



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO DE ENGENHARIAS
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

JOSÉ KLAUDYO GURGEL NOBREGA DE QUEIROZ

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS MODELOS ESTRUTURAIS DE UMA
EDIFICAÇÃO DE PEQUENO PORTE UTILIZANDO CÁLCULOS MANUAIS, O
SOFTWARE TQS E A INTEGRAÇÃO REVIT/ROBOT**

MOSSORÓ

2021

JOSÉ KLAUDYO GURGEL NOBREGA DE QUEIROZ

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS MODELOS ESTRUTURAIS DE UMA
EDIFICAÇÃO DE PEQUENO PORTE UTILIZANDO CÁLCULOS MANUAIS, O
SOFTWARE TQS E A INTEGRAÇÃO REVIT/ROBOT**

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

Orientador: Raimundo Gomes de Amorim Neto
Prof. Dr.

MOSSORÓ

2021

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

d3a de Queiroz, José Klaudyo Gurgel Nóbrega.
ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS MODELOS
ESTRUTURAIS DE UMA EDIFICAÇÃO DE PEQUENO PORTE
UTILIZANDO CÁLCULOS MANUAIS, O SOFTWARE TQS E A
INTEGRAÇÃO REVIT/ROBOT / José Klaudyo Gurgel
Nóbrega de Queiroz. - 2021.
65 f. : il.

Orientador: Raimundo Gomes de Amorim Neto .
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Civil,
2021.

1. Análise estrutural. 2. Robot®. 3. TQS®. 4.
Cálculo manual. I. Neto , Raimundo Gomes de
Amorim , orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Biblioteca Campus Mossoró / Setor de Informação e Referência
Bibliotecária: Keina Cristina Santos Sousa e Silva
CRB: 15/120

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

JOSÉ KLAUDYO GURGEL NOBREGA DE QUEIROZ

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS MODELOS ESTRUTURAIS DE UMA
EDIFICAÇÃO DE PEQUENO PORTE UTILIZANDO CÁLCULOS MANUAIS, O
SOFTWARE TQS E A INTEGRAÇÃO REVIT/ROBOT**

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

Defendida em: 19 / 11 / 2021.

BANCA EXAMINADORA

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

Eric Mateus Fernandes Bezerra, Prof. Me. (UFCG)
Membro Examinador

Francisco Rosendo Sobrinho, Prof. Me. (UNICHRISTUS)
Membro Examinador

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus, por permitir que eu tivesse toda força, saúde e capacidade para alcançar meus objetivos em todos esses anos de estudo, além de sempre colocar pessoas maravilhosas que me ajudaram em toda essa trajetória.

Agradeço aos meus pais, Aila e Almeida, ao meu irmão, Klauber, os quais sempre estiveram ao meu lado em toda essa jornada. Sempre me apoiando nos momentos mais difíceis e que mais precisei.

Agradeço ao meu orientador, Raimundo Amorim, com o qual sempre pude contar, e sempre se apresentou muito solícito, além de sempre expor a crença no meu potencial. Foi muito importante não só na construção do trabalho, mas também de forma pessoal, sempre me passando calma. E também posso dizer que o Professo Raimundo Amorim, foi de grande importância para a construção desse profissional.

Agradeço a Banca Examinadora, tanto Eric, um professor brilhante que tenho bastante admiração e veio para contribuir ainda mais com o trabalho. Quanto a Rosendo, um grande professor, com um belo futuro pela frente, que também veio para somar e tem grande influência na formação desse profissional.

Agradeço aos meus Amigos, que sempre estiveram ao meu lado, pelo apoio e amizade demonstrados durante toda essa jornada.

Agradeço a todos os professores, pelos conselhos e ensinamentos que fizeram com que eu me tornasse um profissional cada vez melhor.

RESUMO

Com o avanço da tecnologia, a engenharia civil vem sendo cada vez mais cobrada também, necessitando apresentar resultados mais rápidos e mais eficientes, devido a esse fato, vem aparecendo softwares para facilitar a vida dos engenheiros. Hoje no Brasil os principais programas utilizados são os da Autodesk®, que para análise estrutural tem o Robot Structural Analysis®, um programa que tem como maior deficiência não apresentar a norma brasileira em suas configurações iniciais, diferente do software brasileiro TQS®, que também é voltado para projetos estruturais, e já apresenta em suas configurações iniciais os materiais comumente utilizados no Brasil e compatibilidade com a norma. Mesmo com todo esse avanço tecnológico e abrangência de plataformas para cálculo estrutural, muitos engenheiros ainda utilização a forma manual, até mesmo pela alta complexibilidade do manuseio dos programas, pois mesmo utilizando as plataformas o engenheiro deve ter total conhecimento sobre as normas. Tendo em vista a ascensão de métodos computacionais, o trabalho tem como objetivo principal estudar a diferença entre as análises feitas pelo TQS®, Robot® e pelo método manual, analisando os momentos fletores obtidos. Todos os processos foram realizados com base em uma mesma arquitetura. Para a execução do processo manual foram seguidos os passos conhecidos da literatura, já na execução com uso de softwares, foram feitas modelagens e análises. Os resultados obtidos foram resumidos em tabelas comparativas entre os momentos encontrados, tendo como principal observação a diferença de consideração de rigidez nas ligações dos elementos estruturais. Analisando todos os procedimentos e os resultados, é possível chegar à conclusão que a maior interação geral dos elementos estruturais, tende a representa melhor a estrutura real.

Palavras-chave: Análise estrutural. Robot®. TQS®. Cálculo manual.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1– Áreas de influência do pilar	13
Figura 2 – Representação do modelo de viga continua melhorada	17
Figura 3 – Aproximação em apoios extremos	18
Figura 4 - Situação de vinculação das placas isoladas	19
Figura 5 – Modelo de Pórtico Espacial	20
Figura 6 - Planta de cobertura	23
Figura 7 - Plantas arquitetônicas	24
Figura 8 – Conversão de DWG-ACAD para DWG-TQS	31
Figura 9 – Tela para a adição das informações do novo edifício	32
Figura 10 – Tela para a adição das informações do novo edifício	33
Figura 11 – Planta base já inserida	33
Figura 12 – Pagina para a inserção dos dados do pilar.....	34
Figura 13 – Dados da viga.....	35
Figura 14 – Pagina para inserir os dados da laje	35
Figura 15 – Definições das cargas sobre a laje.....	36
Figura 16 – Processamento do pórtico espacial pelo TQS®	37
Figura 17 – Pagina para as configurações iniciais do Robot®	38
Figura 18 – Níveis adicionados no Revit	38
Figura 19 – Pilar editado com as medidas de 14x26 cm	39
Figura 20 – 3D após o lançamento das vigas e dos pilares no Revit.....	40
Figura 21 - Processo de lançamento das lajes	40
Figura 22 - 3D após o lançamento de todas as estruturas.....	41
Figura 23 – Verificação de inconsistências no modelo analítico	42
Figura 24 – Pagina para a definição das cargas.....	42
Figura 25 - Painel de combinação de cargas	43
Figura 26 – Análise e edição em nova janela	43
Figura 27 – Momentos obtidos para lajes via ROBOT®	44
Figura 28 – Reações das vigas 4 e 6 respectivamente.....	46
Figura 29 - Forças aplicadas na viga 9	47
Figura 30 - Momentos obtidos para a viga 9	47
Figura 31 - Representação da contra flecha.....	53
Figura 32 - Intersecção entre pilares e vigas onde o concreto é contabilizado mais de uma vez para o cálculo do peso próprio da estrutura no RSA	54
Figura 33 - Comparação entre a aplicação de cargas de alvenaria no TQS e no RSA, respectivamente.	54
Figura 34 - Diferença ao utilizar trechos rígidos.....	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classe de agressividade ambiental (CAA)	8
Tabela 2 – Qualidade do concreto	9
Tabela 3 – Valores de cobrimento nominal de acordo com a classe de agressividade ambiental.	10
Tabela 4 – Coeficiente adicional para lajes em balanço.....	11
Tabela 5 – Valores do coeficiente adicional γ_n de acordo com a menor dimensão do pilar ...	13
Tabela 6 - Coeficientes de ponderação.....	15
Tabela 7 - Fatores de redução de cargas.....	16
Tabela 8 – Combinações de cargas.....	16
Tabela 9 – Pré-dimensionamento das lajes do 2º Pavimento.....	26
Tabela 10 – Pré-dimensionamento das lajes da cobertura.....	27
Tabela 11 – Trama externa 2º pavimento.....	27
Tabela 12 – Trama interna 2º pavimento	28
Tabela 13 – Dimensões dos pilares	29
Tabela 14 – Cargas de ocupação utilizadas	30
Tabela 15 – Momentos das lajes	44
Tabela 16 – Reação das lajes nas vigas	45
Tabela 17 – Tabela de cargas das Vigas 4 e 6	45
Tabela 18 - Cargas nas vigas 8, 9 e 10	46
Tabela 19 – Momentos obtidos em X.....	48
Tabela 20 - Comparativo dos momentos obtidos em X	48
Tabela 21 – Momentos obtidos em Y.....	49
Tabela 22 - Comparativo dos momentos obtidos em Y	49
Tabela 23 - Momentos positivos obtidos.....	50
Tabela 24 - Momentos negativos obtidos.....	50
Tabela 25- Cálculo da armadura longitudinal da viga 8 com momentos advindos do TQS	55
Tabela 26- Cálculo da armadura longitudinal da viga 8 com momentos advindos do Robot..	56
Tabela 27- Cálculo da armadura longitudinal da viga 8 com momentos do cálculo manual...	56
Tabela 28- Cálculo da armadura longitudinal da viga 9 com momentos advindos do TQS	56
Tabela 29- Cálculo da armadura longitudinal da viga 9 com momentos advindos do Robot..	57
Tabela 30- Cálculo da armadura longitudinal da viga 9 com momentos do cálculo manual...	57
Tabela 31 - Resumo da área de aço efetiva	58
Tabela 32 - Resumo da área de aço calculada	58

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Momentos da viga 8	51
Gráfico 1 – Momentos da viga 9	52

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

RSA	Robot Structural Analysis®
BIM	Building Information Modeling
ROI	Retorno Sobre o Investimento

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	3
2.1 OBJETIVO GERAL	3
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
3 REFERENCIAL TEÓRICO	4
3.1 BUILDING INFORMATION MODELING (BIM).....	4
3.1.1 Softwares BIM na construção civil	5
3.1.2 Parametrização	5
3.1.3 Revit®	6
3.1.4 Robot®	6
3.2 TQS®	7
3.3 CRITÉRIOS DE PROJETO	8
3.3.1 Classe de agressividade	8
3.3.2 Qualidade do concreto	9
3.3.3 Cobrimento e diâmetro do agregado	9
3.4 PRÉ-DIMENSIONAMENTO	10
3.4.1 Lajes.....	10
3.4.2 Vigas	12
3.4.3 Pilares	12
3.5 CONCEPÇÃO ESTRUTURAL	14
3.6 ESTADOS LIMITES.....	15
3.7 MODELOS ESTRUTURAIS	17
3.7.1 Viga contínua melhorada	17
3.7.2 Pórtico espacial.....	20
3.8 DIMENSIONAMENTO DA ARMADURA LONGITUDINAL.....	21
4 METODOLOGIA.....	22
4.1 OBJETO.....	22
4.2 LOCAÇÃO DOS COMPONENTES DO SISTEMA ESTRUTURAL.....	24
4.3 CRITÉRIOS DE PROJETO	25
4.4 PRÉ-DIMENSIONAMENTO	26
4.4.1 Pré-dimensionamento das lajes.....	26

