hidrostáticas e hidrodinâmicas.

Já ações excepcionais são aquelas extremamente atípicas e seu acontecimento, ocorre em uma pequena duração de tempo, alguns exemplos são: terremotos, tsunamis, explosões, acidentes com veículos, entre outros mais.

Segundo a NBR 6118 (2014), o carregamento de uma estrutura é definido pela combinação das ações, ou seja, a junção de acontecimentos que causam algum tipo de carregamento que seja de relevância para a edificação durante um instante pré-estabelecido. Essa combinação de ações deverá ser estabelecida de maneira que possa ser determinado os efeitos que causam os maiores impactos negativos para a estrutura, “[...] a verificação da segurança em relação aos estados-limites últimos e aos estados-limites de serviço deve ser realizada em função de combinações últimas e de combinações de serviço, respectivamente.” (NBR 6118, 2014, p. 66).

A NBR 6118 (2014) nos traz que as ações devem ser majoradas pelo coeficiente γ_f .

$$\gamma_f = \gamma_{f1} \gamma_{f2} \gamma_{f3}$$

Onde:

γ_{f1} = considera a variabilidade das ações;

‖ f2 = considera a simultaneidade de atuação das ações;

‖ f3 = considera os desvios gerados nas construções e as aproximações realizadas em projeto do ponto de vista das solicitações.

Tabela 1 – Coeficiente $\gamma_f = \gamma_{f1} \cdot \gamma_{f3}$

Combinações de ações	Ações							
	Permanentes (g)		Variáveis (q)		Protensão (p)		Recalques de apoio e retração	
	D	F	G	T	D	F	D	F
Normais	1,4 ^a	1,0	1,4	1,2	1,2	0,9	1,2	0
Especiais ou de construção	1,3	1,0	1,2	1,0	1,2	0,9	1,2	0
Excepcionais	1,2	1,0	1,0	0	1,2	0,9	0	0
onde <i>D</i> é desfavorável, <i>F</i> é favorável, <i>G</i> representa as cargas variáveis em geral e <i>T</i> é a temperatura. ^a Para as cargas permanentes de pequena variabilidade, como o peso próprio das estruturas, especialmente as pré-moldadas, esse coeficiente pode ser reduzido para 1,3.								

Fonte: NBR 6118 (2014, p. 65).

Tabela 2 - Valores do coeficiente ‖ f2

Ações		‖ f2		
		ψ_0	ψ_1^a	ψ_2
Cargas acidentais de edifícios	Locais em que não há predominância de pesos de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, nem de elevadas concentrações de pessoas ^b	0,5	0,4	0,3
	Locais em que há predominância de pesos de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, ou de elevada concentração de pessoas ^c	0,7	0,6	0,4
	Biblioteca, arquivos, oficinas e garagens	0,8	0,7	0,6
Vento	Pressão dinâmica do vento nas estruturas em geral	0,6	0,3	0
Temperatura	Variações uniformes de temperatura em relação à média anual local	0,6	0,5	0,3
^a Para os valores de ψ_1 relativos às pontes e principalmente para os problemas de fadiga, ver Seção 23. ^b Edifícios residenciais. ^c Edifícios comerciais, de escritórios, estações e edifícios públicos.				

Fonte: NBR 6118 (2014, p. 65).

As combinações de ações estão associadas aos estados limites, dividindo-se em duas: combinações últimas e combinações de serviço. Para facilitar, a NBR 6118 (2014) estabelece as formulações básicas para as combinações de ações. A verificação da segurança 27 em relação aos estados limites último e aos estados limites de serviço deve ser realizada em função das combinações últimas e de serviço, respectivamente.

2.4.1 COMBINAÇÕES ÚLTIMAS

Segundo a NBR 6118 (2014), a combinação última pode ser classificada como normal, especial ou de construção e excepcional.

- Combinações últimas normais

Em cada combinação devem estar incluídas as ações permanentes e a ação variável principal, com seus valores característicos e as demais ações variáveis, consideradas secundárias, com seus valores reduzidos de combinação, conforme ABNT NBR 8681. (NBR 6118, 2014, p.66).

-Combinações últimas especiais ou de construção

Em cada combinação devem estar presentes as ações permanentes e a ação variável especial, quando existir, com seus valores característicos e as demais ações variáveis com probabilidade não desprezível, de ocorrência simultânea, com seus valores reduzidos de combinação, conforme ABNT NBR 8681. (NBR 6118, 2014, p.66).

-Combinações últimas excepcionais

Em cada combinação devem figurar as ações permanentes e a ação variável excepcional, quando existir, com seus valores representativos e as demais ações variáveis com probabilidade não desprezível. (NBR 6118, 2014, p.66).

Para facilitar a visualização dessas ações mais usuais, a NBR 6118 (2014) dispõe de uma tabela.

Tabela 3 - Combinações de serviço usuais

Combinações últimas (ELU)	Descrição	Cálculo das solicitações
Normais	Esgotamento da capacidade resistente para elementos estruturais de concreto armado ^a	$F_d = \gamma_g F_{gk} + \gamma_{eq} F_{eqk} + \gamma_q (F_{q1k} + \sum \psi_{0j} F_{qjk}) + \gamma_{eq} \psi_{0e} F_{eqk}$
	Esgotamento da capacidade resistente para elementos estruturais de concreto protendido	Deve ser considerada, quando necessário, a força de protensão como carregamento externo com os valores P_{0max} e P_{0min} para a força desfavorável e favorável, respectivamente, conforme definido na Seção 9
	Perda do equilíbrio como corpo rígido	$S(F_{sd}) \geq S(F_{nd})$ $F_{sd} = \gamma_{gs} G_{sk} + R_d$ $F_{nd} = \gamma_{gn} G_{nk} + \gamma_q Q_{nk} - \gamma_{qs} Q_{s,min}$, onde: $Q_{nk} = Q_{1k} + \sum \psi_{0j} Q_{jk}$
Especiais ou de construção ^b		$F_d = \gamma_g F_{gk} + \gamma_{eq} F_{eqk} + \gamma_q (F_{q1k} + \sum \psi_{0j} F_{qjk}) + \gamma_{eq} \psi_{0e} F_{eqk}$
Excepcionais ^b		$F_d = \gamma_g F_{gk} + \gamma_{eq} F_{eqk} + F_{q1exc} + \gamma_q \sum \psi_{0j} F_{qjk} + \gamma_{eq} \psi_{0e} F_{eqk}$
onde: F_d é o valor de cálculo das ações para combinação última; F_{gk} representa as ações permanentes diretas; F_{ek} representa as ações indiretas permanentes como a retração F_{rk} e variáveis como a temperatura F_{tk} ; F_{qk} representa as ações variáveis diretas das quais F_{q1k} é escolhida principal;		

Fonte: NBR 6118 (2014, p. 69).

