

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

Lauren Marcon Pinheiro

**O USO DO AUTODESK ROBOT STRUCTURAL ANALYSIS E DO
REVIT PARA O DIMENSIONAMENTO DE UMA EDIFICAÇÃO EM
CONCRETO ARMADO**

Santa Maria, RS

2022

Lauren Marcon Pinheiro

**O USO DO AUTODESK ROBOT STRUCTURAL ANALYSIS E DO REVIT PARA O
DIMENSIONAMENTO DE UMA EDIFICAÇÃO EM CONCRETO ARMADO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Graduação
em Engenharia Civil da Universidade
Federal de Santa Maria (UFSM, RS),
como requisito parcial para obtenção
do título de **Engenheiro Civil**.

Orientador: Prof. Dr. André Lübeck

Santa Maria, RS

2022

Lauren Marcon Pinheiro

**O USO DO AUTODESK ROBOT STRUCTURAL ANALYSIS E DO REVIT PARA O
DIMENSIONAMENTO DE UMA EDIFICAÇÃO EM CONCRETO ARMADO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Graduação em
Engenharia Civil da Universidade Federal de
Santa Maria (UFSM, RS), como requisito
parcial para obtenção do título de
Engenheiro Civil.

Aprovado em 23 de fevereiro de 2022

André Lübeck, Prof. Dr. Eng. (UFSM)
(Presidente/Orientador)

Almir Barros da Silva Santos Neto, Prof. Dr. Eng. (UFSM)

Eduardo da Luz Sonda, Engenheiro Civil

Santa Maria, RS

2022

AGRADECIMENTOS

Um agradecimento especial aos meus pais e minha irmã, Almir, Liange e Tammy por sempre terem me dado forças para não desistir do meu sonho de me formar em Engenharia Civil na Universidade Federal de Santa Maria. Foi uma longa jornada até este momento então sou muito grata por todo apoio e amor que me deram.

Agradeço ao meu namorado Rafael, por ter me dado todo suporte necessário nos meus últimos semestres de faculdade, que por terem sido à distância foram um enorme desafio. Pela paciência, compreensão e carinho nos momentos difíceis, por sempre acreditar em mim e não medir esforços para me incentivar a evoluir todos os dias.

Ao meu melhor amigo Cláudio, por sempre estar do meu lado em todas as situações. Por ter sido minha dupla de trabalhos, de festas e principalmente por ser um irmão para mim e ter tornado os meus anos de faculdade inesquecíveis.

Agradeço ao Professor André por ter aceitado ser meu orientador, me auxiliar nesta reta final e também aos demais professores do curso de Engenharia Civil por todos os ensinamentos e momentos bons compartilhados.

RESUMO

O USO DO AUTODESK ROBOT STRUCTURAL ANALYSIS E DO REVIT PARA O DIMENSIONAMENTO DE UMA EDIFICAÇÃO EM CONCRETO ARMADO

AUTORA: Lauren Marcon Pinheiro

ORIENTADOR: André Lübeck

Com a evolução da informática nas últimas décadas, diversas áreas da engenharia civil foram beneficiadas, entre elas a de cálculo estrutural. O avanço de modelos estruturais simplificados para modelos mais complexos, como o de pórtico espacial, na grande maioria das vezes, tendo sua análise estrutural completa sendo processada em poucos minutos é um exemplo disso. Essa velocidade no processamento da análise estrutural se faz presente em todas as etapas do projeto, tais como lançamento da estrutura e suas cargas, dimensionamento e detalhamento. Juntamente com as novas tecnologias disseminou-se o uso do BIM (*Building Information Modeling*) que é uma metodologia, que pode ser definida como uma tecnologia de modelagem e um conjunto de processos para produzir, comunicar e analisar modelos de construção. Este trabalho tem como objetivo demonstrar, por etapas, a realização do dimensionamento e detalhamento de uma edificação de pequeno porte, em concreto armado, com uso conjunto dos *softwares Robot Structural Analysis Professional* e *Revit*, ambos desenvolvidos pela Autodesk, nas versões 2021. Para isso, o *software Robot* foi configurado de acordo com a ABNT NBR 6118/2014 com a criação dos materiais e tabela de armaduras. A modelagem da estrutura foi realizada no *Revit* e o modelo analítico exportado ao *Robot*, evidenciando a interoperabilidade entre os *softwares*. Após o dimensionamento dos elementos, o detalhamento da armadura das vigas e pilares foi realizado no *Revit* através do *plugin Naviate*. Com isso, obteve-se as plantas de forma de vigas e pilares do projeto estrutural, as plantas de detalhamento e tabelas do consumo de materiais.

Palavras-chave: Análise estrutural. BIM. *Robot*. *Revit*.

ABSTRACT

THE USE OF AUTODESK ROBOT STRUCTURAL ANALYSIS AND REVIT FOR SIZING A BUILDING IN REINFORCED CONCRETE

AUTHOR: Lauren Marcon Pinheiro

ADVISOR: André Lübeck

With the evolution of information technology in recent decades, several areas of civil engineering have benefited, including structural calculation. The advancement of simplified structural models to more complex models, such as the spatial frame, in most cases, having its complete structural analysis processed in a few minutes is an example of this. This speed in the processing of structural analysis is present in all stages of the project, such as launching the structure and its loads, dimensioning and detailing. Along with new technologies, the use of BIM (Building Information Modeling) has spread, which is a methodology, which can be defined as a modeling technology and a set of processes to produce, communicate and analyze construction models. This work aims to demonstrate, in stages, the design and detailing of a small building, in reinforced concrete, with the joint use of Robot Structural Analysis Professional and Revit software, both developed by Autodesk, in versions 2021. , the Robot software was configured according to ABNT NBR 6118/2014 with the creation of materials and reinforcement table. The structure modeling was performed in Revit and the analytical model was exported to Robot, demonstrating the interoperability between the software. After dimensioning the elements, the reinforcement detailing of the beams and columns was performed in Revit through the Naviate plugin. With this, we obtained the shape plans of beams and pillars of the structural design, the detailing plants and tables of the consumption of materials.

Keywords: Structural Analysis. BIM. Robot. Revit.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Representação e propriedades analíticas de um pilar.....	15
FIGURA 2 – Ajuste de um vínculo analítico.....	16
FIGURA 3 – Planta baixa do projeto arquitetônico.....	18
FIGURA 4 – Tela inicial do <i>Robot</i>	19
FIGURA 5 – Alteração das unidades de medida.....	20
FIGURA 6 – Modificação dos materiais.....	20
FIGURA 7 – Criação do Aço CA-50.....	21
FIGURA 8 – Criação do Aço CA-60.....	22
FIGURA 9 – Criação do concreto C25.....	22
FIGURA 10 – Criação do concreto C30.....	23
FIGURA 11 – Definição do código.....	24
FIGURA 12 – Banco de dados EHE.....	24
FIGURA 13 – Criação de um novo banco de dados.....	25
FIGURA 14 – Edição da tabela de armaduras.....	26
FIGURA 15 – Alteração das definições de armaduras.....	26
FIGURA 16 – Continuação das definições das armaduras.....	27
FIGURA 17 – Alteração das fórmulas para o comprimento do gancho.....	28
FIGURA 18 – Finalização da configuração da tabela de armaduras.....	28
FIGURA 19 – Inserção dos pilares.....	29
FIGURA 20 – Lançamento das vigas.....	30
FIGURA 21 – Habilitação do modelo analítico.....	31
FIGURA 22 – Ajuste do modelo analítico.....	32
FIGURA 23 – Vinculação da modelagem com o <i>Robot</i>	32
FIGURA 24 – Caixa de diálogo da vinculação.....	33
FIGURA 25 – Modelo estrutural no <i>Revit</i> e <i>Robot</i>	33
FIGURA 26 – Ícone “apoios”.....	34
FIGURA 27 – Inserção dos apoios nos pilares/colunas.....	34
FIGURA 28 – Atribuindo a classe de concreto aos elementos estruturais.....	35
FIGURA 29 – Criação de nova espessura de laje.....	36
FIGURA 30 – Finalização da criação da laje.....	36
FIGURA 31 – Modelagem das lajes.....	37
FIGURA 32 – Processamento da estrutura para verificar a existência de erros.....	38
FIGURA 33 – Aba “Cargas”.....	39
FIGURA 34 – Criação das cargas.....	40
FIGURA 35 – Seleção do tipo de carga.....	41
FIGURA 36 – Inserção da sobrecarga na laje.....	41
FIGURA 37 – Visualização da carga.....	42
FIGURA 38 – Tabela de cargas.....	42
FIGURA 39 – Combinações manuais.....	43
FIGURA 40 – Fator de majoração das cargas.....	44
FIGURA 41 – Visualização das reações nos apoios.....	45
FIGURA 42 – Parâmetros de norma nas vigas.....	46
FIGURA 43 – Parâmetros de cálculo nas vigas.....	46
FIGURA 44 – Definição do parâmetro de cálculo (vigas).....	47
FIGURA 45 – Armadura Longitudinal no parâmetro de cálculo.....	48

FIGURA 46 – Armadura transversal no parâmetro de cálculo.....	49
FIGURA 47 – Dimensionamento de uma viga.....	50
FIGURA 48 – Combinação manual e apoios.....	50
FIGURA 49 – Parâmetros de andar.....	51
FIGURA 50 – Opções de cálculo.....	52
FIGURA 51 – Opções de cálculo (concreto).....	52
FIGURA 52 – Opções de cálculo (armadura longitudinal).....	53
FIGURA 53 – Opções de cálculo (armadura transversal).....	54
FIGURA 54 – Opções de cálculo (armadura adicional).....	54
FIGURA 55 – Padrão de armadura (geral).....	55
FIGURA 56 – Padrão de armadura (armadura transversal).....	56
FIGURA 57 – Padrão de armadura (formatos).....	56
FIGURA 58 – Parâmetros atribuídos a viga.....	57
FIGURA 59 – Erros de cálculo na viga.....	58
FIGURA 60 – Alteração da seção da viga.....	58
FIGURA 61 – Recálculo da viga.....	59
FIGURA 62 – Modificação da armadura.....	60
FIGURA 63 – Nota de cálculo viga.....	60
FIGURA 64 – Diagrama de esforço cortante e momento fletor.....	61
FIGURA 65 – Escolha manual da armadura.....	62
FIGURA 66 – Modelo de estrutura.....	63
FIGURA 67 – Andar dos pilares.....	63
FIGURA 68 – Parâmetros de norma nos pilares.....	64
FIGURA 69 – Parâmetro de cálculo nos pilares.....	65
FIGURA 70 – Combinação manual para os pilares.....	65
FIGURA 71 – Fator de majoração das cargas nos pilares.....	66
FIGURA 72 – Dimensionamento do pilar.....	67
FIGURA 73 – Parâmetros de andar (pilar).....	67
FIGURA 74 – Opções de cálculo pilares (geral).....	68
FIGURA 75 – Opções de cálculo pilares (concreto).....	69
FIGURA 76 – Opções de cálculo pilares (arm. longitudinal).....	69
FIGURA 77 – Opções de cálculo pilares (arm. transversal).....	70
FIGURA 78 – Padrão de armadura nos pilares (barras longitudinais).....	71
FIGURA 79 – Padrão de armadura nos pilares (barras transversais).....	71
FIGURA 80 – Padrão de armadura nos pilares (barras de espera).....	72
FIGURA 81 – Comprimento de flambagem.....	73
FIGURA 82 – Iniciando o cálculo do pilar.....	73
FIGURA 83 – Resultados do cálculo do pilar.....	74
FIGURA 84 – Notas de cálculo pilar.....	75
FIGURA 85 – Alteração da seção do pilar.....	76
FIGURA 86 – Alteração da armadura do pilar.....	76
FIGURA 87 – Iniciando o <i>Naviate</i>	77
FIGURA 88 – Edição da armadura automática.....	78
FIGURA 89 – Armadura transversal (estribos).....	79
FIGURA 90 – Espaçamento dos estribos nas vigas.....	80
FIGURA 91 – Detalhamento da armadura longitudinal da viga.....	81
FIGURA 92 – Armadura superior adicional.....	82

FIGURA 93 – <i>Naviate</i> para armadura do pilar.....	82
FIGURA 94 – Edição da armadura automática (pilar).....	83
FIGURA 95 – Detalhamento da armadura longitudinal do pilar.....	83
FIGURA 96 – Espaçamento dos estribos no pilar.....	84
FIGURA 97 – Transpasse da armadura.....	85
FIGURA 98 – Planta de forma do térreo.....	86
FIGURA 99 – Modelo 3D da armadura da viga.....	87
FIGURA 100 – Detalhamento longitudinal da viga.....	87
FIGURA 101 – Modelo 3D da armadura do pilar.....	88
FIGURA 102 – Detalhamento longitudinal do pilar.....	89

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Quantitativo de aço.....	89
TABELA 2 – Quantitativo de material da viga.....	90
TABELA 3 – Quantitativo de material do pilar.....	90

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	JUSTIFICATIVA.....	12
1.2	OBJETIVOS.....	13
1.2.1	Objetivo Geral	13
1.2.2	Objetivos Específicos	13
2	REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO	14
2.1	<i>SOFTWARES AUTODESK ROBOT STRUCTURAL ANALYSIS E AUTODESK REVIT</i>	14
2.2	MODELAGEM DA ESTRUTURA EM BIM.....	14
2.3	COMPARATIVO ENTRE AS NORMAS ANBT NBR 6118:2014 E EN 1992-1-1:2004/A1:2014.....	16
3	METODOLOGIA	18
3.1	INICIANDO O <i>ROBOT STRUCTURAL ANALYSIS 2021</i>	19
3.2	CONFIGURAÇÃO DAS UNIDADES E DOS MATERIAIS.....	19
3.3	DEFINIÇÃO DAS BARRAS DE ARMADURAS.....	24
3.4	MODELAGEM DA ESTRUTURA - <i>SOFTWARE AUTODESK REVIT 2021</i>	29
3.5	EXPORTAÇÃO DO MODELO PARA O <i>ROBOT</i>	32
3.6	DIMENSIONAMENTO DA ESTRUTURA - <i>SOFTWARE AUTODESK ROBOT STRUCTURAL ANALYSIS 2021</i>	33
3.6.1	Modelagem das lajes	35
3.6.2	Criação de cargas	38
3.6.3	Cálculo das vigas	45
3.6.4	Cálculo dos pilares	62
3.7	DETALHAMENTO DA ESTRUTURA – <i>SOFTWARE AUTODESK REVIT 2021</i>	77
4	RESULTADOS	86
4.1	PLANTA DE FORMA.....	86
4.2	DETALHAMENTO DA VIGA.....	18
4.3	DETALHAMENTO DO PILAR.....	18
4.4	QUANTITATIVO.....	18
5	CONCLUSÃO	91
	REFERÊNCIAS	92

ANEXO A – NOTA DE CÁLCULO VIGA.....	93
ANEXO B – NOTA DE CÁLCULO PILAR.....	100

1 INTRODUÇÃO

Com a evolução da informática nas últimas décadas, diversas áreas da engenharia civil foram beneficiadas, entre elas a de cálculo estrutural. O avanço de modelos estruturais simplificados para modelos mais complexos, como o de pórtico espacial, na grande maioria das vezes, tendo sua análise estrutural completa sendo processada em poucos minutos é um exemplo disso. Essa velocidade no processamento da análise estrutural se faz presente em todas as etapas do projeto, tais como lançamento da estrutura e suas cargas, dimensionamento e detalhamento.

Segundo Kimura (2018), “a informática alterou a forma como os conceitos de Engenharia são colocados em prática”, tanto que atualmente grande parte dos projetos estruturais possuem ao menos uma de suas etapas realizada com uso de programas computacionais (*softwares*). Entretanto, um ponto importante a ser ressaltado é que o conhecimento teórico e experiência do engenheiro, são fundamentais para a conferência dos principais resultados de maneira a obter um projeto seguro e eficiente, evitando erros grosseiros.

Logo, o uso de *softwares* de cálculo, quando feito de forma responsável, apresentará inúmeras vantagens para o projeto, tais como produtividade e qualidade, resultando em uma estrutura muito mais eficiente, otimizada e segura.

Juntamente com as novas tecnologias disseminou-se o uso do BIM (*Building Information Modeling*) que é uma metodologia, que segundo o Eastman (2021) pode ser definido como uma tecnologia de modelagem e um conjunto de processos para produzir, comunicar e analisar modelos de construção. Através de softwares BIM podemos compatibilizar todas as disciplinas envolvidas na construção de uma edificação, como projeto arquitetônico, hidrossanitário, elétrico, estrutural entre outros. A principal função da compatibilização de projetos é reduzir ou até mesmo eliminar interferências físicas e perdas de funcionalidade de uma edificação, o que evita aumento no orçamento da obra, atrasos no cronograma e desperdício de tempo.

1.1 JUSTIFICATIVA

Além da segurança, outro fator importante dos projetos é a produtividade, pois os profissionais de engenharia necessitam finalizar seus serviços no menor prazo possível e dentro de um orçamento acessível. Logo, o surgimento de *softwares* para cálculo estrutural contribuiu para o projetista alcançar todos esses requisitos, segundo

Kimura (2018), os *softwares* são capazes de dimensionar e detalhar a estrutura de maneira mais aproximada da realidade, propiciando uma economia de tempo e tornando o projeto mais a favor da segurança.

Devido as vantagens na utilização de um *software* como ferramenta para o engenheiro em um projeto estrutural, é necessário cada vez mais aperfeiçoar o uso desses softwares. Atualmente no mercado, diversas ferramentas de cálculo estrutural são encontradas, como por exemplo: TQS, Eberick, Ftool, Robot Structural Analysis e Naviate (*plugin Revit*).

Pensando nisso, este trabalho foi desenvolvido para auxiliar alunos de graduação de Engenharia Civil para que possam já ter contato e aprender a utilizar um *software* de cálculo estrutural durante a faculdade. Portanto o *software* escolhido para o desenvolvimento do projeto estrutural foi o *Robot Structural Analysis*, *software* BIM que pode trabalhar de maneira integrada com ao *Revit*.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Demonstrar, por etapas, a realização do dimensionamento e detalhamento de uma edificação de pequeno porte, em concreto armado, com uso vinculado dos *softwares Robot Structural Analysis Professional e Revit*.

1.2.2 Objetivos específicos

- Realizar a revisão bibliográfica sobre modelagem de estrutura em BIM, nos *softwares* empregados para a realização do projeto estrutural completo e sobre as diferenças entre as normas NBR 6118:2014 e EN 1992-1-1:2004/A1:2014 (Eurocode).
- Adequar o *software Robot Structural Analysis* aos parâmetros da NBR 6118:2014.
- Dimensionar vigas e pilares de uma residência em concreto armado, com auxílio do *software Robot Structural Analysis*.
- Detalhar a estrutura no *Revit*, com auxílio do *plugin Naviate* e extração de tabelas de quantitativos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 SOFTWARES AUTODESK ROBOT STRUCTURAL ANALYSIS E AUTODESK REVIT

O *Autodesk Robot Structural Analysis Professional* é um software de análise de carga estrutural, o qual opera com modelo de elementos finitos, que verifica a conformidade do código e usa fluxos de trabalho integrados ao BIM (Building Information Modeling) para trocar dados com o Revit. Auxilia a criar projetos mais resilientes e construtíveis que sejam precisos, coordenados e conectados ao BIM. Esse software foi escolhido por ser um programa que possui versão estudantil, com muitos recursos, de interface fácil e intuitiva e com grande compatibilidade com o sistema BIM e outros softwares.

Já o *Autodesk Revit* é um software BIM (Building Information Modeling) desenvolvido pela empresa norte americana “Autodesk”, proprietária do AutoCAD (CAD) software bidimensional mais utilizado no mundo. Se trata de um software abrange projetos de arquitetura, engenharia e construção em um único ambiente, estando totalmente relacionado a construção e no desenvolvimento de um modelo virtual tridimensional (3D) com informações paramétricas dos elementos construtivos. Ou seja, é uma plataforma para construção virtual baseado na construção real onde é utilizado principalmente em planejamento, projeto, construção e gerenciamento.

Ao desenvolver um modelo geométrico de uma estrutura no *Autodesk Revit*, automaticamente é gerado um modelo analítico. O modelo analítico é uma representação do modelo estrutural, que contém informações sobre a geometria e propriedades físicas do material dos elementos estruturais modelados. O *Autodesk Revit* disponibiliza um *plugin* que possibilita a exportação direta do modelo analítico para *softwares* de análise estrutural, como o *Autodesk Robot Structural Analysis* e para garantir uma eficiência na ligação dos elementos é necessário realizar um ajuste analítico na estrutura modelada antes da exportação.

2.2 MODELAGEM DA ESTRUTURA EM BIM – INTEROPERABILIDADE REVIT E ROBOT

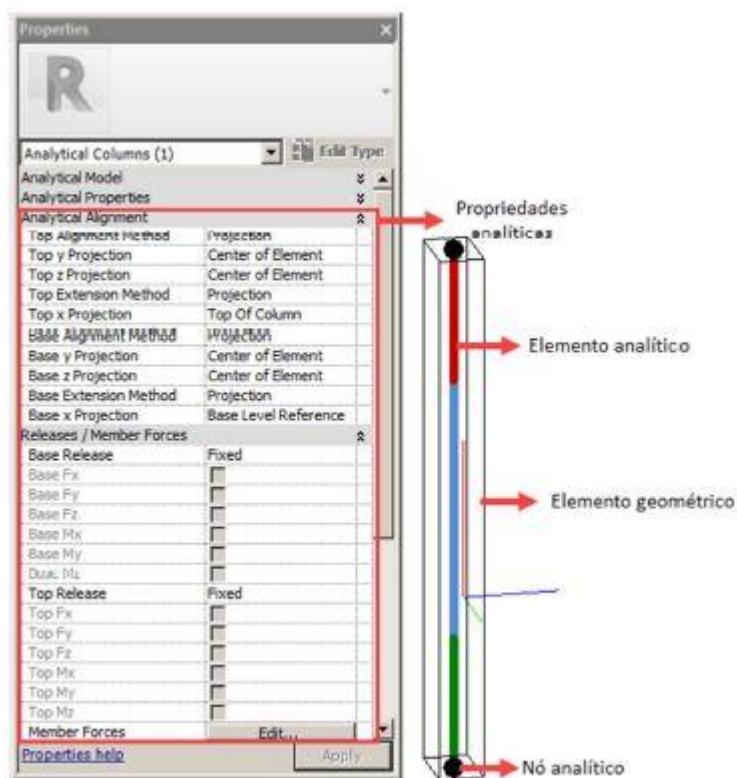
Na metodologia BIM, o projeto estrutural é realizado a partir do modelo de arquitetura de maneira integrada. Este processo permite que o engenheiro verifique a

compatibilidade entre as disciplinas, evitando possíveis interferências entre os diferentes projetos.

Os elementos estruturais modelados pelo *software Revit* são representados por um modelo geométrico, onde podem ser extraídas informações sobre geometria, material, quantitativos, entre outros dados. É importante que a modelagem seja feita de maneira correta, pois a qualidade da informação do projeto estrutural estará diretamente relacionada com a qualidade da modelagem elaborada. Já o modelo analítico, que é criado automaticamente a partir da elaboração do modelo geométrico, corresponde a um conjunto de informações fundamentais para o desenvolvimento de um projeto estrutural através de um *software* de cálculo.

O modelo analítico transforma o modelo geométrico, permitindo o cálculo dos esforços internos, tensões, deslocamentos e deformações através do uso da teoria de análise estrutural. O modelo analítico gerado é composto por barras, contendo apenas uma dimensão, que modelam os pilares e vigas, o encontro de barras é denominado nó. A Figura 1 demonstra um pilar analítico.

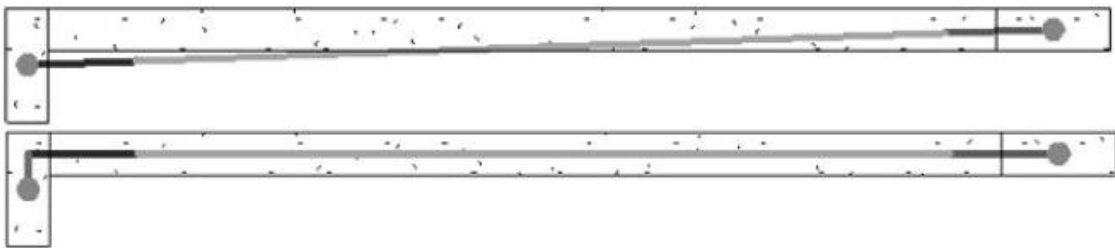
Figura 1 – Representação e propriedades analíticas de um pilar.



Fonte: (GERALDES, 2018).

Devido ao modelo analítico ser gerado automaticamente, eventualmente algumas alterações manuais precisam ser feitas no modelo para que ele corresponda ao modelo geométrico representado. Para manter a consistência desse modelo, é necessário alterar os vínculos analíticos, elemento que conecta dois nós separados. A Figura 2 representa um ajuste de um vínculo analítico entre uma viga e pilar.

Figura 2 – Ajuste de um vínculo analítico.



Fonte: (PAPADOPOULOS et al.,2017).

2.3 COMPARATIVO ENTRE AS NORMAS ABNT NBR 6118:2014 E EN 1992-1-1:2004/A1:2014

Com o crescimento da construção civil e a construção de obras cada vez mais desafiadoras do ponto de vista estrutural, a evolução de modelos matemáticos e *softwares* se faz necessário para a solução destes problemas. Além disso, as normas técnicas (ABNT) servem também para auxiliar e garantir que as estruturas estejam sempre dentro de um padrão de cálculo, bem como oferecer ao usuário uma construção com a devida segurança.

Por ser o material de construção mais utilizado no Brasil e um dos mais utilizados no mundo, é necessário que o dimensionamento de estruturas de concreto armado garanta a segurança das mesmas, logo precisa estar em concordância com a normatização. Atualmente encontra-se *softwares* adaptados a norma brasileira NBR 6118/2014, porém o *Robot* traz apenas o atendimento à normas internacionais como a EN1992-1-1:2004/A1:2014 (Eurocode).

As normas brasileira e europeia são semelhantes, mas possuem alguns pontos distintos, como os coeficientes de majoração de cargas. A NBR 6118/2014 utiliza o valor de 1,4 para cargas permanentes e variáveis, enquanto o Eurocode utiliza 1,35 para cargas permanentes e 1,5 para cargas variáveis.

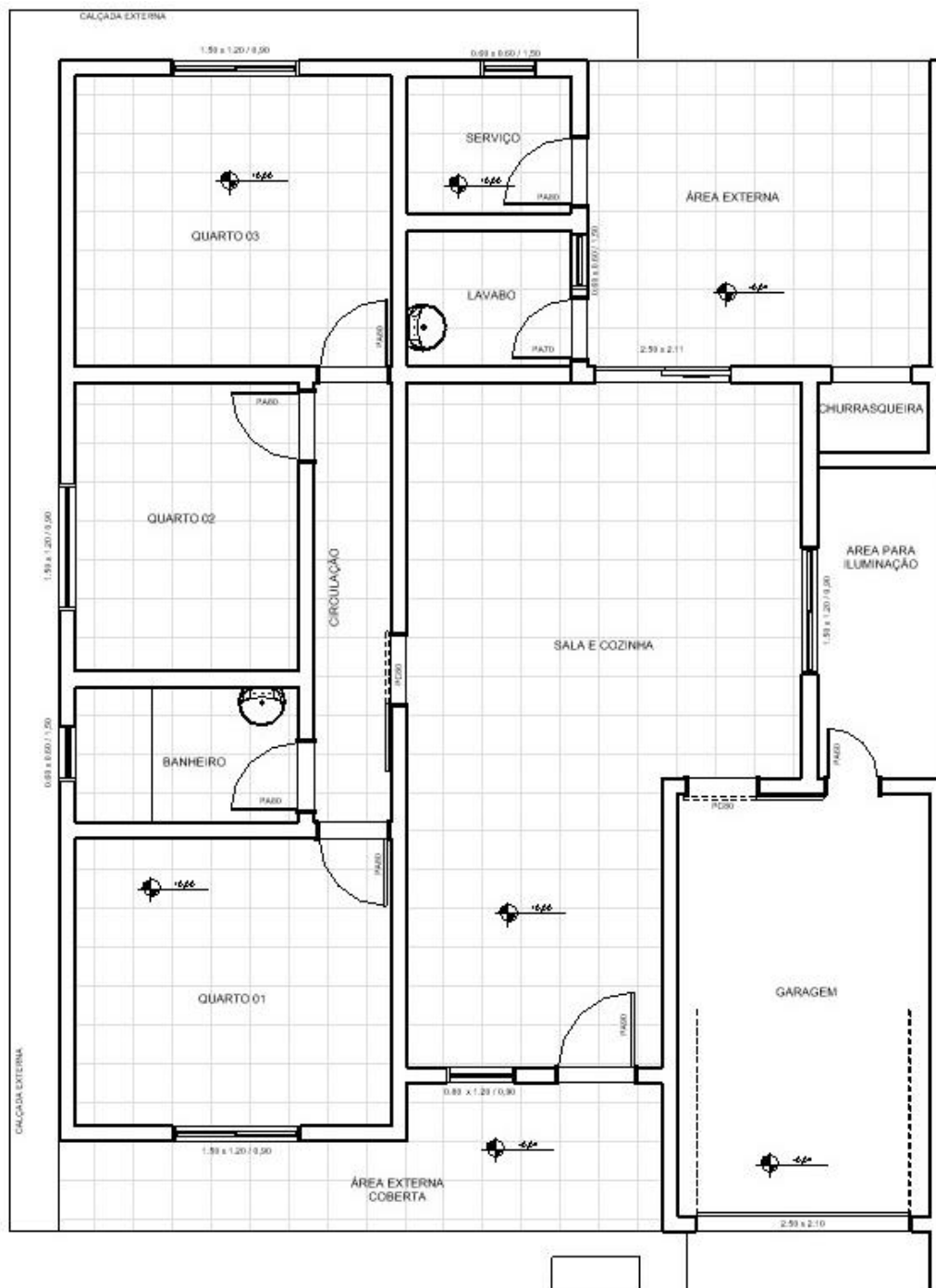
Outro item que apresenta diferença é o valor da armadura mínima de flexão, enquanto a NBR 6118/2014 considera um valor conforme a resistência do concreto, o Eurocode utiliza um valor de taxa de armadura constante. Além dessa diferença, para o momento positivo em lajes bidirecionais a NBR 6118/2014 permite uma redução de 33% da taxa de armadura. Por último, a taxa de armadura mínima de cisalhamento na NBR 6118/2014 é obtida apenas com relação a resistência à compressão do concreto, e para a norma europeia a resistência do aço utilizado também é considerada.

Conforme LOPES *et al.* (2015) que comparou os dimensionamentos através das duas normas e obteve resultados bem próximos, devido a similaridade entre os métodos de cálculo, onde ambos se baseiam no equilíbrio dos estados limites para a ruptura da estrutura. Na comparação entre as duas, a norma europeia é um pouco mais conservadora do que a norma brasileira, pois apresenta uma área de aço maior em relação a NBR 6118/2014.

3 METODOLOGIA

A edificação de pequeno porte a ser dimensionada as vigas e pilares, se trata de uma casa com 112 m² composta de três quartos, um banheiro, um lavabo, sala/cozinha, área de serviço, garagem, área externa e área de iluminação. Conforme ilustrado na Figura 3.

Figura 3 – Planta baixa do projeto arquitetônico.



Fonte: Autor.

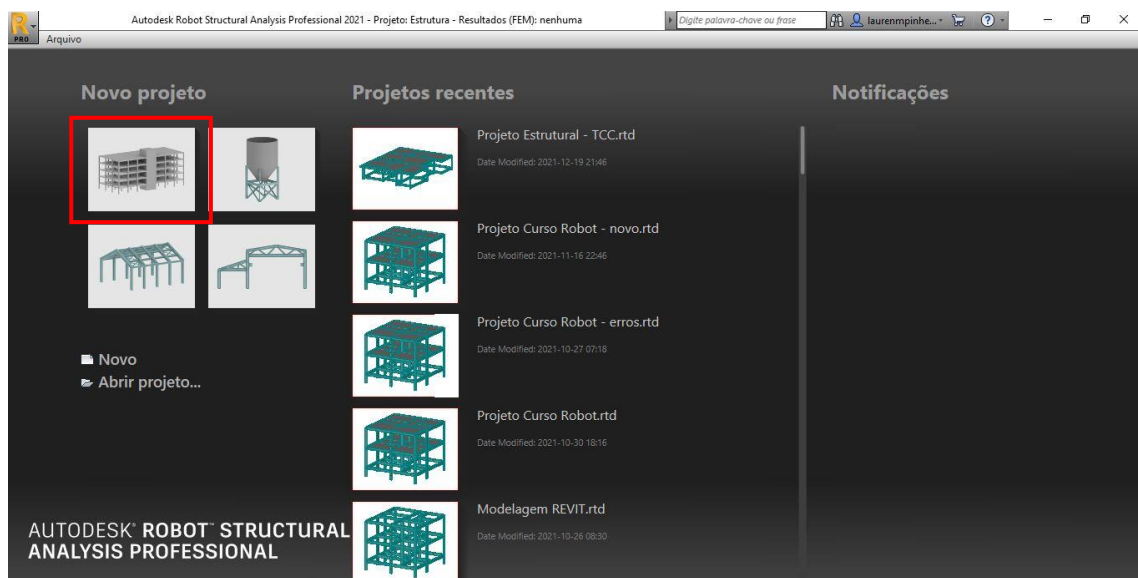
Inicialmente será configurado o *software Robot*, realizando os ajustes necessários para a inserção dos parâmetros referentes a norma brasileira de dimensionamento de estruturas de concreto, a NBR 6118:2014. Em seguida, a modelagem será elaborada através do *software Revit* visando a compatibilidades dos projetos arquitetônico e estrutural.

Após o modelo estrutural estar concluído e o ajuste analítico realizado, é feita a exportação de forma direta ao *Robot* para o dimensionamento dos elementos estruturais. Com as informações das armaduras fornecidas pelo *Robot*, o detalhamento será gerado pelo *Revit*, por meio do *plugin Naviate* que aumentará a produtividade desse processo.

3.1 INICIANDO O ROBOT STRUCTURAL ANALYSIS 2021

Inicie o Robot e para iniciar um novo projeto clique em “Projeto de Construção”. Conforme ilustrado na Figura 4.

Figura 4 - Tela inicial do Robot Structural Analysis.

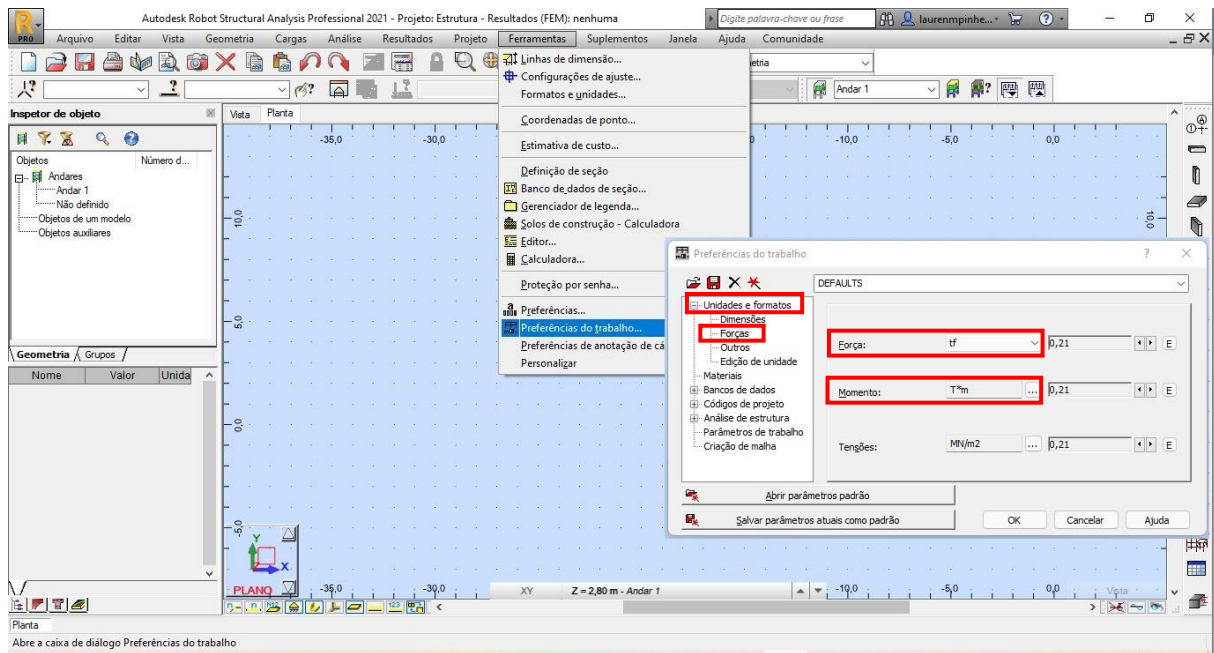


Fonte: Autor.

3.2 CONFIGURAÇÃO DAS UNIDADES E DOS MATERIAIS AÇO E CONCRETO

Na aba “Ferramentas”, “Preferências do trabalho”, “Unidades e Formatos”, “Forças”, alterar as unidades de força para tonelada força (tf) e o momento para tonelada metro (T.m). Conforme ilustrado na Figura 5.

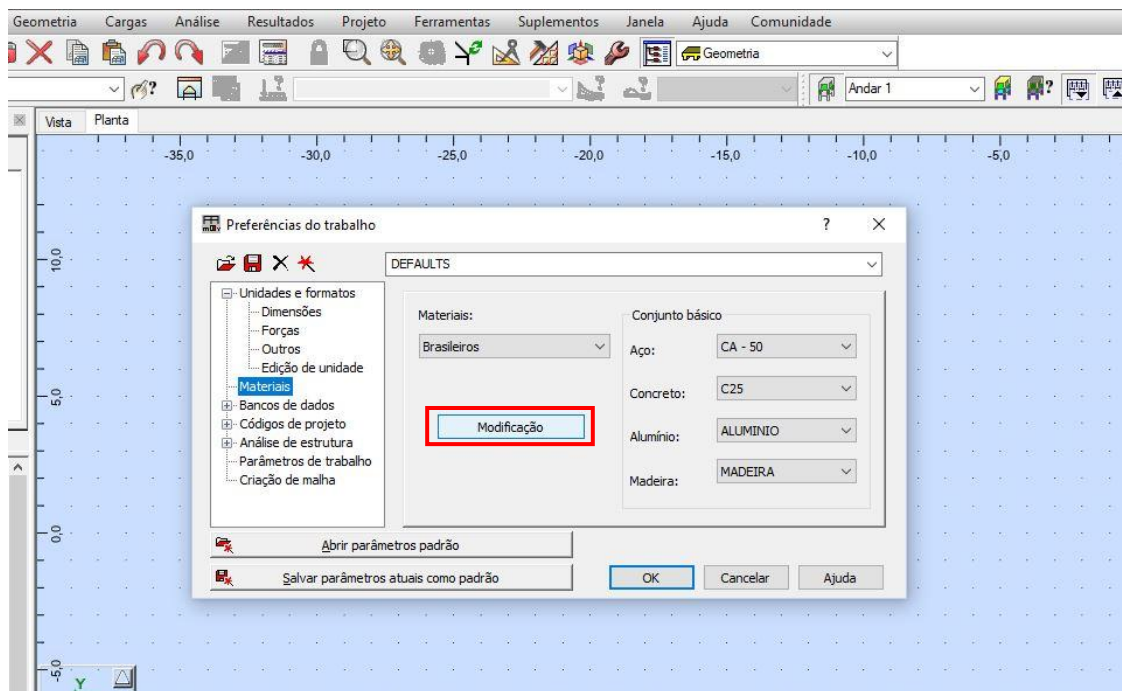
Figura 5 – Alteração das unidades de medida.



Fonte: Autor.

Na janela “Preferências do trabalho”, “Materiais”, “Modificação” será criado os seguintes materiais: Aço CA-50 e CA-60, e concreto C25 e C30. Conforme ilustrado na Figura 6.

Figura 6 – Modificação dos materiais.



Fonte: Autor.

Na aba “Aço” altere o “Nome” e “Descrição” para criar a classe de aço desejada. Para o CA-50 a resistência é de 500 Mpa e resistência limite da tensão é 540 Mpa (tabela B.3 – NBR 7480/2007), o fator de redução de cisalhamento de 1,54. Desmarcar a opção “Aço recozido” e clicar em “Adicionar”. Conforme ilustrado na Figura 7.

Figura 7 – Criação do aço CA-50.

Definição de material

Aço Concreto Alumínio Madeira Outros

Nome: CA - 50 Descrição: NBR - 6118

Elasticidade

Módulo de Young, E: 210000,00 (MPa)

Coeficiente de Poisson, ν : 0,3

Módulo de cisalhamento, G: 80800,00 (MPa)

Peso específico (peso unitário): 7,85 (tf/m³)

Coef. de expansão térmica: 0,000011 (1/°C)

Relação de amortecimento: 0,06

Resistência

Características 500,00 (MPa)

Fator de redução de cisalh.: 1,54

Resistência limite da tensão: 540,00 (MPa)

Aço recozido

Adicionar Excluir OK Cancelar Ajuda

Fonte: Autor.

