


ANÁLISE DE VIGA DE EDIFICAÇÃO CONTEMPORÂNEA COMPARANDO DIFERENTES MÉTODOS DE ANÁLISE ESTRUTURAL ATRAVÉS DE PROGRAMAS COMPUTACIONAIS

 <https://doi.org/10.56238/arev7n3-114>

Data de submissão: 13/02/2025

Data de publicação: 13/03/2025

Lucas Kobayashi Ernandes

Engenheiro Civil formado pelas Faculdades Integradas de Bauru/SP

E-mail: lucaskobayashi0306@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-9363-7349>

LATTES: <http://lattes.cnpq.br/8758558071108027>

Raphaela Nayumi Becari Nakaharada

Engenheira Civil formada pelas Faculdades Integradas de Bauru/SP

E-mail: rpbnaka@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-2612-8649>

LATTES: <http://lattes.cnpq.br/4070025184192614>

Andrei Felipe Villa dos Santos

Docente do Curso de Engenharia Civil das Faculdades Integradas de Bauru/SP

E-mail: andrei.santos@fibbauru.br

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-4880-2774>

LATTES: <http://lattes.cnpq.br/0671815396229834>

RESUMO

A análise estrutural garante a segurança e eficiência de estruturas de concreto armado, mas diferentes métodos computacionais podem gerar variações nos resultados. Este estudo compara os softwares SAP2000 e Eberick na análise de viga, avaliando sua precisão e confiabilidade com base em uma concepção arquitetônica e nas normas ABNT NBR 6118:2023 e NBR 15575:2021. Ambos atenderam aos critérios do estado limite de serviço (ELS), enquanto no estado limite último (ELU), as diferenças nos esforços foram mínimas. O Eberick se mostrou mais prático para concepção estrutural, enquanto o SAP2000 apresentou maior precisão. O estudo destaca a importância do conhecimento técnico e da conformidade normativa na interpretação dos resultados. Pesquisas futuras devem explorar diferentes configurações estruturais além de materiais alternativos.

Palavras-chave: Análise Estrutural. Viga. Programas Computacionais.

1 INTRODUÇÃO

Desde as primeiras civilizações, a engenharia civil tem se destacado como uma das profissões mais essenciais, abrangendo desde o planejamento e concepção de projetos até a execução de obras, com o objetivo de garantir qualidade de vida à sociedade e impulsionar inovações em materiais e técnicas construtivas.

Essa área é responsável pela concepção, projeto, construção e manutenção de estruturas como edifícios, pontes, estradas e barragens. Segundo Queiroz (2008), a engenharia civil é crucial para a segurança e funcionalidade dos espaços construídos, sendo considerada uma "engenharia social", dada sua influência direta sobre a vida em sociedade.

Dentre os principais materiais de construção, o concreto se destaca, sendo utilizado de diversas formas, como o concreto armado, protendido ou projetado. Apesar de apresentar vantagens como resistência ao fogo, durabilidade e possibilidade de pré-moldagem, o concreto também enfrenta desafios, como o alto custo de formas e escoramentos, peso elevado e a complexidade em reformas ou demolições. Arezoumandi et al. (2015) ressaltam que o concreto é um dos principais resíduos sólidos da construção civil, devido ao grande volume gerado.

A análise estrutural é crucial para assegurar que todos os elementos de uma construção atendam às normas vigentes, respeitando os Estados-Limites de Serviço (ELS) e o Estado-Limite Último (ELU). A NBR 6118 (2023) define o ELU como o estado em que ocorre o colapso estrutural, inviabilizando o uso da estrutura, enquanto os ELS se referem ao conforto, durabilidade e boa utilização das edificações.

Os projetos estruturais são fundamentais em qualquer obra, pois consideram aspectos como as características do terreno, as cargas atuantes e as condições climáticas. As vigas, por exemplo, são elementos horizontais essenciais para suportar e distribuir as cargas para colunas ou paredes de apoio, garantindo a estabilidade e prevenindo deformações excessivas (SPENGLER, 2023).

Com o avanço tecnológico, os programas computacionais tornaram as análises estruturais mais precisas e eficientes. No entanto, é crucial que os profissionais possuam não apenas o domínio desses programas, mas também um conhecimento teórico sólido e o domínio dos métodos tradicionais, que são essenciais para validar os resultados e avaliar sua viabilidade técnico-econômica.

Este trabalho compara diferentes métodos de análise estrutural de vigas utilizando os *softwares* SAP2000 (CSI Portugal) e EBERICK (AltoQi), considerando um projeto de residência unifamiliar. A avaliação leva em conta aspectos geométricos, carregamentos e propriedades dos materiais para determinar qual método é o mais preciso e confiável. A metodologia adotada baseia-se no uso do método dos elementos finitos, uma das ferramentas de análise estrutural mais modernas e amplamente

utilizadas. Serão comparados os dimensionamentos realizados por cada *software*, levando em consideração métodos de cálculo, materiais e custos. Os resultados serão avaliados no ELU e ELS, conforme as normas técnicas.

A análise estrutural de vigas é fundamental para garantir que as cargas e tensões suportadas não comprometam a segurança da estrutura. A escolha do método adequado afeta diretamente a precisão dos resultados e a eficiência da construção. Portanto, a comparação entre diferentes abordagens computacionais contribui para o avanço da engenharia civil, ao identificar vantagens e limitações, aprimorando, assim, a escolha dos métodos de análise estrutural.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão em questão centra-se na análise da viga com maiores solicitações de carga de uma estrutura de concreto armado de uma edificação de médio porte, através da utilização de *softwares*. É necessário ressaltar que existem situações em que estruturas podem não se adequar aos modelos estruturais descritos neste trabalho, sendo necessário utilizar *softwares* adequados para cada caso, dando importância às normas de segurança, particularidades e complexidades de cada estrutura.

2.1 SISTEMAS E ELEMENTOS ESTRUTURAIS

Os sistemas estruturais são compostos por componentes interligados que funcionam de maneira integrada para proporcionar estabilidade e resistência às estruturas. Estes sistemas incluem elementos que desempenham um papel fundamental na recepção e transmissão das cargas para o solo. Esses elementos podem ser horizontais, que suportam diretamente as forças gravitacionais, ou verticais, que transferem as cargas provenientes dos elementos horizontais para o solo.

A elaboração de um projeto estrutural pode ser simplificada em etapas, que incluem a concepção, análise estrutural, dimensionamento, detalhamento dos elementos e o lançamento das pranchas do projeto. Com base nesses itens, escolhe-se adequadamente o tipo de sistema estrutural, os materiais a serem utilizados e as ações a serem consideradas, levando em conta a funcionalidade da edificação e as características do local (SILVA, 2020).

2.1.1 Pórticos

Os sistemas de pórticos são estruturas tridimensionais compostas por pilares e vigas interligados, formando uma grade rígida. Eles suportam cargas verticais e horizontais de forma eficiente e são amplamente utilizados em diversas construções, como edifícios, pontes e estruturas industriais. Pórticos são definidos como estruturas formadas por barras, que se conectam para formar

quadros. Existem quatro tipos fundamentais de quadros isostáticos planos, que, quando combinados, da mesma forma que as vigas simples se combinam para formar vigas compostas, resultam nos chamados quadros compostos (SUSSEKIND, 1981).

Segundo Kimura (2007), o modelo de pórtico plano é capaz de simular o comportamento global de um edifício, e não apenas de um pavimento, permitindo a aplicação tanto de cargas verticais quanto horizontais. Nesse modelo, as vigas e pilares alinhados em um pórtico do edifício são representados por barras dispostas no mesmo plano, ou seja, em duas dimensões.

O pórtico espacial, por sua vez, é um modelo estrutural mais completo, que representa a estrutura de forma mais fiel. Ele permite determinar momentos de flexão e torção, além de esforços cortantes e normais de todos os elementos. Este modelo é particularmente adequado para a análise de carregamentos horizontais e verticais, incluindo situações assimétricas (CORRÊA, 1991).

2.1.2 Vigas

Uma viga é definida como um elemento linear cuja principal finalidade é transmitir as cargas que recebe para os pilares, colunas ou apoios. Ela pode ter diferentes formas, tamanhos e materiais, mas sua função fundamental é sustentar as cargas verticais e distribuí-las de maneira adequada para a estrutura como um todo. Geralmente são utilizadas como apoio para lajes, ou para outras vigas que não estejam apoiadas em pilares (ADÃO, HEMERLY, 2010).

