



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA E CIÊNCIAS AMBIENTAIS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

HIAN ALVES DANTAS

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS RESULTADOS DE PILARES E VIGAS DE
UMA ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO EBERICK E ROBOT**

MOSSORÓ

2024

Hian Alves Dantas

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS RESULTADOS DE PILARES E VIGAS DE
UMA ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO EBERICK E ROBOT**

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Raimundo Gomes de Amorin Neto, Prof. Dr.

MOSSORÓ

2024

©Todos os direitos estão reservados à Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996, e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata, exceto as pesquisas que estejam vinculadas ao processo de patenteamento. Esta investigação será base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) seja devidamente citado e mencionado os seus créditos bibliográficos.

D192a Dantas, Hian Alves.

Análise comparativa entre os resultados de pilares e vigas de uma estrutura de concreto armado utilizando Eberick e Robot / Hian Alves Dantas. - 2024.

95 f. : il.

Orientador: Raimundo Gomes de Amorin Neto.

Monografia (graduação) - Universidade Federal Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Civil, 2024.

1. Cálculo estrutural. 2. Concreto armado. 3. Eberick. 4. Robot Structural Analysis. 5. Engenharia Civil. I. Neto, Raimundo Gomes de Amorin, orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade com AACR2 e os dados fornecidos pelo autor(a).

Biblioteca Campus Mossoró / Setor de Informação e Referência

Bibliotecária: Kenia Cristina Santos Sousa e Silva

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

Hian Alves Dantas

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS RESULTADOS DE PILARES E VIGAS DE
UMA ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO EBERICK E ROBOT**

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Defendida em: 25 / 10 / 2024.

BANCA EXAMINADORA

Raimundo Gomes de Amorim Neto, Prof. Dr. (UFERSA)
Presidente

Fernando Fernandes Jales, Eng. Civil
Membro Examinador

Valécio Alves Duarte, Eng. Civil)
Membro Examinador

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais que sempre me incentivaram em meus estudos, e me apoiaram nas horas difíceis. Agradeço aos meus amigos e colegas de curso, que sempre estiveram presentes compartilhando as dificuldades passadas ao decorrer do curso. Agradeço a todos os meus professores, que sempre tiveram paciência, didática, e empenho para me ensinar os conteúdos necessários. Agradeço também a Raimundo Amorim, meu professor orientador, pelas correções, pelo tempo disponível. E agradeço a todos que diretamente ou indiretamente fizeram parte de minha formação acadêmica.

RESUMO

O uso de softwares de cálculo estrutural é essencial na engenharia civil, sendo fundamental comparar diferentes programas para determinar a melhor ferramenta para cada projeto. Este trabalho visa comparar dois softwares amplamente utilizados no Brasil: o Eberick e o *Robot Structural Analysis*, a partir da análise de uma estrutura de concreto armado de seis pavimentos. O estudo considera aspectos de facilidade de uso, interoperabilidade, e comparação entre as áreas de aço fornecidas, relevantes para a escolha do software ideal, para estudantes e profissionais. O processo de lançamento da estrutura foi realizado a partir de um modelo IFC (*Industry Foundation Classes*) da modelagem de um edifício de seis pavimentos residencial, em que o modelo foi levado para o software Eberick e posteriormente o modelo foi levado para o software *Robot*. A partir dos resultados dos momentos fletores, cortantes e área de aço das vigas, foi realizada a comparação de resultados, assim como a comparação das excentricidades e área de aço nos pilares. Com os dados em posse, foi possível observar um maior alinhamento com a norma brasileira de concreto armado NBR6118:2023 com o Eberick, já que o *Robot* não possui nativamente a norma brasileira em seu código, também foi possível observar que o Eberick possui uma maior fluidez e intuitividade em sua interface de usuário e em seu modo de processamento e apresentação de resultados.

Palavras-chave: cálculo estrutural; concreto armado; Eberick; *Robot Structural Analysis*; engenharia civil.

ABSTRACT

The use of structural analysis software is essential in civil engineering, and comparing different programs is crucial to determine the best tool for each project. This study aims to compare two widely used software programs in Brazil: Eberick and *Robot Structural Analysis*, by analyzing a six floors reinforced concrete structure. The study considers aspects such as ease of use, interoperability, and a comparison of the steel areas provided, which are relevant for selecting the ideal software for students and professionals. The process of modeling the structure was conducted using an IFC (Industry Foundation Classes) model of a six-floors residential building, which was imported into Eberick and later into *Robot*. Based on the results of bending moments, shear forces, and steel areas for beams, a comparison of the results was made, as well as an evaluation of the eccentricities and steel areas in the columns. The data revealed a better alignment with the Brazilian reinforced concrete standard NBR 6118:2023 in Eberick, as *Robot* does not natively include the Brazilian standard in its code. Additionally, it was observed that Eberick offers greater fluidity and intuitiveness in its user interface and in its processing and presentation of results.

Key-Words: structural analysis; reinforced concrete; Eberick; Robot Structural Analysis; civil engineering.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1–Exportação da Arquitetura	21
Figura 2 – Importação da Arquitetura	21
Figura 3 - Lançamento de Pilar Eberick.....	22
Figura 4 - Lançamento das Vigas Eberick	23
Figura 5 - Lançamento das Lajes Eberick	23
Figura 6 - Lançamento das Fundações Eberick.....	24
Figura 12– Vento Eberick.....	31
Figura 13– Análise Eberick	35
Figura 14 - Análise estática linear Eberick.....	36
Figura 15 - Pórtico unifilar Eberick.....	37
Figura 16 - Momentos fletores de cálculo V116 Eberick.....	38
Figura 17 - Lançamento de pilar Revit.....	44
Figura 18 - Lançamento de pilar Revit 02.....	45
Figura 19 - Lançamento de viga Revit	46
Figura 20 - Lançamento de viga Revit 02	46
Figura 21 - Vínculo para Robot.....	47
Figura 22 - Vínculo com o Robot.....	47
Figura 23 - Lançamento dos apoios Robot.....	48
Figura 24– Ações Robot	49
Figura 25 - Aplicação de carga de laje Robot	49
Figura 26 - Aplicação de carga de parede Robot.....	50
Figura 27– Vento Robot	51
Figura 28 - Simulação de vento Robot	51
Figura 29– Processamento Robot.....	52
Figura 30 - Lista de combinações manuais Robot.....	53
Figura 31 - Diagrama de barras Robot	53
Figura 32 - Momentos fletores Robot.....	54
Figura 33 - Dimensionamento da armadura Robot	54
Figura 34 - Dimensionamento da viga 45Robot.....	55
Figura 35 - Armadura da viga 45 Robot.....	56
Figura 36 - Croqui da viga V301	58
Figura 37 - Momento fletor viga V301 Robot.....	59
Figura 38 - Momento fletor viga V301 Eberick.....	59

Figura 39 - Esforço cortante viga V301 Robot.....	60
Figura 40 - Esforço cortante viga V301 Eberick.....	60
Figura 41 - Croqui viga V317.....	61
Figura 42 - Momento fletor viga V317 Robot.....	62
Figura 43 - Momento fletor viga V317 Eberick.....	62
Figura 44 - Esforço cortante viga V317 Robot.....	63
Figura 45 - Esforço cortante viga V317 Eberick.....	63
Figura 46 - Croqui viga V333.....	65
Figura 47 - Momento fletor viga V333 Robot.....	66
Figura 48 - Momento fletor viga V333 Eberick.....	66
Figura 49 - Esforço cortante viga V333 Robot.....	67
Figura 50 - Esforço cortante viga V333 Eberick.....	67
Figura 51 - Lançamento da viga V333 no Ftool.....	68
Figura 52 – Croqui pilar P4	70
Figura 53 - Croqui pilar P7.....	71
Figura 54 - Croqui pilar P8.....	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores mínimos das cargas verticais	25
Tabela 2 - Coeficientes $\gamma f = \gamma f_1 * \gamma f_2$ – Tabela 11.1 ABNT NBR 6118:2023	26
Tabela 3 - Valores do coeficiente γf_2 – Tabela 11.2 ABNT NBR 6118:2023.....	26
Tabela 4 - Coeficientes de ponderação Eberick	28
Tabela 5 - Combinações últimas – Tabela 11.3 ABNT NBR 6118:2023	29
Tabela 6 - Combinação de serviço – Tabela 11.4 ABNT NBR 6118:2023	30
Tabela 7 - Parâmetros de vento Eberick.....	32
Tabela 8 - Forças aplicadas vento X+ Eberick.....	33
Tabela 9 - Dados da viga V116 Eberick.....	39
Tabela 10 - Envoltória viga V116 Eberick.....	39
Tabela 11 - Resultados viga V116 Eberick	40
Tabela 12 - Dimensionamento da armadura positiva viga V116 Eberick.....	41
Tabela 13 - Dimensionamento da armadura positiva viga V116 Eberick.....	42
Tabela 14 - Verificação de esforços limites Eberick.....	43
Tabela 15 – Dimensionamento da área de aço da Viga 45 Robot.....	56
Tabela 16 - Comparação Momentos Fletores V301	59
Tabela 17 - Comparação Esforços Cortantes V301.....	60
Tabela 18 - Comparação Momentos Fletores V317.....	62
Tabela 19 - Comparação Esforços Cortantes V317.....	64
Tabela 20 - Comparação Momentos Fletores V333	66
Tabela 21 - Comparação Esforços Cortantes V333	67
Tabela 22 - Resultados do cálculo manual V333	68
Tabela 23 - Combinações Eberick.....	78
Tabela 24- Forças aplicadas vento X-Eberick.....	85
Tabela 25- Forças aplicadas vento Y+Eberick.....	86
Tabela 26- Forças aplicadas vento Y-Eberick.....	86

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
BIM	Building Information Modeling
IFC	Industry Foundation Classes
EPS	Expanded Polystyrene
ELS	Estado Limite de Serviço
ELU	Estado Último Limite
NBR	Norma Brasileira
ASTM	American Society for Testing and Materials
ACI	American Concrete Institute's
CSA	Cement Association of Canada

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	OBJETIVO GERAL	15
3	OBJETIVO ESPECÍFICO.....	15
4	REFERENCIAL TEORICO.....	15
4.1	Projetos Estruturais por meio da modelagem computacional.....	15
4.2	Conceitos Fundamentais.....	17
4.2.1	Concreto – Material Estrutural.....	17
4.2.2	Modelos de Cálculo.....	18
4.2.3	Uso de Programas no Dimensionamento de Concreto Armado.....	19
5	METODOLOGIA.....	20
6	DESENVOLVIMENTO.....	20
6.1	Eberick.....	20
6.1.1	Lançamento Estrutural.....	22
6.1.2	Ações e carregamentos sobre a estrutura.....	24
6.1.3	Processamento.....	35
6.1.4	Resultados.....	36
6.2	Robot.....	44
6.2.1	Lançamento Estrutural.....	44
6.2.2	Ações e Carregamentos sobre a Estrutura.....	48
6.2.3	Processamento.....	51
6.2.4	Resultados.....	54
7	COMPARAÇÃO.....	56
7.1	Vigas.....	57
7.1.1	Viga V301.....	57
7.1.2	Viga V317.....	59
7.1.3	Viga V333.....	64
7.2	Pilares.....	69
7.2.1	Pilar P4.....	69
7.2.2	Pilar P7.....	70
7.2.3	Pilar P8.....	71
8	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	73

9	REFERÊNCIAS.....	74
10	APÊNDICE A	77
11	APÊNDICE B	84
12	APÊNDICE C	87

1 INTRODUÇÃO

A utilização de softwares e programas de cálculo estrutural é parte integral na carreira profissional de um engenheiro civil e a comparação entre softwares é essencial para definir qual a melhor opção para o engenheiro, logo, a obtenção dos dados de comparação é de suma importância quando o engenheiro queira fazer suas análises para determinar o software que melhor irá adequar-se às suas necessidades.

Há fatores como o custo, disponibilidade, tempo de processamento, familiaridade e interoperabilidade com outros programas de projetos de construção civil, que são importantes no processo de decisão do engenheiro. Com o avanço das ferramentas e das normas hoje é praticamente impossível pensar em projetar sem a ajuda total ou parcial destas ferramentas. Soma-se a isso o ganho em escala que se obtém sobretudo no contexto da revisão dos projetos e adequações que são sempre necessárias.

Sendo assim, este trabalho se justifica como sendo um balizador simples para buscar responder algumas dúvidas em termos de como alguns dos programas comerciais se apresentam ainda para estudantes de graduação, que ainda não tem experiências nem disponibilidade financeira, assim a escolha de dois destes se deu pela sua disponibilidade e também o tempo disponível para a realização do trabalho final de graduação do curso de engenharia civil.

Esta monografia está dividida em seis capítulos; Este que apresenta uma introdução, onde é mostrado quais são os objetivos gerais e específicos; na sequência o capítulo dedicado ao referencial teórico, onde será apresentado os conhecimentos prévios os quais foram utilizados para a criação desse trabalho, como o que se entende por softwares, o que é modelagem computacional de estruturas de concreto armado, o que é o concreto armado, quais são os modelos de cálculo estrutural utilizados majoritariamente, e um histórico dos programas de cálculo estrutural utilizados.

O capítulo seguinte apresenta a metodologia utilizada para realizar a comparação entre os dois softwares escolhidos nesse trabalho, que foram o *Robot Structural Analysis* e o Eberick. O quarto capítulo é o desenvolvimento do trabalho, em que mostra de forma detalhada e ampla os passos que foram realizados para lançar a estrutura em cada software, mostrando os processos e os resultados de alguns elementos selecionados em cada um deles. No quinto capítulo os resultados dos softwares serão comparados lado a lado, mostrando quais foram as diferenças pontuais entre eles. Por final o capítulo das conclusões, em que a partir dos dados e conhecimentos adquiridos ao longo do trabalho será apresentado os pontos

negativos e positivos de cada softwares e chegar a conclusão de qual software possui os melhores resultados para a norma e a realidade brasileira do cálculo de concreto armado.

2 OBJETIVO GERAL

A principal meta deste trabalho acadêmico é realizar a comparação entre os softwares Eberick e *Robot Structure Analysis* a partir do dimensionamento de uma estrutura de uma edificação de seis pavimentos, analisando as diferenças entre os esforços internos, as reações, o dimensionamento da área de aço pelo estado limite último, a fim de observar as possíveis vantagens e desvantagens entre os softwares e poder auxiliar futuros engenheiros na sua escolha de um software de cálculo estrutural de elementos de concreto armado.

3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Este trabalho apresenta ao longo do seu desenvolvimento os seguintes objetivos específicos:

- ✓ Realizar o dimensionamento estrutural nos programas Eberick e *Robot*;
- ✓ Obter e realizar o comparativo dos esforços e momentos calculados pelos programas;
- ✓ Analisar o desempenho dos métodos em uma estrutura residencial de seis pavimentos;
- ✓ Comparar os resultados;

4 REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 Projetos Estruturais por meio da modelagem computacional

Na engenharia, o projeto é parte fundamental de qualquer empreendimento, é nele em que o engenheiro projetista indicará todos os elementos necessários para a sua execução. O projeto estrutural advém do cálculo estrutural dos elementos presentes na estrutura, no Brasil 80% das obras são realizadas utilizando-se do concreto armado (AMBROZEWICZ, 2012). O concreto armado é um material composto por: cimento, água, agregados graúdos, agregados miúdos e aço (BASTOS, 2006), garantindo assim uma boa resistência à compressão, como também a flexão.

De acordo com Carvalho e Figueiredo Filho (2014, p.23) em engenharia civil, elementos estruturais são, peças que contém uma ou duas dimensões muito maiores que as outras e suportam as cargas provenientes da edificação, o conjunto desses elementos formam

um sistema estrutural. Atualmente existem diversos softwares de cálculo estrutural, e à medida que o sistema BIM (*Building Information Modeling*) torna-se parte da cultura dos projetistas no Brasil, os softwares que se integram a esse sistema são cada vez mais requisitados. Assim o *Robot Structural Analysis*, que é um programa pertencente a empresa *AutoDesk*, está perfeitamente integrado ao sistema BIM, visto que, ele possibilita uma interação com o Revit, assim trazendo toda a informação necessária proveniente da arquitetura (OLIVEIRA FILHO E CRUZ, 2022).

Os trabalhos e pesquisas para comparação entre softwares de cálculo estrutural vem sendo desenvolvidos, e são de suma importância para que os engenheiros estruturais tomem como base no momento de fazer a escolha do softwares que serão utilizados para o dimensionamento, dessa forma o engenheiro pode fazer sua escolha a partir daquele softwares que ele define como mais econômico no gasto de materiais, ou aquele que possui mais proximidade com os resultados que seriam obtidos caso o cálculo da estrutura fosse feito de maneira manual, ou ainda aquele software que possui uma maior fluidez no modelo de trabalho para o projetista. De acordo com Sabadin (2018, p.74) ao analisar as cargas calculadas pelo *Robot* e pelo TQS, observou-se que os valores de carga do TQS se aproximavam mais dos valores do cálculo manual, e ao analisar os esforços cortantes e os momentos fletores nas vigas, verificou-se que os valores eram próximos o suficiente para que os resultando de ambos fossem tratados como iguais. Em pilares também se observou semelhanças, porém houve divergências em pilares específicos, e à medida que pavimentos são adicionados à estrutura, essas divergências aumentam.

De acordo com Barboza (2019, p.13) o Eberick é um dos programas mais utilizados pelos engenheiros brasileiros no cálculo estrutural de elementos de concreto armado no Brasil, assim a sua comparação como métrica de base para outros softwares menos utilizados, como o *Robot*, é conveniente. O Eberick é um software desenvolvido pela empresa AltoQI, e está disponível no mercado brasileiro desde 1996.

Algumas comparações entre softwares, tendo o Eberick como um dos programas, já foram realizadas em outros trabalhos de pesquisa. Para Silva e Souza e Boaventura (2017, p.52) que realizaram um estudo em um edifício residencial de cinco pavimentos, na análise de lajes observou-se uma diferença de 72% na Armadura necessária entre o cálculo manual e os resultados obtidos pelo Eberick, em uma segunda análise de duas lajes, as diferenças foram menores, mostrando uma diferença de 7,5% e 15,74% na área de aço, em dois desses casos o cálculo manual resultou em uma área de aço maior que a área de aço calculada pelo Eberick. Em relação às vigas, observou-se um resultado constante de apenas 0,68% de diferença da

área de aço entre o cálculo manual e o resultado do Eberick. Já em relação aos pilares, foi observado diferenças que vão de 35% a 64% na área de aço, com o Eberick sempre apresentando uma área de aço maior em relação ao resultado obtido por cálculos manuais.

De acordo com Martins *et.al* (2019, p.47) que realizou uma pesquisa comparativa entre o Eberick *V10* e o CypeCad *2016* em uma arquitetura de um edifício de 28,00 metros de largura, 18,00 metros de comprimento e 16,30 metros de altura, com quatro pavimentos tipo e uma cobertura com pé esquerdo de 4,00 metros, as diferenças entre a relação de aço/volume de concreto, foi de 13,05 kg/m³, dessa forma o CypeCad *2016* gerou uma economia de 22,93% em relação ao Eberick *V10*.

4.2 CONCEITOS FUNDAMENTAIS

4.2.1 Concreto – Material estrutural

O concreto é um dos materiais construtivos mais utilizados na atualidade, embora ele não seja o material mais resistente, nem o mais tenaz, porém, é capaz de resistir a ação da água sem deterioração, o que o torna um excelente material para a maioria das construções, que inevitavelmente entrarão em contato com a água (MEHTA; MONTEIRO, 1994). De acordo com a *Standard Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates*, o concreto pode ser definido como um material que consiste em agregados misturados com cimento hidráulico e água. E agregado são um material granular como areia, pedra moída, escoria de ferro de forno, que são utilizados no cimento para a produção de concreto (ASTM C 125, 2003).

As primeiras teorias e normas de concreto armado são oriundas da Alemanha, com o engenheiro alemão Edward Morsch em 1904. A partir de experimentos e ensaios realizados por ele, foi originada a primeira norma para cálculo e dimensionamento de estruturas de concreto armado. Posteriormente foi criada a norma francesa em 1906 e a norma suíça em 1909 (BASTOS; 2006). No Brasil a primeira norma de concreto armado só vem a surgir em 1940 com a NB-1 “Cálculo e execução de obras de concreto armado”.

A origem da norma brasileira de concreto armado, a NB-1, teve como base as normas europeias de concreto (ZAQUERA; 2015), e isso pode ser observado atualmente nas normas ao compará-las. Ao realizar essa comparação, Lopes *et.al*, constatou que os valores de área de aço de vigas e lajes, do cálculo de uma estrutura de base de um reservatório residencial de 10000L, são bem parecidos. Constatou também que a norma brasileira é um pouco menos

conservadora que a norma europeia, permitindo assim uma redução de 67% da armadura mínima positiva em lajes em comparação com a norma europeia.

Ao fazer comparação entre a norma brasileira NBR 6118 e a norma canadense CSA A23, Zaquera constatou que as duas apresentaram valores próximo, porém a norma canadense apresentar valores mais conservadores para vigas e lajes, enquanto a norma brasileira apresenta valores mais conservadores no dimensionamento de pilares.

A norma brasileira NBR 6118 também foi comparada com a norma estadunidense ACI 318-08 por BRUSCO;2014, em seu trabalho foram analisadas vigas com seções de 20x40, 20x50 e 20x60. Pôde-se constatar que a NBR 6118 atinge os requisitos para armadura dupla antes das ACI 318-08, e sempre com valores maiores de área de aço. Os resultados obtidos por BRUSCO;2014, indicam que os resultados obtidos na flexão simples mostram a norma brasileira mais conservadora que a norma estadunidense, porém quanto aos esforços cortantes a norma estadunidense apresenta-se como mais conservadora.

4.2.2. Modelos de Cálculo

O método simplificado tem sido utilizado por vários engenheiros calculistas para o dimensionamento de elementos estruturais, nesse método as lajes são vistas como elementos isolados que se apoiam em vigas rígidas (LEITE et al;2017), e por sua vez as vigas são vistas como elementos isolados que se apoiam em pilares rígidos. Assim não existe uma análise precisa da estrutura real como se pode conseguir com os modelos computacionais da atualidade em que a estrutura é entendida e calculada como um todo, e a força que é aplicada em uma laje é distribuída por toda a estrutura.

De acordo com Carvalho e Figueiredo (2004) existem dois métodos para o cálculo de lajes maciças, o método elástico, e o método da ruptura, em que os dois métodos possuem as suas deficiências. O método comumente utilizado para cálculos manuais e aquele ensinado por Carvalho e Figueiredo no livro “Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado” é o método elástico por meio da teoria da ruptura de placas delgadas, onde as lajes são classificadas e admitidas como se trabalhassem separadamente.

Existem os métodos de cálculo por meio de elementos finitos, e o método da grelha equivalente. São eles, método computacionais, que geralmente os softwares de cálculo estrutural utilizam um dos métodos, ou os dois em conjunto.

De acordo com Carvalho e Figueiredo (2004) no método de cálculo por elementos finitos, subdivide-se o elemento em elementos menores de dimensões finitas, que são

conectados por pontos nodais, e nesses pontos são distribuídos os esforços e os deslocamentos, de modo que o total dos pontos nodais represente o elemento real com suas solicitações. Dessa forma é gerado um sistema de equações lineares que é resolvido computacionalmente. Assim, é possível representar a estrutura como um todo por pontos nodais, em que cada elemento estrutural está interligado com os demais, e os esforços e deslocamentos são distribuídos na estrutura como um todo.

O método de cálculo de lajes pelo processo da grelha equivalente faz-se substituindo uma laje por uma malha equivalente de vigas, é possível utilizar esse método para o cálculo de um edifício como um todo. A carga é distribuída entre os elementos da grelha, ou também podem ser concretadas nos nós. A partir da área de influência a carga aplicada em uma determinada região é redistribuída por toda a grelha. Ao utilizar uma malha com espaçamento menores e adequados para que a posição da carga coincida com a posição de um nó, pode-se obter um valor de cálculo muito mais preciso e de acordo com a estrutura real do edifício (CARVALHO, FIGUEIREDO; 2004).

4.2.3 Uso de Programas no Dimensionamento de Concreto Armado

Segundo GOGONI; 2022, um Software é um conjunto de instruções que é executado por um sistema, seja ele um computador, ou uma máquina. Dessa forma os exemplos de Softwares que estão no cotidiano das pessoas são; Editores de texto, calculadoras, reprodutores de vídeos, jogos de computador.

A partir da popularização dos computadores pessoais, o uso de softwares tornou-se comum para todas as pessoas, e as suas aplicações existem em quase todas as tarefas e atividades humanas, e na engenharia não foi diferente. A informática mudou a forma como os engenheiros aplicam os conceitos de cálculo e aperfeiçoou a engenharia de estruturas (KIMURA; 2007).

O avanço da performance dos computadores permitiu que cálculos inviáveis pudessem ser resolvidos em questão de segundos (KIMURA; 2007). Assim pode-se perceber que o uso de softwares é essencial para o avanço do cálculo estrutural, pois com o seu auxílio, o engenheiro pode fazer análises mais precisas de uma estrutura maior, além de poder analisar várias concepções estruturais de um mesmo edifício a fim de realizar uma otimização da estrutura.

É preciso entender que os softwares são uma ferramenta auxiliar, e que o engenheiro não deve depender exclusivamente deste, é recomendado que sejam feitos cálculos manuais para validar os resultados do software (KIMURA; 2007).

Há alguns anos, era impossível calcular uma estrutura diversas vezes a fim de realizar um refinamento no projeto estrutural, pois, os processos de cálculo manual são lentos e muitas simplificações eram feitas. Com o uso dos softwares de cálculo estrutural tornou-se possível calcular estruturas complexas e simples diversas vezes, isso também aumentou a produtividade, a qualidade e a segurança dos projetos estruturais (KIMURA; 2007).

5 METODOLOGIA

A Metodologia deste trabalho foi realizada inicialmente com a construção do projeto arquitetônico autorial de um edifício residencial de seis pavimentos, em seguida a estrutura foi lançada e dimensionada no *Eberick*, de forma que se definiu que os pilares tenham dimensões de 20x50, e os pilares no meio da estrutura, onde seria previsto uma escada e um elevador, teriam dimensões de 20x20, e 20x25.

As vigas terão dimensões entre 14x35 para toda a estrutura. As lajes foram definidas como lajes treliçadas em uma direção, com uma carga de ocupação de 150kgf/m² e carga de revestimento de 120 kgf/m² para as lajes dos pavimentos, e para as lajes de cobertura foi lançada uma carga de 358 kgf/m². Também foi lançado a carga de parede nas vigas de 558 kgf/m, pois foi considerado um tijolo cerâmico de espessura de 21cm acabada, e uma altura de parede de 306 cm.

Após ter todos os elementos calculados e dimensionados no *Eberick*, a mesma estrutura foi lançada no *Robot*, como os elementos estruturais de vigas e pilares lançados nas mesmas posições com as mesmas dimensões.

As cargas de reações das lajes e vigas foram lançadas no *Robot* a partir das cargas de reações nas vigas calculadas pelo *Eberick*. Então foi realizado o cálculo e dimensionamento da estrutura pelo *Robot*, e a partir dos resultados dos dois softwares foi realizado as comparações.

6 DESENVOLVIMENTO

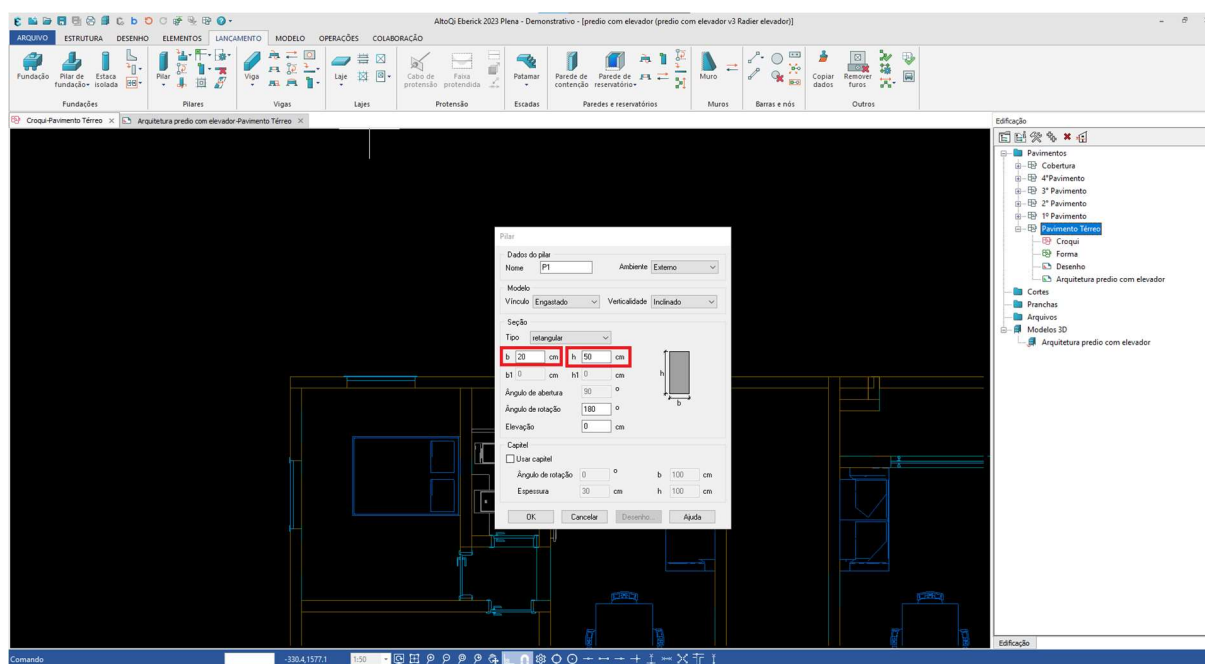
6.1 Eberick

A versão utilizada do software foi a Demonstrativa *Eberick 2024* atualização 04-2024, gratuita. A arquitetura do edifício foi criada no *Software Revit 2024* com a licença estudantil.