Para o CA-60 a resistência é de 600 Mpa e resistência limite da tensão é 630 Mpa (tabela B.3 – NBR 7480/2007), o fator de redução de cisalhamento de 1,54. Desmarcar a opção “Aço recozido” e clicar em “Adicionar”. Conforme ilustrado na Figura 8.

Figura 8 – Criação do aço CA-60.

Definição de material

Aço Concreto Alumínio Madeira Outros

Nome: CA - 60 Descrição: NBR - 6118

Elasticidade

Módulo de Young, E: 210000,00 (MPa)

Coeficiente de Poisson, v: 0,3

Módulo de cisalhamento, G: 80800,00 (MPa)

Peso específico (peso unitário): 7,85 (tf/m³)

Coef. de expansão térmica: 0,000011 (1/°C)

Relação de amortecimento: 0,06

Resistência

Características: 600,00 (MPa)

Fator de redução de cisalh.: 1,54

Resistência limite da tensão: 630,00 (MPa)

Aço recozido

Adicionar Excluir OK Cancelar Ajuda

Fonte: Autor.

Na aba “Concreto” altere o “Nome” e “Descrição” para criar a classe de concreto desejada. Para o concreto C25 o Módulo de Young (E) corresponde ao módulo de elasticidade inicial (E_{CI}) de 28.000 MPa (tabela 8.1 - NBR 6118/2014), o Coeficiente de Poisson (ν) de 0,2, o Módulo de cisalhamento (G) corresponde ao módulo de deformação secante (E_{CS}) dividido por 2,4, assim para o C25 será 10.000 MPa (item 8.2.9 – NBR 6118/2014) e a resistência é de 25 MPa. Para finalizar clicar em “Adicionar”. Conforme ilustrado na Figura 9.

Figura 9 – Criação do concreto C25.

Definição de material

Aço Concreto Alumínio Madeira Outros

Nome: C25 Descrição: 25 MPa

Elasticidade

Módulo de Young, E: 28000,00 (MPa)

Coeficiente de Poisson, v: 0,2

Módulo de cisalhamento, G: 10000,00 (MPa)

Peso específico (peso unitário): 2,50 (tf/m³)

Coef. de expansão térmica: 0,000010 (1/°C)

Relação de amortecimento: 0,15

Resistência

Características: 25,00 (MPa)

Amostra: Cilindrico

Adicionar Excluir OK Cancelar Ajuda

Fonte: Autor.

Para o concreto C30 o Módulo de Young (E) corresponde ao módulo de elasticidade inicial (E_{Ci}) de 31.000 MPa (tabela 8.1 - NBR 6118/2014), o Coeficiente de Poisson (ν) de 0,2, o Módulo de cisalhamento (G) corresponde ao módulo de deformação secante (E_{Cs}) dividido por 2,4, assim para o C25 será 11.250 MPa (item 8.2.9 – NBR 6118/2014) e a resistência é de 30 MPa. Para finalizar clicar em “Adicionar”. Conforme ilustrado na Figura 10.

Figura 10 – Criação do concreto C30.

Definição de material

Aço Concreto Alumínio Madeira Outros

Nome: C30 Descrição: 30 MPa

Elasticidade

Módulo de Young, E: 31000,00 (MPa)

Coeficiente de Poisson, ν : 0,2

Módulo de cisalhamento, G: 11250,00 (MPa)

Resistência

Características: 30,00 (MPa)

Amostra: Cilíndrico

Peso específico (peso unitário): 2,50 (tf/m³)

Coef. de expansão térmica: 0,000010 (1/°C)

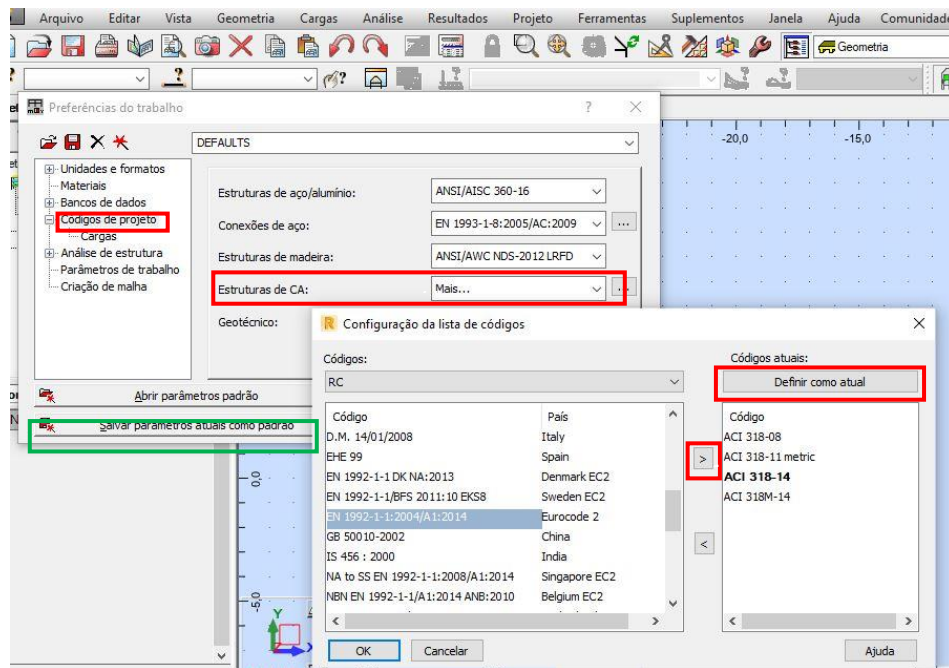
Relação de amortecimento: 0,15

Adicionar Excluir OK Cancelar Ajuda

Fonte: Autor.

Para definir o código de projeto a ser utilizado, na janela “Preferências do trabalho”, “Códigos de projeto”, em “Estruturas de CA”, “Mais...”, selecionar a norma EN 1992-1-1:2004/A1:2014 (Eurocode 2), adicionar ela a lista de códigos e clicar em “Definir como atual”. Para manter as modificações no projeto clicar em “Salvar parâmetros atuais como padrão”. Conforme ilustrado na Figura 11.

Figura 11 – Definição do código.

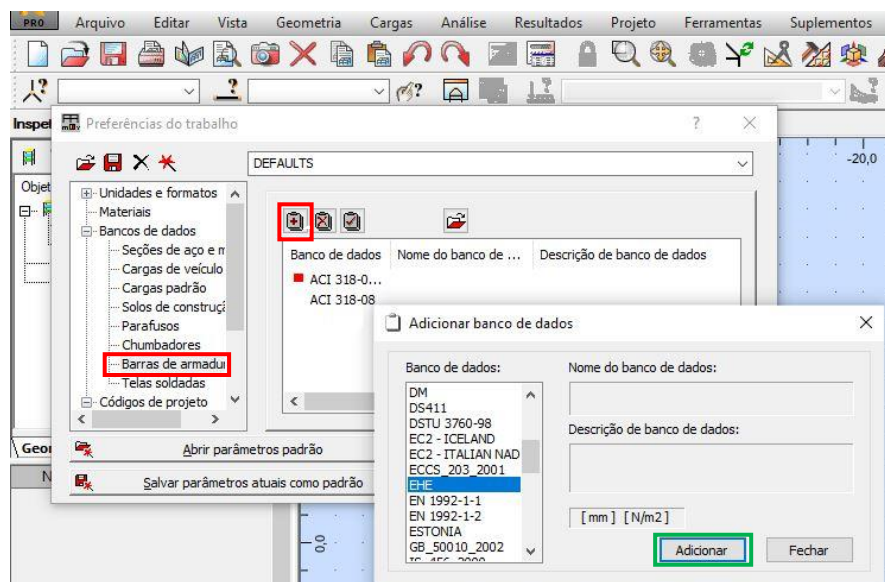


Fonte: Autor.

3.3 DEFINIÇÃO DAS BARRAS DE ARMADURAS

Na janela “Preferências do Trabalho”, “Bancos de Dados”, “Barra de Armaduras”, clicar no sinal “+” e adicionar o banco de dados “EHE” que servirá como base. Conforme ilustrado na Figura 12.

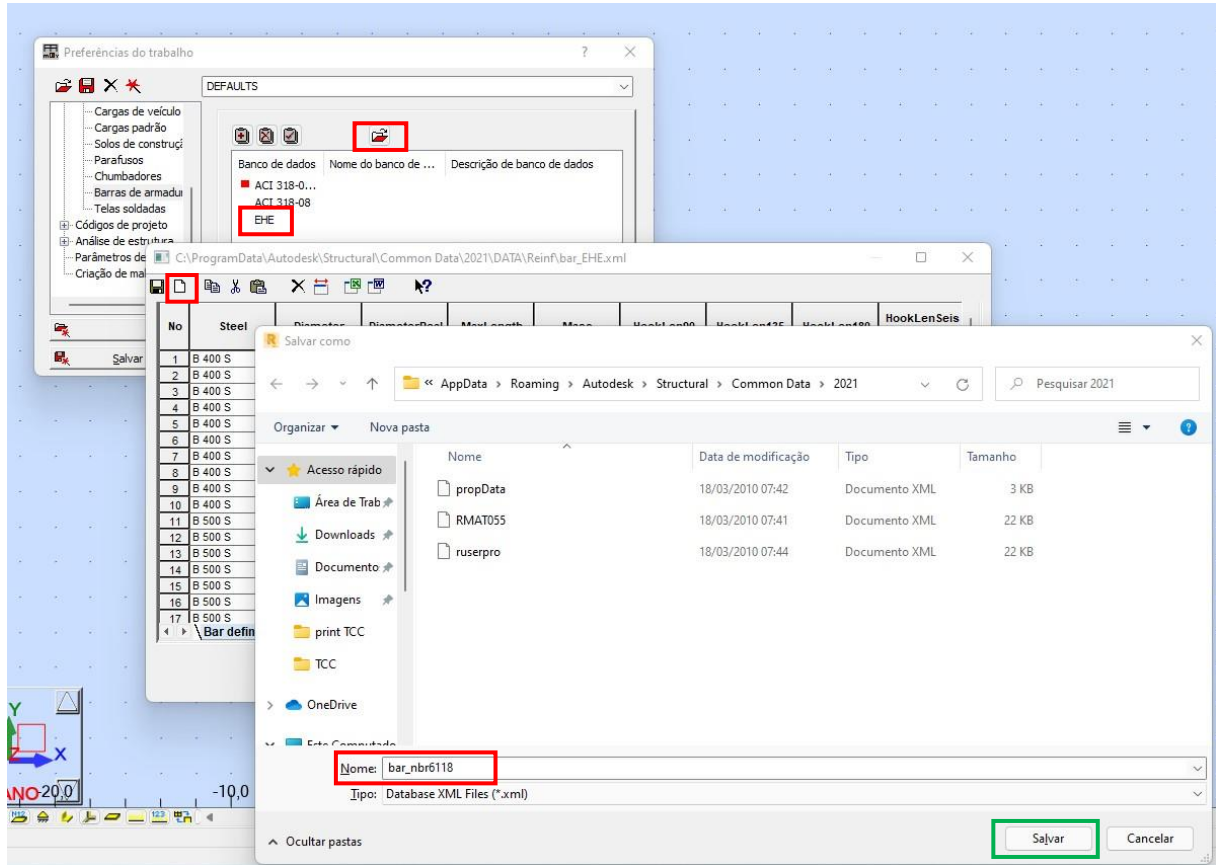
Figura 12 – Banco de dados EHE.



Fonte: Autor.

Selecionar o Banco de Dados EHE e clicar em “Editar o banco de dados selecionado”. Clicar em “Save as...” para salvar um novo banco de dados com o nome “bar_nbr6118”. Conforme ilustrado na Figura 13.

Figura 13 – Criação de um novo banco de dados.



Fonte: Autor.

Na aba “Bar definition” selecionar as linhas abaixo da barra 32mm e deletar clicando no X. Conforme ilustrado na Figura 14.

Figura 14 – Edição da tabela de armaduras.

No	Steel	Diameter	DiameterReal	MaxLength	Mass	HookLen90	HookLen135	HookLen180	HookLenSeis mic
1	B 400 S	6	6	12	0.222	5	5	5	10
2	B 400 S	8	8	12	0.395	5	5	5	10
3	B 400 S	10	10	12	0.617	5	5	5	10
4	B 400 S	12	12	12	0.888	5	5	5	10
5	B 400 S	14	14	12	1.21	5	5	5	10
6	B 400 S	16	16	12	1.58	5	5	5	10
7	B 400 S	20	20	12	2.47	5	5	5	10
8	B 400 S	25	25	12	3.85	5	5	5	10
9	B 400 S	32	32	12	6.31	5	5	5	10
10	B 400 S	40	40	12	9.87	5	5	5	10
11	B 500 S	6	6	12	0.222	5	5	5	10
12	B 500 S	8	8	12	0.395	5	5	5	10
13	B 500 S	10	10	12	0.617	5	5	5	10
14	B 500 S	12	12	12	0.888	5	5	5	10
15	B 500 S	14	14	12	1.21	5	5	5	10
16	B 500 S	16	16	12	1.58	5	5	5	10
17	B 500 S	20	20	12	2.47	5	5	5	10

Fonte: Autor.

Renomear a coluna “Steel”, todas as barras como CA-50 e alterar a barra de 6mm para 6.3 e de 12mm para 12.5 nas colunas “Diameter” e “DiameterReal”. Adicionar ao final da tabela os Aços CA-60 de 4.2 mm e 5mm, podendo copiar duas linhas anteriores e alterar os dados conforme necessário. É necessário ajustar a coluna “Mass” que se refere ao peso linear das barras. Conforme ilustrado na Figura 15.

Figura 15 – Alteração das definições as armaduras.

No	Steel	Diameter	DiameterReal	MaxLength	Mass	HookLen90	HookLen135	HookLen180	HookLenSeis mic
1	CA-50	6.3	6.3	12	0.245	5	5	5	10
2	CA-50	8	8	12	0.395	5	5	5	10
3	CA-50	10	10	12	0.617	5	5	5	10
4	CA-50	12.5	12.5	12	0.963	5	5	5	10
5	CA-50	16	16	12	1.578	5	5	5	10
6	CA-50	20	20	12	2.47	5	5	5	10
7	CA-50	25	25	12	3.85	5	5	5	10
8	CA-50	32	32	12	6.31	5	5	5	10
9	CA-60	4.2	4.2	12	0.109	5	5	5	10
10	CA-60	5	5	12	0.154	5	5	5	10
*									

Fonte: Autor.

Nas colunas “StirrupBendFormerDiam” (diâmetro mínimo do estribo) e “HookBendFormerDiam” (diâmetro mínimo do gancho) inserir o valor 5 mm em todas as linhas. Na coluna “BarBendFormDiam” inserir o valor 10 mm. Alterar a coluna “Characteristic YieldStress” (tensão de escoamento) para 5e+08 no Aço CA-50 e 6e+08 no Aço CA-60. Na coluna “BarSize” alterar os valores dos diâmetros para ficar da mesma forma que a coluna “Diameter”. Conforme ilustrado na Figura 16.

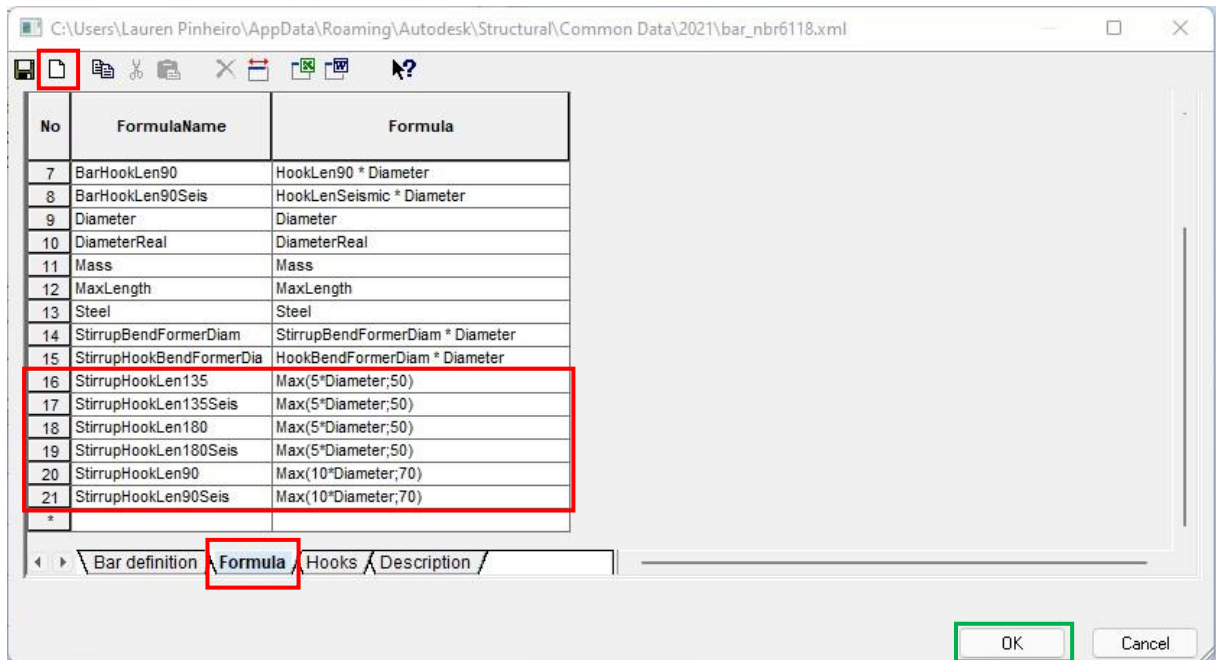
Figura 16 – Continuação das definições das barras.

No	Steel	Diameter	StirrupBendFormerDiam	BarBendFormDiam	HookBendFormerDiam	Characteristic YieldStress	PlainBar	BarSize
1	CA-50	6.3	5	10	5	5e+08	<input type="checkbox"/>	6.3
2	CA-50	8	5	10	5	5e+08	<input type="checkbox"/>	8
3	CA-50	10	5	10	5	5e+08	<input type="checkbox"/>	10
4	CA-50	12.5	5	10	5	5e+08	<input type="checkbox"/>	12.5
5	CA-50	16	5	10	5	5e+08	<input type="checkbox"/>	16
6	CA-50	20	5	10	5	5e+08	<input type="checkbox"/>	20
7	CA-50	25	5	10	5	5e+08	<input type="checkbox"/>	25
8	CA-50	32	5	10	5	5e+08	<input type="checkbox"/>	32
9	CA-60	4.2	5	10	5	6e+08	<input type="checkbox"/>	4.2
10	CA-60	5	5	10	5	6e+08	<input type="checkbox"/>	5
*								

Fonte: Autor.

Na aba “Formula”, alterar a fórmula das linhas 16 a 21 que estão relacionadas com o comprimento dos ganchos, de acordo com o ângulo de dobra. Nas linhas referentes aos ângulos de 135° e 180° inserir a fórmula “Max(5*Diameter;50)” e no ângulo de 90° “Max(10*Diameter;70)”. Para salvar as configurações clicar em “Save as...” e sempre substituir o banco de dados com o nome “bar_nbr6118”. Conforme ilustrado na Figura 17.

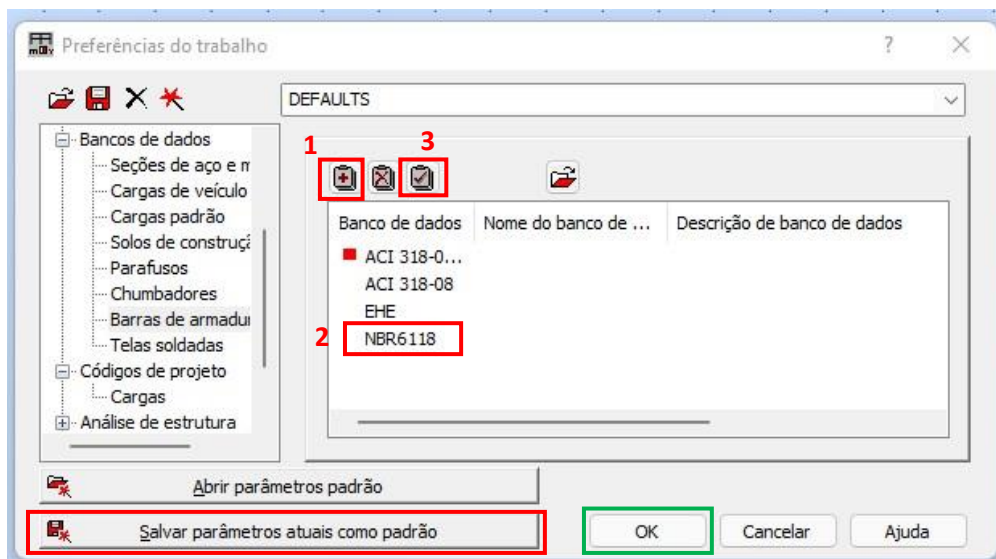
Figura 17 – Alteração das fórmulas para o comprimento do gancho.



Fonte: Autor.

Para selecionar o novo banco de dados criado, em “Preferências do trabalho”, “Bancos de dados”, “Barras de Armaduras”, clicar em “Adicionar novo banco de dados à lista” e adicionar “NBR 6118”. Selecionar o banco “NBR 6118” e clicar em “Definir como o banco atual de dados”. Para finalizar clicar em “Salvar parâmetros atuais como padrão” e “OK”. Conforme ilustrado na Figura 18.

Figura 18 – Finalização da configuração da tabela de armaduras.



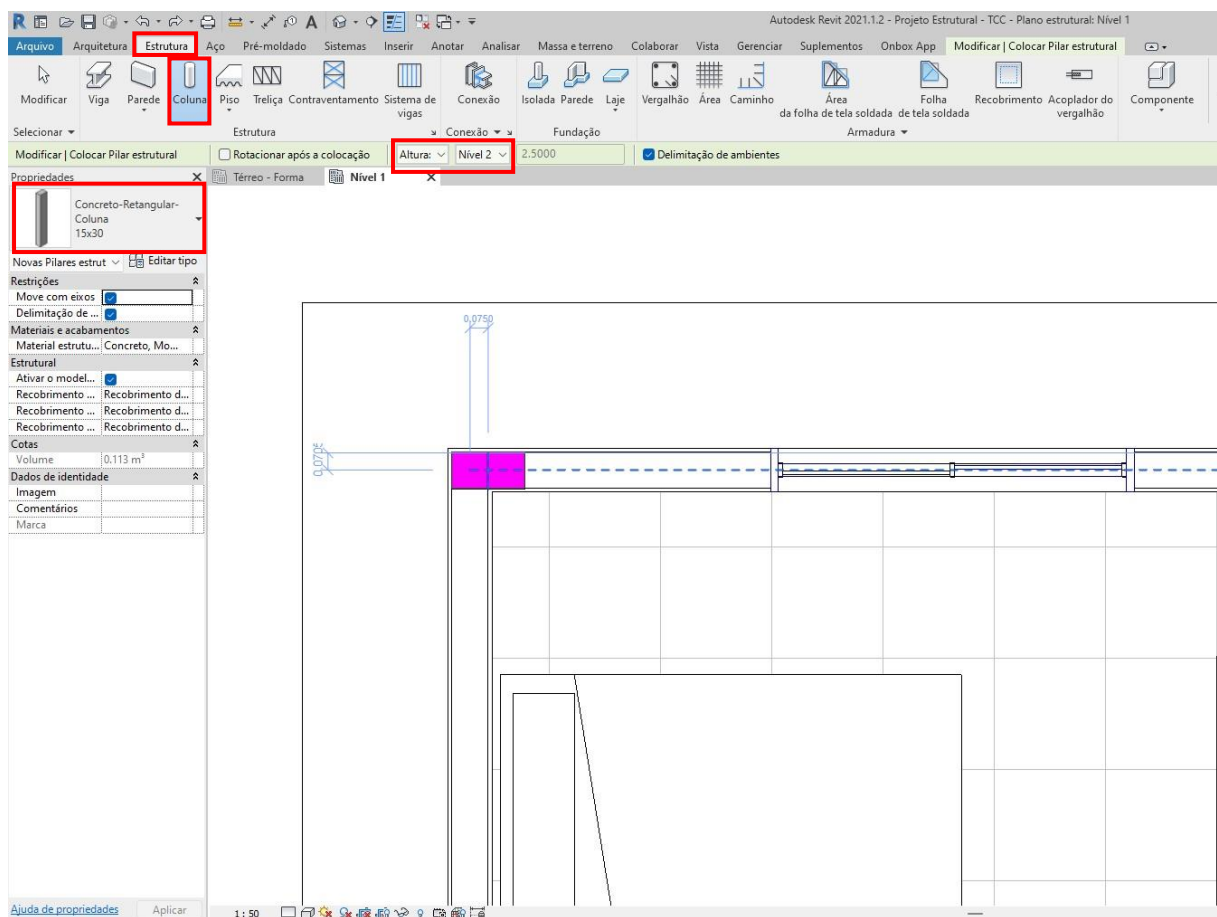
Fonte: Autor.

3.4 MODELAGEM DA ESTRUTURA - SOFTWARE AUTODESK REVIT 2021

A estrutura será modelada no *Revit*, o que permite compatibilizar o projeto arquitetônico com o estrutural, evitando interferências. Após o lançamento das vigas e pilares, será feito o ajuste analítico no modelo físico e posteriormente exportado para o arquivo pré-configurado do *Robot*.

Para o lançamento dos pilares, na aba “Estrutura”, “Coluna” em “Propriedades” escolher o pilar retangular com as dimensões adequadas. Se for o caso, criar uma nova seção de acordo com o pré-dimensionamento. Nesse projeto a modelagem inicial foi feita com pilares 15 cm x 30 cm. Na aba horizontal “Modificar” selecionar opção “Altura” e escolher o nível acima do qual está lançando o pilar. Conforme ilustrado na Figura 19.

Figura 19 – Inserção dos pilares.

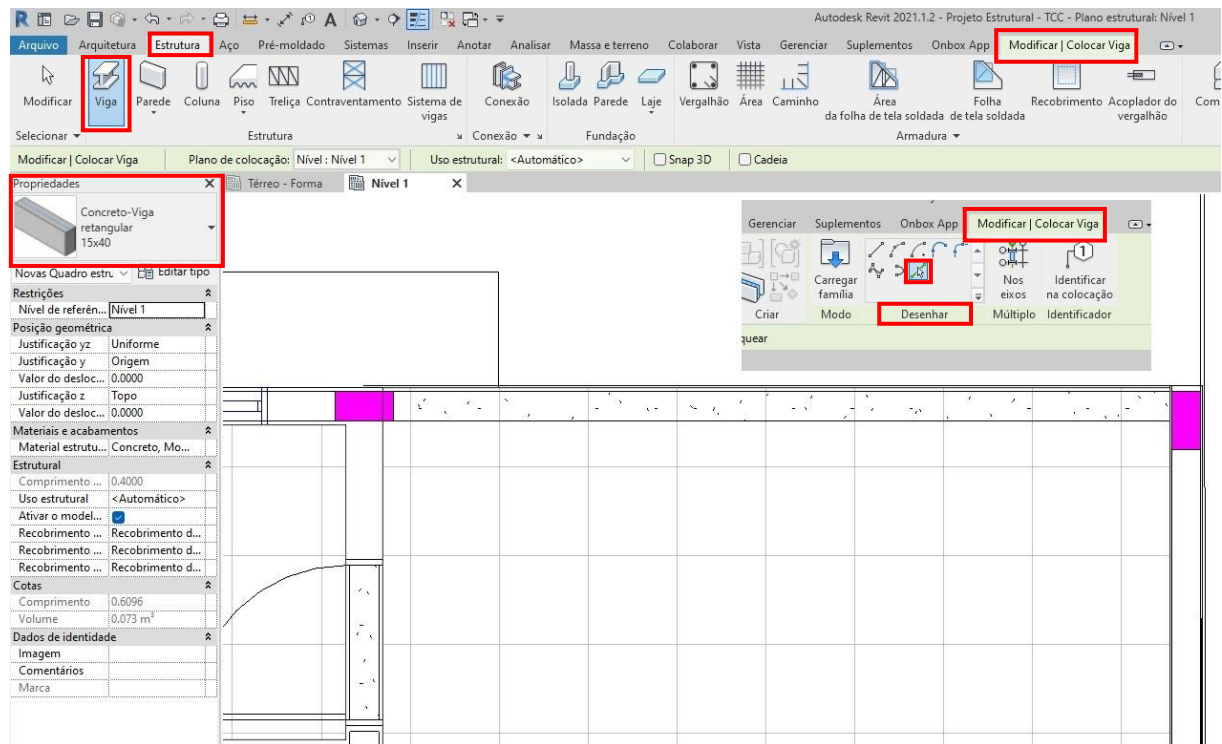


Fonte: Autor.

Para o lançamento das vigas: Na aba “Estrutura”, “Viga” em “Propriedades” escolher uma opção de Concreto-Viga Retangular com as dimensões adequadas. Nesse projeto a modelagem inicial foi feita com vigas pré-dimensionadas 15 cm x 40

cm. Na aba “Modificar” em “Desenhar”, selecionar a opção “Selecionar linhas” para criar as vigas tendo como referência o eixo da parede. Ao final, conferir se as vigas ficaram contínuas e não segmentadas. Conforme ilustrado na Figura 20.

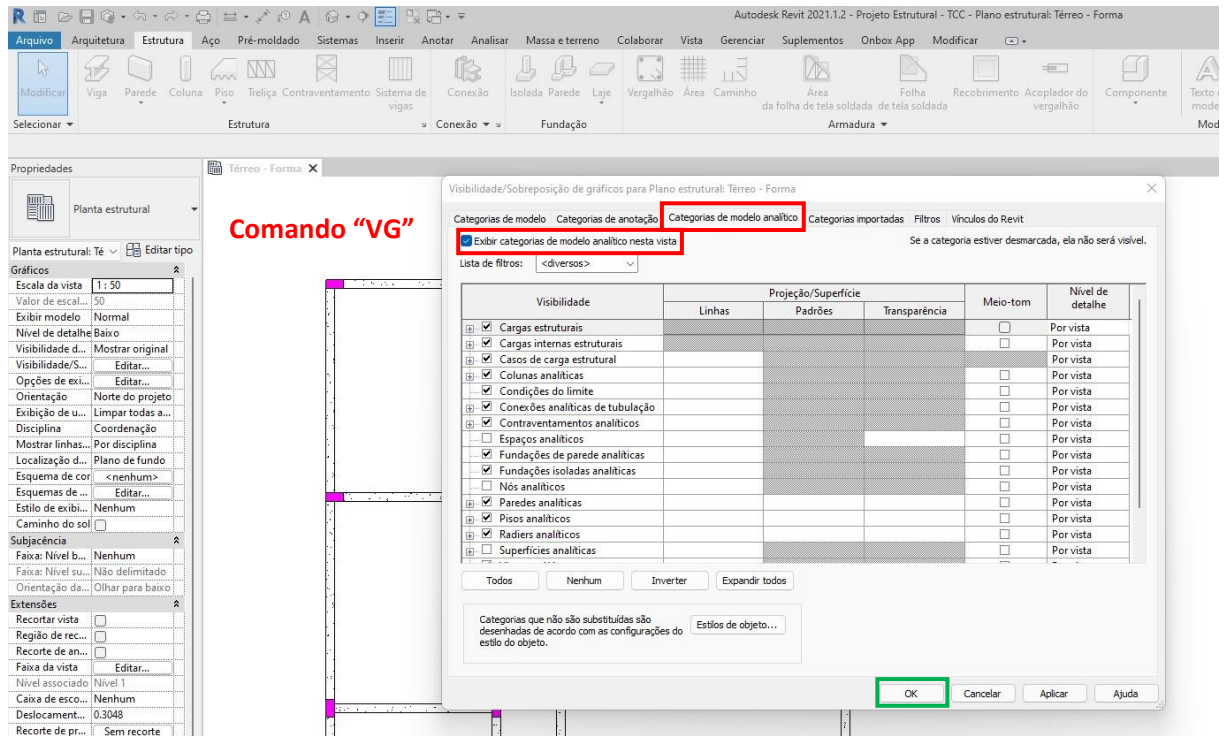
Figura 20 – Lançamento das vigas



Fonte: Autor.

Ajuste Analítico: Após inserir todos pilares e vigas, usar o comando/atalho “VG” para abrir a janela Visibilidade/Sobreposição de Gráficos. Na aba “Categorias de Modelo Analítico”, marcar a opção “Exibir categorias de modelo analítico nesta vista” e clicar em “OK”. Conforme ilustrado na Figura 21.

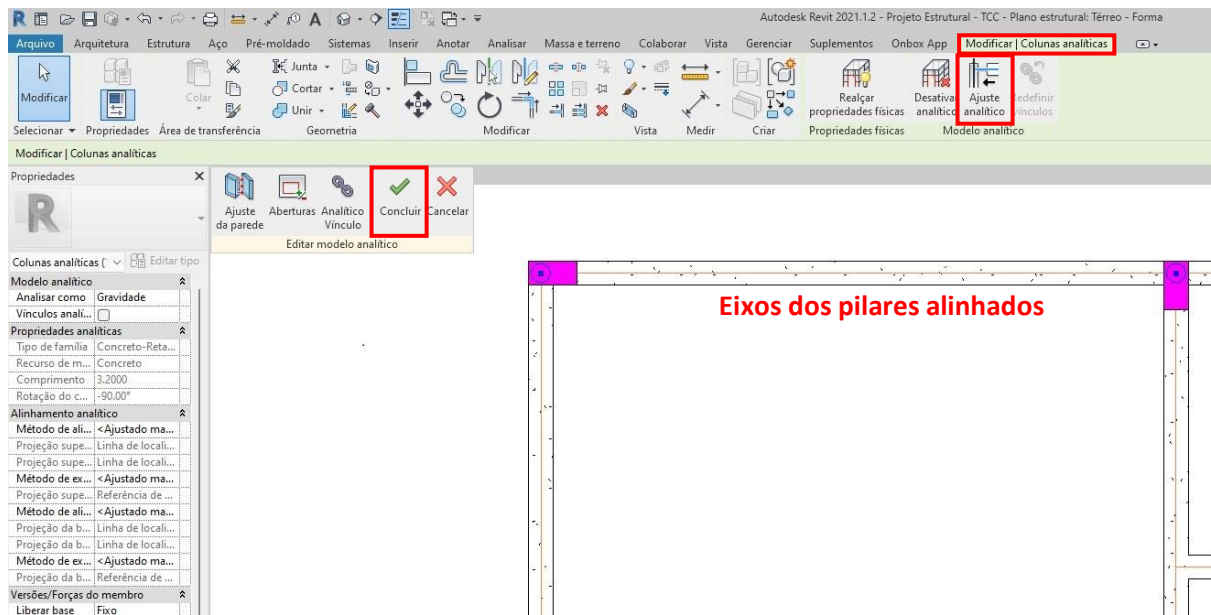
Figura 21 – Habilitação do modelo analítico.



Fonte: Autor.

Para ajustar o modelo analítico: Selecionar a estrutura, clicar em “Filtro”, manter selecionada apenas “Colunas Analíticas”, clicar em “Aplicar” e “OK”. Ao selecionar apenas um item analítico, habilita a aba “Modificar-Colunas Analíticas” e a opção “Ajuste Analítico”. Com esta opção ativa, com o comando de alinhar (atalho AL), alinhar os eixos dos pilares fazendo com que as linhas do modelo todas alinhadas. Para finalizar, clicar em “Concluir”. Conforme ilustrado na Figura 22.

Figura 22 – Ajuste do modelo analítico.

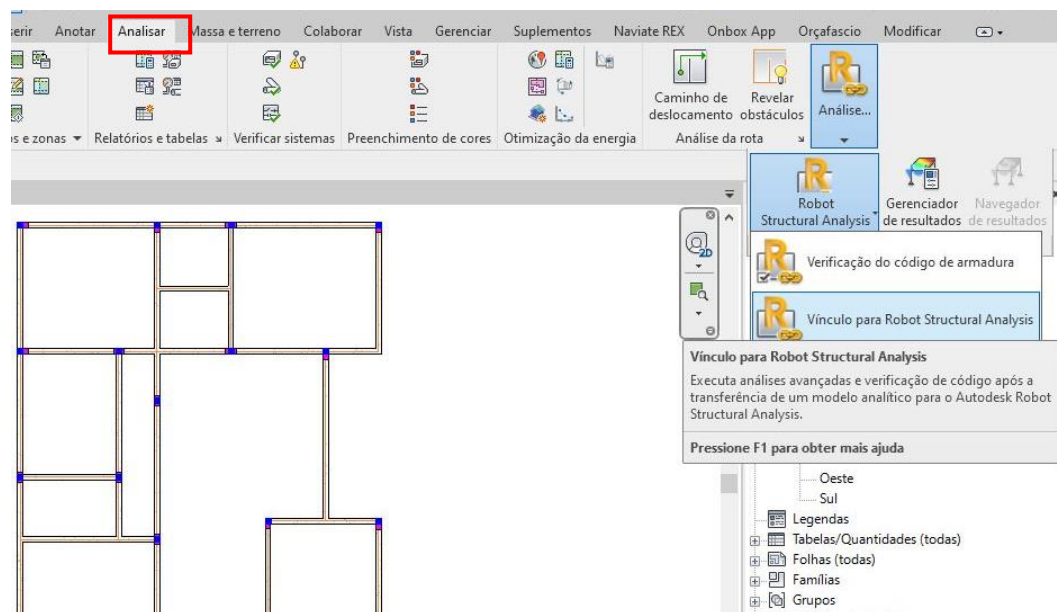


Fonte: Autor.

3.5 EXPORTAÇÃO DO MODELO PARA O ROBOT

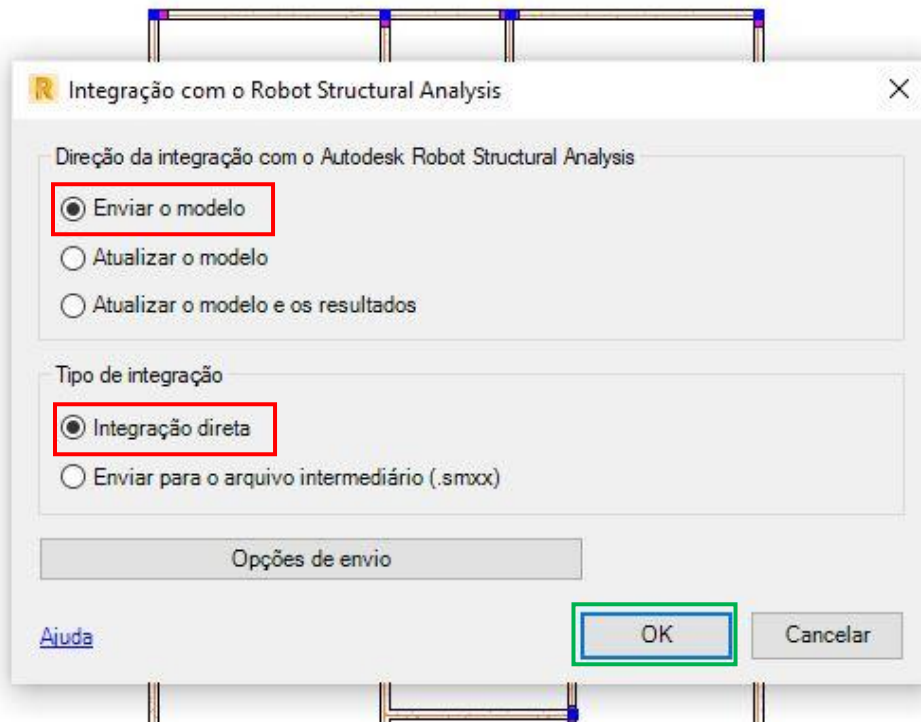
Com o programa *Robot* aberto, no *Revit* na aba “Analisar”, “Análise Estrutural”, “Robot Structural Analysis” clicar em “Vínculo para Robot Structural Analysis”. Conforme ilustrado nas Figuras 23, 24 e 25.

Figura 23 – Vinculação da modelagem com o *Robot*.



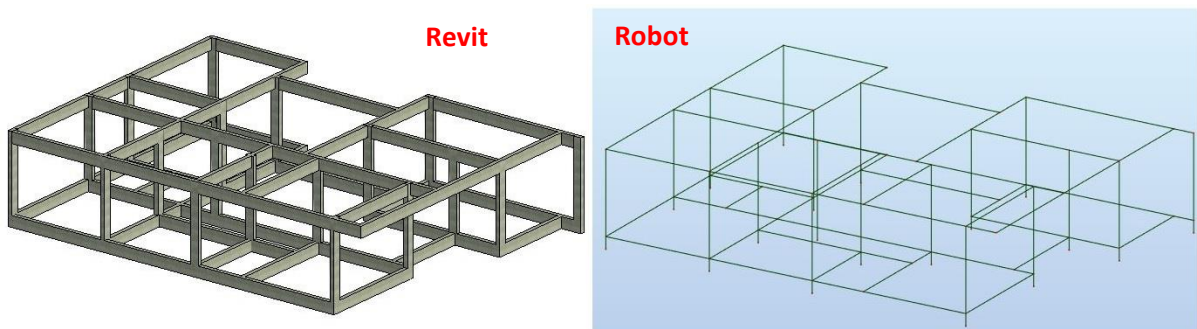
Fonte: Autor.