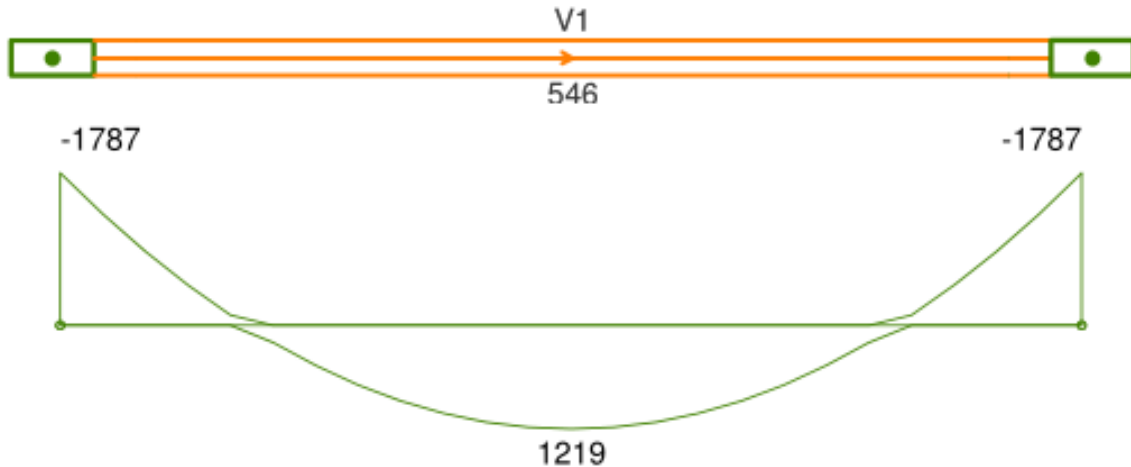
Vigas são “elementos lineares em que a flexão é preponderante” (NBR 6118/141, item 14.4.1.1). Ainda segundo a NBR 6118 (ABNT, 2023), para a seção transversal das vigas, são estabelecidos valores mínimos de 12 cm, exceto para vigas-parede, que têm um mínimo de 15 cm. Em casos excepcionais, é possível chegar a 10 cm, desde que certas condições sejam obrigatoriamente atendidas:

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

A definição das vinculações das vigas em um projeto é de extrema relevância, uma vez que exerce impacto direto sobre as forças, deslocamentos e a estabilidade global da estrutura (ALTOQI, 2020):

- Vínculo engastado: garante que não haja rotações entre a viga e o pilar no nó de apoio. Ambos os elementos apresentarão a mesma rotação naquele ponto, ou seja, uma transferência de momentos da viga para o pilar.

Figura 01: Vínculo engastado

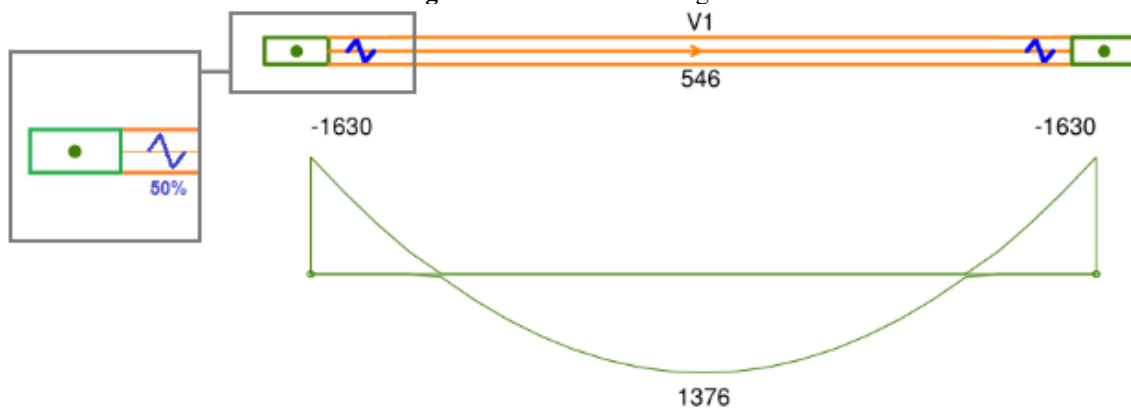


Fonte: AltoQi (2020).

Uma vez que há continuidade de rotação, a rigidez do pilar contribui para a rigidez da viga, diminuindo seus valores de deslocamento e seus momentos positivos. No entanto, isso pode aumentar a necessidade de armaduras nos pilares devido a maiores momentos fletores, em comparação com vinculações semirrígidas ou rotuladas.

- Vínculo semirrígido: em uma estrutura após a construção, não se garante a totalidade da rigidez das ligações entre elementos, ocorrendo deformação e fissuração. Portanto, pode haver redistribuição de esforços devido a esse efeito. No exemplo abaixo, foi feita uma redistribuição de 50%.

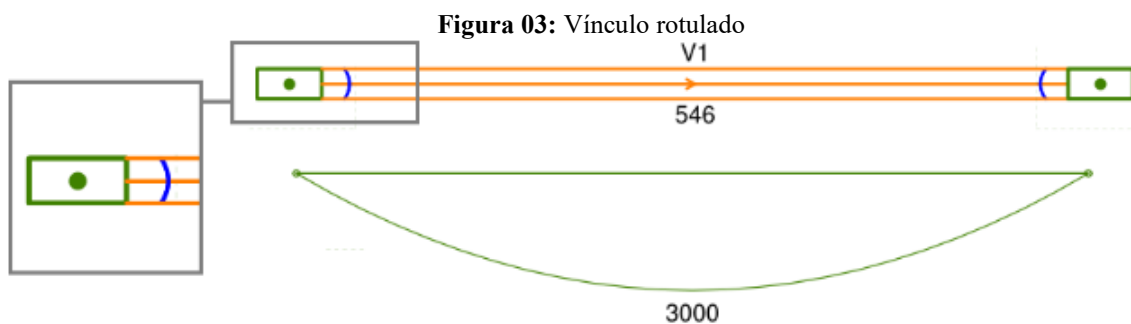
Figura 02: Vínculo semirrígido



Fonte: AltoQi (2020).

Comparado ao modelo anterior, observa-se uma diminuição no momento negativo e um leve aumento no momento positivo da viga. A redução do momento fletor na ligação da viga com o pilar pode não impactar muito o dimensionamento da viga, mas para o dimensionamento do pilar, pois menor momento fletor implica em menor taxa de armadura.

- Vínculo rotulado: são as mais flexíveis dentre as três opções, com transmissão nula de momento da viga para o pilar. Isso torna o dimensionamento do pilar menos robusto devido a momentos menores. No entanto, a liberação da rotação nos apoios da viga resulta em maiores deslocamentos e momentos positivos. A perda de rigidez nos pórticos formados por essas vigas pode afetar diretamente a estabilidade global da edificação.



Fonte: AltoQi (2020).

2.2 AÇÕES ATUANTES NA ESTRUTURA

As ações atuantes nas estruturas são as causas que provocam esforços ou deformações. Usualmente, as forças e as deformações impostas pelas ações são consideradas como se elas fossem as próprias ações. As forças são designadas por ações diretas e as deformações impostas por ações indiretas (ARAÚJO, 2010).

2.2.1 Cargas permanentes

Referem-se às cargas ou forças que atuam constantemente sobre uma estrutura ao longo de sua vida útil. O cálculo e o dimensionamento destas ações consideram seus valores representativos mais desfavoráveis visando a segurança, a fim de manter a estabilidade e integridade da estrutura.

Divide-se as ações permanentes em diretas e indiretas. As permanentes diretas incluem o peso próprio da estrutura, dos revestimentos, dos elementos fixos, das instalações permanentes e empuxos permanentes, já as ações permanentes indiretas são constituídas pelas deformações impostas por retração e fluência do concreto, deslocamentos de apoio, imperfeições geométricas e protensão (SILVA, 2020).

2.2.2 Cargas variáveis

As ações variáveis consistem em cargas ou forças que agem na estrutura de forma eventual, intermitente ou que podem variar significativamente com o tempo. Durante o projeto e dimensionamento de estruturas, é essencial contemplar tanto as ações permanentes quanto as ações

variáveis para assegurar que a estrutura possa resistir a todas as possíveis condições ao longo de sua vida útil com segurança.

As ações variáveis diretas definidas pela ABNT NBR 6118:2023 são as cargas acidentais previstas para o uso da construção, como cargas verticais, cargas móveis, impacto lateral, força longitudinal de frenagem ou aceleração e força centrífuga. E, as ações variáveis indiretas se dividem em variações uniformes de temperatura, variações não uniformes de temperatura e ações dinâmicas (SILVA, 2020).

2.2.3 Cargas excepcionais

As cargas excepcionais referem-se a situações ou eventos pouco comuns que podem afetar uma estrutura, e geralmente não são previstas no projeto estrutural convencional.

Alguns exemplos dessas ações são: sobrecargas temporárias, desastres naturais e impactos acidentais.

2.3 ANÁLISE E MODELOS ESTRUTURAIS

Conforme previsto na NBR 6118:2023 a análise estrutural pode ser efetuada através de: análise linear, análise linear com redistribuição, análise plástica, análise não linear e análise através de modelos físicos.

A análise estrutural é uma das fases do projeto estrutural em que se realizam, a partir de um modelo estrutural, os levantamentos dos esforços internos e externos da estrutura perante as ações impostas. A idealização do comportamento da estrutura nesta etapa do projeto é de fundamental importância, pois ao final desta análise se obtêm resultados de esforços correspondentes, deslocamentos e deformações na estrutura em estudo (MARTHA, 2010).