6.1.1 Lançamento Estrutural

Após a importação do modelo de arquitetura, e os desenhos de planta baixa, níveis e pavimentos criados, é possível fazer o lançamento dos elementos estruturais do edifício. Inicialmente é realizado o lançamento dos pilares, onde foi pré-dimensionado pilares com dimensões de 20X50 cm. Para inserir o pilar, selecionasse a aba de “Lançamento” na barra superior do programa, clica-se no ícone respectivo ao pilar, define-se as dimensões (ver Figura 3), e clica no ponto da arquitetura que se deseja lançá-lo, então escolhe-se direção e o ponto do pilar que ficará fixo.

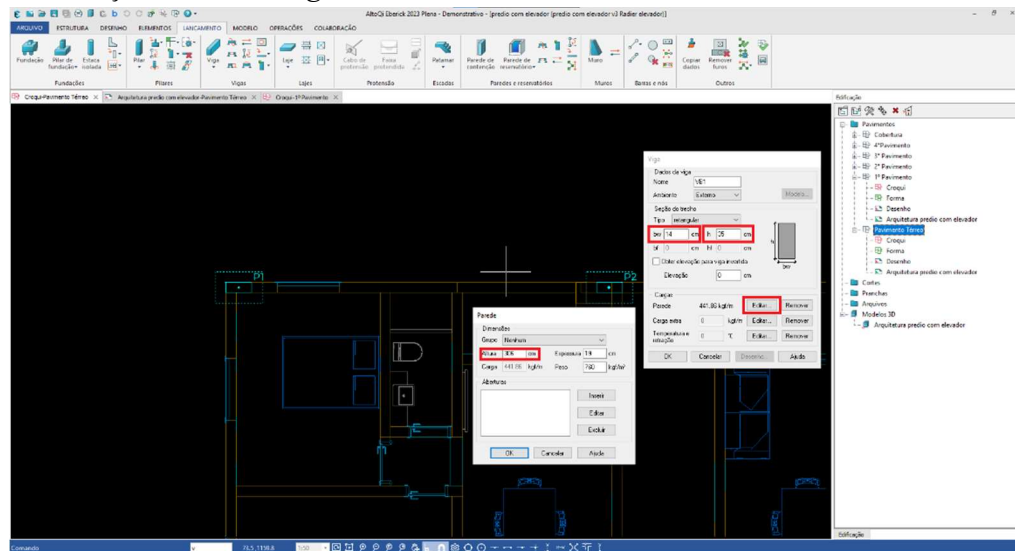
Figura 3 - Lançamento de Pilar Eberick



Fonte: Autoria própria (2024)

Em seguida, realiza-se o lançamento das vigas, ainda na aba “Lançamento”, selecionasse o ícone das vigas, e define-se as suas dimensões (ver Figura 4). Foi definido que as vigas terão 14cm de largura e 35cm de altura para todos os pavimentos, e que haveria uma carga de alvenaria de 558,00Kgf/m, referente a uma alvenaria de 306cm de altura, com um peso específico de 869,57Kgf/m³. Então se deve escolher os dois pontos de apoio final e inicial da viga e a posição do eixo.

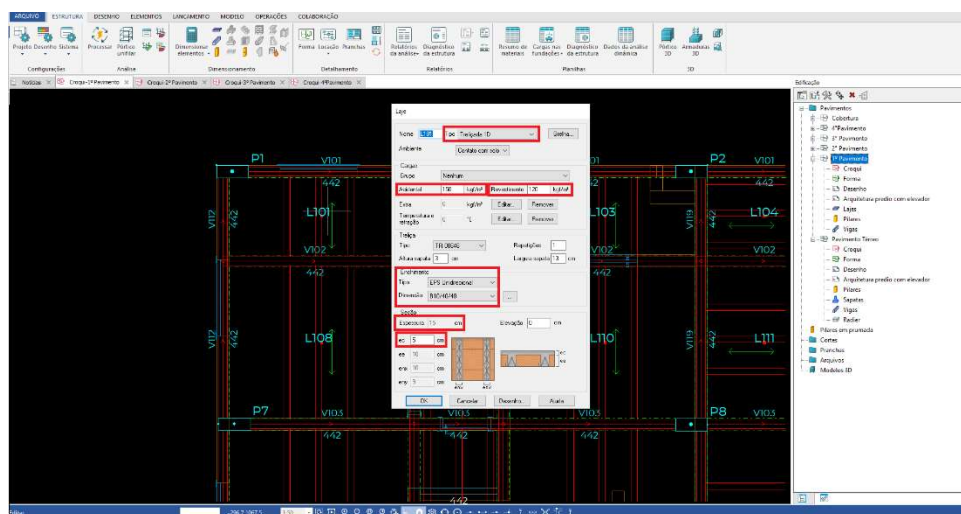
Figura 4 - Lançamento das Vigas Eberick



Fonte: Autoria própria (2024)

O próximo elemento lançado foram as lajes, em que ainda na aba “Lançamentos” escolhe-se o ícone de lajes, e na janela de propriedades da laje que será lançada, escolhe-se o tipo da laje, as cargas, e a sua altura, definindo-se uma laje do tipo treliçada unidirecional, com carga de ocupação de 150Kgf/m² e carga de revestimento de 120Kgf/m², com enchimento de EPS com as dimensões de 10x40x40cm, e capa de concreto de 5cm, resultando em uma altura de laje de 15cm (ver Figura 5). Então para realizar o lançamento na posição desejada, deve-se clicar em uma área delimitada por vigas, e a laje será lançada na direção do menor vão.

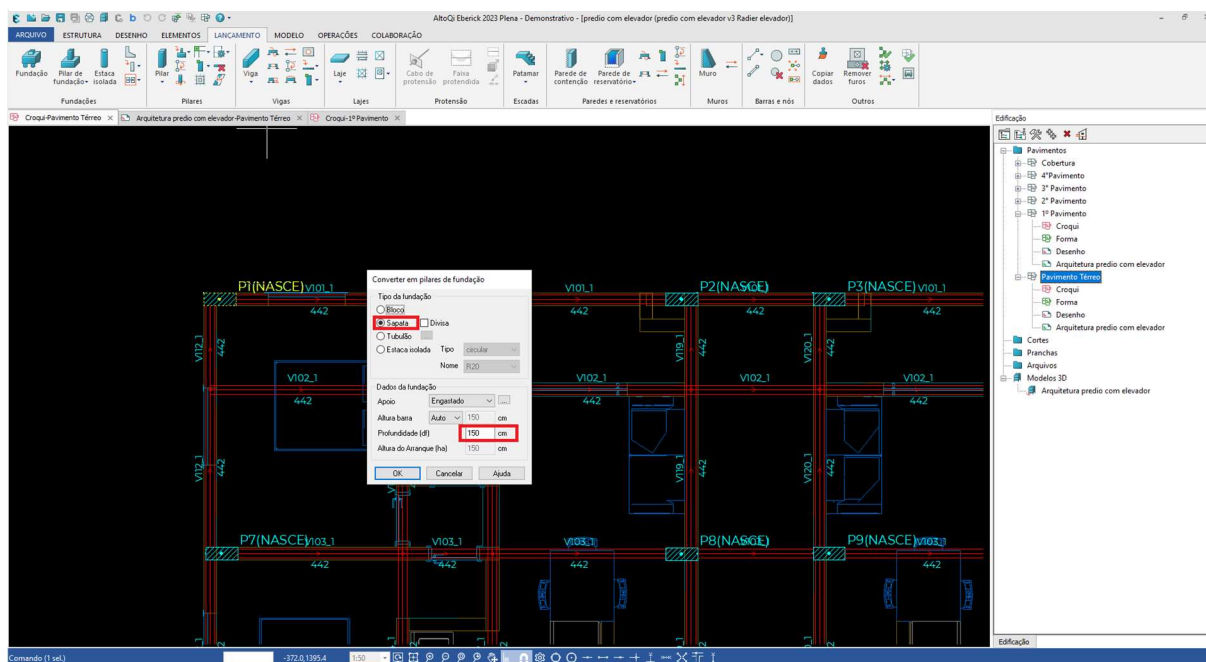
Figura 5 - Lançamento das Lajes Eberick



Fonte: Autoria própria (2024)

O último elemento lançado foram as fundações. Foram escolhidas fundações do tipo sapata em uma profundidade de 150cm, para realizar o lançamento deve-se selecionar os pilares no pavimento térreo, e na aba lançamento, clicar no ícone “Converter em Pilares de Fundação”, em seguida escolher o tipo da fundação e a sua profundidade (ver Figura 6).

Figura 6 - Lançamento das Fundações Eberick



Fonte: Autoria própria (2024)

6.1.2 Ações e Carregamentos Sobre a Estrutura

De acordo com a NBR 6120-2019, as ações são tudo que provoca esforços solicitantes que atuam na estrutura capazes de gerar deformações. A norma também define as ações permanentes, que são aquelas que irão atuar de maneira constante na estrutura durante toda a sua vida útil, com variações pequenas, tendendo a um valor limite constante. E as ações acidentais, que são aquelas causadas devido ao uso da edificação, apresentando uma maior variação de seu valor determinado.

O lançamento da carga acidental realizado nas lajes, leva em conta a carga normativa apresentada na NBR 6120 (ver Tabela 1 **Erro! Fonte de referência não encontrada.**), no item 6, onde afirma que a carga mínima acidental para edifícios residenciais, é de $1,5 \text{ KN/m}^2$, para dormitórios, copas, sala, cozinha e banheiros. Dessa forma, como o Eberick está configurado para trabalhar com a unidade de Kgf/m^2 , foi lançado a carga de 150 Kgf/m^2 em todas as lajes que possuem essa classificação.

Tabela 1 - Valores mínimos das cargas verticais

Local		Carga uniformemente distribuída kN/m ²	Carga Concentrada kN
Edifícios residenciais	Dormitórios	1,5	-
	Sala, copa, cozinha	1,5	-
	Sanitários	1,5	-

Fonte: Adaptado da NBR 6120:2019 (2024)

As cargas permanentes foram definidas de acordo com o material utilizado na laje, em que o a laje é treliçada composta por concreto, aço e EPS (*Expanded Polystyrene*), que resulta em uma carga de peso próprio de 177Kgf/m², mais a carga de revestimento de 120Kgf/m², totalizando 297 Kfg/m² de carga permanente nas lajes.

As ações permanentes nas vigas seguem o mesmo princípio normativo que foi aplicado às lajes, seu peso próprio calculado a partir do peso específico do concreto e do aço, e foi previsto um carregamento linear devido as paredes que se apoiarão nas vigas, foi previsto um carregamento de 558,14 Kgf/m advindo de uma alvenaria de 306cm de altura, e uma espessura de 21cm, com um peso específico de 869,57Kgf/m³ em todos os pavimentos, excluindo-se a cobertura. Além desse carregamento, também se tem a reação que as lajes exercem nas vigas que as apoiam, essa reação é calculada pelo software a partir dos carregamentos lançados nas lajes.

De acordo com a NBR 6118, deve-se majorar as ações com os coeficientes γ_{f1} e γ_{f2} de acordo com as tabelas por ela determinada (ver Tabela 2 e Tabela 3).

Tabela 2 - Coeficientes $\gamma f = \gamma f1 * \gamma f2$ – Tabela 11.1 ABNT NBR 6118:2023

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	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 D é desfavorável, F é favorável, G representa as cargas variáveis em geral e T é a temperatura.								

Fonte: Adaptado da NBR 6118:2023 (2024)

Tabela 3 - Valores do coeficiente $\gamma f2$ – Tabela 11.2 ABNT NBR 6118:2023

Ações		$\gamma f2$		
		$\psi 0$	$\psi 1$	$\psi 2$
Carga de utilização de edificações	Locais em que não há predominância de pesos de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, nem de elevadas concentrações de pessoas	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	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

Fonte: Adaptado da NBR 6118:2023 (2024)

O Eberick traz em sua programação uma tabela para usar os coeficientes de acordo com a NBR6118, dessa forma, os seguintes coeficientes foram utilizados no cálculo da estrutura, conforme apresenta a Tabela 4.

Tabela 4 - Coeficientes de ponderação Eberick

Ação	Coeficientes de ponderação					Fatores de combinação		
	Normais (desfavorável)	Normais (favorável)	Excepcionais (desfavorável)	Excepcionais (favorável)	Fundações	Psi0	Psi1	Psi2
Peso próprio (G1)	1.40	1.00	1.20	1.00	1.00	-	-	-
Adicional (G2)	1.40	1.00	1.20	1.00	1.00	-	-	-
Solo (S)	1.40	1.00	1.20	1.00	1.00	-	-	-
Retração (R)	1.20	0.00	0.00	0.00	1.00	-	-	-
Acidental (Q)	1.40	-	1.00	-	1.00	0.50	0.40	0.30
Água (A)	1.20	-	1.00	-	1.00	1.00	1.00	1.00
Subpressão (AS)	1.10	-	1.00	-	1.00	1.00	1.00	1.00
Temperatura 1 (T1)	1.20	-	0.00	-	1.00	0.60	0.50	0.30
Temperatura 2 (T2)	1.20	-	0.00	-	1.00	0.60	0.50	0.30
Vento X+ (V1)	1.40	-	0.00	-	1.00	0.60	0.30	0.00
Vento X- (V2)	1.40	-	0.00	-	1.00	0.60	0.30	0.00
Vento Y+ (V3)	1.40	-	0.00	-	1.00	0.60	0.30	0.00
Vento Y- (V4)	1.40	-	0.00	-	1.00	0.60	0.30	0.00
Desaprumo X+ (D1)	1.40	1.00	1.20	1.00	1.00	-	-	-
Desaprumo X- (D2)	1.40	1.00	1.20	1.00	1.00	-	-	-
Desaprumo Y+ (D3)	1.40	1.00	1.20	1.00	1.00	-	-	-
Desaprumo Y- (D4)	1.40	1.00	1.20	1.00	1.00	-	-	-

A NBR 6118 também versa sobre as combinações das ações que são levadas em conta para determinar o carregamento na estrutura, considerando os efeitos mais desfavoráveis, e verificando a segurança no Estado Limite de Serviço (ELS), e no Estado Último Limite (ELU)(ver Tabela 5 e Tabela 6 **Erro! Fonte de referência não encontrada.**).

Tabela 5 - Combinações últimas – Tabela 11.3 ABNT NBR 6118:2023

Combinações últimas (ELU)	Descrição	Cálculo das solicitações
Normais	Esgotamento da capacidade resistente para elementos estruturais de concreto armado	$F_d = \gamma_g F_{gk} + \gamma_{\varepsilon g} F_{\varepsilon gk} + \gamma_q \left(F_{q1k} + \sum \Psi_0 F_{qjk} \right) + \gamma_{\varepsilon q} \Psi_{0\varepsilon} F_{\varepsilon qk}$
	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 $P_{k\max}$ e $P_{k\min}$ para a força desfavorável e favorável, respectivamente. conforme definido na Seção 9
	Perda do equilíbrio como corpo rígido	$S(F_{sd}) \geq S(F_{nd})$ $F_{sd} = \gamma_{gs} G_{sk} + R_d$ $F_{nd} = \gamma_{gn} G_{nk} + \gamma_{qn} Q_{nk} - \gamma_{qs} Q_{s,\min}$
Especiais ou de construção		$F_d = \gamma_g F_{gk} + \gamma_{\varepsilon g} F_{\varepsilon gk} + \gamma_q \left(F_{q1k} + \sum \Psi_0 F_{qjk} \right) + \gamma_{\varepsilon q} \Psi_{0\varepsilon} F_{\varepsilon qk}$
Excepcionais		$F_d = \gamma_g F_{gk} + \gamma_{\varepsilon g} F_{\varepsilon gk} + F_{q1exc} + \gamma_q \sum \Psi_0 F_{qjk} + \gamma_{\varepsilon q} \Psi_{0\varepsilon} F_{\varepsilon qk}$

Fonte: Adaptado da NBR 6118:2023 (2024)

Tabela 6 - Combinação de serviço – Tabela 11.4 ABNT NBR 6118:2023

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 $\psi_2 F_{qk}$	$F_{d,ser} = \sum F_{gi,k} + \sum \Psi_{2j} F_{qj,k}$
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 $\psi_2 F_{qk}$	$F_{d,ser} = \sum F_{gik} + \Psi_1 F_{q1k} + \sum \Psi_{2j} F_{qj,k}$
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 $\psi_1 F_{qk}$	$F_{d,ser} = \sum F_{gik} + F_{q1k} + \sum \Psi_{1j} F_{qj,k}$

onde

F_{dser} é o valor de cálculo das ações para combinações de serviço;

F_{qik} é o valor característico das ações variáveis principais diretas;

ψ_i é o fator de redução de combinação frequente para ELS;

ψ_2 é o fator de redução de combinação quase permanente para ELS

Fonte: Adaptado da NBR 6118 (2024)

O Eberick traz em sua programação as combinações utilizadas no projeto para que a NBR6118 seja seguida.

Combinações:

$$1.4G1+1.4G2+0.7Q+0.84V1+1.4D1$$

$$1.4G1+1.4G2+0.7Q+0.84V2+1.4D2$$

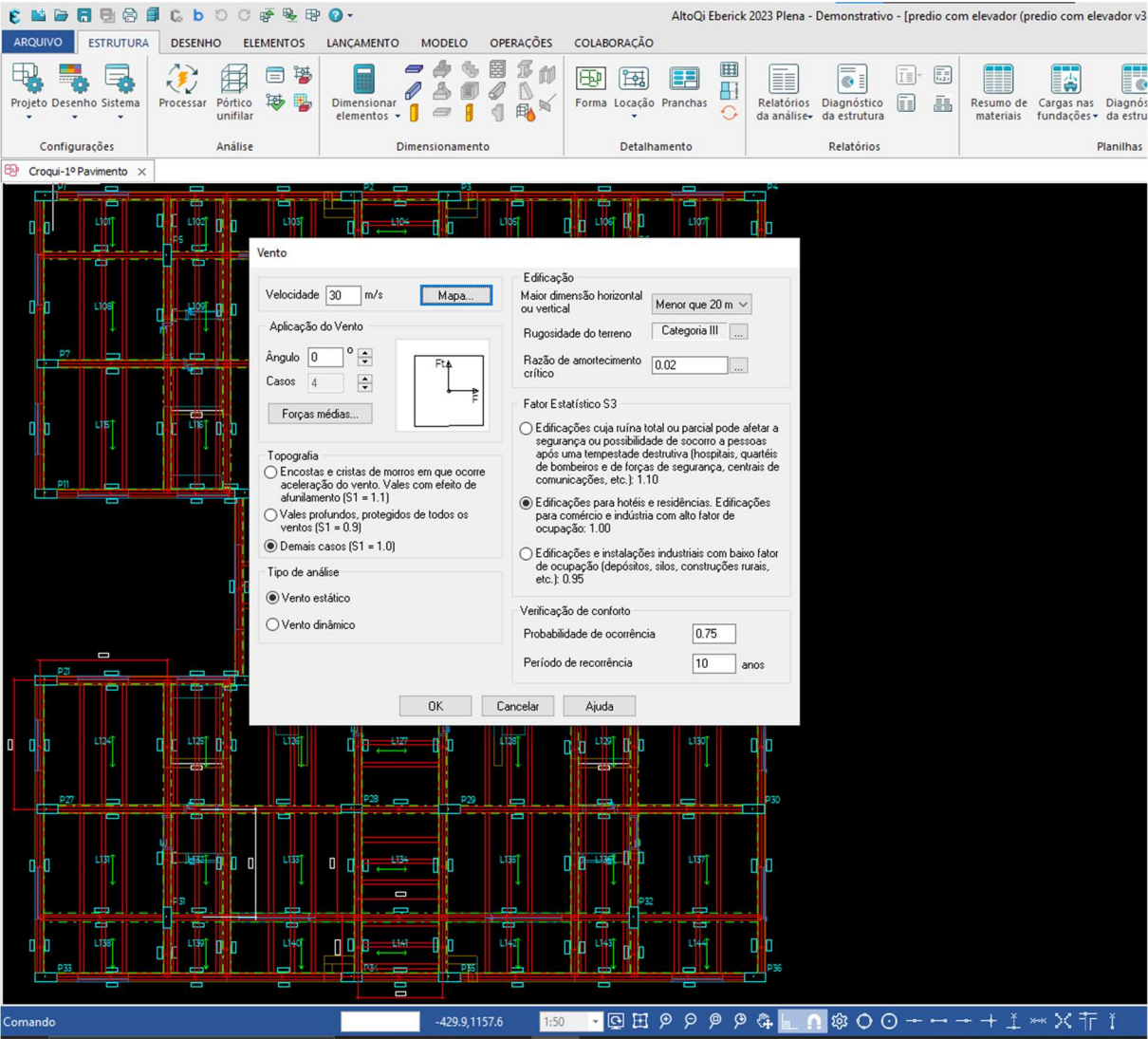
$$1.4G1+1.4G2+0.7Q+0.84V3+1.4D3$$

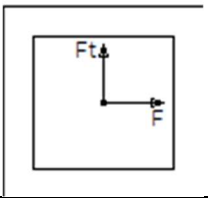
(ver o resto no apêndice A)

Força devido ao vento

As pressões e as forças devido ao vento que atuam sobre as edificações são levadas em considerações e calculadas de acordo com a NBR 6123:2023. Determinadas de acordo com os fenômenos meteorológicos e aerodinâmicos, para que o software Eberick faça as considerações recomendadas pela norma para a aplicação dessas forças, é necessário determinar a máxima velocidade média de acordo com o mapa das isopletras, e digitá-la nos parâmetros do software (ver Figura 7), assim como os outros fatores definidos pela norma, como a topografia, maior dimensão vertical ou horizontal, rugosidade do terreno, fator estatístico e o tipo de análise.

Figura 7– Vento Eberick



Nível do solo (S2)	10.00cm	-
Maior dimensão horizontal ou vertical (S2)	Menor que 20 m	-
Rugosidade do terreno (S2)	Categoria III	Terrenos planos ou ondulados com obstáculos, tais como sebes e muros, poucos quebra-ventos de árvores, edificações baixas e esparsas.
Fator topográfico (S1)	1.0	Demais casos.
Fator estatístico (S3)	1.00	Edificações para hotéis e residências. Edificações para comércio e indústria com alto fator de ocupação.
Ângulo do vento em relação à horizontal	0°	
Direções de aplicação do vento	Vento X+ (V1) Vento X- (V2) Vento Y+ (V3) Vento Y- (V4)	Ver combinações de ações.

As forças estáticas devido ao vento foram calculadas para cada direção a partir dos parâmetros definidos, conforme apresentado na tabela a seguir.

Forças aplicadas nos pavimentos da estrutura devido ao vento estático

Vento X+

Tabela 8 - Forças aplicadas vento X+ Eberick

Pavimento	Fachada	Fachada transv.(c)	Nível	Altura relati	Área de influên	S2	Coefficiente de	Forças	Forças transvers	Torção	Momento tombame
-----------	---------	--------------------	-------	---------------	-----------------	----	-----------------	--------	------------------	--------	-----------------

	(cm)	m)	(cm)	va (cm)	cia (m²)		arrasto	(tf)	ais (tf)	(kgf. m)	nto (kgf.m)
Cobertura	1860.00	1720.00	1560.00	1630.00	28.46	0.98	1.13	1.73	0.00	0.00	28152.75
4º Pavimento	1860.00	1720.00	1254.00	1324.00	56.92	0.96	1.13	3.34	0.00	0.00	44162.65
3º Pavimento	1860.00	1720.00	948.00	1018.00	56.92	0.93	1.13	3.15	0.00	0.00	32057.79
2º Pavimento	1860.00	1720.00	642.00	712.00	56.92	0.90	1.13	2.90	0.00	0.00	20656.85
1º Pavimento	1860.00	1720.00	336.00	406.00	56.92	0.83	1.13	2.50	0.00	0.00	10145.85
Pavimento o Térreo	1860.00	1720.00	30.00	100.00	32.18	0.39	1.13	0.32	0.00	0.00	318.18

Momento de tombamento total na base (kgf.m) = 135494.07

Força cortante total na base (tf) = 13.93

Vento X-

Ver tabela no apêndice B

Momento de tombamento total na base (kgf.m) = 135494.07

Força cortante total na base (tf) = 13.93

Vento Y+

Ver tabela no apêndice B

Momento de tombamento total na base (kgf.m) = 121347.47

Força cortante total na base (tf) = 12.48

Vento Y-

Ver tabela no apêndice B

Momento de tombamento total na base (kgf.m) = 121347.47

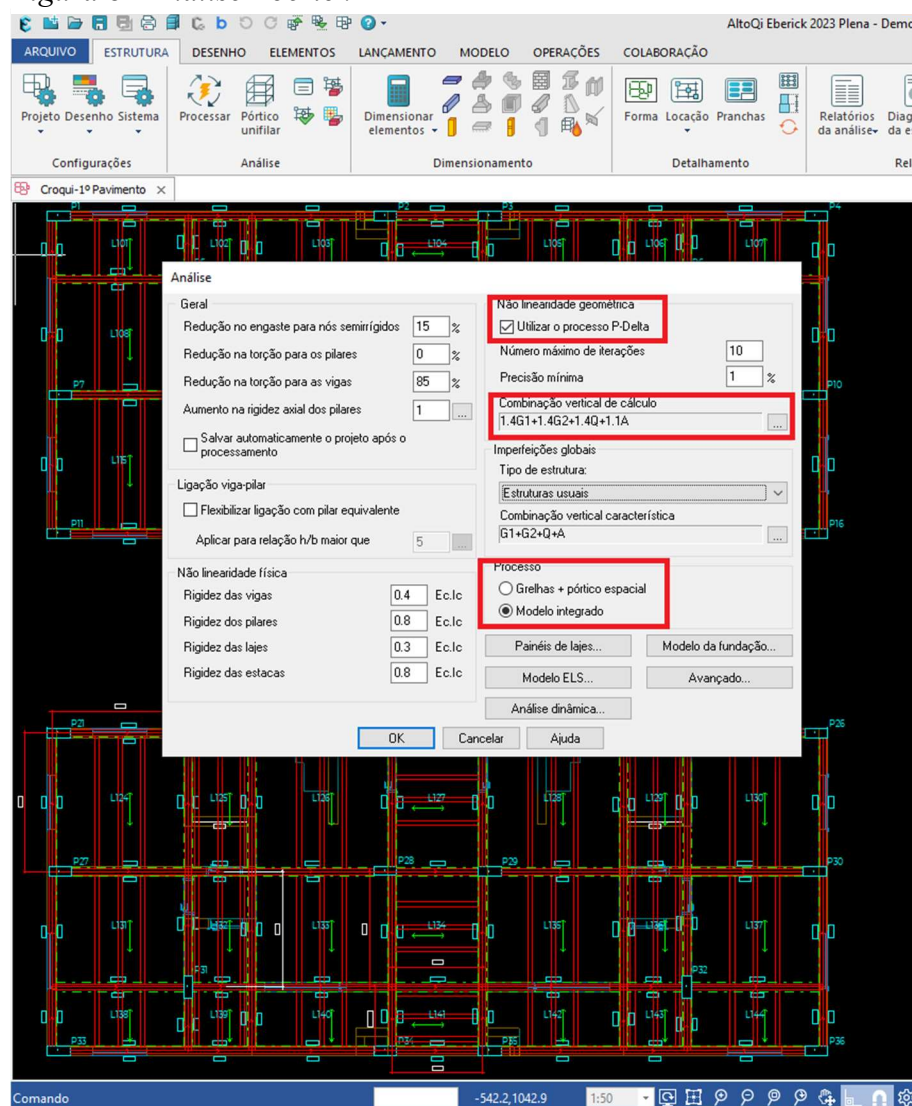
Força cortante total na base (tf) = 12.48

6.1.3 Processamento

Para realizar o processamento da estrutura, fazer a determinação dos momentos fletores, esforços cortantes, deslocamentos e o dimensionamento dos elementos estruturais, o Eberick dispõe de algumas opções, que podem ser ajustadas pelo usuário. De acordo com o Suporte da AltoQI, quando selecionado a opção de “verificar os limites de redistribuição em nós semirrígidos” o software realizará dois, cálculos, o primeiro considerando os valores de nós semirrígidos definidos pelo usuário, e a segunda considerando a estrutura completamente engastada, “*O programa irá calcular o coeficiente de redistribuição de cada nó com vínculo semirrígido em relação ao valor de momento fletor do modelo engastado.*” (Suporte AltoQI, 2024). É possível também fazer a determinação dos deslocamentos dos pórticos e das lajes, e fazer a verificação do estado limite de vibrações excessivas.