Figura 24 – Caixa de diálogo vinculação.



Fonte: Autor.

Figura 25 – Modelo estrutural no *Revit* e *Robot*.

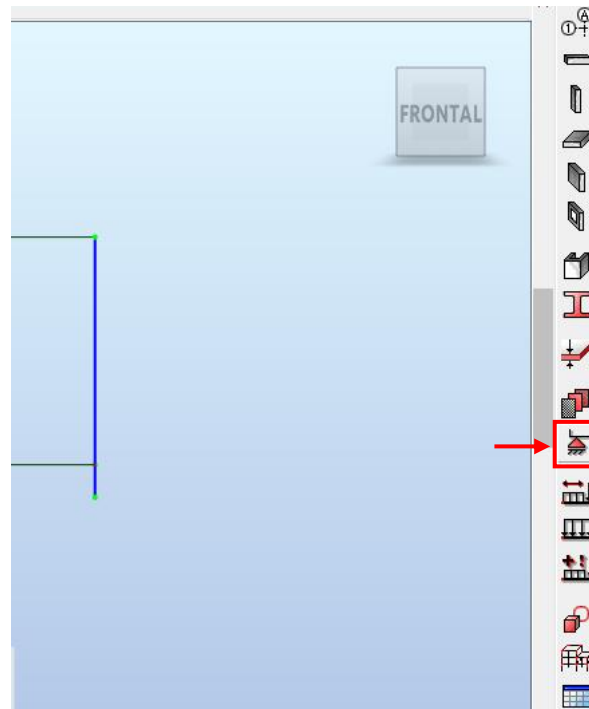


Fonte: Autor.

3.6 DIMENSIONAMENTO DA ESTRUTURA - SOFTWARE AUTODESK ROBOT STRUCTURAL ANALYSIS 2021

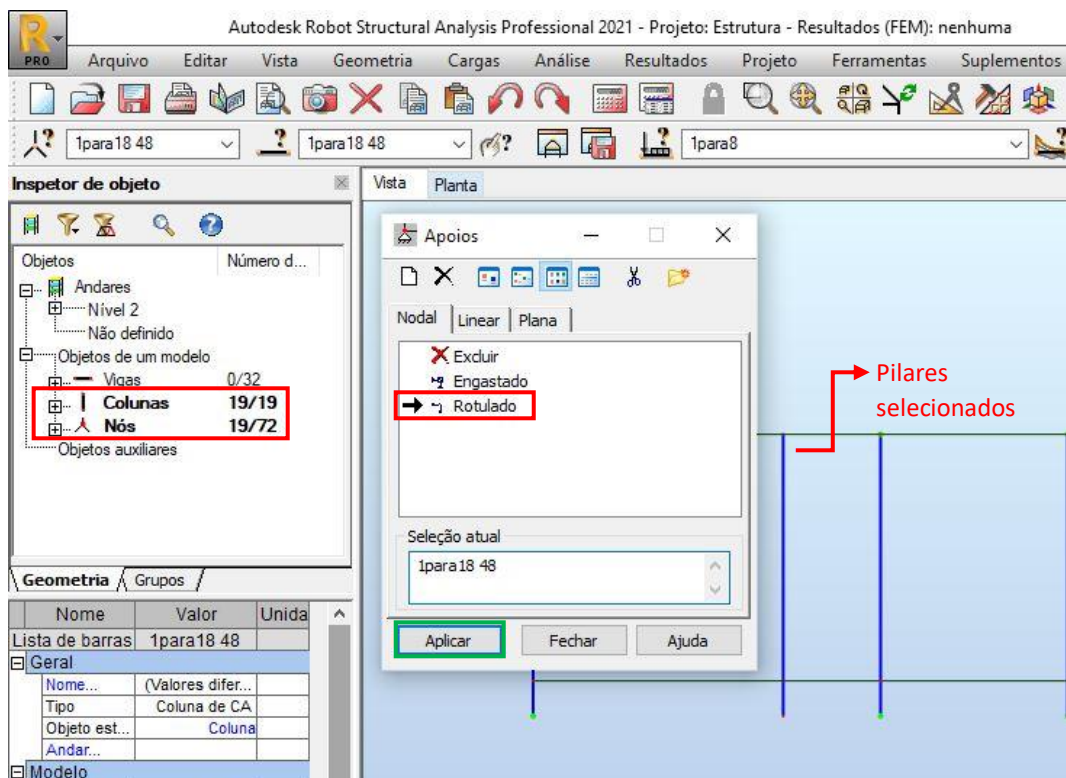
Para inserir a vinculação dos pilares, após selecionar todas as colunas clicar no ícone “Apoios”, selecionar a opção “Rotulado” e “Aplicar”. Conforme ilustrado nas Figuras 26 e 27.

Figura 26 – Ícone “Apoios”.



Fonte: Autor.

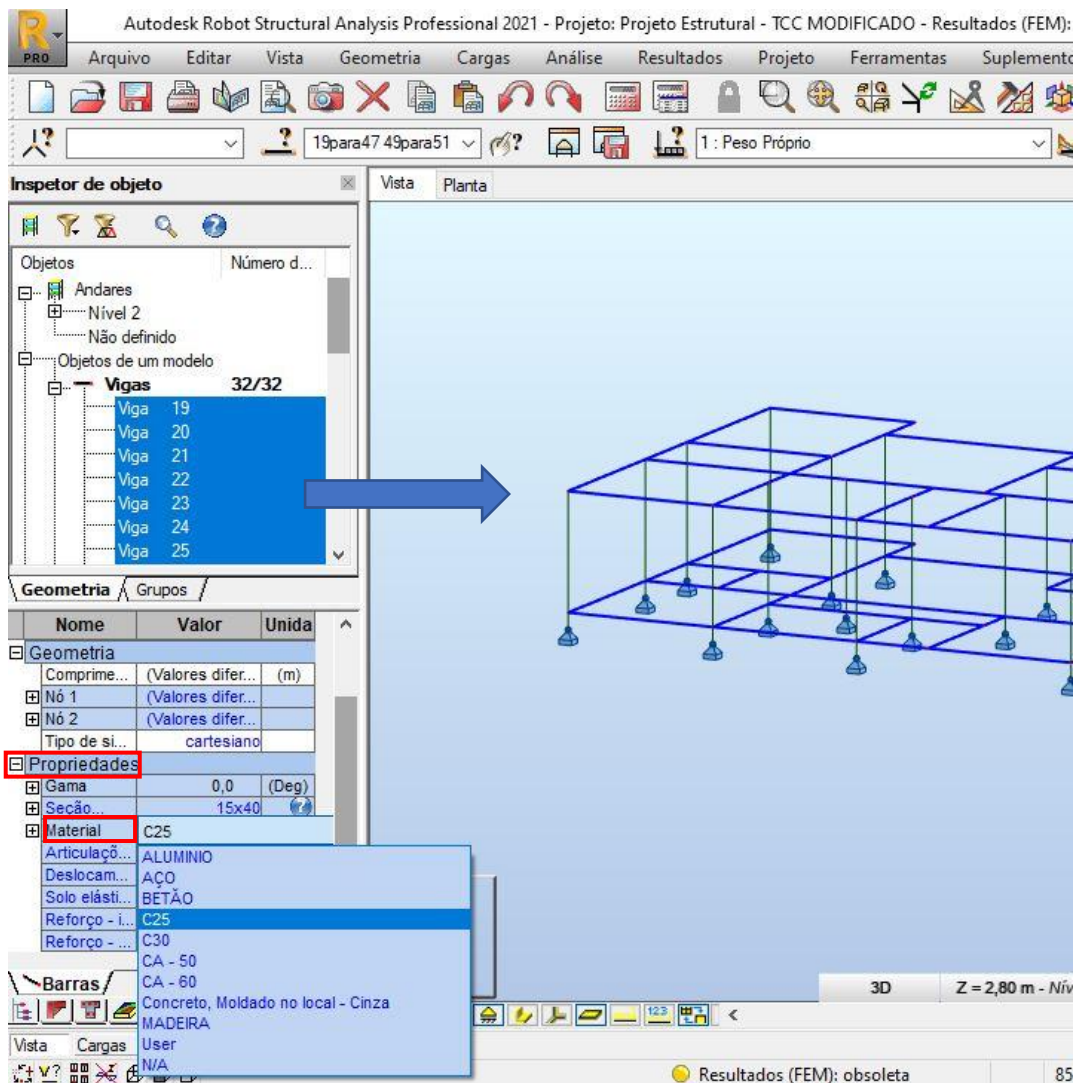
Figura 27 – Inserção dos apoios nos pilares/colunas.



Fonte: Autor.

Para atribuir a classe do concreto aos elementos, primeiramente selecionar todas as vigas, em “Propriedades”, “Material” e escolher entre as classes de concreto que foram criadas, neste projeto foi usado Concreto C25 para as vigas e pilares. Repetir o mesmo passo com os pilares. Conforme ilustrado na Figura 28.

Figura 28 – Atribuindo a classe de concreto aos elementos estruturais.



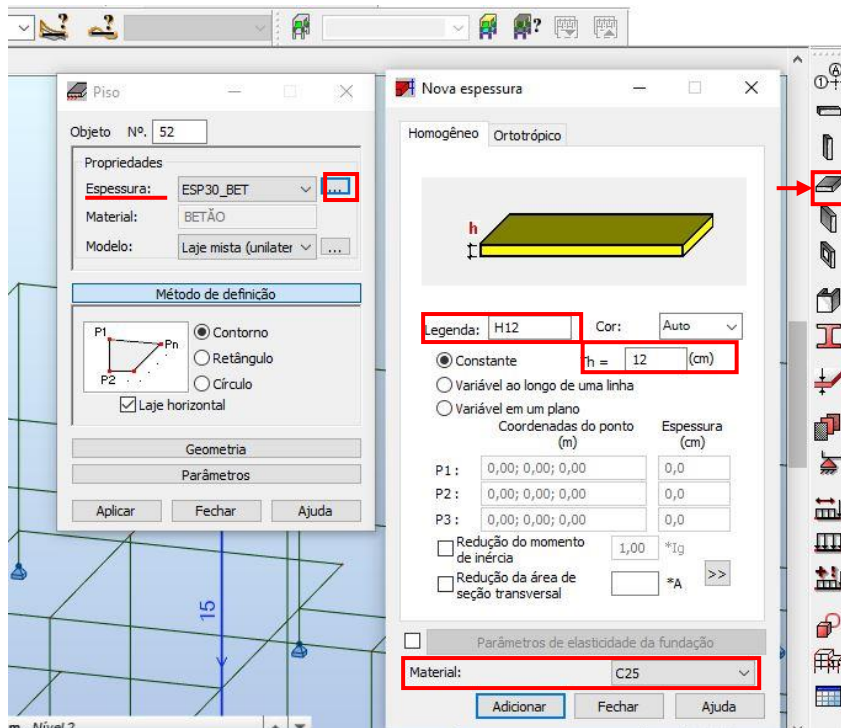
Fonte: Autor.

3.6.1 Modelagem das lajes

Na barra lateral clicar em “Pisos”. Para criar uma nova espessura clicar em “...” para abrir a janela “Nova espessura”. Na aba “Homogêneo” alterar a legenda, “Th” (espessura) e o material. Na aba “Ortotrópico” alterar o tipo da laje para “Ortotropia do

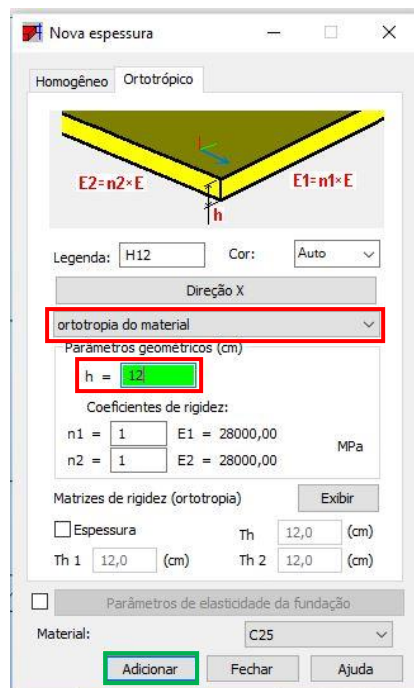
material”, que corresponde a laje maciça, e o “h” (espessura). Para finalizar clicar em “Adicionar”. Conforme ilustrado nas Figuras 29 e 30.

Figura 29 – Criação de nova espessura de laje.



Fonte: Autor.

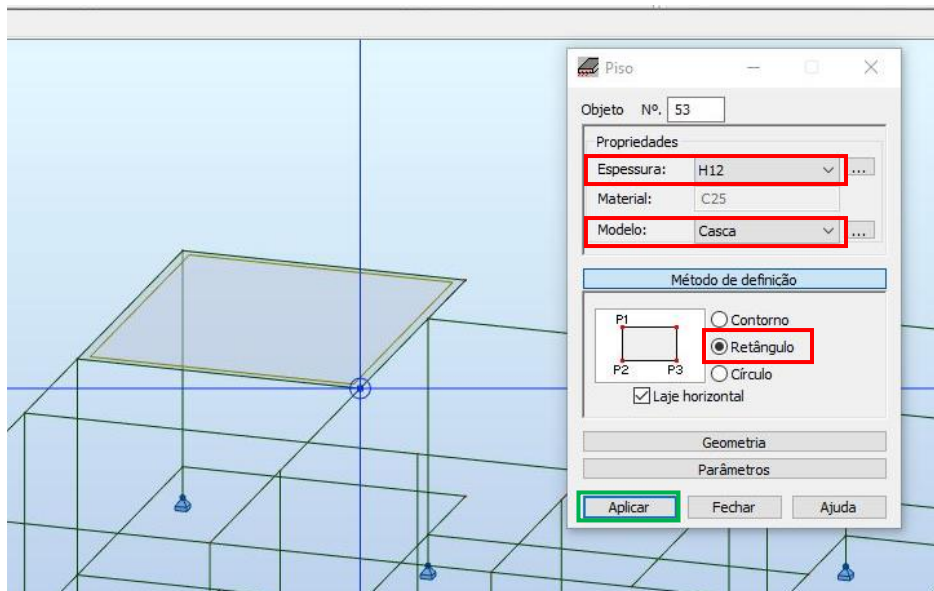
Figura 30 – Finalização da criação da laje.



Fonte: Autor.

Para inserir a laje, na janela “Piso”, selecionar a espessura de laje criada, em “Modelo” selecionar “Casca”. Em “Método de Definição” marcar a opção “Retângulo”. Clicar em três vértices da laje irá desenhá-la, fazer todas as lajes separadamente e para finalizar clicar em “Fechar”. Conforme ilustrado na Figura 31.

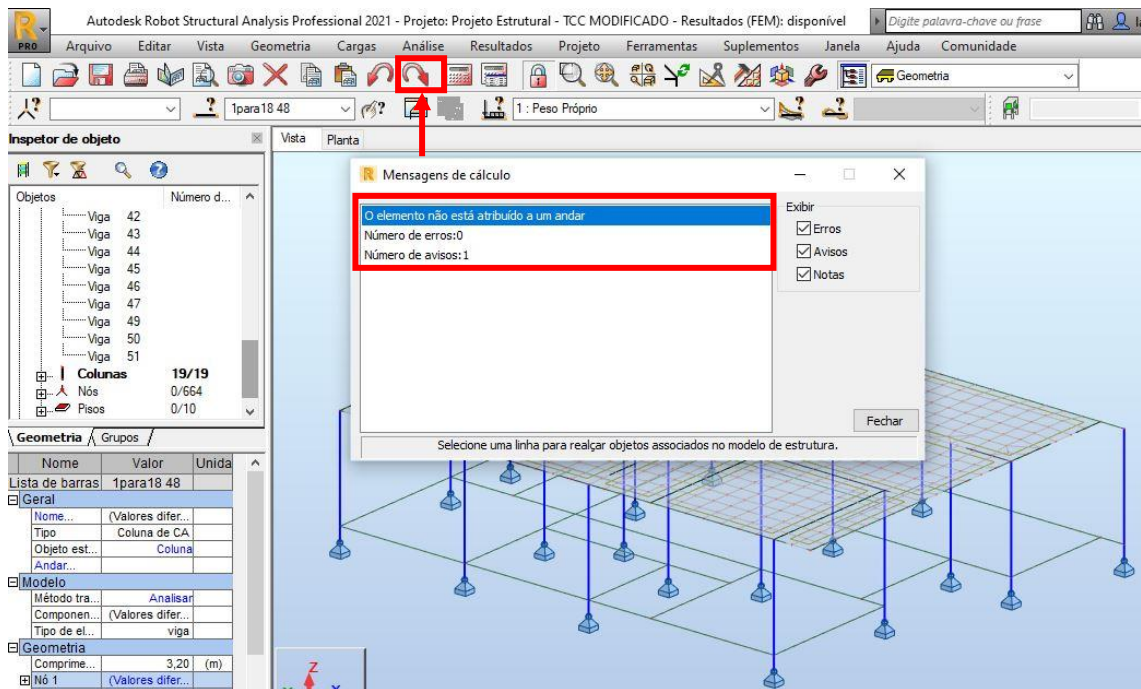
Figura 31 – Modelagem das lajes.



Fonte: Autor.

Deve-se verificar se a estrutura está correta, clicando em “Cálculos”, para buscar se há erros no modelo. Nesse caso não apareceram erros, ou seja, a estrutura modelada no Revit foi compreendida pelo Robot e o aviso “O elemento não está atribuído a um andar” pode ser ignorado. Conforme ilustrado na Figura 32.

Figura 32 – Processamento da estrutura para verificar existências de erros.



Fonte: Autor.

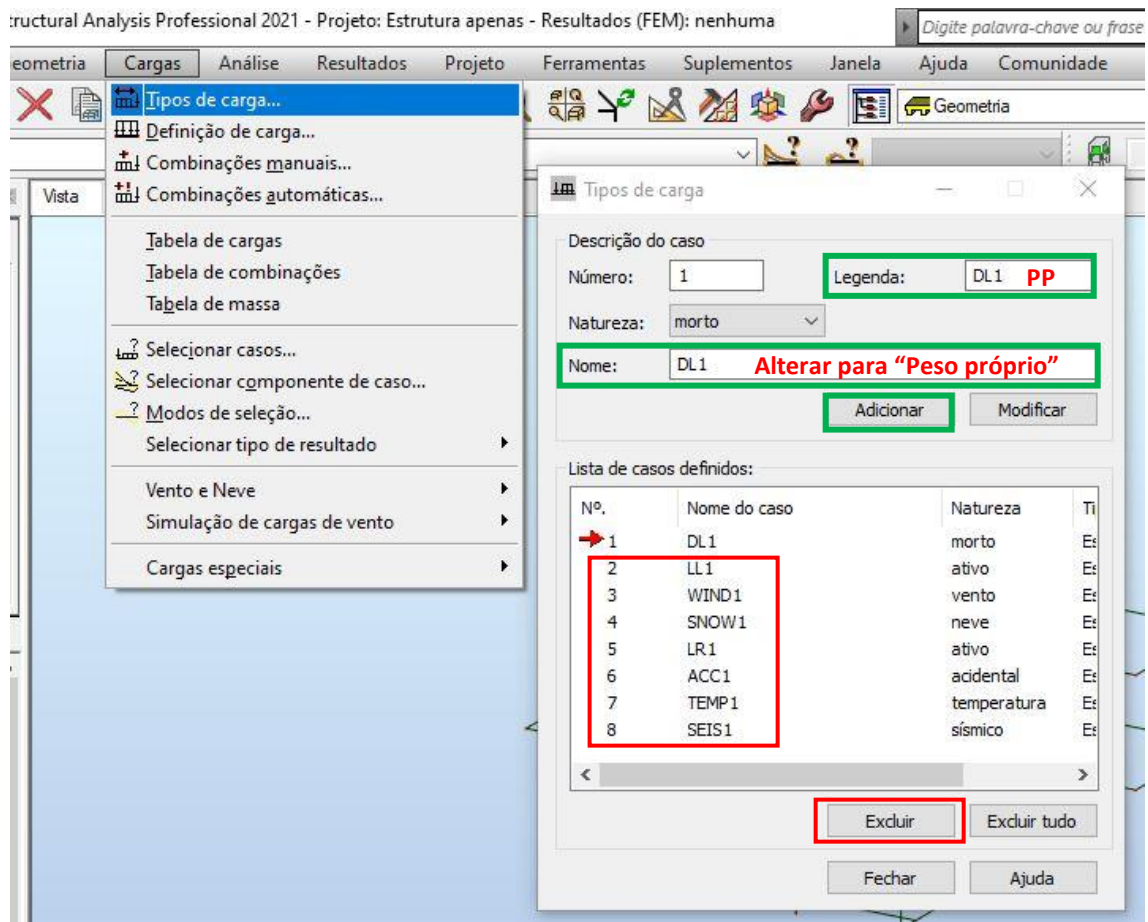
3.6.2 Criação de cargas

De acordo com a NBR 6120:2019 e com o tipo de edificação e estrutura, além do peso próprio, as cargas consideradas foram as seguintes:

- Laje de cobertura (sobrecarga) = 1 kN/m²
- Laje de cobertura (telhas de alumínio) = 0,3 kN/m²
- Laje do reservatório (1000L) = 10 kN / 7,10 m² = 1,4 kN/m²
- Vigas baldrame (Alvenaria de vedação bloco cerâmico vazada 14 cm) = 1,8 kN/m²
* 2,68 m ou 2,40 m (alturas da parede)

Na aba “Cargas”, “Tipos de carga” há uma listagem de cargas que devem ser apagadas, com exceção de “DL1” que se refere ao peso próprio da estrutura que pode apenas alterar o nome para facilitar a análise posteriormente. Para apagar as cargas que não serão usadas deve-se selecioná-las, uma de cada vez e clicar em “Excluir”. Já para renomear a “DL1”, com ela selecionada altera-se o nome e clica em “Adicionar”. Conforme ilustrado na Figura 33.

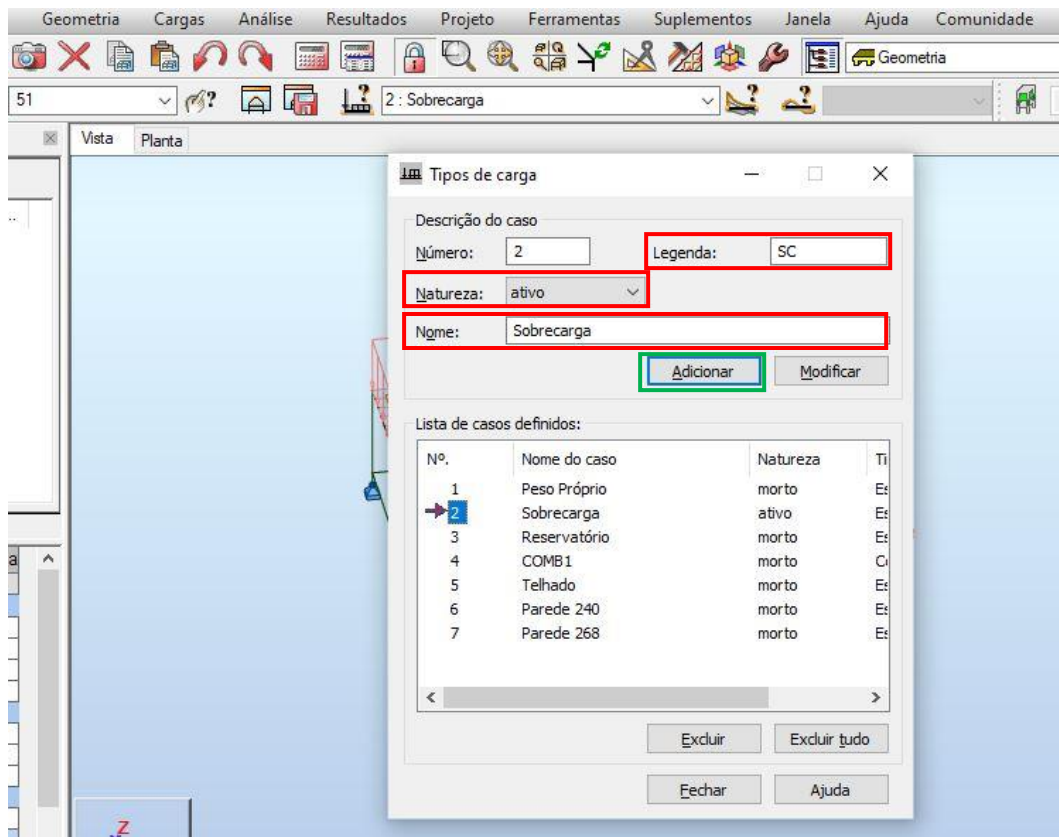
Figura 33 – Aba cargas.



Fonte: Autor.

Ainda na janela "Tipos de carga", para criação das cargas é necessário alterar o campo "Nome", "Legenda" e definir a natureza carga entre morto (permanente) ou ativo (variável). Para inserir na lista a nova carga clicar em "Adicionar". Conforme ilustrado na Figura 34.

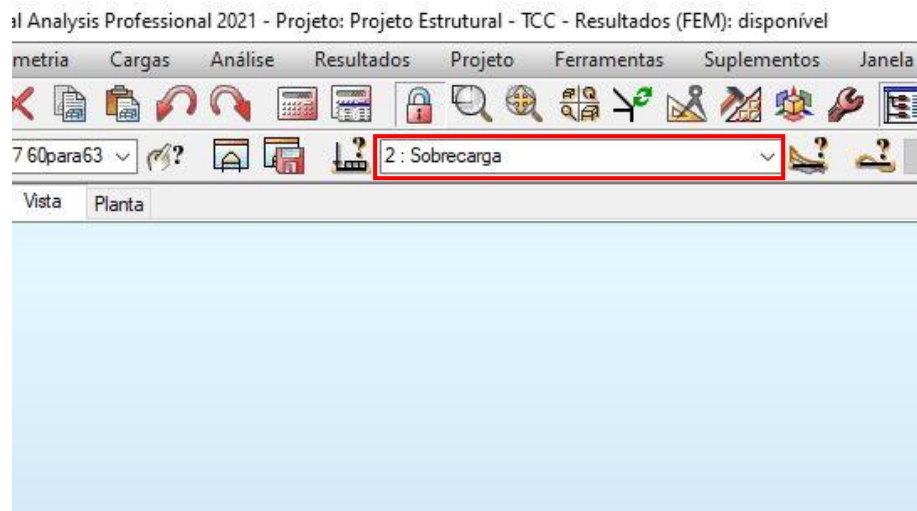
Figura 34 – Criação das cargas.



Fonte: Autor.

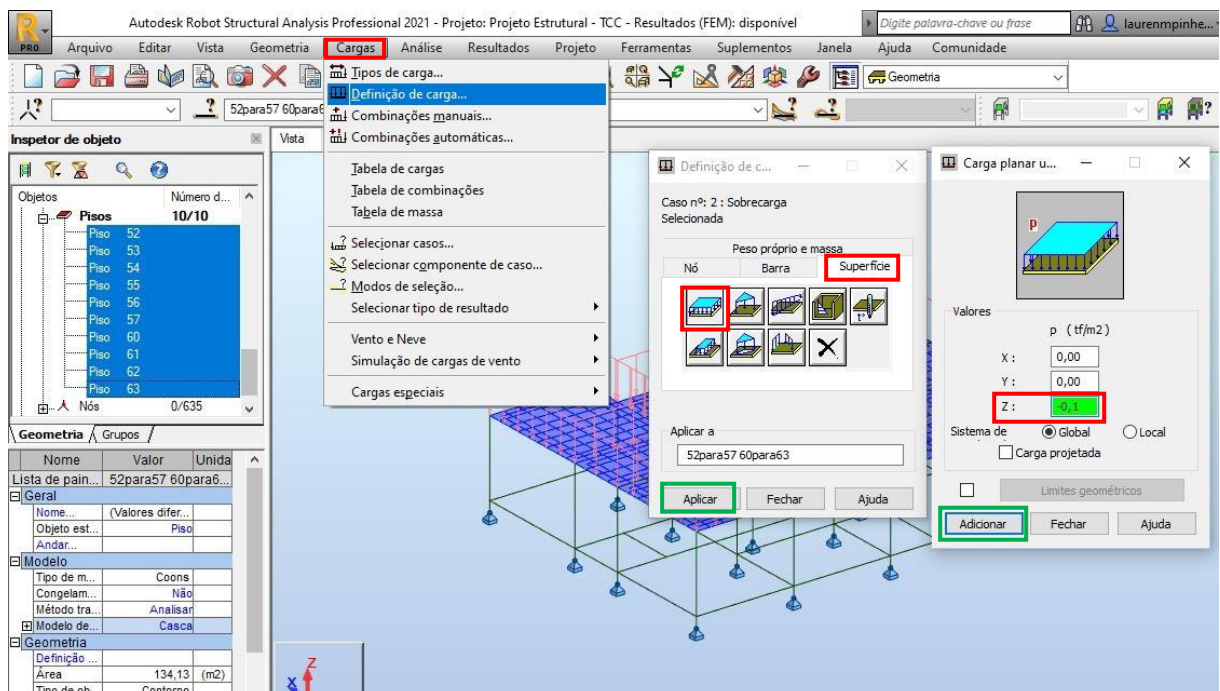
Para inserir o valor das cargas em seus respectivos elementos estruturais primeiro selecionar a carga desejada. Após selecionar os elementos, clicar na aba “Cargas” e “Definição de carga”. A criação será acordo com o tipo de carga (nó, barra ou superfície). Na janela seguinte, adicionar o valor da carga (unidade tf), no eixo em que ela será inserida e com sinal negativo se for compressão. Para finalizar, clicar em “Adicionar” e “Aplicar”. Repetir esse processo para as demais cargas, com exceção do peso próprio. Conforme ilustrado nas Figuras 35 e 36.

Figura 35 – Seleção do tipo de carga.



Fonte: Autor.

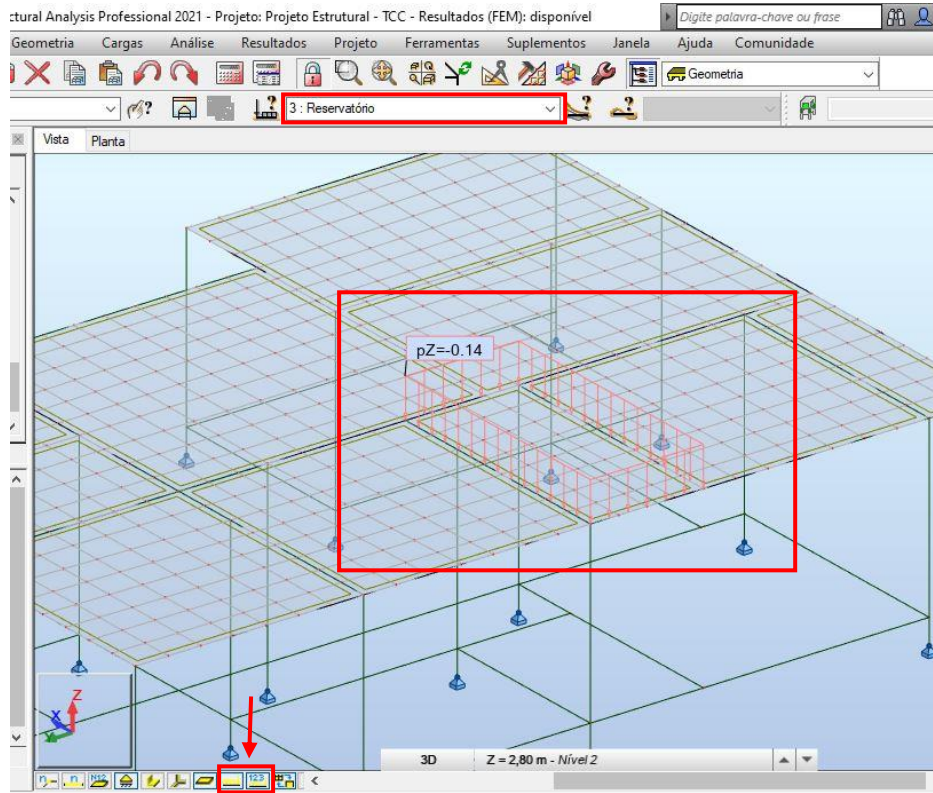
Figura 36 – Inserção da sobrecarga na laje.



Fonte: Autor.

Para visualizar as cargas no modelo, selecionar a carga desejada e clicar nos ícones “Símbolos de Carga” e “Descrições dos valores de carga” na barra inferior. Conforme ilustrado na Figura 37.

Figura 37 – Visualização da carga.



Fonte: Autor.

Na aba “Cargas”, “Tabela de cargas” ficam descritas todas as cargas criadas com seus respectivos valores, podendo ser feita alterações nos mesmos. Conforme ilustrado na Figura 38.

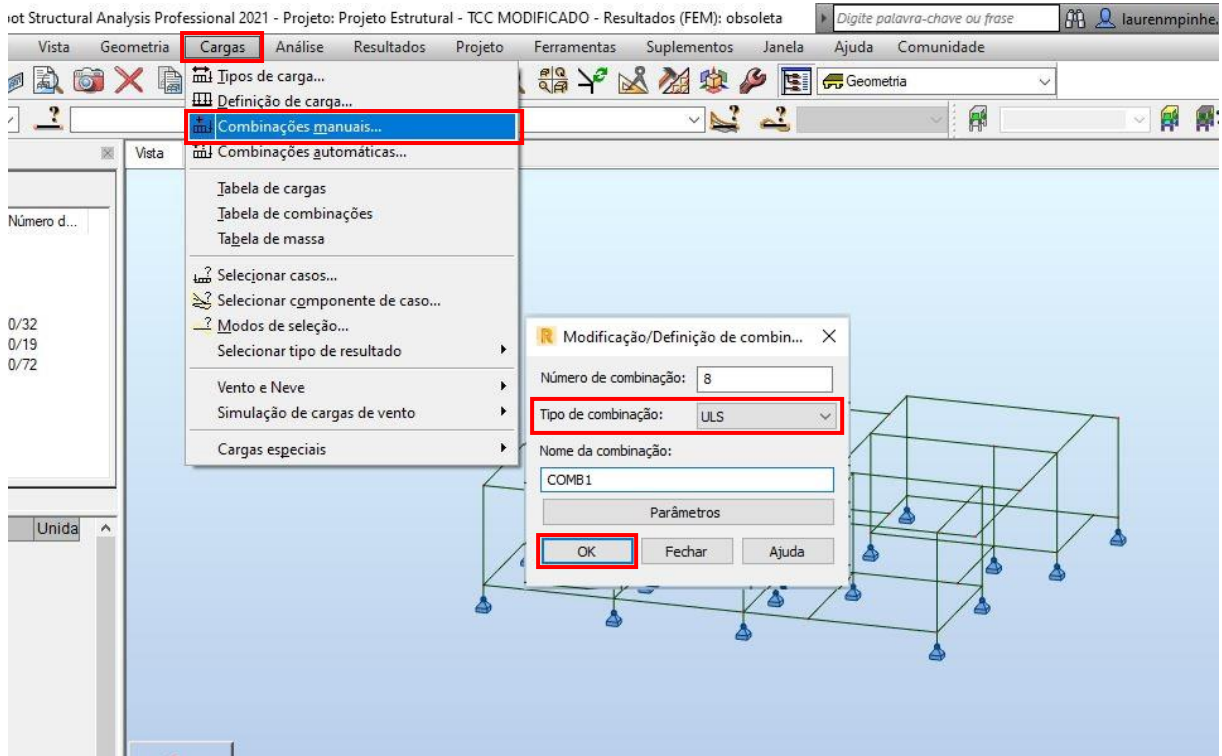
Figura 38 – Tabela de cargas.

Caso	Tipo de carga	Lista	Toda a estru	Z	Fator=1,00	Normal	MEMO:							
1.Peso Próprio	peso próprio	1para57 60p												
3.Reservatório	(EF) uniforme		PX=0,0	PY=0,0	PZ=-0,14	global	não projetado absoluta	Limites	MEMO:					
2.Sobrecarga	(EF) uniforme		PX=0,0	PY=0,0	PZ=-0,10	global	não projetado absoluta	Limites	MEMO:					
5.Telhado	(EF) uniforme		PX=0,0	PY=0,0	PZ=-0,03	global	não projetado absoluta	Limites	MEMO:					
7.Parede 268	carga uniforme		PX=0,0	PY=0,0	PZ=-0,48	global	não projetado absoluta	AL=0,0	BE=0,0	GA=0,0	DY=0,0	DZ=0,0		
6.Parede 240	carga uniforme		PX=0,0	PY=0,0	PZ=-0,43	global	não projetado absoluta	AL=0,0	BE=0,0	GA=0,0	DY=0,0	DZ=0,0		
2.Sobrecarga	(EF) uniforme	52para57 60p	PX=0,0	PY=0,0	PZ=-0,10	global	não projetado absoluta	Limites	MEMO:					
3.Reservatório	(EF) uniforme	63	PX=0,0	PY=0,0	PZ=-0,14	global	não projetado absoluta	Limites	MEMO:					
5.Telhado	(EF) uniforme	52para57 60p	PX=0,0	PY=0,0	PZ=-0,03	global	não projetado absoluta	Limites	MEMO:					
6.Parede 240	carga uniforme	19 20 22para	PX=0,0	PY=0,0	PZ=-0,43	global	não projetado absoluta	AL=0,0	BE=0,0	GA=0,0	DY=0,0	DZ=0,0		
7.Parede 268	carga uniforme	21 27 30	PX=0,0	PY=0,0	PZ=-0,48	global	não projetado absoluta	AL=0,0	BE=0,0	GA=0,0	DY=0,0	DZ=0,0		

Fonte: Autor.

Para criar a combinação das cargas, na aba “Cargas”, “Combinções Manuais”, no tipo de combinação selecionar “ULS” (Estado limite de serviço) e clicar em “OK”. Conforme ilustrado na Figura 39.

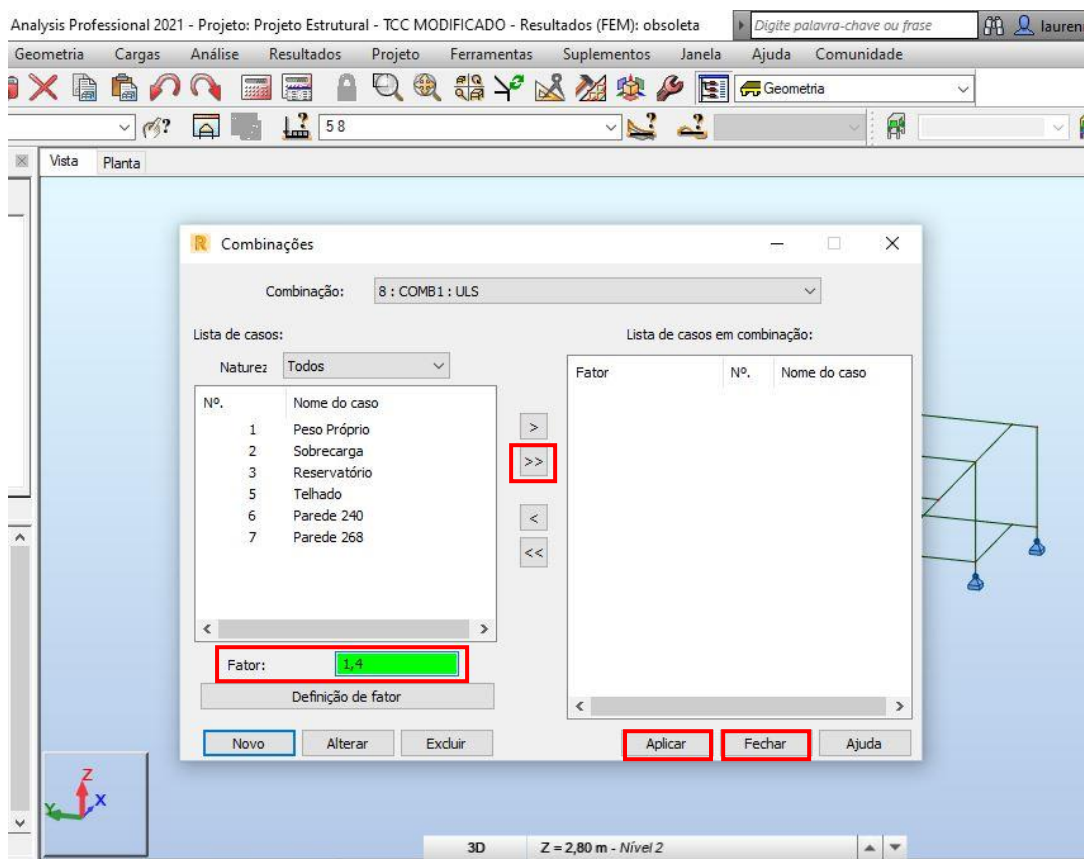
Figura 39 – Combinções manuais



Fonte: Autor.