A análise estrutural requer um modelo adequado ao propósito da análise, que pode consistir em elementos estruturais fundamentais combinados para formar um sistema resistente. Isso permite que as forças aplicadas à estrutura sejam transmitidas de forma clara até os pontos de apoio. Portanto, para este trabalho, serão utilizados o Método dos Elementos Finitos (MEF) através do *software* SAP2000, bem como o Modelo de Grelha, utilizado pelo *software* Eberick.

2.4 UTILIZAÇÃO DE *SOFTWARES* COMO RECURSOS PARA DESENVOLVIMENTO DE PROJETOS

Mais conhecido como “programa de computador” o *software* é um conjunto de informações lógicas. É o mecanismo que aliado ao computador é capaz de realizar diversas funções pré-

programadas utilizando banco de dados e estrutura operacional já determinada (MIRANDA, SILVA, 2022).

A utilização de *softwares* na construção civil tem se tornado cada vez mais necessário e indispensável. Essas ferramentas tecnológicas desempenham um papel crucial em todas as fases de um projeto, desde o planejamento inicial até a conclusão e manutenção. Para Miranda e Silva (2022), devido à enorme produtividade e eficiência exigidas pelo mercado, a utilização de um sistema computacional específico para a elaboração de projetos estruturais é praticamente imprescindível. Não há mais espaço para que as estruturas sejam calculadas inteiramente de forma manual.

A utilização de *softwares* na construção civil não apenas aumenta a eficiência e a precisão dos processos, mas também contribui para a redução de custos, minimização de erros e melhoria da segurança no canteiro de obras.

2.4.1 SAP2000

O SAP2000 é um *software* de análise e projeto estrutural desenvolvido pela CSI (Computer and Structure, Inc.). Ele utiliza a técnica de Elementos Finitos e possui uma interface gráfica tridimensional. O *software* é capaz de realizar de forma integrada a modelagem, análise e dimensionamento de uma ampla variedade de estruturas, tornando-se uma ferramenta essencial para engenheiros na área de construção civil.

Conhecido pela flexibilidade quanto ao tipo de estruturas que permite analisar, pelo poder de cálculo e fiabilidade de resultados, o SAP2000 é a ferramenta de trabalho diária para inúmeros engenheiros. A versatilidade em modelar estruturas, permite a sua utilização no dimensionamento de pontes, edifícios, estádios, barragens, estruturas industriais, estruturas marítimas e qualquer outro tipo de infraestruturas que necessitem de ser analisadas e dimensionadas (SILVA, 2020).

2.4.1.1 Método dos Elementos Finitos (MEF)

O Método dos Elementos Finitos (MEF) é uma técnica de análise matemática que discretiza um meio contínuo em pequenos elementos, mantendo as propriedades do material original. Esses elementos são descritos por equações diferenciais e resolvidos por modelos matemáticos, com o objetivo de obter os resultados desejados (LOTTI et al., 2006).

Ao projetar uma estrutura, é essencial realizar uma análise contínua do estado de tensão e deformação, além de considerar as alterações nas propriedades ao longo desse processo. O MEF é particularmente adequado para fornecer uma resposta eficaz nesse contexto.

A aplicação do MEF depende das características específicas de cada tipo de problema. Antes de realizar uma análise estrutural com o MEF, é necessário considerar aspectos como a análise dinâmica ou estática, linear ou não linear, além do tipo de estrutura (AZEVEDO, 2003).

Os elementos finitos podem ser unidimensionais, bidimensionais ou tridimensionais, com formas variadas, diferentes quantidades de nós em seus lados e faces, e diferentes números de graus de liberdade. A escolha da forma do elemento a ser utilizado depende do domínio a ser discretizado. Para garantir a interação entre esses domínios, os elementos finitos utilizam funções interpoladoras, que estão diretamente relacionadas aos parâmetros nodais, à forma do elemento e aos critérios de convergência do método (SORIANO, 2009).

2.4.2 AltoQi Eberick

O Eberick é um *software* de engenharia civil amplamente utilizado para análise estrutural e projeto de edificações. Ele oferece recursos avançados para cálculos de dimensionamento de estruturas, levando em consideração normas técnicas específicas. O sistema do Eberick verifica os elementos para o Estado Limite Último (ELU) e para o Estado Limite de Serviço (ELS), de acordo com os normais brasileiras (SILVA, 2020).

O AltoQi Eberick possui diversas configurações que permitem ao usuário personalizar o processo de dimensionamento dos elementos estruturais de concreto armado. O dimensionamento é realizado pelo programa de acordo com as instruções normativas, porém existem diversos parâmetros variáveis de projeto durante este processo de dimensionamento, sendo responsabilidade do projetista definir os valores adotados para tais configurações (ALTOQI, 2018).

Para facilitar o lançamento da estrutura, o *software* Eberick permite a importação de arquivos em formato DXF e DWG, o que permite ao usuário importar o projeto arquitetônico e lançar a estrutura sobre este. Apesar de o *software* possuir as ferramentas básicas de manipulação de desenho, a criação do projeto arquitetônico não é o objetivo do programa, portanto aconselha-se a utilização de um *software* específico de CAD para a preparação deste antes da importação ao Eberick (SOUZA, MEDEIROS, 2017).

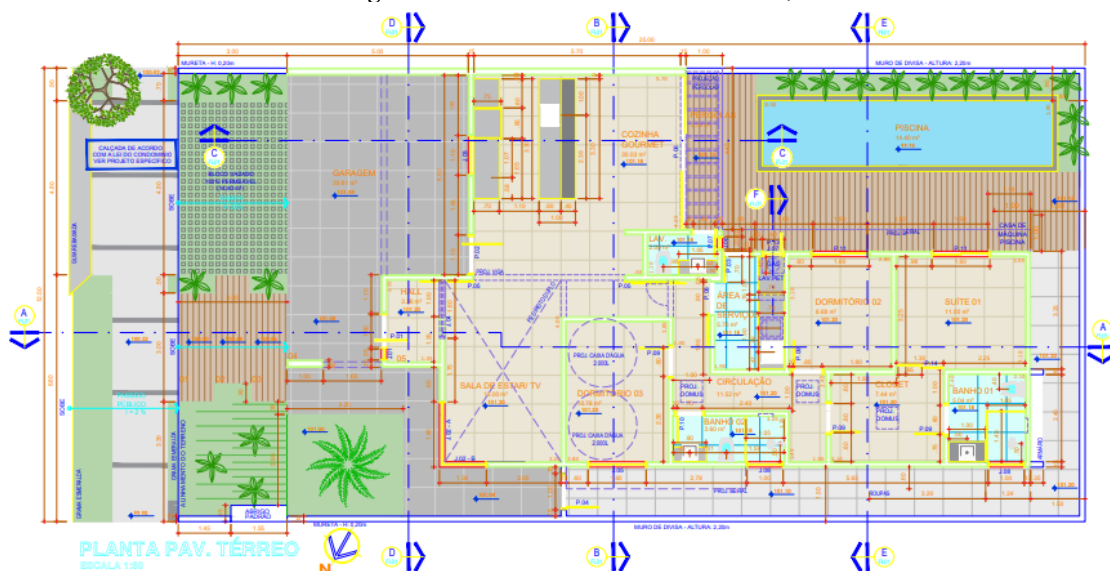
3 METODOLOGIA

Este estudo utilizou um projeto arquitetônico fornecido por uma empresa de Engenharia Civil local, disponível em arquivo digital DWG, como base para a análise comparativa entre os programas Eberick e SAP2000. O trabalho foi dividido nas seguintes etapas:

- Estudo preliminar dos programas computacionais (nacional e internacional) e seus respectivos métodos de cálculo;
- Modelagem da estrutura composta por pilares, lajes e vigas;
- Dimensionamento da viga a ser estudada em cada um dos programas;
- Análise comparativa dos resultados.

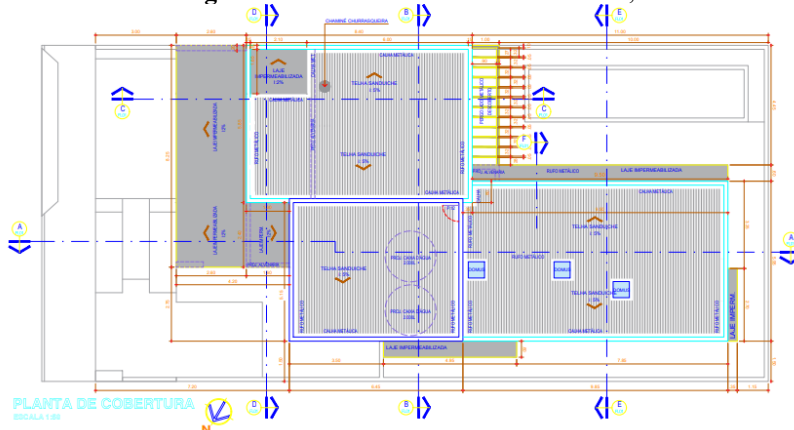
O modelo utilizado para a modelagem estrutural inclui os níveis, alturas dos pavimentos e as plantas baixas, conforme ilustrado nas Figuras 04 (planta baixa do pavimento térreo), 05 (planta baixa do pavimento de cobertura) e Figura 06 (elevação frontal).