4.4.2 Pré-dimensionamento das Vigas.....	27
4.4.3 Pré-dimensionamento dos Pilares.....	28
4.5 CARGAS UTILIZADAS	29
4.6 TQS®	31
4.6.1 Conversão de DWG-ACAD para DWG-TQS	31
4.6.2 Criação de um novo edifício	32
4.6.3 Criação dos pavimentos	32
4.6.4 Importação da planta para dentro do novo edifício	33
4.6.5 Lançamento dos pilares	34
4.6.6 Lançamento das vigas	34
4.6.7 Lançamento das lajes	35
4.6.8 Forças provenientes da alvenaria sobre a laje.....	36
4.6.9 Processamento global.....	36
4.7 INTEGRAÇÃO REVIT/ROBOT®	37
4.7.1 Configurações iniciais do Robot®	37
4.7.2 Configurações iniciais do Revit®	38
4.7.3 Lançamento dos pilares	39
4.7.4 Lançamento das vigas	39
4.7.5 Lançamento das lajes	40
4.7.6 Lançamento das fundações.....	41
4.7.8 Envio do modelo para o Robot®	41
4.7.7 Cargas.....	42
4.7.8 Combinação das cargas	43
4.7.9 Análises.....	43
4.8 MÉTODO MANUAL	44
4.8.1 Determinação dos momentos nas lajes e reações nas vigas	44
4.8.2 Análise das vigas v4 e v6	45
4.8.3 Análise das vigas v8, v9 e v10	46
5 RESULTADO E DISCUSSÕES.....	48
5.1 ANÁLISE DOS MOMENTOS NAS LAJES	48
5.2 ANÁLISE DOS MOMENTOS NAS VIGAS	49
5.3 COMPARAÇÃO DA ÁREA DE AÇO.....	55
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	59

6.1 CONCLUSÃO	59
6.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	60
REFERÊNCIAS	61
APÊNDICE A – Locação dos elementos estruturais no 1º andar.....	64
APÊNDICE B – Locação dos elementos estruturais na cobertura	65

1. INTRODUÇÃO

O projeto estrutural tem como finalidade garantir a segurança e a estabilidade geral da construção, sendo assim uma das etapas iniciais e fundamentais para uma edificação. Esse tipo de projeto devido a sua complexibilidade é dividido em várias etapas, como concepção estrutural, pré-dimensionamento, esforços solicitantes, análise estrutural, dimensionamento das áreas de aço, verificações, detalhamento e geração das pranchas. Cada vez mais o profissional da engenharia civil vem tendo que executar e elaborar projetos com maior velocidade e eficiência, tendo em vista essa necessidade da construção civil e com o avanço das tecnologias, várias empresas começaram a desenvolver e comercializar softwares, voltados a cálculo estrutural. E hoje no mercado brasileiro já se encontra plataformas que fazem todo o processo após a identificação das cargas atuantes.

Os softwares hoje mais utilizados para projeto estrutural são os com modelagem de informação da construção, mais conhecidos como BIM - Building Information Modelling, pois esse tipo de modelo conserva as informações técnicas e geométricas dos materiais utilizados, facilitando assim a comunicação entre o projeto estrutural e os demais projetos. Além da pressão do mercado para a evolução tecnológica na construção civil, o Governo Federal vem incentivando o avanço do BIM, tendo em vista o Decreto nº 9.983, 2019, o qual institui Estratégia Nacional de Disseminação do Building Information Modelling no Brasil - Estratégia BIM BR, que tem como objetivo difundir o BIM, aumentar os investimentos nessa tecnologia e fazer com que o setor público adote essa ferramenta. Esse último objetivo do decreto já começou a ser realizado com a nova Lei de licitações e contratos administrativos (LEI nº 14.133/2021), a qual pede o uso preferencial da modelagem de informação da construção, em licitações de engenharia e arquitetura.

Com os estímulos citados e a necessidade do mercado, cada vez mais os softwares que utilizam a parametrização e são colaborativos com outras plataformas, veem se solidificando na área de estruturas. Contudo, é necessário que o projetista tenha entendimento sobre cálculo estrutural, a norma vigente e sobre os métodos e considerações do programa utilizado, assim como é necessário que o software forneça as informações necessárias para o usuário possa analisar os resultados e até mesmo minimizá-los, principalmente na fase de detalhamento da armadura.

Portanto, sabendo que o projeto estrutural é composto por várias etapas, e essas possuem entendimentos distintos para cada projetista, é de suma importância que o engenheiro possua o

entendimento do programa. Uma das etapas mais importantes do projeto estrutural é o modelo estrutural que será utilizado para analisar a edificação, tendo em vista que a partir dele será retirado os momentos que por consequência iram decidir as dimensões e a quantidade de aço que será necessário na construção. Com o avanço tecnológico os softwares hoje apresentam modelos estruturais bastante completos, que analisam a estrutura de forma tridimensional e monoliticamente, realizando cálculos que são praticamente inimagináveis de serem realizados manualmente, devido a sua complexidade e extensão, contudo esses novos modelos tendem a serem mais eficientes na análise total da estrutura.

Com isso, é notável a necessidade para a engenharia civil, do entendimento dos métodos de análise estrutural realizados pelos softwares comercializados no Brasil, e qual a diferença em relação ao método manual. Essa ideia abrange o entendimento do modelo de análise comumente utilizando em cálculos manuais, e o utilizado em softwares como o Robot® e o TQS®, analisando assim os resultados obtidos.

Com tudo, o trabalho apresenta o processo de análise e verificação dos resultados nos softwares Robot® e TQS®, bem como suas diferenças. A análise dessas informações tende a permitir que os atuais e futuros profissionais da engenharia civil, que queriam seguir para a área de projeto estrutural, possuam um entendimento mais aprofundado dos métodos de análises utilizados e suas deficiências fazendo com que a engenharia se torne cada vez mais econômica e rápida, sem deixar a segurança e qualidade de lado.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Estudar os modelos de análise estrutural utilizando três abordagens, uma de forma manual e duas por meio de softwares.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Representação das principais formas de análise estrutural;
- Apresentação das abordagens utilizadas;
- Apresentação dos processos utilizados nos métodos de análise estrutural estudados;
- Analisar o desempenho dos métodos em uma estrutura de concreto armado, para uma casa de pequeno porte;
- Comparar os resultados entre os métodos de análise e suas diferenças.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 BUILDING INFORMATION MODELING (BIM)

BIM é a abreviação em inglês para modelagem de informação da construção, sendo essa sua principal definição, adentrando mais no processo BIM entende-se como as ferramentas e conceitos de modelagem estão atrelados, pois a modelagem realizada no BIM, é muito mais que um modelo 3D, é uma forma de coordenar informações por meio de um banco de dados que pode acompanhar todo o ciclo de vida da edificação e até antever alguns problemas (SANTA CATARINA, 2015). Os bancos de dados utilizados para coordenar o modelo, facilita a realização de qualquer tipo de alteração, tendo em vista que qualquer modificação ou aperfeiçoamento feito no trabalho é processado automaticamente, trazendo assim ganhos na qualidade final do produto e até no seu custo. Em suma, a utilização do BIM, acaba por gerar maior produtividade, devido ao menor número de incompatibilidades, já que os projetos são totalmente integrados, o que facilita a comunicação entre os profissionais (LAUBMEYER, 2009).

Uma das ferramentas mais importantes para o BIM é o IFC (Industry Foundation Classes), pois a mesma permite a troca de informações entre modelos de diferentes softwares, essa ferramenta vem sendo desenvolvida desde 1997 e segundo Eastman *et al.* (2014) tem como objetivo permitir a troca de informações entre diferentes programas, por meio de um conjunto de dados que representem um determinado modelo.

Devido a todas as vantagens advindas do BIM, essa tecnologia vem entrando cada vez mais forte no mercado brasileiro, porém, segundo Breder et al (2016), uma das maiores barreiras pra o crescimento dessa tecnologia é a não realização do cálculo do ROI o qual indica o retorno sobre o investimento, tendo em vista que os softwares BIM possuem um alto custo de aquisição e ainda é necessário a especialização para a utilização dos mesmos, tendo em vista esse problema uma das maiores fornecedoras dessa tecnologia a empresa Autodesk realizou um estudo intitulado alcançar o ROI estratégico: medindo o valor de BIM, e percebeu que a perspectiva com o essa nova tecnologia vem mudando. Assim como o mercado o Governo federal, também, vem incentivando a tecnologia BIM através do Decreto nº 9.983, 2019, no qual institui a criação do comitê gestor de estratégia BIM BR, que tem o intuito de disseminar o BIM em todo o Brasil, aumentando o investimento e a utilização desse tipo de plataforma. Esse ano acabou se ser sancionada a nova lei de licitações e contratos administrativos (LEI nº

14.133/2021), a qual pede o uso preferencial da modelagem de informação da construção, tendo assim um impacto bastante positivo no avanço dessa tecnologia no Brasil.

3.1.1 Softwares BIM na construção civil

Segundo Campestrine et al (2015), a construção civil tende a ficar cada vez mais eficiente com a utilização do BIM, pois o mesmo melhora a qualidade e o fluxo de informações, melhorando assim as tomadas de decisões, tendo em vista que essa tecnologia tenta resolver o projeto já em sua fase de detalhamento, antecipando as informações para garantir uma maior agilidade e precisão nas decisões. Campestrine et al (2015), também complementa afirmando que o BIM melhora a qualidade de informação dentro da construtora, reduzindo assim o estresse de informações imprecisas, como a ausência de material. E um dos principais ganhos com essa tecnologia é na hora do orçamento, tendo em vista que o modelo foi feito por meio de componentes BIM, facilmente é possível saber a quantidade necessária de cada material para a dada obra.

O primeiro software com o conceito BIM foi o ArchiCAD feito pela companhia húngara Graphisoft, porém, logo em seguida começaram a surgir outros, como o AECOsim da Bentley, os módulos para arquitetura da Autodesk, o Vectorworks e o SketchUp (SANTA CATARINA, 2015). A Autodesk acabou por evoluir cada vez mais e criou o Revit que é um dos principais softwares em BIM do mercado voltado para arquitetura e orçamento, já no mercado de programas para análise estrutural a Autodesk desenvolveu o Robot[®], que no mercado brasileiro tem como principais concorrentes o Eberick[®], TQS[®] e Cypecad[®].

3.1.2 Parametrização

A parametrização é uma metodologia de grande valia para o BIM, pois a mesma proporciona a definição de um modelo por meio de seu tamanho e geometria, criando uma relação entre todas as suas partes, sendo assim, alterando uma única dimensão, todo o desenho se modificará sendo necessário somente pequenos ajusta, reduzindo assim o tempo necessário para a realização do projetos (PERES et al, 2007).

Os objetos paramétricos comumente utilizados em uma empresa de construção civil ou arquitetura, normalmente ficam armazenados na biblioteca virtual, pois os mesmos podem ser

utilizados em outros projetos, contudo existem projetos com necessidades específicas, por isso além de uma biblioteca nos padrões do escritório, é de valia se ter o conhecimento para a construção de novos objetos parametrizados (NARDELLI, 2013). Pois segundo Junior (2015) para o desenvolvimento de novos elementos parametrizados é necessário o entendimento da organização e dos mecanismos de funcionamento do software, tendo em vista que cada programa tem sua peculiaridade.

3.1.3 Revit®

O Revit® é uma plataforma que suporta projetos, desenhos e tabelas que são necessários para um modelo em BIM. O modelo realizado no software, apresenta vistas em 2D e 3D, assim como tabelas de informação sobre o projeto. Durante a realização do modelo de construção, o Revit® recolhe dados sobre o projeto e os junta com as demais representações (AUTODESK, 2020). O processo de juntar todas as informações é realizado com maestria pelo processo de parametrização do programa. Quando algum objeto do modelo sofre alterações, o Revit® já reflete as mesmas para quaisquer elementos afetados, pois o programa tem como principal característica a capacidade de coordenar as alterações mantendo assim a consistência geral (AUTODESK, 2019).

O Revit® surgiu quando a Autodesk percebeu que softwares que trabalhavam com parametrização estavam crescendo no mercado, e a empresa iria demorar muito para criar programas do nível dos já existentes, então decidiu comprar a Upstart Revit Technology Corporate, que teve sua primeira versão lançada em abril de 2000. O software utiliza a parametrização e as metodologias envolvidas no BIM, para design de projetos de arquitetura e engenharia, contendo um sistema completo que suporta todas as fases do projeto (JUSTI, 2008). Netto (2017) completa dizendo que o Revit Architecture possui toda a solução BIM junto com o Revit Structure e o Revit MEP, e devido possuírem uma fácil interoperabilidade garantem uma solução completa do modelo.

3.1.4 Robot®

O Autodesk Robot® é uma plataforma BIM, que realiza análises e modelagens estruturais em 2D e 3D, auxiliando e acelerando nas etapas dos projetos estruturais em concreto armado, madeira ou metal. O programa é bastante dinâmico, simula os carregamentos de

diversas ações, além de proporcionar várias maneiras claras e objetivas de expor os resultados ao usuário (SANTANA, 2019).