Na janela seguinte “Combinções”, definir o fator como 1,4 e clicar no ícone “>>” para atribuir esse fator a todas as cargas. Para finalizar clicar em “Aplicar” e “Fechar”. Conforme ilustrado na Figura 40.

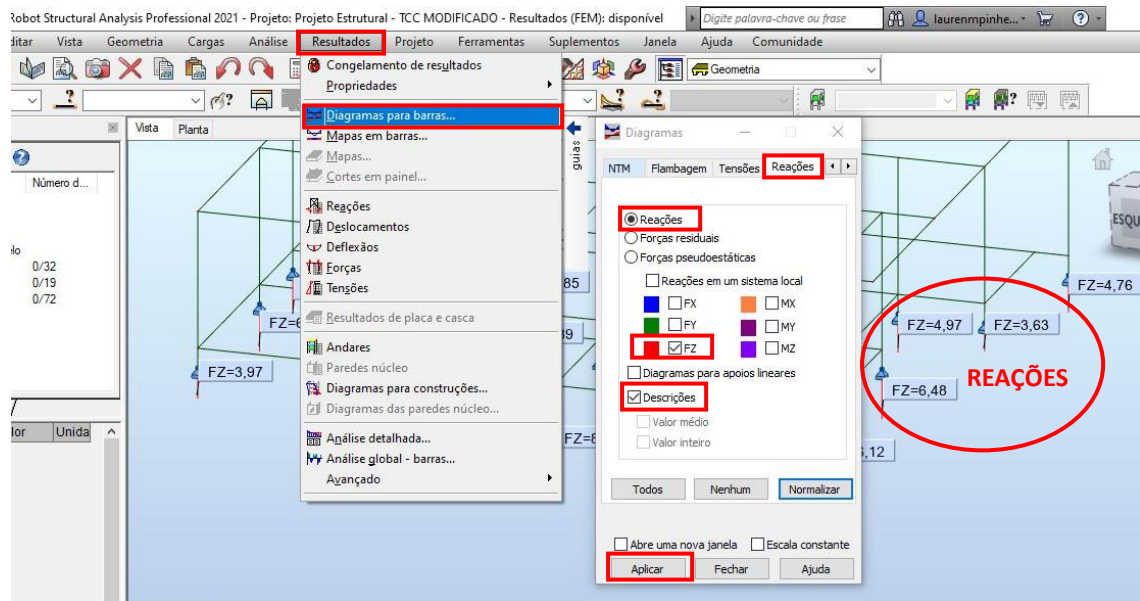
Figura 40 – Fator de majoração das cargas.



Fonte: Autor.

Para visualização das reações da combinação de cargas, com a combinação selecionada, na aba “Resultados”, “Diagramas para barras”. Na aba “Reações”, marcando a opção “Fz” e “Descrições” e clicando em “Aplicar” o programa dará as reações verticais nos pilares. Na aba “NTM” há opção de visualizar o diagrama cortante e momento fletor das barras. Conforme ilustrado na Figura 41.

Figura 41 – Visualização das reações nos apoios.

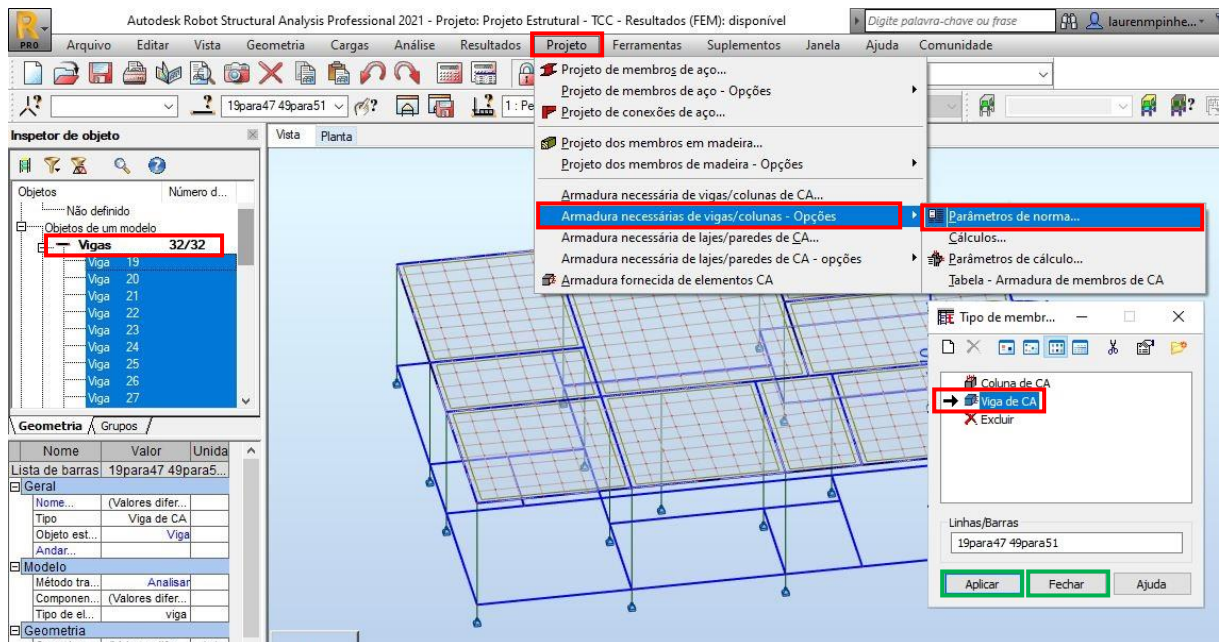


Fonte: Autor.

3.6.3 Cálculo das vigas

Primeiramente é necessário selecionar todas as vigas e na aba “Projeto”, “Armadura necessária de vigas/colunas – Opções”, “Parâmetros de norma”, selecionar “Viga de CA” e para finalizar clicar em “Aplicar” e “Fechar”. Conforme ilustrado na Figura 42.

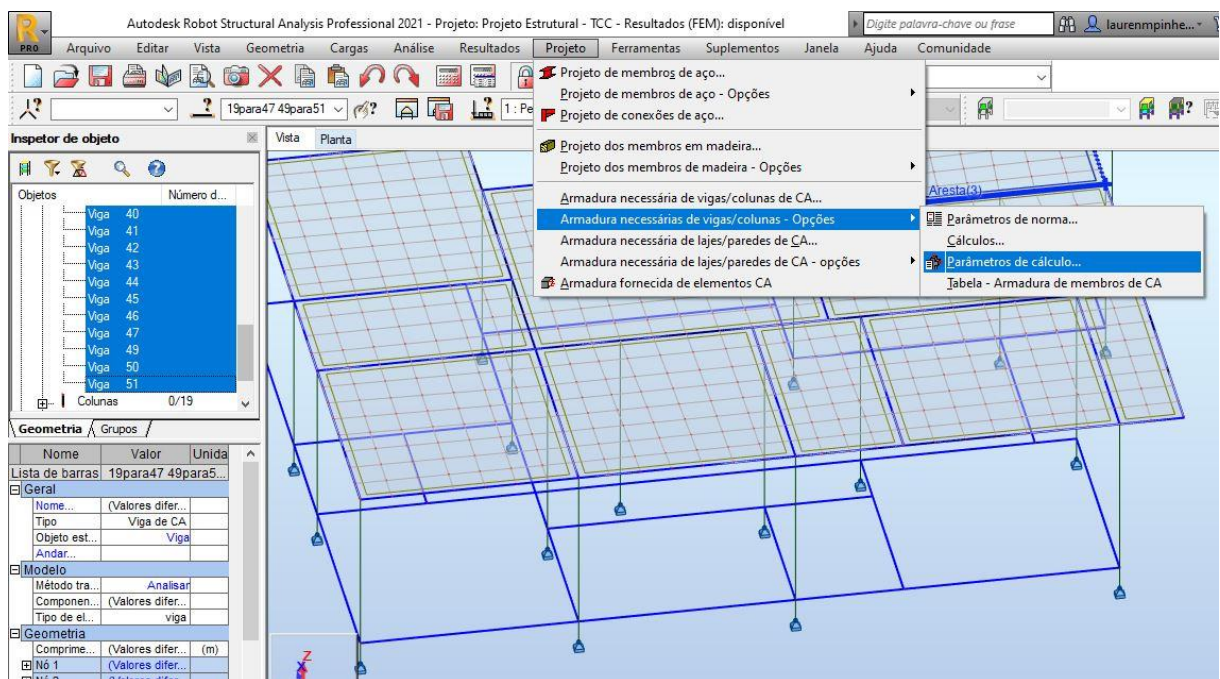
Figura 42 – Parâmetro de norma nas vigas.



Fonte: Autor.

Selecionar todas as vigas novamente, na aba “Projeto”, “Armadura necessária de vigas/colunas – Opções”, clicar em “Parâmetros de cálculo”. Conforme ilustrado na Figura 43.

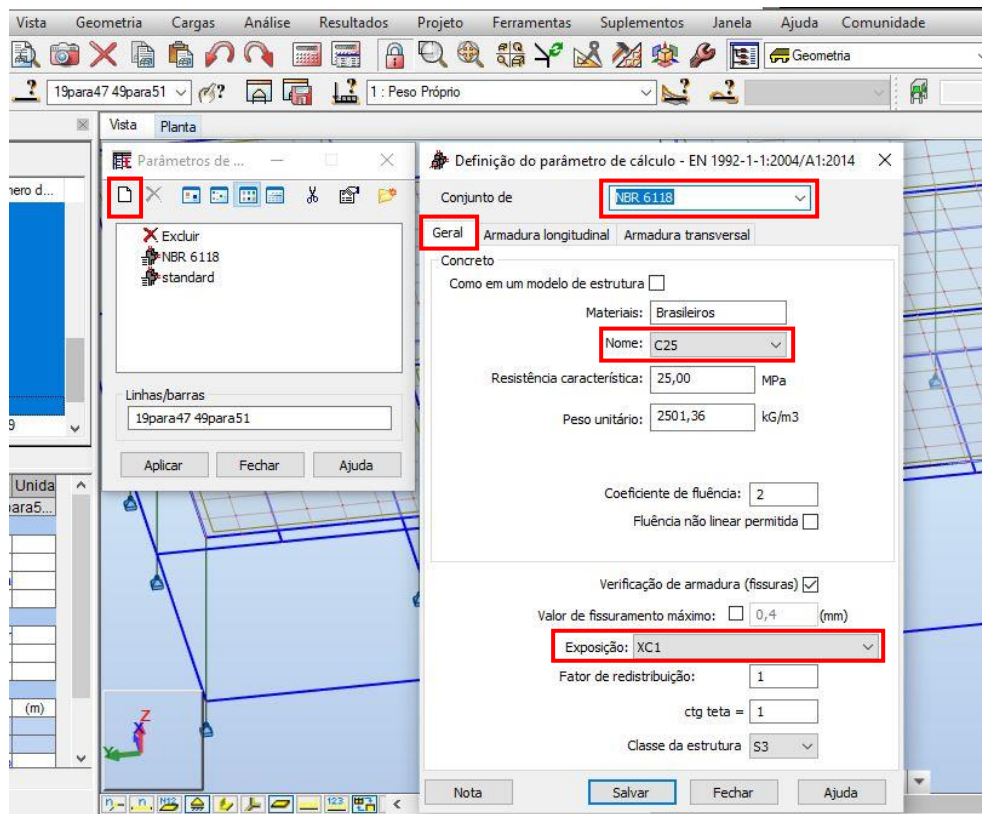
Figura 43 – Parâmetro de cálculo nas vigas.



Fonte: Autor.

Na janela “Parâmetros de cálculo”, clicar em “Definição de um novo conjunto de parâmetros de cálculo”. Na aba “Geral”, alterar o nome do conjunto para “NBR 6118”, em “Nome” definir a classe do concreto, em “Exposição” selecionar a opção “XC1” e para “Classe da estrutura” a opção “S3”. Conforme ilustrado na Figura 44.

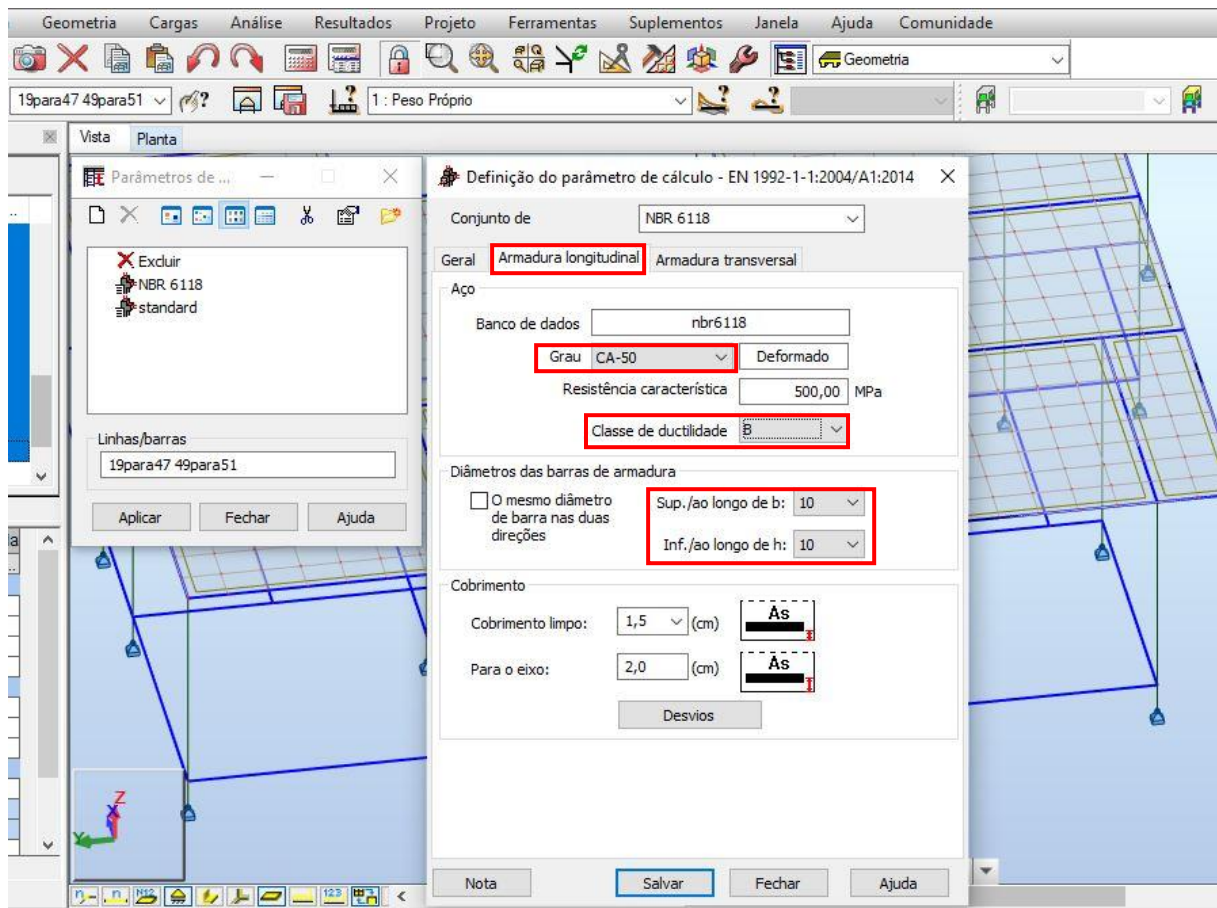
Figura 44 – Definição do parâmetro de cálculo (vigas).



Fonte: Autor.

Na aba “Armadura Longitudinal”, em “Grau” selecionar CA-50 e “Classe de Ductilidade” selecionar “B”. Em “Diâmetros das barras de armaduras” manter 10mm para superior e inferior. Conforme ilustrado na Figura 45.

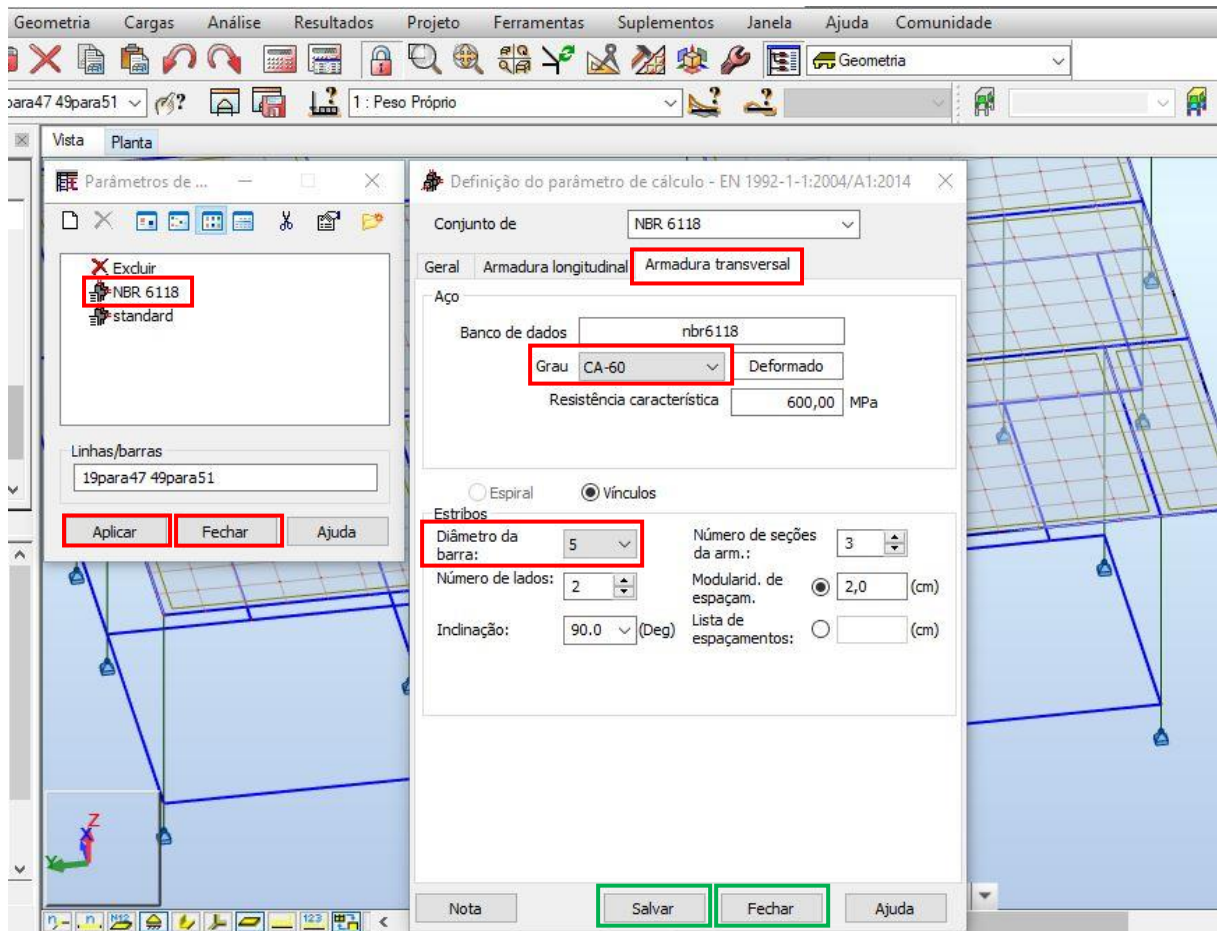
Figura 45 – Armadura Longitudinal no parâmetro de cálculo.



Fonte: Autor.

Na aba “Armadura transversal”, em “Grau” selecionar CA-60 e nos estribos, “Diâmetro da barra” optar por 5 mm. Para finalizar, clicar em “Salvar” e “Fechar”. Para atribuir esse parâmetro criado nas vigas previamente selecionar, na janela “Parâmetros de cálculo” selecionar o novo parâmetro e clicar em “Aplicar” e “Fechar”. Conforme ilustrado na Figura 46.

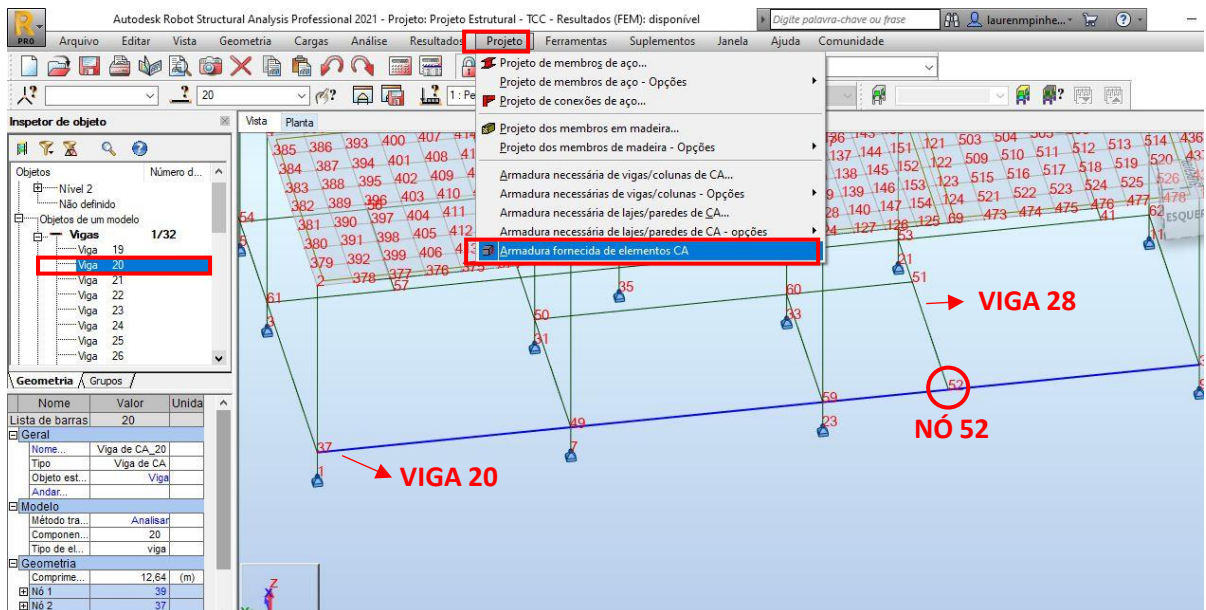
Figura 46 – Armadura transversal no parâmetro de cálculo.



Fonte: Autor.

Para o dimensionamento da armadura, primeiramente analisar os nós da viga a ser calculada. Na barra inferior, clicar no ícone “Número de nós” para visualizar o número correspondente de cada nó. Neste caso, observa-se que o nó 52 não será considerado um apoio para viga 20, pois a viga 28 está apoiada naquele ponto. Sabendo disso, na aba “Projeto” clicar em “Armadura fornecida de elementos CA”. Conforme ilustrado na Figura 47.

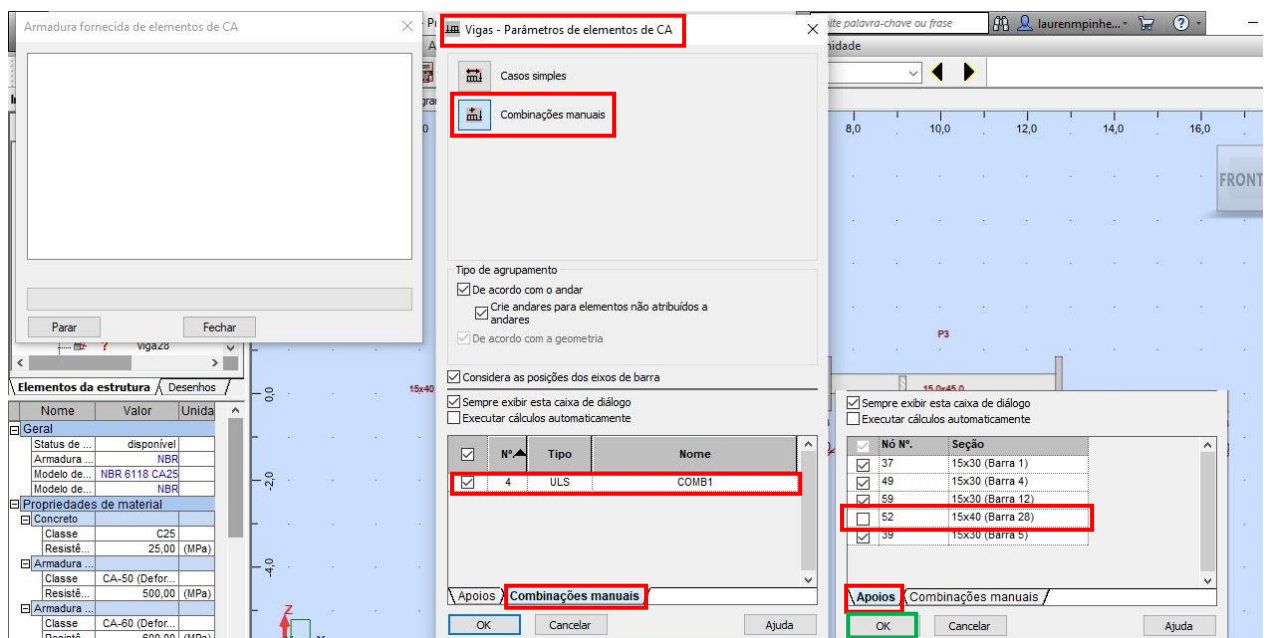
Figura 47 – Dimensionamento de uma viga.



Fonte: Autor.

Na janela “Vigas – Parâmetros de elementos de CA”, na aba “Combinções manuais” selecionar a opção de “Combinções manuais” e verificar se a combinação criada anteriormente está selecionada. Na aba “Apoios” desmarcar o(s) nó(s) necessário(s). Clicar em “OK” para gerar o elemento. Conforme ilustrado na Figura 48.

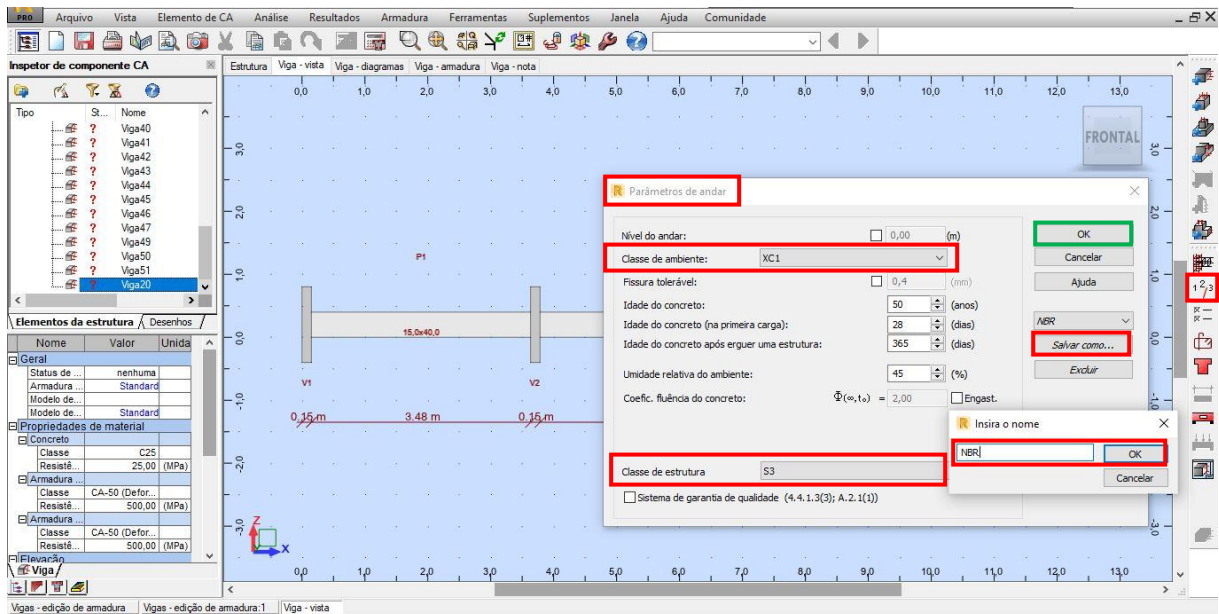
Figura 48 – Combinação manual e apoios.



Fonte: autor.

Para gerar a armadura é necessário definir determinados parâmetros. Na aba lateral, clicar no ícone “Parâmetros de andar” alterar a “Classe de ambiente” para “XC1” e a “Classe da estrutura” para “S3”. Clicar em “Salvar como...” e inserir o nome “NBR6118” e clicar em “OK”. Conforme ilustrado na Figura 49.

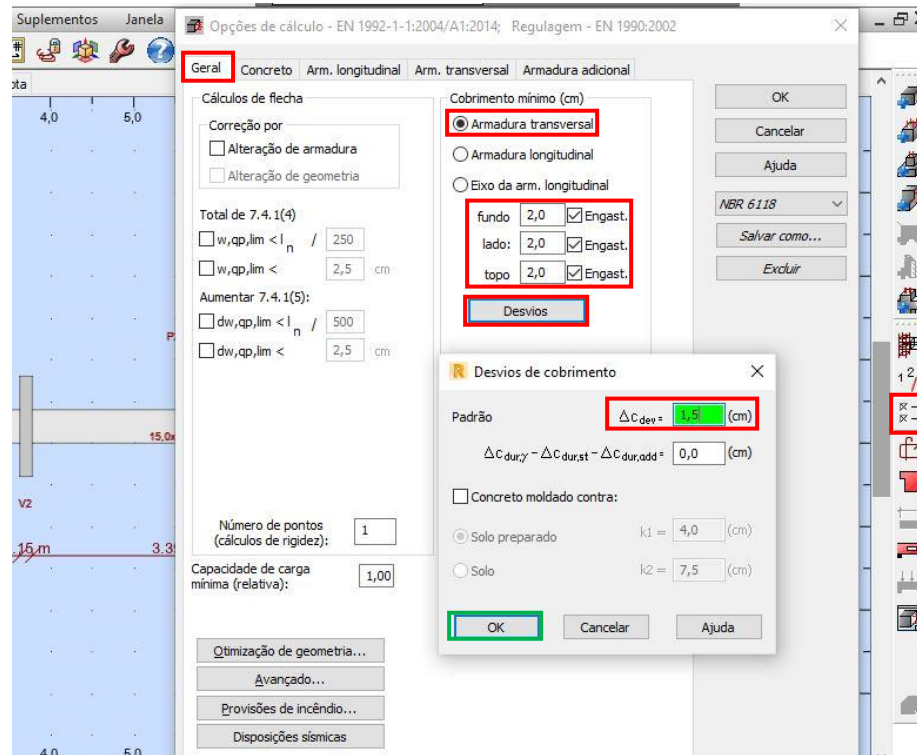
Figura 49 – Parâmetros de andar.



Fonte: Autor.

Na aba lateral, clicar no ícone “Opções de Cálculo”. Na aba “Geral”, em “Cobrimento mínimo (cm)” marcar a opção “Armadura transversal”, em “fundo, lado e topo” marcar “Engast.” e se o cobrimento for de 3,5 cm no valor inserir 2,0 cm e em “Desvios” inserir 1,5 cm. Conforme ilustrado na Figura 50.

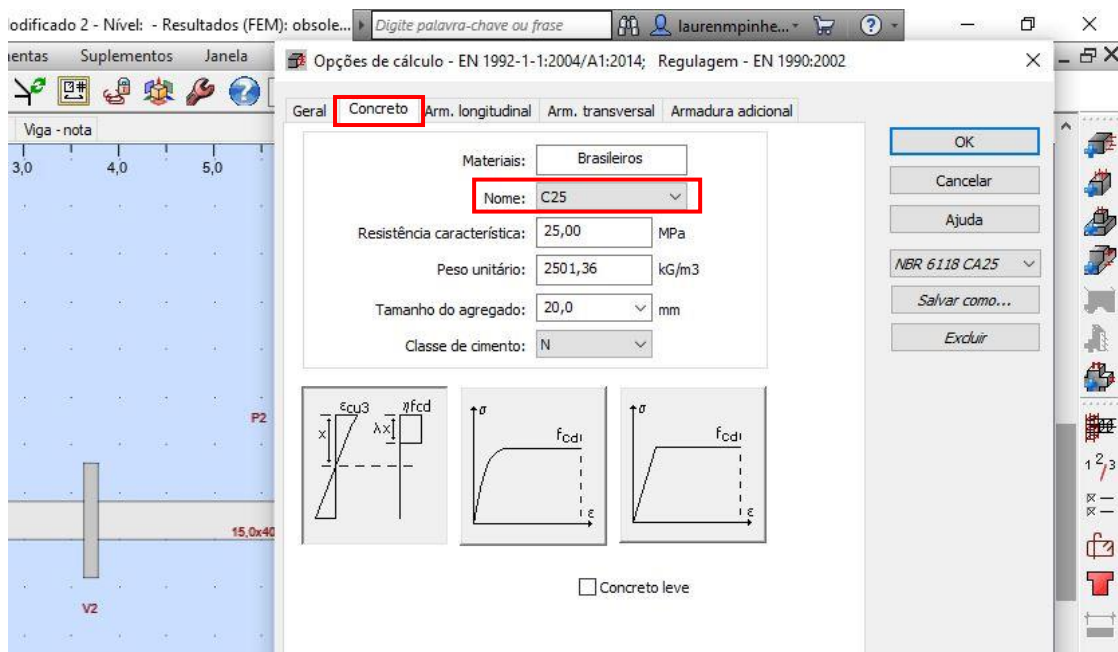
Figura 50 – Opções de cálculo.



Fonte: Autor.

Na aba “Concreto” em “Nome” definir a classe do concreto. Conforme ilustrado na Figura 51.

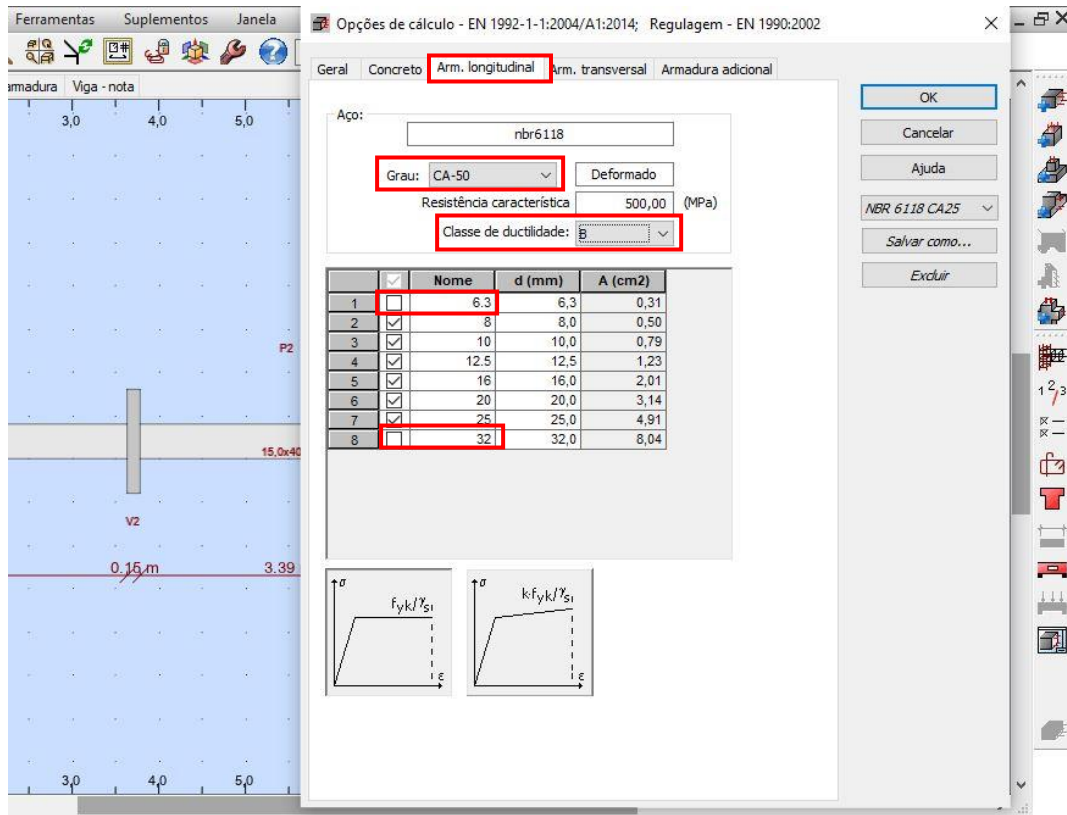
Figura 51 – Opções de cálculo (concreto).



Fonte: Autor.

Na aba “Arm. longitudinal”, alterar o “Grau” para CA-50, “Classe de ductilidade” para “B” e desmarcar os diâmetros que não serão usados para o dimensionamento das vigas (6.3 mm e 32 mm). Conforme ilustrado na figura 52.

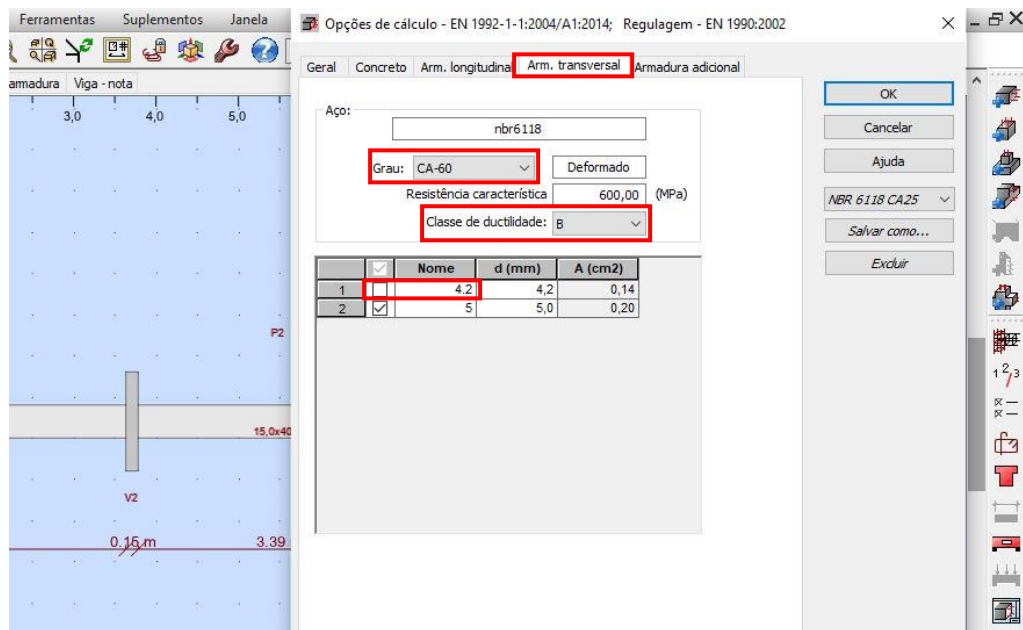
Figura 52 – Opções de cálculo (armadura longitudinal).



Fonte: Autor.

Na aba “Arm. transversal”, alterar o “Grau” para CA-60, “Classe de ductilidade” para “B” e desmarcar o diâmetro de 4.2 mm que não será usado para o dimensionamento dos estribos. Conforme ilustrado na Figura 53.

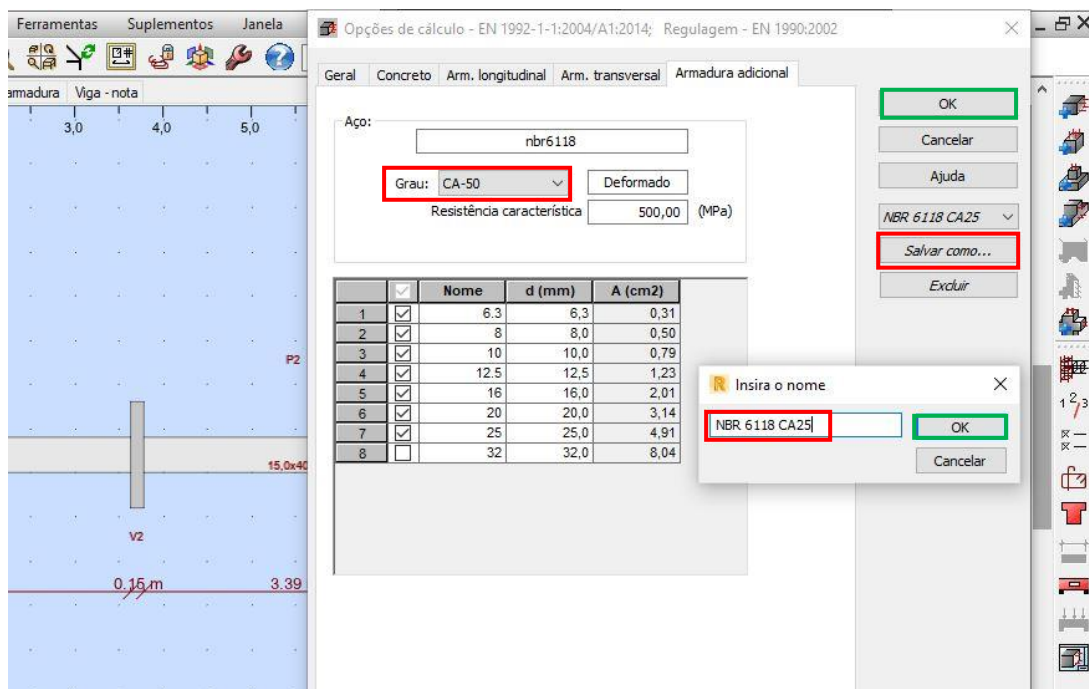
Figura 53 – Opções de cálculo (armadura transversal).