Figura 04: Planta baixa térreo - Nível +0,00.



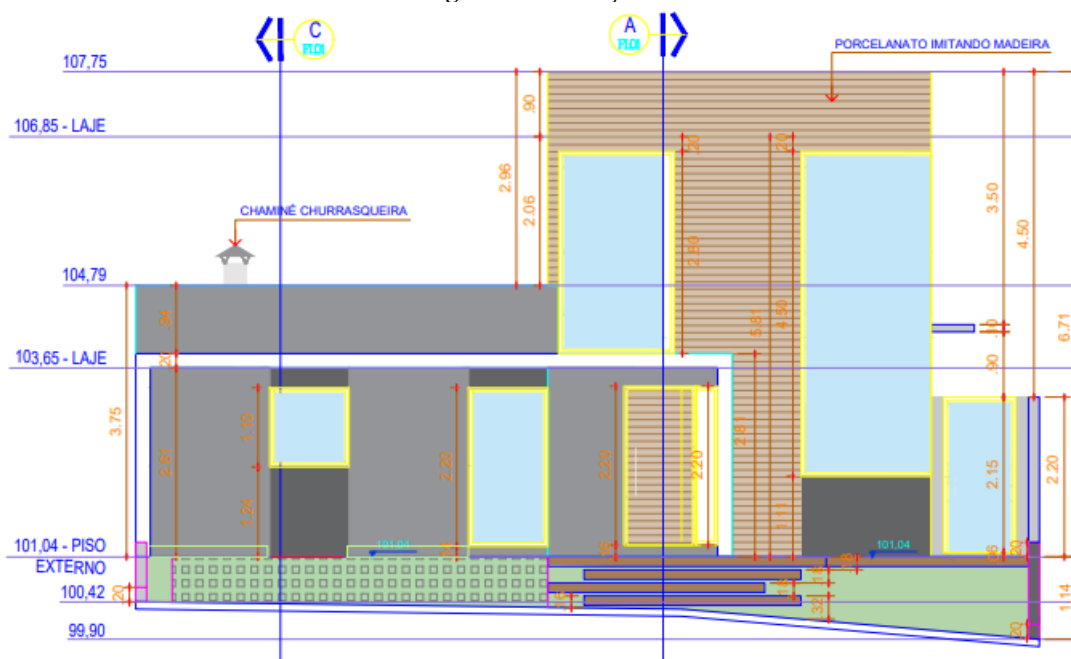
Fonte: Empresa de Engenharia Local (2023).

Figura 05: Planta cobertura – Nível +315,00.



Fonte: Empresa de Engenharia local (2023).

Figura 06: Elevação Frontal



Fonte: Empresa de Engenharia local (2023).

A concepção estrutural foi elaborada para concreto armado, e as vinculações dos elementos estruturais em conformidade com a Figura 07.

Figura 07: Vínculos

Aplicar vínculos em vigas

Vínculos

Nó extremo ligado em viga	Engastar	▼
Nó extremo ligado em pilar	Engastar	▼
Nó interno ligado em pilar	Engastar	▼
Nó extremo ligado em parede	Engastar	▼
Nó interno ligado em parede	Engastar	▼

Lançar

Seleccionando elementos
 Pavimento Inteiro

FUNDO ELEVADOR
TERREO 2

Fonte: Autores (2023).

3.1 CONCEPÇÃO ESTRUTURAL NOS PROGRAMAS COMPUTACIONAIS EBERICK (NACIONAL) E SAP2000 (INTERNACIONAL)

Com o objetivo de conferir plenitude ao modelo estrutural, empregou-se o conceito de fundação com estacas, no entanto, é importante ressaltar que a análise da infraestrutura não será contemplada neste estudo. A Tabela 01 contém os dados adotados para o projeto em ambos os *softwares*.

Após a configuração preliminar, iniciou-se o lançamento da estrutura em todos os níveis, começando pelos pilares, seguido pelas vigas e, por fim, pelas lajes. Para viabilizar a análise, os pilares no pavimento térreo foram tratados como pilares de fundação, com base em estacas. Em seguida, aplicaram-se os carregamentos das paredes nas vigas e lajes, e, por último, a carga do reservatório foi incorporada. As conexões entre as vigas foram estabelecidas, considerando-as como vigas engastadas.

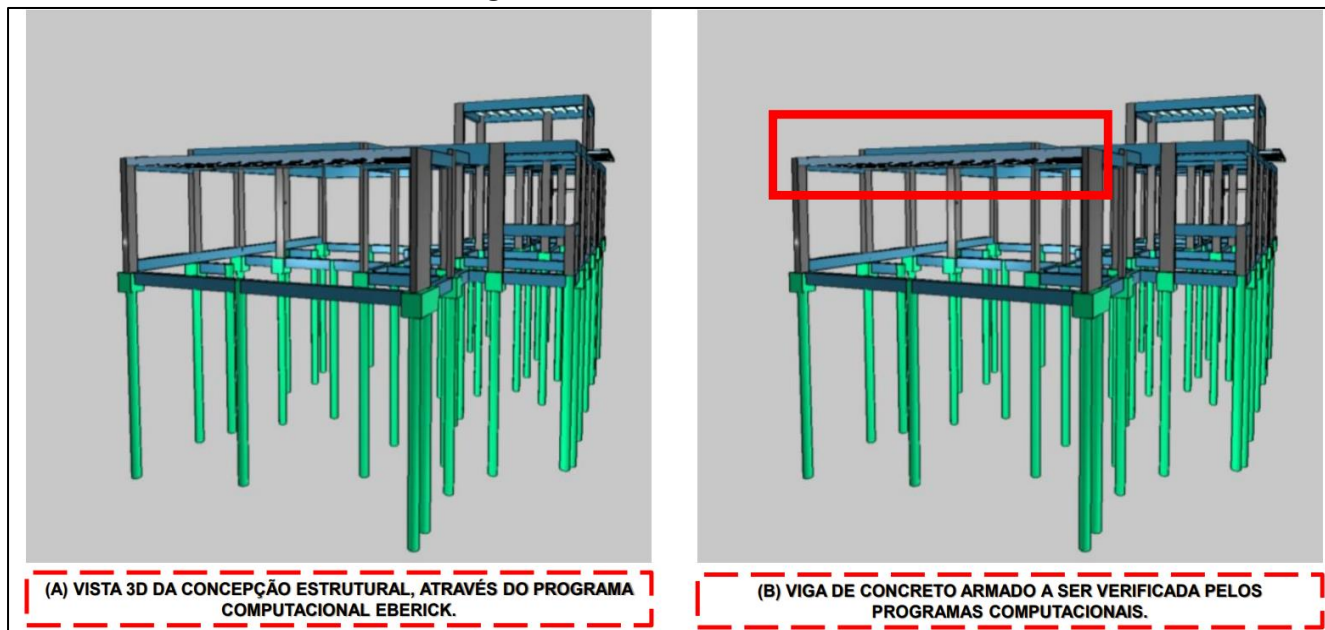
A Figura 08 (Eberick) e Figura 10 (SAP2000) mostram o pórtico 3D com a concepção estrutural concluída em ambos os programas.

Tabela 01: Dados do projeto.

Características Gerais para Concepção Estrutural			
Tipo de estrutura	Concreto armado		
Concreto	$F_{ck} = 25 \text{ MPa}$		
Aço	CA50 e CA60		
Cobrimento	Lajes		2cm
	Vigas	Internas	2cm
		Externas	2cm
		Em contato com o solo	2cm
	Pilares	Internos	2,5cm
		Externos	2,5cm
Fundação	Estacas		