O Robot Structural Analysis[®], garante que o projeto seja estruturalmente correto na fase de projeto, pois durante o processo do projeto, é possível ajustar o mesmo e corrigir quaisquer problemas advindo de cargas aplicadas, assim como após a análise e o a geração do relatório, é possível ajustar os elementos de acordo com as normas vigentes, otimizando a estrutura e garantindo a segurança (AUTODESK 2021).

O software da Autodesk[®] para análise estrutural, não é muito forte no mercado brasileiro quando comparado ao Eberick[®] e ao TQS[®], pois o mesmo não apresenta as normatizações brasileiras em suas configurações iniciais.

3.2 TQS[®]

O Software faz cálculo estrutural de concreto protendido, concreto armado, estruturas pré-moldadas e alvenaria estrutural, gerando modelos matemáticos compostos por gralhas e pórticos espaciais, simulando o comportamento geral da estrutura (MEDEIROS, 2016). O programa possui um editor gráfico que importa dados do sistema CAD, facilitando uma melhor definição dos elementos estruturais e da geometria estrutural, a plataforma permite também após o processamento do resultado, a geração das formas, assim como a edição de desenhos e a geração de quantitativos e tabelas de ferro (PIMENTEL, 2014). O programa não executa somente a geração de formas e tabelas, mas sim todas as etapas de um projeto estrutural como: concepção estrutural, análise dos esforços, dimensionamento, detalhamento e por último a geração das pranchas e tabelas. Para que essas etapas possuam uma boa comunicação o programa é dividido em sistemas, com isso a sistemas específicos para cada etapa, com o TQS Formas para concepção estrutural e modelagem, Grelha-TQS e Pórtico-TQS para análise estrutural, e para o dimensionamento, detalhamento e desenho é utilizado o TQS Pilar, TQS Viga, TQS Laje, etc. (TQS INFORMÁTICA, 2019).

O TQS[®] teve sua primeira versão lançada em 1986, onde contava somente com modelos simplificados de vigas continuas, sendo assim utilizado em projetos de edificações que possuíam muitas vigas, pilares e lajes de vãos pequenos. Com o passar do tempo o programa foi ficando mais robusto e ganhando mercado, se tornando um dos principais softwares de projeto estrutural em concreto armado e protendido do Brasil, essa consolidação no mercado se

dá principalmente por dois motivos, o fato da plataforma ser baseada na norma brasileira e o alto nível de detalhamento que é proporcionado ao usuário (SILVA, 2019).

3.3 CRITÉRIOS DE PROJETO

Os critérios de projeto são os primeiros parâmetros a serem analisados pelo projetista, para garantir a segurança e a longevidade da estrutura. Tendo em vista que os critérios tendem a garantir a análise da durabilidade, vida útil, mecanismos de envelhecimento e classificação da classe ambiental que eram previstas na época do projeto.

3.3.1 Classe de agressividade

Segundo Helene (1997), a agressividade do meio depende exclusivamente das ações químicas e físicas, sendo assim são desconsideradas as ações mecânicas, térmicas, hidráulicas, entre outras. Contudo, a classe de agressividade também deve levar em conta o micro e macro clima atuante, assim como as partes críticas da obra. Com base na ABNT NBR 6118 (2014), a classe de agressividade para concreto armado pode ser avaliada de forma simplificada, segunda as condições de exposição da estrutura, como mostrado na Tabela 1.

Tabela 1 – Classe de agressividade ambiental (CAA)

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Frac	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana ^{a, b}	Pequeno
III	Forte	Marinha ^a	Grande
		Industrial ^{a, b}	
IV	Muito forte	Industrial ^{a, c}	Elevado
		Respingos de maré	

^a Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura)

^b Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) em obras em regiões de clima seco, com umidade média relativa do ar menor ou igual a 65 %, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos ou regiões onde raramente chove

^c Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas

Fonte: Adaptado tabela 6.1 da ABNT NBR 6118:2014.

3.3.2 Qualidade do concreto

Segundo a ABNT NBR 6118 (2014), há uma forte relação entre a proporção de água e cimento com relação a resistência à compressão do concreto, por isso para garantir a qualidade do concreto deve-se observar a Tabela 2, a qual indica a máxima relação água/cimento e a classe mínima de resistência do concreto, com base na classe de agressividade do meio e a composição dos elementos estruturais.

Tabela 2 – Qualidade do concreto

Concreto ^a	Tipo ^{b,c}	Classe de agressividade			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	≤ 0,65	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,45
	CP	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,50	≤ 0,45
Classe de concreto	CA	≥ C20	≥ C25	≥ C30	≥ C40
	CP	≥ C25	≥ C30	≥ C35	≥ C40

^a O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 12655.

^b CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado.

^c CP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido

Fonte: Adaptado tabela 7.1 da ABNT NBR 6118:2014.

3.3.3 Cobrimento e diâmetro do agregado

O cobrimento é indispensável para que a estrutura possa resistir as influências ambientais, sendo este uma camada de concreto que se localiza na parte periférica da seção transversal dos elementos em concreto armado, com a finalidade de proteger o aço das ações físicas e químicas do meio (OLIVEIRA, 2014). Devido a sua importância e NBR 6118 (2020) indica um cobrimento nominal que deve ser seguido, visto que o mesmo é o cobrimento mínimo acrescido da tolerância de 10 mm, os valores de cobrimento nominal indicados pela norma estão representados na Tabela 3.

Tabela 3 – Valores de cobrimento nominal de acordo com a classe de agressividade ambiental.

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental			
		I	II	III	IV ^c
		Cobrimento nominal mm			
Concreto armado	Laje ^b	20	25	35	45
	Viga/pilar	25	30	40	50
	Elementos estruturais em contato com o solo ^d	30		40	50
Concreto protendido ^a	Laje	25	30	40	50
	Viga/pilar	30	35	45	55

^a Cobrimento nominal da bainha ou dos fios, cabos e cordoalhas. O cobrimento da armadura passiva deve respeitar os cobrimentos para concreto armado.

^b Para a face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contrapiso, com revestimentos finais secos tipo carpete e madeira, com argamassa de revestimento e acabamento, como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros, as exigências desta Tabela podem ser substituídas pelas de 7.4.7.5, respeitado um cobrimento nominal ≥ 15 mm.

^c Nas superfícies expostas a ambientes agressivos, como reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos, devem ser atendidos os cobrimentos da classe de agressividade IV.

^d No trecho dos pilares em contato com o solo junto aos elementos de fundação, a armadura deve ter cobrimento nominal ≥ 45 mm.

Fonte: Tabela 7.2 da ABNT NBR 6118:2014.

3.4 PRÉ-DIMENSIONAMENTO

3.4.1 Lajes

Para lajes maciças a NBR 6118 (2014), não cita o pré-dimensionamento, mas as dimensões mínimas aceitas. Essas dimensões são citadas no item 13.2.4.1 da norma:

- 7 cm para cobertura não em balanço;
- 8 cm para lajes de piso não em balanço;
- 10 cm para lajes em balanço;
- 10 cm para lajes que suportem veículos de peso total menor ou igual a 30 kN;
- 12 cm para lajes que suportem veículos de peso total maior que 30 kN;
- 15 cm para lajes com protensão apoiadas em vigas, 1/42 para lajes de piso bi apoiadas e 1/50 para lajes de piso contínuas;

- 16 cm para lajes lisas e 14 cm para lajes-cogumelo, fora do capitel

Quando dimensionado lajes em balanço, a norma incide que os esforços devem ser majorados por pelo coeficiente γ_n , como demonstrado na Tabela 4.

Tabela 4 – Coeficiente adicional para lajes em balanço

h cm	≥ 19	18	17	16	15	14	13	12	11	10
γ_n	1	1,05	1,1	1,15	1,2	1,25	1,3	1,35	1,4	1,45

onde

$\gamma_n = 1,95 - 0,05 h$;

h é a altura da laje, expressa em centímetros (cm).

NOTA O coeficiente γ_n deve majorar os esforços solicitantes finais de cálculo nas lajes em balanço, quando de seu dimensionamento

Fonte: Adaptado tabela 13.2.4.1 da ABNT NBR 6118:2014.

A altura da laje para pré-dimensionamento pode ser melhor estimada considerando as condições gerais da mesma. Com isso, é comumente utilizada as equações:

- Laje maciça armada em uma direção:

$$h = d + c + \frac{\emptyset}{2} \quad (\text{equação 1})$$

- Laje maciça armada em duas direções:

$$h = d + c + \emptyset + \frac{\emptyset}{2} \quad (\text{equação 2})$$

Onde, para ambas as equações:

c = cobrimento;

$\emptyset$ = diametro das barras;

d = altura útil da laje;

- A altura útil pode ser dada pela equação:

$$d = \frac{(2,5 - 0,1n)l^*}{100} \quad (\text{equação 3})$$

Onde:

$$l^* \leq \begin{cases} l_x \\ 0,7l_y \end{cases};$$

n = número de bordas engastadas;

l_x = menor vão;

l_y = maior vão.

3.4.2 Vigas

A NBR 6118 (2014) indica que as vigas não podem ter largura inferior a 12 cm, no entanto, esse limite pode ser reduzido a até 10 cm, em casos excepcionais, porém deve-se manter as exigências de norma referentes ao cobrimento, espaçamento e execução da estrutura. Porém, com relação à altura das vigas a norma não cita comprimentos mínimos. Com isso, normalmente a viga tem sua largura dimensionada com referência à largura da parede, para evitar desníveis aparentes, e a altura da mesma no pré-dimensionamento é comumente dada pelas estimativas:

- Tramos internos:

$$h_{est} = \frac{l_0}{12} \quad \text{(equação 4)}$$

- Tramos externos ou vigas bi-apoiadas:

$$h_{est} = \frac{l_0}{10} \quad \text{(equação 5)}$$

- Tramos em balanço:

$$h_{est} = \frac{l_0}{5} \quad \text{(equação 6)}$$

3.4.3 Pilares

Assim como em lajes e vigas a NBR 6118 (2014) indica as dimensões mínimas permitidas para o pilar. O pilar deve possuir dimensão maior que 19 cm, porém, em casos especiais, a norma aceita a dimensão até 14 cm, contudo, nesse caso os esforços devem ser majorados por um coeficiente adicional (γ_n) como mostrado na Tabela 5. Também não são permitidos pilares que apresentem área de seção transversal inferior a 360 cm².

Tabela 5 – Valores do coeficiente adicional γ_n de acordo com a menor dimensão do pilar

b (cm)	≥ 19	18	17	16	15	14
γ_n	1,00	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25

Onde:

$$\gamma_n = 1,95 - 0,05 b;$$

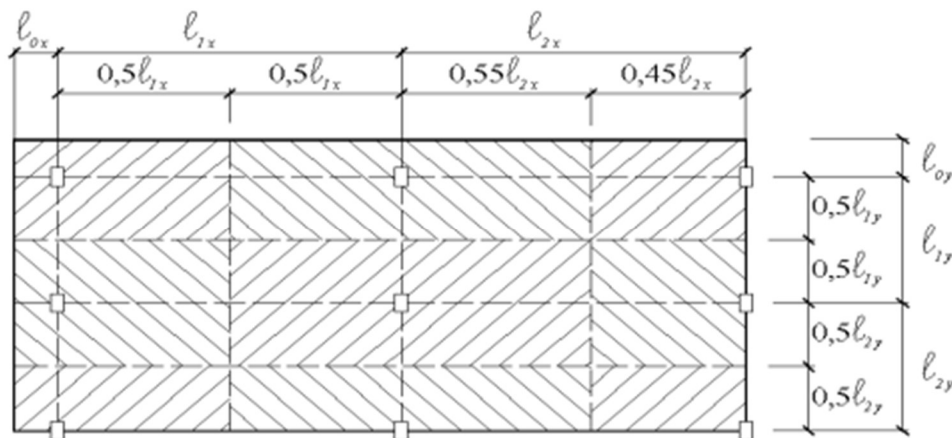
b é a menor dimensão da seção transversal, expressa em centímetros (cm).

NOTA O coeficiente γ_n deve majorar os esforços solicitantes finais de cálculo quando de seu dimensionamento.

Fonte: Adaptado tabela 13.1 da ABNT NBR 6118:2014.

Como a norma não cita métodos de pré-dimensionamento, comumente é utilizado o método que segundo Pinheiro (2007) consiste em estimar a carga do pilar por meio de áreas de influência, onde inicialmente deve-se dividir a área total do pavimento em áreas de influência relativa a cada pilar, que devem ser obtidas dividindo as distancia em intervalos de 0,45l, 0,50l e 0,55l, como indicado na figura 1.