2.4.2 COMBINAÇÕES DE SERVIÇOS

De acordo com a NBR 6118 (2014), as combinações de serviço são classificadas com base na sua permanência na estrutura e devem ser verificadas como o estabelecido a seguir:

- Quase permanentes: podem atuar durante grande parte do período de vida da estrutura, e sua consideração pode ser necessária na verificação do estado-limite de deformações excessivas;
- Frequentes: repetem-se muitas vezes durante o período de vida da estrutura, e sua consideração pode ser necessária na verificação dos estados-limites de formação de fissuras, de abertura de fissuras e de vibrações excessivas. Podem também ser consideradas para verificações de estados-limites de deformações excessivas decorrentes de vento ou temperatura que podem comprometer as vedações;
- Raras: ocorrem algumas vezes durante o período de vida da estrutura, e sua consideração pode ser necessária na verificação do estado-limite de formação de fissuras. (NBR 6118, 2014, p.68).

Tabela 4 - Combinações de serviço usuais

Combinações de serviço (ELS)	Descrição	Cálculo das solicitações
Combinações quase permanentes de serviço (CQP)	Nas combinações quase permanentes de serviço, todas as ações variáveis são consideradas com seus valores quase permanentes $\psi_2 F_{qk}$.	$F_{d,ser} = \Sigma F_{gi,k} + \Sigma \psi_2 F_{qi,k}$
Combinações frequentes de serviço (CF)	Nas combinações frequentes de serviço, a ação variável principal F_{q1} é tomada com seu valor frequente $\psi_1 F_{q1k}$ e todas as demais ações variáveis são tomadas com seus valores quase permanentes $\psi_2 F_{qk}$.	$F_{d,ser} = \Sigma F_{gik} + \psi_1 F_{q1k} + \Sigma \psi_2 F_{qjk}$
Combinações raras de serviço (CR)	Nas combinações raras de serviço, a ação variável principal F_{q1} é tomada com seu valor característico F_{q1k} e todas as demais ações são tomadas com seus valores frequentes $\psi_1 F_{qk}$.	$F_{d,ser} = \Sigma F_{gik} + F_{q1k} + \Sigma \psi_1 F_{qjk}$
onde $F_{d,ser}$ é o valor de cálculo das ações para combinações de serviço; F_{q1k} é o valor característico das ações variáveis principais diretas; ψ_1 é o fator de redução de combinação frequente para ELS; ψ_2 é o fator de redução de combinação quase permanente para ELS.		

Fonte: NBR 6118 (2014, p. 69).

2.5 SOFTWARE EBERICK

A empresa ALTOQI foi fundada em 1989 com o intuito de criar softwares relacionados a engenharia, onde facilita o cálculo estrutural em concreto armado com maior exatidão e perfeição. No começo foi estudado apenas um programa que trabalhasse com o cálculo de vigas em uma estrutura de concreto armado, logo depois surgiu uma linha computacional desenvolvida em ambiente MS-DOS (Microsoft Disk Operating System), que se tornou uma das 32 melhores empresas nacional com os produtos PROVIGA, PROLAJE, PROPILAR e PROINFRA.

Em 1996 surge o software Eberick voltado para o Windows, no tipo CAD no qual se podiam desenvolver projetos de viga, laje e pilar, ou seja, todo o projeto estrutural em concreto armado, de forma integrada possuindo uma potente série de ferramentas e uma entrada de dados com um excelente sistema gráfico, obtendo os recursos de dimensionamento e detalhamento de

alguns tipos de fundações (bloco sobre estacas, bloco e sapatas) e dos elementos estruturais (viga, laje e pilar).

O Eberick é capaz de fornecer modelos tridimensionais da estrutura lançada, assim como modelos unifilares dos quais se podem obter diversas informações úteis, como valores dos esforços e deslocamentos em todas as barras da estrutura. Tais modelos são bastante práticos para se visualizar de maneira simples e rápida o comportamento individual dos elementos e global da estrutura. (ALTOQI, 2019).

Possui um poderoso sistema gráfico de entrada de dados, associado à análise da estrutura em um modelo de pórtico espacial e a diversos recursos de dimensionamento e detalhamento dos elementos.

A estrutura da edificação é definida através de pavimentos, que representam os diferentes níveis existentes no projeto arquitetônico. O programa possibilita a visualização da estrutura completa em 3D e os resultados são fornecidos através de janelas de dimensionamento em forma de planilha.

O programa integra, em um único sistema, o cálculo de lajes, vigas, pilares, escadas, blocos sobre estacas e sapatas.

A estrutura da edificação é definida da seguinte forma:

- Criam-se no projeto diversos pavimentos, representando os pavimentos existentes no projeto estrutural;
- A cada pavimento é associado um "croqui", onde o usuário pode definir graficamente os elementos estruturais existentes no pavimento (vigas, lajes, pilares);
- Com base no lançamento feito nos diversos pavimentos, o programa tem a capacidade de "montar" a estrutura, ligando os pilares de um pavimento ao outro;
- A análise dos esforços e deslocamentos é realizada com base em um modelo de pórtico espacial;
- Após o processamento da estrutura o usuário pode analisar os resultados através das diversas formas de apresentação fornecidas pelo programa e alterá-los com total liberdade, caso necessário;
- Após a completa análise dos elementos, geram-se as pranchas e demais desenhos necessários para a execução do projeto;
- A estrutura representada pelo modelo global permite ao usuário acesso a todas as informações do lançamento através de janelas e diagramas.

3 OBJETO DE ESTUDO

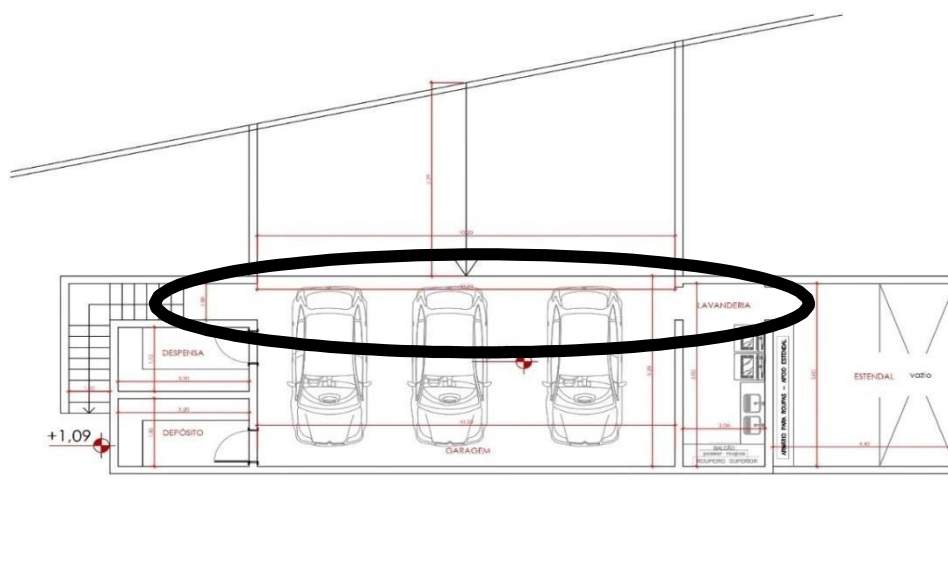
Para o estudo de caso entre os dois métodos construtivos foi escolhida uma casa de alto padrão (FIGURA 18), com uma área construída no térreo de 322,72m² e área construída no subsolo de 95,19m², somando um total de 417,91m². Localizada em um terreno de 738m², a casa foi escolhida por possuir no subsolo uma garagem com um vão de 10,20m. (FIGURA 19).