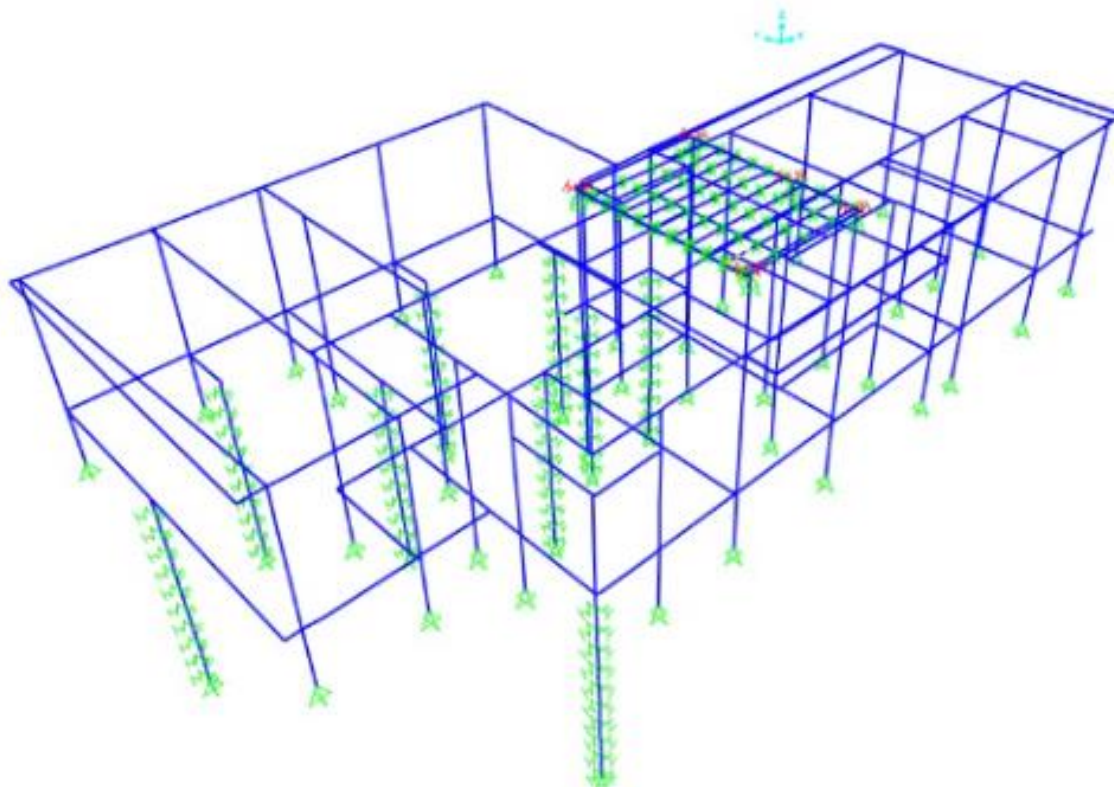
Fonte: Autores (2023).

Figura 08: Pórtico 3D no Eberick



Fonte: Autores (2023).

Figura 09: Pórtico 3D no SAP2000

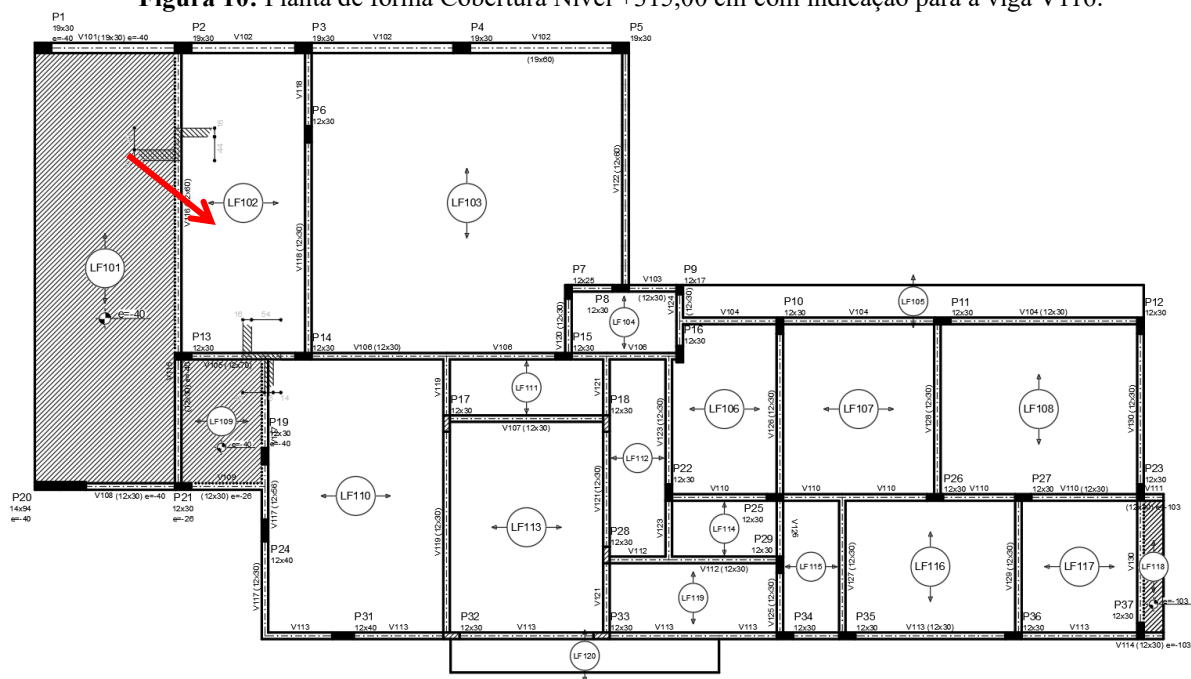


Fonte: Autores (2023).

As dimensões das vigas e pilares foram definidas pelo programa Eberick, que possui um ambiente CAD integrado, facilitando a modelagem dos elementos e permitindo a exportação para arquivo digital DWG. A Figura 10 mostra a planta do pavimento de cobertura no nível +315,00 m,

com a viga analisada destacada pela seta vermelha. A região da viga foi ampliada na Figura 11 para melhor visualização.

Figura 10: Planta de forma Cobertura Nível +315,00 cm com indicação para a viga V116.



Fonte: Autores (2023).

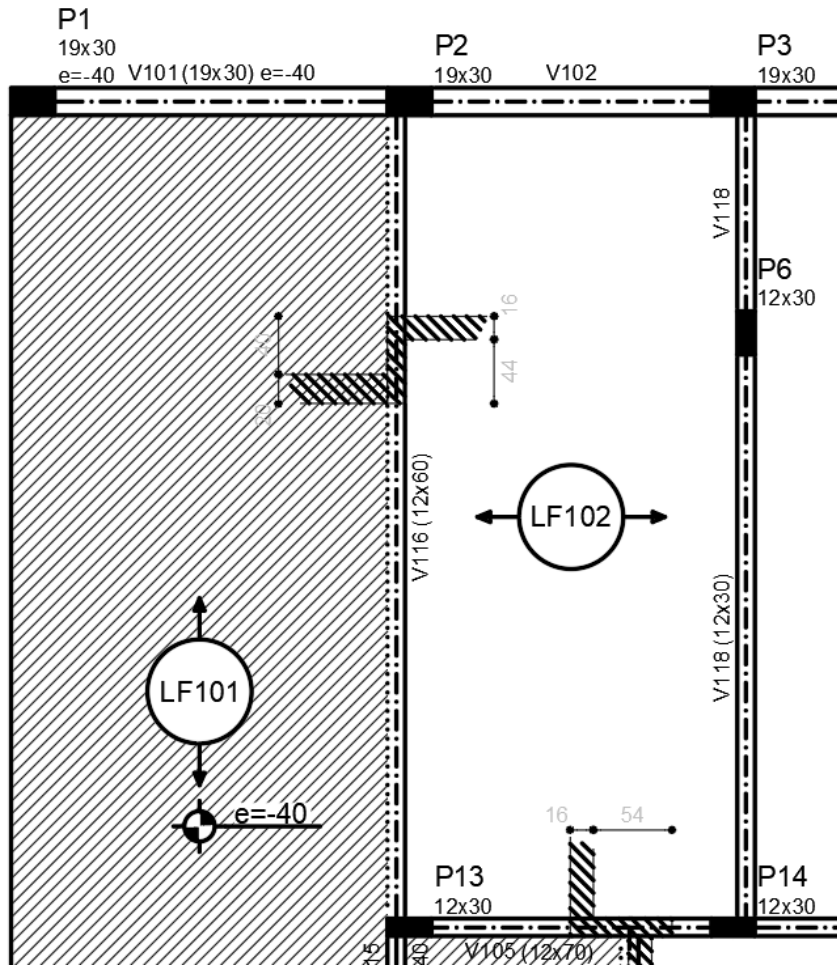
3.2 ANÁLISE DA VIGA DE CONCRETO ARMADO

Para a análise comparativa, as Figuras 12 e 13 apresentam, respectivamente, a viga "V116" em planta baixa e em visualização tridimensional no programa Eberick.

Com os resultados obtidos, foi feita a análise da viga mais solicitada (V116 12x60). Seguindo as combinações de cargas estabelecidas pelo item 10.4 da ABNT NBR 6118:2023 como critérios relacionados ao conforto do usuário, durabilidade, aparência e boa utilização da estrutura.