Figura 1– Áreas de influência do pilar



Fonte: Figura 5.3 de Pinheiro (2007)

- 0,45l: pilar de extremidade e de canto, na direção da sua menor dimensão;
- 0,55l: complementos dos vãos do caso anterior;
- 0,50l: pilar de extremidade e de canto, na direção da sua maior dimensão.

Para o pré-dimensionamento também é necessário achar um valor que represente a carga total na laje, que segundo Bastos (2021) para edifícios com fins residenciais e de escritório pode-se considerar 10 kN/m^2 . A área da seção transversal do pilar para edificações de pequeno porte e com o aço CA-50, pode ser calculada pelas equações 7 e 8, porém, em estruturas de grande porte sujeitas a significativas cargas advindas do vento a seção deve ser majorada (BASTOS 2021).

- Pilar intermediário:

$$A_c = \frac{N_d}{0,5f_{ck}+0,4} \quad (\text{equação 7})$$

- Pilar de extremidade e de canto:

$$A_c = \frac{N_d}{0,5f_{ck}+0,4} \quad (\text{equação 8})$$

3.5 CONCEPÇÃO ESTRUTURAL

Segundo Barboza (2008), a concepção estrutural também pode ser chamada de lançamento da estrutura, e é considerada a fase mais importante, pois é quando se define o sistema estrutural, que é a parte que confere sustentação e estabilidade ao edifício, assim como os materiais e as cargas que serão consideradas.

Na concepção estrutural uma das principais preocupações do projetista deve ser a interação com os demais projetos, em especial com o arquitetônico, pois é o projeto que direciona a maior parte das tomadas de decisão, pode-se citar também o cuidado com a localização das vigas nos banheiros, devido as passagens das instalações hidráulicas (ALVA, 2007). A interação entre os projetos é de suma importância pois ela tende a reduzir os custos no momento da execução.

Os softwares comerciais voltados ao mercado de engenharia estrutural, estão cada vez mais evoluindo e disponibilizando novas tecnologias de entradas de dados, sendo possível o lançamento das estruturas dentro da plataforma e sua visualização em 3D, porém, essas plataformas ainda não fazendo o processo de concepção estrutural.

3.6 ESTADOS LIMITES

Os estados limites são totalmente dependentes das ações atuantes, que são aquelas que geram estados de tensão ou deformação em uma dada estrutura. Logo, a ABNT NBR 6118/2014, indica as cargas como permanentes e variáveis.

Os estados limites são divididos em dois, o Estado Limite Último (ELU) e o Estado Limite de Serviço (ELS). O ELU é responsável por garantir a segurança geral da estrutura evitando rupturas indesejadas, por isso é obtido através de cálculos com as cargas majoradas, já o ELS é o responsável por garantir a boa funcionalidade da estrutura, evitando o desconforto do usuário. Para o cálculo dos estados limites são utilizados coeficientes de ponderação que estão descritos nas Tabelas 6 e 7. Com base nos coeficientes das tabelas indicadas as combinações são realizadas com indicado na Tabela 8.

Tabela 6 - Coeficientes de ponderação

Combinações de ações	Ações							
	Permanentes (g)		Variáveis (q)		Protensão (p)		Recalques de apoio e retração	
	Desfavorável	Favorável	Geral	Temperatura	Desfavorável	Favorável	Desfavorável	Favorável
Normais	1,4	1	1,4	1,2	1,2	0,9	1,2	0
Especiais ou de construção	1,3	1	1,2	1	1,2	0,9	1,2	0
Excepcionais	1,2	1	1	0	1,2	0,9	0	0

Fonte: Adaptado tabela 11.1 da ABNT NBR 6118:2014.

Tabela 7 - Fatores de redução de cargas

Ações		γ_{f2}		
		ψ_0	ψ_1	ψ_2
Cargas acidentais de edifícios	Locais em que não há predominância de pesos de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, nem de elevadas concentrações de pessoas	0,5	0,4	0,3
	Locais em que há predominância de pesos de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, ou de elevada concentração de pessoas	0,7	0,6	0,4
	Biblioteca, arquivos, oficinas e garagens	0,8	0,7	0,6
Vento	Pressão dinâmica do vento nas estruturas em geral	0,6	0,3	0
Temperatura	Variações uniformes de temperatura em relação à média anual local	0,6	0,5	0,3

Fonte: Adaptado tabela 11.2 da ABNT NBR 6118:2014.

Tabela 8 – Combinações de cargas

Estado limite		Combinações
Estado limite último		$F_d = \gamma_g \cdot F_{gk} + \gamma_q \cdot (F_{q1k} + \sum \psi_{0j} \cdot F_{qjk})$ $F_d = 1,4 \cdot (F_{gk} + F_{qk})$
Estado limite de serviço	Combinações quase permanentes	$F_{d,ser} = \sum F_{gi,k} + \sum \psi_{2j} \cdot F_{qj,k}$ $F_{d,ser} = F_{gk} + 0,3 \cdot F_{qk}$
	Combinações frequentes	$F_{d,ser} = \sum F_{gi,k} + \psi_1 \cdot F_{q1,k} + \sum \psi_{2j} \cdot F_{qj,k}$ $F_{d,ser} = F_{gk} + 0,4 \cdot F_{qk}$
	Combinações raras	$F_{d,ser} = \sum F_{gi,k} + F_{q1,k} + \sum \psi_{1j} \cdot F_{qj,k}$ $F_{d,ser} = F_{gk} + F_{qk}$

Fonte: Adaptado tabela 11.3 e 11.4 da ABNT NBR 6118:2014.

3.7 MODELOS ESTRUTURAIS

3.7.1 Viga continua melhorada

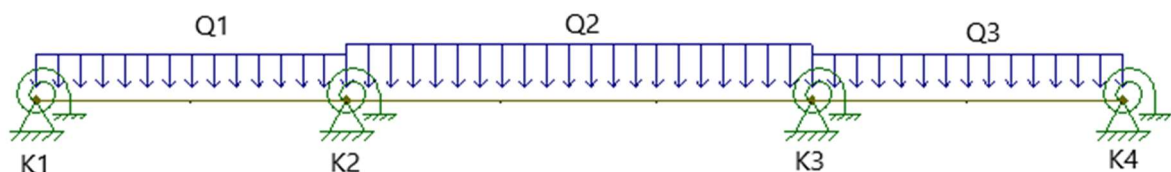
Com base no item 14.6.6.1 da ABNT NBR 6118:2014, o modelo de viga continua clássica, pode ser utilizada em estudo de cargas verticais, quando obedecidas as seguintes premissas:

- Se houver momentos positivos menores que os obtidos com engastamento perfeito, os mesmos não poderão ser considerados;
- Em casos que a viga for solidaria com o pilar intermediário, e a largura do apoio na direção da viga, for maior que a quarta parte do pilar, os momentos negativos não podem possuir valor inferior ao de um engastamento perfeito no mesmo apoio;
- Em casos que não forem consideradas as reais influencias da solidariedade dos pilares com a viga, os apoios externos devem ter o momento fletor igual ao momento gerado pelo engastamento perfeito multiplicados pelos coeficientes descritos no item 14.6.6.1 da ABNT NBR 6118:2014.

A ABNT NBR 6118:2014, apresenta alternativa para melhorar o modelo de viga contínua, através da consideração da solidariedade entre os pilares e as vigas, pois o método consiste em adicionar a rigidez dos pilares.

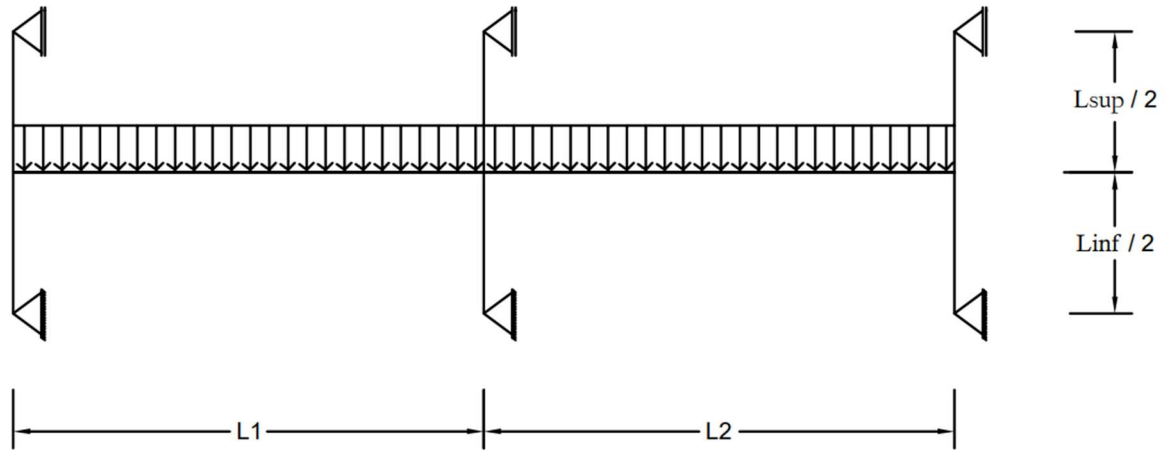
No método melhorado, a rigidez à flexão dos pilares internos e externos é feita por meio da adição de um apoio elástico como demonstrado na figura 2, o qual o coeficiente da mola é dado pela equação 9. Essa mola é adicionada pois o modelo tem como base que o ponto de inflexão do pilar será no meio, logo, é considerado um apoio de primeiro gênero no local. Com isso cada pilar contínuo é engastado na viga e possui apoios simples em seu ponto médio como representado na figura 3.

Figura 2 – Representação do modelo de viga continua melhorada



Fonte: Autoria Própria (2021).

Figura 3 – Aproximação em apoios extremos



Fonte: Autoria Própria (2021).

$$K_i = E_{cs} \left(\frac{6I_{i,sup}}{l_{i,sup}} + \frac{6I_{i,inf}}{l_{i,inf}} \right) \quad (\text{equação 9})$$

Onde:

E_{cs} = módulo de elasticidade secante do concreto;

I = momento de inercia do lance do pilar;

$l_{i,sup}$ = comprimento do lance superior;

$l_{i,inf}$ = comprimento do lance inferior.

3.7.1.1 Reações da laje na viga

O modelo de viga contínua melhorada é um modelo que analisa os elementos estruturais de forma separada, contudo é necessário contabilizar a carga advinda da laje para que a análise esteja conforme os parâmetros de segurança.

Para determinar o valor das cargas advindas da laje, Carvalho (2014) indica a seguinte equação:

$$q = k \cdot p \cdot \frac{l_x}{10} \quad (\text{equação 10})$$

onde:

q – Valor de reação na viga (kN/m);

p – Carregamento determinado pelas combinações (kN/m²);

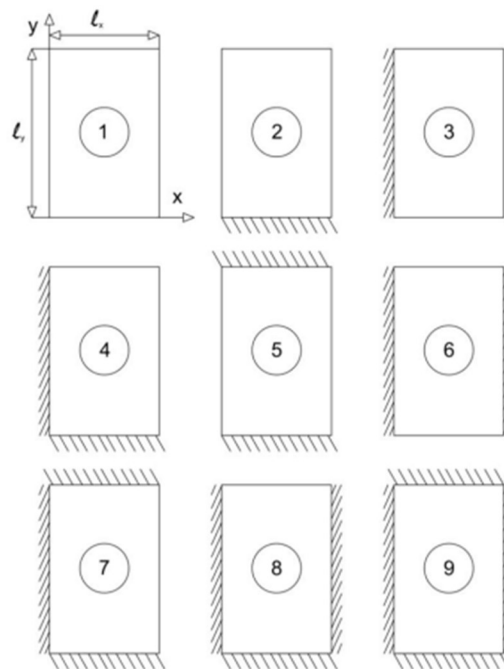
l_x – Comprimento do menor vão (m);

k - Coeficiente dependente da geometria e condição de vinculação para cálculo de reação na viga.

3.7.1.2 Momento nas lajes

Normalmente para calcular o momento nas lajes armada em duas direções é utilizado o método de ruptura para placas, no qual os esforços são calculados por meio da teoria das charneiras plásticas. Que depende da geometria e das condições de vínculo dos elementos, esses tipos de vinculação estão apresentados na figura 4.

Figura 4 - Situação de vinculação das placas isoladas



Fonte: Adaptado da figura 7.5 de Carvalho e Figueiredo (2014).