Fonte: Autor.

Na aba “Armadura adicional” alterar o “Grau” para CA-50. Clicar em “Salvar como...” e inserir o nome “NBR 6118 C25”, por exemplo. Clicar em “OK” para finalizar este parâmetro. Conforme ilustrado na Figura 54.

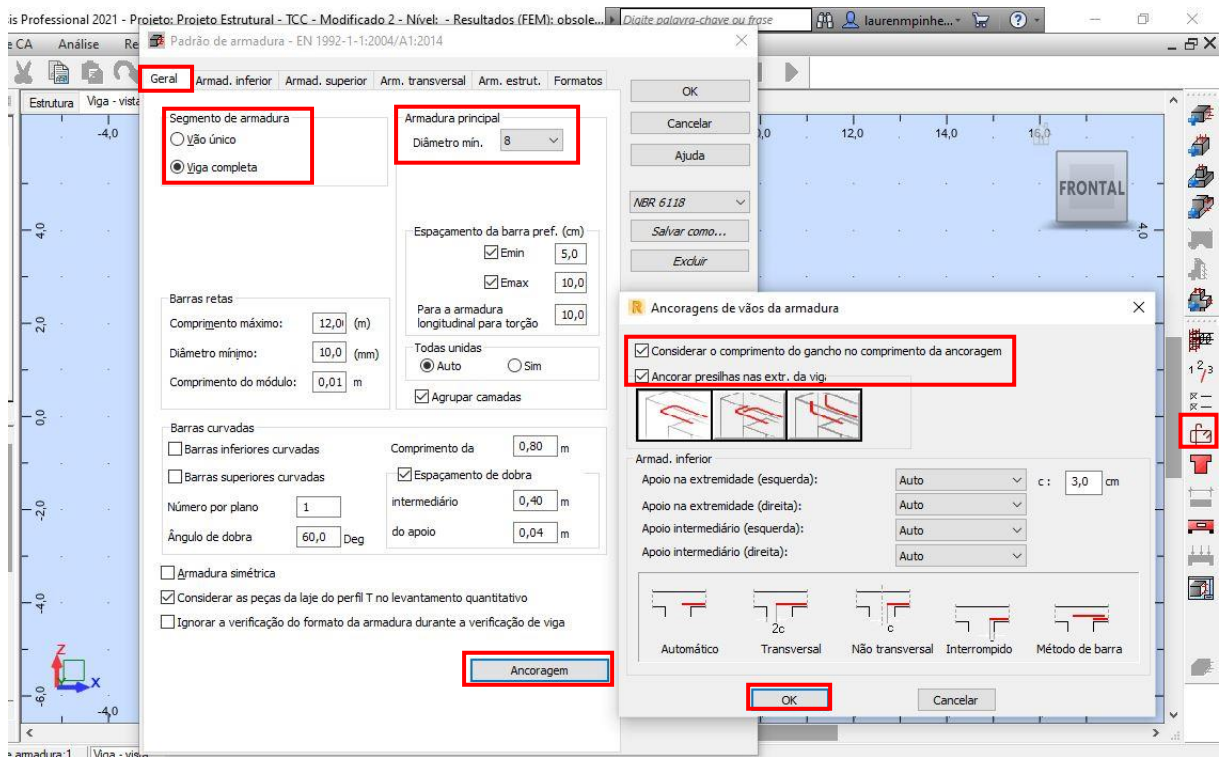
Figura 54 – Opções de cálculo (armadura adicional).



Fonte: Autor.

Na aba lateral, clicar no ícone “Padrão de armadura”. Na aba “Geral” em “Armadura principal” selecionar 8 mm no diâmetro mínimo. Em “Segmento de armadura” manter selecionada a opção “Viga completa”. Em “Ancoragem” verificar se as duas opções estão marcadas. Conforme ilustrado na Figura 55.

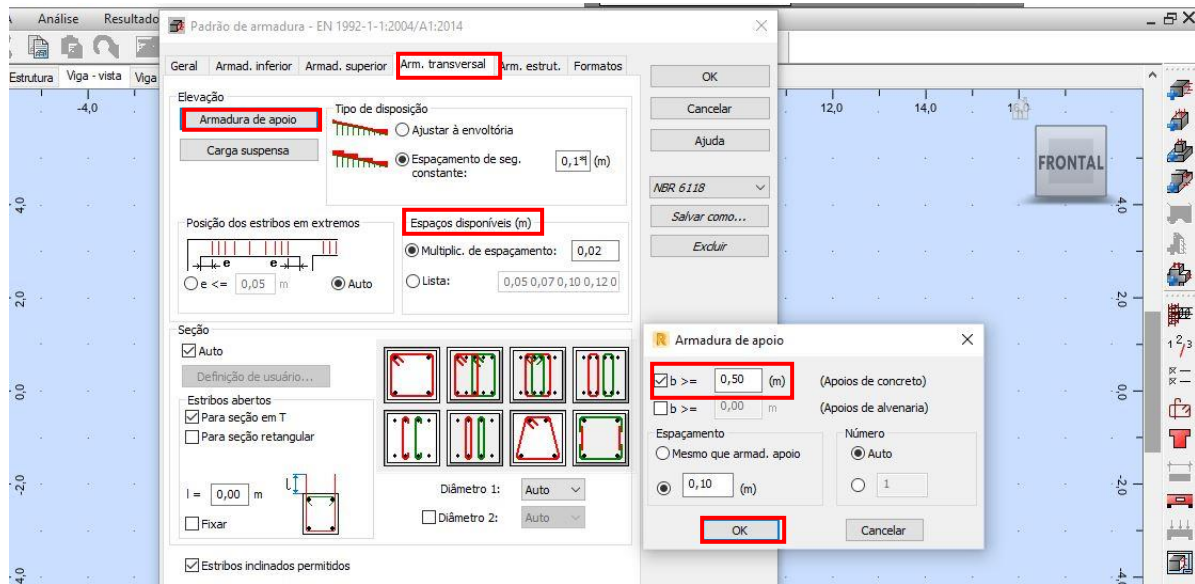
Figura 55 – Padrão de armadura (geral).



Fonte: Autor.

Na aba “Armad. Transversal”, “Elevação”, “Armadura de apoio” selecionar a opção “ $b \geq 0,50m$ ”. Se houver necessidade de fixar os espaçamentos de estribos é possível em “Espaços disponíveis (m)” marcar a opção “Lista” e listar os valores. Conforme ilustrado na Figura 56.

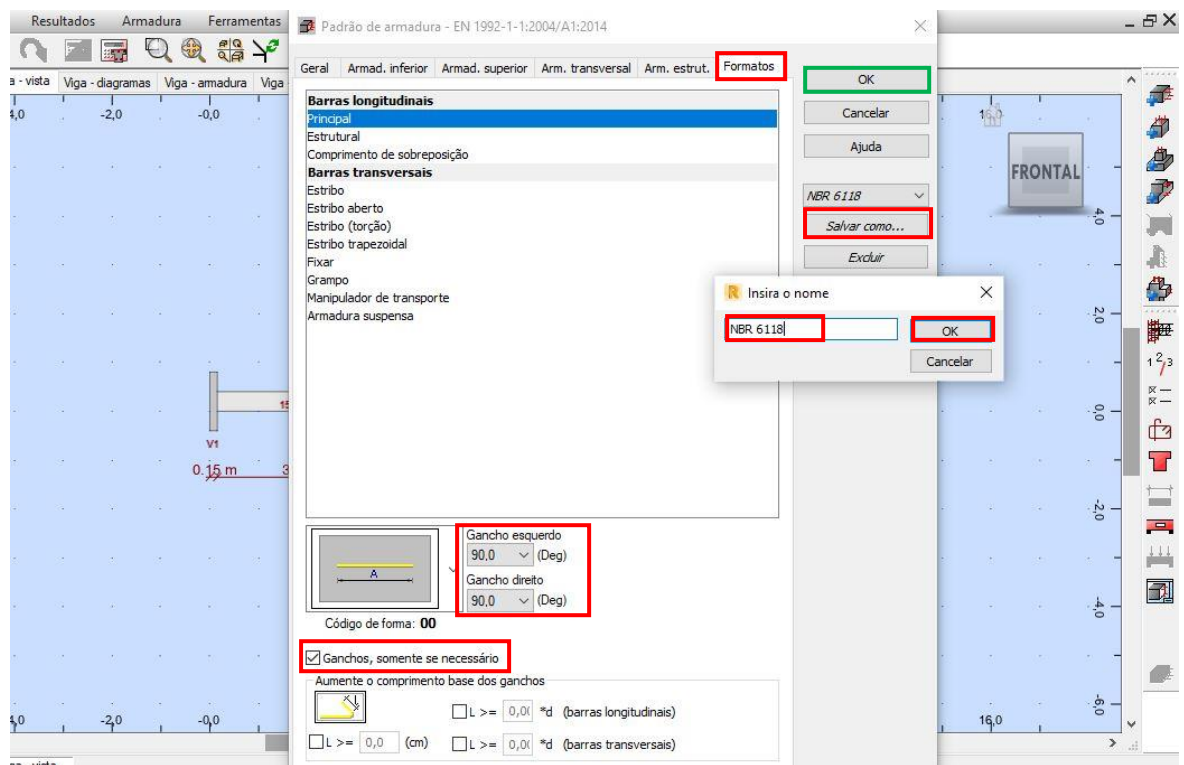
Figura 56 – Padrão de armadura (armadura transversal).



Fonte: Autor.

Na aba “Formatos” manter selecionada a opção “Ganchos, somente se necessário” e alterar o ângulo do gancho esquerdo e direito para 90 (deg). Para salvar o padrão de armadura configurado, clicar em “Salvar como...” e inserir o nome “NBR 6118”. Conforme ilustrado na Figura 57.

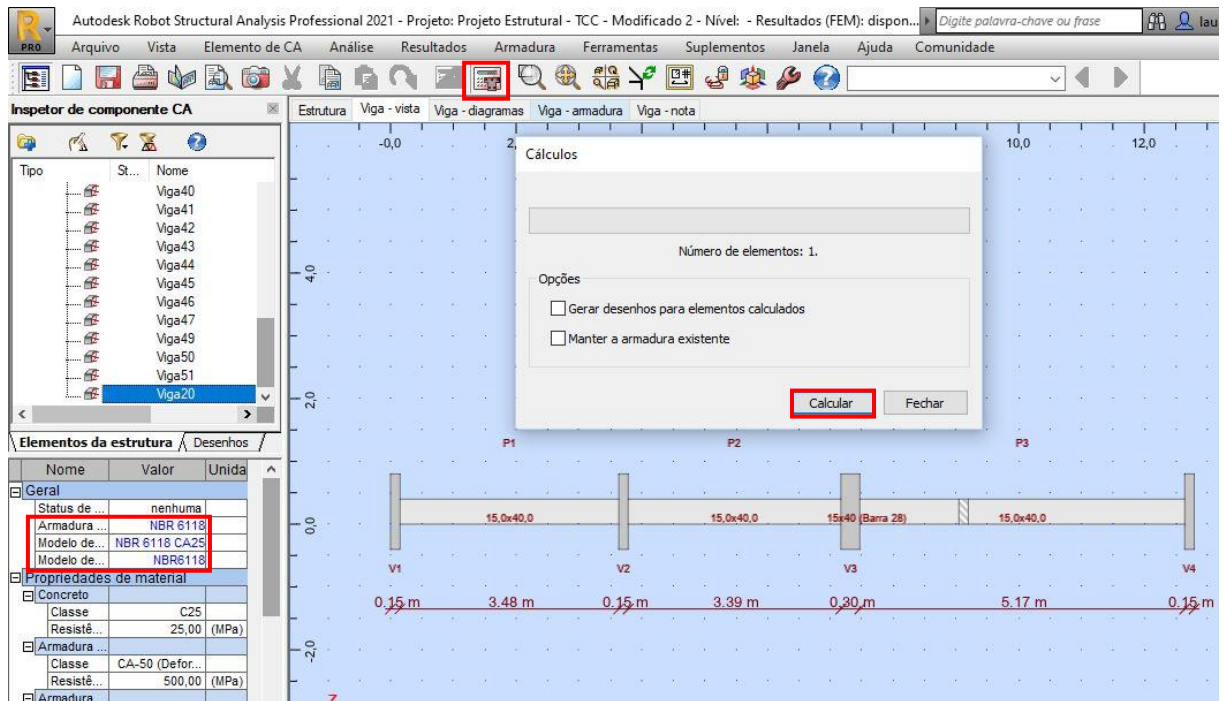
Figura 57 – Padrão de armadura (ganchos).



Fonte: Autor.

Após definir os parâmetros de andar, opções de cálculo e padrão de armadura é possível verificar na aba lateral, em “Geral” que esses parâmetros criados foram atribuídos a viga escolhida. Para calcular a armadura, clicar no ícone “Iniciar cálculos” e na janela seguinte clicar em “Calcular”. Conforme ilustrado na Figura 58.

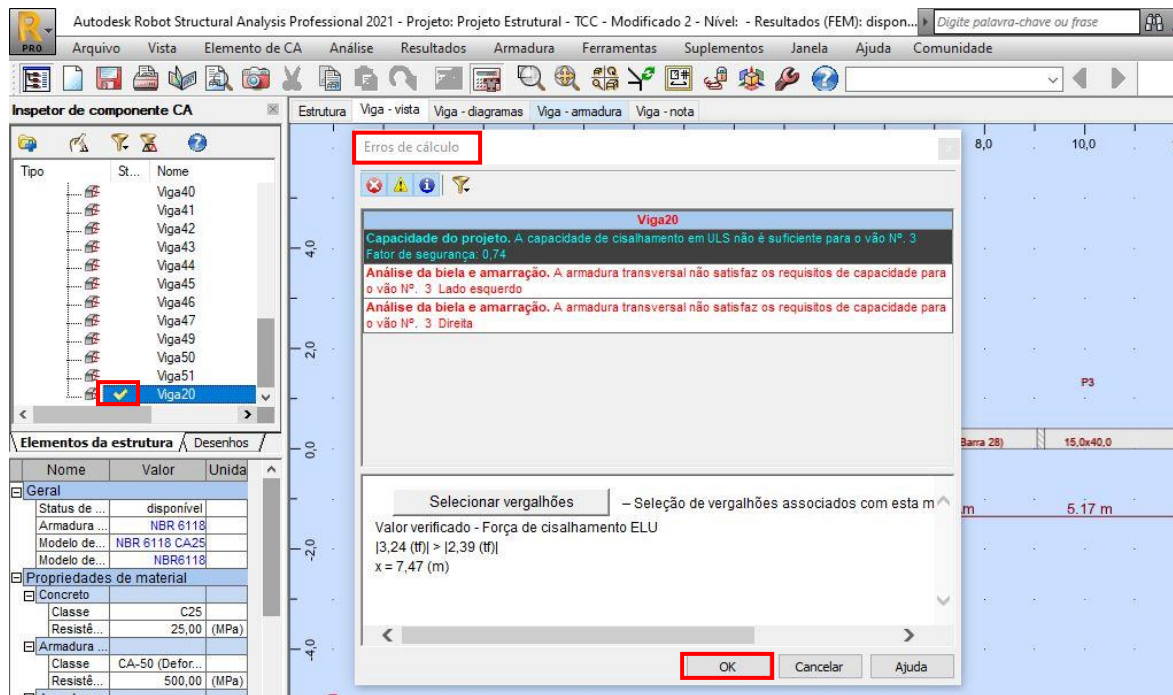
Figura 58 – Parâmetros atribuídos a viga.



Fonte: Autor.

Nesta viga ocorreram erros de cálculo relacionados à capacidade de projeto e análise da biela e amarração. Esses casos podem ser solucionados aumentando a seção da viga e diminuindo o espaçamento dos estribos (padrão de armadura). Percebe-se que ao apresentar erros, ao lado do nome da viga aparecerá um símbolo de cor amarela. Para processar o cálculo clicar em “OK”. Conforme ilustrado na Figura 59.

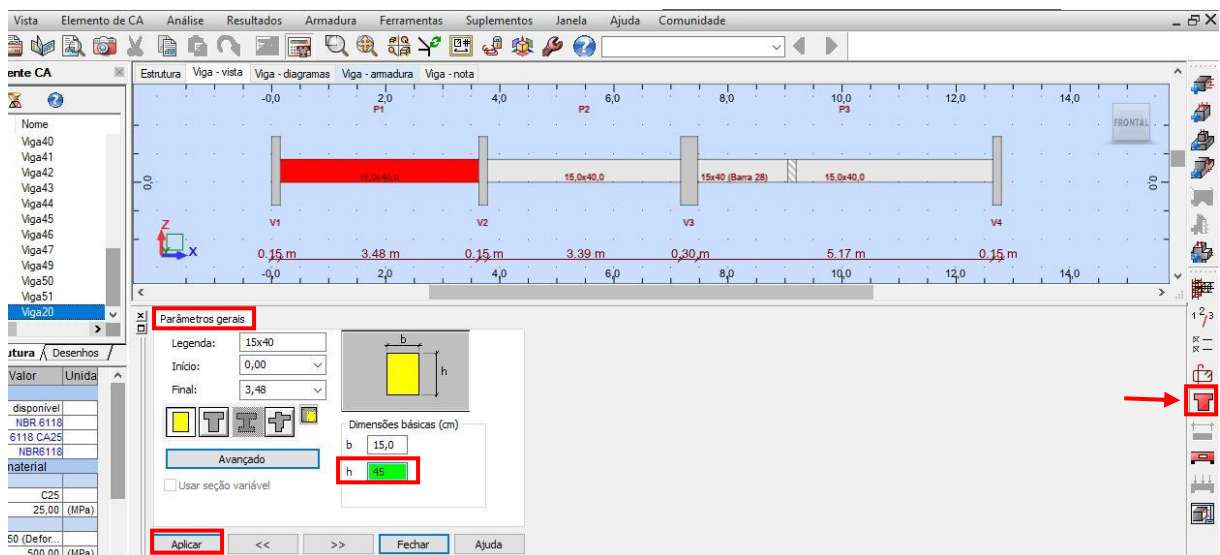
Figura 59 – Erros de cálculo na viga.



Fonte: Autor.

Para alterar a seção, selecionar o trecho da viga e clicar no ícone “Tipo de seção transversal”. Na aba “Parâmetros gerais” alterar no campo das dimensões básicas o valor de “h” (altura da viga) e clicar em “Aplicar”. Neste caso todos os trechos passaram a ter uma seção 15 cm x 45 cm. Conforme ilustrado na Figura 60.

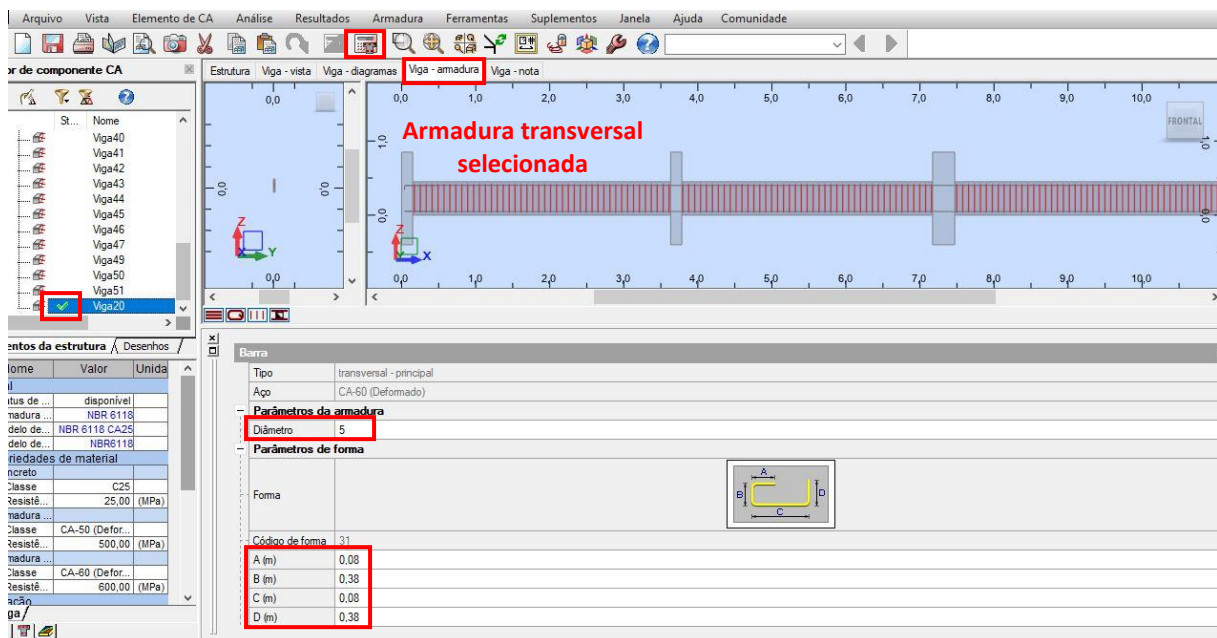
Figura 60 – Alteração da seção da viga.



Fonte: Autor.

Para recalcular a viga, clicar no ícone “Iniciar cálculos” e na janela seguinte clicar em “Calcular”. Com a alteração na seção não houve erros de cálculo e o símbolo ao lado do nome da viga está na cor verde. Nas abas auxiliares é possível navegar entre a estrutura, vista da viga, armadura e notas de cálculos. Na aba “Viga- armadura” ao selecionar uma das armaduras é informado o diâmetro e comprimentos. Conforme ilustrado na Figura 61.

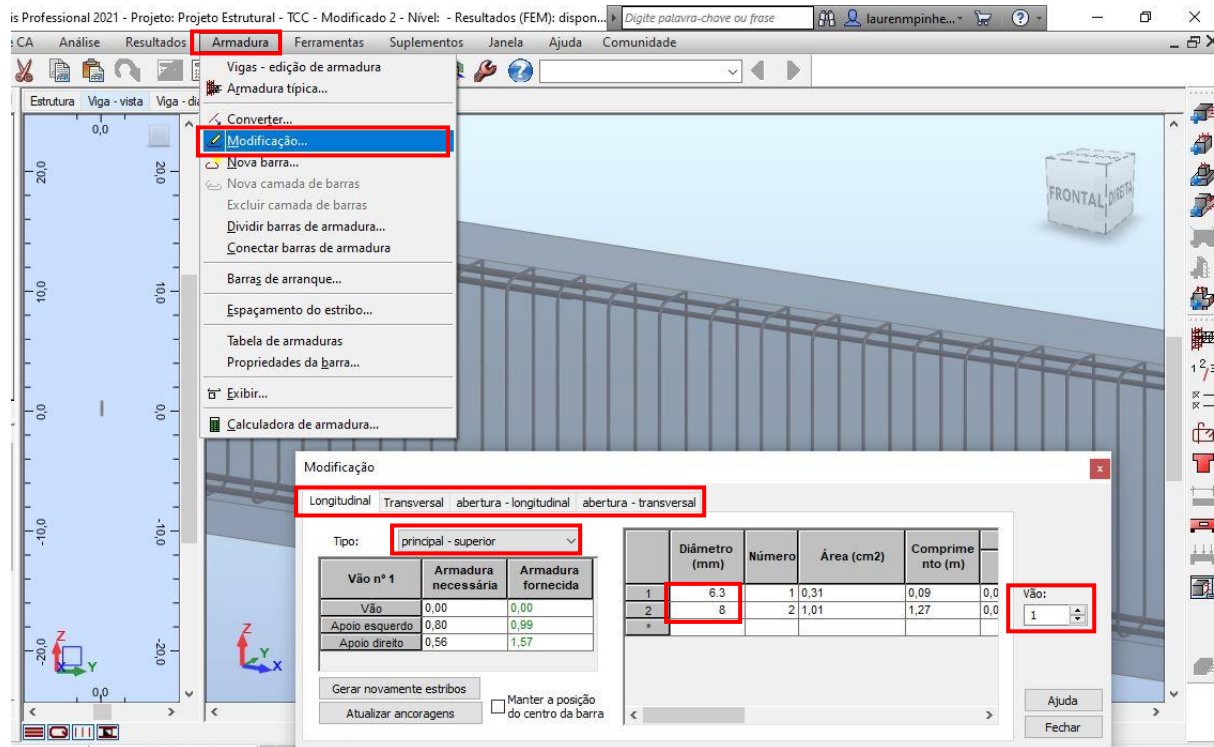
Figura 61 – Recálculo da viga.



Fonte: Autor.

Para visualizar a área de aço necessária e fornecida, em cada vão e para cada tipo de armadura, na aba “Armadura” selecionar “Modificação”. É permitido alterar o diâmetro pela tabela, se for o caso. Conforme ilustrado na Figura 62.

Figura 62 – Modificação de armadura.



Fonte: Autor.

Na aba “Viga-notas” é possível verificar diversas informações sobre a viga calculada, como a área de aço, diagrama de esforço cortante e momento fletor, dimensionamento da armadura e quantitativo. Conforme ilustrado nas Figuras 63 e 64. No Anexo A pode-se visualizar uma nota de cálculo completa da viga.

Figura 63 – Nota de cálculo viga.

The image shows the 'Viga-nota' tab in the software. The 'Inspeção de componente CA' window is open, displaying the 'Viga-nota' tab. The 'Viga-nota' tab shows the 'Nível' (Level) and 'Viga: Viga20' (Beam: Viga20) information. The 'Nível' section lists various parameters such as 'Nome', 'Nível de referência', 'Fissura máxima', 'Exposição', 'Coeficiente de fluência do concreto', 'Classe do cimento', 'Idade do concreto (momento de carga)', 'Idade do concreto', 'Idade do concreto após erguer uma estrutura', 'Classe de estrutura', 'Classe de resistência ao fogo', and 'Recomendações de FFB 7.4.3(7)'. The 'Viga: Viga20' section shows the 'Número de elementos idênticos: 1'. The 'Propriedades de material' section lists the material properties for concrete and reinforcement.

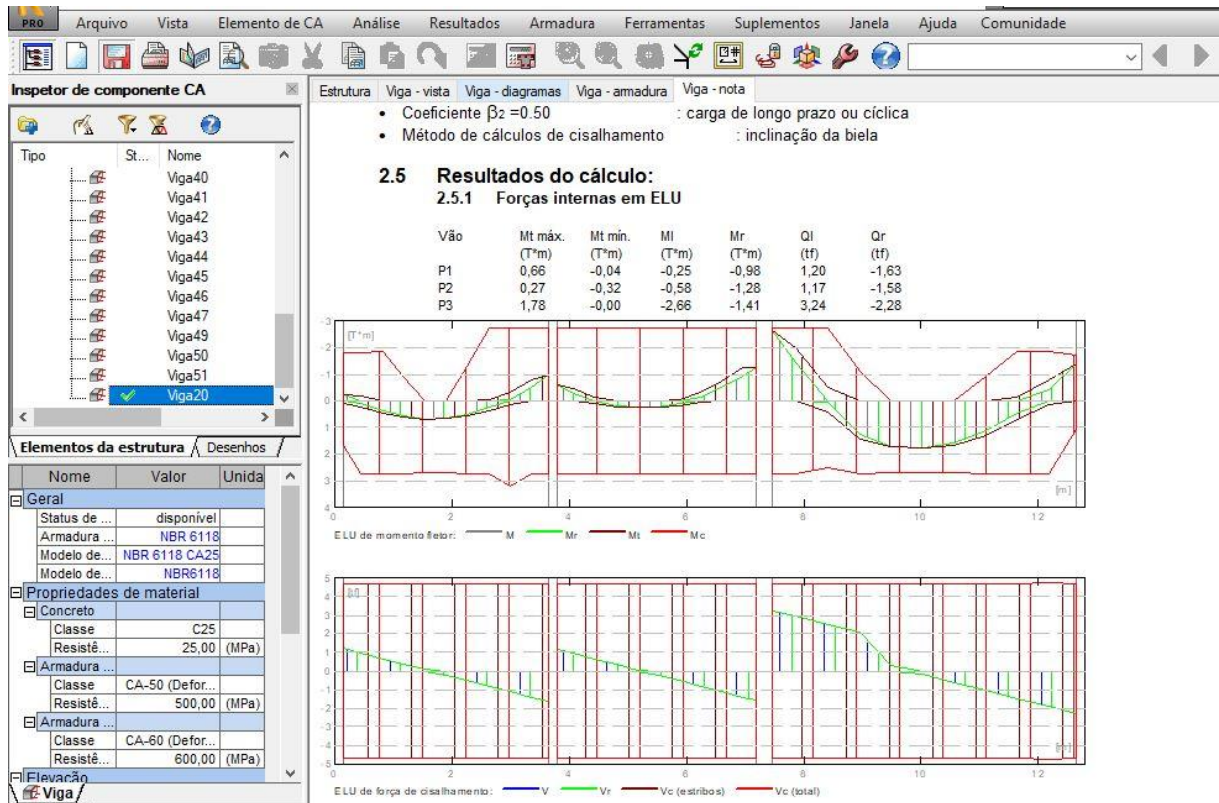
2 Viga: Viga20 Número de elementos idênticos: 1

2.1 Propriedades de material:

- Concreto : C25 $f_{ck} = 25,00$ (MPa)
Distribuição de tensões retangulares [3.1.7(3)]
Densidade : 2501,36 (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

Fonte: Autor.

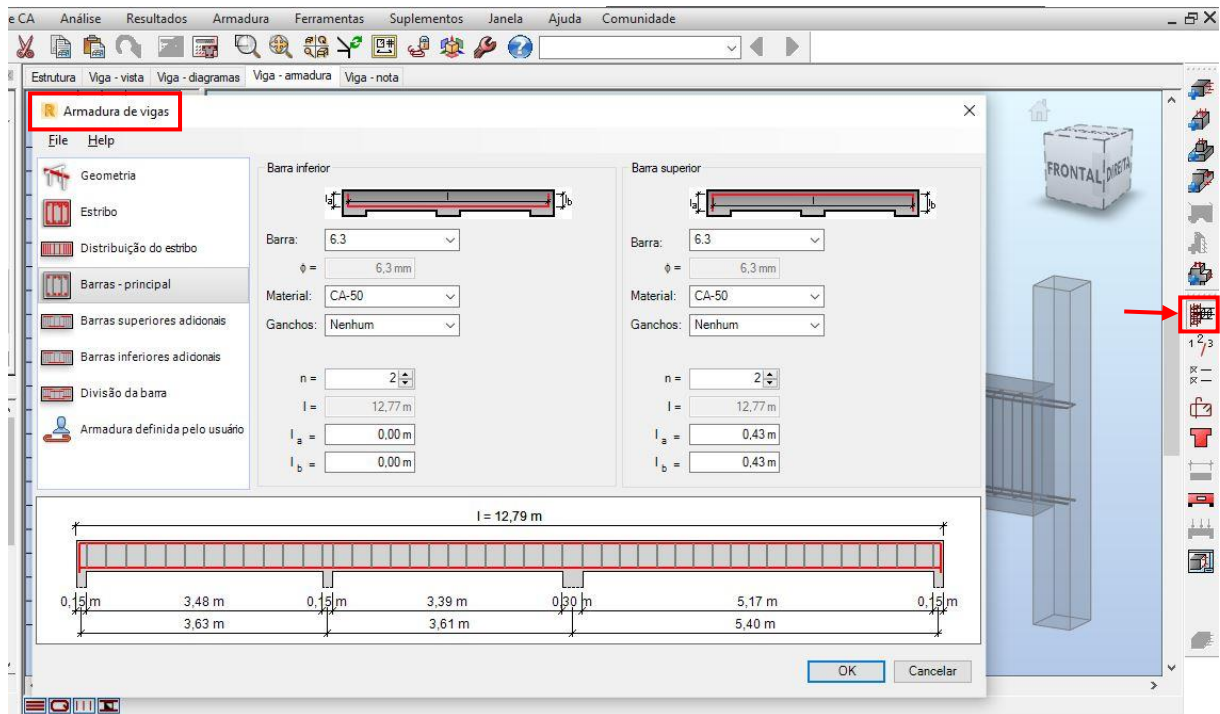
Figura 64 – Diagrama de esforço cortante e momento fletor.



Fonte: Autor.

Existe a possibilidade do usuário definir uma armadura diferente da adotada pelo *software*. Na aba lateral, no ícone “Armadura típica” pode-se escolher o diâmetro, número de barras e espaçamento dos estribos para cada vão da viga. Ao finalizar a escolha da armadura, o processamento do cálculo é feito automaticamente. Conforme ilustrado na Figura 65.

Figura 65 – Escolha manual da armadura.



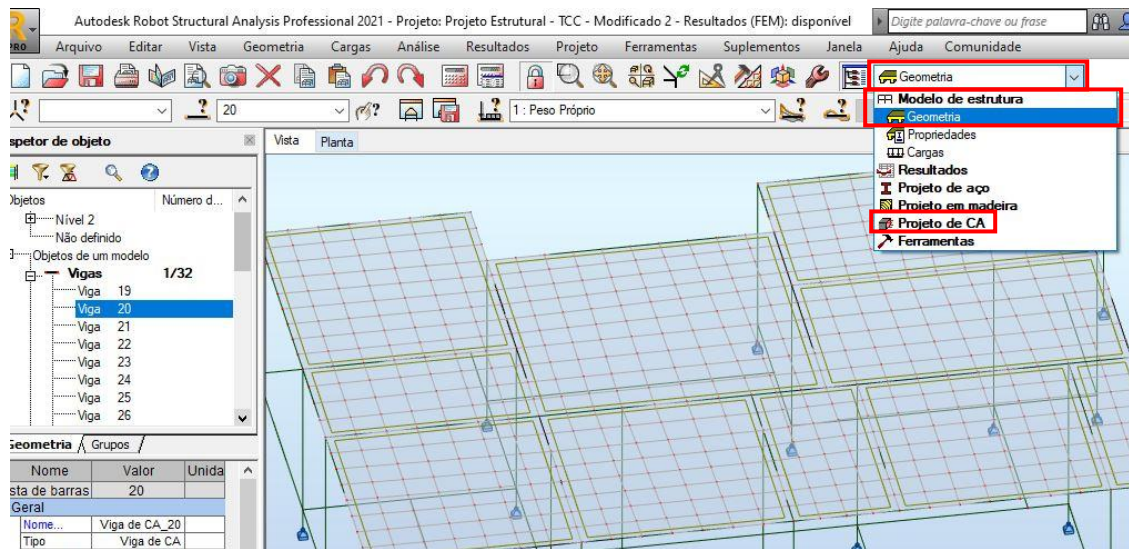
Fonte: Autor.

Para realizar o dimensionamento das demais vigas, repetir os processos citados anteriormente, com exceção da criação dos parâmetros de andar, opções de cálculo e padrão de armadura que podem ser previamente selecionados.

3.6.4 Cálculo dos pilares

Para retornar ao modelo da estrutura, na janela indicada na Figura 66, clicar em “Modelo de Estrutura”, “Geometria”. Para acessar as armaduras já dimensionadas, nessa mesma janela clicar em “Projeto de CA” e “Armadura fornecida”.

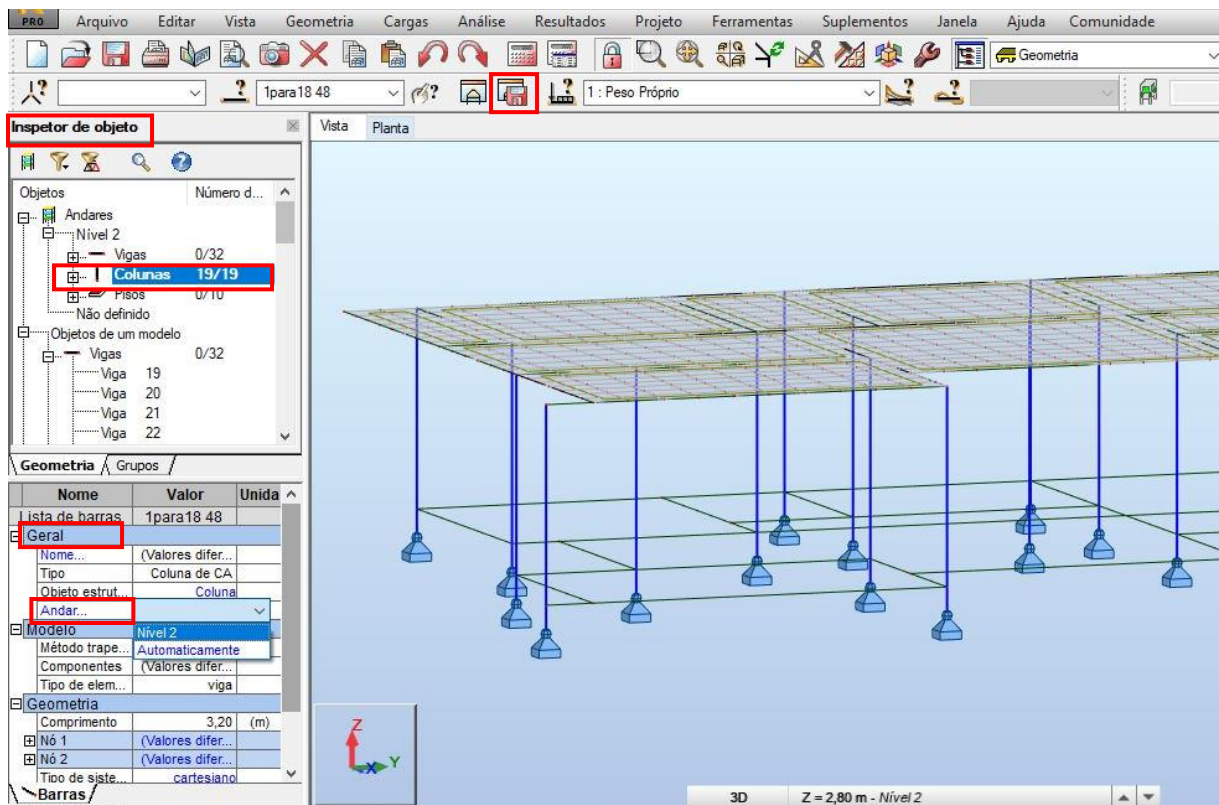
Figura 66 – Modelo de estrutura.



Fonte: Autor.

Com todos os pilares selecionados, no inspetor de objeto em “Geral”, “Andar” atribuir o andar aos pilares. Posteriormente, clicar no ícone “Cálculos” para atualizar os cálculos. Conforme ilustrado na Figura 67.

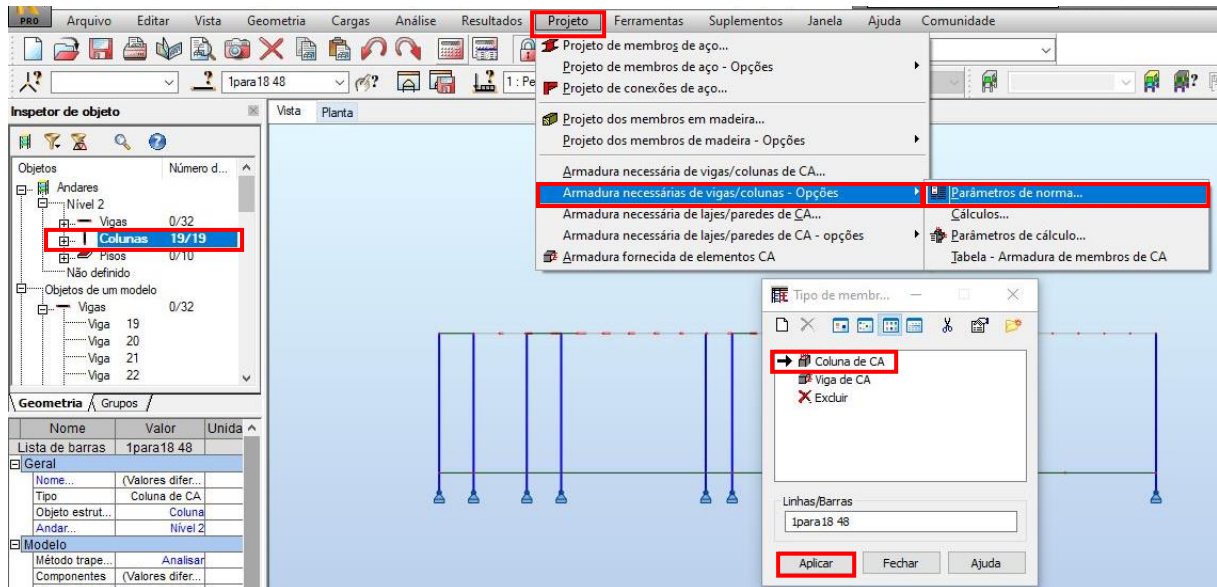
Figura 67 – Andar dos pilares.



Fonte: Autor.

Selecionar todos os pilares, na aba “Projeto”, “Armadura necessária de vigas/colunas – opções”, “Parâmetros de norma”, optar por “Coluna de CA” e clicar em “Aplicar”. Conforme ilustrado na Figura 68.