Figura 18- Fachada.



Fonte: LF, 2021

Figura 19- Planta baixa com ênfase no vão a ser estudado.



Fonte: LF, 2021

Visto que possivelmente a viga utilizada para vencer o vão irá necessitar de uma sessão consideravelmente alta, torna-se viável realizar uma comparação entre os dois métodos construtivos apresentados no presente trabalho, para que assim, seja feita uma análise das vantagens e desvantagens de cada método, afim de que seja escolhido a melhor solução possível. Essa análise será feita com auxílio dos softwares EBERICK® (ALTOQI, 2019).

4 METODOLOGIA

Para o cálculo de ambas as estruturas, sendo elas estruturas de concreto armado convencional e estrutura mista aço-concreto, foi utilizado o software Eberick 2021 (Versão completa – 05-2021). Nesse software foi feito todo o lançamento inicial da estrutura, após esse processo, no mesmo software foi realizado as análises necessárias para garantir a segurança e a qualidade do dimensionamento estrutural da residência. Após a finalização da modelagem e cálculo da estrutura com concreto armado convencional foi realizada uma cópia do arquivo para que todos os critérios de projeto fossem mantidos. Feito a cópia, a viga VT3 (viga a ser analisada) foi substituída por uma viga metálica, assim se transformando em um sistema de estrutura mista aço-concreto.

4.1 LANÇAMENTO DA ESTRUTURA

Para dar início ao lançamento das estruturas é necessário um pré-dimensionamento, sendo neste caso utilizada uma estrutura de concreto armado, com os elementos pilares, vigas e lajes, de modo a atender às condições impostas pela arquitetura. Para atender as condições arquitetônicas de modo econômico, optou-se pelas recomendações de Alva (2007), mantendo uma distância entre os pilares de 2,5 a 6 m. Outro ponto recomendado é que se busque uma melhor posição para os pilares nos pavimentos, sempre buscando a disposição dos pilares em locais menos nobres, como nos cantos da edificação, atrás de móveis e embutidos na alvenaria. Em relação às vigas, priorizaram-se a formação de pórticos com os pilares e a não utilização de vigas sob trechos de parede muito curtas, assim gerando menos sobras de madeira e ponta de aço na hora dos cortes, reduzindo os custos.

O lançamento da estrutura foi adaptado até que se alcançasse um resultado com todos os elementos corretamente dimensionados e passantes no Eberick. Para isso, foi necessária uma série de tentativas e erros, a fim de se obter um lançamento adequado.

Este modelo será composto apenas por vigas, pilares e lajes:

a) Vigas: As vigas serão retangulares com seções que se alteram entre 14 e 25 cm de base por 30 a 75 cm de altura (no cálculo da estrutura mista, a viga com maior seção foi 50 cm);

b) Pilares: Os pilares serão retangulares com seções que variam de 14 e 25 cm por 30 a 75cm;

c) Lajes: lajes maciças e treliçadas que variam de 15 a 20 cm de espessura;

Para a escolha da viga metálica foi analisado o catálogo da Gerdau (FIGURA 20) e escolhido um perfil de classe ASTM - A36 e família I - W - Laminado a quente - W530x101

Figura 20 – Catalogo Gerdau

BITOLA mm x kg/m	Massa Linear kg/m	d mm	b _f mm	ESPESSURA		h mm	d' mm	Área cm ²	EIXO X - X			EIXO Y - Y			u m/m	Bitola in x lb/ft
				t _w mm	t _f mm				I _x cm ⁴	W _x cm ³	r _x cm	I _y cm ⁴	W _y cm ³	r _y cm		
W 530 x 66,0	66,0	525	165	8,9	11,4	502	478	83,6	34.971	1.332,2	20,46	857	103,9	3,20	1,67	W 21 x 44
W 530 x 72,0	72,0	524	207	9,0	10,9	502	478	91,6	39.969	1.525,5	20,89	1.615	156,0	4,20	1,84	W 21 x 48
W 530 x 74,0	74,0	529	166	9,7	13,6	502	478	95,1	40.969	1.548,9	20,76	1.041	125,5	3,31	1,68	W 21 x 50
W 530 x 82,0	82,0	528	209	9,5	13,3	501	477	104,5	47.569	1.801,8	21,34	2.028	194,1	4,41	1,85	W 21 x 55
W 530 x 85,0	85,0	535	166	10,3	16,5	502	478	107,7	48.453	1.811,3	21,21	1.263	152,2	3,42	1,69	W 21 x 57
W 530 x 92,0	92,0	533	209	10,2	15,6	502	478	117,6	55.157	2.069,7	21,65	2.379	227,6	4,50	1,86	W 21 x 62
W 530 x 101,0	101,0	537	210	10,9	17,4	502	470	130,0	62.198	2.316,5	21,87	2.693	256,5	4,55	1,86	W 21 x 68
W 530 x 109,0	109,0	539	211	11,6	18,8	501	469	139,7	67.226	2.494,5	21,94	2.952	279,8	4,60	1,87	W 21 x 73

Fonte: Catalogo Gerdau de perfis estruturais, editado pelo autor.

4.2 CRITÉRIOS DE PROJETOS

A obra refere-se a uma estrutura projetada em concreto armado e estrutura mista. O projeto é composto por pavimentos conforme descrito na tabela a seguir.

Tabela 5 – Alturas e níveis do projeto

Pavimento	Altura (cm)	Nível (cm)
COBERTURA SUPERIOR	100	619
COBERTURA INFERIOR	365	519
TERREO	323	154
SUBTERREO	300	-169

Fonte: Adaptado pelo autor com uso do Eberick (2021)

4.2.1 CRITÉRIO DE DURABILIDADE

Visando garantir a durabilidade da estrutura com adequada segurança, estabilidade e aptidão em serviço durante o período correspondente à vida útil da estrutura, foram adotados critérios em relação à classe de agressividade ambiental (TABELA 6) e valores de cobrimentos das armaduras (TABELA 7), conforme apresentado nas tabelas a seguir.