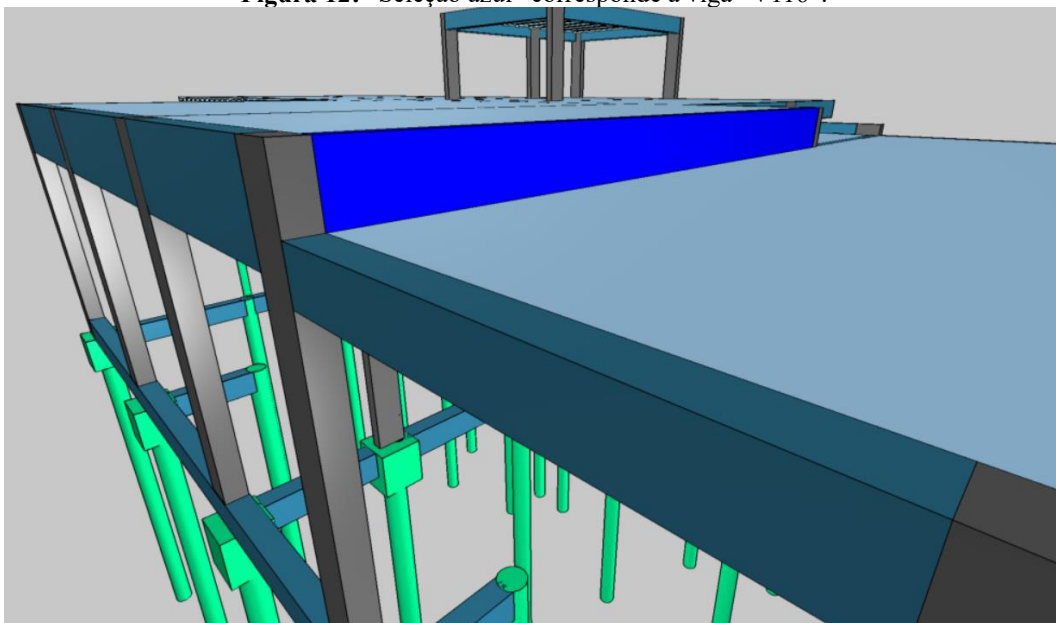
A norma NBR 15575 (ABNT, 2021) de desempenho apresenta características distintivas ao contrastar com normas pré-existentes. Segundo a NBR 6118 (ABNT, 2023), a seção transversal de pilares e pilares-parede maciços, independentemente de sua forma, não pode ter dimensões inferiores a 19 cm. Por outro lado, a NBR 15575 (ABNT, 2021) argumenta que casas térreas e sobrados com uma altura total de até 6,0 m (medida desde a cota mais baixa da fundação até o topo da cobertura) estão isentos da necessidade de cumprir as dimensões mínimas estabelecidas para os componentes estruturais nas normas de projeto estrutural específicas, desde que haja a garantia da estabilidade global da estrutura.

Figura 11: Ampliação da planta de forma da Figura 11, representação da viga “V116”



Fonte: Autores (2023).

Figura 12: “Seleção azul” corresponde a viga “V116”.



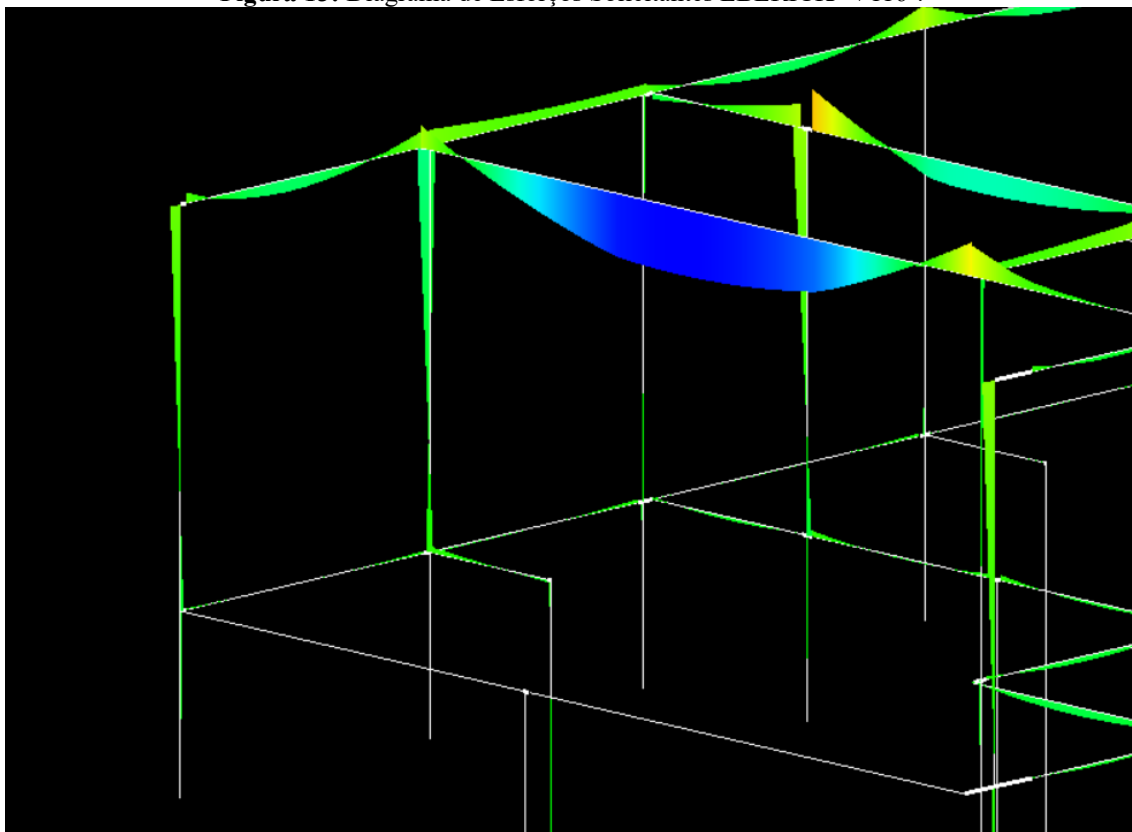
Fonte: Autores (2023).

Visto que o Eberick utiliza normas nacionais, para o SAP2000 foram adotados os valores estabelecidos nele, sendo regido pelas seguintes premissas normativas, com enfoque no *Eurocode 90*, abaixo:

1. **ACI 318**: Esta é a norma publicada pelo Instituto Americano de Concreto (American Concrete Institute) e é frequentemente usada nos Estados Unidos e em outros países que seguem padrões americanos.
2. **Eurocódigo 2 (EN 1992)**: É uma norma europeia aplicada a estruturas de concreto armado na União Europeia e em outros países que a adotaram.
3. **CAN/CSA A23.3**: No Canadá, o concreto armado é regulamentado pela CSA (Canadian Standards Association) através da norma CAN/CSA A23.3.
4. **BS 8110**: No Reino Unido, a British Standards (BS) publicou a norma BS 8110 para estruturas de concreto armado.

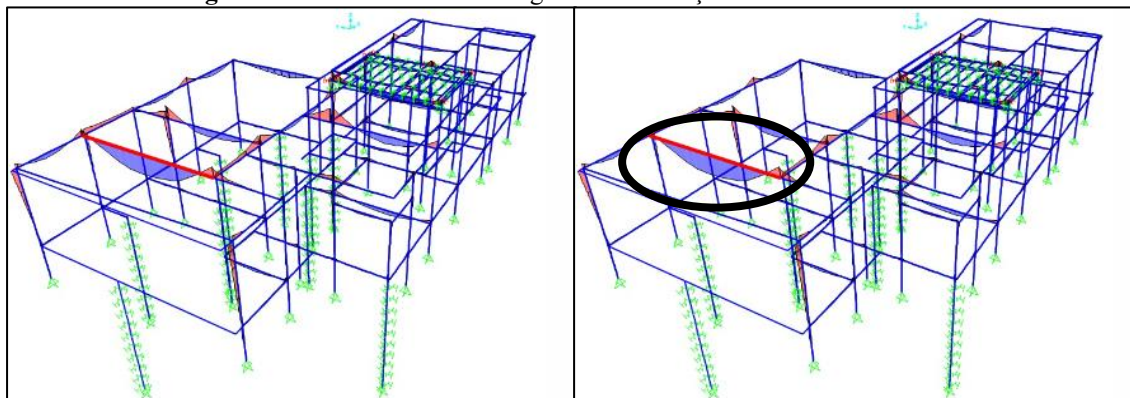
Para garantir um padrão na estrutura e uma análise comparativa precisa dos resultados obtidos, as Figuras 13 e 14 apresentam, respectivamente, o pórtico unifilar e o diagrama de esforços solicitantes para o Eberick e o SAP2000, destacando a viga "V116" com a maior solicitação

Figura 13: Diagrama de Esforços Solicitantes EBERICK 'V116'.



Fonte: Autores (2023).

Figura 14: Pórtico unifilar - Diagrama de Esforços Solicitantes SAP2000



Fonte: Autores (2023).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com os resultados obtidos neste projeto foram separadas as cargas na viga (V116), estudo dos esforços de momento fletores, avaliação do deslocamento e uma análise comparativa dos resultados gerados pelos dois softwares.

Os momentos torsores não serão representados devido o resultado ter um valor irrelevante/mínimo.

4.1 DISTRIBUIÇÃO DE CARGAS NA VIGA ANALISAD

As cargas verticais lançadas nesta viga foram somadas com o peso próprio, cargas adicionais, acidentais e cargas das áreas de influência das lajes. Foram distribuídas por tipos de carregamentos da Tabela 02.