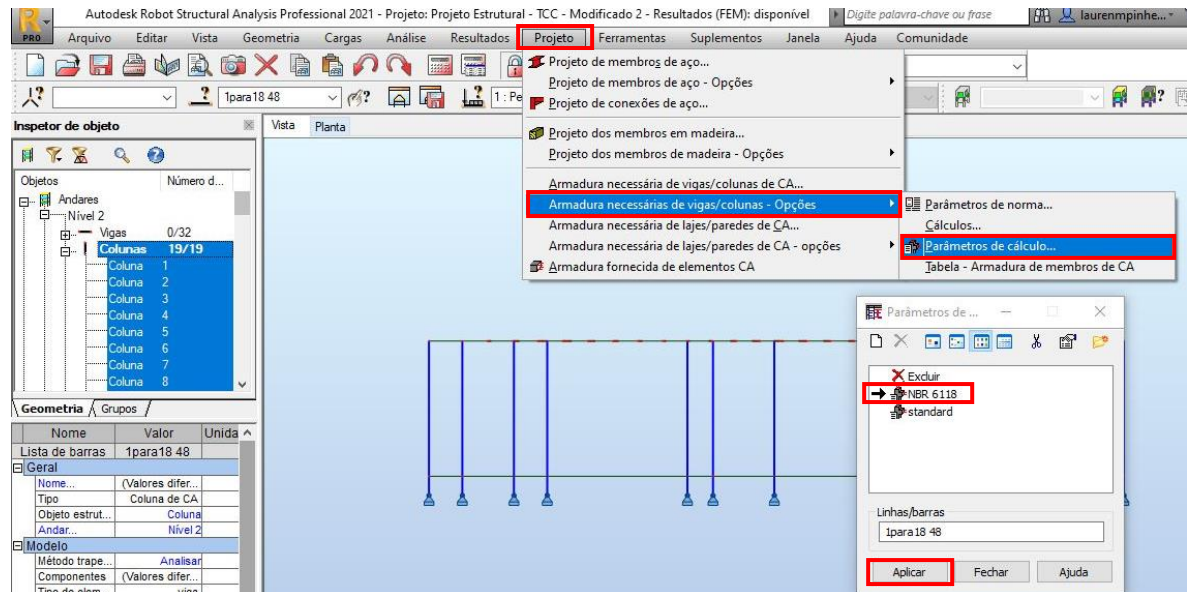
Figura 68 – Parâmetros de norma nos pilares.



Fonte: Autor.

Selecionar todas os pilares novamente, na aba “Projeto”, “Armadura necessária de vigas/colunas – Opções”, clicar em “Parâmetros de cálculo” e selecionar o parâmetro “NBR 6118” já criado. Conforme ilustrado na Figura 69.

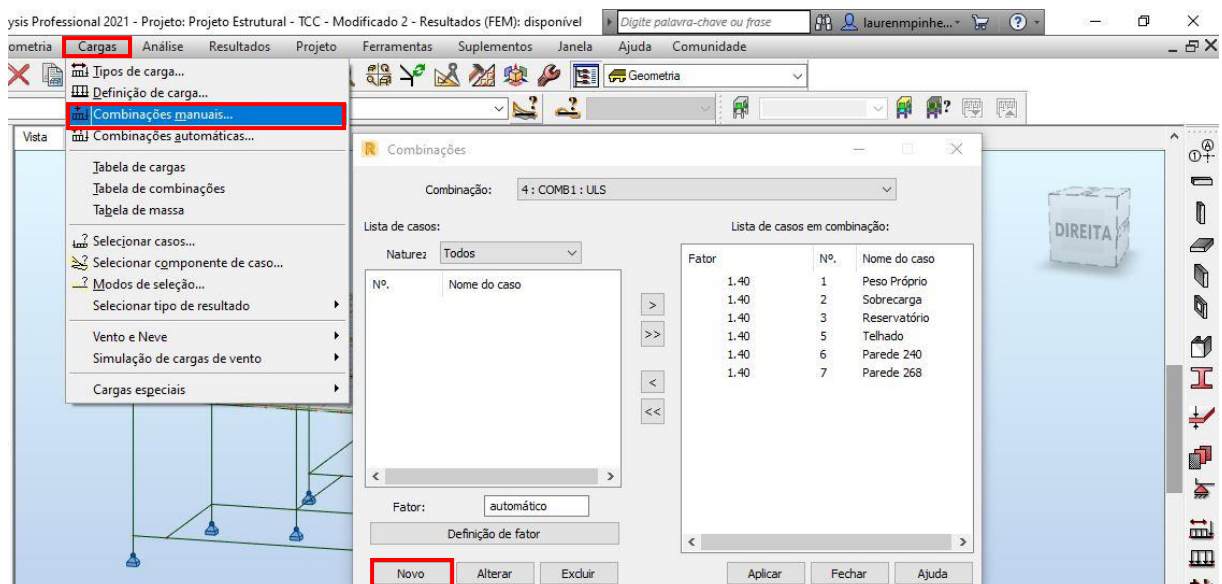
Figura 69 – Parâmetro de cálculo nos pilares.



Fonte: Autor.

Segundo a tabela 13.1 da NBR 6118:2014 para pilares com seções menores que 19 cm é necessário utilizar um coeficiente adicional para majorar o carregamento. Neste caso, na combinação manual será utilizado o coeficiente no valor de 1,68 (coeficiente 1,4 multiplicado por 1,2 referente ao pilar de seção 15 cm). Na aba “Cargas”, “Combinações manuais” clicar em “Novo” para inserir uma nova combinação, conforme ilustrado na Figura 70.

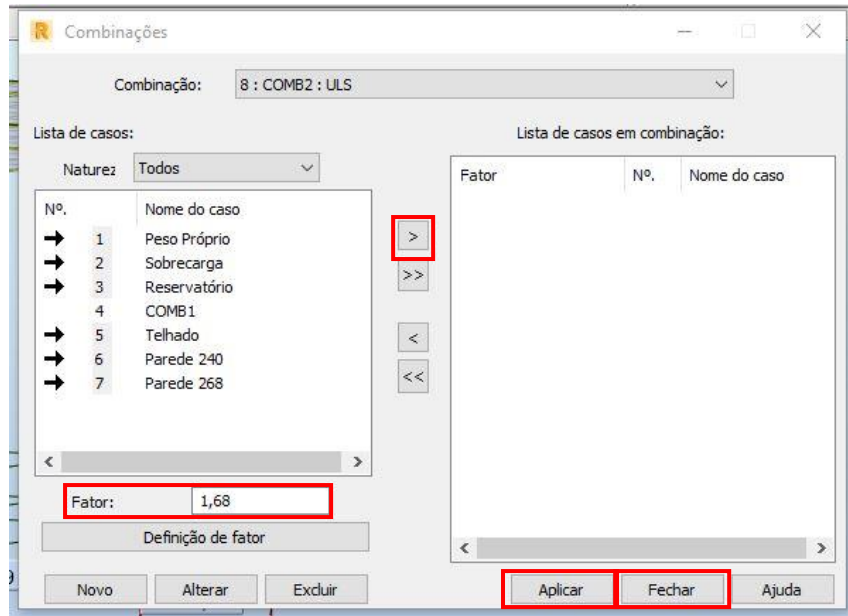
Figura 70 – Combinação manual para os pilares.



Fonte: Autor.

Na janela “Combinações”, definir o fator, selecionar todas as cargas, com exceção da combinação e clicar no ícone “>” para atribuí-lo as cargas e clicar em “Aplicar” e “Fechar”, conforme ilustrado na Figura 71.

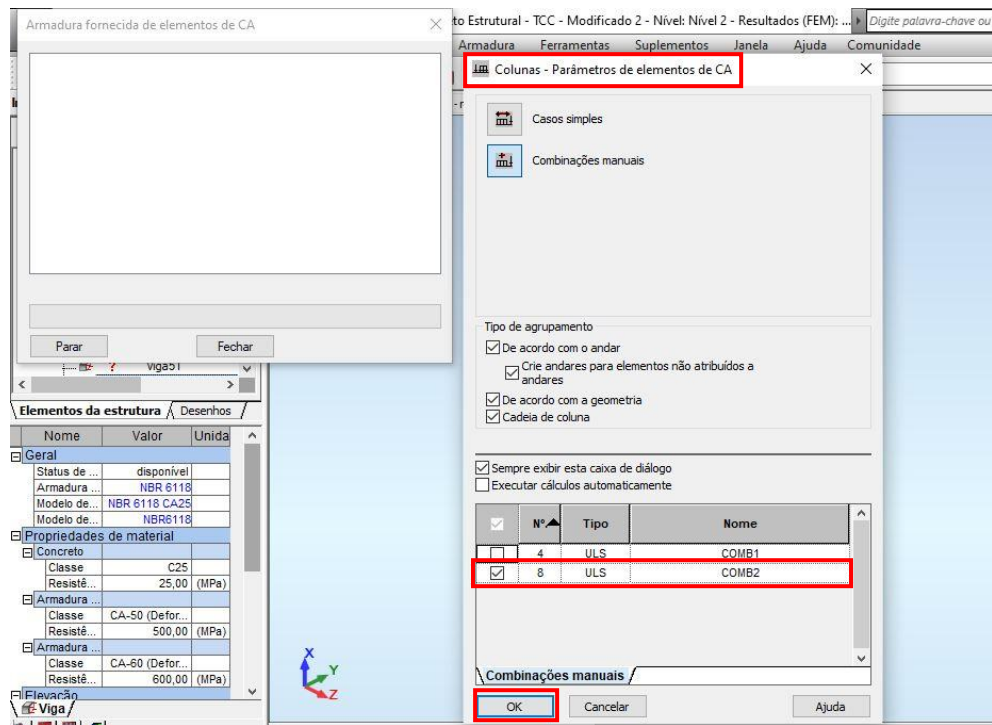
Figura 71 – Fator de majoração das cargas nos pilares.



Fonte: Autor.

Para dimensionamento, selecionar o pilar desejado e na aba “Projeto” clicar em “Armadura fornecida de elementos de CA”. Na janela “Colunas – Parâmetros de elementos de CA” marcar apenas a combinação manual criada para os pilares e clicar em “OK”. Conforme ilustrado na Figura 72.

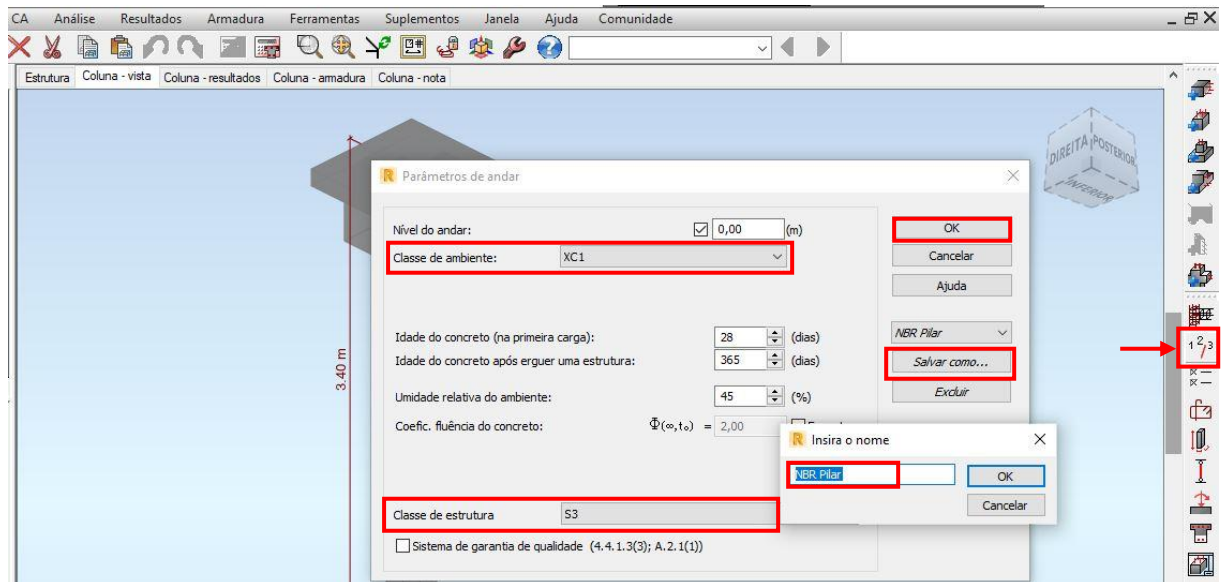
Figura 72 – Dimensionamento do pilar.



Fonte: autor.

Na barra lateral, clicar no ícone “Parâmetros de andar”. Alterar a “Classe de ambiente” para “XC1” e a classe de estrutura para “S3”. Salvar como “NBR Pilar” e clicar em “OK”. Conforme ilustrado na Figura 73.

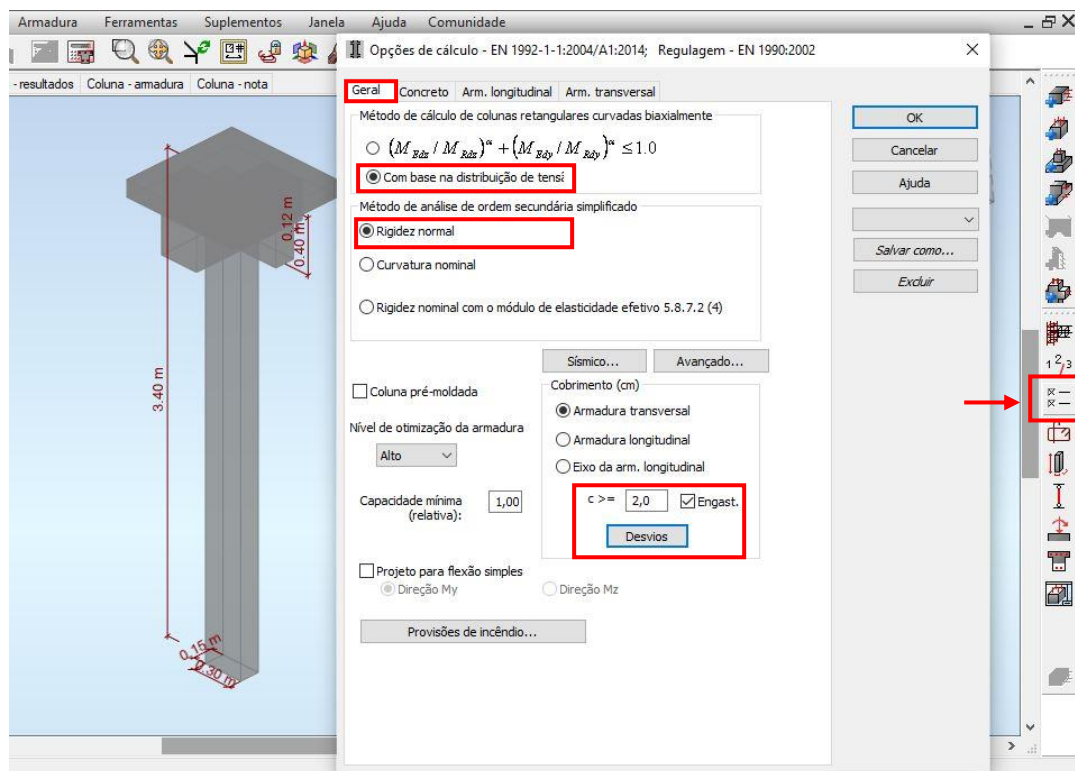
Figura 73 – Parâmetros de andar (pilar).



Fonte: Autor.

No ícone “Opções de cálculo” da barra lateral, na aba “Geral” nas opções de “Métodos de cálculo de colunas retangulares curvadas biaxialmente” marcar a opção “Com base na distribuição de tensão” e em “Método de análise de ordem secundária simplificado” marcar “Rigidez normal”. Em “Cobrimento” inserir o valor do cobrimento e assinalar “Engast.”. Conforme ilustrado na Figura 74.

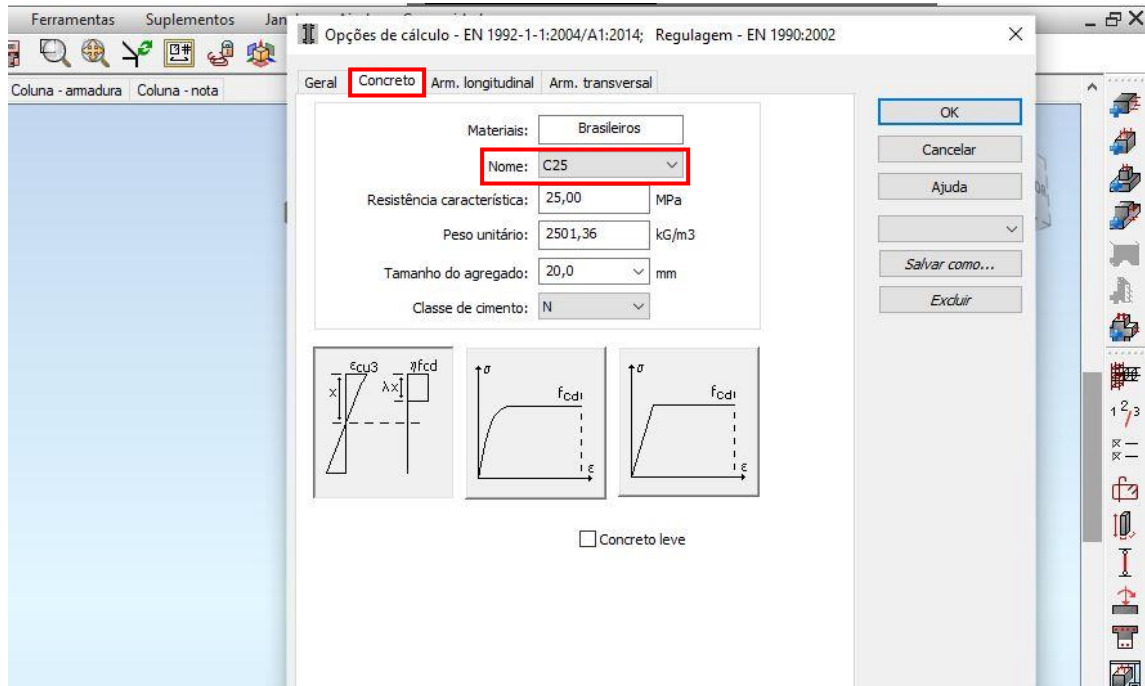
Figura 74 – Opções de cálculo pilares (geral).



Fonte: Autor.

Na aba “Concreto”, alterar o “Nome” para a classe de concreto utilizada nos pilares. Conforme ilustrado na Figura 75.

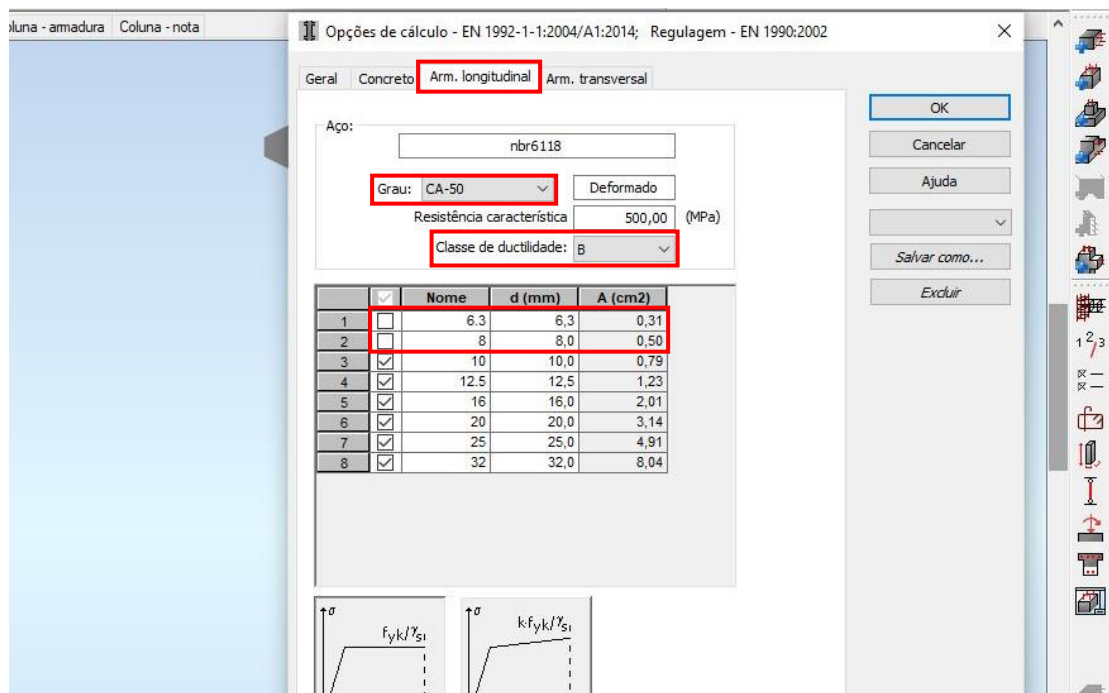
Figura 75 - Opções de cálculo pilares (concreto).



Fonte: Autor.

Na aba “Arm. longitudinal”, selecionar grau “CA-50”, classe de ductilidade “B” e desmarcar os diâmetros de 6.3mm e 8 mm. Conforme ilustrado na Figura 76.

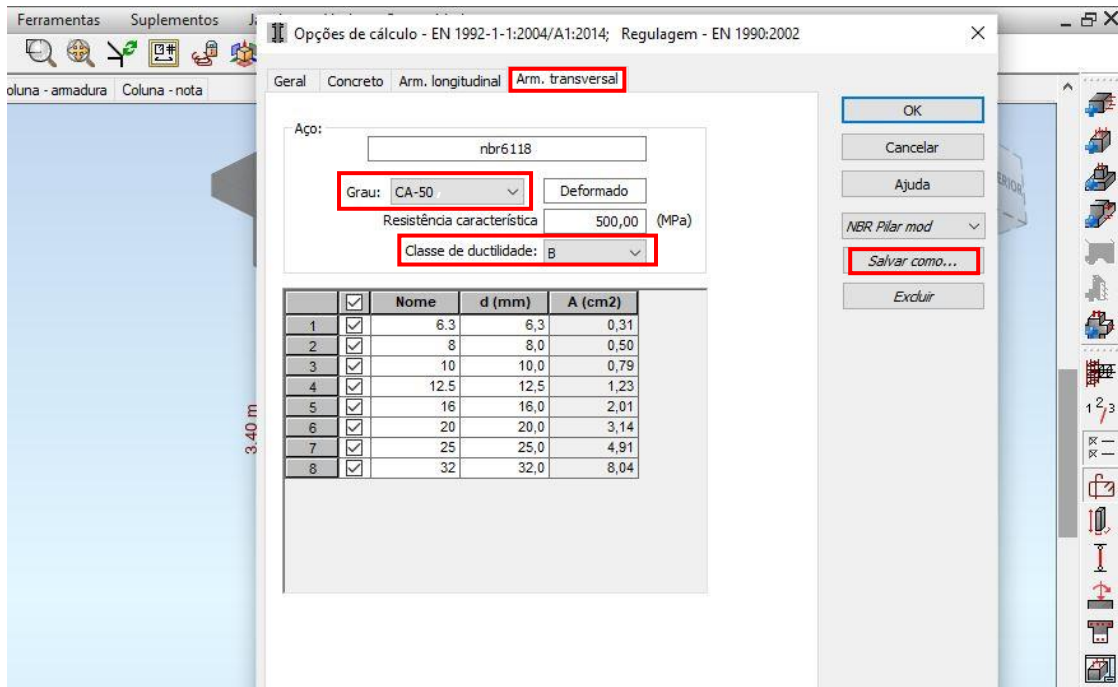
Figura 76 - Opções de cálculo pilares (arm. longitudinal).



Fonte: Autor.

Na aba “Arm. transversal” selecionar grau “CA-50” e classe de ductilidade selecionar a “B”. Clicar em “Salvar como...” e nomear “NBR Pilar”. Conforme ilustrado na Figura 77.

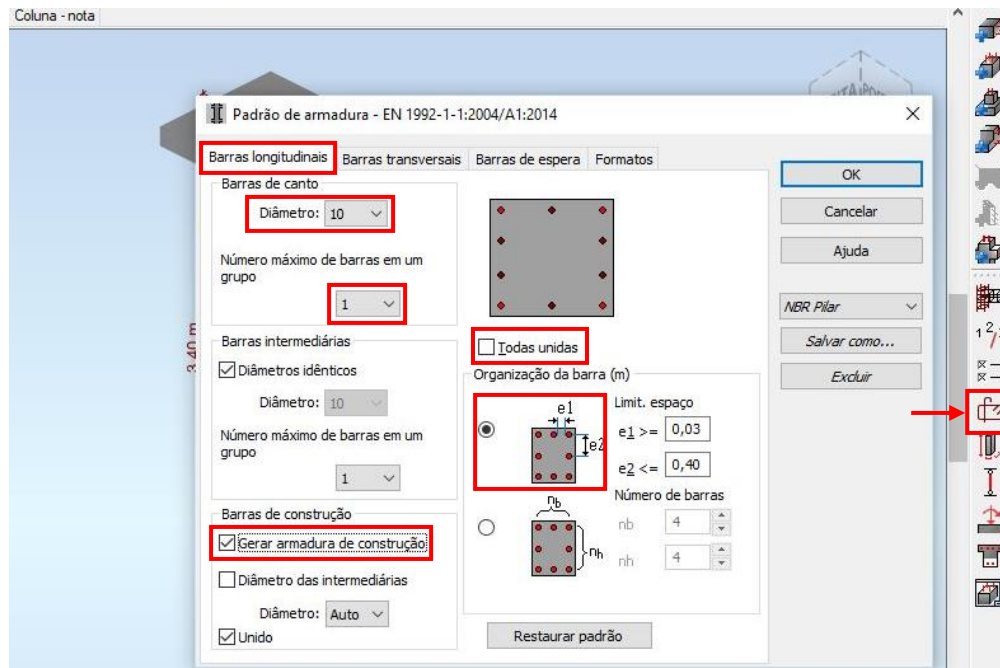
Figura 77 - Opções de cálculo pilares (arm. transversal).



Fonte: Autor.

No ícone “Padrão de armadura” da barra lateral, na aba “Barras longitudinais”, em “Barras de canto” alterar o diâmetro para 10 mm e o número máximo de barras em um grupo para 1. Em “Barras de construção” habilitar a opção “Gerar armadura de construção”. Desmarcar a opção “Todas unidas” e na “Organização da barra” marcar a primeira opção. Conforme ilustrado na Figura 78.

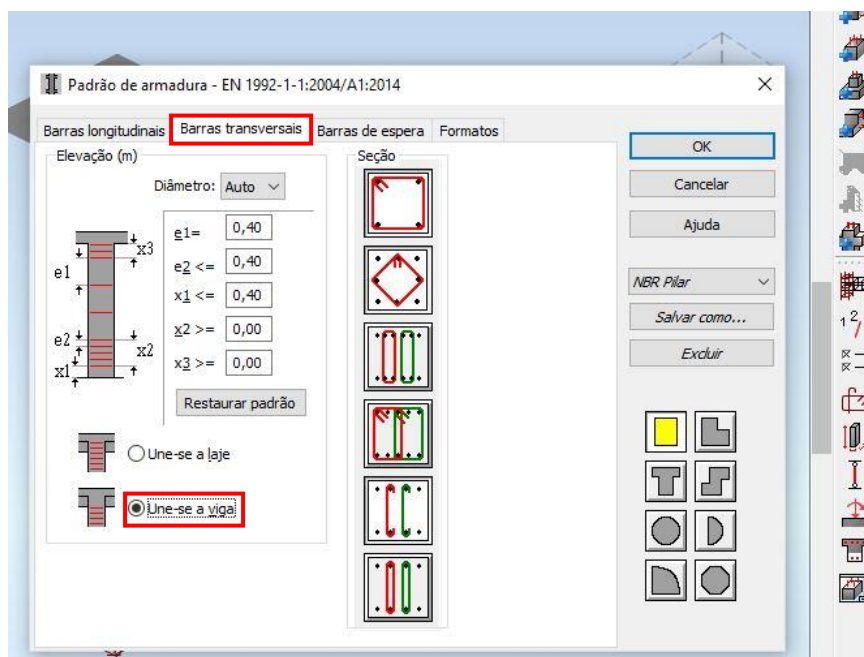
Figura 78 – Padrão de armadura nos pilares (barras longitudinais).



Fonte: Autor.

Na aba “Barras transversais”, em “Elevação” marcar a opção “Une-se a viga”. Conforme ilustrado na Figura 79.

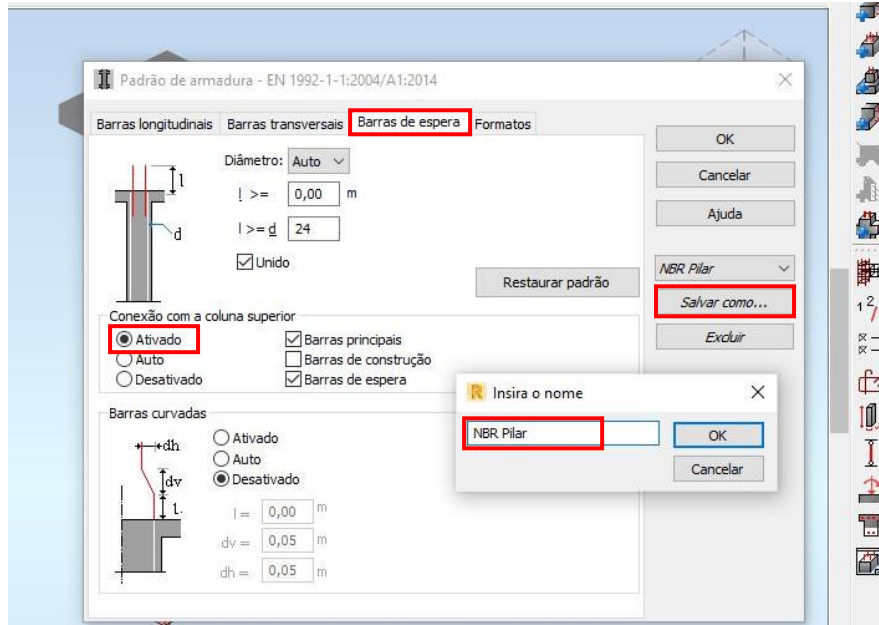
Figura 79 - Padrão de armadura nos pilares (barras transversais).



Fonte: Autor.

Na aba “Barras de espera”, em “Conexão com a coluna superior” habilitar a opção “Ativado”. Clicar em “Salvar como...” e inserir o nome “NBR Pilar”. Conforme ilustrado na Figura 80.

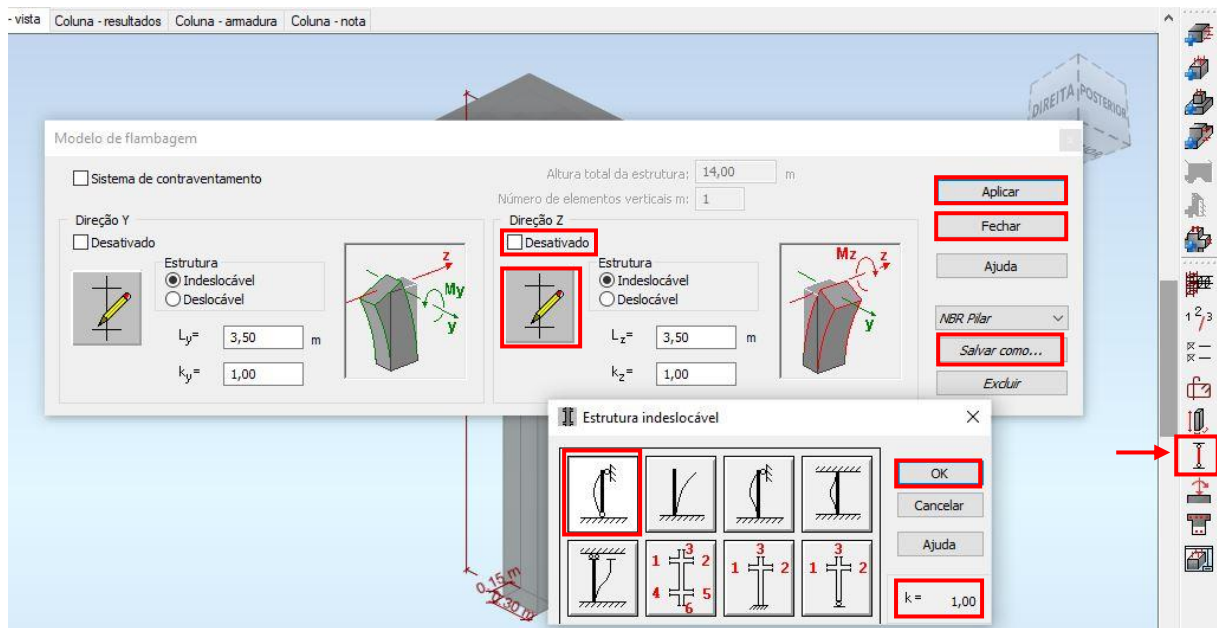
Figura 80 - Padrão de armadura nos pilares (barras de espera).



Fonte: Autor.

Na aba “Comprimento da flambagem”, na direção z desmarcar a opção “Desativado”, clicar na figura e selecionar a primeira estrutura ($k = 1$). Clicar em “Ok”, “Salvar como...” inserir o nome “Pilar NBR”, “Aplicar” e “Fechar”. Conforme ilustrado na Figura 81.

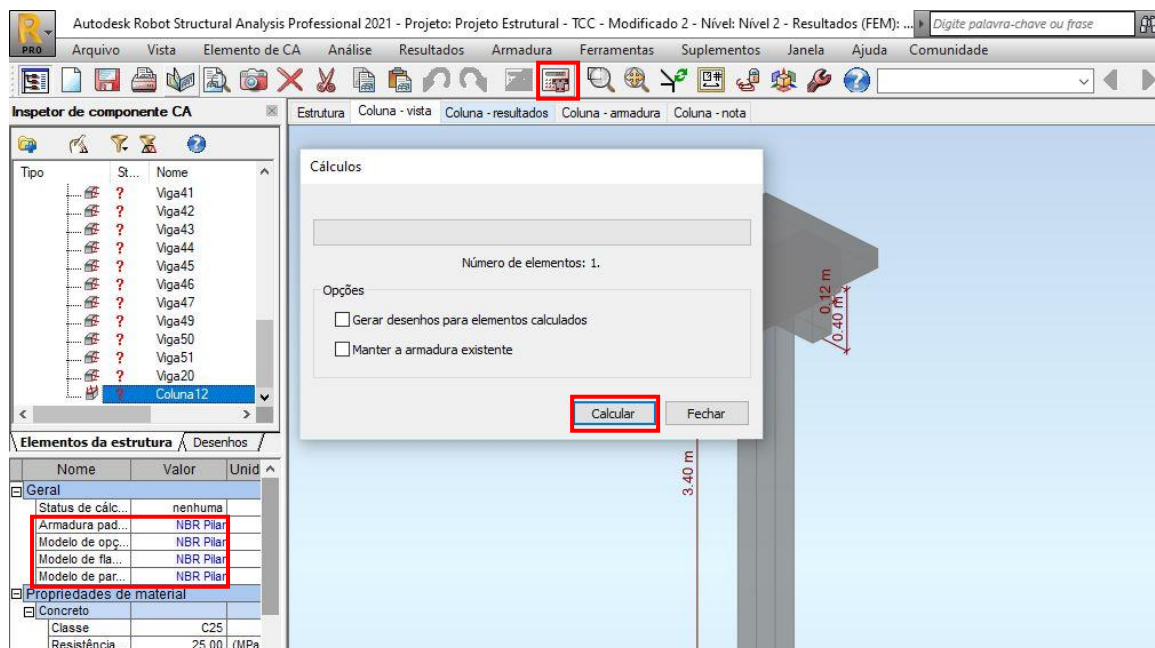
Figura 81 – Comprimento da flambagem.



Fonte: Autor.

Nos dados do pilar selecionado pode-se verificar que todos os parâmetros para o cálculo estão selecionados, então para processar o cálculo, na aba superior clicar no ícone “Iniciar cálculos” e na janela “Cálculos” clicar em “Calcular”. Conforme ilustrado na Figura 82.

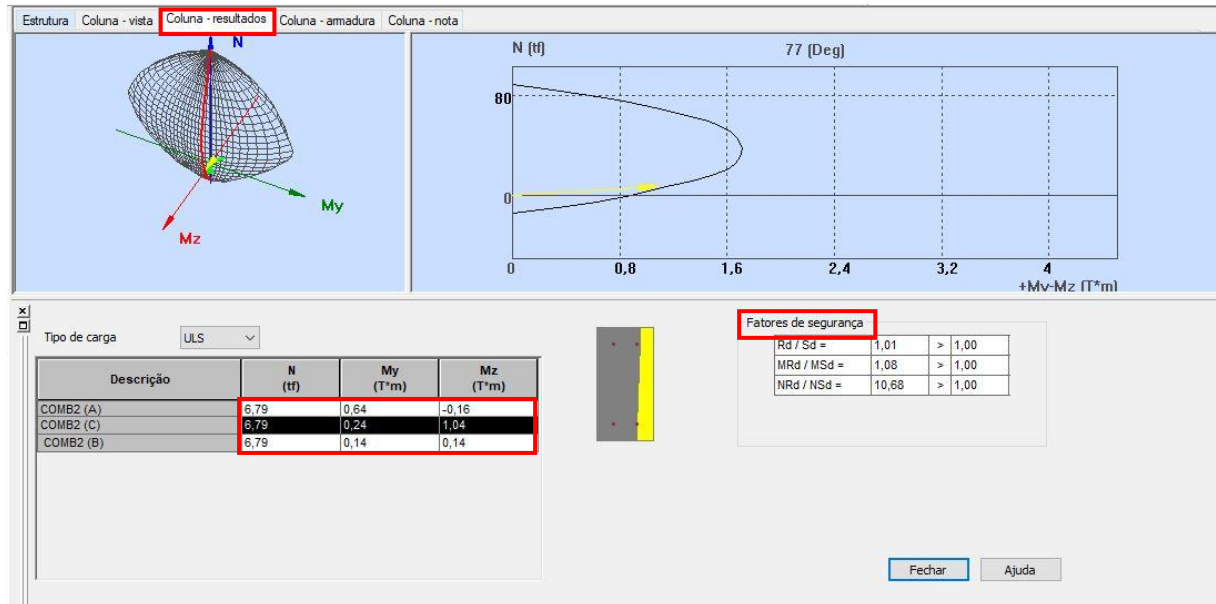
Figura 82 – Iniciando o cálculo do pilar.



Fonte: Autor.

Na aba “Coluna – resultados” pode-se visualizar a tabela de esforços com o valor do esforço normal, a envoltória dos momentos fletores e os fatores de segurança. Conforme ilustrado na Figura 83.

Figura 83 – Resultados do cálculo do pilar.



Fonte: Autor.

Na aba “Coluna-nota” encontram-se diversas informações sobre o cálculo do pilar, entre elas os valores da excentricidade e armadura fornecida, conforme ilustrado na Figura 84. No Anexo B pode-se visualizar uma nota de cálculo completa do pilar.

Figura 84 – Nota de cálculo pilar.

2.5 Resultados do cálculo:

Fatores de segurança $Rd/Ed = 1,01 > 1.0$

2.5.1 Análise ELU/ALS

Combinação do projeto: COMB2 (C)
 Tipo de combinação: ULS
 Forças internas:
 $Nsd = 6,79$ (tf) $Msd_y = 0,22$ (T*m) / $Msd_z = 0,05$ (T*m)
 Forças do projeto:
 Seção transversal no meio da coluna
 $N = 6,79$ (tf) $N^*etotz = 0,24$ (T*m) $N^*etoty = 1,04$ (T*m)

Excentricidade:	ez (My/N)	ey (Mz/N)
Inicial	3,2 (cm)	0,8 (cm)
Imperfeição	0,0 (cm)	0,9 (cm)
1ª ordem ($e_0 + e_i$)	3,2 (cm)	1,6 (cm)
Mínima	2,0 (cm)	2,0 (cm)
Total	3,5 (cm)	15,3 (cm)

2.5.2 Armadura:

Área real (fornecida) $Asr = 3,14$ (cm²)
 Relação: $\rho = 0,70$ %

2.6 Armadura:

Barras principais (CA-50):

- 4 $\phi 10l = 3,80$ (m)

Armadura transversal: (CA-50):

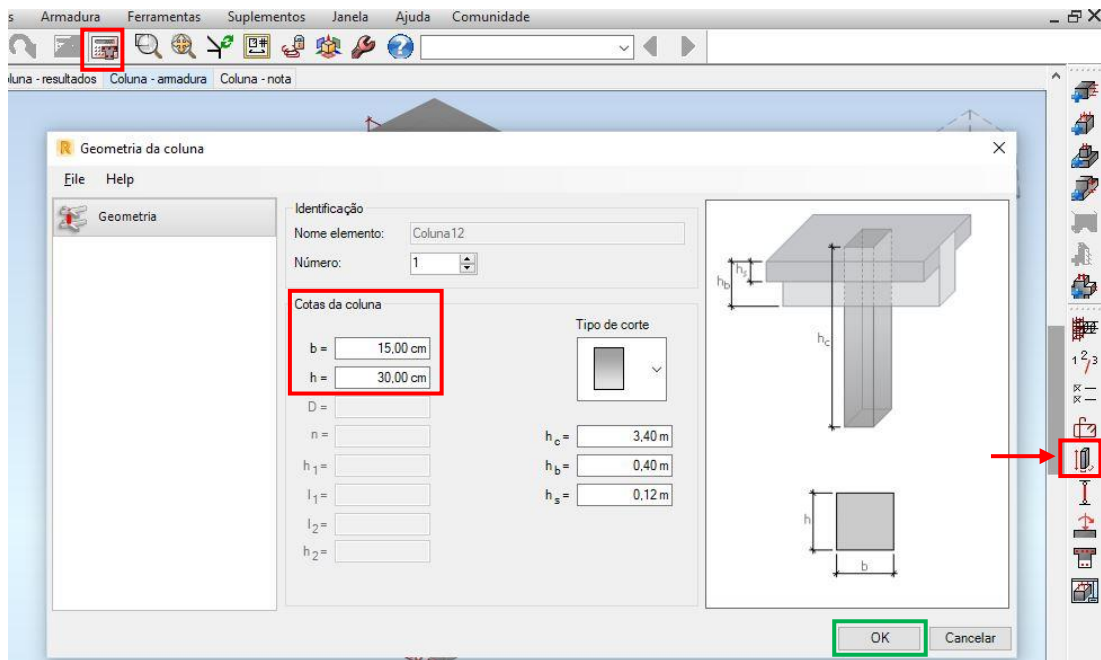
estribos: 24 $\phi 6.3$ $l = 0,62$ (m)

Fonte: Autor.