Tabela 6 - Classe de agressividade ambiental adotada

Pavimento	Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Risco de deterioração da estrutura
Todos	I	fraca	insignificante

Fonte: Adaptado pelo autor com uso do Eberick (2021)

Tabela 7 - Cobrimentos das armaduras

Elemento	Cobrimento (cm)		
	Peças externas	Peças internas	Peças em contato com o solo
Vigas	2.00	2.00	2.50
Pilares	2.00	2.00	4.00
Lajes	2.00	-	2.50

Fonte: Adaptado pelo autor com uso do Eberick (2021)

4.2.2 PROPRIEDADES DO CONCRETO

O concreto considerado neste projeto e que foi empregado na construção atendeu as características da tabela a seguir.

Tabela 8 - Características do concreto

fck (kgf/cm ²)	Ecs (kgf/cm ²)	fct (kgf/cm ²)	Abatimento (cm)	Coefficiente de dilatação térmica (/°C)
300	268384	29	5.00	0.00001

Fonte: Adaptado pelo autor com uso do Eberick (2021)

4.2.3 AÇÕES DE CARREGAMENTO

Para obtenção dos valores de cálculo das ações, foram definidos coeficientes de ponderação, conforme apresentado na tabela a seguir.

Tabela 9 - Coeficientes de ponderação das ações

Ação	Coeficientes de ponderação			Fatores de combinação		
	Desfavorável	Favorável	Fundações	Psi0	Psi1	Psi2
Peso próprio (G1)	1.30	1.00	1.00	-	-	-
Adicional (G2)	1.40	1.00	1.00	-	-	-
Acidental (Q)	1.40	-	1.00	0.50	0.40	0.30

Fonte: Adaptado pelo autor com uso do Eberick (2021)

A partir das ações de carregamento definidas, obtiveram-se as seguintes combinações para análise e dimensionamento da estrutura nos estados limites (ELU) última e de serviço (ELS).

Tabela 10 – Combinações

Tipo	Combinações
ELU-Concreto	1.3G1+1.4G2
	1.3G1+1.4G2+1.4Q
	G1+G2
	G1+G2+1.4Q
ELU-Aço	1.4G1+1.4G2
	1.4G1+1.4G2+1.5Q
	G1+G2
	G1+G2+1.5Q

Fonte: Adaptado pelo autor com uso do Eberick (2021)

4.2.4 CARREGAMENTO

Os carregamentos das lajes do pavimento térreo (pavimento no qual se encontra a viga a ser analisada) foram analisados conforme o tipo de ocupação da edificação, definidos de acordo com a tabela a seguir:

Tabela 11 – Cargas das do pavimento térreo

Lajes								Temperatura Caso T1 Caso T2 (°C)	Retração Deform. X Deform. Y (%)
Dados				Sobrecarga (tf/m²)					
Nome	Tipo	Altura (cm)	Elevação (cm)	Peso próprio (tf/m²)	Adicional	Acidental	Localizada		
L1	Treliçada 1D	16	0	0.18	0.10	0.15	-		
L2	Maciça	20	0	0.50	0.05	0.05	sim (ver forma)		
L3	Maciça	20	0	0.50	0.05	0.05	-		
L4	Treliçada 1D	16	0	0.17	0.10	0.15	sim (ver forma)		
L5	Treliçada 1D	16	0	0.19	0.10	0.15	sim (ver forma)		
L6	Treliçada 1D	16	0	0.19	0.10	0.15	sim (ver forma)		
L7	Treliçada 1D	16	0	0.19	0.10	0.15	sim (ver forma)		
L8	Treliçada 1D	16	0	0.18	0.10	0.15	sim (ver forma)		
L9	Maciça	15	0	0.38	0.05	0.15	-		
LE1	Maciça	15	-170	0.66	0.10	0.15	-		
LE2	Maciça	15	-170	0.38	0.10	0.15	-		
LE3	Maciça	15	0	0.67	0.10	0.15	-		

Fonte: Adaptado pelo autor com uso do Eberick (2021)

Foram considerados carregamentos devido ao peso das paredes (não estrutural) sobre as vigas, considerando as espessuras e pesos específicos conforme tabela abaixo:

Tabela 12 – Cargas de paredes

Pavimentos	Paredes	
	Espessura (cm)	Peso específico (kgf/m ³)
SUBTERREO	14.00	1300.00
TERREO	14.00	1300.00
COBERTURA INFERIOR	14.00	1300.00

Fonte: Adaptado pelo autor com uso do Eberick (2021)

As forças estáticas devido ao vento foram calculadas para cada direção a partir dos parâmetros definidos, conforme apresentado nas tabelas a seguir:

Tabela 13 – Força estática do vento direção X+ e X-

Pavimento	Fachada (cm)	Fachada transv. (cm)	Nível (cm)	S2	Coef. Arrasto	Força (tf)	Força transv. (tf)	Torção (kgf.m)
COBERTURA SUPERIOR	1331.95	2293.00	619.00	0.68	1.00	0.00	0.00	0.00
COBERTURA INFERIOR	1677.85	3043.23	519.00	0.65	1.00	0.00	0.00	0.00
TERREO	1677.85	4101.56	154.00	0.31	1.00	0.00	0.00	0.00
SUBTERREO	828.95	2147.50	-169.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00

Fonte: Adaptado pelo autor com uso do Eberick (2021)

Tabela 14 – Força estática do vento direção Y+ e Y-

Pavimento	Fachada (cm)	Fachada transv. (cm)	Nível (cm)	S2	Coef. Arrasto	Força (tf)	Força transv. (tf)	Torção (kgf.m)
COBERTURA SUPERIOR	2293.00	1331.95	619.00	0.68	1.00	0.00	0.00	0.00
COBERTURA INFERIOR	3043.23	1677.85	519.00	0.65	1.00	0.00	0.00	0.00
TERREO	4101.56	1677.85	154.00	0.31	1.00	0.00	0.00	0.00
SUBTERREO	2147.50	828.95	-169.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00

Fonte: Adaptado pelo autor com uso do Eberick (2021)

4.2.5 VERIFICAÇÃO DE ESTABILIDADE GLOBAL

A análise global da estrutura é um importante instrumento de avaliação da estrutura, permitindo também avaliar a importância dos esforços de segunda ordem globais. Os parâmetros para avaliação de estabilidade global (Gama-Z e P-Delta), quando aplicáveis, poderão ser verificados nos resultados da análise.

Para consideração aproximada da não linearidade física considerou-se a rigidez dos elementos estruturais conforme apresentado a seguir:

- Rigidez das vigas: 0.50 Ec. Ic
- Rigidez dos pilares: 0.80 Ec. Ic
- Rigidez das lajes: 0.50 Ec. Ic

4.3 APRESENTAÇÃO DOS DADOS

De acordo com os critérios de projetos já apresentados, o software gera uma série de tabelas onde se pode ver o cálculo de dimensionamento detalhado.