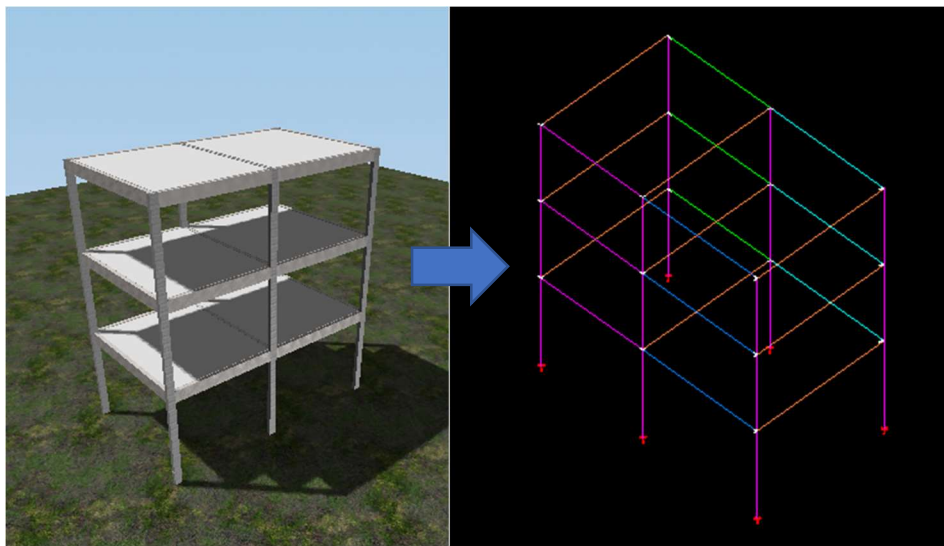
Já tendo identificado o tipo de vinculação e os coeficientes a serem utilizados, o cálculo dos momentos na laje é feito pela seguinte equação:

$$m = \mu \frac{p l_x^2}{100} \quad \text{equação (11)}$$

3.7.2 Pórtico espacial

Esse modelo é comumente utilizado pelos softwares de cálculo estrutural, mas devido sua complexibilidade não é utilizado em cálculos manuais. Por ser um modelo tridimensional o mesmo possibilita uma avaliação mais fiel do comportamento global da estrutura, pois o pórtico espacial contempla quase todos os elementos da estrutura real e faz a análise de forma monolítica, representando com maior exatidão a distribuição de esforços para cada elemento, pois quando aplicada uma carga todos os elementos estruturais se deformam compativelmente de acordo com o equilíbrio total da estrutura. Ademais, o pórtico espacial por ter uma análise tridimensional, cada nó possui seis graus de liberdade, o que aumenta a eficiência do modelo na obtenção dos deslocamentos.

Figura 5 – Modelo de Pórtico Espacial



Fonte: Autoria Própria (2021).

O pórtico espacial, possui 3 formas diferentes de análise:

- A mais simples é a que contempla somente a Anelise das vigas e dos pilares, perante as cargas horizontais e verticais, com isso, esse modo não considera as lajes na análise, por isso com o avanço da tecnologia e dos softwares de análise estrutural esse modelo não é mais tão comumente utilizado.
- Outra forma é a de pórtico espacial com grelha, nesse modelo a análise da laje é contemplada por meio da grelha, e o pórtico espacial analisa as vigas e os pilares. No pórtico espacial com grelha, a laje é calculada de forma independente das vigas e dos pilares, e normalmente a transferência dos esforços da laje para os outros elementos

estruturais é feito por meio das barras das lajes do modelo de grelha. O pórtico espacial com grelha é uma das formas de análise do TQS[®], na plataforma é nomeado como modelo IV.

- O modelo mais utilizado atualmente é o modelo de pórtico espacial composto por lajes, vigas e pilares, onde a análise da laje é feita conjuntamente com os outros elementos, tendo uma transferência de carga mais precisa. Esse modelo pode ser encontrado no Eberick como modelo integrado ou no TQS[®] como modelo VI (somente em versões pagas).

3.8 DIMENSIONAMENTO DA ARMADURA LONGITUDINAL

A ABNT NBR em seu item 19.2 preconiza que para a determinação dos esforços resistentes para o estado limite último dos elementos estruturais devem ser utilizados os princípios descritos nos itens 17.2.1 e 17.2.3 da dada norma. O item 17.2.1 exige que os esforços resistentes sejam maiores que o conjunto dos esforços solicitantes, e o item 17.2.3 alerta para a ductilidade dos elementos devido a linha neutra. Para determinar a armadura longitudinal de elementos sujeitos a flexão é utilizada as seguintes equações:

$$A_s = \frac{M_d}{(d-0,4x) \times f_s} \quad \text{equação (12)}$$

Onde:

M_d - Momento fletor do local;

d - Altura útil do elemento estrutural;

f_s - Valor da resistência do aço no rompimento;

X - Altura da linha neutra, corresponde à distância da borda mais comprimida até o ponto onde as deformações são nulas. É dada por:

$$x = \frac{0,68 \cdot d \pm \sqrt{(0,68d)^2 - 4 \cdot 0,272 \cdot \left(\frac{M_d}{b_w f_{cd}}\right)}}{0,544} \quad \text{equação (13)}$$

Onde:

b_w - Largura da viga;

f_{cd} - Resistência de cálculo do concreto a compressão.

4 METODOLOGIA

O trabalho está inserido da área de pesquisa de engenharia civil. E tem como finalidade entender e identificar as considerações dos métodos estudados, para facilitar o entendimento geral dos resultados, sendo assim uma pesquisa do tipo aplicada, pois segundo Gil (2010) esse tipo de pesquisa visa fazer algo de maneira mais eficiente ou eficaz,

O trabalho observara as diferenças entre as análises e considerações feitas pelos processos manuais, do Robot[®] e do TQS[®], sendo o RSA exclusivo para as análises. Todos os processos irão partir de um mesmo projeto arquitetônico base e uma mesma concepção estrutural. O projeto arquitetônico que serviu como base, é de uma residência unifamiliar, sendo um tipo trivial de construção, contudo pode servir de base para análise de edificações de maior porte.

O processo de análise nomeado com manual, não é executado exclusivamente com o raciocínio humano, pois em alguns processos foi utilizado o auxílio do software Excel e do FTOOL, contudo, esse processo tem ampla influência do usuário, principalmente com relação ao transporte de informações.

O trabalho seguiu por não buscar todos os resultados possíveis. Com isso foram determinados os momentos nas lajes do segundo pavimento para o estado limite último, e os momentos das maiores vigas.

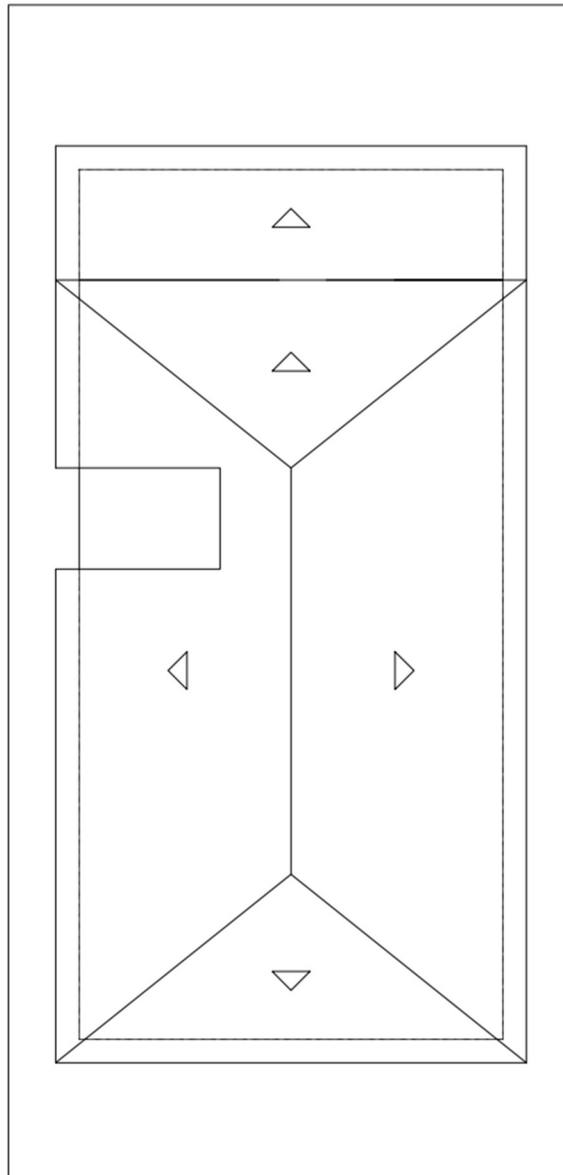
4.1 OBJETO

A estrutura analisada é a de uma casa construída em um terreno de medidas de 12 metros de largura e 25 metros de comprimento, e composto por duas lajes, sendo uma com total acesso pelos moradores e outra de cobertura (tendo acesso somente para manutenção).

O primeiro pavimento é composto por área de estacionamento de 40 m², uma sala com biblioteca 35,41 m², cozinha de 8,41 m², área de serviço 2,71 m², área de lazer de 21,15 m², uma suíte de 20 m² e um lavabo de 1,85 m². Como mostrado na figura 7 a.

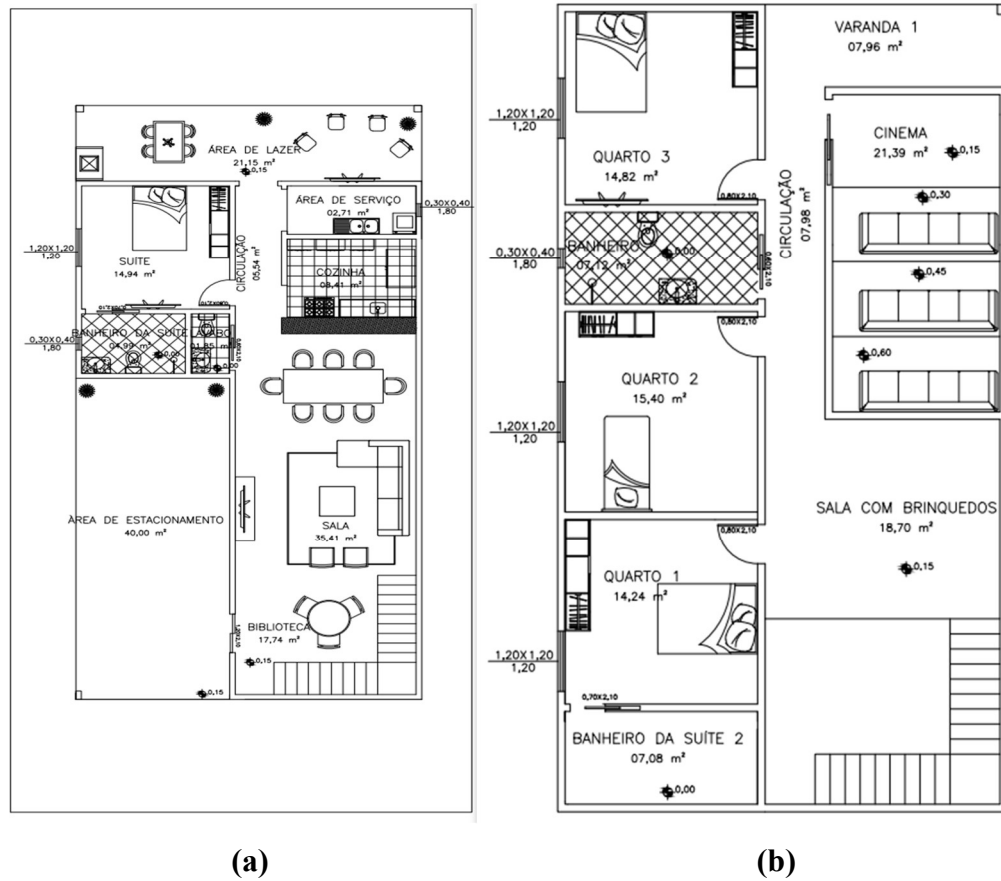
No segundo pavimento há dois quartos, um de 15,40 m² e outro de 14,92 m², uma suíte de 21,32 m², uma sala com brinquedos de 18,70 m², um cinema de 21,39 m² e varanda de 7,96 m². Figura 7 b.

Figura 6 - Planta de cobertura



Fonte: Autoria Própria (2021).

Figura 7 - Plantas arquitetônicas



Fonte: Autoria Própria (2021).