Nas opções de análises do software, é possível fazer a determinação da utilização do processo P-Delta, na seção de “Não linearidade Geométrica”, assim como escolher as combinações verticais de cálculo (ver Figura 8).

Figura 8– Análise Eberick

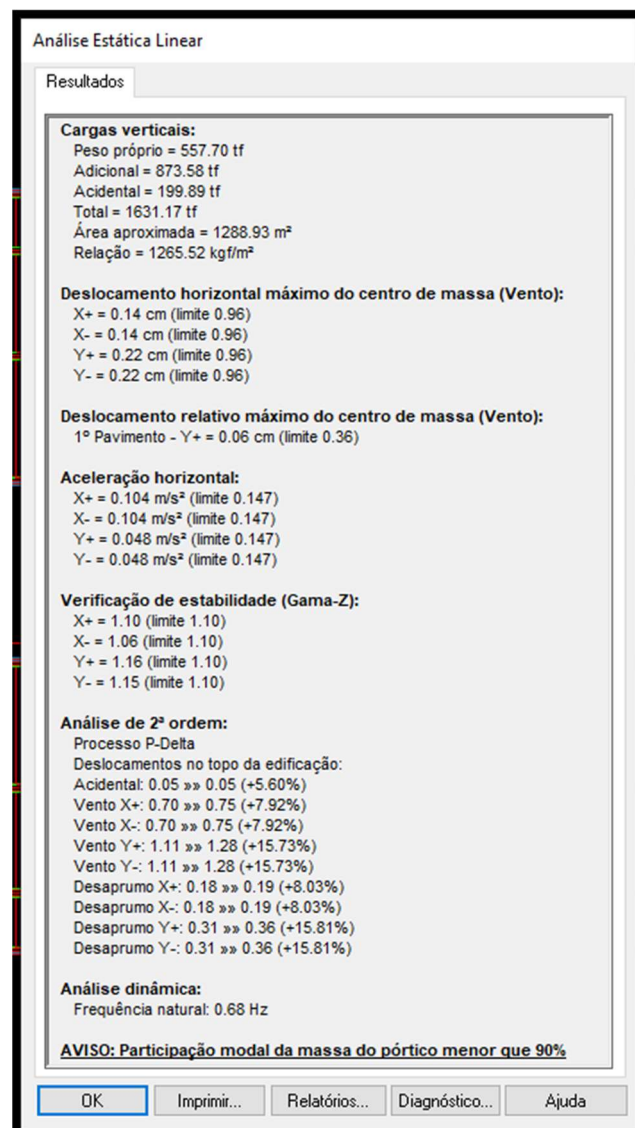


Fonte: Autoria própria (2024)

6.1.4 Resultados

Após a estrutura ser processada o Eberick apresentará uma aba mostrando as cargas totais da edificação como o peso total, os deslocamentos horizontais, a verificação de estabilidade Gama-Z e as análises de segunda ordem proveniente do processo P-Delta caso ele seja escolhido (ver Figura 9). A partir dessa janela também é possível gerar os relatórios detalhados dessas verificações. Também é possível a partir dessa janela, gerar os diagnósticos, onde o software mostrará os elementos que precisarão ser redimensionados, e os avisos para os elementos que passaram nas verificações.

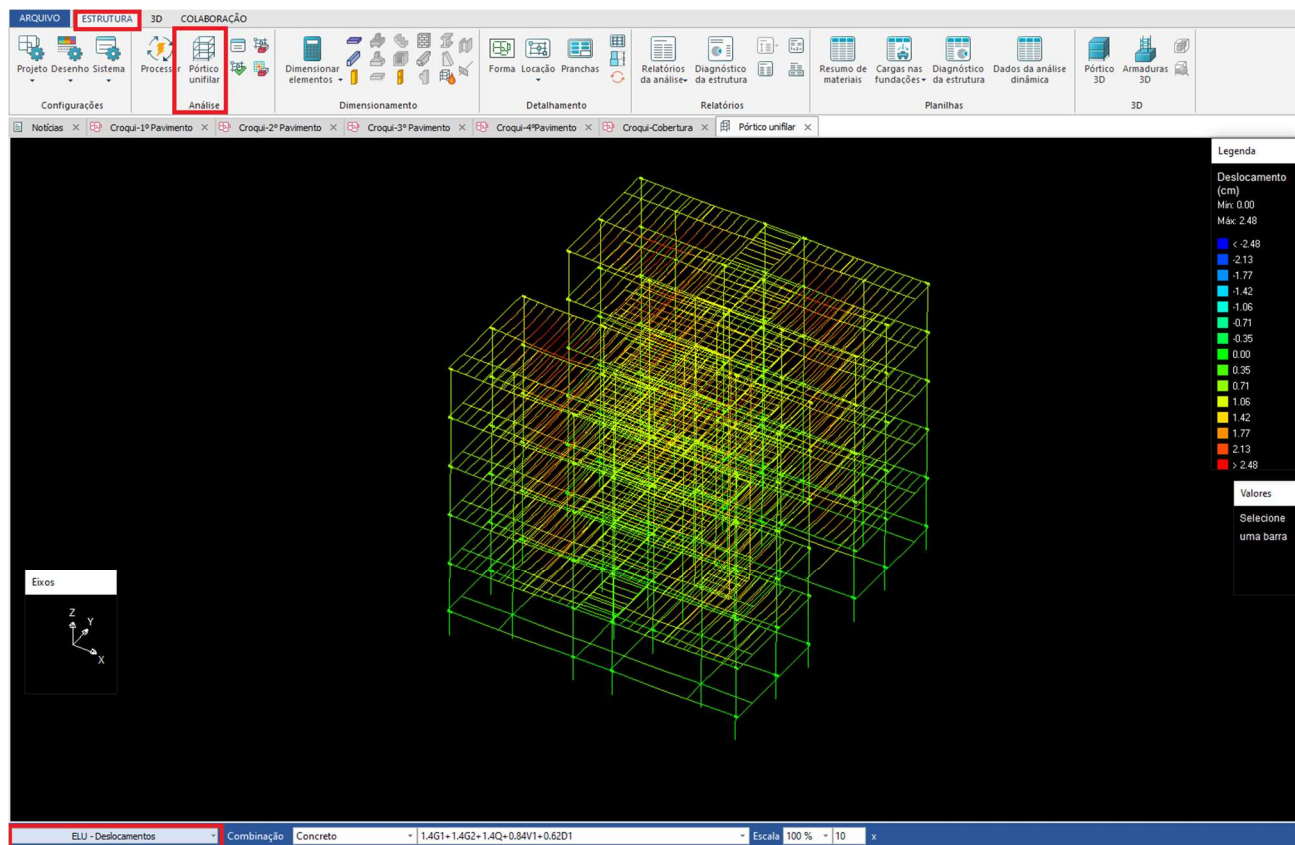
Figura 9 - Análise estática linear Eberick



Fonte: Autoria própria (2024)

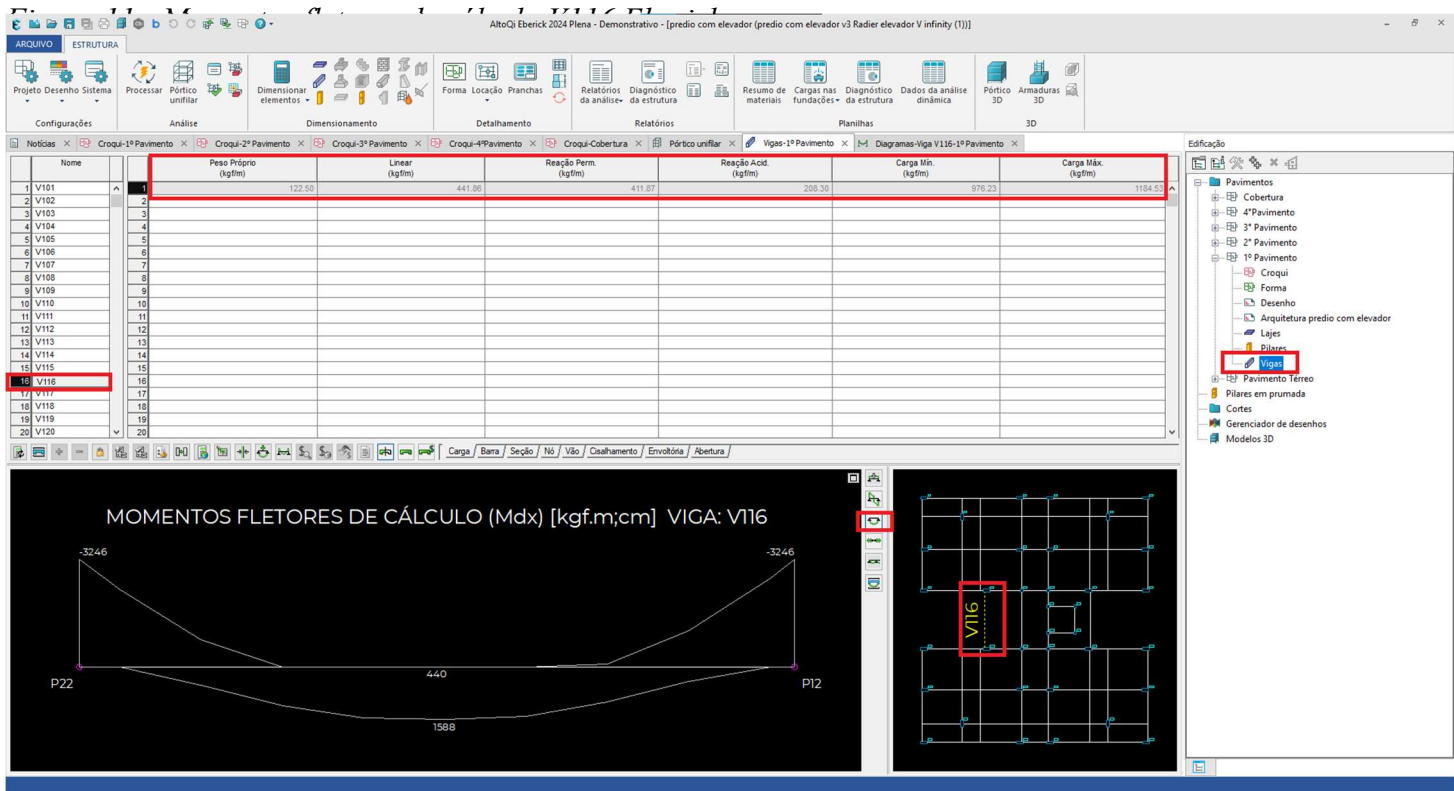
Uma ferramenta que o software disponibiliza após o processamento da estrutura, é a visualização do pórtico unifilar (ver Figura 10), que é um modelo de barras que modela a estrutura de forma integral, em que são mostrados os esforços, momentos, deslocamentos. Assim possibilitando uma análise e uma modelagem mais próxima da estrutura real, diferentemente do cálculo manual onde torna-se quase inviável a concepção de uma modelagem integral da estrutura. A partir da análise do pórtico unifilar, pode-se determinar quais elementos da estrutura estão mais carregados, e quais possuem maiores deslocamentos.

Figura 10 - Pórtico unifilar Eberick



Fonte: Autoria própria (2024)

Para analisar individualmente os elementos é possível acessar a aba direita, e ao selecionar cada pavimento, será mostrado os elementos que foram calculados. Ao dar dois cliques nos elementos de viga, ou qualquer outro elemento pertencente ao pavimento, será aberto uma nova aba no programa (ver Figura 11), onde será possível ver quais elementos passaram nas verificações de dimensionamento e quais precisarão ser redimensionados. É possível ver a geometria, as cargas aplicadas, as reações de cada elemento, onde ele está localizado no croqui da estrutura, assim como ver os diagramas de momento fletor, esforços cortantes, momentos torsores, deformação e o detalhamento do elemento.



Fonte: Autoria própria (2024)

O Eberick também fornece um memorial de cálculo detalhado para cada elemento, como o relatório da Viga 116:

Esforços da Viga V116

$f_{ck} = 250.00$
kgf/cm²

$E_{cs} = 241500$ kgf/cm²

Cobrimento = 3.00 cm	Peso específico = 2500.00 kgf/m ³
-------------------------	--

Tabela 9 - Dados da viga V116 Eberick

Dados								
Pilar Trecho	Apoio 1 e 1o (cm)	Larg Barra (cm)	Carga distribuída - Viga		Carga distribuída - Lajes (*)		Temperatura Caso T1 Caso T2 (°C)	Retração (‰)
			Perm. (kgf/m)	Acid. (kgf/m)	Perm. (kgf/m)	Acid. (kgf/m)		
P22		20.00						
1	440.00 420.00	420.00	564.36	0.00	411.87	208.30		
P12		20.00						

* 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.

Tabela 10 - Envoltória viga V116 Eberick

Envoltória							
Pilar Trecho	Esforço axial		Vd (tf)	Rmáx (tf)	Mdmáx (kgf.m)	Md+ (kgf.m)	Md- (kgf.m)
	Nd (tf)	Rd (tf)					
P22				2.39			
1	0.00	-0.51	4.00		1590.28		-3279.88 -3281.20
P12				2.44			

Resultados da Viga V116

$f_{ck} = 250.00$ kgf/cm ²	Ecs = 241500 kgf/cm ²
Cobrimento = 3.00 cm	Peso específico = 2500.00 kgf/m ³

Tabela 11 - Resultados viga V116 Eberick

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)
P22	20.00		2 ø 6.3 0.14	3 ø 12.5 2.87					0.07
1	420.00	14.00 x 35.00	2 ø 10.0 1.30	2 ø 6.3 0.14		ø 5.0 c/ 18			0.11
P12	20.00		2 ø 6.3 0.14	3 ø 12.5 2.87					0.07

Cálculo da viga V116

Pavimento 1º Pavimento - Lance 2

$f_{ck} = 250.00$ kgf/cm ²	$E_{cs} = 241500$ kgf/cm ²
Cobrimento = 3.00 cm	Peso específico = 2500.00 kgf/m ³

Dimensionamento da armadura positiva

Tabela 12 - Dimensionamento da armadura positiva viga V116 Eberick

Vão trechos	Seção	Flexão	Torção	Verificação axial (compressão)	Verificação axial (tração)	Final
1 1-1	retangular bw = 14.00 cm h = 35.00 cm	Md = 1590 kgf.m As = 1.23 cm ² A's = 0.00 cm ² yLN = 2.52 cm			Fd = 0.61 tf situação: GE Meq = 82 kgf.m As = 1.30 cm ² A's = 0.14 cm ² yLN = 2.38 cm	As = 1.30 cm ² (2ø10.0 - 1.57 cm ²) d = 31.00 cm % armad. = 0.32 A's = 0.14 cm ² (2ø6.3 - 0.62 cm ²) F = 0.29 tf M = 1006 kgf.m fiss = 0.11 mm

DIMENSIONAMENTO DA ARMADURA NEGATIVA

Tabela 13 - Dimensionamento da armadura positiva viga V116 Eberick

Nó	Flexão	Verificação axial (compressão)	Verificação axial (tração)	Final
1	$M_d = 3280 \text{ kgf.m}$ $A_s = 2.80 \text{ cm}^2$ $A's = 0.00 \text{ cm}^2$ $y_{LN} = 5.73 \text{ cm}$		$F_d = 0.61 \text{ tf}$ situação: GE $M_{eq} = 75 \text{ kgf.m}$ $A_s = 2.87 \text{ cm}^2$ $A's = 0.14 \text{ cm}^2$ $y_{LN} = 5.59 \text{ cm}$	$A_s = 2.87 \text{ cm}^2$ $(3\phi 12.5 - 3.68 \text{ cm}^2)$ $d = 29.79 \text{ cm}$ $\% \text{ armad.} = 0.75$ $A's = 0.14 \text{ cm}^2$ $(2\phi 6.3 - 0.62 \text{ cm}^2)$ $F = 0.29 \text{ tf}$ $M = 1763 \text{ kgf.m}$ $f_{iss} = 0.07 \text{ mm}$
2	$M_d = 3281 \text{ kgf.m}$ $A_s = 2.80 \text{ cm}^2$ $A's = 0.00 \text{ cm}^2$ $y_{LN} = 5.73 \text{ cm}$		$F_d = 0.61 \text{ tf}$ situação: GE $M_{eq} = 75 \text{ kgf.m}$ $A_s = 2.87 \text{ cm}^2$ $A's = 0.14 \text{ cm}^2$ $y_{LN} = 5.59 \text{ cm}$	$A_s = 2.87 \text{ cm}^2$ $(3\phi 12.5 - 3.68 \text{ cm}^2)$ $d = 29.79 \text{ cm}$ $\% \text{ armad.} = 0.75$ $A's = 0.14 \text{ cm}^2$ $(2\phi 6.3 - 0.62 \text{ cm}^2)$ $F = 0.29 \text{ tf}$ $M = 1763 \text{ kgf.m}$ $f_{iss} = 0.07 \text{ mm}$

Dimensionamento da armadura transversal

Modelo de cálculo	II
Inclinação bielas	45

Verificação de esforços limites

Tabela 14 - Verificação de esforços limites Eberick

Vão trechos	Cisalhamento	Torção	Cisalhamento + Torção
1 1-1	Vd = 4.00 tf VRd2 = 18.83 tf	Td = 0 kgf.m TRd2 = 651 kgf.m	Vd/VRd2 + Td/TRd2 = 0.21

Vão trechos	ARMADURA DE CISALHAMENTO				ARMADURA DE TORÇÃO	
	Dados cisalham	Armad. à esquerda	Armad. mínima	Armad. à direita	Dados torção	Armad. de torção
1 1-1	d = 31.00 cm Vc0 = 3.34 tf k = 1.00		Vmin = 2.79 tf Aswmin = 1.44 cm ² (2 ramos) ø 5.0 c/ 18			

6.2 Robot

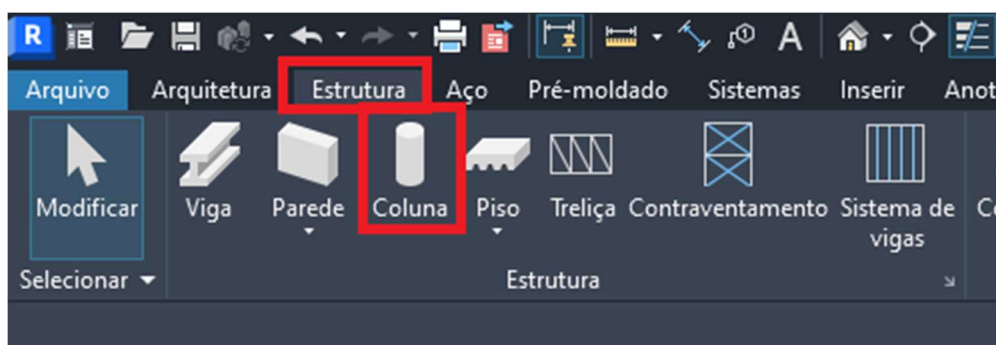
A versão do software *Robot Structural Analysis* utilizada para fazer o cálculo e dimensionamento da estrutura, foi a versão 2024 Estudantil. O modelo de arquitetura foi gerado pelo *Revit*, sendo o mesmo modelo de arquitetura utilizado para realizar o cálculo e dimensionamento no software Eberick.

6.2.1 Lançamento Estrutural

Para realizar o lançamento dos elementos estruturais no *Robot*, é necessário realizar esses lançamentos no *Revit*, assim, para os pilares, é necessário estar na planta do pavimento em que se deseja fazer o lançamento, ir até a aba “Estrutura”, selecionar o elemento “Coluna”, como mostra a Figura 11 e a

Figura 13.

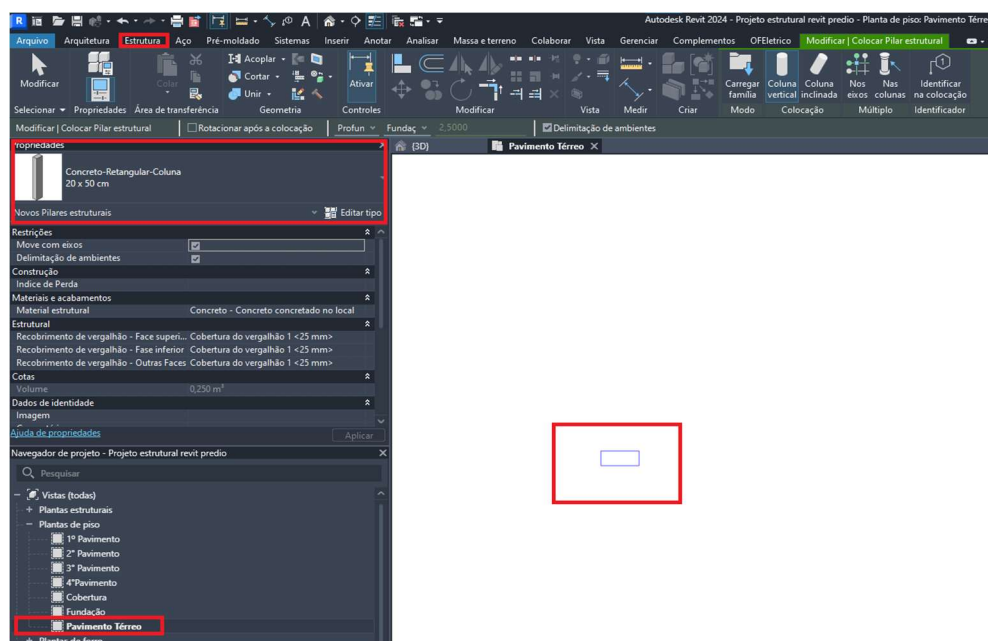
Figura 12 - Lançamento de pilar Revit



Fonte: Autoria própria (2024)

13

Figura

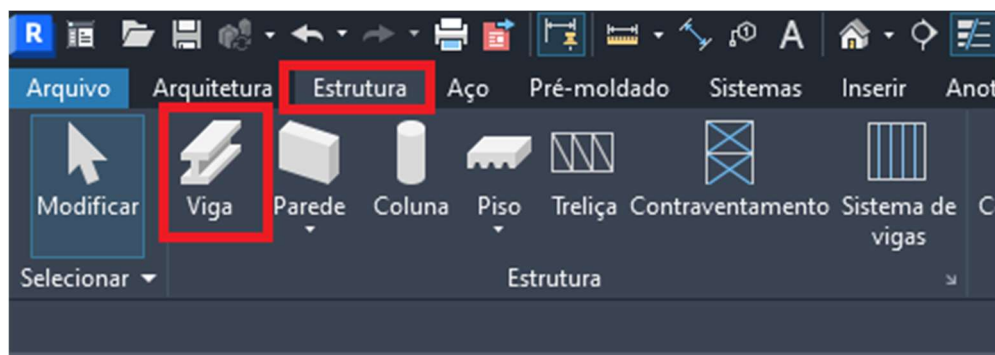


Lançamento de pilar Revit 02

Fonte: Autoria própria (2024)

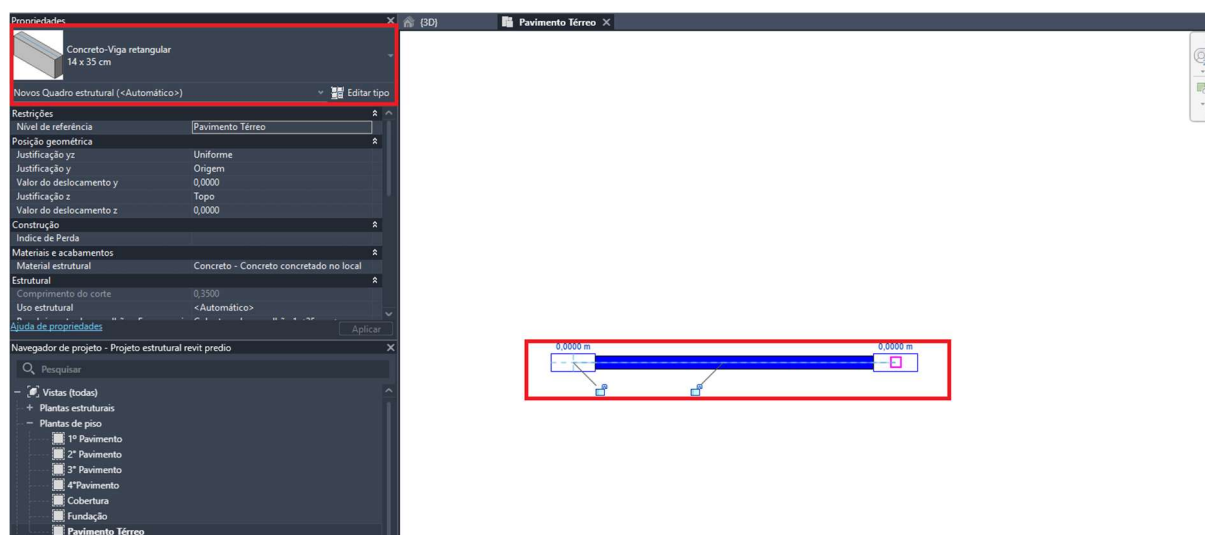
Em seguida, faz-se o lançamento das vigas, na planta de piso em que se deseja lançar o elemento, deve-se ir até a aba estrutura, selecionar o ícone de vigas, escolher as dimensões daquela família de vigas, e selecionar dois pontos que determinam o comprimento e os apoios do elemento assim como mostra a Figura 14 e a Figura 15.

Figura 14 - Lançamento de viga Revit



Fonte: Autoria própria (2024)

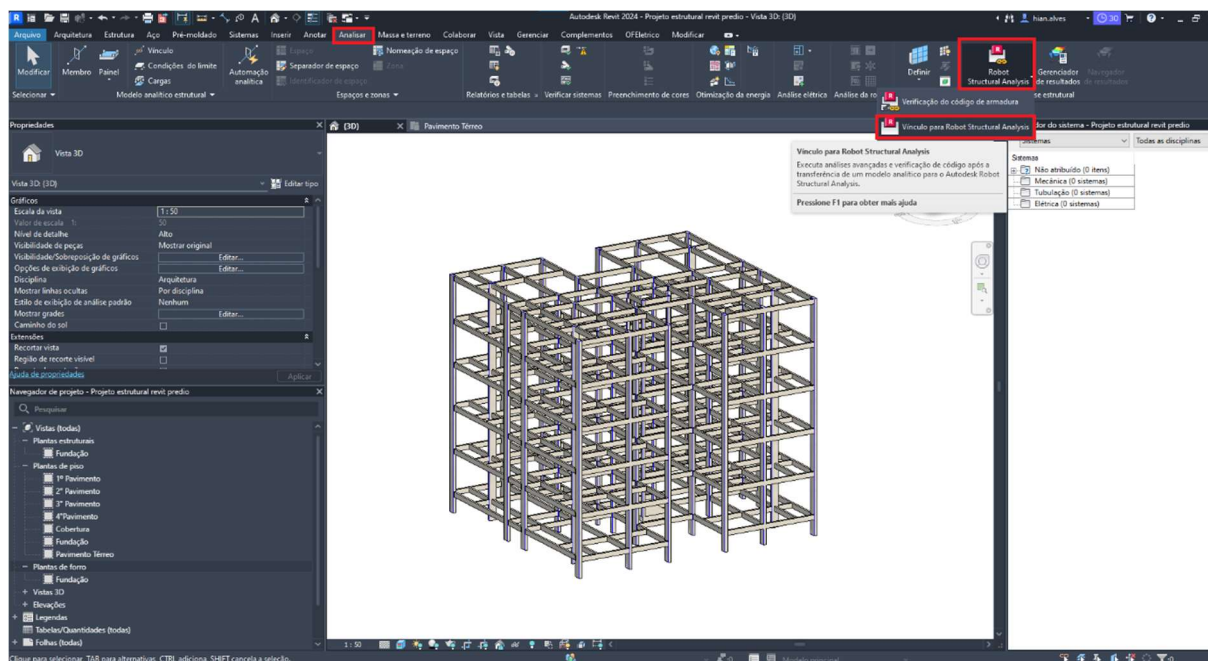
Figura 15 - Lançamento de viga Revit 02



Fonte: Autoria própria (2024)

Após os elementos estruturais terem sido lançados de acordo com a arquitetura, faz-se a integração com o *Robot Structural Analysis* a partir da aba “Analisar” e no ícone “*Robot Structural Analysis*” e na opção “Vínculo para *Robot Structural Analysis*” como na Figura 16.