4.3.1 CÁLCULO VIGA CONCRETO

Tabela 15 – Material viga de concreto

$f_{ck} = 300.00 \text{ kgf/cm}^2$	$E_{cs} = 268384 \text{ kgf/cm}^2$
Cobrimento = 2.00 cm	Peso específico = 2500.00 kgf/m ³

Tabela 16 - Esforços da Viga VT3

Dados							Envoltória						
Pilar Trecho	Apoio 1 e 1o (cm)	Larg Barra (cm)	Carga distribuida		Temperatura Caso T1 Caso T2 (°C)	Retração (‰)	Esforço axial		Vd (tf)	Rmáx (tf)	Mdmáx (kgf.m)	Md+ (kgf.m)	Md- (kgf.m)
			Perm. (tf/m)	Acid. (tf/m)			Nd (tf)	Rd (tf)					
P5		70.00								19.77			
1	1055.50 1023.50	393.00	0.47	0.00			6.33	0.00	29.84			56627.08	- 46336.84
		40.00											
2		590.50	0.47	0.00			4.84	0.00	27.94			55964.70	- 24090.70
P3		19.00								18.75			

Fonte: Adaptado pelo autor com uso do Eberick (2021)

Tabela 17 - Dimensionamento da armadura positiva

Vão trechos	Seção	Flexão	Torção	Final	Armadura de pele
1 1-2	retangular bw = 25.00 cm h = 75.00 cm	Md = 56627 kgf.m As = 21.40 cm ² A's = 0.00 cm ² yLN = 18.97 cm	Td = 1724 kgf.m Asl = 3.14 cm ² Aspele = 3.75 cm ² As = + 0.00 cm ² A's = +0.00 cm ²	As = 21.40 cm ² (7ø20.0 - 21.99 cm ²) d = 70.36 cm % armad. = 1.17 A's = 0.88 cm ² (2ø8.0 - 1.01 cm ²) M = 39296 kgf.m fiss = 0.07 mm	Taxa = 0.10% As pele = 1.88 cm ² Esp Max = 15.00 cm 2x4ø8.0 (2.01 cm ²)

Fonte: Adaptado pelo autor com uso do Eberick (2021)

Tabela 18 - Dimensionamento da armadura negativa

Nó	Flexão	Final
1	$M_d = 46337 \text{ kgf.m}$ $A_s = 16.82 \text{ cm}^2$ $A's = 0.00 \text{ cm}^2$ $y_{LN} = 14.91 \text{ cm}$	$A_s = 17.70 \text{ cm}^2$ $(6\phi 20.0 - 18.85 \text{ cm}^2)$ $d = 70.83 \text{ cm}$ $\% \text{ armad.} = 1.01$ $A's = 0.88 \text{ cm}^2$ $(2\phi 8.0 - 1.01 \text{ cm}^2)$ $M = 32125 \text{ kgf.m}$ $fiss = 0.07 \text{ mm}$
2	$M_d = 0 \text{ kgf.m}$ $A_s = 0.00 \text{ cm}^2$ $A's = 0.00 \text{ cm}^2$ $y_{LN} = 0.00 \text{ cm}$	
3	$M_d = 24091 \text{ kgf.m}$ $A_s = 8.14 \text{ cm}^2$ $A's = 0.00 \text{ cm}^2$ $y_{LN} = 7.21 \text{ cm}$	$A_s = 9.02 \text{ cm}^2$ $(5\phi 16.0 - 10.05 \text{ cm}^2)$ $d = 71.70 \text{ cm}$ $\% \text{ armad.} = 0.54$ $A's = 0.88 \text{ cm}^2$ $(2\phi 8.0 - 1.01 \text{ cm}^2)$ $M = 16531 \text{ kgf.m}$ $fiss = 0.13 \text{ mm}$

Fonte: Adaptado pelo autor com uso do Eberick (2021)

Tabela 19 - Resultados da Viga VT3

Dados			Resultados						
Pilar Trecho	Apoio 1 e 1o (cm)	Seção (cm)	As Inf (cm ²)	As Sup (cm ²)	As esq trecho (cm ²)	Asw min (cm ²)	As dir trecho (cm ²)	Asw Pele (cm ²)	Fissura (mm)
P5	70.00		2 ϕ 8.0 0.88	6 ϕ 20.0 17.70					0.07
1	1023.50	25.00 x 75.00	7 ϕ 20.0 21.40	2 ϕ 8.0 0.88	ϕ 6.3 c/ 8 110.00	ϕ 6.3 c/ 16	ϕ 6.3 c/ 7 946.00	2x4 ϕ 8.0	0.07
P3	19.00		2 ϕ 8.0 0.88	5 ϕ 16.0 9.02					0.13

Fonte: Adaptado pelo autor com uso do Eberick (2021)

4.3.2 VERIFICAÇÃO VIGA METÁLICA

A seguir podemos ver as tabelas referentes às verificações realizadas pelo software, na viga metálica escolhida para o estudo do caso.

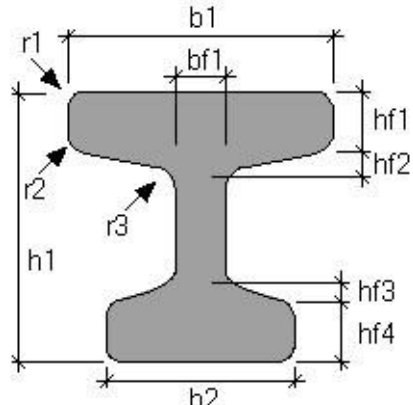
Tabela 20 – Material viga metálica

Classes	Tensão de escoamento (kgf/cm ²)	Módulo E (kgf/cm ²)	Módulo G (kgf/cm ²)
ASTM - A36	2500.00	2000000.00	770000.00

Fonte: Adaptado pelo autor com uso do Eberick (2021)

Tabela 21 – Perfil viga metálica

Dimensões		Valor (mm)	
b1		210.0	
b2		210.0	
h1		537.0	
bf1		10.9	
hf1		17.4	
hf2		0.0	
hf3		0.0	
hf4		17.4	
r1		0.0	
r2		0.0	
r3		16.0	



Fonte: Adaptado pelo autor com uso do Eberick (2021)

Tabela 22 – Esforços normais viga metálica

Trechos	Esbeltez		Tração (tf)	Compressão (tf)
	B	H		
1	49.78 (lim=300.00)	47.97 (lim=300.00)	0.00 (lim=295.57)	0.00 (lim=259.18)
2	49.78 (lim=300.00)	47.97 (lim=300.00)	0.00 (lim=295.57)	0.00 (lim=259.18)

Fonte: Adaptado pelo autor com uso do Eberick (2021)