4.2 LOCAÇÃO DOS COMPONENTES DO SISTEMA ESTRUTURAL

Após a análise do posicionamento das paredes, as vigas foram colocadas com a finalidade da carga da parede ser aplicada diretamente na viga como também para que a viga e os pilares que a sustenta pudessem ficar embutidos na parede. A maioria dos pilares foram colocados de forma que seus eixos coincidisse com o cruzamento do pilar, com a finalidade de evitar excentricidades de grande intensidade que podem provocar flexões compostas nos pilares, os mesmos também tiveram sua maior medida voltada para o maior vão, para que ele possa ter uma maior rigidez e diminuir a intensidade da flambagem, também para evitar a flambagem do pilar, foram colocadas vigas na parte do "vazado" no primeiro pavimento para que elas possam amarrar o pilar e evitar esse problema mesmo que nessa parte não tenha laje,

os pilares foram localizados com diferença mínima de 4 m para evitar problemas com fundações, só não foi possível manter essa diferença nos pilares utilizados para a caixa d'água.

No projeto foram utilizadas duas vigas engastadas, com a finalidade de evitar a construção de mais pilares deixando a obra mais econômica, também prezando a economia somente em três cômodos as paredes ficaram apoiadas diretamente na laje, porém, as paredes ocupam uma pequena área, nos demais cômodos as paredes ficaram locadas sobre as vigas.

A posição dos pilares é mantida em todos os pavimentos assim como o vão das vigas e lajes, assim sendo possível ter economia nas formas, continuidade estrutural, fluxo de cargas e maior rapidez de execução. Os pilares foram posicionados de forma alinhada para que juntos com as vigas que os unem, seja formada um pórtico, que enrijece a estrutura em relação a cargas horizontais.

A representação da locação dos pilares e das lajes estão nos apêndices A e B.

4.3 CRITÉRIOS DE PROJETO

Por ser uma residência localizada na cidade de Mossoró-RN, a edificação é classificada como urbana, assim sendo para se determinar a classe de agressividade se utilizou a Tabela 1, deste trabalho, e com auxílio da mesma se identificou que o projeto é classificado como classe de agressividade II.

Já sabendo a classe de agressividade do ambiente onde será construída a casa, e que a mesma será de concreto armado, com base na Tabela 2 desse trabalho identificou-se que para seguir o que preconiza a NBR 6118 (2014), o concreto deve apresentar um F_{ck} mínimo de 25 MPa e a relação água/cimento de no máximo 0,6.

Também com base na classe de agressividade ambiental e no tipo de concreto utilizado, foi verificado na Tabela 3 desse trabalho que as lajes devem possuir o cobrimento de 2,5 cm e as vigas e pilares devem possuir o cobrimento de 3 cm. Ademais foi escolhido o aço CA-50 com diâmetro de 10mm para as barras longitudinais e 5mm para as barras transversais, que apresenta melhor trabalhabilidade, aceita solda comum, possui diagrama tensão-deformação com patamar de escoamento, e resiste a incêndios moderados. Perde resistência, apenas, com temperaturas acima de 1150 °C. (PINHEIRO et. Al, 2010)

4.4 PRÉ-DIMENSIONAMENTO

4.4.1 Pré-dimensionamento das lajes

- **2º Pavimento**

Todas as lajes do segundo pavimento são de duas direções, logo, foram calculadas com as equações 2 e 3, que estão explicitadas no item 3.5.1 desse trabalho. Após os cálculos as alturas finais das lajes foram aproximadas para os valores de 10 e 12 cm para economia de formas. Sendo organizadas de acordo com a Tabela 09:

Tabela 9 – Pré-dimensionamento das lajes do 2º Pavimento

Cobertura				
Lajes	Lx	Ly	Altura mínima da laje (m)	Altura adotada (m)
Laje 1	4,00	4,00	0,07	0,07
Laje 2	4,00	4,85	0,07	0,07
Laje 3	2,00	4,00	0,07	0,10
Laje 4	4,15	4,85	0,07	0,07
Laje 5	4,00	4,15	0,07	0,07
Laje 6	4,00	4,85	0,07	0,07
Laje 7	4,00	5,79	0,07	0,07
Laje 8	3,85	4,85	0,07	0,07

Fonte: Autoria Própria (2021).

- **2º Pavimento**

O mínimo foi utilizado para todas as lajes da cobertura, já que não haverá movimento de pessoas constante, e a carga será bem menor se comparado ao outro pavimento. Exceto a laje da caixa d'água, que tem espessura maior devido à carga elevada que suporta se comparada as outras, sendo adotados 10 cm. Organizadas da seguinte forma de acordo com a Tabela 10:

Tabela 10 – Pré-dimensionamento das lajes da cobertura

2º Pavimento				
Lajes	Lx	Ly	Altura calculada da laje (m)	Altura adotada (m)
Laje 1	4,00	4,00	0,10	0,1
Laje 2	4,00	4,85	0,12	0,12
Laje 3	2,00	4,00	0,08	0,1
Laje 4	4,15	4,85	0,11	0,12
Laje 5	4,00	4,15	0,10	0,1
Laje 6	4,00	4,85	0,11	0,12
Laje 7	4,00	5,79	0,12	0,12

Fonte: Autoria Própria (2021).

4.4.2 Pré-dimensionamento das Vigas

A norma indica que a seção transversal da viga não deve possuir uma largura menor que 12 cm. Nesse projeto foram utilizadas vigas com largura de 14 cm, para manter a largura igual à dos pilares internos e ficar embutida na parede. Com a largura já fixada em 14 cm, foram utilizadas as equações 4 e 5 para encontrar a altura indicada das vigas.

- **2º Pavimento**

Como as vigas 108, 109 e 110 possuem tramas internas e externas, foi feito a verificação para ambas as situações. Os resultados obtidos estão resumidos nas Tabelas 11 e 12.

Tabela 11 – Trama externa 2º pavimento

Trama externa				
Vigas	Vão maior (m)	H (m)	H final (m)	Largura (m)
V101	4,85	0,48	0,45	0,14
V102	4,85	0,48	0,45	0,14
V103	4,00	0,40	0,40	0,14
V104	4,85	0,48	0,45	0,14
V105	4,00	0,40	0,40	0,14
V106	4,85	0,48	0,45	0,14

Tabela 11 – Trama externa 2º pavimento

V107	4,85	0,48	0,45	0,14
V108	5,79	0,58	0,55	0,14
V109	5,79	0,58	0,55	0,14
V110	3,93	0,39	0,40	0,14

Fonte: Autoria Própria (2021).

Tabela 12 – Trama interna 2º pavimento

Trama interna				
Vigas	Vão maior (m)	H (m)	H final (m)	Largura (m)
V108	4,15	0,34	0,55	0,14
V109	4,15	0,34	0,55	0,14
V110	4,15	0,34	0,40	0,14

Fonte: Autoria Própria (2021).

Sabendo que o pré-dimensionamento das vigas tende a gerar vigas mais robustas que o necessário e que se trata de uma casa com cargas simples, a altura final da viga foi o valor inferior ao encontrado no cálculo e imediatamente múltiplo de 0,05, tendo em vista uma maior facilidade para a utilização das formas, a viga 110 distingue dessa decisão ficando com o múltiplo imediatamente superior, para evitar que fossem feitas mais de 3 seções distintas. Sendo assim foram decididas três seções transversais 14x40 cm, 14x45 cm e 14x55 cm.

- **Cobertura**

Os pavimentos são simétricos, com isso as vigas da cobertura iram possuir as mesmas dimensões das vigas do 2º pavimento

4.4.3 Pré-dimensionamento dos Pilares

Inicialmente foi decidido que o pilar em uma de suas medidas deveria ter 14 cm, tendo em vista uma maior facilidade arquitetônica. E para encontrar a outra medida foram utilizadas as equações 7 e 8 do dado trabalho. Para o cálculo escolhido de pré-dimensionamento de pilar é necessário estimar as cargas nos pavimentos, com isso para o 2º pavimento foi atribuído a carga de 10kN/m² e para a cobertura, foi feita uma relação entre a maior altura da laje do primeiro pavimento e a menor altura da laje da cobertura, obtendo assim o carregamento de 7

KN/m² para cobertura, já que sobre a mesma não surtirá o carregamento de cargas acidentais, apenas o peso próprio e a cobertura. As dimensões encontradas estão resumidas na Tabela 13.

Tabela 13 – Dimensões dos pilares

Pilar	Medida 1 (cm)	Área calculada (cm ²)	Área mínima (cm)	Medida 2 calculada (cm)	Medida 2 utilizada (cm)	Área final (cm ²)
1	14	97,36	360	6,95	26	364
2	14	263,29	360	18,81	26	364
3	14	118,05	360	8,43	26	364
4	14	160,36	360	11,45	26	364
5	14	274,95	360	19,64	26	364
6	14	240,53	360	17,18	26	364
7	14	164,01	360	11,72	26	364
8	14	285,14	360	20,37	26	364
9	14	240,53	360	17,18	26	364
10	14	241,95	360	17,28	26	364
11	14	427,65	360	30,55	30	420
12	14	164,84	360	11,77	26	364
13	14	140,93	360	10,07	26	364
14	14	229,44	360	16,39	26	364
15	14	46,76	360	3,34	26	364

Fonte: Autoria Própria (2021).

4.5 CARGAS UTILIZADAS

Tendo em vista que o principal objetivo do trabalho é averiguar a diferença entre os métodos de análise estrutural, as cargas advindas da ocupação, da alvenaria, do revestimento do piso e do teto foram introduzidas manualmente, com a finalidade de evitar diferenças

causadas pelo arredondamento ou por entendimento. Logo, as cargas utilizadas nas lajes foram as descritas na Tabela 14. Vale-se ressaltar que as cargas são referentes a NBR 6120 (2019).

Tabela 14 – Cargas de ocupação utilizadas

2° Pavimento		
Lajes	Ocupação	Carga (kN/m ²)
Laje 1	Dormitório	1,5
Laje 2	Cinema, varanda e corredor	2,34
Laje 3	Banheiro	1,5
Laje 4	Cinema e corredor	2,64
Laje 5	Dormitório	1,5
Laje 6	Salão de jogos	3
Laje 7	Dormitório e varanda	1,83
Cobertura		
Laje 1	Cobertura	1
Laje 2	Cobertura	1
Laje 3	Caixa d'água	1,84
Laje 4	Cobertura	1
Laje 5	Cobertura	1
Laje 6	Cobertura	1
Laje 7	Cobertura	1
Laje 8	Cobertura	1

Fonte: Autoria Própria (2021).

Para a alvenaria foi utilizada a carga de 1,6 kN/m², tendo em vista que a parede utilizada é de bloco cerâmico vazado com revestimento por face de 2 cm, para transformar a carga em linear e contabiliza-la na viga foi multiplicada pela altura de 2,6 m tendo em vista que a menor viga possui 0,40 m e o pé esquerdo da edificação é de 3 m, já para as paredes sobre as lajes foram multiplicadas por 2,8 m. Já o revestimento é composto pelo piso cerâmico com carga de 0,2 kN/m², obtida por meio do fabricante da mesma, a altura utilizada para o contra piso é de 1,5 cm e o peso específico da sua argamassa de cimento e areia foi obtida na norma ABNT NBR 6120 (2019), com valor de 21 kN/m³. A carga do forro de gesso acartonado de acordo com a ABNT NBR 6120 (2019) é de 0,25 kN/m².