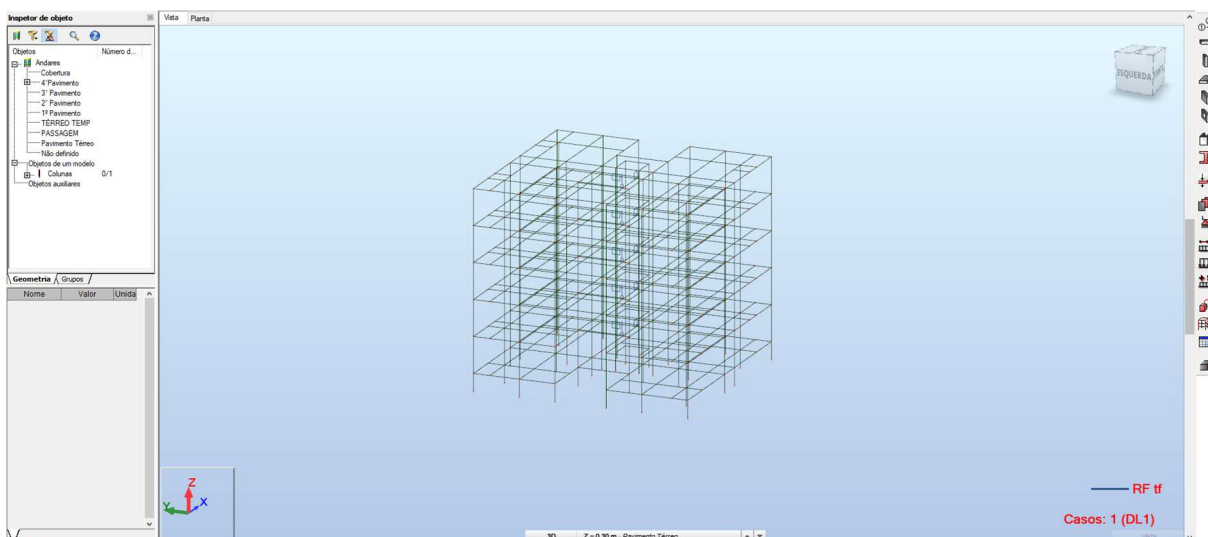
Figura 16 - Vínculo para Robot



Fonte: Autoria própria (2024)

Ao fazer o vínculo com o software de cálculo, a estrutura será analisada como um pórtico formado por nós e barras representando os elementos estruturais, como mostra a Figura 17.

Figura 17 - Vínculo com o Robot

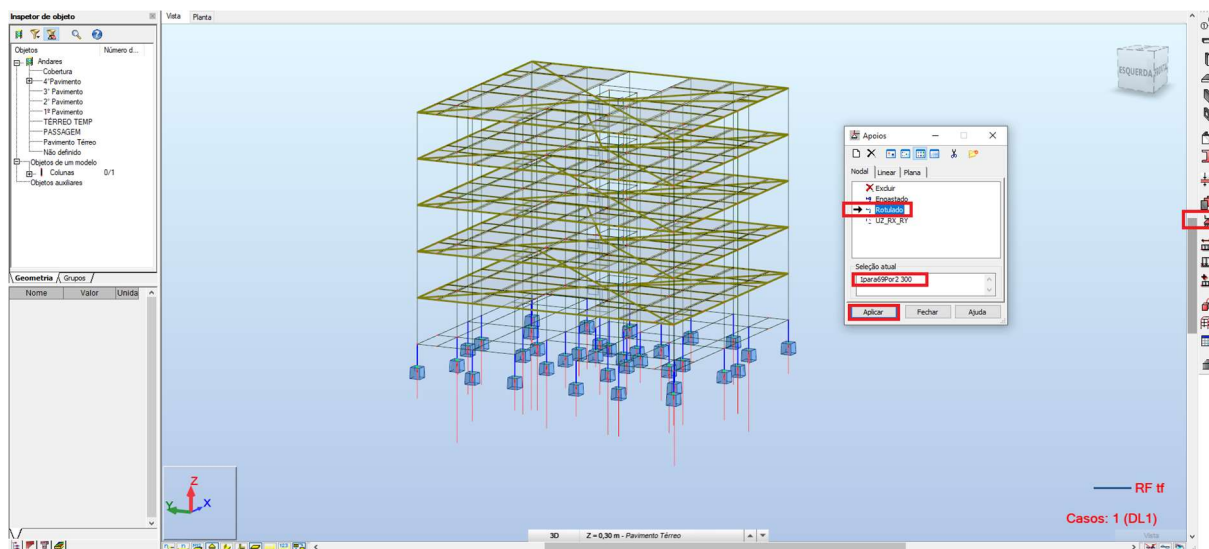


Fonte: Autoria própria (2024)

É necessário realizar o lançamento dos apoios da estrutura, como foi feita a consideração de que todo pilar estará apoiado em uma fundação, será lançado um apoio rotulado na base de todos os pilares da estrutura, para isso, selecionasse todas as colunas, e na

barra lateral clicasse no ícone referente aos apoios, define-se o tipo do apoio, e aplicasse, assim como ilustrado na Figura 18.

Figura 18 - Lançamento dos apoios Robot

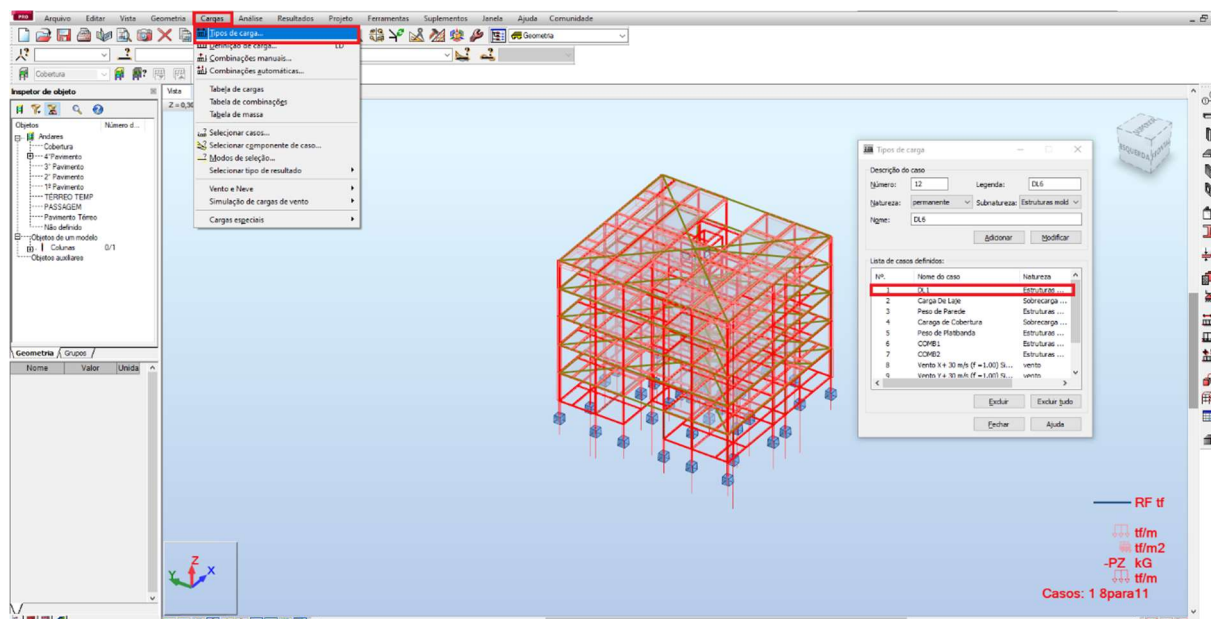


Fonte: Autoria própria (2024)

6.2.2 Ações e Carregamentos Sobre a Estrutura

Para o lançamento das cargas no *Robot*, deve-se acessar a aba de cargas na barra superior do programa, nela é possível criar e dar nomes todas as cargas e combinações que serão utilizadas, por padrão a carga DL1, é a carga de peso próprio, a qual o software já calcula de acordo com o material, como mostra a Figura 19.

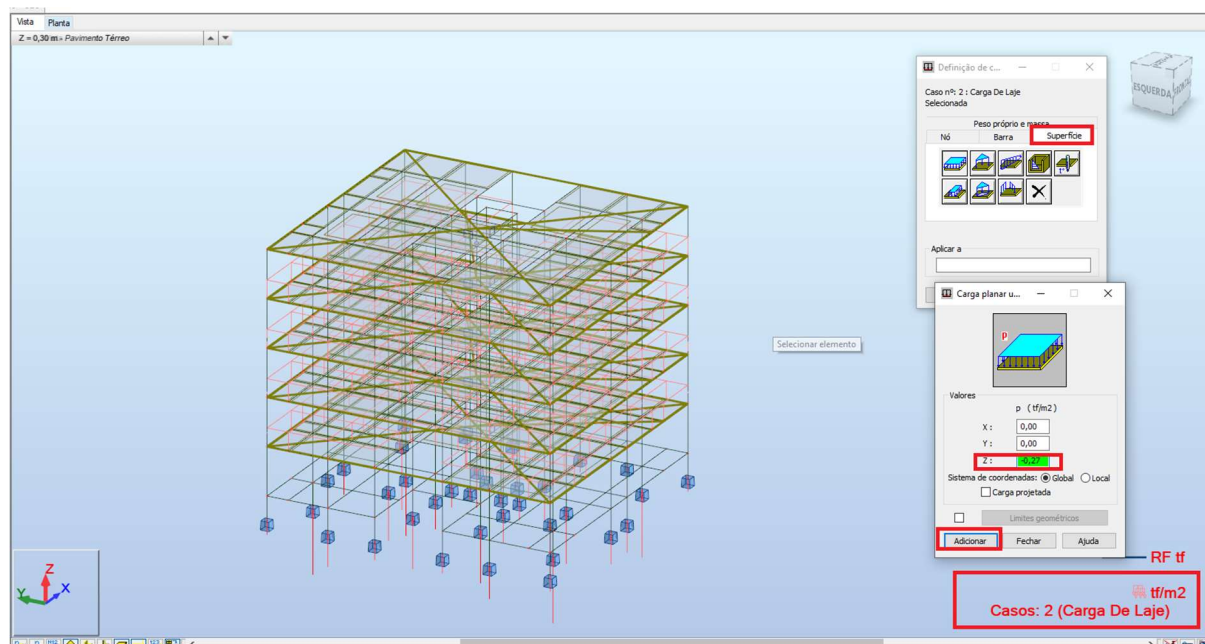
Figura 19– Ações Robot



Fonte: Autoria própria (2024)

Após a criação das cargas, é necessário aplicá-las sobre a estrutura, a primeira carga lançada, foi a carga de lajes, foi definido os valores normativos de $1,5 \text{ kN/m}^2$ para a carga accidental, e $1,2 \text{ kN/m}^2$ para a carga de revestimento, então foi lançado no software uma carga de laje de $2,7 \text{ kN/m}^2$, como a unidade do software é tf/m^2 , a carga definida foi de $0,27 \text{ tf/m}^2$, como mostrado na Figura 20.

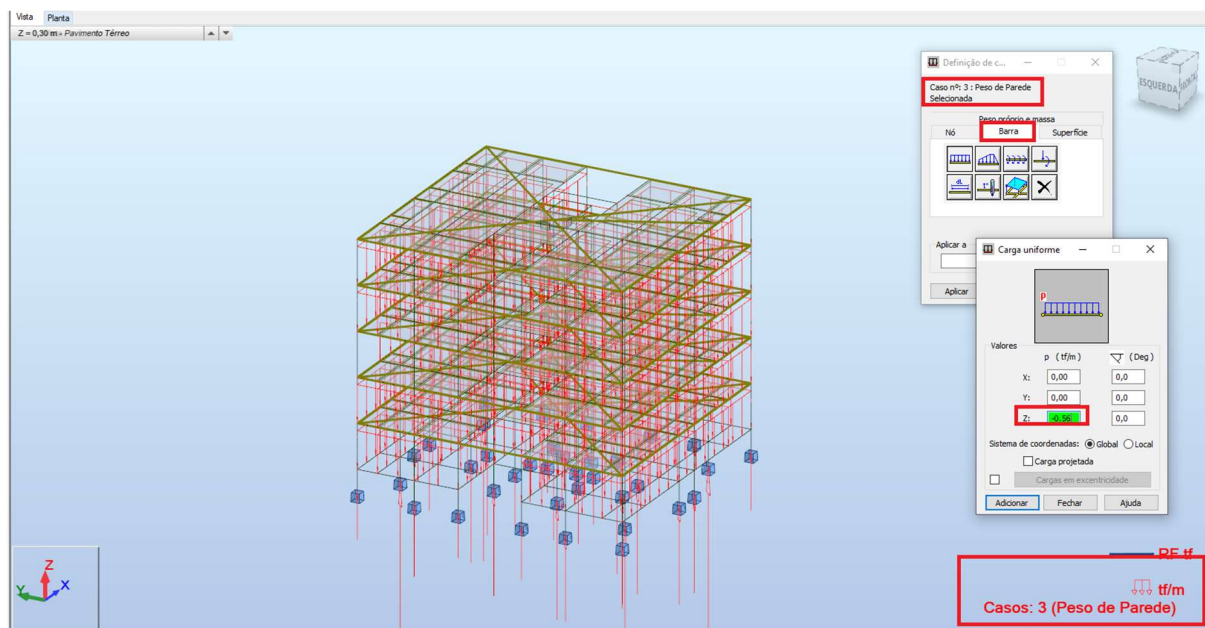
Figura 20 - Aplicação de carga de laje Robot



Fonte: Autoria própria (2024)

As cargas de paredes, foram lançadas da mesma forma, selecionou-se a carga de parede criada, e a lançou com uma carga de 0,56 tf/m sobre as vigas da estrutura, como é uma carga linear, diferentemente das lajes, selecionou-se a opção de lançamento de carga linear, mostrado na Figura 21.

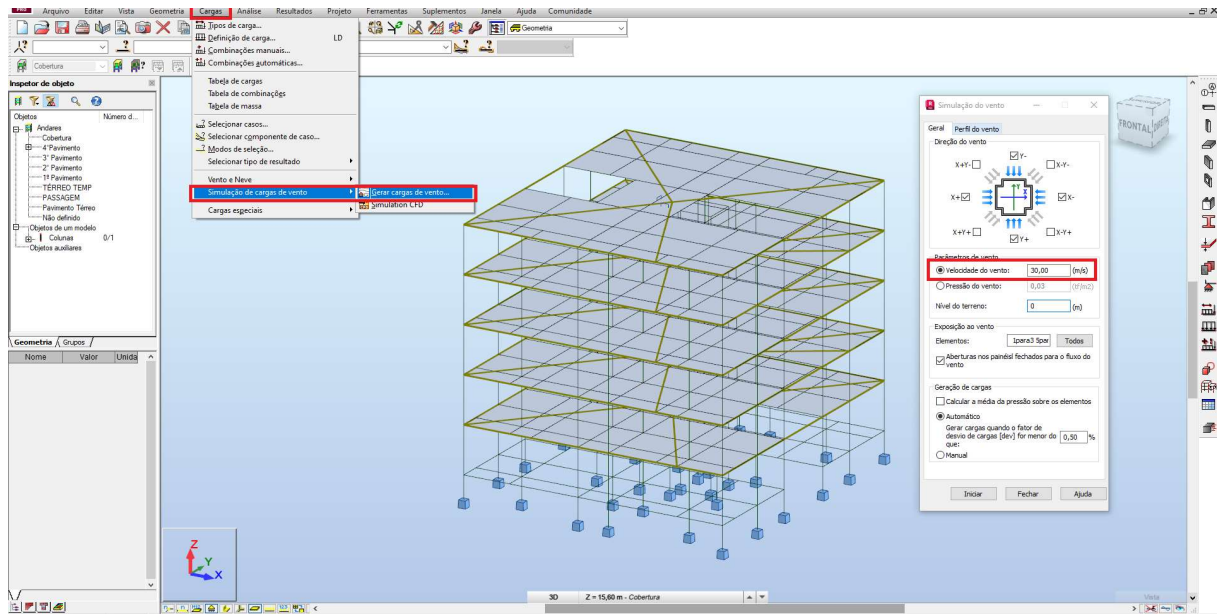
Figura 21 - Aplicação de carga de parede Robot



Fonte: Autoria própria (2024)

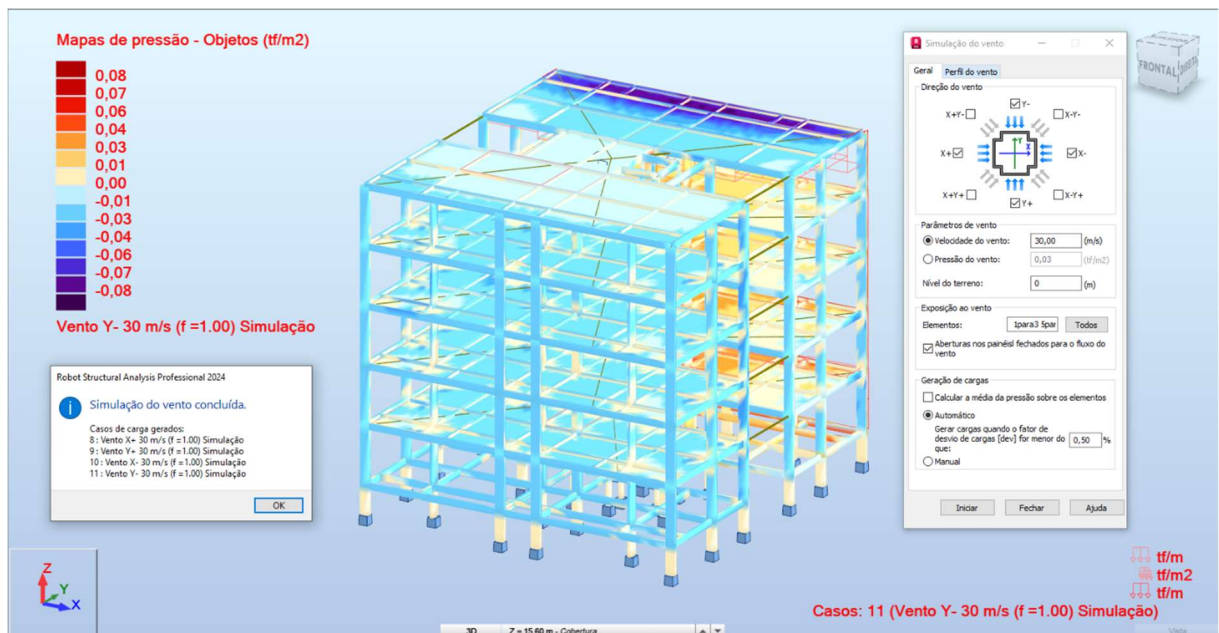
Para Gerar as cargas de vento no *Robot Structural*, deve-se ir até a aba de “cargas” escolher a simulação de ventos e gerar as cargas, ao selecionar essa opção será aberto uma janela, onde deve-se inserir a velocidade característica do vento para a região do projeto, e então clicar em iniciar, o *Robot* automaticamente gerará as cargas e as combinações para as cargas de vento, assim mostrado na Figura 22 e na Figura 23.

Figura 22– Vento Robot



Fonte: Autoria própria (2024)

Figura 23 - Simulação de vento Robot



Fonte: Autoria própria (2024)

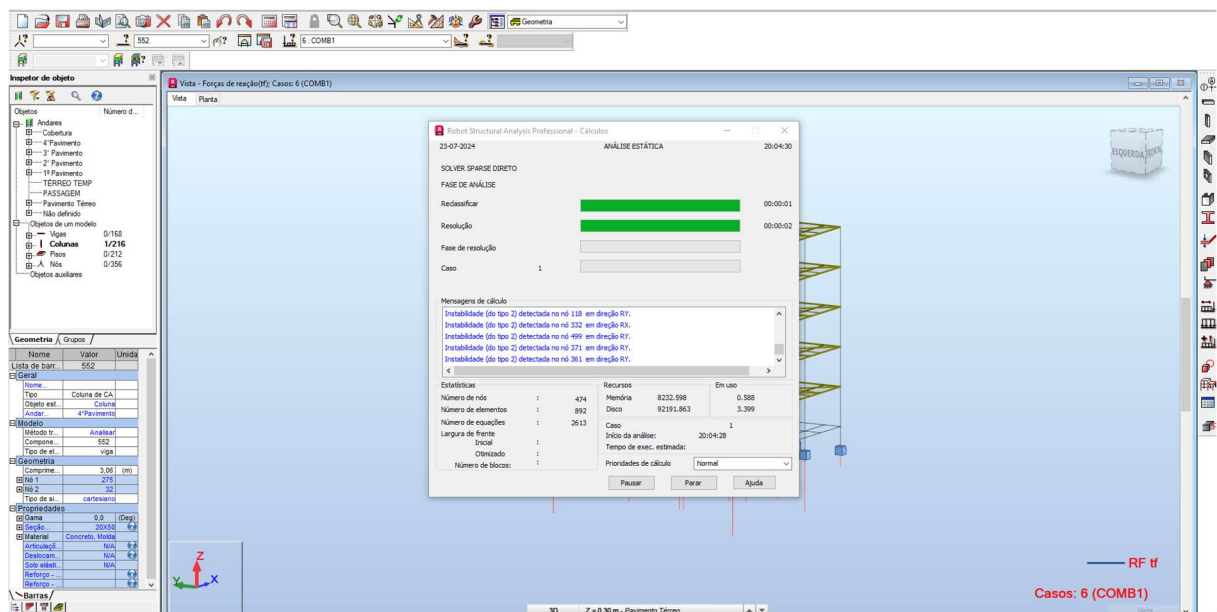
Para adicionar as combinações de cargas, deve-se ir até a aba “cargas”, e escolher a opção “combinações manuais”, abrir-se-á uma janela, onde será apresentado todas as cargas anteriormente definidas, e a partir delas, é possível criar a combinação definindo os fatores de majoração de cargas. Serão selecionadas as cargas de peso próprio, carga nas lajes, carga de

parede, carga de cobertura, carga de platibanda e carga de vento, e será aplicado o coeficiente de majoração de 1,4.

6.2.3 Processamento

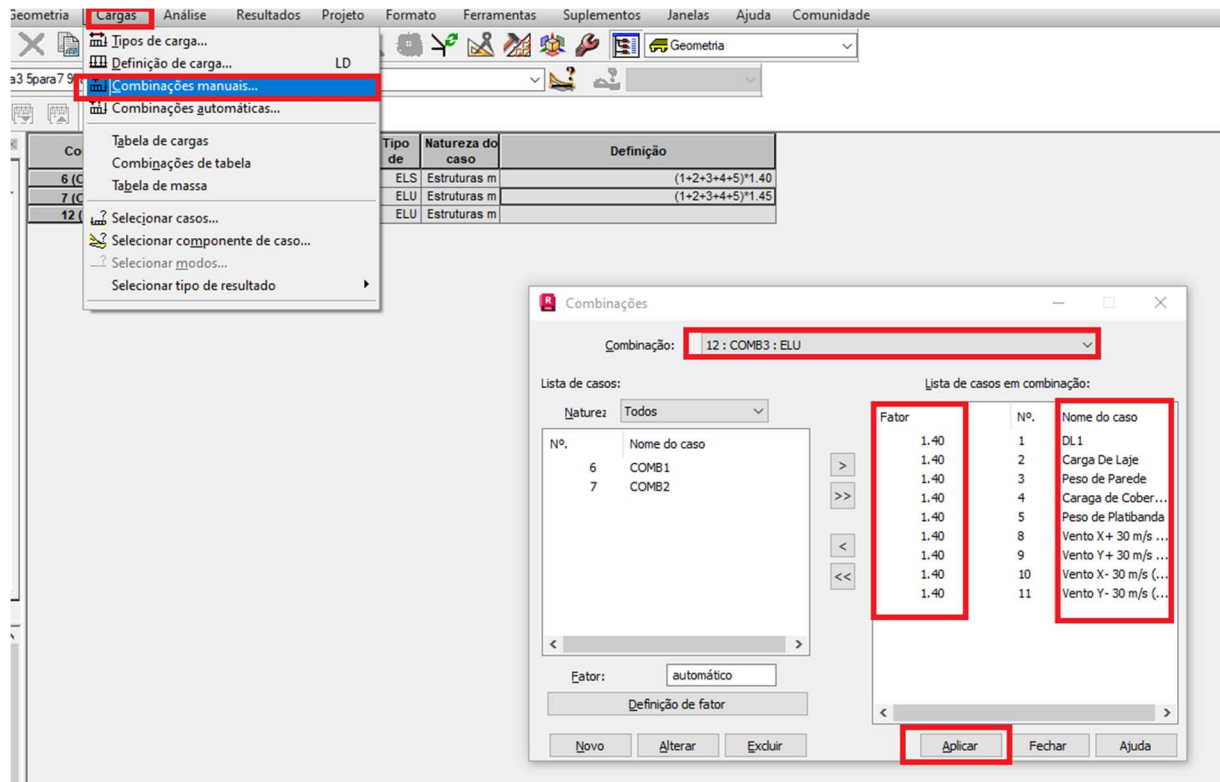
Após ter toda a estrutura lançada, cargas e combinações definidas, pode-se fazer o processamento da estrutura. No *Robot Structural*, o processamento é dividido em duas etapas, inicialmente o cálculo dos esforços e momentos será realizado, e em seguida é possível fazer o dimensionamento dos elementos de concreto armado. Ao ir até a barra superior, selecionar a opção resultados, como mostra a figura abaixo, é possível ver o pórtico unifilar da estrutura com os diagramas dos momentos fletores, deslocamentos, reações, esforços cortantes, como mostrado na Figura 24, Figura 25, Figura 26, Figura 27 e Figura 28.