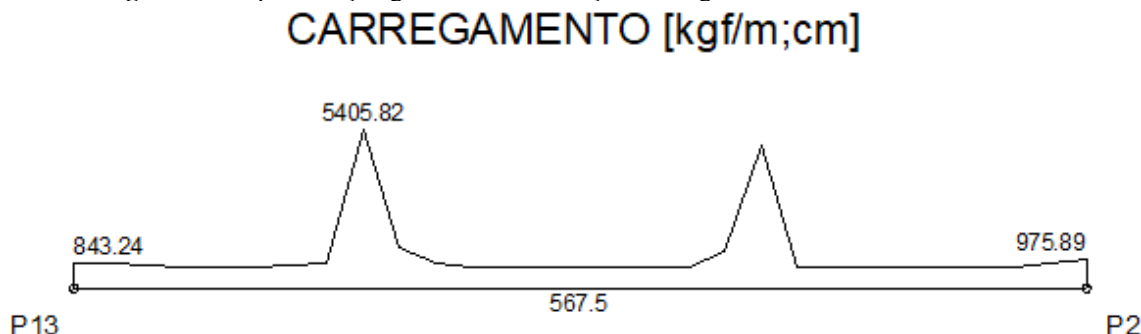
Tabela 02: Distribuição de cargas verticais por tipo de carregamento

Dados						
Pilar Trecho	Comprimento Apoio 1 e 1o (cm)	Largura da Barra (cm)	Carga distribuída - Viga		Carga distribuída - Lajes (*)	
			Perm.	Acid.	Perm.	Acid.
			(kgf/m)	(kgf/m)	(kgf/m)	(kgf/m)
P13		12.00				
1	567.50	552.00	180.00	0.00	847.94	95.40
P2		19.00				

Fonte: Autores (2023).

A Figura 15 apresenta a distribuição gráfica das cargas verticais na viga em análise no Eberick.

Figura 15: Representação gráfica de distribuição de cargas verticais no Eberick

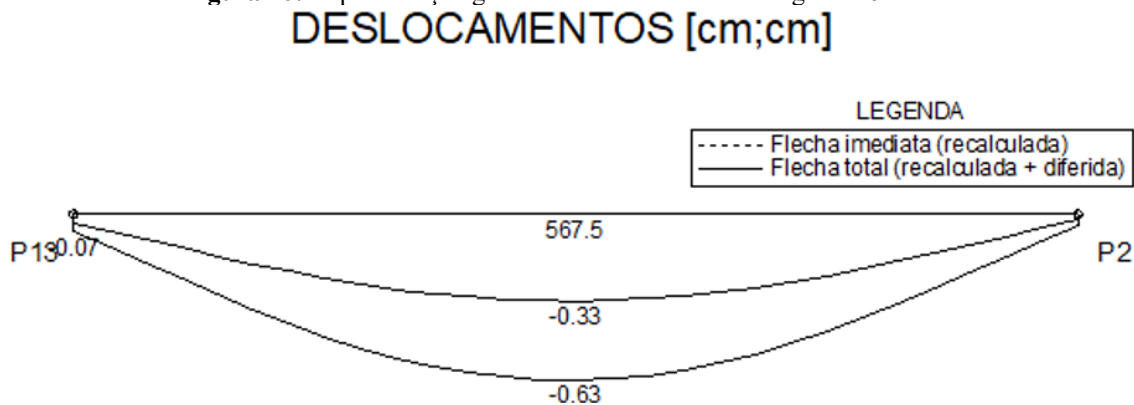


A carga distribuída proveniente das lajes apresentada no relatório é uma média das reações das barras da grelha ligadas ao trecho, e não é usada pelo programa no dimensionamento da viga. Para o dimensionamento, o programa usa os esforços obtidos a partir da análise da estrutura.

4.2 DESLOCAMENTOS MÁXIMOS

O deslocamento gerado na viga utilizando a combinação para o ELS, são ilustrados graficamente pelos softwares Eberick (em centímetros) e SAP2000 (em metros) respectivamente representados na Figura 16 e 17.

Figura 16: Representação gráfica do deslocamento da viga V116 no Eberick



Tabelas 03 e 04: Envoltórias Eberick

Envoltória	Vão 1		
	Nó I	Vão	Nó F
Inércia da seção bruta (m ⁴ E-4)	21.60	21.60	21.60
Inércia fissurada (m ⁴ E-4)	3.42	4.76	3.42
Momento de fissuração (kgf.m)	2770	2770	2770

Momento em serviço (kgf.m)	-1384	3435	-1321
Comprimento do sub-trecho (cm)	45.41	475.10	46.99
Inércia equivalente (m ⁴ E-4)	14.90		
Multiplicador flecha total	1.97		

Envoltória	Vão 1	
	Valor	Posição
Flecha imediata (cm)	-0.30	283.8
Flecha imediata (recalculada) (cm)	-0.32	283.8
Flecha diferida (cm)	-0.30	283.8
Flecha total (cm)	-0.62	283.8

Fonte: Autores (2023).

Figura 17: Representação gráfica do deslocamento da viga V116 no SAP2000



Fonte: Autores (2023).

De forma manual, foram preenchidas na Tabela 05 os resultados dos deslocamentos máximos.

Tabela 05: Deslocamentos máximos na viga V116

Deslocamentos (cm):							
Pavimento	Viga	Seção (cm)	Limite de Flecha de acordo com a ABNT NBR 6118 (L/250)	SAP2000 (cm)	Eberick (cm)	Diferença percentual (%)	Situação
Superior	V116	20x60	$567,5/250=2,27$	0,68	0,63	7,9	OK

Fonte: Autores (2023).

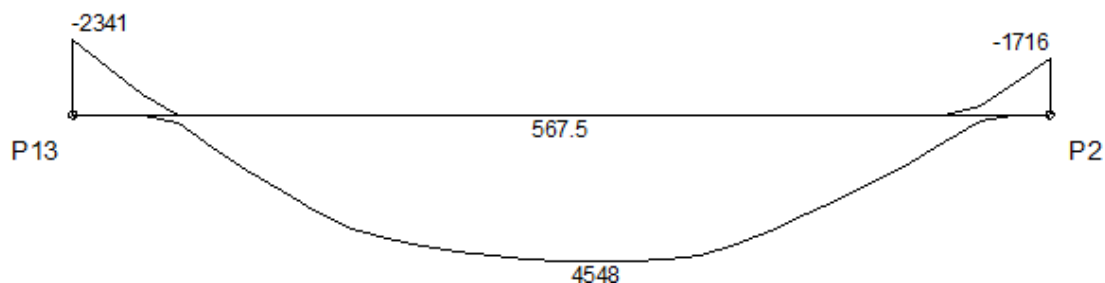
Para as flechas excessivas encontradas, uma solução seria aumentar a seção da viga e/ou executar contra flechas para combater os deslocamentos imediatos, diminuindo o deslocamento máximo deste elemento estrutural. Sendo assim o estudo de caso a caso seria necessário para encontrar a melhor solução.

4.3 MOMENTOS FLETORES

Prevenindo os colapsos na estrutura utiliza-se a combinação no estado limite último (ELU), são representados nas Figuras 20, 21 e 22 os gráficos de momentos verticais máximos ($M_{yMáx}$), pelo software Eberick, assim como, SAP2000.

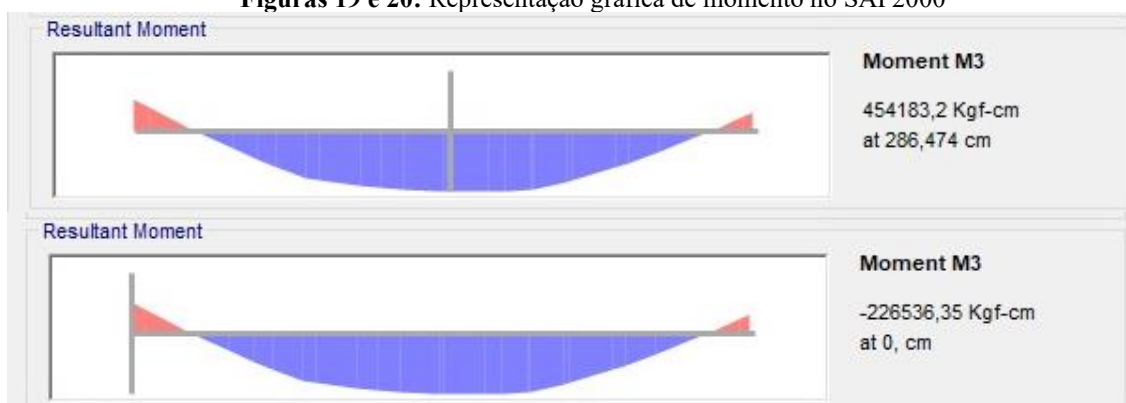
Figura 18: Representação gráfica de momento no Eberick

MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kgf.m;cm]



Fonte: Autor (2023).

Figuras 19 e 20: Representação gráfica de momento no SAP2000



Fonte: Autor (2023).

A Tabela 06 compara os resultados dos momentos, para a combinação de carga ELU.

Tabela 06: Momentos Fletores máximos na viga V116.