Tabela 23 – Flexão viga metálica

Trechos	Flambagem local				Flambagem lateral			
	Classificação da seção	Esbeltez da alma	Md - dir. B (kgf.m)	Md - dir. H (kgf.m)	Classificação da seção	Relação entre as mesas - Área (cm ²)	Relação entre as mesas - Inércia (cm ⁴)	Md (kgf.m)
1	Compacta	46.07 (lim=260.00)	0.00 (lim=8743.98)	57692.32 (lim=60024.57)	Perfil curto	36.54 (lim=95.07)	1.00 (lim=0.11 à 9.0)	57692.32 (lim=60024.57)
2	Compacta	46.07 (lim=260.00)	0.00 (lim=8743.98)	53411.81 (lim=60024.57)	Perfil curto	36.54 (lim=95.07)	1.00 (lim=0.11 à 9.0)	53411.81 (lim=60024.57)

Fonte: Adaptado pelo autor com uso do Eberick (2021)

Tabela 24 – Cisalhamento viga metálica

Trechos	Vd - alma (tf)	Vd - mesa (tf)
1	34.12 (lim=79.82)	0.00 (lim=99.65)
2	22.18 (lim=79.82)	0.00 (lim=99.65)

Fonte: Adaptado pelo autor com uso do Eberick (2021)

Tabela 25 - Torção viga metálica

Trechos	Vsb (tf)	Vsh (tf)	Td (kgf.m)
1	0.00	34.12	20.68 (lim=314.78)
2	0.00	22.18	11.76 (lim=427.50)

Fonte: Adaptado pelo autor com uso do Eberick (2021)

Tabela 26 - Esforços combinados viga metálica

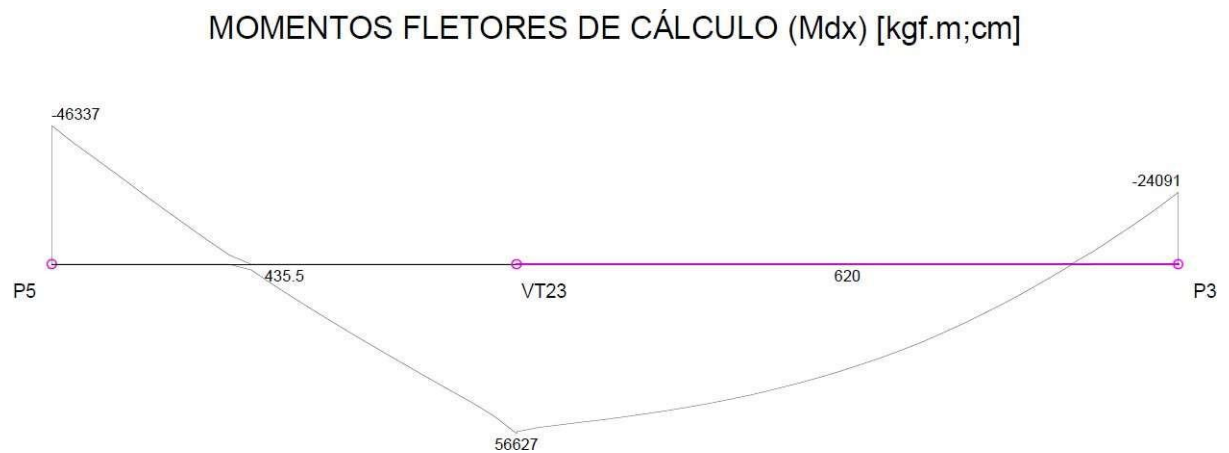
Trechos	Posição (cm)	Esforços solicitantes			Esforços resistentes				Resultado (lim=1.000)
		Nsd (tf)	Msdb (kgf.m)	Msdh (kgf.m)	Ncrd (tf)	Ntrd (tf)	Mrdb (kgf.m)	Mrdh (kgf.m)	
1	0.00	0.00	0.00	57692.32	259.18	295.57	8743.98	60024.57	0.961
	20.43	0.00	0.00	51018.69					0.850
	40.87	0.00	0.00	44496.81					0.741
	61.30	0.00	0.00	38278.60					0.638
	81.74	0.00	0.00	32285.51					0.538
	102.17	0.00	0.00	26623.25					0.444
	122.60	0.00	0.00	21080.40					0.351
	143.04	0.00	0.00	15623.86					0.260
	163.47	0.00	0.00	10287.67					0.171
	183.90	0.00	0.00	5041.23					0.084
	204.34	0.00	0.00	183.55					0.003
	224.77	0.00	0.00	5112.51					0.085
	245.21	0.00	0.00	9930.09					0.165
	265.64	0.00	0.00	14695.41					0.245
	286.07	0.00	0.00	19386.95					0.323
	306.51	0.00	0.00	24023.98					0.400
	326.94	0.00	0.00	28630.11					0.477
	347.37	0.00	0.00	33208.61					0.553
	367.81	0.00	0.00	37760.76					0.629
	388.24	0.00	0.00	42434.45					0.707
	408.68	0.00	0.00	47478.71					0.791
	429.11	0.00	0.00	53961.66					0.899
2	0.00	0.00	0.00	53411.81	259.18	295.57	8743.98	60024.57	0.890
	20.00	0.00	0.00	50921.40					0.848
	40.00	0.00	0.00	49419.79					0.823
	60.00	0.00	0.00	48196.86					0.803
	80.00	0.00	0.00	47022.01					0.783
	100.00	0.00	0.00	45846.48					0.764
	120.00	0.00	0.00	44613.18					0.743
	140.00	0.00	0.00	43343.90					0.722
	160.00	0.00	0.00	41984.37					0.699
	180.00	0.00	0.00	40573.33					0.676
	200.00	0.00	0.00	39046.39					0.651
	220.00	0.00	0.00	37470.91					0.624
	240.00	0.00	0.00	35746.48					0.596
	260.00	0.00	0.00	33975.05					0.566
	280.00	0.00	0.00	32045.01					0.534
	300.00	0.00	0.00	30055.63					0.501
	320.00	0.00	0.00	27887.19					0.465
	340.00	0.00	0.00	25680.61					0.428
	360.00	0.00	0.00	23258.63					0.387
	380.00	0.00	0.00	20796.89					0.346
	400.00	0.00	0.00	18066.36					0.301
	420.00	0.00	0.00	15273.56					0.254
	440.00	0.00	0.00	12289.18					0.205
	460.00	0.00	0.00	9252.13					0.154
	480.00	0.00	0.00	6022.65					0.100
	500.00	0.00	0.00	2719.85					0.045
	520.00	0.00	0.00	782.81					0.013
	540.00	0.00	0.00	4286.20					0.071
	560.00	0.00	0.00	7986.89					0.133
	580.00	0.00	0.00	11770.26					0.196
	600.00	0.00	0.00	15717.88					0.262
	620.00	0.00	0.00	20016.77					0.333

Fonte: Adaptado pelo autor com uso do Eberick (2021)