É necessário estar atento aos valores encontrados de excentricidade, pois em alguns casos é possível encontrar números desproporcionais, devendo trocar o método de cálculo para curvatura nominal nas configurações das Opções de Cálculo.

Em relação aos erros de cálculo, o mais comum é “Capacidade de carga insatisfatória da coluna” e para solucioná-lo pode-se alterar a seção do pilar através do ícone “Geometria da coluna” na barra lateral. Após a alteração, processar o cálculo novamente através do ícone “Iniciar cálculos”, conforme ilustrado na Figura 85. Assim como no dimensionamento das vigas, quando o cálculo estiver correto aparecerá um símbolo da cor verde ao lado no nome do pilar e se houver erro o símbolo ficará amarelo.

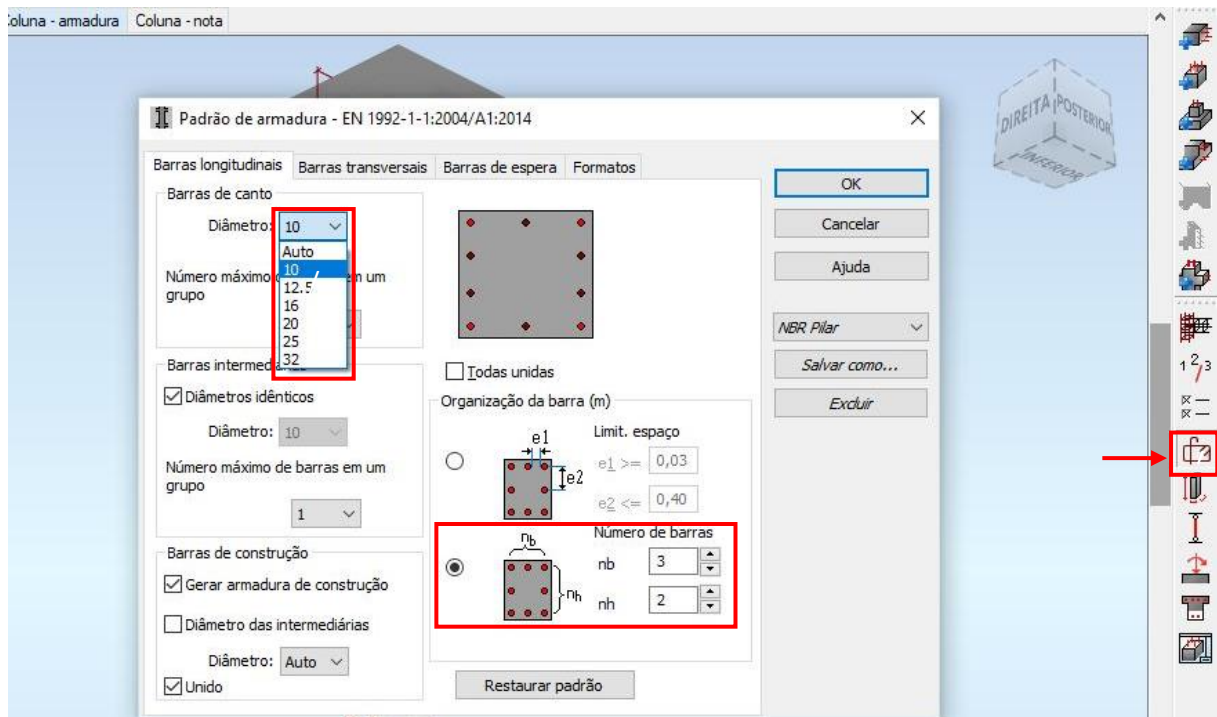
Figura 85 – Alteração da seção do pilar.



Fonte: Autor.

Para alteração da armadura pelo usuário, na barra lateral, no ícone “Padrão de armadura” pode-se escolher o número de barras, sua disposição e fixar o diâmetro da armadura. Conforme ilustrado na Figura 86.

Figura 86 – Alteração da armadura do pilar.



Fonte: Autor.

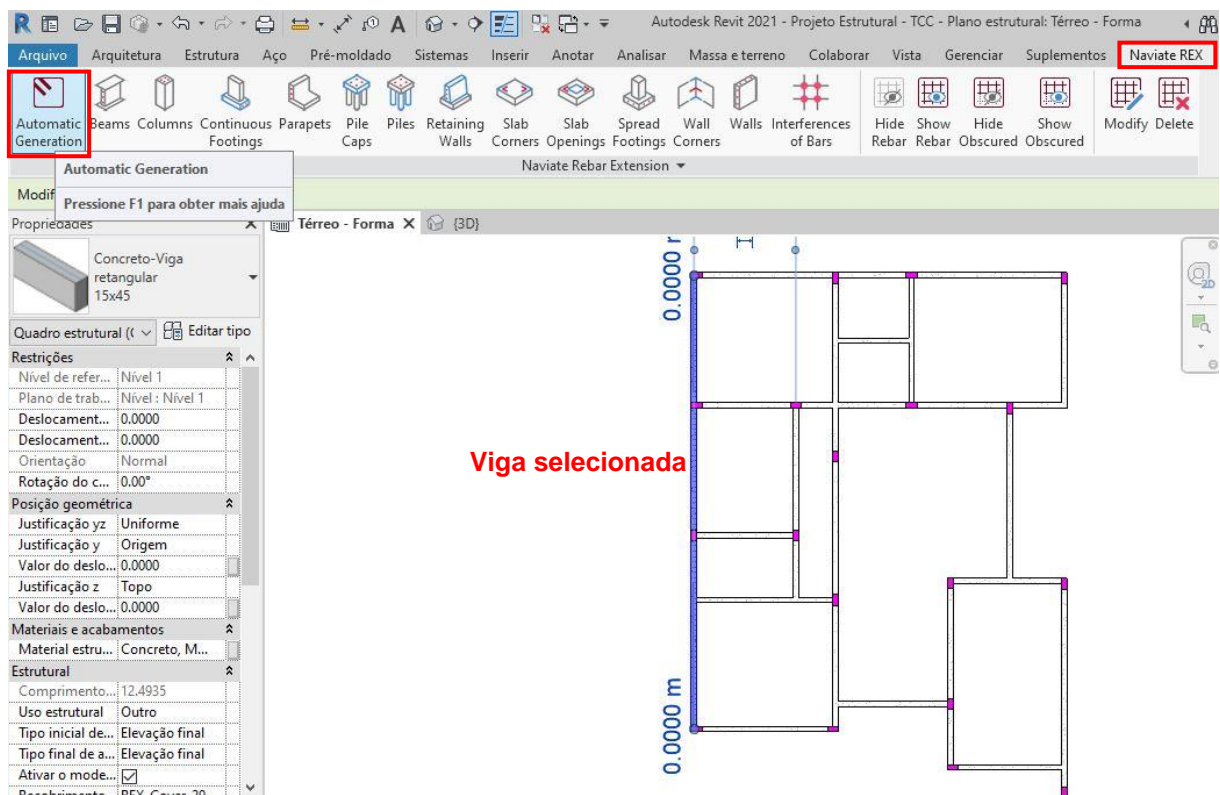
Para realizar o dimensionamento das demais pilares, repetir os processos citados anteriormente.

3.7 DETALHAMENTO DA ESTRUTURA – SOFTWARE AUTODESK REVIT 2021

O detalhamento das vigas e pilares será realizado no *software Revit*, com o uso do *plugin Naviate* para inserção das armaduras já dimensionadas pelo *Robot*. Inicialmente ao retornar ao arquivo da modelagem no *Revit*, adequar as dimensões das vigas e pilares caso tenham sido alteradas durante o dimensionamento da estrutura.

Para inserir a armadura na viga, selecionar a viga desejada e na aba “Naviate REX” clicar no ícone “Automatic Generation”. Conforme ilustrado na Figura 87.

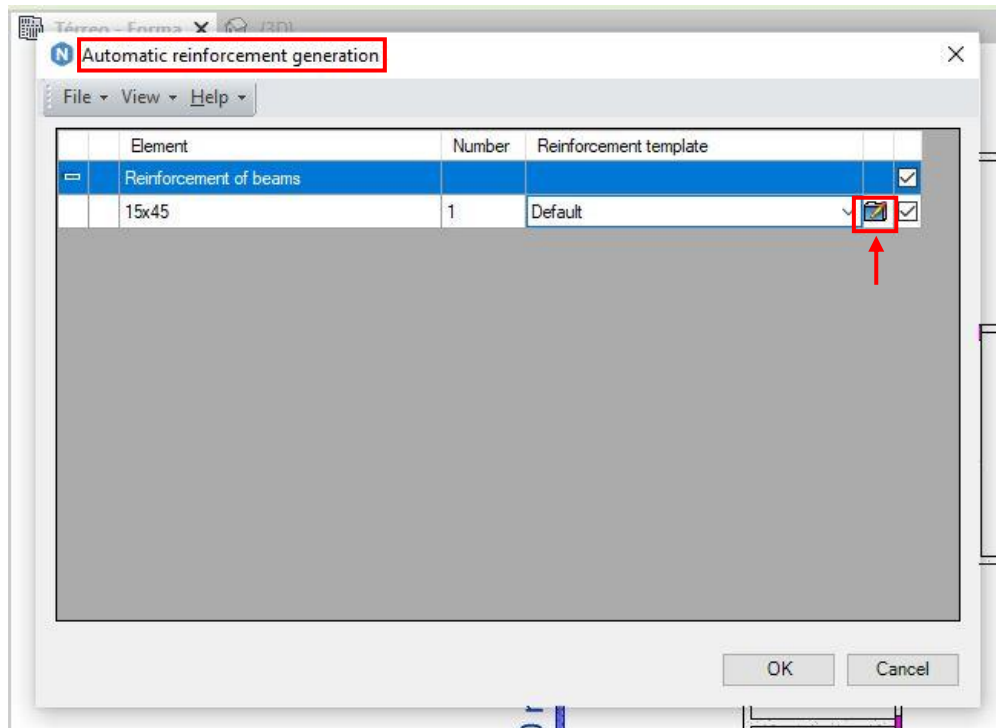
Figura 87 – Iniciando o *Naviate*.



Fonte: Autor.

Na janela “Automatic reinforcement Generation” que abrirá em seguida, clicar no ícone “Edit template”. Conforme ilustrado na Figura 88.

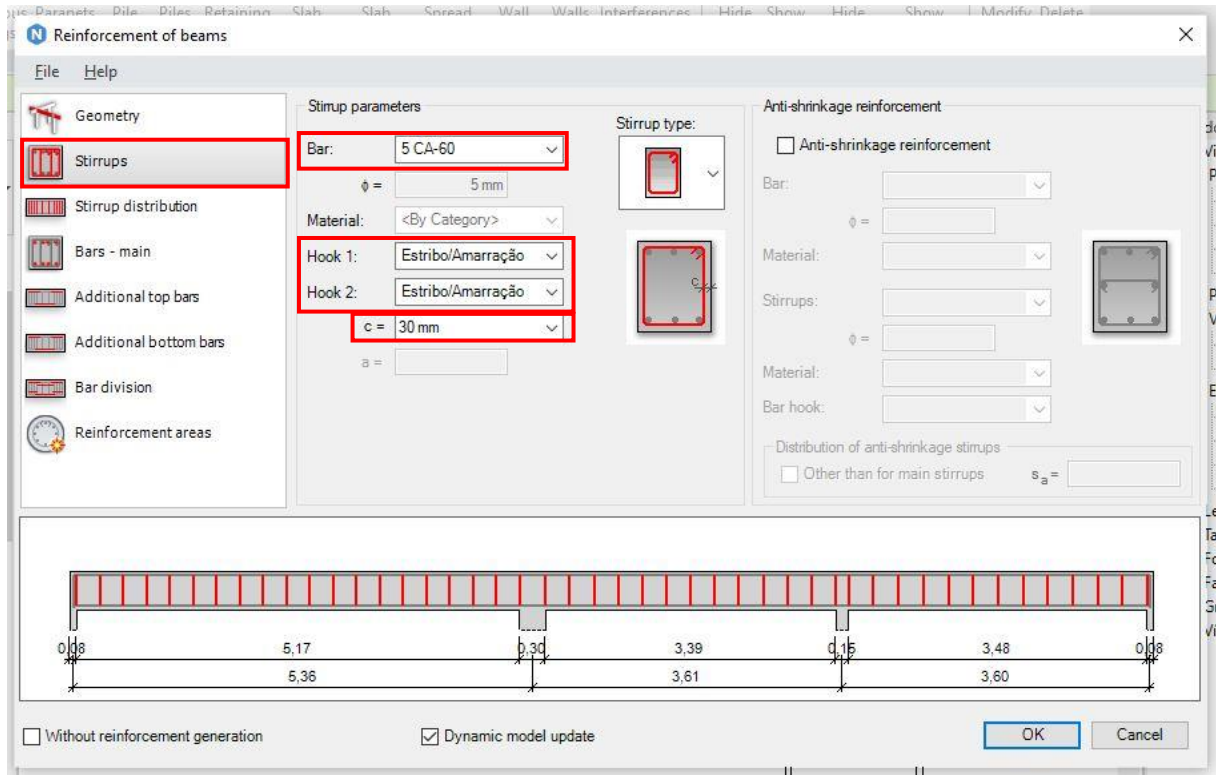
Figura 88 – Edição da armadura automática.



Fonte: Autor.

Na janela “Reinforcement of beams”, em “Geometry” é possível apenas visualizar as informações da geometria da viga, não sendo permitida alterações dos valores. Na barra lateral, em “Stirrups” configuram-se as barras transversais (estribos). No item “Bar” selecionar o diâmetro e tipo de aço. Em “Hook 1” e “Hook 2” definir o ângulo de amarração dos ganchos do estribo. No item “C=” digitar o valor do cobrimento em milímetros. Conforme ilustrado na Figura 89.

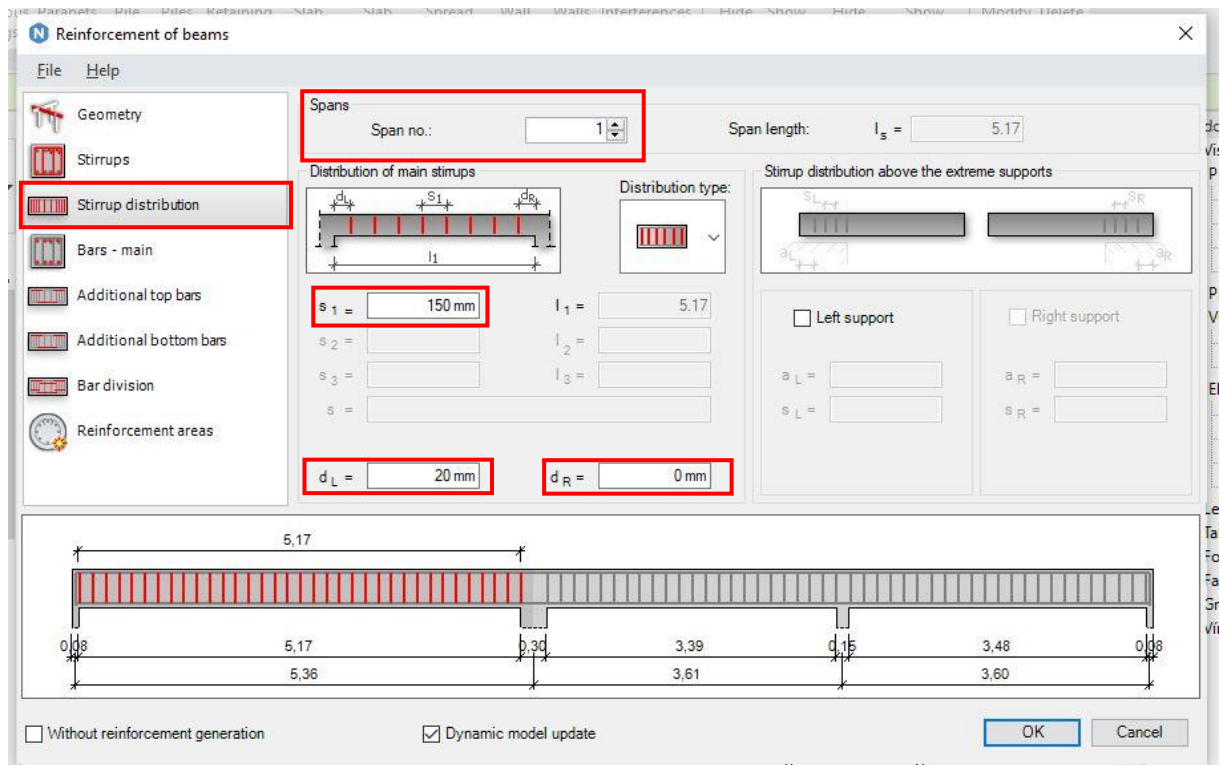
Figura 89 – Armadura transversal (estribos).



Fonte: Autor.

Na barra lateral, em “Stirrup distribution” define-se o espaçamento dos estribos em cada vão. Selecionar o vão clicando sobre ele ou selecionando em “Spans”, definir em “S₁” o valor do espaçamento e em “D_L” e “D_R” a distância entre o estribo e a face do pilar. Conforme ilustrado na Figura 90.

Figura 90 – Espaçamento dos estribos na viga.



Fonte: Autor.

Na barra lateral, em “Bars – main” é possível adicionar a armadura longitudinal contínua em toda extensão da viga, sendo que na seção “Lower bar” é configurada a armadura inferior e na “Upper bar” a superior. Em “Bar” definir o diâmetro e tipo de aço, em “Hooks” manter a opção “None” e em “ l_a ” e “ l_b ” definir o comprimento do ganho em centímetros. Na opção “ $n =$ ” escolher o número de barra. Conforme ilustrado na Figura 91.

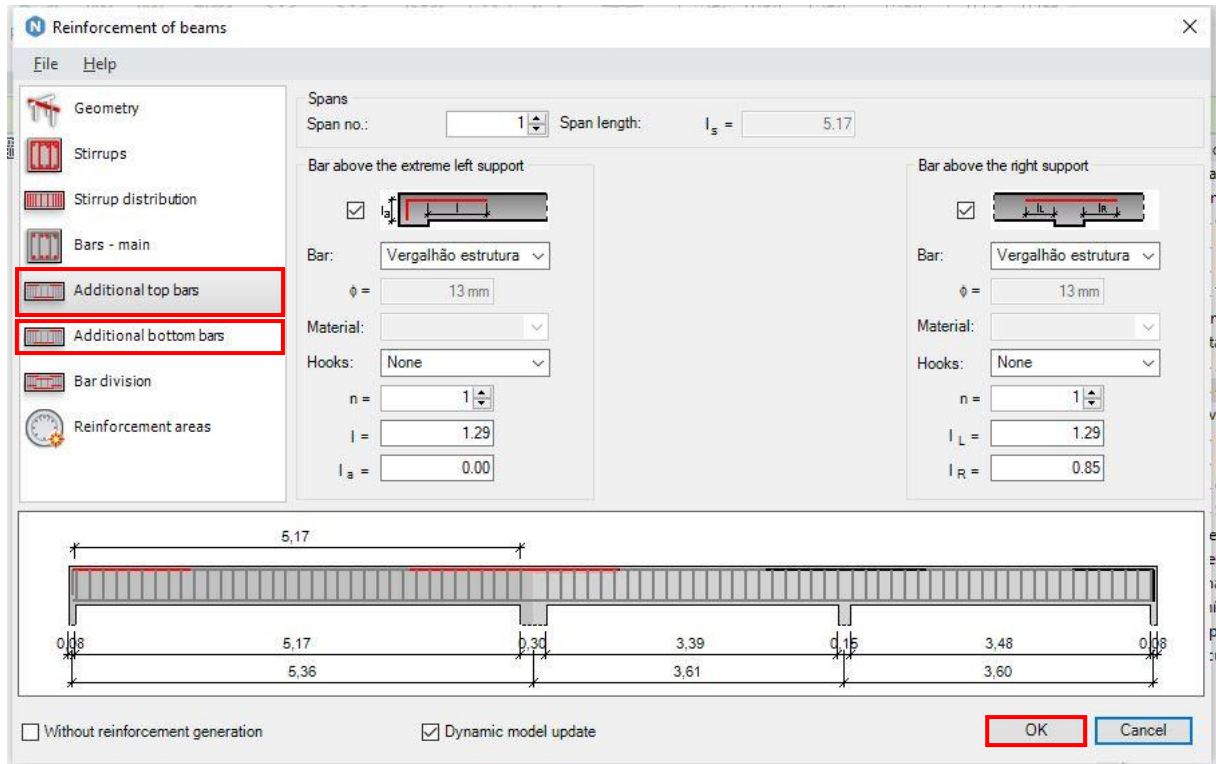
Figura 91 – Detalhamento armadura longitudinal da viga.



Fonte: Autor.

Na barra lateral, em “Additional top bars” é possível adicionar armaduras superiores adicionais próximas aos apoios. Selecionar o vão e configurar as armaduras na extremidade do apoio e/ou entre apoios. As opções de configuração são as mesmas da armadura longitudinal. As armaduras que estão sendo editadas ficam na cor vermelha, conforme ilustrado na Figura 92. No item “Additional bottom bar” adicionam-se as armaduras inferiores adicionais. Ao finalizar a inserção das armaduras clicar em “OK”.

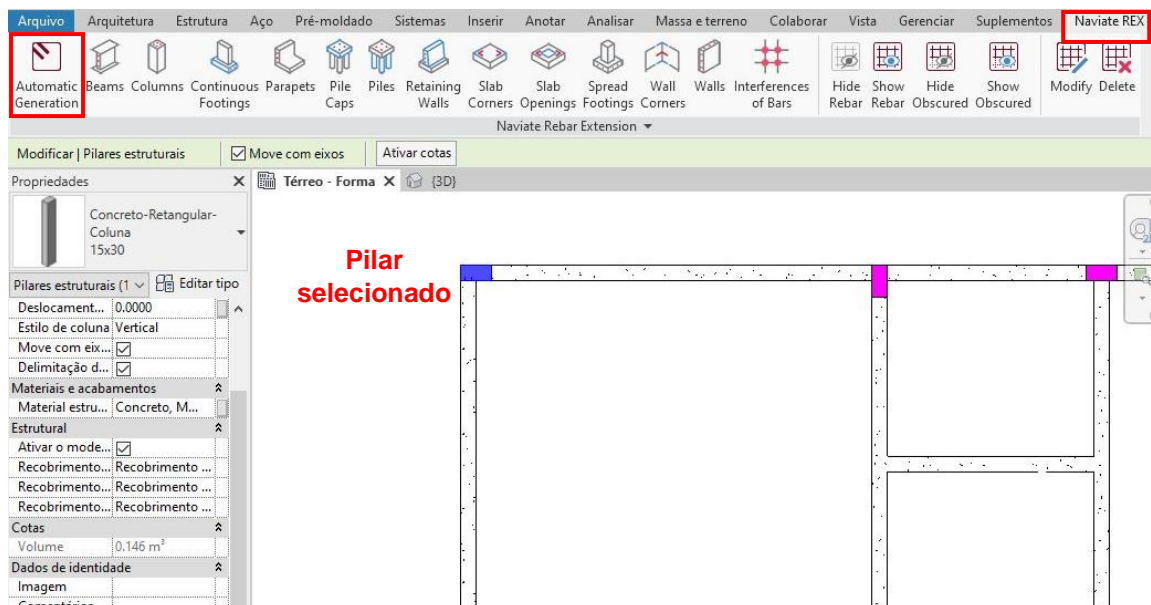
Figura 92 – Armadura superior adicional.



Fonte: Autor.

Para inserir a armadura no pilar, seleccionar o pilar desejado e na aba “Naviate REX” clicar no ícone “Automatic Generation”. Conforme ilustrado na Figura 93.

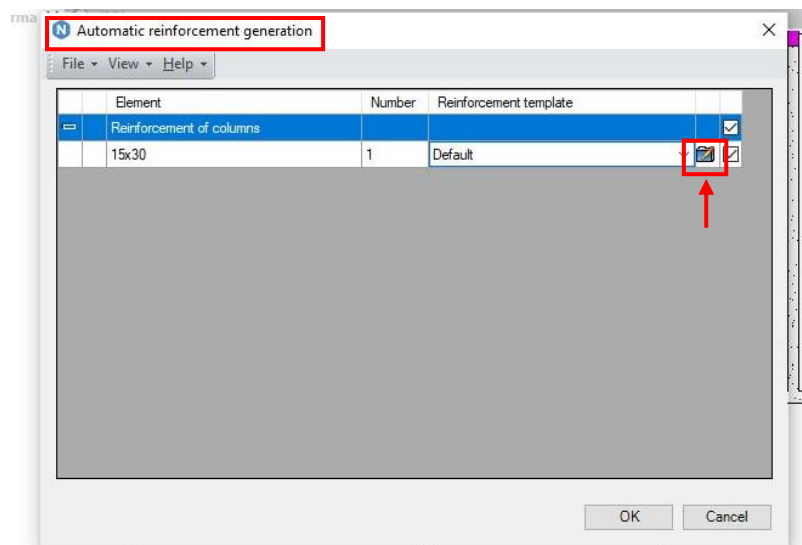
Figura 93 – Naviate para armadura no pilar.



Fonte: Autor.

Na janela “Automatic reinforcement Generation” que abrirá em seguida, clicar no ícone “Edit template”. Conforme ilustrado na Figura 94.

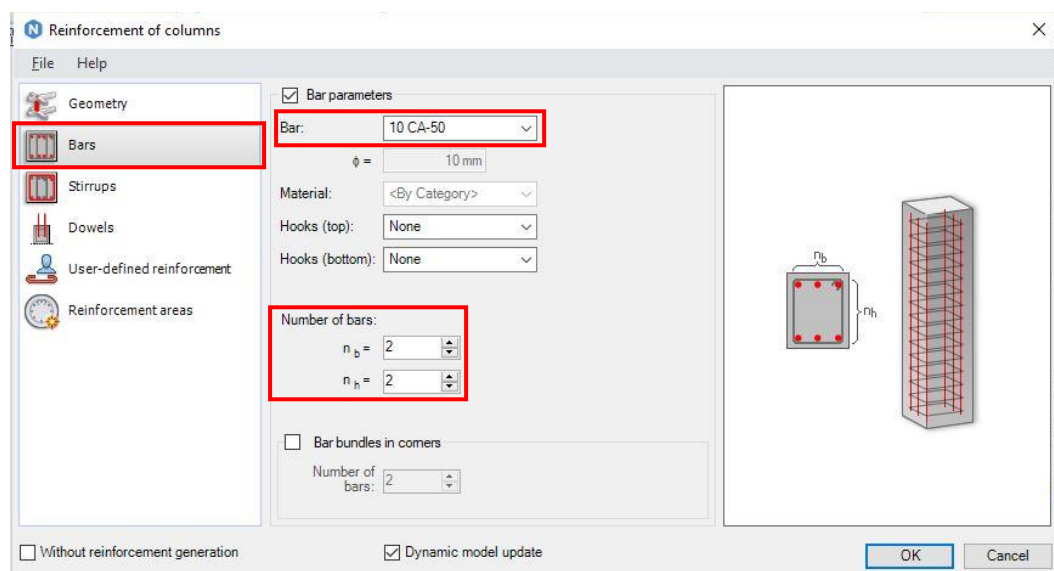
Figura 94 – Edição da armadura automática (pilar).



Fonte: Autor.

Na janela “Reinforcement of columns”, em “Geometry” é possível apenas visualizar as informações da geometria do pilar, não sendo permitida alterações dos valores. Na barra lateral, em “Bars” configuram-se as barras longitudinais. Na opção “Bar” escolher o diâmetro, tipo de aço e em “Number of bar” definir o número de barras em cada face do pilar. Conforme ilustrado na Figura 95.

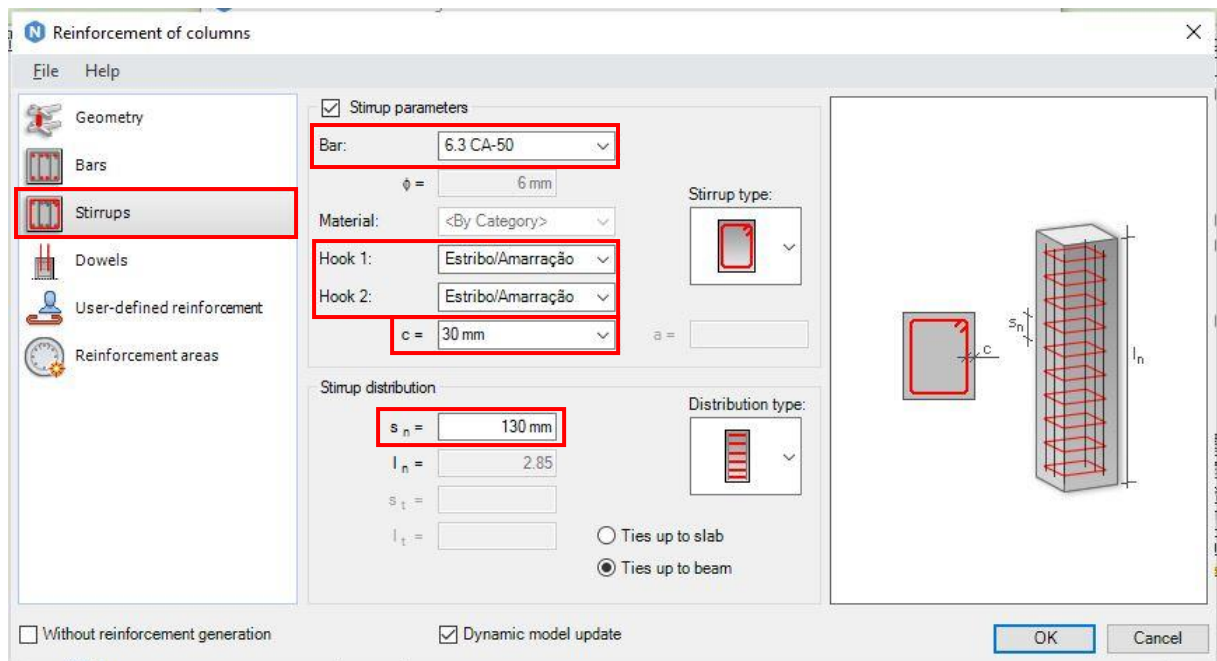
Figura 95 – Detalhamento da armadura longitudinal do pilar.



Fonte: Autor.

Na barra lateral, em “Stirrups” configuram-se as barras transversais (estribos). No item “Bar” selecionar o diâmetro e tipo de aço. Em “Hook 1” e “Hook 2” definir o ângulo de amarração dos ganchos do estribo. No item “C=” digitar o valor do cobrimento e no item “s_n” o valor do espaçamento, ambos em milímetros. Conforme ilustrado na Figura 96.

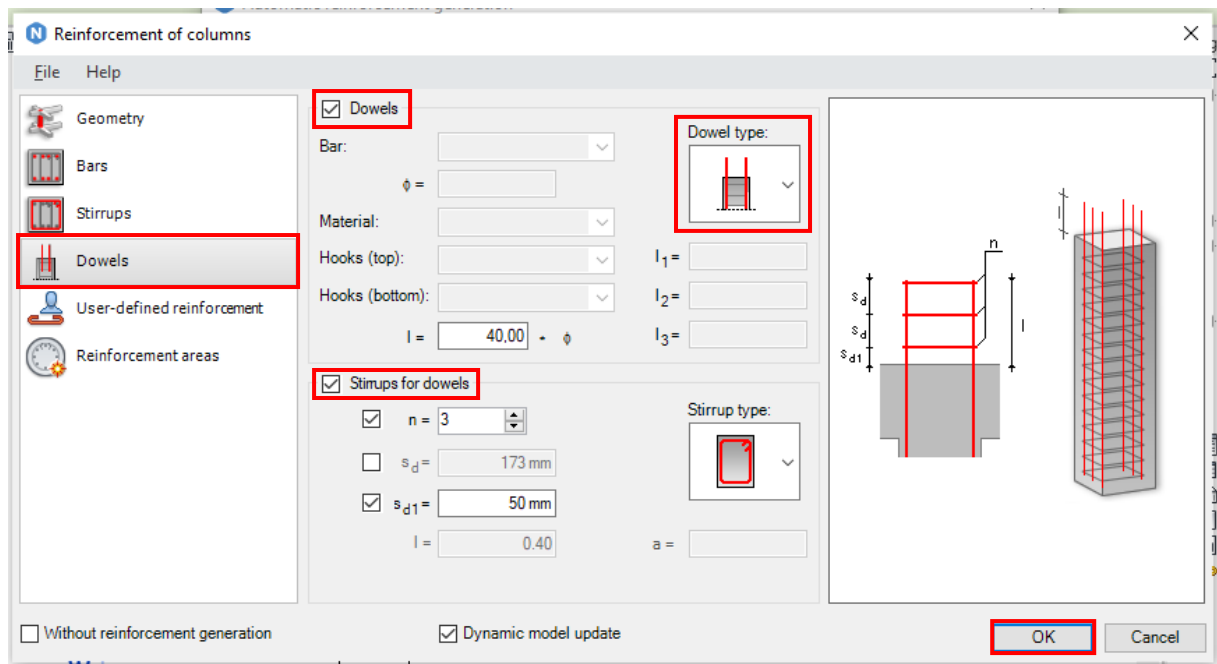
Figura 96 - Espaçamento dos estribos no pilar.



Fonte: Autor.

No item “Dowels” é possível configurar a armadura de transpasse do pilar ao habilitar a opção “Dowels”. De acordo com o tipo de transpasse escolhido mudam-se as opções para configuração do comprimento. Habilitando a opção “Stirrups for dowels” pode-se adicionar os estribos no transpasse. Conforme ilustrado na Figura 97. Ao finalizar a inserção das armaduras clicar em “OK”.

Figura 97 – Transpasse da armadura.



Fonte: Autor.

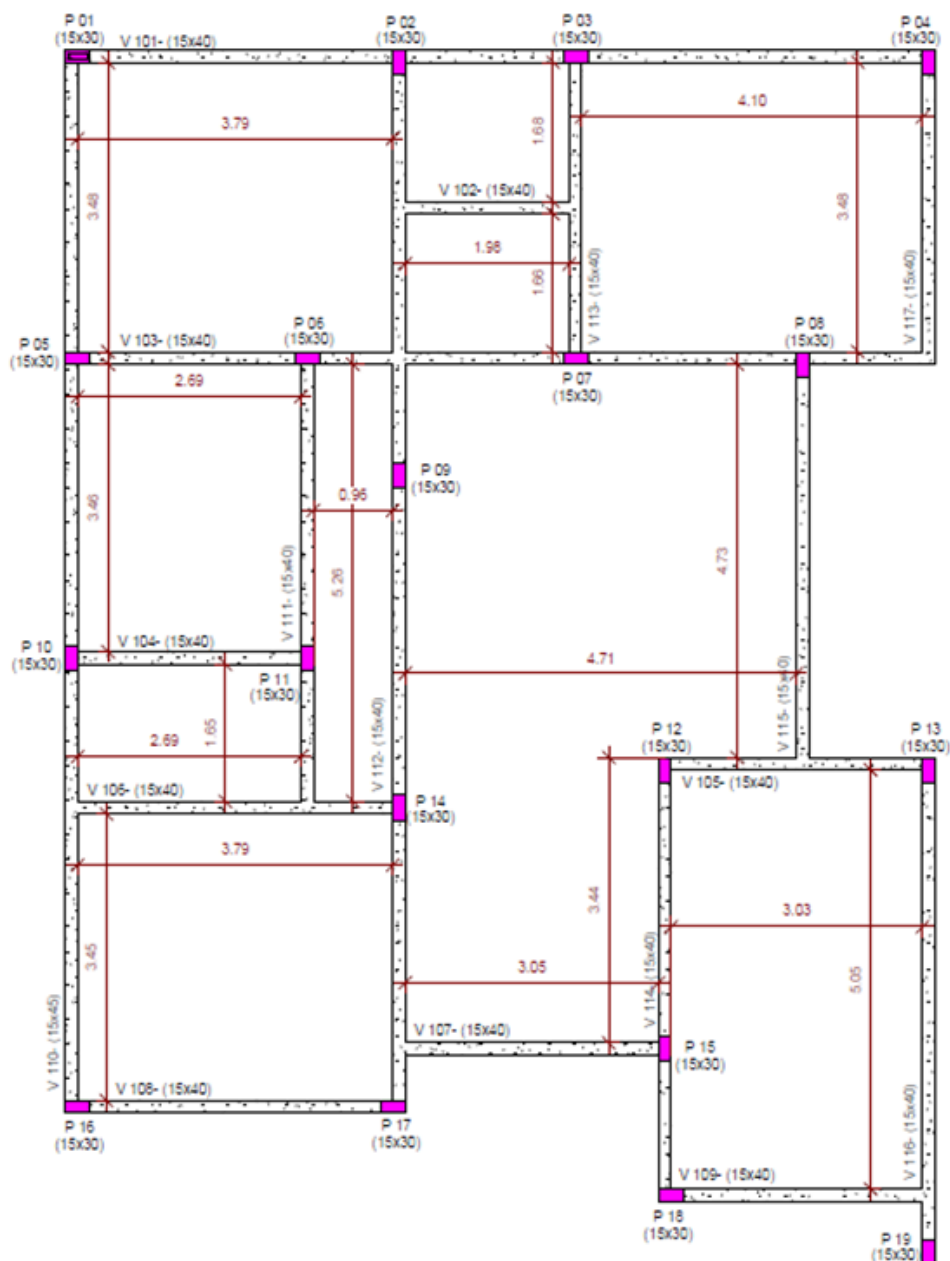
4 RESULTADOS

O presente capítulo apresenta os resultados obtidos através do detalhamento da estrutura no *Revit*, após o dimensionamento no *Robot Structural Analysis*.

4.1 PLANTA DE FORMA

A Figura 98 abaixo representa uma planta de forma gerada por meio do *software Revit*.

Figura 98 – Planta de forma térreo.

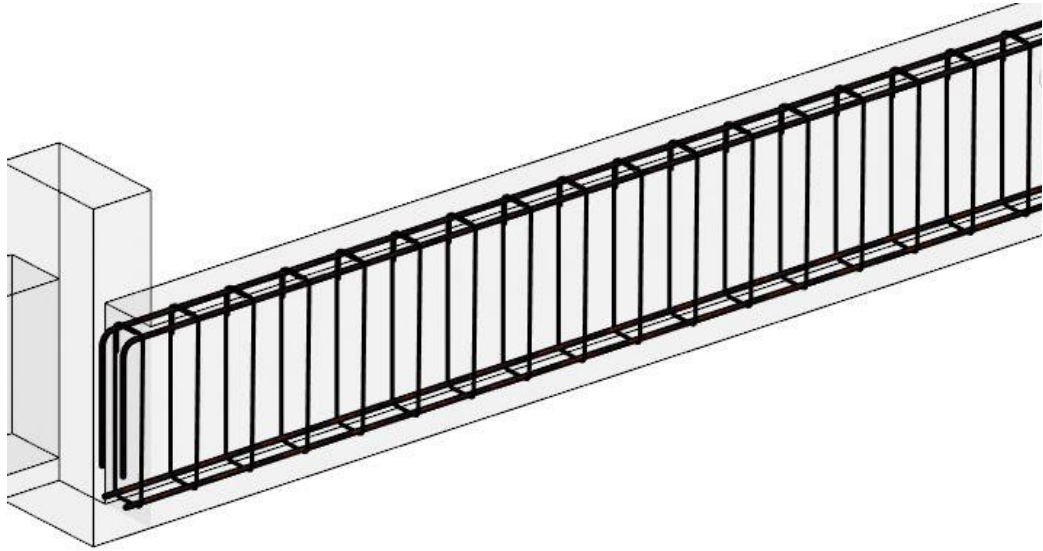


Fonte: Autor.