Figura 24– Processamento Robot



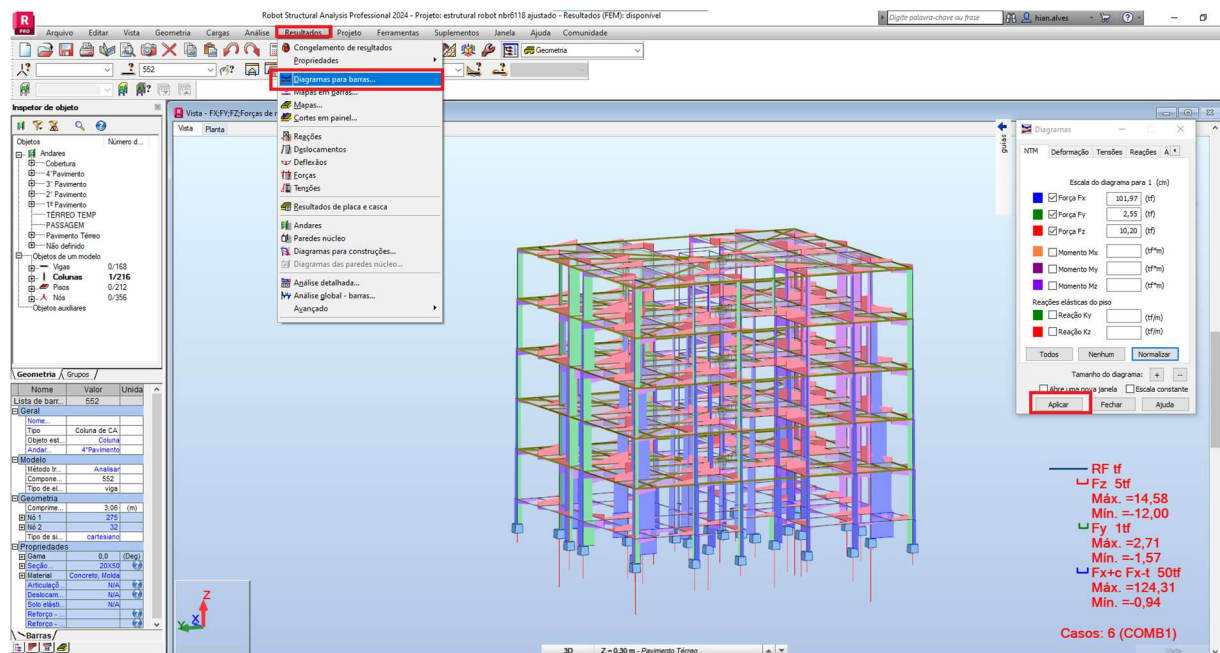
Fonte: Autoria própria (2024)

Figura 25 - Lista de combinações manuais Robot



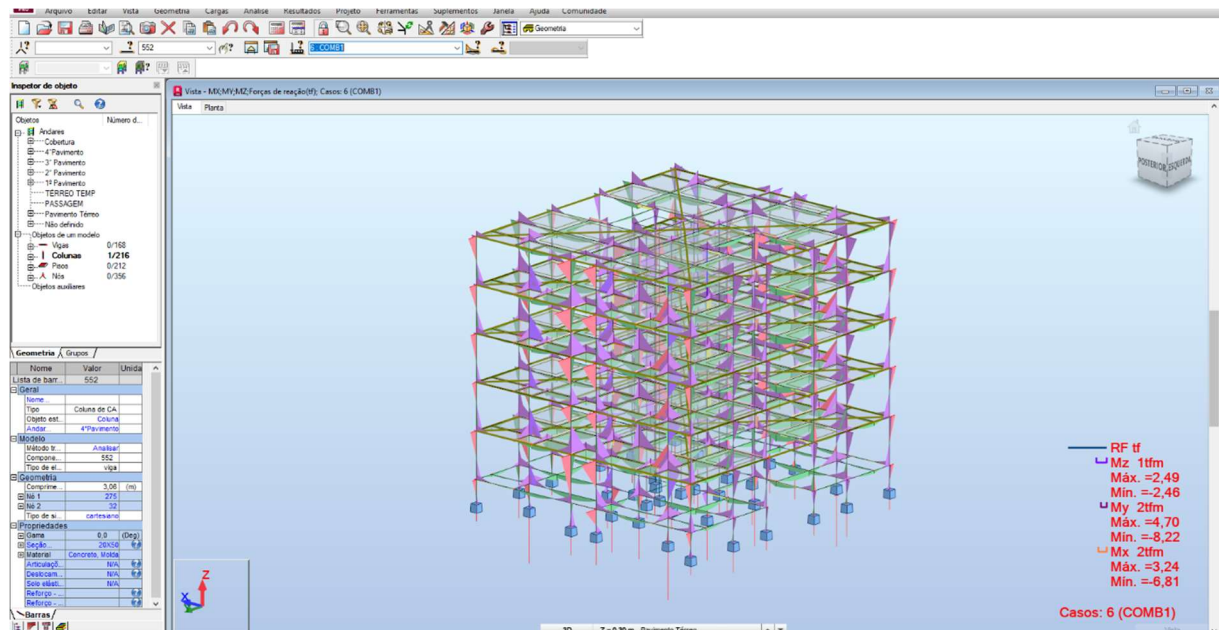
Fonte: Autoria própria (2024)

Figura 26 - Diagrama de barras Robot



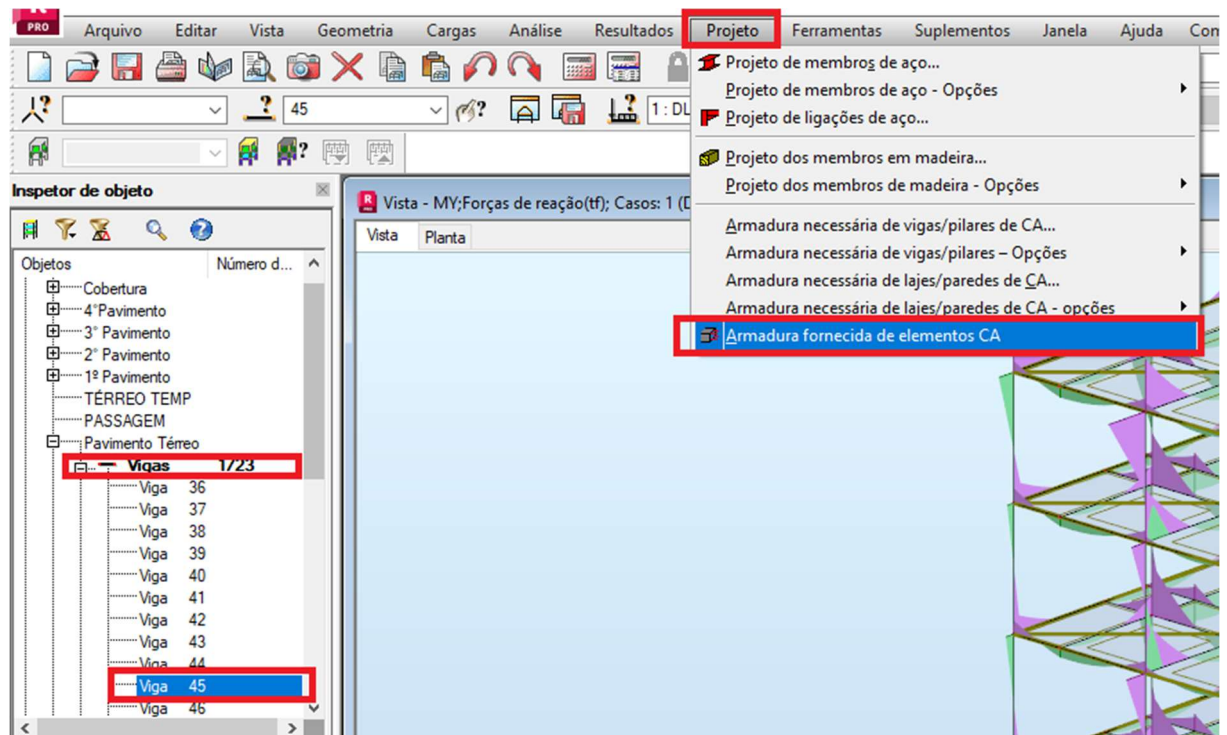
Fonte: Autoria própria (2024)

Figura 27 - Momentos fletores Robot



Fonte: Autoria própria (2024)

Figura 28 - Dimensionamento da armadura Robot



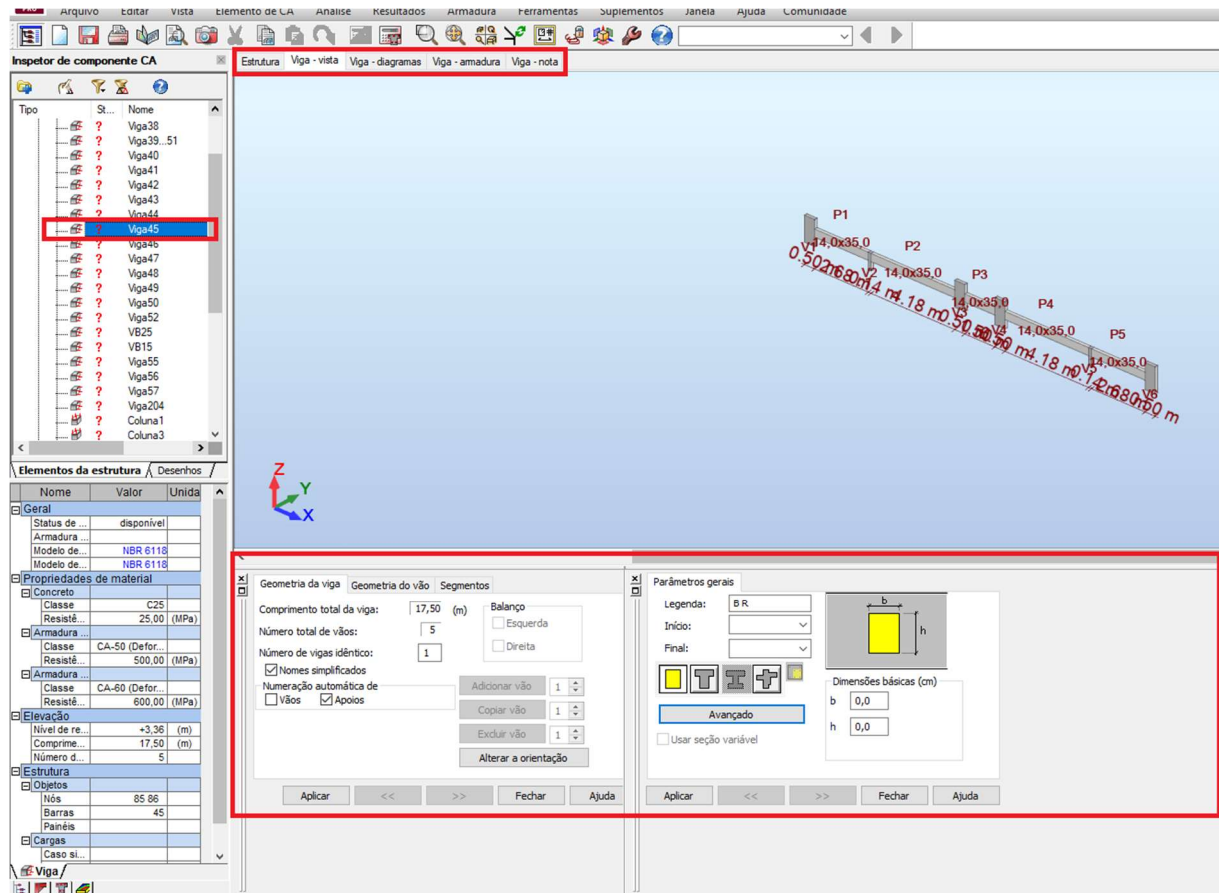
Fonte: Autoria própria (2024)

6.2.4 Resultados

É possível analisar todos os elementos de maneira separada, ao clicar no pavimento, e selecionar o elemento desejado, estarão disponíveis abaixo da barra superior do programa, diferentes abas que mostram os resultados para o elemento selecionado, a partir dela é

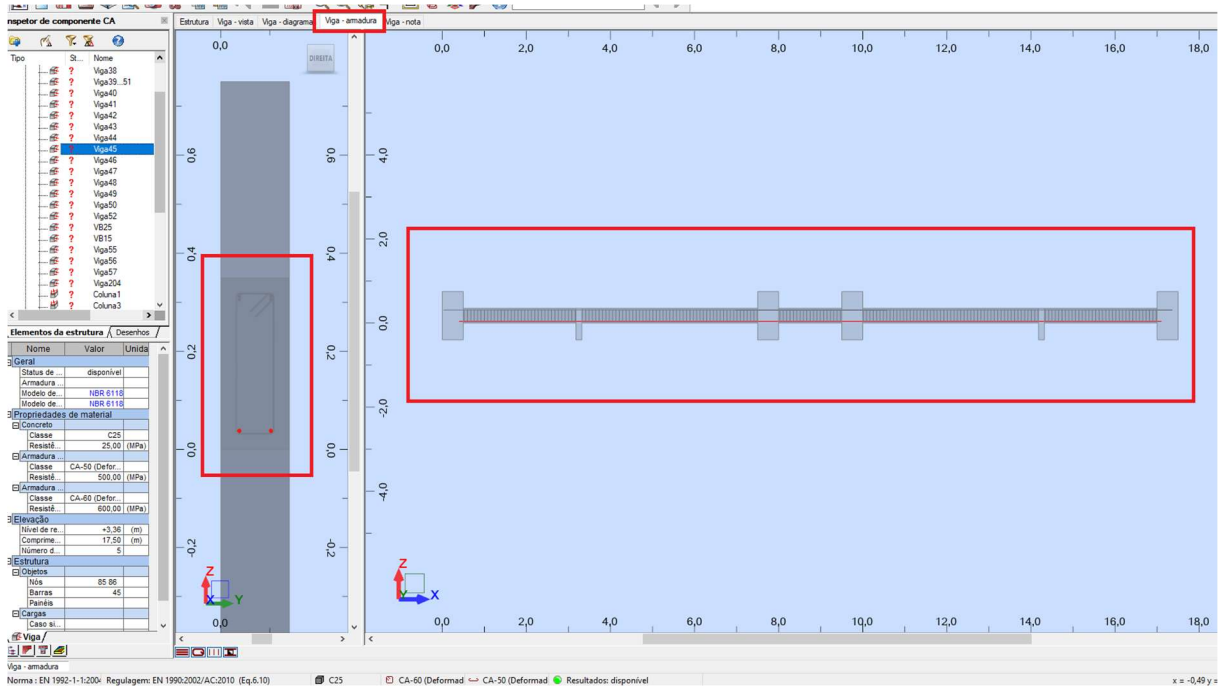
possível visualizar uma vista do elemento, os diagramas de momento fletor e esforço cortante, uma representação 3D das armaduras no elemento, e uma nota de cálculo que mostra a geometria do objeto, os diagramas dos esforços, a área de aço calculada para cada trecho, e o levantamento dos materiais, como mostrado na Figura 29 e Figura 30.

Figura 29 - Dimensionamento da viga 45Robot



Fonte: Autoria própria (2024)

Figura 30 - Armadura da viga 45 Robot



Fonte: Autoria própria (2024)

Dimensionamento da armadura da Viga 45
Tabela 15 – Dimensionamento da área de aço da Viga 45 Robot

	Vão Fundo (cm ²)	Vão Superior (cm ²)	Apoio Esquerdo Fundo (cm ²)	Apoio Esquerdo Superior (cm ²)	Apoio Direito Fundo (cm ²)	Apoio Direito Superior (cm ²)
P1	0,26	0,00	0,00	1,34	0,06	0,00
P2	1,02	0,00	0,06	0,08	0,00	1,76
P3	0,06	0,00	0,00	0,25	0,00	0,09
P4	1,01	0,00	0,00	1,90	0,07	0,01
P5	0,29	0,00	0,05	0,00	0,00	1,22

Ver Resultado detalhado no Apêndice C

7 COMPARAÇÃO

Para realizar a comparação entre os dois softwares foram escolhidas três vigas, e três pilares, a escolha das vigas e a localização delas na estrutura deram-se por alguns fatores, o primeiro foi o pavimento, tanto as vigas, quanto os pilares escolhidos, pertencem ao terceiro pavimento da estrutura, o motivo desse pavimento foi, por ser um pavimento tipo da estrutura, e estar localizado próximo a metade da altura total da edificação. As vigas escolhidas foram, a Viga V301, por ser uma viga que está na direção horizontal do croqui com múltiplos apoios. A viga V317, por ser uma viga com dois apoios na estrutura, e a viga V333, por ser uma viga que está na direção vertical do croqui, e possui três apoios.

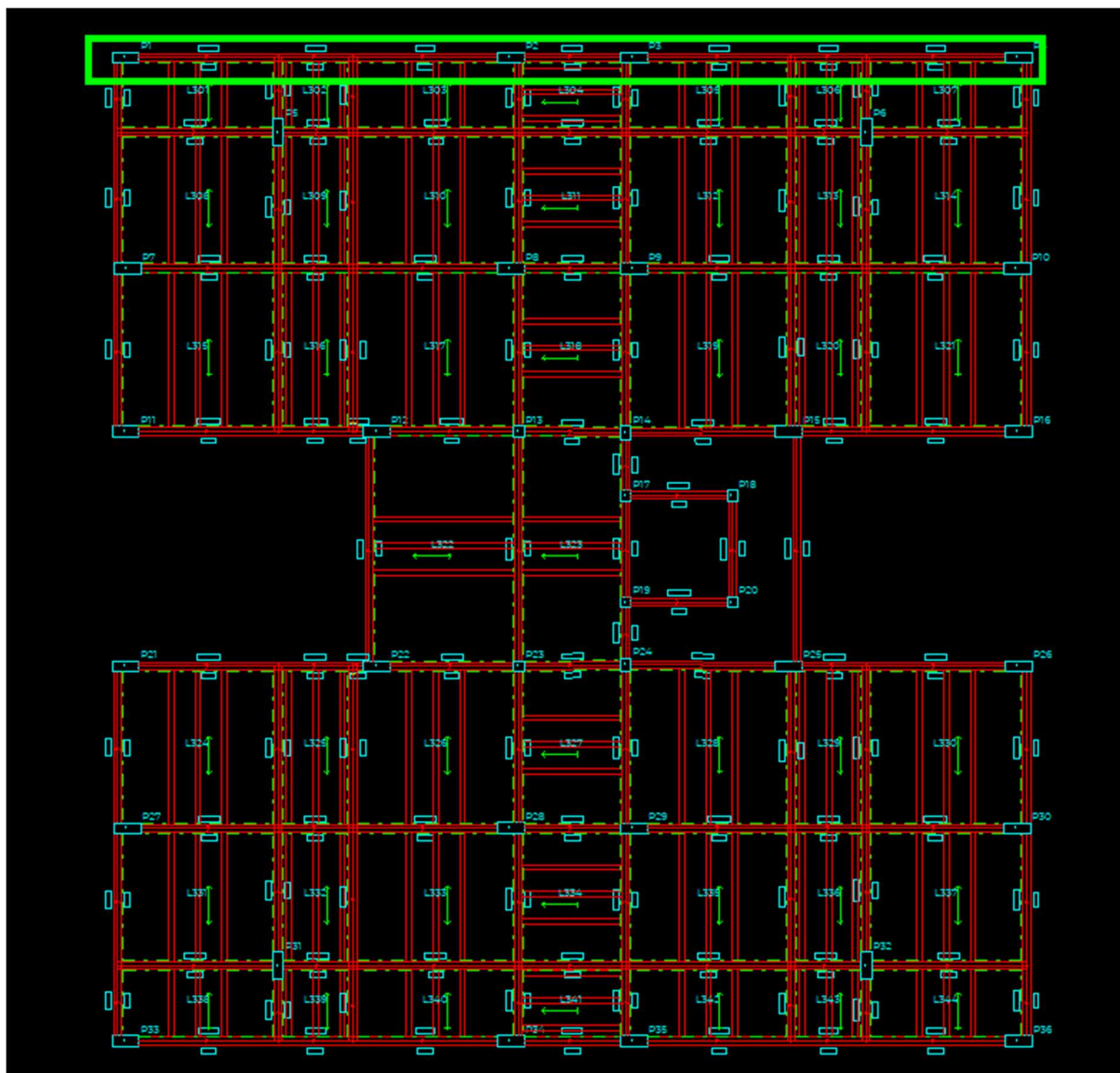
Os pilares foram selecionados para que cada um deles represente um caso específico dos cálculos de pilares, assim, o pilar P4 foi selecionado por ser um pilar de canto, o pilar P7 foi escolhido por ser um pilar de face, e o pilar P8 foi escolhido por ser um pilar de centro. Dessa forma pode-se realizar as comparações de diferentes casos em ambos os softwares, tornando uma comparação mais completa e refinada.

7.1 Vigas

7.1.1 Viga V301

A viga V301 encontra-se na parte superior do croqui (ver Figura 31), sendo a primeira viga do pavimento em questão, ela é apoiada pelos pilares P1, P2, P3 e P4. Sobre essa viga atua a carga da parede, e as reações das lajes e vigas que se apoiam nela.

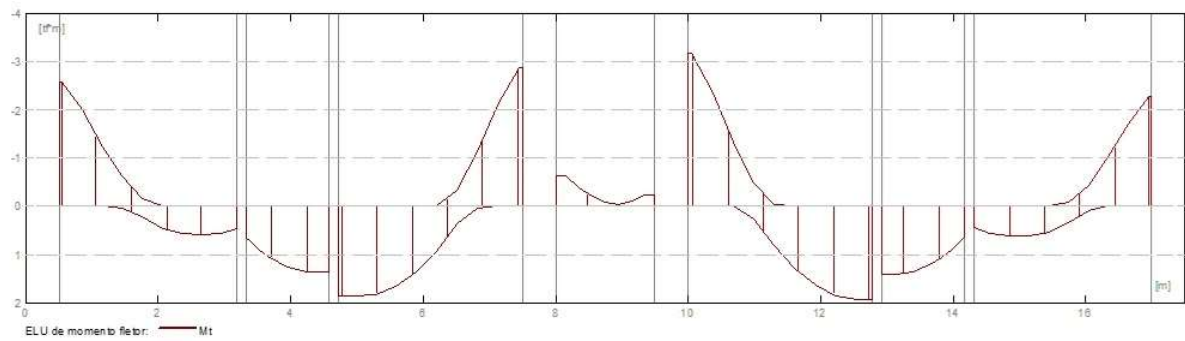
Figura 31 - Croqui da viga V301



Fonte: Autoria própria (2024)

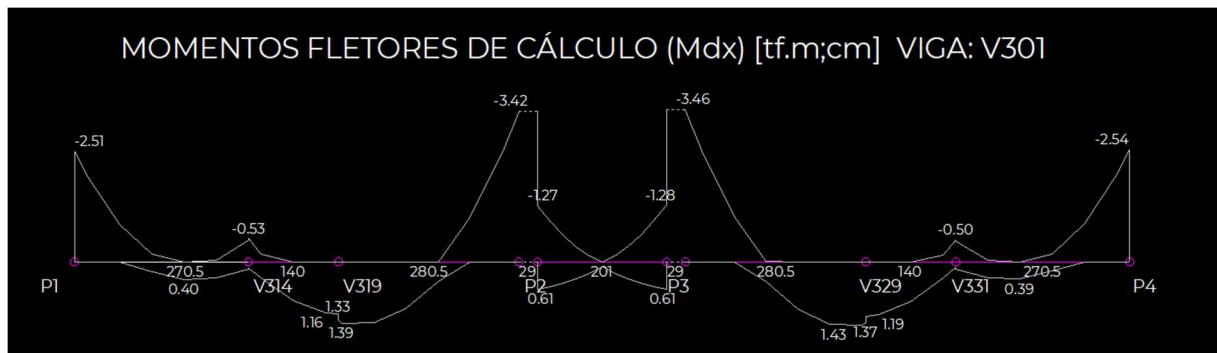
Ao realizar a comparação entre os gráficos de momentos fletores entre os dois programas, pode-se notar diferenças significativas. No apoio com o pilar P1, temos um momento fletor negativo de 2,55 tf.m no *Robot* (ver Figura 32) e 2,51 tf.m no Eberick (ver Figura 33). Pode-se observar que os momentos máximos e mínimos estão na mesma região da viga em ambos os softwares, porém com valores diferentes, em que o *Robot* sempre apresenta um valor mais elevado. Pode-se observar também que o Eberick realiza a decalagem do gráfico de momento fletor, estando assim de acordo com a norma brasileira de concreto armado, assim como o *Robot*.

Figura 32 - Momento fletor viga V301 Robot



Fonte: Autoria própria (2024)

Figura 33 - Momento fletor viga V301 Eberick



Fonte: Autoria própria (2024)

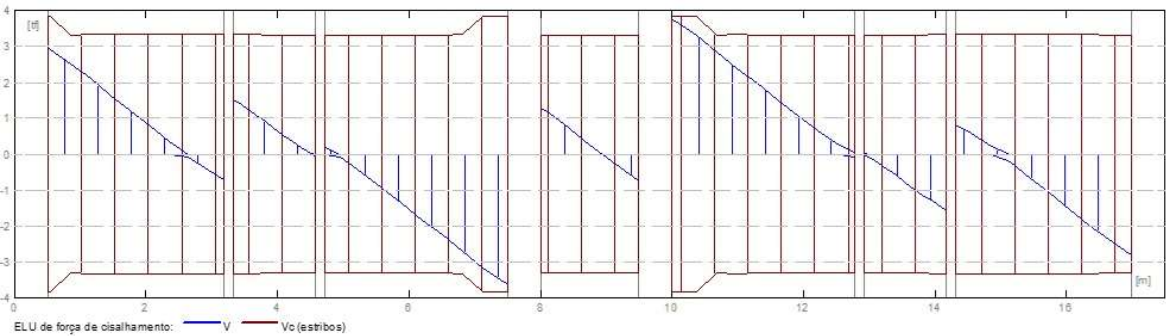
Tabela 16 - Comparação Momentos Fletores V301

Eberick		Área de aço (cm ²)
Momento Máximo Positivo (tf.m)	1,43	1,39
Momento Máximo Negativo (tf.m)	3,46	3,29
Robot		

Momento Máximo Positivo (tf.m)	1,92	1,68
Momento Máximo Negativo (tf.m)	3,17	3,57

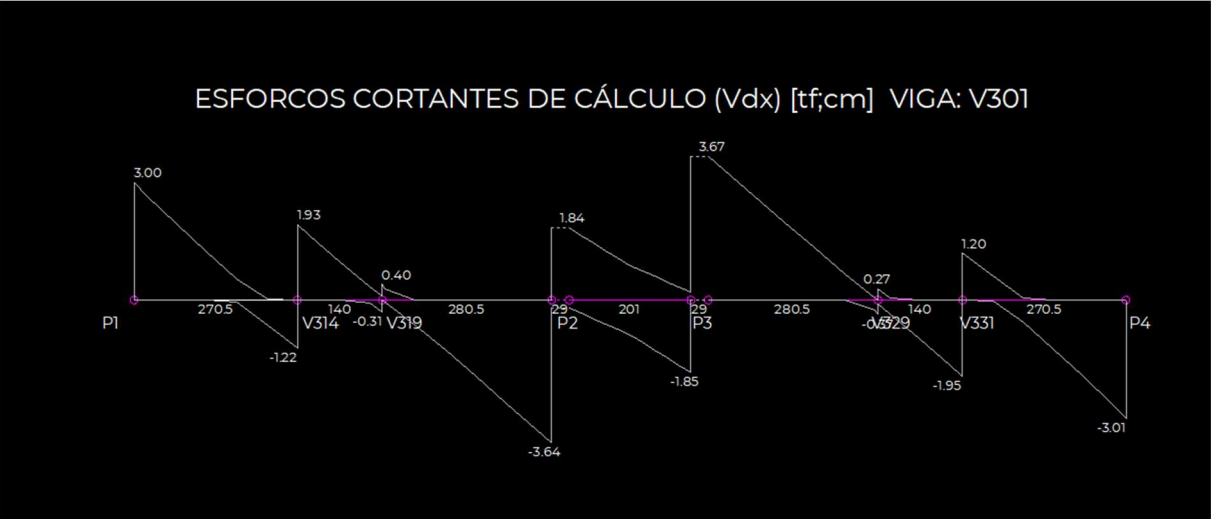
Ao analisar os gráficos de esforço cortante, é possível perceber algumas diferenças nos valores dos resultados dos dois softwares, porém diferentemente do momento fletor, em que o *Robot* sempre apresentava valores maiores (ver Figura 34), no esforço cortante encontra-se uma alternância nos valores, hora o Eberick fornece um resultado maior (ver Figura 35), hora o *Robot* apresenta um valor maior, podendo-se observar melhor na Figura 34 e Figura 35.

Figura 34 - Esforço cortante viga V301 Robot



Fonte: Autoria própria (2024)

Figura 35 - Esforço cortante viga V301 Eberick



Fonte: Autoria própria (2024)

Tabela 17 - Comparação Esforços Cortantes V301

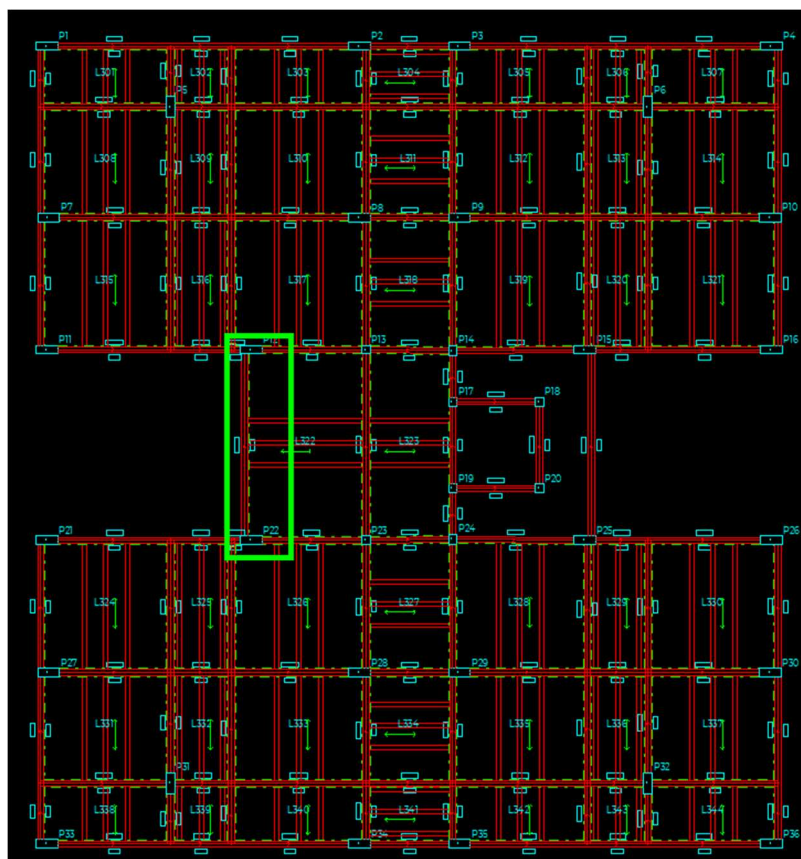
	Cortante Máximo (tf)
--	----------------------

Eberick	3,67
Robot	3,75

7.1.2 Viga V317

A Viga 317 é uma viga com dois apoios, que tem como apoio os pilares P12 e P22. Ela está localizada na face esquerda da edificação, na direção “y” do croqui como mostra a Figura 36. Sobre essa viga, atuam some a carga de reação da laje L322, e a carga de parede de 558 kgf/m.