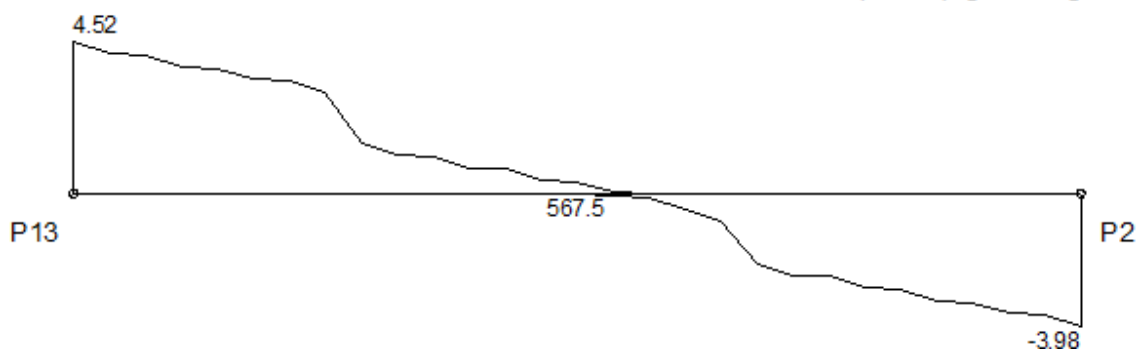
Momentos	SAP2000 (kN.m/m)	Eberick (kN.m/m)	Diferença percentual (%)
$M_{Máx}$	4.541,83	4.548,00	0,001
$M_{Máx}$ Negativo	2.265,36	2.341,00	0,033

Fonte: Autor (2023).

4.4 ESFORÇOS CORTANTES

São representados nas Figuras 21 e 22 os gráficos de esforços cortantes, pelos softwares Eberick e SAP2000.

Figura 21: Representação gráfica de esforços cortantes no Eberick
ESFORÇOS CORTANTES DE CÁLCULO (Vdx) [tf;cm]



Fonte: Autor (2023).

Figura 22: Representação gráfica de esforços cortantes no SAP2000



Fonte: Autor (2023).

A Tabela 07 compara os resultados dos esforços cortantes.

Tabela 07: Esforços cortantes na viga V116.

Cortantes	SAP2000 (tf; cm)	Eberick (tf; cm)	Diferença percentual (%)
VDx	4,51	4,52	0,002

Fonte: Autor (2023).

5 CONCLUSÃO

Durante a realização deste trabalho, foi evidenciada a relevância dos conhecimentos teóricos relativos a estruturas de concreto armado, bem como a importância do domínio da norma ABNT NBR 6118:2023 na execução de projetos estruturais. Quanto ao uso de programas computacionais, é crucial destacar que eles não possuem capacidade de raciocínio autônomo, sendo essencial a intervenção de um engenheiro para fornecer informações precisas e coesas, além de interpretar os resultados obtidos.

Ressalta-se também que um estudo preliminar de qualquer estrutura, abrangendo a arquitetura, funcionalidade, definição do sistema estrutural e escolha de materiais, é fundamental para a elaboração eficaz de um projeto estrutural. Isso se aplica independentemente da ferramenta computacional utilizada ao longo do processo, visto que essa análise inicial previne falhas na concepção estrutural e simplifica a modelagem e análise subsequentes por meio do software.

O programa Eberick é primariamente destinado à modelagem de edifícios em concreto armado, proporcionando notáveis vantagens na definição do modelo estrutural e na aplicação de cargas. É importante observar que este software é amplamente conhecido por sua usabilidade e por fornecer resultados que, em diversos cenários, atendem aos requisitos de projetos de engenharia civil.

O programa SAP2000 adota uma abordagem bastante abrangente para a análise de estruturas. Vale destacar que os resultados obtidos com o SAP2000 tendem a ser mais precisos devido à sua metodologia refinada, que envolve o uso de uma malha com um número maior de elementos.

No que diz respeito ao Estado Limite de Serviço (ELS), foi analisada a aceitabilidade sensorial visual. A viga observada apresentou uma flecha menor que o limite estabelecido pela norma NBR 6118:2023, tanto no Eberick quanto no SAP2000, indicando que não há necessidade de alterações nas seções ou a implementação de contra-flechas para combater os deslocamentos imediatos. Importante ressaltar que, em termos numéricos, a flecha no software SAP2000 apresentou um valor maior em comparação ao Eberick, com uma diferença de 7,9%. Tal variação pode ser atribuída a diversas causas, como o método de cálculo utilizado pelo software, a forma como as cargas são distribuídas entre os elementos estruturais em cada modelo e até mesmo os arredondamentos nas operações matemáticas.

No contexto do Estado Limite Último (ELU), foram analisados os momentos máximos e os esforços cortantes, observando-se uma diferença percentual de 0,033% para o momento máximo negativo e uma diferença de apenas 0,002% nos esforços cortantes. Com base nesses resultados, é razoável concluir que os valores gerados pelo software Eberick são satisfatórios em seu modelo de grelha + pórtico espacial, quando comparados ao SAP2000. Dada a semelhança entre os valores apresentados e a reputação de segurança do Eberick, os resultados tendem a garantir a segurança do projeto.

É importante salientar que, neste trabalho, não foram incluídas algumas verificações essenciais que devem ser realizadas em um projeto real, como a análise da ação do vento. Além disso, não se deve aceitar passivamente os resultados fornecidos pelo *software* escolhido, sendo imprescindível que o profissional realize uma verificação cuidadosa dos dados apresentados.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos às Faculdades Integradas de Bauru (FIB) pelo suporte e conhecimento fornecidos na concepção deste artigo técnico. Também expressamos nossa gratidão à L Trindade Engenharia LTDA pelo fornecimento dos programas computacionais utilizados no estudo.

REFERÊNCIAS

- ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). NBR 6118:2023. *Projeto de estruturas de concreto – Procedimento*. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.
- ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). NBR 15575:2021. *Edificações habitacionais – Desempenho*. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.
- ADÃO, Francisco Xavier; HEMERLY, Adriano Chequetto. *Concreto armado: novo milênio: cálculo prático e econômico*. 2ª Edição. Rio de Janeiro: *Editora Interciência*, 2010.
- ALTOQI TECNOLOGIA. Eberick: comparativo entre vinculações de vigas. Florianópolis: AltoQi Tecnologia, 2020. Disponível em: <https://suporte.altoqi.com.br/hc/pt-br/articles/115001285093>. Acesso em: 05 set. 2023, às 18h00.
- ALTOQI TECNOLOGIA. Eberick: principais configurações de dimensionamento: vigas. Florianópolis: AltoQi Tecnologia, 2018. Disponível em: <https://suporte.altoqi.com.br/hc/pt-br/articles/115004930194>. Acesso em: 05 ago. 2023, às 18h00.
- AREZOUMANDI, M.; et al.. An experimental study on flexural strength of reinforced concrete beams with 100% recycled concrete aggregate. *Engineering Structures*, fev. 2015.
- AZEVEDO, Álvaro FM. Método dos elementos finitos. *Faculdade de Engenharia da universidade do Porto*, v. 1, n. 7, 2003.
- KIMURA, Alio. Informática aplicada a estruturas de concreto armado. *Oficina de Textos*, 2018.
- LOTTI, Raquel S. et al. Aplicabilidade científica do método dos elementos finitos. *Revista Dental Press de Ortodontia e Ortopedia Facial*, v. 11, p. 35-43, 2006.
- MARTHA, Luiz Fernando. *Análise de estruturas: conceitos e métodos básicos*. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier Brasil, 2010.
- MIRANDA, Walzenira Parente; DA SILVA, Antonio Cleiton Lopes. O papel do engenheiro no uso de softwares para cálculo estrutural/The role of engineers in the use of structural calculations softwares. *Brazilian Journal of Development*, v. 8, n. 1, p. 3681-3698, 2022.
- QUEIROZ, Rudney C. QUEIROZ, Rudney C. *Noções sobre engenharia civil*. Bauru: Departamento de Engenharia Civil, *Universidade Estadual Paulista (UNESP)*, 2008.
- SILVA, Juliermes Nunes da. *Análise comparativa de esforços em lajes maciças utilizando SAP2000 e Eberick*. *Universidade Federal de Campina Grande/PB (UFCG)*, 2020.
- SORIANO, Humberto Lima. *Elementos finitos: formulação e aplicação na estática e dinâmica das estruturas*. Rio de Janeiro: *Ciência Moderna*, 2009.
- SOUZA, Everton Valner de; MEDEIROS, Diego Marlo de. *Desenvolvimento e análise de um projeto estrutural no software Eberick*. *Engenharia Civil-Pedra Branca*, 2017.

SPENGLER, Adriana Piffer. Influência da alteração da resistência à compressão do concreto (fck) e da alteração da seção dos pilares no projeto de um edifício em concreto armado no sistema núcleo rígido. *Univates*, 2023.

SUSSEKIND, J. C. Curso de análise estrutural. 6. ed. Rio de Janeiro: *Globo*, v. 1, 1981.

TAM, V. W. Y.; TAM, C. M. A review on the viable technology for construction waste recycling. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 47, p. 209-221, 2006.