4.2 DETALHAMENTO DA VIGA

Após a inserção da armadura através do *plugin Naviate*, o *Revit* permite a visualização da armadura através de um modelo tridimensional, conforme ilustrado na Figura 99.

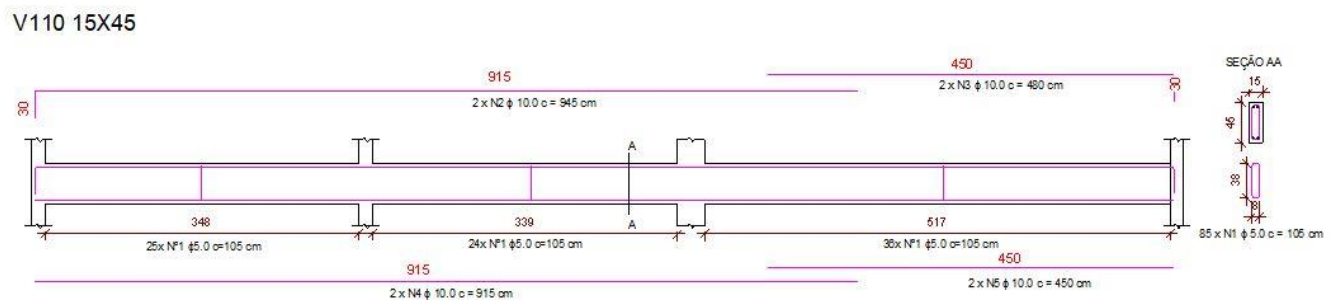
Figura 99 – Modelo 3D da armadura da viga.



Fonte: Autor.

Além disso, foi criado um detalhamento longitudinal da viga representado pela Figura 100.

Figura 100 – Detalhamento longitudinal da viga.

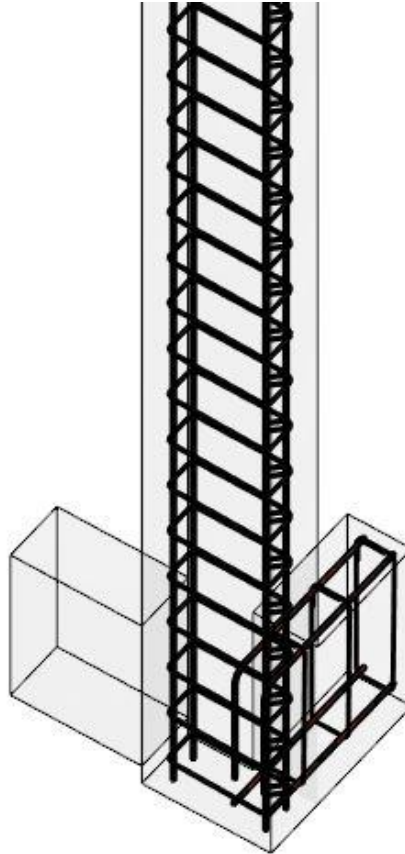


Fonte: Autor.

4.3 DETALHAMENTO DO PILAR

Da mesma forma que foi possível a visualização do modelo tridimensional da viga, pode-se visualizar a armadura do pilar, conforme ilustrado na Figura 101.

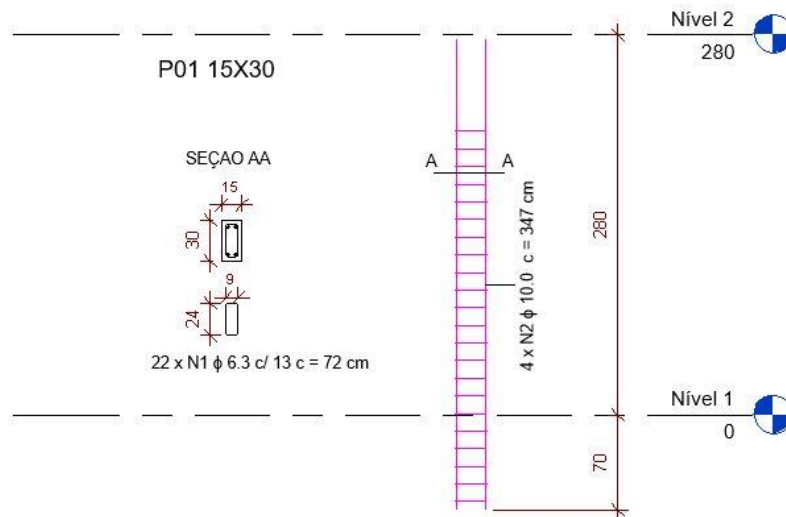
Figura 101 – Modelo 3D da armadura do pilar.



Fonte: Autor.

Além disso, também foi criado um detalhamento longitudinal do pilar representado pela Figura 102.

Figura 102 – Detalhamento longitudinal do pilar.



Fonte: Autor.

4.4 QUANTITATIVO

Através do *Revit*, têm-se a possibilidade de criar tabelas automatizada de quantitativos, fazendo com que qualquer alteração nos elementos estruturais quanto a seção e/ou armadura reflita automaticamente nas tabelas, otimizando o processo de quantificação de materiais. A Tabela 1 demonstra um exemplo de tabela de quantitativo de aço.

Tabela 1 – Quantitativo de aço.

<MATERIAIS - VERGALHÕES>				
A	B	C	D	E
Tipo	D(Φ)	Qty	Comp Total	Barras (12m)
5 CA-60	5.0 mm	85	89.550	7.5
6.3 CA-50	6.3 mm	22	15.945	1.3
10 CA-50	10.0 mm	8	65.610	5.5
Total geral: 12		115	171.110	14.3

Fonte: *Revit*.

As Tabelas 2 e 3 representam o quantitativo das fôrmas de madeira e concreto, da viga e do pilar, respectivamente.

Tabela 2 – Quantitativo de material da viga.

<MATERIAL - VIGA ESTRUTURAL>			
A	B	C	D
Marca	Tipo	Material: Área	Volume CA +10%
	15x40	6.76 m ²	0.39 m ³
V 101	15x40	10.89 m ²	0.63 m ³
V 102	15x40	2.29 m ²	0.13 m ³
V 103	15x40	10.63 m ²	0.60 m ³
V 104	15x40	3.08 m ²	0.18 m ³
V 105	15x40	3.45 m ²	0.20 m ³
V 106	15x40	4.29 m ²	0.25 m ³
V 107	15x40	3.47 m ²	0.20 m ³
V 108	15x40	3.96 m ²	0.23 m ³
V 109	15x40	3.29 m ²	0.19 m ³
V 110	15x45	14.86 m ²	0.89 m ³
V 111	15x40	5.70 m ²	0.33 m ³
V 112	15x40	13.28 m ²	0.78 m ³
V 113	15x40	3.95 m ²	0.23 m ³
V 114	15x40	5.30 m ²	0.30 m ³
V 115	15x40	5.16 m ²	0.30 m ³
V 116	15x40	6.30 m ²	0.36 m ³
V 117	15x40	3.95 m ²	0.23 m ³
V 201	15x40	4.13 m ²	0.24 m ³
V 202	15x40	10.63 m ²	0.60 m ³
V 203	15x40	4.25 m ²	0.24 m ³
V 204	15x40	6.93 m ²	0.40 m ³
V 205	15x40	4.29 m ²	0.25 m ³
V 206	15x40	3.96 m ²	0.23 m ³
V 207	15x40	11.10 m ²	0.65 m ³
V 208	15x40	14.90 m ²	0.87 m ³
V 209	15x40	14.41 m ²	0.84 m ³
V 210	15x40	3.95 m ²	0.23 m ³
V 211	15x40	5.30 m ²	0.30 m ³
V 212	15x40	5.16 m ²	0.30 m ³
V 213	15x40	6.30 m ²	0.36 m ³
V 214	15x40	3.95 m ²	0.23 m ³
Total geral: 32		209.89 m ²	12.18 m ³

Fonte: Revit.

Tabela 3 – Quantitativo de material do pilar.

<MATERIAIS - PILAR ESTRUTURAL>			
A	B	C	D
Nome	Modelo	Área de Forma	Volume
P 01	15x30	3 m ²	0.16 m ³
P 02	15x30	3 m ²	0.16 m ³
P 03	15x30	3 m ²	0.16 m ³
P 04	15x30	3 m ²	0.16 m ³
P 05	15x30	3 m ²	0.16 m ³
P 06	15x30	3 m ²	0.16 m ³
P 07	15x30	3 m ²	0.16 m ³
P 08	15x30	3 m ²	0.16 m ³
P 09	15x30	3 m ²	0.16 m ³
P 10	15x30	3 m ²	0.16 m ³
P 11	15x30	3 m ²	0.16 m ³
P 12	15x30	3 m ²	0.16 m ³
P 13	15x30	3 m ²	0.16 m ³
P 14	15x30	3 m ²	0.16 m ³
P 15	15x30	3 m ²	0.16 m ³
P 16	15x30	3 m ²	0.16 m ³
P 17	15x30	3 m ²	0.16 m ³
P 18	15x30	3 m ²	0.16 m ³
P 19	15x30	3 m ²	0.16 m ³
Total geral: 19		62 m ²	2.99 m ³

Fonte: Revit.

5 CONCLUSÃO

Sabendo da importância do uso de *softwares* de cálculo estrutural para agilizar e otimizar o desenvolvimento de projetos estruturais, esse trabalho verificou o uso do *software Robot Structural Analysis* em conjunto com o *Revit* para a elaboração de um projeto estrutural de uma residência de pequeno porte em concreto armado.

A modelagem da estrutura foi realizada no *Revit*, para aproveitar o modelo arquitetônico e evitar incompatibilidades entre o projeto de arquitetura e estrutural. Para o dimensionamento, o modelo foi exportado ao *Robot* e para a utilização desse *software* precisou-se inserir os parâmetros referentes a norma brasileira NBR 6118/2014.

O detalhamento dos elementos estruturais foi realizado no *Revit*, a fim de obter um modelo mais completo e com a possibilidade da criação de tabelas de quantitativos automatizadas, facilitando também as alterações de projeto caso sejam necessárias. Bem como a visualização de vistas tridimensionais que contribuem ainda mais para o melhor entendimento do projeto.

Em vista disso, a utilização em conjunto do *Robot Structural Analysis* e *Revit* foi satisfatória. Por serem *softwares* desenvolvidos pela *Autodesk* e possuírem versões estudantis, a disseminação do uso para alunos de graduação poderia trazer grandes benefícios para o entendimento de projetos estruturais, além de aproximá-los de uma realidade profissional.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6120: Cargas para cálculo de estruturas de edificações**. Rio de Janeiro, 2019.
- COMITE EUROPEU DE NORMALIZAÇÃO. **Eucódigo 2: Projecto de estruturas de betão – Parte 1-1: Regras gerais e regras para edifícios**. Bruxelas, 2004.
- CRISTOFOLI, Tiago da Rocha; BARBIERI, Ranier Adonis; BOLINA, Fabrício Longhi. **Análise Comparativa do Dimensionamento de Vigas de Concreto Armado ao Esforço Cortante Pela ABNT NBR 6118 e EN 1992-1-1: Estudo de Caso**. X Congresso Brasileiro De Pontes e Estruturas, 2018. Disponível em: <<http://www.abpe.org.br/trabalhos2018/033.pdf>>
- EASTMAN, C. *et al.* **Manual de BIM – Um Guia de Modelagem da Informação da Construção para Arquitetos, Engenheiros, Gerentes, Construtores e Incorporadores**. 3. ed, Editora Bookman. Porto Alegre, RS, 2021.
- GERALDES, Pedro Di Luccio. **Implementação da metodologia BIM em um gabinete de estruturas**. 2018. 188p. Dissertação de mestrado em Engenharia Civil – Instituto Superior de Engenharia do Porto. Porto, Portugal. 2018.
- KIMURA, Alio. **Informática aplicada a estruturas de concreto armado**. 2. ed, Editora Oficina de Textos. São Paulo, SP, 2018.
- LOPES, Pedro Henrique Pires *et al.* **NBR 6118 e Eurocode 2: Análise Comparativa no dimensionamento de lajes e vigas em concreto armado**. Faculdade de Engenharia e Arquitetura da Universidade FUMEC, Belo Horizonte, MG, 2015. Disponível em: <<http://revista.fumec.br/index.php/construindo/article/view/4014>>
- LORENZON, Rodrigo Zardo. **Estudo comparativo entre as Normas Brasileira e Europeia no dimensionamento de pilares de concreto armado: Estudo De Caso**. 2019. 228p. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2019.
- PAPADOPOULOS, Nicolas Alexandros *et al.* **Avaliação da integração entre uma plataforma BIM e uma ferramenta de análise estrutural**. Revista Sistemas & Gestão - Universidade Federal Fluminense, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.20985/1980-5160.2017.v12n1.1203>>
- SILVA, Gabriela Ferraz . **Análise Comparativa do projeto estrutural utilizando os softwares Eberick e TQS - Estudo De Caso: Edifício Comercial em Pato Branco – PR**. 2018. 139p. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, PR, 2018.

ANEXOS

ANEXO A – NOTA DE CÁLCULO VIGA

1 Nível:

- Nome :
- Nível de referência : ---
- Fissura máxima : 0,40 (mm)
- Exposição : XC1
- Coeficiente de fluência do concreto : $\varphi_{\pi} = 3,04$
- Classe do cimento : N
- Idade do concreto (momento de carga) : 28 (dias)
- Idade do concreto : 50 (anos)
- Idade do concreto após erguer uma estrutura : 365 (anos)
- Classe de estrutura : S3
- Classe de resistência ao fogo : sem requisitos
- Recomendações de FFB 7.4.3(7) : 0,00

2 Viga: Viga20 elementos idênticos: 1

Número de

2.1 Propriedades de material:

- Concreto : C25 $f_{ck} = 25,00$ (MPa)
Distribuição de tensões retangulares
[3.1.7(3)]
- Densidade : 2501,36 (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 (m)	Apoio direito (m)	L (m)
	P1	Vão 0,15	3,48	0,15	
	Comprimento do vão: $L_0 = 3,63$ (m)				
	Seção de 0,00 até 3,48 (m)				
	15,0 x 45,0 (cm)				
	sem laje esquerda				
	sem laje direita				

2.2.2	Vão	Posição	Apoio esquerdo (m)	Apoio direito (m)	L (m)
-------	-----	---------	-----------------------	----------------------	----------

P2 Vão 0,15 3,39 0,30Comprimento do vão: $L_0 = 3,61$ (m)

Seção de 0,00 até 3,39 (m)

15,0 x 45,0, Deslocamento (+ alto, - baixo): 0,0 x +0,0 (cm)
sem laje esquerda
sem laje direita

2.2.3	Vão	Posição	Apoio esquerdo (m)	Apoio direito (m)	L (m)
-------	-----	---------	-----------------------	----------------------	----------

P3 Vão 0,30 5,17 0,15Comprimento do vão: $L_0 = 5,40$ (m)

Seção de 0,00 até 5,17 (m)

15,0 x 45,0, Deslocamento (+ alto, - baixo): 0,0 x +0,0 (cm)
sem laje esquerda
sem laje direita**2.3 Vigas adjacentes:**

Nome	Formato	Vão	X*	Z*	DX	DZ	
			(m)	(m)	(m)	(m)	
15x40 (Barra 28)	retâng.	P3	1,58	0,00	0,15	0,40	

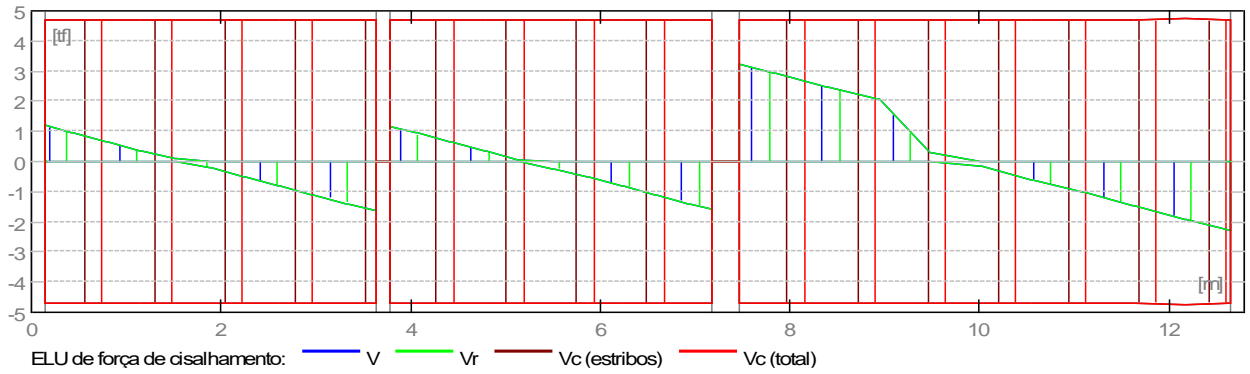
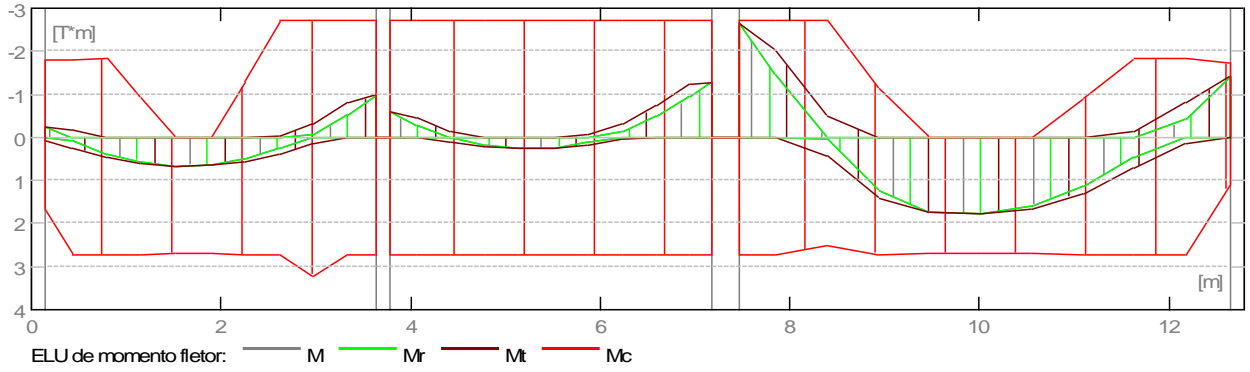
* - coordenadas do canto esquerdo inferior da viga adjacente

2.4 Opções de cálculo:

- Regulagem das combinações : EN 1990:2002
- Cálculos de acordo com : EN 1992-1-1:2004/A1:2014
- Disposições sísmicas : Sem requisitos
- Viga pré-moldada : não
- Cobrimento : fundo c = 3,5 (cm)
: lado c1= 3,5 (cm)
: superior c2= 3,5 (cm)
- Desvios de cobrimento : $C_{dev} = 1,5(\text{cm})$, $C_{dur} = 0,0(\text{cm})$
- Coeficiente $\beta_2 = 0.50$: carga de longo prazo ou cíclica
- Método de cálculos de cisalhamento : inclinação da biela

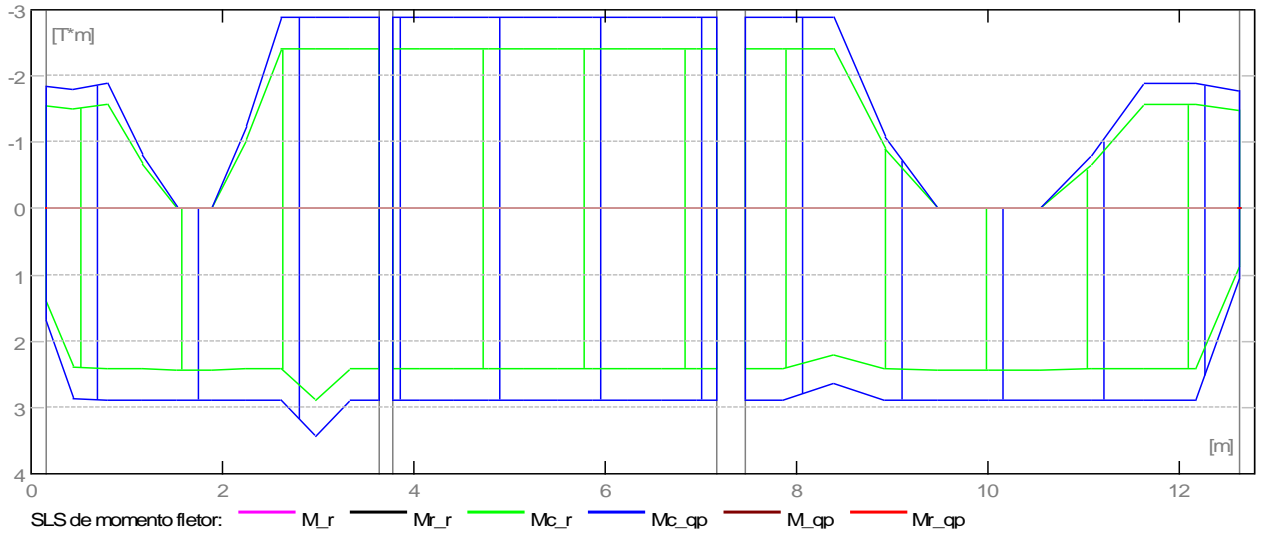
2.5 Resultados do cálculo:**2.5.1 Forças internas em ELU**

Vão	Mt máx. (T*m)	Mt mín. (T*m)	Ml (T*m)	Mr (T*m)	Ql (tf)	Qr (tf)
P1	0,66	-0,04	-0,25	-0,98	1,20	-1,63
P2	0,27	-0,32	-0,58	-1,28	1,17	-1,58
P3	1,78	-0,00	-2,66	-1,41	3,24	-2,28



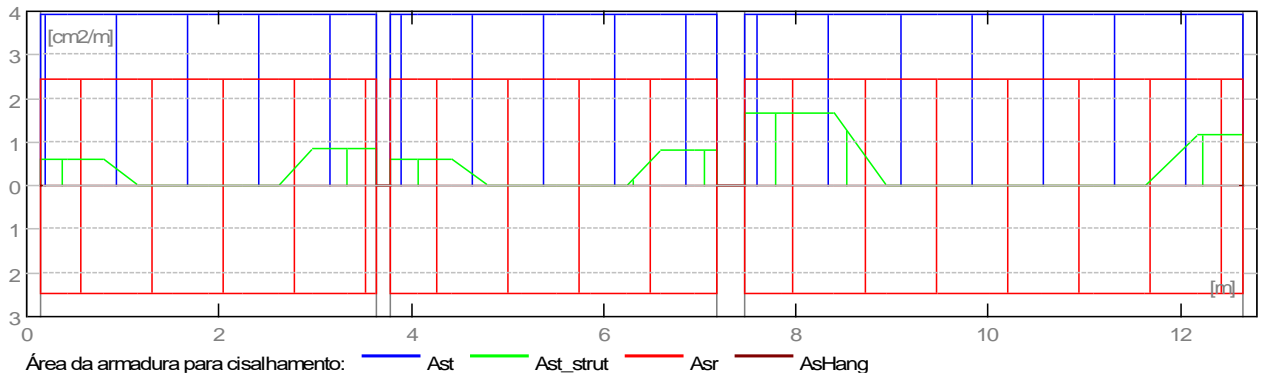
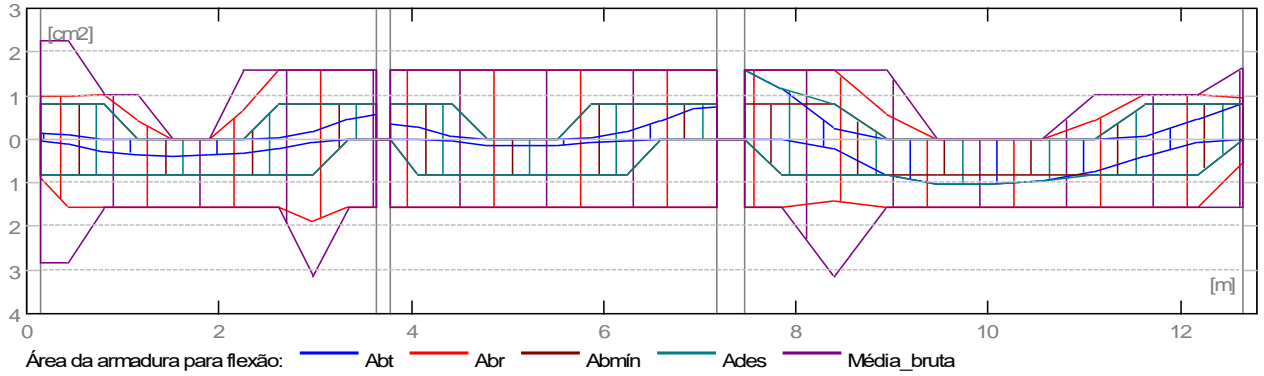
2.5.2 Forças internas em SLS

Vão	Mt máx. (T*m)	Mt mín. (T*m)	Ml (T*m)	Mr (T*m)	Ql (tf)	Qr (tf)
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



2.5.3 Área de armadura necessária

Vão	Vão (cm2)	Apoio esquerdo (cm2)		Apoio direito (cm2)	
		superior	fundo	superior	fundo
P1	0,38	0,00	0,03	0,14	0,00
P2	0,15	0,00	0,00	0,34	0,00
P3	1,04	0,00	0,00	1,58	0,00



2.5.4 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	wt(QP) (cm)	wt(QP)dop (cm)	Dwt(QP) (cm)	Dwt(QP)dop (cm)	wk (mm)
P1	0,0	1,5	0,0	0,0	0,0
P2	0,0	1,4	0,0	0,0	0,0
P3	0,0	2,2	0,0	0,0	0,0

2.6 Resultados teóricos - resultados detalhados:

2.6.1 P1 : Vão de 0,15 até 3,63 (m)

Abscissa (m)	ULS		SLS		A fundo (cm ²)	A superior (cm ²)
	M máx. (T*m)	M mín. (T*m)	M máx. (T*m)	M mín. (T*m)		
0,15	0,06	-0,25	0,00	0,00	0,03	0,14
0,44	0,24	-0,16	0,00	0,00	0,13	0,09
0,80	0,48	-0,01	0,00	0,00	0,28	0,00
1,17	0,62	-0,00	0,00	0,00	0,36	0,00
1,53	0,66	-0,00	0,00	0,00	0,38	0,00
1,89	0,65	-0,00	0,00	0,00	0,37	0,00
2,26	0,57	-0,00	0,00	0,00	0,33	0,00
2,62	0,39	-0,04	0,00	0,00	0,22	0,02
2,98	0,13	-0,31	0,00	0,00	0,07	0,17
3,35	0,00	-0,81	0,00	0,00	0,00	0,47
3,63	0,00	-0,98	0,00	0,00	0,00	0,56

ULS SLS

Abcissa (m)	V máx. (tf)	V máx. (tf)	afp (mm)
0,15	1,20	0,00	0,0
0,44	0,97	0,00	0,0
0,80	0,67	0,00	0,0
1,17	0,38	0,00	0,0
1,53	0,08	0,00	0,0
1,89	-0,21	0,00	0,0
2,26	-0,51	0,00	0,0
2,62	-0,80	0,00	0,0
2,98	-1,10	0,00	0,0
3,35	-1,39	0,00	0,0
3,63	-1,63	0,00	0,0

2.6.2 P2 : Vão de 3,78 até 7,17 (m)

Abcissa (m)	ULS		SLS		A fundo (cm2)	A superior (cm2)
	M máx. (T*m)	M mín. (T*m)	M máx. (T*m)	M mín. (T*m)		
3,78	0,00	-0,58	0,00	0,00	0,00	0,34
4,07	0,01	-0,47	0,00	0,00	0,00	0,27
4,43	0,11	-0,14	0,00	0,00	0,05	0,07
4,79	0,23	-0,00	0,00	0,00	0,13	0,00
5,15	0,27	-0,00	0,00	0,00	0,15	0,00
5,51	0,25	-0,00	0,00	0,00	0,15	0,00
5,88	0,17	-0,07	0,00	0,00	0,09	0,04
6,24	0,05	-0,32	0,00	0,00	0,03	0,18
6,60	0,00	-0,72	0,00	0,00	0,00	0,42
6,96	0,00	-1,23	0,00	0,00	0,00	0,71
7,17	0,00	-1,28	0,00	0,00	0,00	0,74

Abcissa (m)	ULS		SLS	
	V máx. (tf)	V máx. (tf)	afp (mm)	
3,78	1,17	0,00	0,0	
4,07	0,94	0,00	0,0	
4,43	0,65	0,00	0,0	
4,79	0,35	0,00	0,0	
5,15	0,06	0,00	0,0	
5,51	-0,23	0,00	0,0	
5,88	-0,53	0,00	0,0	
6,24	-0,82	0,00	0,0	
6,60	-1,11	0,00	0,0	
6,96	-1,41	0,00	0,0	
7,17	-1,58	0,00	0,0	

2.6.3 P3 : Vão de 7,47 até 12,64 (m)

Abcissa (m)	ULS		SLS		A fundo (cm2)	A superior (cm2)
	M máx. (T*m)	M mín. (T*m)	M máx. (T*m)	M mín. (T*m)		
7,47	0,00	-2,66	0,00	0,00	0,00	1,58
7,86	0,01	-2,01	0,00	0,00	0,00	1,18
8,40	0,44	-0,49	0,00	0,00	0,23	0,25
8,94	1,41	-0,00	0,00	0,00	0,82	0,00
9,48	1,76	-0,00	0,00	0,00	1,03	0,00
10,02	1,78	-0,00	0,00	0,00	1,04	0,00
10,56	1,65	-0,00	0,00	0,00	0,96	0,00
11,10	1,30	-0,00	0,00	0,00	0,75	0,00
11,64	0,70	-0,15	0,00	0,00	0,40	0,08
12,18	0,16	-0,82	0,00	0,00	0,09	0,46
12,64	0,00	-1,41	0,00	0,00	0,00	0,82

Abcissa (m)	ULS		SLS	
	V máx. (tf)	V máx. (tf)	afp (mm)	
7,47	3,24	0,00	0,0	
7,86	2,93	0,00	0,0	
8,40	2,49	0,00	0,0	
8,94	2,05	0,00	0,0	
9,48	0,29	0,00	0,0	
10,02	-0,15	0,00	0,0	
10,56	-0,59	0,00	0,0	
11,10	-1,02	0,00	0,0	
11,64	-1,46	0,00	0,0	

12,18	-1,90	0,00	0,0
12,64	-2,28	0,00	0,0

2.7 Armadura:

2.7.1 P1 : Vão de 0,15 até 3,63 (m)

Armadura longitudinal:

- fundo (CA-50)
 - 2 ϕ 10 $l = 3,10$ de 0,04 até 3,14
 - 1 ϕ 6.3 $l = 0,85$ de 0,04 até 0,04
- montagem (superior) (CA-50)
 - 2 ϕ 8 $l = 2,01$ de 0,70 até 2,72
- apoio (CA-50)
 - 2 ϕ 8 $l = 1,32$ de 0,04 até 1,30
 - 1 ϕ 6.3 $l = 0,96$ de 0,04 até 0,04

Armadura transversal:

- principal (CA-60)
 - estribos 44 ϕ 5 $l = 0,87$
 $e = 1*0,02 + 43*0,08$ (m)

2.7.2 P2 : Vão de 3,78 até 7,17 (m)

Armadura longitudinal:

- fundo (CA-50)
 - 2 ϕ 10 $l = 5,97$ de 2,74 até 8,71
- apoio (CA-50)
 - 2 ϕ 10 $l = 7,06$ de 2,05 até 9,11

Armadura transversal:

- principal (CA-60)
 - estribos 43 ϕ 5 $l = 0,87$
 $e = 1*0,01 + 42*0,08$ (m)

2.7.3 P3 : Vão de 7,47 até 12,64 (m)

Armadura longitudinal:

- fundo (CA-50)
 - 2 ϕ 10 $l = 4,45$ de 8,30 até 12,76
- montagem (superior) (CA-50)
 - 2 ϕ 8 $l = 3,08$ de 8,48 até 11,56
- apoio (CA-50)
 - 2 ϕ 8 $l = 1,80$ de 10,96 até 12,76
 - 1 ϕ 6.3 $l = 0,96$ de 12,75 até 12,75

Armadura transversal:

- principal (CA-60)
 - estribos 65 ϕ 5 $l = 0,87$
 $e = 1*0,03 + 64*0,08$ (m)

3 Levantamento de materiais:

- Volume de concreto = 0,86 (m³)
- Gabarito = 13,46 (m²)
- Aço CA-50
 - Peso total = 32,55 (kG)
 - Densidade = 37,69 (kG/m³)
 - Diâmetro médio = 9,3 (mm)
 - Levantamento de acordo com os diâmetros:

Diâmetro (mm)	Comprimento (m)	Peso (kG)	Peso (Nº)	Número (kG)	Peso total
6.3	0,85	0,21	1	0,21	
6.3	0,96	0,24	2	0,47	
8	1,32	0,52	2	1,04	
8	1,80	0,71	2	1,42	
8	2,01	0,79	2	1,59	
8	3,08	1,22	2	2,43	
10	3,10	1,91	2	3,83	
10	4,45	2,75	2	5,49	
10	5,97	3,68	2	7,37	
10	7,06	4,35	2	8,71	

- Aço CA-60
 - Peso total = 20,49 (kG)
 - Densidade = 23,73 (kG/m³)
 - Diâmetro médio = 5,0 (mm)
 - Levantamento de acordo com os diâmetros:

Diâmetro (mm)	Comprimento (m)	Peso (kG)	Peso (Nº)	Número (kG)	Peso total
5	0,87	0,13	152	20,49	

Fonte: Robot Structural Analysis.

ANEXO B – NOTA DE CÁLCULO PILAR

1 Nível:

- Nome :
- Nível de referência : 0,00 (m)
- Coeficiente de fluência do concreto : $\phi_p = 3,12$
- Classe do cimento : N
- Classe do ambiente : XC1
- Classe de estrutura : S3

2 Coluna: Coluna1 elementos idênticos: 1

Número de

2.1 Propriedades de material:

- Concreto : C25 $f_{ck} = 25,00$ (MPa)
- Peso unitário : 2501,36 (kG/m3)
- Tamanho do agregado : 20,0 (mm)
- Armadura longitudinal: CA-50 $f_{yk} = 500,00$ (MPa)
- Classe de ductilidade : B
- Armadura transversal: CA-50 $f_{yk} = 500,00$ (MPa)

2.2 Geometria:

- 2.2.1 Retangular 15,0 x 30,0 (cm)
- 2.2.2 Altura: L = 3,40 (m)
- 2.2.3 Espessura da laje = 0,12 (m)
- 2.2.4 Altura da viga = 0,40 (m)
- 2.2.5 Cobrimento = 3,0 (cm)

2.3 Opções de cálculo:

- Cálculos de acordo com : EN 1992-1-1:2004/A1:2014
- Disposições sísmicas : Sem requisitos
- Coluna pré-moldada : não
- Pré-projeto : não
- Esbeltez levada em consideração : sim
- Compressão : com flexão
- Amarras : à viga
- Classe de resistência ao fogo : Sem requisitos

2.4 Cargas:

Caso	Natureza	Grupo	γ_f	N (tf)	My(s) (T*m)	My(i) (T*m)	Mz(s) (T*m)	Mz(i) (T*m)
COMB2	projeto	1	1,00	6,79	0,58	0,00	-0,16	0,00

γ_f - fator de carga

2.5 Resultados do cálculo:

Fatores de segurança $R_d/E_d = 1,01 > 1.0$

2.5.1 Análise ELU/ALS

Combinação do projeto: COMB2 (C)

Tipo de combinação: ULS

Forças internas:

$$N_{sd} = 6,79 \text{ (tf)} \quad M_{sdy} = 0,22 \text{ (T*m)} \quad M_{sdz} = 0,05 \text{ (T*m)}$$

Forças do projeto:

Seção transversal no meio da coluna

$$N = 6,79 \text{ (tf)} \quad N^*_{etotz} = 0,24 \text{ (T*m)} \quad N^*_{etoty} = 1,04 \text{ (T*m)}$$

Excentricidade:

	e0:	ez (My/N)	ey (Mz/N)
Inicial		3,2 (cm)	0,8 (cm)
Imperfeição	ei:	0,0 (cm)	0,9 (cm)
1ª ordem (e0 + ei)	e0Ed:	3,2 (cm)	1,6 (cm)
Mínima	eEdmin:	2,0 (cm)	2,0 (cm)
Total	eEd:	3,5 (cm)	15,3 (cm)

2.5.1.1. Análise detalhada-Direção Y:

2.5.1.1.1 Análise de esbeltez

Estrutura indeslocável

L (m)	Lo (m)	λ	λ_{lim}	
3,40	3,40	39,26	33,78	Coluna esbelta

2.5.1.1.2 Análise de flambagem

$$M_A = 0,58 \text{ (T*m)} \quad M_B = 0,00 \text{ (T*m)} \quad M_C = 0,22 \text{ (T*m)}$$

Caso: Seção transversal no meio da coluna, Esbeltez levada em consideração

$$M_0 = 0,22 \text{ (T*m)}$$

$$e_a = 0,0 \text{ (cm)}$$

Método baseado na rigidez nominal

$$\left[1 + \frac{\beta}{\left(\frac{N_B}{N} \right) - 1} \right] = 1,11$$

$$\beta = 1,00$$

$$N_b = (\pi^2 * EJ) / l_0^2 = 66,50 \text{ (tf)}$$

$$EJ = K_c * E_{cd} * J_c + K_s * E_s * J_s = 77,89 \text{ (tf*m}^2\text{)}$$

$$\varphi_{ef} = 3,12$$

$$J_c = 33750,0 \text{ (cm}^4\text{)}$$

$$J_s = 357,7 \text{ (cm}^4\text{)}$$

$$K_c = 0,01 \text{ ()}$$

$$K_s = 1,00 \text{ ()}$$

$$M_{Edmin} = 0,14 \text{ (T*m)}$$

$$M_{Ed} = \max \left\{ M_{Edmin}; \left[1 + \frac{\beta}{\left(\frac{N_B}{N} \right) - 1} \right] M_{0Ed} \right\} = 0,24 \text{ (T*m)}$$

2.5.1.2. Análise detalhada-Direção Z:

2.5.1.2.1 Análise de esbeltez

Estrutura indeslocável

L (m)	Lo (m)	λ	λ_{lim}	
3,40	3,40	78,52	33,78	Coluna esbelta

2.5.1.2.2 Análise de flambagem

$$M_A = -0,16 \text{ (T*m)} \quad M_B = 0,00 \text{ (T*m)} \quad M_C = 0,05 \text{ (T*m)}$$

Caso: Seção transversal no meio da coluna, Esbeltez levada em consideração

$$M_0 = 0,05 \text{ (T*m)}$$

$$e_a = \theta_1 * l_0 / 2 = 0,9 \text{ (cm)}$$

$$\theta_1 = \theta_0 * \alpha_h * \alpha_m = 0,01$$

$$\theta_0 = 0,01$$

$$\alpha_h = 1,00$$

$$\alpha_m = (0,5(1+1/m))^{0,5} = 1,00$$

$$m = 1,00$$

Método baseado na rigidez nominal

$$\left[1 + \frac{\beta}{(N_B / N) - 1} \right] = 9,33$$

$$\beta = 1,00$$

$$N_b = (\pi^2 * EJ) / l_0^2 = 7,61 \text{ (tf)}$$

$$EJ = K_c * E_{cd} * J_c + K_s * E_s * J_s = 8,91 \text{ (tf*m}^2\text{)}$$

$$\phi_{ef} = 3,12$$

$$J_c = 8437,5 \text{ (cm}^4\text{)}$$

$$J_s = 31,6 \text{ (cm}^4\text{)}$$

$$K_c = 0,01 \text{ ()}$$

$$K_s = 1,00 \text{ ()}$$

$$M_{Edmin} = 0,14 \text{ (T*m)}$$

$$M_{Ed} = \max \left\{ M_{Edmin}; \left[1 + \frac{\beta}{(N_B / N) - 1} \right] M_{0Ed} \right\} = 1,04 \text{ (T*m)}$$

2.5.2 Armadura:

Área real (fornecida)

$$A_{sr} = 3,14 \text{ (cm}^2\text{)}$$

Relação:

$$\rho = 0,70 \%$$

2.6 Armadura:

Barras principais (CA-50):

- 4 $\phi 10$ $l = 3,80 \text{ (m)}$

Armadura transversal: (CA-50):

estribos: 24 $\phi 6.3$ $l = 0,62 \text{ (m)}$

3 Levantamento de materiais:

- Volume de concreto = 0,14 (m³)
- Gabarito = 2,70 (m²)
- Aço CA-50
 - Peso total = 13,00 (kG)
 - Densidade = 96,28 (kG/m³)
 - Diâmetro médio = 8,2 (mm)
 - Levantamento de armaduras:

Diâmetro	Comprimento (m)	Peso (kG)	Número (Nº)	Peso total (kG)
6.3	0,62	0,15	24	3,62
10	3,80	2,34	4	9,37

Fonte: Robot Structural Analysis.