Figura 36 - Croqui viga V317

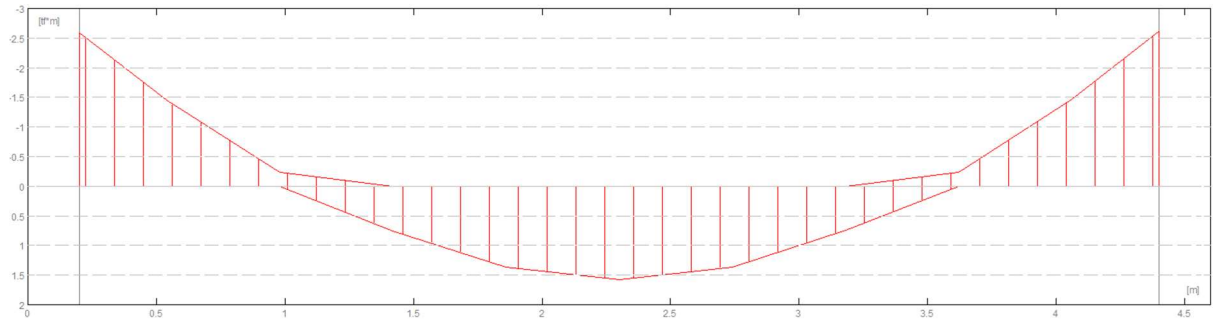


Fonte: Autoria própria (2024)

Ao realizar as comparações entre os momentos fletores do *Robot*(ver Figura 37) e do Eberick (ver Figura 38), percebe-se que ambos os momentos máximos e mínimos no Eberick, são superiores aos momentos fornecidos pelo *Robot*. Pode-se perceber também que a distância em que o momento negativo chega a 0 também é diferente. No *Robot* o momento negativo é zerado em 1,41m da extremidade da viga, já no Eberick isso ocorre a 1,25m. O início do

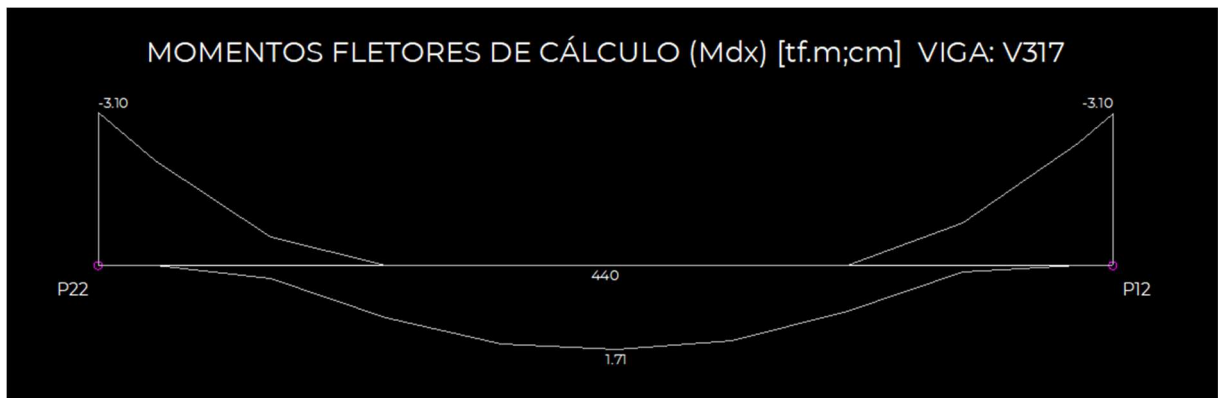
momento fletor positivo também se inicia em um ponto diferente, no *Robot*, esse ponto está 0,98m da extremidade da viga, enquanto no Eberick, ele inicia-se a 0,25m da extremidade. Esses digramas podem ser observados nas figuras 42 e 43.

Figura 37 - Momento fletor viga V317 Robot



Fonte: Autoria própria (2024)

Figura 38 - Momento fletor viga V317 Eberick



Fonte: Autoria própria (2024)

Tabela 18 - Comparação Momentos Fletores V317

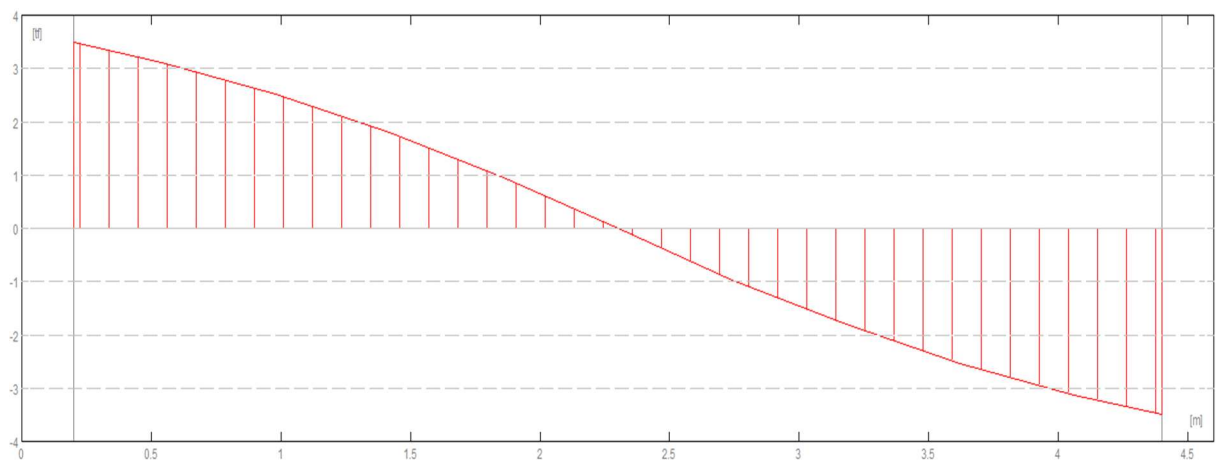
Eberick		Área de aço (cm ²)
Momento Máximo Positivo (tf.m)	1,71	1,33
Momento Máximo Negativo (tf.m)	3,10	2,54
Robot		
Momento Máximo Positivo (tf.m)	1,58	1,37

Momento Máximo Negativo (tf.m)	2,59	2,39
--------------------------------	------	------

Semelhantemente aos momentos fletores, os esforços cortantes também se mostram com valores máximos e mínimos maiores no software Eberick. Observa-se um máximo de 4,14 tf e um mínimo de -4,22 tf no Eberick (ver Figura 40), enquanto no *Robot* tem-se um máximo de 3,49Tf e um mínimo de -3,80Tf (ver Figura 39).

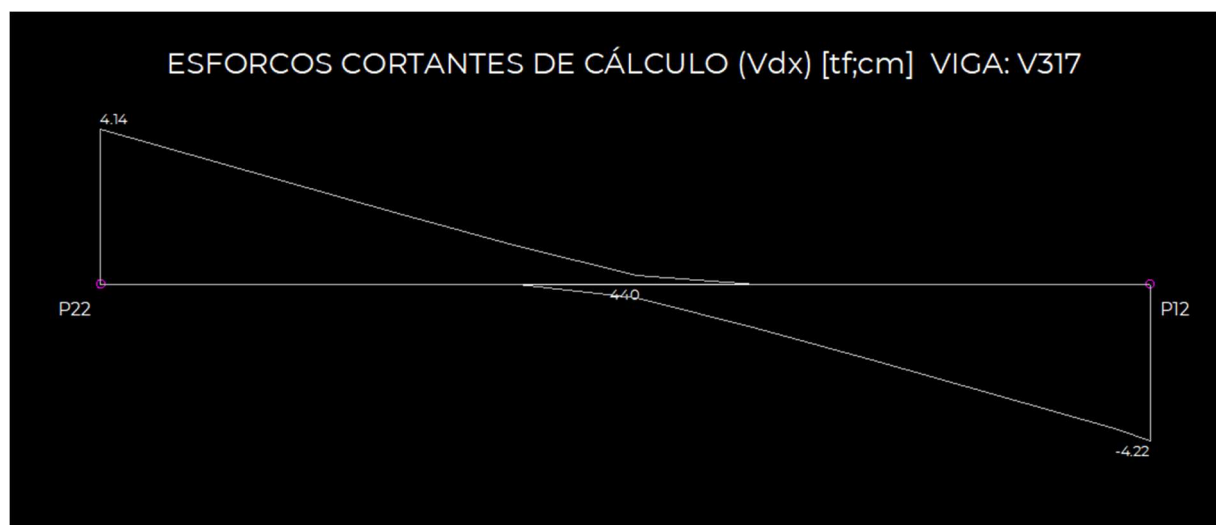
Observa-se também que existe a decalagem do gráfico do esforço cortante no Eberick, enquanto no *Robot* não existe essa decalagem, como observa-se na Figura 39 e Figura 40.

Figura 39 - Esforço cortante viga V317 Robot



Fonte: Autoria própria (2024)

Figura 40 - Esforço cortante viga V317 Eberick



Fonte: Autoria própria (2024)

Tabela 19 - Comparação Esforços Cortantes V317

	Cortante Máximo (tf)
Eberick	4,22
Robot	3,49

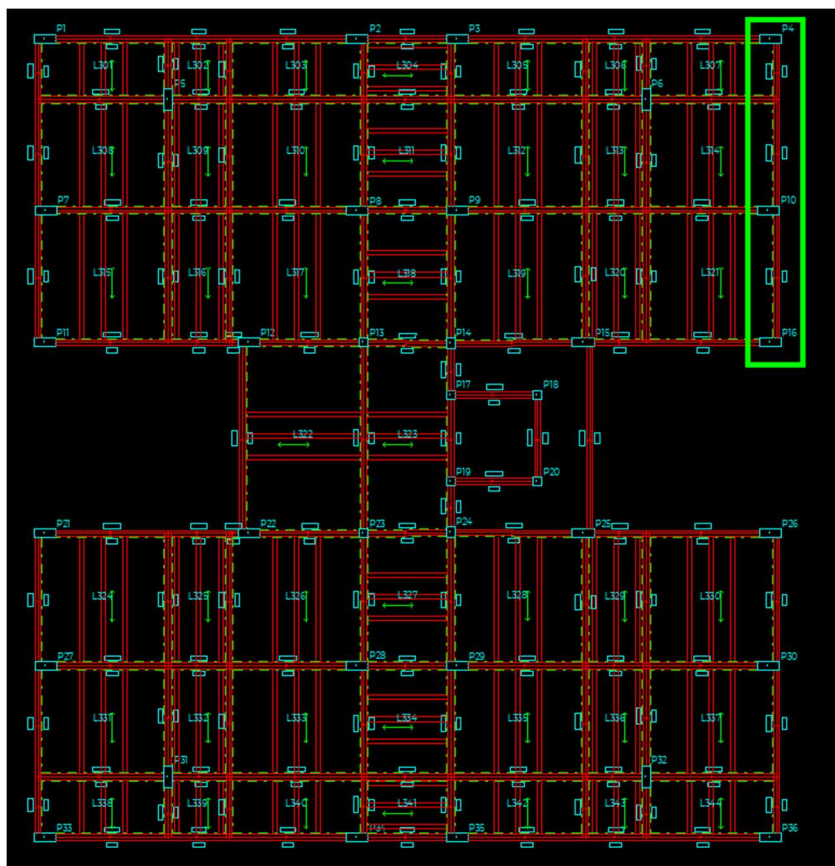
Quanto ao dimensionamento da área de aço, tem-se que no Eberick a armadura positiva necessária calculada necessária no vão da viga foi de $1,33\text{cm}^2$. No *Robot* foi de $1,37\text{cm}^2$, mostrando um resultado bem parecido, e embora o Eberick mostre valores maiores de momento fletor, a área de aço necessária foi menor que a calculada pelo *Robot*.

A armadura negativa necessária calculado nos apoios também tiveram valores diferente, tem-se no Eberick o valor de $2,54\text{cm}^2$ tanto para o apoio esquerdo como o direito, e no *Robot*, para o apoio esquerdo tem-se uma área de aço de $2,31\text{cm}^2$, e para o apoio direito tem-se $2,39\text{cm}^2$. Mostrando valores condizentes com os diagramas de momento fletor, já que o *Robot* mostrava valores menores, assim também calculou uma área de aço menor.

7.1.3 Viga 333

A viga 333, é uma viga que possui 3 apoios, está localizada na face direita da edificação, e está na direção “Y” no croqui (ver Figura 41). Sobre ela, descarrega-se a reação da viga V302, o carregamento de $680,64\text{ kgf.m}$ proveniente da carga de parede.

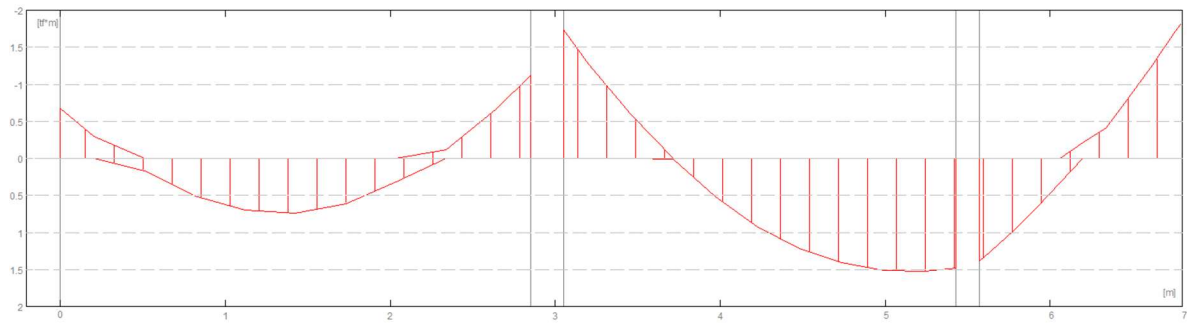
Figura 41 - Croqui viga V333



Fonte: Autoria própria (2024)

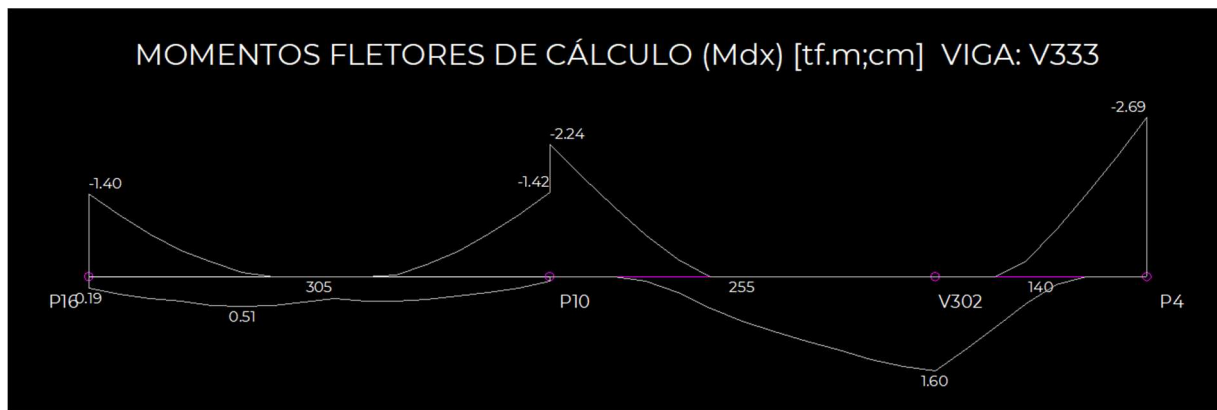
Ao analisar os diagramas de momentos fletores, percebe-se que ambos apresentam a mesma disposição do gráfico, porém com valores diferentes. Observa-se que todos os valores do *Robot* são menores que os valores do Eberick. No *Robot* tem-se um momento fletor mínimo de -1,85 tf.m no apoio direito (ver Figura 42), enquanto no Eberick tem-se um momento de -2,69 tf.m (ver Figura 43), e tem-se um momento máximo positivo no *Robot*, 1,50 tf.m no vão entre os apoios dos pilares P10 e P4, enquanto no Eberick tem-se um valor de 1,60 tf.m no mesmo vão. Assim como nas vigas anteriores, também se observa diferenças entre os inícios da decalagem do gráfico do momento fletor, em que o Eberick começa a decalagem já no início da viga, e o *Robot* só inicia após 20cm do início da viga como pode-se observar na Figura 42 e Figura 43.

Figura 42 - Momento fletor viga V333 Robot



Fonte: Autoria própria (2024)

Figura 43 - Momento fletor viga V333 Eberick



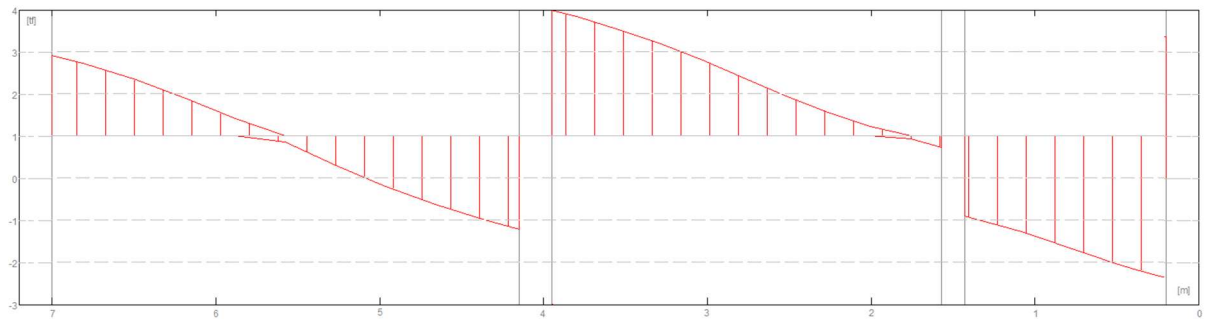
Fonte: Autoria própria (2024)

Tabela 20 - Comparação Momentos Fletores V333

Eberick		Área de aço (cm ²)
Momento Máximo Positivo (tf.m)	1,60	1,22
Momento Máximo Negativo (tf.m)	2,69	2,16
Robot		
Momento Máximo Positivo (tf.m)	1,50	1,33
Momento Máximo Negativo (tf.m)	1,85	1,62

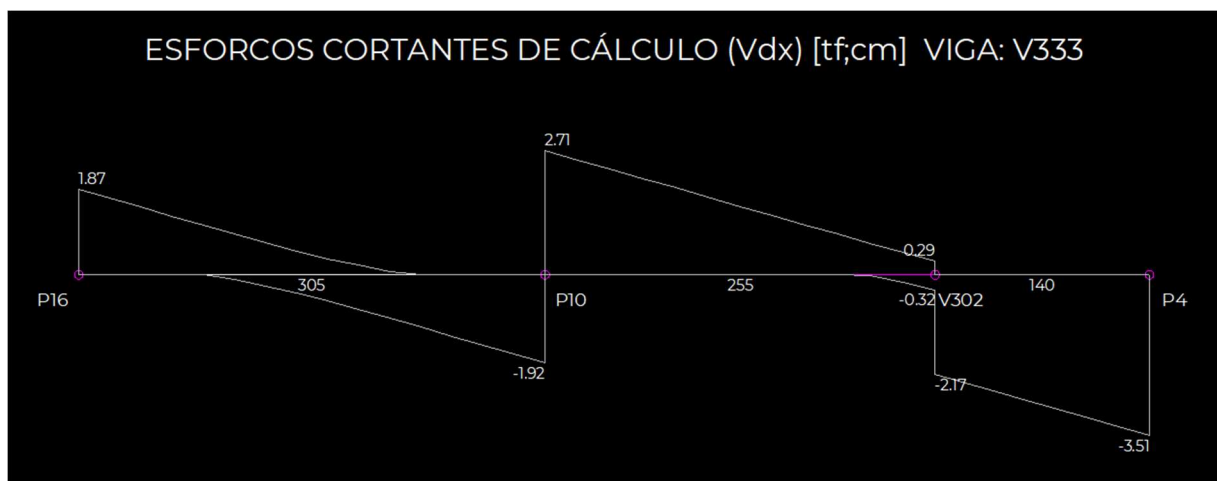
Nos diagramas de esforços cortantes, observa-se que o valor de máximo é maior no *Robot*, porém o valor de mínimo é um valor absoluto maior no Eberick. Assim como nos diagramas de momentos fletores, ambos os gráficos apresentam a mesma forma, apenas com valores diferentes, como pode-se verificar na Figura 44 e Figura 45.

Figura 44 - Esforço cortante viga V333 Robot



Fonte: Autoria própria (2024)

Figura 45 - Esforço cortante viga V333 Eberick



Fonte: Autoria própria (2024)

Tabela 21 - Comparação Eforços Cortantates V333

	Cortante Máximo (tf)
Eberick	-3,51
Robot	3,37

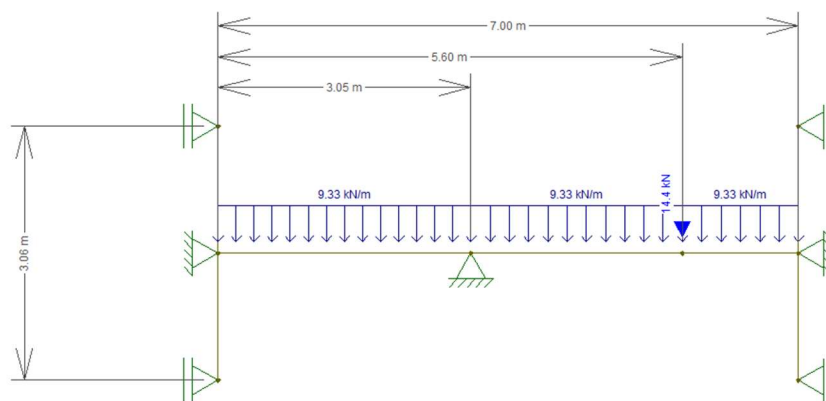
Quanto ao dimensionamento das armaduras, tem-se que no primeiro vão, a armadura positiva necessária fornecida pelo *Robot* é de $0,60\text{cm}^2$, enquanto no *Eberick* foi de $0,74\text{cm}^2$. No segundo vão, tem-se no *Robot* a área de aço da armadura positiva de $1,33\text{cm}^2$, enquanto no *Eberick* tem-se $1,22\text{cm}^2$.

Para as armaduras negativa, temos no primeiro apoio que a área de aço necessário calculada pelo *Robot* foi de $0,58\text{cm}^2$, e no Eberick foi de $1,11\text{cm}^2$. No segundo apoio tem-se no *Robot* uma armadura de $1,51\text{cm}^2$ e no Eberick $1,84\text{cm}^2$. E no terceiro apoio tem-se no *Robot* uma área de aço calculada de $1,62\text{cm}^2$ enquanto no Eberick tem-se $2,16\text{cm}^2$.

Para as armaduras positivas, percebe-se que no software em que os momentos fletores foram maiores, as armaduras foram inferiores à sua contraparte que teve um momento fletor menor e calculou uma área de aço maior. Já nas armaduras negativas, o Eberick apresentou áreas de aço maior, porém no último apoio o *Robot* apresenta uma menor que Eberick.

Ao realizar o cálculo manual, com os lançamentos das forças e o pórtico da estrutura com ajudar do *software Ftool* (ver Figura 46), chegou-se aos seguintes resultados: Área de aço da armadura positiva no primeiro vão foi de $0,2\text{cm}^2$ e no segundo vão foi de $0,88\text{cm}^2$. A área de aço das armaduras negativas, no primeiro apoio, foi de $0,3\text{cm}^2$, no segundo apoio foi de $1,0\text{cm}^2$ e no terceiro apoio foi de $1,68\text{cm}^2$.

Figura 46 - Lançamento da viga V333 no Ftool



Fonte: Autoria própria (2024)

Tabela 22 - Resultados do cálculo manual V333

Positivos	Msd (KN.cm)	Área de Aço (cm ²)
-----------	-------------	--------------------------------

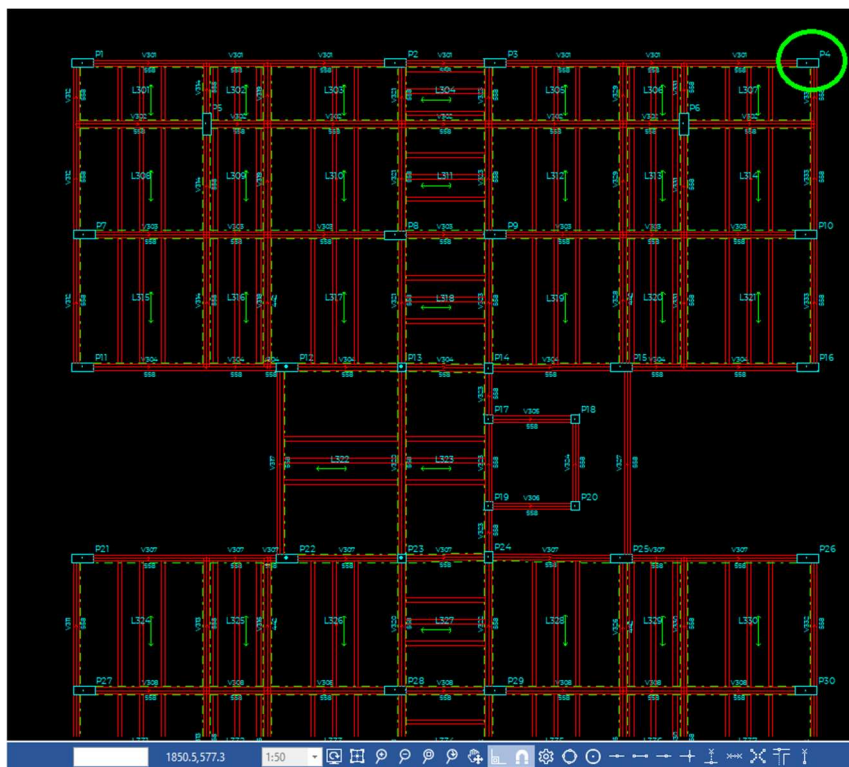
Apoio 1	0	0,00
Vão 1	275	0,21
Apoio 2	0	0,00
Vão 2	1155	0,88
Apoio 3	0	0,00
Negativos		
Apoio 1	408	0,31
Vão 1	0	0,00
Apoio 2	1305	1,00
Vão 2	0	0,00
Apoio 3	2140	1,68

7.2 Pilares

7.2.1 Pilar P4

O pilar P4 é um pilar de canto e está localizado no canto direito superior do croqui (ver Figura 47). É um pilar que está travado na direção de maior inércia pela viga V301 e travado na direção da menor inércia pela viga V333, como pode-se observar na Figura 47.

Figura 47 – Croqui pilar P4



Fonte: Autoria própria (2024)

Ao analisar os valores de esbeltez do pilar, tem-se que no Eberick, os valores são de 52,94 na direção de maior inércia, e 21,18 na direção de menor inércia. Analogamente, no *Robot* tem-se 53,00 e 21,20. Ao avaliar os momentos, tem-se que no Eberick na direção de maior inércia, o maior momento foi de 1,66 tf.m e no *Robot* o maior momento na mesma direção foi de 1,64 tf.m. Já na direção de menor inércia tem-se que no Eberick o momento foi de 1,49 tf.m enquanto no *Robot* o momento foi de 1,25 tf.m.