4.3.3 ANÁLISE DE DIAGRAMA

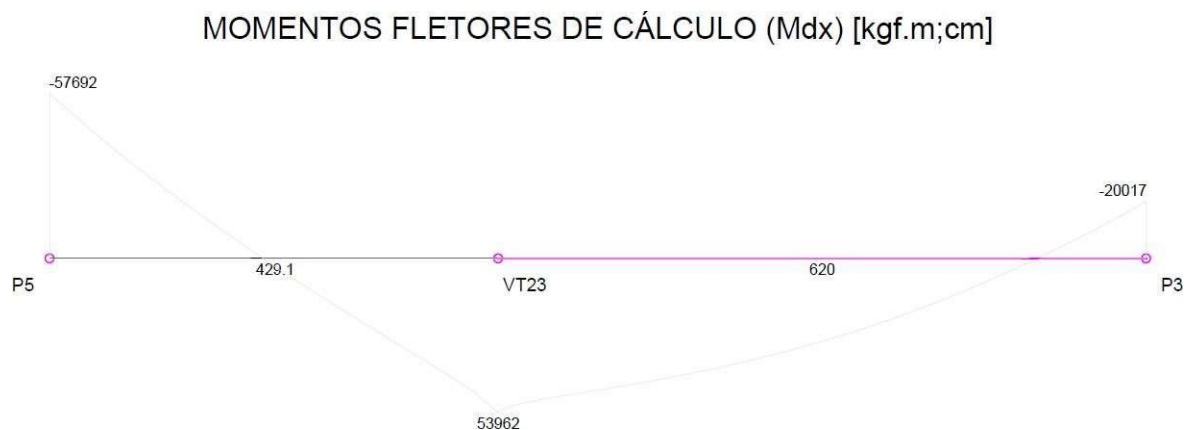
Através do software Eberick podemos gerar os gráficos de momentos fletores, fundamentais para análise da estrutura, a seguir podemos ver os momentos da viga de VT3 de concreto armado e a VT3 metálica.

GRÁFICO 1 – Momentos fletores viga de concreto



Fonte: Adaptado pelo autor com uso do Eberick (2021)

GRÁFICO 2 - Momentos fletores viga metálica



Fonte: Adaptado pelo autor com uso do Eberick (2021)

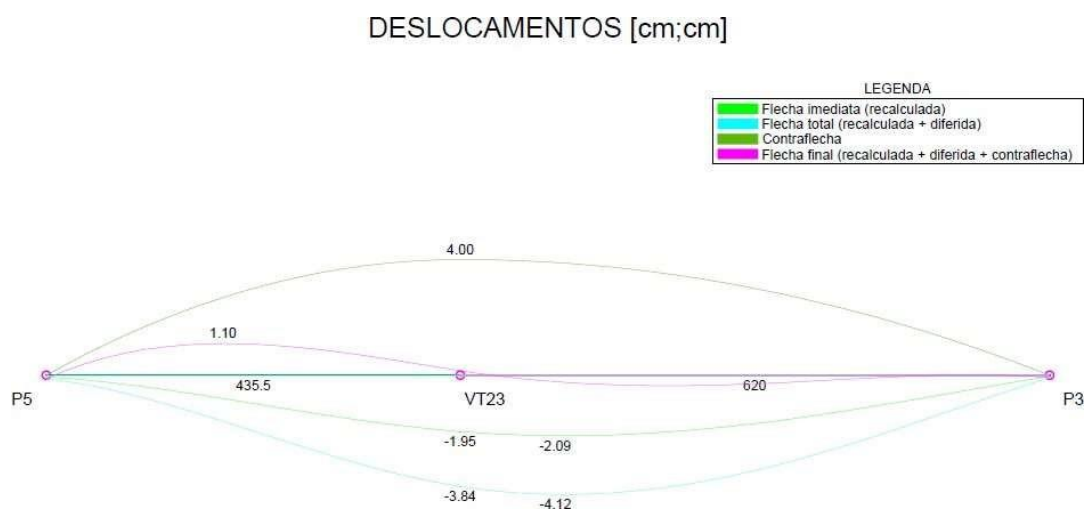
Ao analisar os gráficos 1 e 2, podemos observar que os momentos da viga de concreto esta divergente do momento da viga metálica. Isto pode ter ocorrido por conta da diferença

entre o peso próprio de ambas as vigas. A viga metálica possui um peso próprio de 101 kg/m e a viga de concreto possui um peso próprio de 478 kg/m.

Para o dimensionamento das vigas, também é importante fazer análise das flechas que influenciam no dimensionamento da seção da viga. Se tivermos uma flecha fora do limite aceitável, por norma temos que aumentar a seção do elemento para tornar este mais rígido.

Na figura 21, podemos observar as flechas calculadas para a viga de concreto que ficaram com uma flecha total de -4.12 cm.

Figura 21 – Deslocamentos viga de concreto

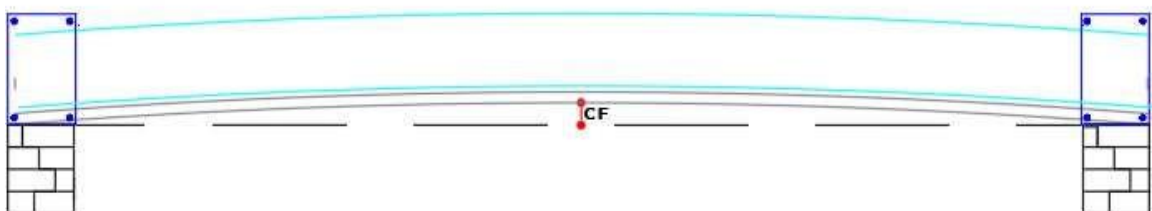


Fonte: Adaptado pelo autor com uso do Eberick (2021)

Como podemos observar na figura 21 foi necessário colocar um contra flecha (FIGURA 22) a viga de concreto, assim ficando com uma flecha final de 1.1cm.

Figura 22 – Contra flecha

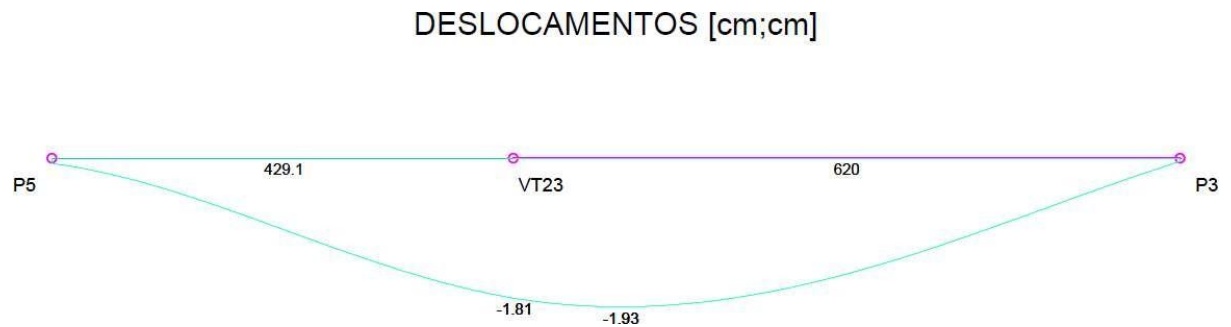
DETALHE CONTRA FLECHA



Fonte: Autor (2021)

Na figura 23, podemos observar as flechas calculadas para a viga metálica que ficou com uma flecha total de -4.12 cm.