4.6 TQS®

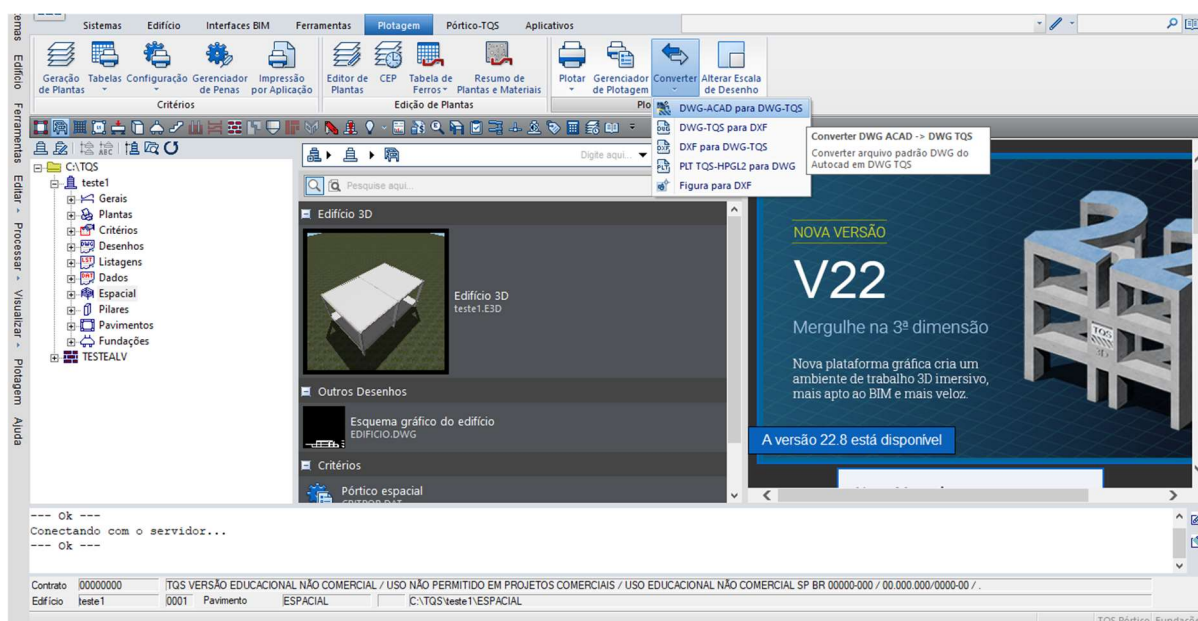
A versão do TQS® utilizada no estudo foi a 22.6 para estudante, logo, o modelo utilizado foi o IV, que consiste em um pórtico espacial com grelha.

O TQS® utiliza como unidade de força o tf, então os valores descritos anteriormente foram divididos por 9,81 e aplicados no programa. Com relação ao procedimento o software segue uma ordem lógica de lançamento primário do pilar, posteriormente a viga e a laje.

4.6.1 Conversão de DWG-ACAD para DWG-TQS

Com a planta em formato CAD, o TQS® não aceita a importação direta, sendo necessário fazer a conversão para o tipo aceito pelo software, para isso é necessário ir em plotagem, posteriormente em converter DWG-ACAD para DWG-TQS, esse processo está demonstrado na figura 8, após esse processo é aberta uma nova aba na qual deve ser procurada a planta para converter ao formato TQS®. Ademais, é importante a planta advinda do AutoCAD já está em centímetros.

Figura 8 – Conversão de DWG-ACAD para DWG-TQS



Fonte: Autoria Própria (2021).

4.6.2 Criação de um novo edifício

Para a criação de um novo edifício, primeiramente é necessário ir na parte direita da tela clicar no nome edifício e posteriormente em novo, com isso é aberta uma tela como a mostrada na figura 9, na qual inicialmente deve ser colocado o nome do edifício, o nome do cliente, o endereço da obra, o número do projeto e qual tipo de estrutura será utilizada, no caso da versão estudante pode ser escolhido concreto armado/protendido ou alvenaria estrutural, para o trabalho foi escolhida a primeira opção. Na primeira aba também pode ser adicionado algum tipo de observação.

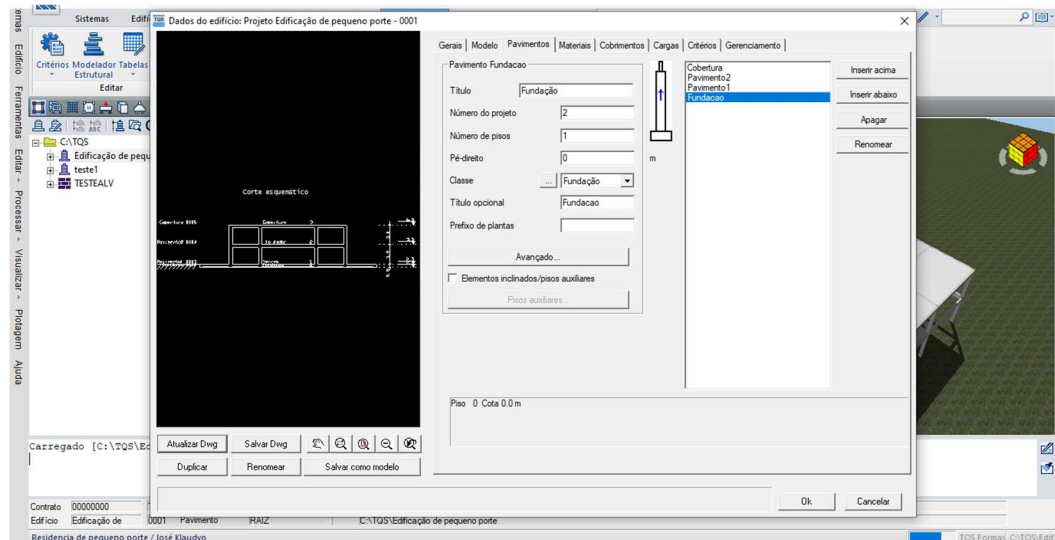
Figura 9 – Tela para a adição das informações do novo edifício

Fonte: Autoria Própria (2021).

4.6.3 Criação dos pavimentos

Após a identificação básica do edifício, o passo seguinte é criar os pavimentos, ainda na tela do novo edifício, aba pavimentos, são adicionados os pisos da edificação com suas respectivas funções e distâncias, como mostrado na figura 10. Vale-se ressaltar que é interessante sempre que adicionar um novo piso ir no botão atualizar DWG, para identificar se ficou como especificado. Também é de suma importância ir para a aba materiais e verificar se estão de acordo com o entendimento do projetista. Ademais é importante salientar que por ser uma casa de pequeno porte a carga de vendo foi zerada.

Figura 10 – Tela para a adição das informações do novo edifício

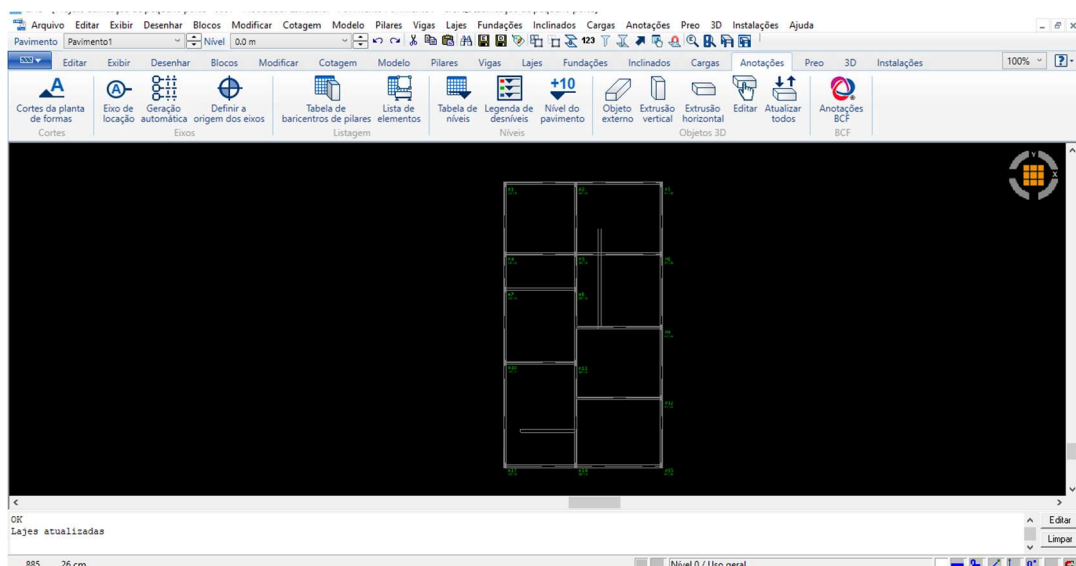


Fonte: Autoria Própria (2021).

4.6.4 Importação da planta para dentro do novo edifício

Para executar a importação da planta para o edifício, inicialmente é necessário ir em Windows Explorer onde o arquivo DWG-ACAD é colocado na pasta gerais do edifício criado. Após o passo citado é possível iniciar a modelagem, para a mesma é necessário ter os pavimentos já criados, para escolher qual deseja começar a montar a estrutura, no caso do trabalho foi o térreo, e após a escolha o piso deve ser selecionado, abrindo assim a página de modelo estrutural, onde deve ser selecionada a aba modelo e posteriormente referência externa, para inserir a planta base. A planta já importada esta mostrada na figura 11.

Figura 11 – Planta base já inserida

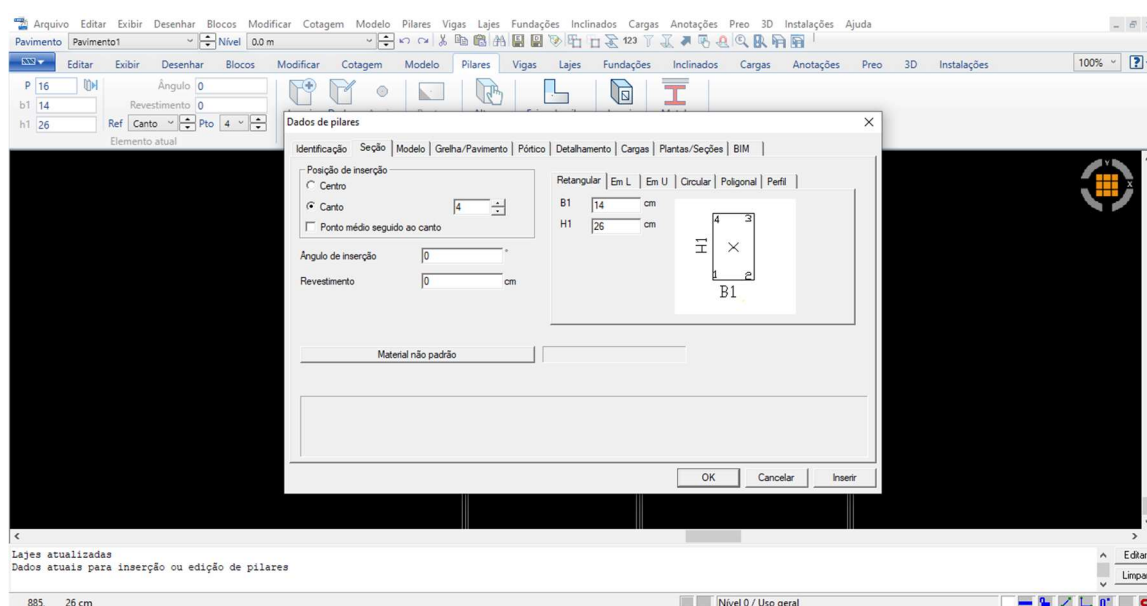


Fonte: Autoria Própria (2021).

4.6.5 Lançamento dos pilares

Já tendo a planta base, o próximo passo é o lançamento dos pilares, para isso é necessário ir na aba pilar e em seguida dados do pilar, onde é definido as dimensões do pilar e como deseja fazer a inserção do mesmo, como mostra a figura 12. Após o procedimento citado as alterações devem ser salvas clicando em OK, e inserido os pilares. Tendo em vista que os pilares são totalmente contínuos, já foram plotados para nascerem na fundação e morrerem na cobertura.

Figura 12 – Pagina para a inserção dos dados do pilar

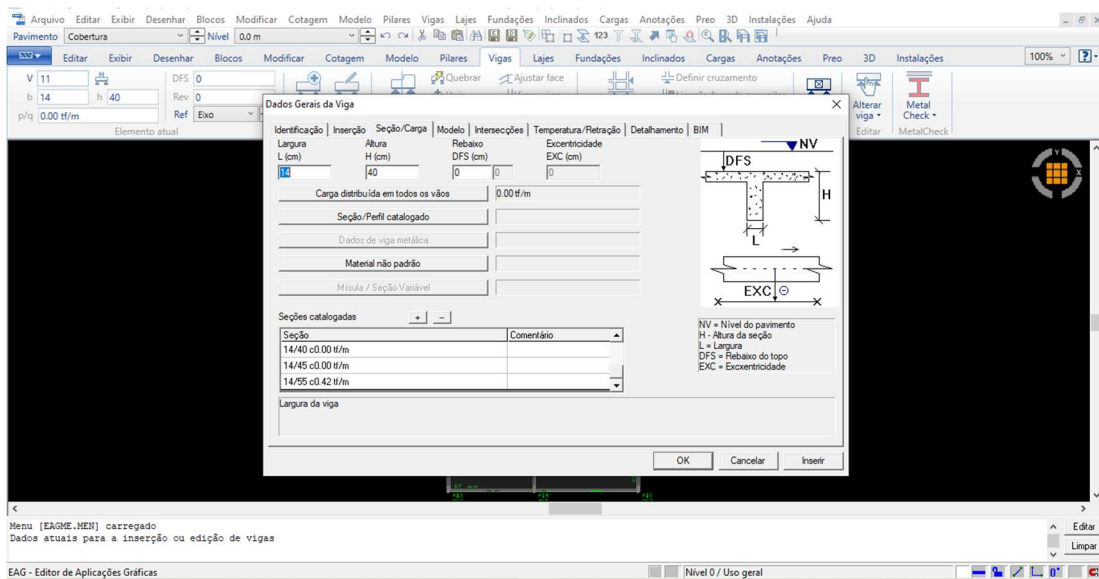


Fonte: Autoria Própria (2021).