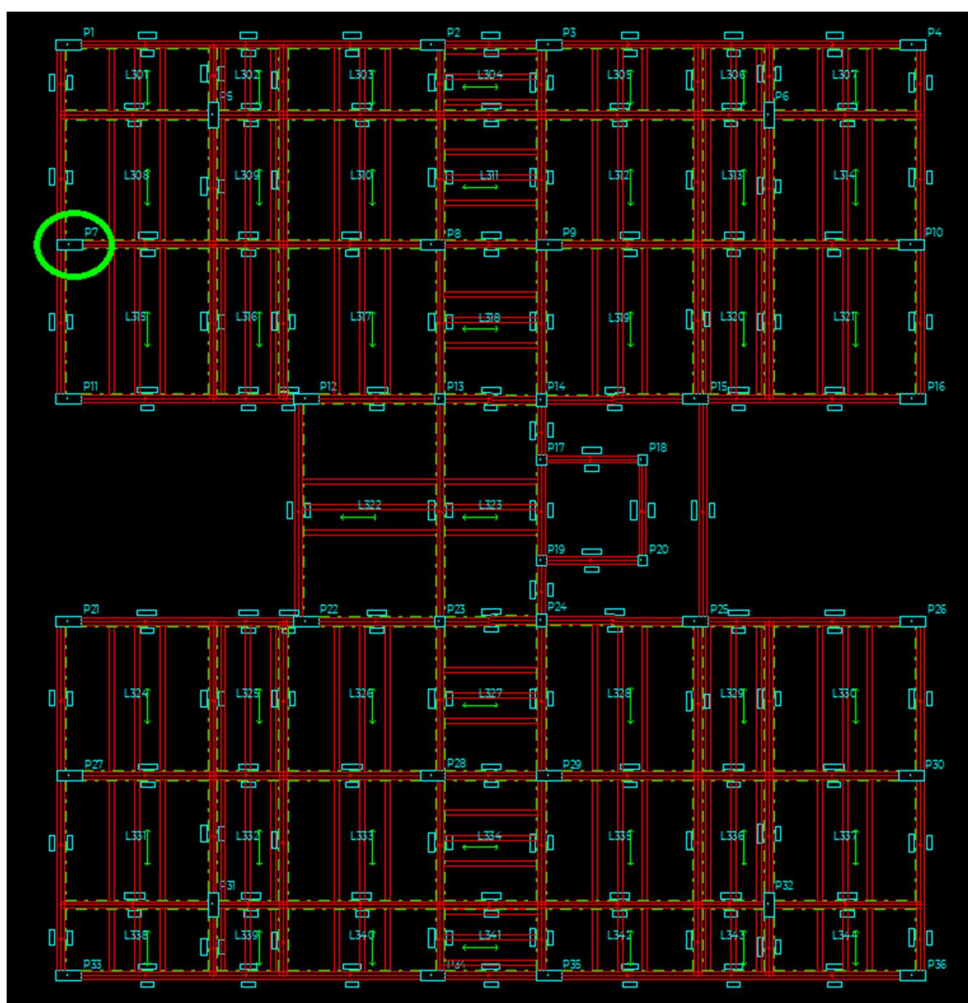
No fornecimento da área de aço é possível perceber diferenças significativas mesmo os valores de esbeltez e momentos tendo apresentado resultados bem próximos entre os dois

softwares. No Eberick a área de aço necessária calculada foi de $4,71\text{cm}^2$, enquanto no *Robot* a área de aço calculada foi de $3,47\text{cm}^2$.

7.2.2 Pilar P7

O pilar P7 é um pilar de face, que está localizado na face esquerda da edificação no croqui (ver Figura 48). Na direção de menor inércia ele é travado pela viga V312, e na direção de maior inércia ele é travado pela viga V 303, assim como apresentado na Figura 48.

Figura 48 - Croqui pilar P7



Fonte: Autoria própria (2024)

No cálculo da esbeltez do pilar P7 o Eberick apresenta os valores de 52,94 e 21,18 para a direção de menor inércia e maior inércia respectivamente. O *Robot* apresenta os valores de 53,00 e 21,20 para as direções de menor e maior inércia respectivamente.

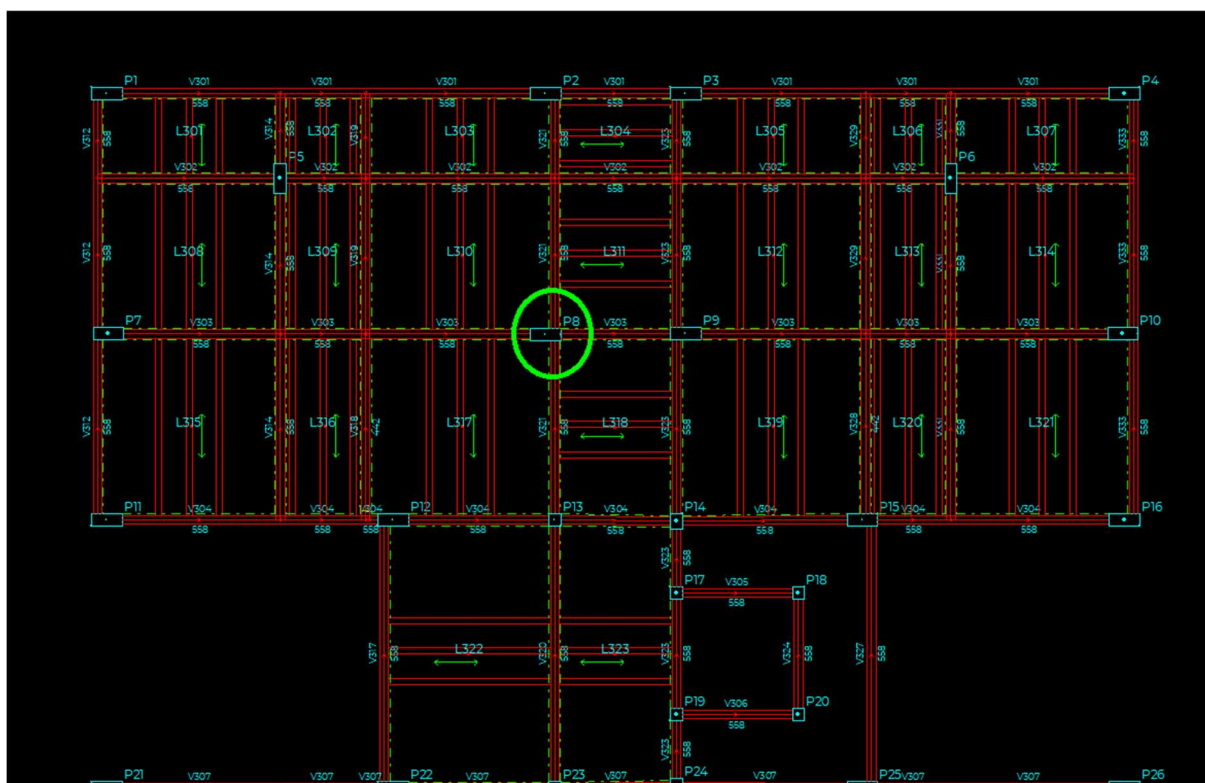
Ao calcular os momentos no pilar P7, no Eberick tem-se os valores de 4,23 tf.m na direção de maior inércia, e 1,32 tf.m na direção de menor inércia. No *Robot* tem-se respectivamente os valores de 3,70 tf.m e 0,43 tf.m.

Ao calcular a área de aço necessária, o Eberick apresenta um resultado de 4,71cm² e o *Robot* apresenta o valor de 3,14cm².

7.2.3 Pilar P8

O pilar P8 é um pilar que está localizado na posição central da estrutura (ver Figura 49), caracterizando-se assim como um pilar de centro por estar travado em todas as direções. Na direção de maior inércia ele é travado pela viga V303, e na direção de menor inércia, ele é travado pela viga V321 como mostrado na Figura 49.

Figura 49 - Croqui pilar P8



Fonte: Autoria própria (2024)

A esbeltez do pilar P8 calculado pelo Eberick nas direções de menor e maior inércia são respectivamente 52,94 e 21,18. No *Robot* esses valores são respectivamente 53,00 e 21,20. Ao calcular os momentos o Eberick apresentar o valor de 4,65 tf.m na direção de maior inércia, e 1,76 tf.m na direção de menor inércia. O *Robot* apresenta respectivamente os valores de 3,27 tf.m e 1,44Tf.m.

Ao calcular a área de aço necessária o Eberick apresenta o valor de $4,71\text{cm}^2$ e o *Robot* apresenta o valor de $3,47\text{cm}^2$

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao término da modelagem, cálculo e processamento nos dois softwares de cálculo estrutural (Eberick e *Robot*), foi possível perceber que ambos apresentam um valor um pouco diferente de quando se é feito um cálculo manual com uma análise em pórticos, isso se deve ao fato de que uma análise em malha (Eberick) e em elementos finitos (*Robot*) distribui melhor os esforços por toda a estrutura, então é possível que a carga que chegou nos elementos analisados tenha sido advinda de outras partes da estrutura. É possível também que por medida de segurança, os softwares tenham um fator de majoração de forças, ou área de aço calculada.

Ao fazer a análise do processo completo de lançamento e cálculo em ambos os programas, percebeu-se que o Eberick possui uma velocidade maior para realizar o processamento completo de todos os elementos, visto que ao apertar apenas um botão, o este programa já realiza o cálculo e o dimensionamento de todos os elementos (Vigas e Pilares), enquanto no *Robot*, é necessário calcular cada pilar individualmente, e calcular as vigas, embora as vigas possam ser calculadas todas de uma vez só, os pilares necessitam ser processados individualmente.

Em facilidade de lançamento, o Eberick demonstrou-se mais rápido e intuitivo, embora essa percepção possa ser enviesada devido à maior familiaridade do autor com o software Eberick.

Quanto aos resultados, o Eberick possui a vantagem de estar totalmente adequado a NBR6118:2023 (norma brasileira de concreto armado), enquanto o *Robot* precisa se adaptar pelo usuário a partir da norma europeia. Assim observou-se que os resultados do Eberick em relação a área de aço, na maioria das vezes são menores em valores do que os fornecidos pelo *Robot*, e comparando os dois com o cálculo manual, percebe-se que os valores dos softwares são levemente maiores, dessa forma, o Eberick é o programa que mais se aproxima dos valores do cálculo manual.

9 REFERÊNCIAS

ALTOQI. **Central de Ajuda - AltoQi**. Disponível em: <https://suporte.altoqi.com.br/hc/pt-br/articles/360008798134>. Acesso em: 17 jul. 2024.

AMBROZEWICZ, Paulo Henrique Laporte. Materiais de construção. **São Paulo: Pini**, v. 16, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto — Procedimento. 3 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123**: Forças devido ao vento em edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.

ASTM, C. 125 Standard terminology relating to concrete and concrete aggregates. *Annual Book of ASTM Standards*, 2003, 4: 23.

BARBOZA, Sergio Lessa Costa. Comparação de programas computacionais para o dimensionamento de estruturas de concreto armado. 2019.

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

BRUSCO, Gustavo Largura. Concreto de Alta Resistência: Estudo comparativo entre a nova norma NBR 6118 e a norma americana quanto as suas propriedades mecânicas e ao dimensionamento de vigas. 2014.

CARVALHO, Roberto Chust; FIGUEIREDO FILHO, Jasson Rodrigues de. Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado: segundo a NBR 6118: 2014. **São Carlos: EdUFSCar**, 2014.

GOGONI, Ronaldo. O que é software? *Tecnoblog*, 2022. Disponível em: <https://tecnoblog.net/responde/o-que-e-software/>. Acesso em: 10 set. 2024.

KIMURA, Alio. **Informática aplicada a estruturas de concreto armado**. Oficina de Textos, 2018.

LEITE, Igor Charlles Siqueira et al. ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS MÉTODOS DE CZERNY, MARCUS E GREHA PARA O CÁLCULO DE LAJES MACIÇAS. **Projectus**, v. 2, n. 4, p. 114-121, 2017.

LOPES, Pedro Henrique Pires et al. NBR 6118 E EUROCODE 2: ANÁLISE COMPARATIVA NO DIMENSIONAMENTO DE LAJES E VIGAS EM CONCRETO ARMADO. **CONSTRUINDO**, 2015.

MARTINS, Phillipe Justino, et al. Avaliação comparativa entre os softwares EBERICK V10 e CYPECAD 2016 para estruturas de concreto armado. *Revista Eletrônica TECCEN*, 2019, 12.1.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Concreto: estrutura, propriedades e materiais. São Paulo: PINI, 1994, p. 01-02

OLIVEIRA FILHO, Alexandre Cabral de; CRUZ, Felipe Medson Matos da. *Utilização do software autodeskRobot para comparativos e otimização de projeto estrutural de galpão pré-moldado*. 2022. Bachelor'sThesis.

SABADIN, Matheus Henrique. Comparação entre solicitações obtidas pelo TQS e pelo Autodesk *RobotStructuralAnalysis*: aplicação a um edifício de pequeno porte. 2018.

Silva e Souza, Andressa; Boaventura, Maria Eugenia de são. Verificação e análise de um projeto estrutural em concreto armado por meio do cálculo manual e o software eberick: acompanhamento da obra. 2017.

ZAQUERA, Paulo Ricardo Athaydes. Estudo comparativo entre as normas brasileira e canadense de concreto armado. 2015.

10 APÊNDICE A

Tabela 23 - Combinações Eberick

Tipo	Combinações
ELU-Concreto	1.4G1+1.4G2+0.7Q+0.84V1+1.4D1
	1.4G1+1.4G2+0.7Q+0.84V2+1.4D2
	1.4G1+1.4G2+0.7Q+0.84V3+1.4D3
	1.4G1+1.4G2+0.7Q+0.84V4+1.4D4
	1.4G1+1.4G2+0.7Q+1.4V1+0.84D1
	1.4G1+1.4G2+0.7Q+1.4V2+0.84D2
	1.4G1+1.4G2+0.7Q+1.4V3+0.84D3
	1.4G1+1.4G2+0.7Q+1.4V4+0.84D4
	1.4G1+1.4G2+0.84V1+1.4D1
	1.4G1+1.4G2+0.84V2+1.4D2
	1.4G1+1.4G2+0.84V3+1.4D3
	1.4G1+1.4G2+0.84V4+1.4D4
	1.4G1+1.4G2+1.4D1
	1.4G1+1.4G2+1.4D2
	1.4G1+1.4G2+1.4D3
	1.4G1+1.4G2+1.4D4
	1.4G1+1.4G2+1.4Q+0.84V1+0.84D1
	1.4G1+1.4G2+1.4Q+0.84V2+0.84D2
	1.4G1+1.4G2+1.4Q+0.84V3+0.84D3
	1.4G1+1.4G2+1.4Q+0.84V4+0.84D4
	1.4G1+1.4G2+1.4Q+1.4D1
	1.4G1+1.4G2+1.4Q+1.4D2
	1.4G1+1.4G2+1.4Q+1.4D3
	1.4G1+1.4G2+1.4Q+1.4D4
	1.4G1+1.4G2+1.4Q+D1
	1.4G1+1.4G2+1.4Q+D2
	1.4G1+1.4G2+1.4Q+D3
	1.4G1+1.4G2+1.4Q+D4
	1.4G1+1.4G2+1.4V1+0.84D1
	1.4G1+1.4G2+1.4V2+0.84D2
	1.4G1+1.4G2+1.4V3+0.84D3

	1.4G1+1.4G2+1.4V4+0.84D4
	1.4G1+1.4G2+D1
	1.4G1+1.4G2+D2
	1.4G1+1.4G2+D3
	1.4G1+1.4G2+D4
	G1+G2+0.7Q+0.84V1+1.4D1
	G1+G2+0.7Q+0.84V2+1.4D2
	G1+G2+0.7Q+0.84V3+1.4D3
	G1+G2+0.7Q+0.84V4+1.4D4
	G1+G2+0.7Q+1.4V1+0.84D1
	G1+G2+0.7Q+1.4V2+0.84D2
	G1+G2+0.7Q+1.4V3+0.84D3
	G1+G2+0.7Q+1.4V4+0.84D4
	G1+G2+0.84V1+1.4D1
	G1+G2+0.84V2+1.4D2
	G1+G2+0.84V3+1.4D3
	G1+G2+0.84V4+1.4D4
	G1+G2+1.4D1
	G1+G2+1.4D2
	G1+G2+1.4D3
	G1+G2+1.4D4
	G1+G2+1.4Q+0.84V1+0.84D1
	G1+G2+1.4Q+0.84V2+0.84D2
	G1+G2+1.4Q+0.84V3+0.84D3
	G1+G2+1.4Q+0.84V4+0.84D4
	G1+G2+1.4Q+1.4D1
	G1+G2+1.4Q+1.4D2
	G1+G2+1.4Q+1.4D3
	G1+G2+1.4Q+1.4D4
	G1+G2+1.4Q+D1
	G1+G2+1.4Q+D2
	G1+G2+1.4Q+D3
	G1+G2+1.4Q+D4
	G1+G2+1.4V1+0.84D1
	G1+G2+1.4V2+0.84D2
	G1+G2+1.4V3+0.84D3

	$G1+G2+1.4V4+0.84D4$ $G1+G2+D1$ $G1+G2+D2$ $G1+G2+D3$ $G1+G2+D4$
ELU-Aço	$1.4G1+1.4G2+0.75Q+0.84V1+1.4D1$ $1.4G1+1.4G2+0.75Q+0.84V2+1.4D2$ $1.4G1+1.4G2+0.75Q+0.84V3+1.4D3$ $1.4G1+1.4G2+0.75Q+0.84V4+1.4D4$ $1.4G1+1.4G2+0.75Q+1.4V1+0.84D1$ $1.4G1+1.4G2+0.75Q+1.4V2+0.84D2$ $1.4G1+1.4G2+0.75Q+1.4V3+0.84D3$ $1.4G1+1.4G2+0.75Q+1.4V4+0.84D4$ $1.4G1+1.4G2+0.84V1+1.4D1$ $1.4G1+1.4G2+0.84V2+1.4D2$ $1.4G1+1.4G2+0.84V3+1.4D3$ $1.4G1+1.4G2+0.84V4+1.4D4$ $1.4G1+1.4G2+1.4D1$ $1.4G1+1.4G2+1.4D2$ $1.4G1+1.4G2+1.4D3$ $1.4G1+1.4G2+1.4D4$ $1.4G1+1.4G2+1.4V1+0.84D1$ $1.4G1+1.4G2+1.4V2+0.84D2$ $1.4G1+1.4G2+1.4V3+0.84D3$ $1.4G1+1.4G2+1.4V4+0.84D4$ $1.4G1+1.4G2+1.5Q+0.84V1+0.84D1$ $1.4G1+1.4G2+1.5Q+0.84V2+0.84D2$ $1.4G1+1.4G2+1.5Q+0.84V3+0.84D3$ $1.4G1+1.4G2+1.5Q+0.84V4+0.84D4$ $1.4G1+1.4G2+1.5Q+1.4D1$ $1.4G1+1.4G2+1.5Q+1.4D2$ $1.4G1+1.4G2+1.5Q+1.4D3$ $1.4G1+1.4G2+1.5Q+1.4D4$ $1.4G1+1.4G2+1.5Q+D1$ $1.4G1+1.4G2+1.5Q+D2$ $1.4G1+1.4G2+1.5Q+D3$

	1.4G1+1.4G2+1.5Q+D4
	1.4G1+1.4G2+D1
	1.4G1+1.4G2+D2
	1.4G1+1.4G2+D3
	1.4G1+1.4G2+D4
	G1+G2+0.75Q+0.84V1+1.4D1
	G1+G2+0.75Q+0.84V2+1.4D2
	G1+G2+0.75Q+0.84V3+1.4D3
	G1+G2+0.75Q+0.84V4+1.4D4
	G1+G2+0.75Q+1.4V1+0.84D1
	G1+G2+0.75Q+1.4V2+0.84D2
	G1+G2+0.75Q+1.4V3+0.84D3
	G1+G2+0.75Q+1.4V4+0.84D4
	G1+G2+0.84V1+1.4D1
	G1+G2+0.84V2+1.4D2
	G1+G2+0.84V3+1.4D3
	G1+G2+0.84V4+1.4D4
	G1+G2+1.4D1
	G1+G2+1.4D2
	G1+G2+1.4D3
	G1+G2+1.4D4
	G1+G2+1.4V1+0.84D1
	G1+G2+1.4V2+0.84D2
	G1+G2+1.4V3+0.84D3
	G1+G2+1.4V4+0.84D4
	G1+G2+1.5Q+0.84V1+0.84D1
	G1+G2+1.5Q+0.84V2+0.84D2
	G1+G2+1.5Q+0.84V3+0.84D3
	G1+G2+1.5Q+0.84V4+0.84D4
	G1+G2+1.5Q+1.4D1
	G1+G2+1.5Q+1.4D2
	G1+G2+1.5Q+1.4D3
	G1+G2+1.5Q+1.4D4
	G1+G2+1.5Q+D1
	G1+G2+1.5Q+D2
	G1+G2+1.5Q+D3

	$G1+G2+1.5Q+D4$ $G1+G2+D1$ $G1+G2+D2$ $G1+G2+D3$ $G1+G2+D4$
Fundações	$G1+G2+0.5Q+0.6V1+D1$ $G1+G2+0.5Q+0.6V2+D2$ $G1+G2+0.5Q+0.6V3+D3$ $G1+G2+0.5Q+0.6V4+D4$ $G1+G2+0.5Q+V1+0.6D1$ $G1+G2+0.5Q+V2+0.6D2$ $G1+G2+0.5Q+V3+0.6D3$ $G1+G2+0.5Q+V4+0.6D4$ $G1+G2+0.6V1+D1$ $G1+G2+0.6V2+D2$ $G1+G2+0.6V3+D3$ $G1+G2+0.6V4+D4$ $G1+G2+D1$ $G1+G2+D2$ $G1+G2+D3$ $G1+G2+D4$ $G1+G2+Q+0.6V1+0.6D1$ $G1+G2+Q+0.6V2+0.6D2$ $G1+G2+Q+0.6V3+0.6D3$ $G1+G2+Q+0.6V4+0.6D4$ $G1+G2+Q+D1$ $G1+G2+Q+D2$ $G1+G2+Q+D3$ $G1+G2+Q+D4$ $G1+G2+V1+0.6D1$ $G1+G2+V2+0.6D2$ $G1+G2+V3+0.6D3$ $G1+G2+V4+0.6D4$
ELS-Frequentes	$G1+G2+0.3Q+0.3V1$ $G1+G2+0.3Q+0.3V2$ $G1+G2+0.3Q+0.3V3$

	$G1+G2+0.3Q+0.3V4$ $G1+G2+0.3V1$ $G1+G2+0.3V2$ $G1+G2+0.3V3$ $G1+G2+0.3V4$ $G1+G2+0.4Q+D1$ $G1+G2+0.4Q+D2$ $G1+G2+0.4Q+D3$ $G1+G2+0.4Q+D4$ $G1+G2+D1$ $G1+G2+D2$ $G1+G2+D3$ $G1+G2+D4$
ELS-Quase perm.	$G1+G2+0.3Q+D1$ $G1+G2+0.3Q+D2$ $G1+G2+0.3Q+D3$ $G1+G2+0.3Q+D4$ $G1+G2+D1$ $G1+G2+D2$ $G1+G2+D3$ $G1+G2+D4$
ELS-Raras	$G1+G2+0.3V1+D1$ $G1+G2+0.3V2+D2$ $G1+G2+0.3V3+D3$ $G1+G2+0.3V4+D4$ $G1+G2+0.4Q+0.3V1+D1$ $G1+G2+0.4Q+0.3V2+D2$ $G1+G2+0.4Q+0.3V3+D3$ $G1+G2+0.4Q+0.3V4+D4$ $G1+G2+0.4Q+V1+0.3D1$ $G1+G2+0.4Q+V2+0.3D2$ $G1+G2+0.4Q+V3+0.3D3$ $G1+G2+0.4Q+V4+0.3D4$ $G1+G2+D1$ $G1+G2+D2$ $G1+G2+D3$

	$G1+G2+D4$
	$G1+G2+Q+0.3V1+0.3D1$
	$G1+G2+Q+0.3V2+0.3D2$
	$G1+G2+Q+0.3V3+0.3D3$
	$G1+G2+Q+0.3V4+0.3D4$
	$G1+G2+Q+D1$
	$G1+G2+Q+D2$
	$G1+G2+Q+D3$
	$G1+G2+Q+D4$
	$G1+G2+V1+0.3D1$
	$G1+G2+V2+0.3D2$
	$G1+G2+V3+0.3D3$
	$G1+G2+V4+0.3D4$

11 APÊNDICE B

Vento X+

Pavimento	Fachada (cm)	Fachada transv.(cm)	Nível (cm)	Altura relativa (cm)	Área de influência (m²)	S2	Coefficiente de arrasto	Forças (tf)	Forças transversais (tf)	Torção (kgf.m)	Momento tombamento (kgf.m)
Cobertura	1860.00	1720.00	1560.00	1630.00	28.46	0.98	1.13	1.73	0.00	0.00	28152.75
4º Pavimento	1860.00	1720.00	1254.00	1324.00	56.92	0.96	1.13	3.34	0.00	0.00	44162.65
3º Pavimento	1860.00	1720.00	948.00	1018.00	56.92	0.93	1.13	3.15	0.00	0.00	32057.79
2º Pavimento	1860.00	1720.00	642.00	712.00	56.92	0.90	1.13	2.90	0.00	0.00	20656.85
1º Pavimento	1860.00	1720.00	336.00	406.00	56.92	0.83	1.13	2.50	0.00	0.00	10145.85
Pavimento Térreo	1860.00	1720.00	30.00	100.00	32.18	0.39	1.13	0.32	0.00	0.00	318.18

Momento de tombamento total na base (kgf.m) = 135494.07

Força cortante total na base (tf) = 13.93

Vento X-

Tabela 24- Forças aplicadas vento X-Eberick

Pavimento	Fachada (cm)	Fachada transv.(cm)	Nível (cm)	Altura relativa (cm)	Área de influência (m²)	S2	Coefficiente de arrasto	Forças (tf)	Forças transversais (tf)	Torção (kgf.m)	Momento tombamento (kgf.m)
Cobertura	1860.00	1720.00	1560.00	1630.00	28.46	0.98	1.13	1.73	0.00	0.00	28152.75
4º Pavimento	1860.00	1720.00	1254.00	1324.00	56.92	0.96	1.13	3.34	0.00	0.00	44162.65
3º Pavimento	1860.00	1720.00	948.00	1018.00	56.92	0.93	1.13	3.15	0.00	0.00	32057.79
2º Pavimento	1860.00	1720.00	642.00	712.00	56.92	0.90	1.13	2.90	0.00	0.00	20656.85

o											
1º Pavimento	1860.00	1720.00	336.00	406.00	56.92	0.83	1.13	2.50	0.00	0.00	10145.85
Pavimento Térreo	1860.00	1720.00	30.00	100.00	32.18	0.39	1.13	0.32	0.00	0.00	318.18

Momento de tombamento total na base (kgf.m) = 135494.07

Força cortante total na base (tf) = 13.93

Vento Y+

Tabela 25- Forças aplicadas vento Y+Eberick

Pavimento	Fachada (cm)	Fachada transv.(cm)	Nível (cm)	Altura relativa (cm)	Área de influência (m²)	S2	Coefficiente de arrasto	Forças (tf)	Forças transversais (tf)	Torção (kgf.m)	Momento tombamento (kgf.m)
Cobertura	1720.00	1860.00	1560.00	1630.00	26.32	0.98	1.09	1.55	0.00	0.00	25213.39
4º Pavimento	1720.00	1860.00	1254.00	1324.00	52.63	0.96	1.09	2.99	0.00	0.00	39551.74
3º Pavimento	1720.00	1860.00	948.00	1018.00	52.63	0.93	1.09	2.82	0.00	0.00	28710.71
2º Pavimento	1720.00	1860.00	642.00	712.00	52.63	0.90	1.09	2.60	0.00	0.00	18500.12
1º Pavimento	1720.00	1860.00	336.00	406.00	52.63	0.83	1.09	2.24	0.00	0.00	9086.55
Pavimento Térreo	1720.00	1860.00	30.00	100.00	29.76	0.39	1.09	0.28	0.00	0.00	284.96

Momento de tombamento total na base (kgf.m) = 121347.47

Força cortante total na base (tf) = 12.48

Vento Y-

Tabela 26- Forças aplicadas vento Y-Eberick

Pavimento	Fachada (cm)	Fachada transv.(cm)	Nível (cm)	Altura relativa (cm)	Área de influência (m²)	S2	Coefficiente de arrasto	Forças (tf)	Forças transversais (tf)	Torção (kgf.m)	Momento tombamento (kgf.m)
-----------	--------------	---------------------	------------	----------------------	-------------------------	----	-------------------------	-------------	--------------------------	----------------	----------------------------

Cobertura	1720.00	1860.00	1560.00	1630.00	26.32	0.98	1.09	1.55	0.00	0.00	25213.39
4º Pavimento	1720.00	1860.00	1254.00	1324.00	52.63	0.96	1.09	2.99	0.00	0.00	39551.74
3º Pavimento	1720.00	1860.00	948.00	1018.00	52.63	0.93	1.09	2.82	0.00	0.00	28710.71
2º Pavimento	1720.00	1860.00	642.00	712.00	52.63	0.90	1.09	2.60	0.00	0.00	18500.12
1º Pavimento	1720.00	1860.00	336.00	406.00	52.63	0.83	1.09	2.24	0.00	0.00	9086.55
Pavimento Térreo	1720.00	1860.00	30.00	100.00	29.76	0.39	1.09	0.28	0.00	0.00	284.96