Figura 23 - Deslocamentos viga de metálica



Fonte: Adaptado pelo autor com uso do Eberick (2021)

4.3.4 VANTAGENS E DESVANTAGENS DA VIGA DE CONCRETO

Segundo Botelho e Marchetti (2010), o concreto armado apresenta algumas características interessantes e devem ser levadas em consideração se este for o sistema construtivo adotado.

Vantagens:

- Adaptável para vários tipos de formas;
- Boa resistência para solicitações de compressão;
- Obtenção de estruturas monolíticas;
- Boa resistência para o fogo;
- Elevada vida útil;
- Possibilidade de utilizar peças pré-moldadas;
- Resistência a choques, efeitos térmicos, vibrações e desgastes mecânicos;
- Custo de manutenção é baixo;
- Mão de obra barata e qualificada.

Desvantagens:

- Peso específico elevado (25 KN/m³);
- Resistência à tração é cerca de um décimo da resistência à compressão;

- Necessário realizar o escoramento das peças enquanto a resistência necessária não for atingida;

- Reparos e adaptações inviáveis, em alguns casos;
- Tempo de execução elevado;
- Gera muitos resíduos durante a execução.

4.3.5 VANTAGENS E DESVANTAGENS DA VIGA DE CONCRETO METÁLICO

Segundo Queiroz, Pimenta e Martins (2012), as vigas metálicas possuem algumas características importantes, que devem ser levadas em consideração ao escolher este sistema como solução estrutural, principalmente em comparação às estruturas de concreto armado.

Vantagens:

- Possibilidade de dispensa de formas e escoramentos;
- Redução do prazo de execução;
- Diminuição do peso próprio e volume estrutural;
- Redução de custos nas fundações;
- Maior precisão dimensional;
- Maior flexibilidade para a compatibilização de projetos;
- Menor dano ao meio-ambiente;
- Liberdade no projeto arquitetônico.

Desvantagens:

- Elevado consumo de aço estrutural;
- Maior necessidade de proteção contra incêndio e corrosão;
- Menor rigidez estrutural.

5 CONCLUSÃO

O trabalho buscou mostrar as diferenças no dimensionamento e resultados de vigas simples e vigas mistas para vencer um vão de 10.20m. Foi utilizado o software Eberick para o dimensionamento de ambos os sistemas construtivos. Estas configurações foram submetidas a dois casos com a intenção de melhorar a interpretação dos resultados.

Foi possível analisar que em todos os métodos construtivos ocorreram aprovações no que diz respeito a critério de ELU e ELS. Como a escolha de uma solução não depende apenas destas verificações, mas também de questões que envolvem custo, tema não abordado neste trabalho, torna-se difícil à indicação de qual o melhor método construtivo a ser utilizado. Entretanto, a solução da viga metálica apresentou resultados satisfatórios no que diz respeito a consumo de aço. Também possui uma característica de agilidade e velocidade de execução no canteiro de obras. Este mesmo método construtivo foi o que mostrou a menor relação de momentos (M_{sd}/M_{rs}), indicando maior resistência da seção.

A condição de restrição geométrica da estrutura também foi mais bem atendida pela vigametálica, já que o perfil metálico escolhido (perfil de classe ASTM - A36 e família I - W - Laminado a quente - W530x101) possui 53 cm na maior seção e a viga de concreto convencional apresenta 75 cm.

Como o ELS foi determinante para o dimensionamento da viga de concreto, foi necessária a utilização de uma contra flecha de quatro cm, assim ficando com uma flecha final de 1,1 cm. Já na viga metálica não foi utilizado contra flecha, mesmo apresentado uma flecha final de 1,93cm, os motivos por não se adotar este procedimento foi o de avaliar o comportamento da relação M_{sd}/M_{rs} dentro de uma faixa de deslocamento e também a incerteza da qualidade de execução de contra flecha em perfis metálicos no momento de fabricação da peça.

Como sugestão para trabalhos futuros é indicada a adoção de outro sistema estrutural para comparação entre viga mista e viga de concreto convencional, por exemplo: um sistema de viga protendida.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, José Milton de. **Projeto Estrutural de Edifícios de Concreto Armado: Um Exemplo Completo**. 3ª ed. Rio Grande/RS. Editora Dunas, 2014.

Associação Brasileira De Normas Técnicas, Nbr 6118 **Projeto De Estruturas De Concreto – Procedimento**. Rio De Janeiro, 2014.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 8681:2003. **Ações e segurança nas estruturas - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2003.

Associação Brasileira De Normas Técnicas. NBR **8800:2008. Projeto E Execução De Estruturas De Aço E De Estruturas Mistas De Aço E Concreto De Edifícios**: Procedimento. Rio De Janeiro. 2008.

BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. **Fundamentos do concreto armado**. Bauru: UNESP, 2006.

BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. **Fundamentos do concreto armado**. Bauru: UNESP, 2019.

CLÍMACO, João Carlos Teatini de Souza. **Estruturas de Concreto Armado: Fundamentos de Projeto, Dimensionamento e Verificação**. 2ª ed. Brasília/DF. Editora UnB, 2015.

DIAS, Luís Andrade de Mattos. **Estruturas de Aço: Conceitos, Técnicas e Linguagem**. 4ª ed. São Paulo/SP. Zigurate Editora, 2002.

DIAS, Luís Andrade De Mattos. **Estruturas de Aço: Conceitos, Técnicas e Linguagem**. 5ª edição. São Paulo. Zigurate, 2006

KOTINDA, Tatianne Iamin. **Modelagem numérica de vigas mistas aço-concreto simplesmente apoiadas: ênfase ao estudo da interface laje-viga**. Mestrado em engenharia de estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

TARANATH, B. S. **Reinforced concrete design of tall buildings**. Boca Raton, USA: CRC, c2010.

TOLEDO, Raissa Laubenbacher Sampaio de. **Avaliação de vida útil à fadiga em ponte mista aço-concreto considerando o espectro de veículos reais**. 2011.

QUEIROZ, Gilson; PIMENTA, Roberval José; MARTINS, Alexander Galvão. **Estruturas Mistas: Volume 1**. 2ª ed. Rio de Janeiro/RJ. CBCA, 2012.

ALVA, Gerson Moacyr Sisniegas. **Concepção estrutural de edifícios em concreto armado: disciplina ECC 1008 – estruturas de concreto**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2007.