Momento de tombamento total na base (kgf.m) = 121347.47

Força cortante total na base (tf) = 12.48

Pavimento	Fachada (cm)	Fachada transv.(cm)	Nível (cm)	Altura relativa (cm)	Área de influência (m²)	S2	Coefficiente de arrasto	Forças (tf)	Forças transversais (tf)	Torção (kgf.m)	Momento tombamento (kgf.m)
Cobertura	1720.00	1860.00	1560.00	1630.00	26.32	0.98	1.09	1.55	0.00	0.00	25213.39
4º Pavimento	1720.00	1860.00	1254.00	1324.00	52.63	0.96	1.09	2.99	0.00	0.00	39551.74
3º Pavimento	1720.00	1860.00	948.00	1018.00	52.63	0.93	1.09	2.82	0.00	0.00	28710.71
2º Pavimento	1720.00	1860.00	642.00	712.00	52.63	0.90	1.09	2.60	0.00	0.00	18500.12
1º Pavimento	1720.00	1860.00	336.00	406.00	52.63	0.83	1.09	2.24	0.00	0.00	9086.55
Pavimento Térreo	1720.00	1860.00	30.00	100.00	29.76	0.39	1.09	0.28	0.00	0.00	284.96

Momento de tombamento total na base (kgf.m) = 121347.47

Força cortante total na base (tf) = 12.48

12 APÊNDICE C

1 Nível:

- Nome :
- Nível de referência : 3,36 (m)
- Fissura máxima : 0,40 (mm)
- Exposição : XC1
- Coeficiente de fluência do concreto : j_p = Nenhum resultado
- Classe do cimento : N
- Idade do concreto : 50 (anos)
- Idade do concreto (momento de carga) : 28 (dias)
- Idade do concreto após erguer uma estrutura : 365 (dias)
- Classe de estrutura : S3
- Classe de resistência ao fogo : sem requisitos

2

Viga: Viga45 VB1
Número de

elementos idênticos: 1

2.1 Propriedades de material:

- Concreto : C25 $f_{ck} = 25,00$ (MPa)
Distribuição de tensões retangulares [3.1.7(3)]
- Densidade : 2549,29 (kg/m³)
- Tamanho do agregado : 20,0 (mm)
- Armadura longitudinal: : CA-50 $f_{yk} = 500,00$ (MPa)
Ramificação horizontal do
- diagrama de tensão-esforço
- Classe de ductilidade : B
- Armadura transversal: : CA-60 $f_{yk} = 600,00$ (MPa)
Ramificação horizontal do
- diagrama de tensão-esforço
- Classe de ductilidade : B
- Armadura adicional: : CA-50 $f_{yk} = 500,00$ (MPa)
Ramificação horizontal do
- diagrama de tensão-esforço

2.2 Geometria:

2.2.1	Vão	Posição	Apoio esquerdo	L	Apoio direito
		(m)	(m)		
P1	Vão	0,50 2,68	0,14		
Comprimento do vão: $L_0 = 3,00$ (m)					
Seção de 0,00 até 2,68 (m)					

		14,0 x 35,0 (cm) sem laje esquerda sem laje direita				
2.2.2	Vão	Posição (m)	Apoio esquerdo (m)	L	Apoio direito	
P2	Vão	0,14 4,18	0,50			
Comprimento do vão:	$L_O = 4,50$ (m)					
Seção	de 0,00 até 4,18 (m)					
	14,0 x 35,0 (cm)					
	sem laje esquerda					
	sem laje direita					
2.2.3	Vão	Posição (m)	Apoio esquerdo (m)	L	Apoio direito	
P3	Vão	0,50 1,50	0,50			
Comprimento do vão:	$L_O = 2,00$ (m)					
Seção	de 0,00 até 1,50 (m)					
	14,0 x 35,0 (cm)					
	sem laje esquerda					
	sem laje direita					
2.2.4	Vão	Posição (m)	Apoio esquerdo (m)	L	Apoio direito	
P4	Vão	0,50 4,18	0,14			
Comprimento do vão:	$L_O = 4,50$ (m)					
Seção	de 0,00 até 4,18 (m)					
	14,0 x 35,0 (cm)					
	sem laje esquerda					
	sem laje direita					
2.2.5	Vão	Posição (m)	Apoio esquerdo (m)	L	Apoio direito	
P5	Vão	0,14 2,68	0,50			
Comprimento do vão:	$L_O = 3,00$ (m)					
Seção	de 0,00 até 2,68 (m)					
	14,0 x 35,0 (cm)					
	sem laje esquerda					
	sem laje direita					

2.3 Opções de cálculo:

- Regulagem das combinações : EN 1990:2002/AC:2010 (Eq.6.10)
- Cálculos de acordo com : EN 1992-1-1:2004/A1:2014
- Disposições sísmicas : Sem requisitos
- Viga pré-moldada : não
- Cobrimento : fundo c = 3,0 (cm)

- Desvios de cobrimento : lado $c1 = 3,0$ (cm)
- Coeficiente $b2 = 0.50$: superior $c2 = 3,0$ (cm)
- Método de cálculos de cisalhamento : $Cdev = 1,0$ (cm), $Cdur = 0,0$ (cm)
- : carga de longo prazo ou cíclica
- : inclinação da biela

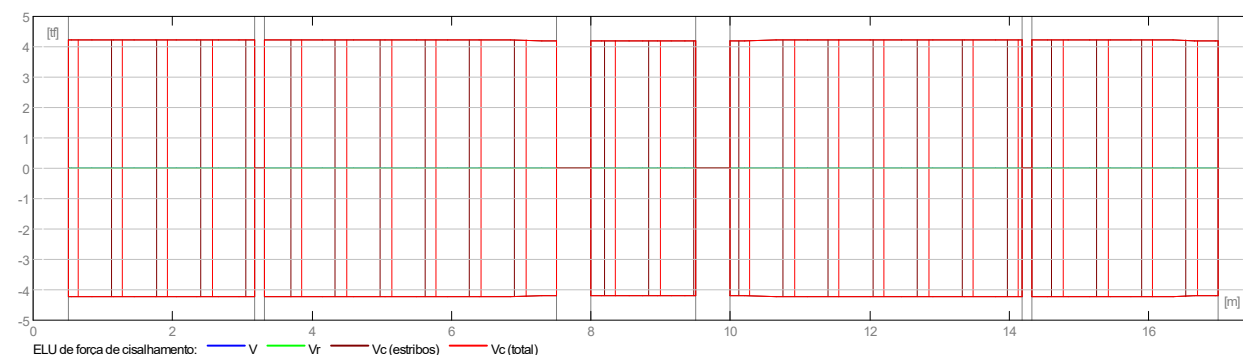
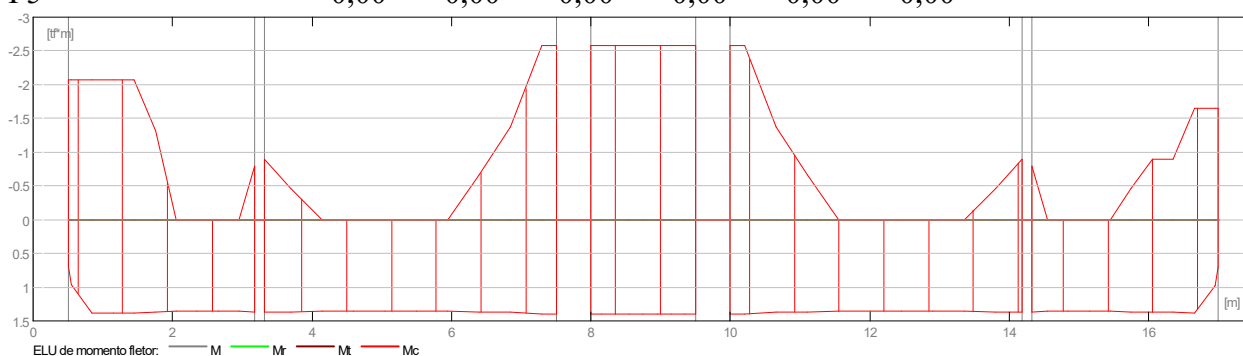
2.4 Resultados do cálculo:

Condição do ambiente. A deflexão não satisfaz os requisitos da norma. Vão nº 2 Fator de segurança: 0,90

Condição do ambiente. A deflexão não satisfaz os requisitos da norma. Vão nº 4 Fator de segurança: 0,96

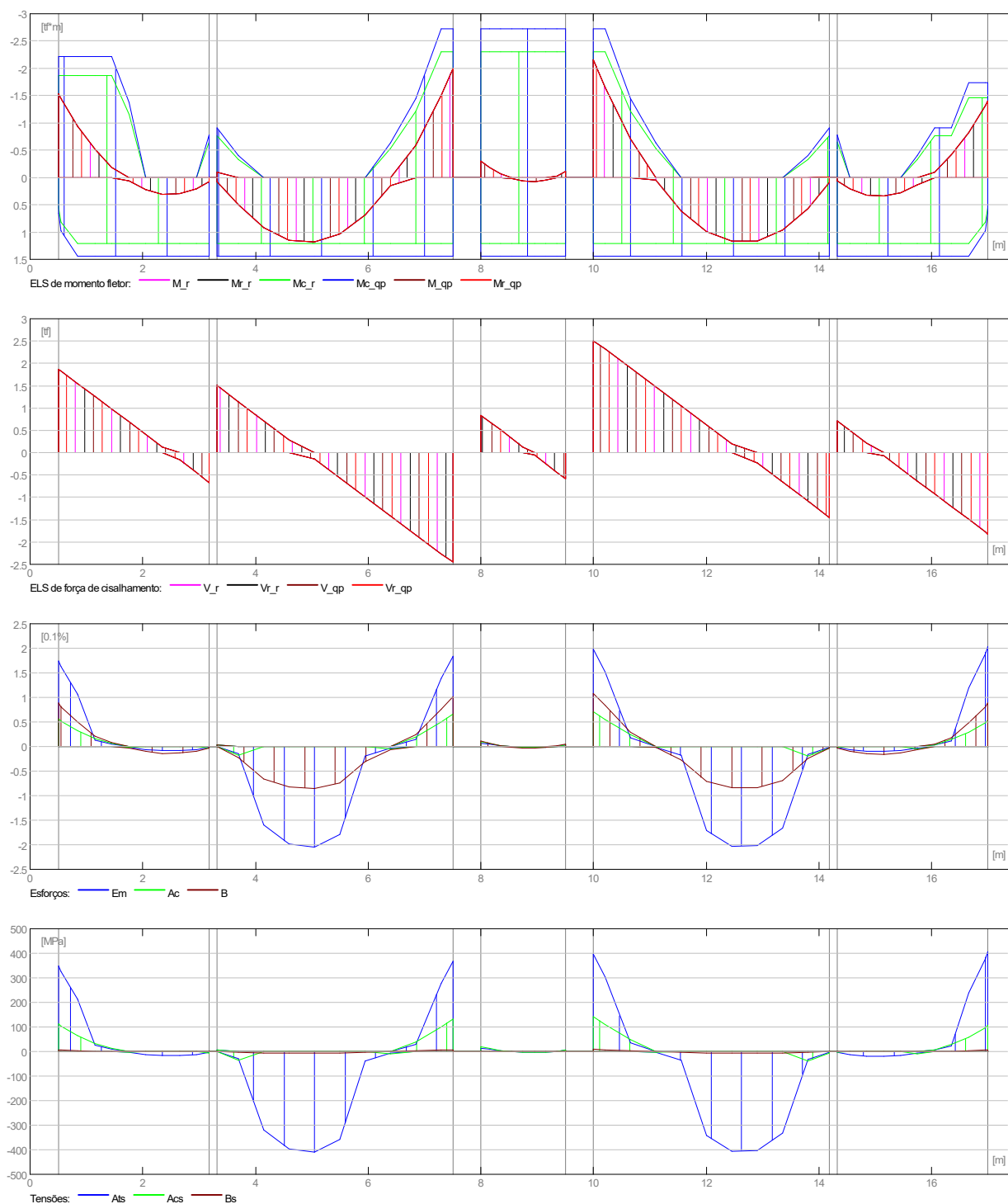
2.4.1 Forças internas em ELU

Vão (tf*m)	Mt máx. (tf*m)	Mt mín. (tf*m)	MI (tf*m)	Mr (tf)	Ql (tf)	Qr
P1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
P2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
P3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
P4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
P5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00



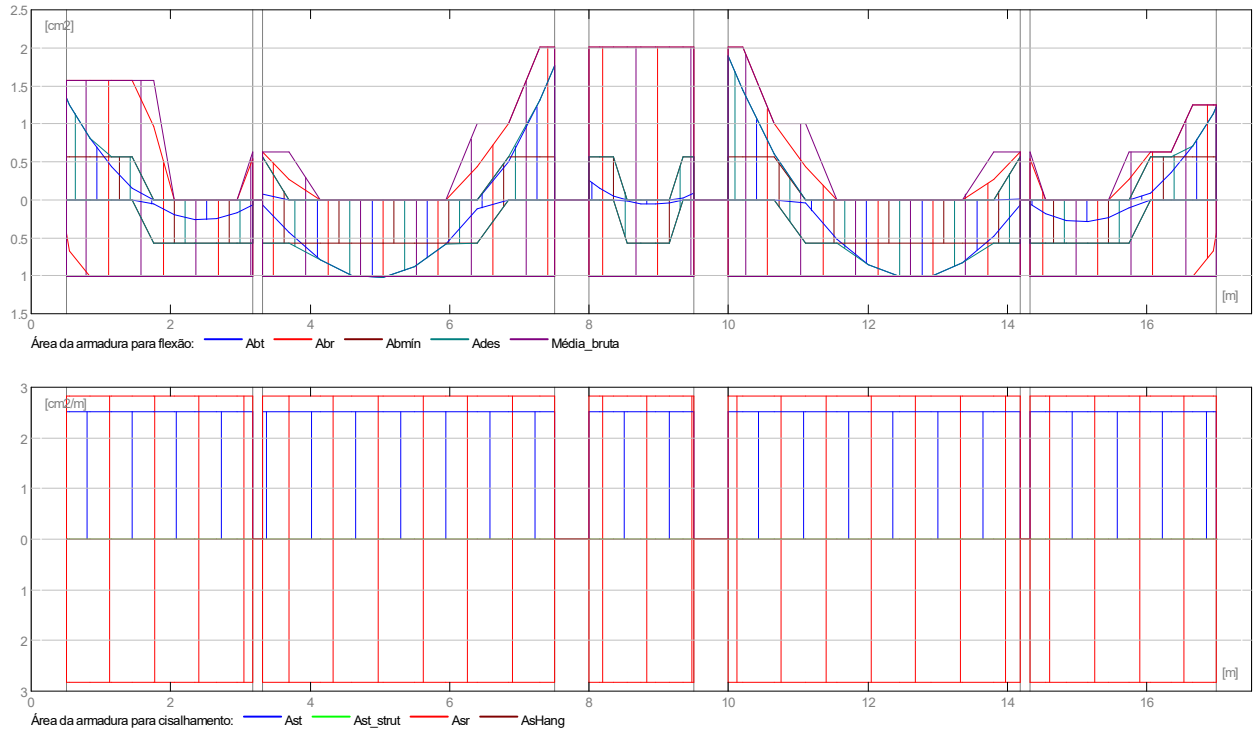
2.4.2 Forças internas no ELS

Vão (tf*m)	Mt máx. (tf*m)	Mt mín. (tf*m)	MI (tf*m)	Mr (tf)	Ql (tf)	Qr
P1	0,31	-0,18	-1,54	0,08	1,87	-0,66
P2	1,19	0,00	-0,09	-2,00	1,50	-2,45
P3	0,07	0,00	-0,30	-0,10	0,84	-0,58
P4	1,17	0,00	-2,16	0,09	2,51	-1,45
P5	0,34	-0,10	0,06	-1,41	0,72	-1,82



2.4.3 Área de armadura necessária

Vão	Vão (cm ²)		Apoio esquerdo (cm ²)		Apoio direito (cm ²)	
	fundo	superior	fundo	superior	fundo	superior
P1	0,26	0,00	0,00	1,34	0,06	0,00
P2	1,02	0,00	0,06	0,08	0,00	1,76
P3	0,06	0,00	0,00	0,25	0,00	0,09
P4	1,01	0,00	0,00	1,90	0,07	0,01
P5	0,29	0,00	0,05	0,00	0,00	1,22



2.4.4 Deflexão e fissura

wt(QP) Total devido à combinação quase permanente

wt(QP)dop Tolerável devido à combinação quase permanente

Dwt(QP) Incremento de flecha da combinação de carga quase permanente após erguer uma estrutura.

Dwt(QP)dop Incremento de flecha admissível da combinação de carga quase permanente após erguer uma estrutura.

wk - largura das fissuras perpendiculares

Vão (cm)	wt(QP) (cm)	wt(QP)dop (cm)	Dwt(QP) (cm)	Dwt(QP)dop (mm)	wk
P1	0,0	1,2	0,0	0,6	0,3
P2	1,0	1,8	1,0	0,9	0,4
P3	0,0	0,8	0,0	0,4	0,3
P4	0,9	1,8	0,9	0,9	0,4
P5	0,0	1,2	0,0	0,6	0,3

2.5 Resultados teóricos - resultados detalhados:

2.5.1 P1 : Vão de 0,50 até 3,18 (m)

Abscissa (m)	ELU		ELS		A fundo (cm²)	A superior (cm²)
	M máx. (tf*m)	M mín. (tf*m)	M máx. (tf*m)	M mín. (tf*m)		
0,50	0,00	0,00	0,00	-1,54	0,00	1,34
0,55	0,00	0,00	0,00	-1,44	0,00	1,25
0,85	0,00	0,00	0,00	-0,94	0,00	0,81
1,15	0,00	0,00	0,00	-0,52	0,00	0,44
1,45	0,00	0,00	0,00	-0,18	0,00	0,15
1,75	0,00	0,00	0,07	0,00	0,05	0,00
2,05	0,00	0,00	0,23	0,00	0,19	0,00

2,35	0,00	0,00	0,31	0,00	0,26	0,00
2,65	0,00	0,00	0,30	0,00	0,25	0,00
2,95	0,00	0,00	0,21	0,00	0,18	0,00
3,18	0,00	0,00	0,08	0,00	0,06	0,00

Abscissa (m)	ELU	ELS	afp (mm)
	V máx. (tf)	V máx. (tf)	
0,50	0,00	1,87	0,3
0,55	0,00	1,82	0,3
0,85	0,00	1,54	0,2
1,15	0,00	1,26	0,0
1,45	0,00	0,97	0,0
1,75	0,00	0,69	0,0
2,05	0,00	0,40	0,0
2,35	0,00	0,12	0,0
2,65	0,00	-0,16	0,0
2,95	0,00	-0,45	0,0
3,18	0,00	-0,66	0,0

2.5.2 P2 : Vão de 3,32 até 7,50 (m)

Abscissa (m)	ELU		ELS		A fundo (cm2)	A superior (cm2)
	M máx. (tf*m)	M mín. (tf*m)	M máx. (tf*m)	M mín. (tf*m)		
3,32	0,00	0,00	0,08	-0,09	0,06	0,08
3,70	0,00	0,00	0,50	0,00	0,43	0,00
4,15	0,00	0,00	0,92	0,00	0,79	0,00
4,60	0,00	0,00	1,15	0,00	0,99	0,00
5,05	0,00	0,00	1,19	0,00	1,02	0,00
5,50	0,00	0,00	1,03	0,00	0,89	0,00
5,95	0,00	0,00	0,68	0,00	0,58	0,00
6,40	0,00	0,00	0,14	0,00	0,12	0,00
6,85	0,00	0,00	0,00	-0,59	0,00	0,50
7,30	0,00	0,00	0,00	-1,51	0,00	1,31
7,50	0,00	0,00	0,00	-2,00	0,00	1,76

Abscissa (m)	ELU	ELS	afp (mm)
	V máx. (tf)	V máx. (tf)	
3,32	0,00	1,50	0,0
3,70	0,00	1,14	0,0
4,15	0,00	0,72	0,3
4,60	0,00	0,29	0,4
5,05	0,00	-0,13	0,4
5,50	0,00	-0,56	0,3
5,95	0,00	-0,98	0,0
6,40	0,00	-1,41	0,0
6,85	0,00	-1,84	0,0
7,30	0,00	-2,26	0,2
7,50	0,00	-2,45	0,3

2.5.3 P3 : Vão de 8,00 até 9,50 (m)

Abscissa (m)	ELU		ELS		A fundo (cm2)	A superior (cm2)
	M máx. (tf*m)	M mín. (tf*m)	M máx. (tf*m)	M mín. (tf*m)		
8,00	0,00	0,00	0,00	-0,30	0,00	0,25
8,15	0,00	0,00	0,00	-0,18	0,00	0,15
8,35	0,00	0,00	0,00	-0,06	0,00	0,05
8,55	0,00	0,00	0,02	0,00	0,02	0,00
8,75	0,00	0,00	0,07	0,00	0,05	0,00
8,95	0,00	0,00	0,07	0,00	0,06	0,00
9,15	0,00	0,00	0,04	0,00	0,04	0,00
9,35	0,00	0,00	0,00	-0,03	0,00	0,02
9,50	0,00	0,00	0,00	-0,10	0,00	0,09

Abscissa (m)	ELU	ELS	afp (mm)
	V máx. (tf)	V máx. (tf)	
8,00	0,00	0,84	0,0
8,15	0,00	0,70	0,0
8,35	0,00	0,51	0,0

8,55	0,00	0,32	0,0
8,75	0,00	0,13	0,0
8,95	0,00	-0,06	0,0
9,15	0,00	-0,25	0,0
9,35	0,00	-0,44	0,0
9,50	0,00	-0,58	0,0

2.5.4 P4 : Vão de 10,00 até 14,18 (m)

Abscissa (m)	ELU		ELS		A fundo (cm ²)	A superior (cm ²)
	M máx. (tf*m)	M mín. (tf*m)	M máx. (tf*m)	M mín. (tf*m)		
10,00	0,00	0,00	0,00	-2,16	0,00	1,90
10,20	0,00	0,00	0,00	-1,65	0,00	1,44
10,65	0,00	0,00	0,00	-0,70	0,00	0,60
11,10	0,00	0,00	0,05	0,00	0,04	0,00
11,55	0,00	0,00	0,62	0,00	0,53	0,00
12,00	0,00	0,00	0,99	0,00	0,85	0,00
12,45	0,00	0,00	1,17	0,00	1,01	0,00
12,90	0,00	0,00	1,16	0,00	1,00	0,00
13,35	0,00	0,00	0,96	0,00	0,83	0,00
13,80	0,00	0,00	0,57	0,00	0,48	0,00
14,18	0,00	0,00	0,09	-0,02	0,07	0,01

Abscissa (m)	ELU		afp (mm)
	V máx. (tf)	V máx. (tf)	
10,00	0,00	2,51	0,3
10,20	0,00	2,32	0,2
10,65	0,00	1,89	0,0
11,10	0,00	1,47	0,0
11,55	0,00	1,04	0,0
12,00	0,00	0,62	0,3
12,45	0,00	0,19	0,4
12,90	0,00	-0,24	0,4
13,35	0,00	-0,66	0,3
13,80	0,00	-1,09	0,0
14,18	0,00	-1,45	0,0

2.5.5 P5 : Vão de 14,32 até 17,00 (m)

Abscissa (m)	ELU		ELS		A fundo (cm ²)	A superior (cm ²)
	M máx. (tf*m)	M mín. (tf*m)	M máx. (tf*m)	M mín. (tf*m)		
14,32	0,00	0,00	0,06	0,00	0,05	0,00
14,55	0,00	0,00	0,21	0,00	0,18	0,00
14,85	0,00	0,00	0,32	0,00	0,27	0,00
15,15	0,00	0,00	0,34	0,00	0,29	0,00
15,45	0,00	0,00	0,28	0,00	0,23	0,00
15,75	0,00	0,00	0,13	0,00	0,11	0,00
16,05	0,00	0,00	0,00	-0,10	0,00	0,08
16,35	0,00	0,00	0,00	-0,42	0,00	0,36
16,65	0,00	0,00	0,00	-0,82	0,00	0,71
16,95	0,00	0,00	0,00	-1,31	0,00	1,14
17,00	0,00	0,00	0,00	-1,41	0,00	1,22

Abscissa (m)	ELU		afp (mm)
	V máx. (tf)	V máx. (tf)	
14,32	0,00	0,72	0,0
14,55	0,00	0,50	0,0
14,85	0,00	0,22	0,0
15,15	0,00	-0,07	0,0
15,45	0,00	-0,35	0,0
15,75	0,00	-0,64	0,0
16,05	0,00	-0,92	0,0
16,35	0,00	-1,20	0,0
16,65	0,00	-1,49	0,2
16,95	0,00	-1,77	0,3
17,00	0,00	-1,82	0,3

2.6 Armadura:

2.6.1 P1 : Vão de 0,50 até 3,18 (m)

Armadura longitudinal:

- montagem (superior) (CA-50)
2 $\phi 8$ $l = 2,35$ de 1,29 até 3,64
- apoio (CA-50)
2 $\phi 10$ $l = 1,98$ de 0,03 até 2,01

Armadura transversal:

- principal (CA-60)
estribos 34 $\phi 3.8$ $l = 0,84$
 $e = 1*0,02 + 33*0,08$ (m)

2.6.2 P2 : Vão de 3,32 até 7,50 (m)

Armadura longitudinal:

- montagem (superior) (CA-50)
2 $\phi 8$ $l = 3,62$ de 3,24 até 6,86
- apoio (CA-50)
2 $\phi 6.3$ $l = 0,85$ de 2,96 até 3,81

Armadura transversal:

- principal (CA-60)
estribos 53 $\phi 3.8$ $l = 0,84$
 $e = 1*0,01 + 52*0,08$ (m)

2.6.3 P3 : Vão de 8,00 até 9,50 (m)

Armadura longitudinal:

- fundo (CA-50)
2 $\phi 8$ $l = 16,70$ de 0,40 até 17,10
- apoio (CA-50)
2 $\phi 8$ $l = 4,98$ de 6,26 até 11,24
2 $\phi 8$ $l = 3,61$ de 6,97 até 10,58

Armadura transversal:

- principal (CA-60)
estribos 19 $\phi 3.8$ $l = 0,84$
 $e = 1*0,03 + 18*0,08$ (m)

2.6.4 P4 : Vão de 10,00 até 14,18 (m)

Armadura longitudinal:

- montagem (superior) (CA-50)
2 $\phi 8$ $l = 3,62$ de 10,64 até 14,26
- apoio (CA-50)
2 $\phi 6.3$ $l = 0,85$ de 13,69 até 14,54

Armadura transversal:

- principal (CA-60)
estribos 53 $\phi 3.8$ $l = 0,84$
 $e = 1*0,01 + 52*0,08$ (m)

2.6.5 P5 : Vão de 14,32 até 17,00 (m)

Armadura longitudinal:

- montagem (superior) (CA-50)
2 $\phi 8$ $l = 2,35$ de 13,86 até 16,21
- apoio (CA-50)
2 $\phi 6.3$ $l = 1,72$ de 15,64 até 17,36
2 $\phi 6.3$ $l = 1,00$ de 16,36 até 17,36

Armadura transversal:

- principal (CA-60)

estribos 34 ϕ 3.8 l = 0,84
 $e = 1*0,02 + 33*0,08$ (m)

3 Levantamento de materiais:

- Volume de concreto = 0,86 (m³)
- Gabarito = 14,48 (m²)
- Aço CA-50
 - Peso total= 33,99 (kG)
 - Densidade = 39,64 (kG/m³)
 - Diâmetro médio = 7,9 (mm)
 - Levantamento de acordo com os diâmetros:

Diâmetro (mm)	Comprimento		Peso	Número	Peso total
	(m)	(kG)	(Nº)		(kG)
6.3	0,85	0,21	4		0,83
6.3	1,00	0,25	2		0,49
6.3	1,72	0,42	2		0,84
8	2,35	0,93	4		3,71
8	3,61	1,42	2		2,85
8	3,62	1,43	4		5,72
8	4,98	1,96	2		3,93
8	16,70	6,59	2		13,18
10	1,98	1,22	2		2,45

- Aço CA-60
 - Peso total= 14,36 (kG)
 - Densidade = 16,75 (kG/m³)
 - Diâmetro médio = 3,8 (mm)
 - Levantamento de acordo com os diâmetros:

Diâmetro (mm)	Comprimento		Peso	Número	Peso total
	(m)	(kG)	(Nº)		(kG)
3.8	0,84	0,07	193		14,36