4.6.6 Lançamento das vigas

Após o lançamento dos pilares o próximo passo é o lançamento das vigas. Em um processo bastante parecido com o dos pilares, inicialmente é aberta a aba vigas e posteriormente dados atuais, o que abre uma página para inserir as dimensões da viga e as cargas sobre ela, como demonstrado na figura 13. Após definir as dimensões das vigas, as alterações devem ser salvas clicando em OK, e para finalizar o processo é selecionado inserir vigas.

Figura 13 – Dados da viga

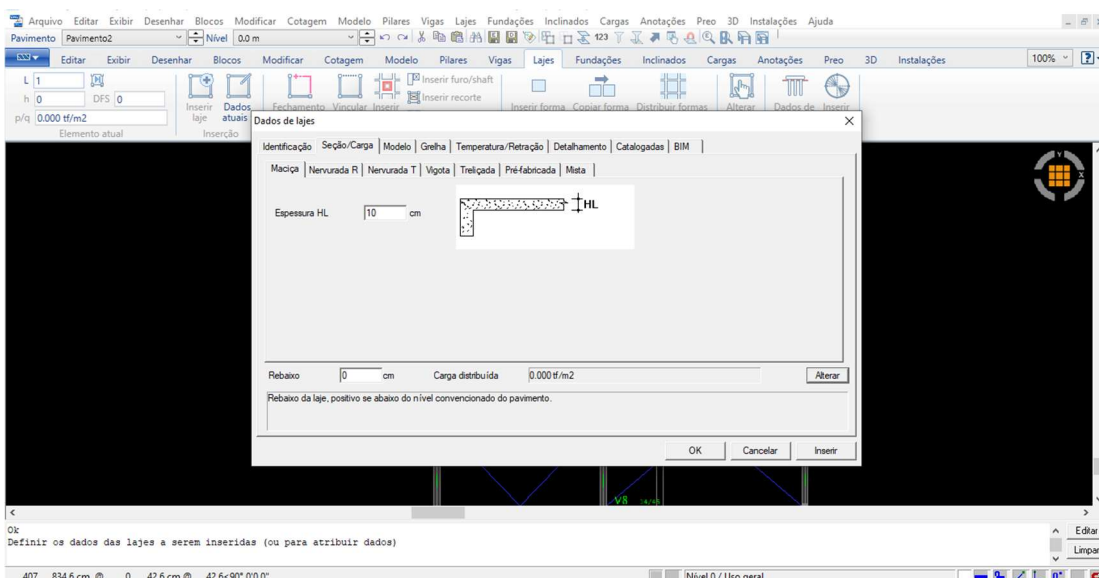


Fonte: Autoria Própria (2021).

4.6.7 Lançamento das lajes

Após inserir os pilares e as vigas a laje já terá sua área delimitada, com isso só é necessário ir na aba laje e em sequência em dados atuais e escolher a espessura da laje e qual a carga atuante sobre a mesma como mostrado na figura 14. Após definir os dados necessários a página é fechada clicando em OK para salvar as alterações e as lajes são inseridas nos locais determinados pelo usuário.

Figura 14 – Pagina para inserir os dados da laje

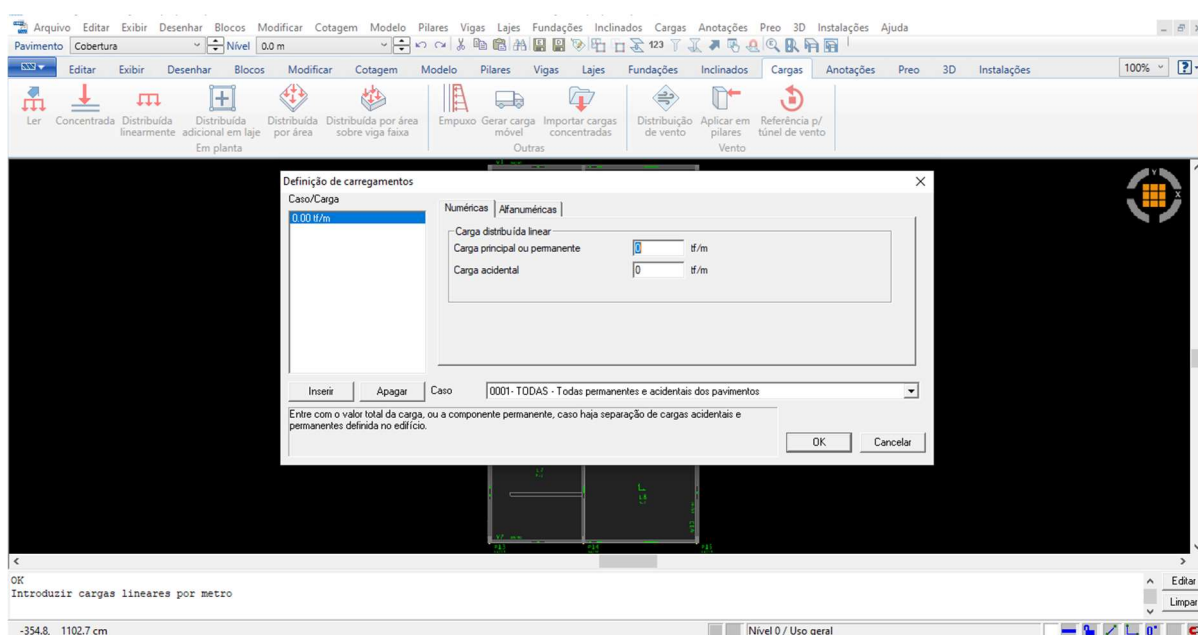


Fonte: Autoria Própria (2021).

4.6.8 Forças provenientes da alvenaria sobre a laje

Os carregamentos das alvenarias sobre as lajes, é inserida a partir da aba carga onde é escolhido o tipo de carga se é linear ou pontual, e o valor da mesma, após inserida as informações, aba é fechada clicando em OK, e na sequência deve ser determinado o local onde a carga irá atuar. A aba citada está representada na figura 15.

Figura 15 – Definições das cargas sobre a laje

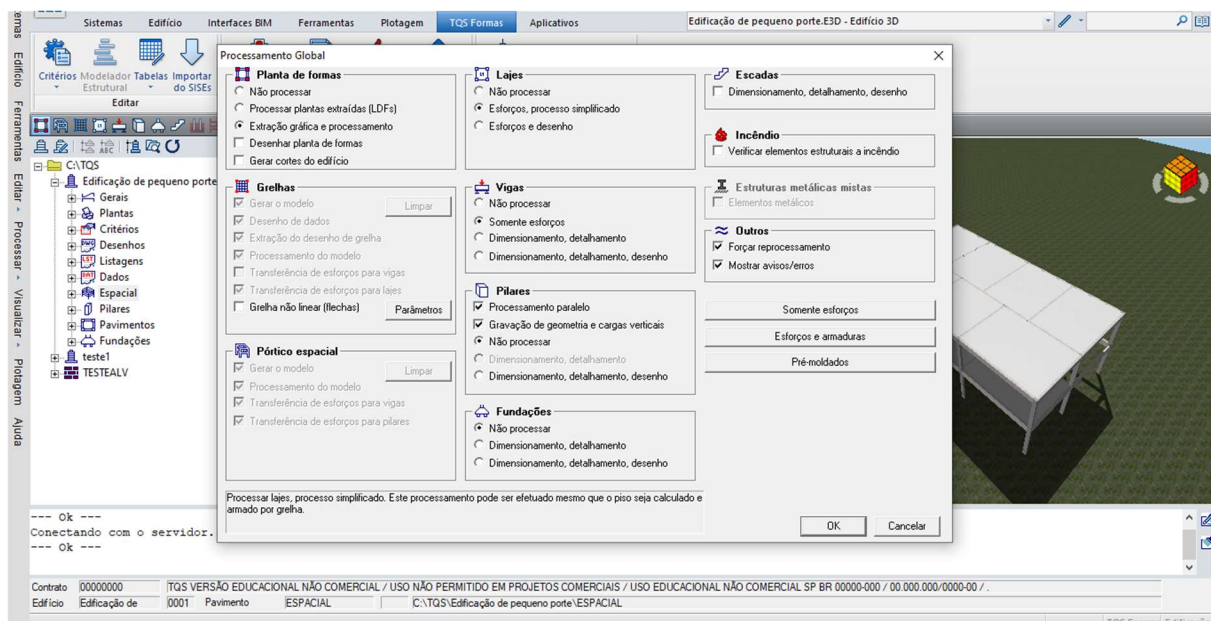


Fonte: Autoria Própria (2021).

4.6.9 Processamento global

Após inserir todos os dados necessário é finalizada a etapa de modelamento estrutural, com isso para terminar a análise dos esforços pelo TQS® as páginas anteriores devem ser fechadas, ficando somente a página principal do software, onde é selecionado o edifício em análise e clicado em processamento global, com isso uma nova página será aberta como mostrada na figura 16. Na página de processamento global é escolhido até onde o usuário deseja que sejam feitos os cálculos. No caso do trabalho foram selecionados somente o processamento dos esforços, já que esse é o objetivo.

Figura 16 – Processamento do pórtico espacial pelo TQS®



Fonte: Autoria Própria (2021).

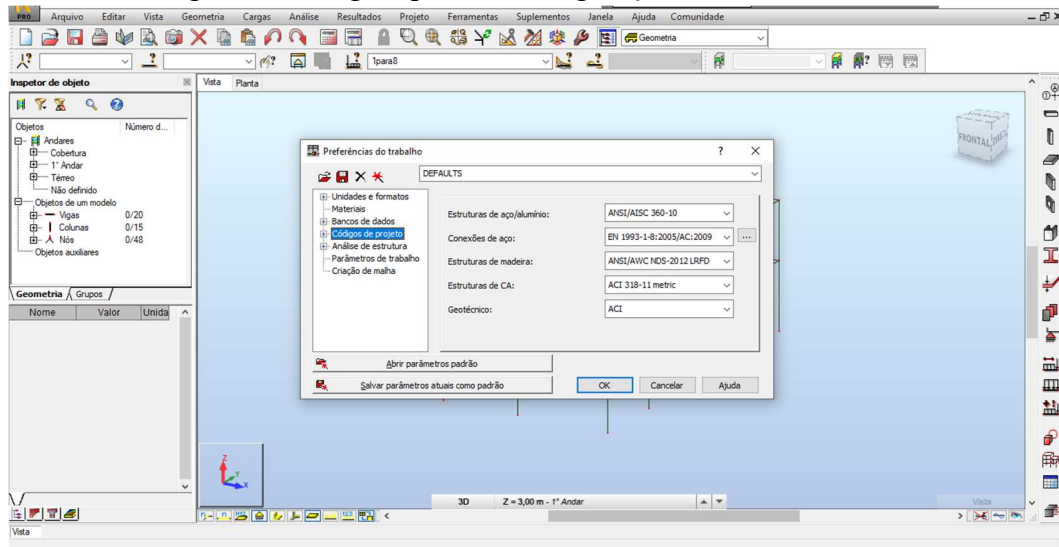
4.7 INTEGRAÇÃO REVIT/ROBOT®

Os softwares utilizados para esse método serão o Revit® e o Robot® ambos da Autodesk e versão 2019, onde o Revit® será responsável pela modelagem e o Robot® pela análise.

4.7.1 Configurações iniciais do Robot®

Diferente o TQS® o software Robot® não apresenta configurações e materiais condizentes com o que preconiza a NBR 6118 (2020). Logo, foi necessário inicialmente serem adicionados os materiais conforme a norma indica, para isso é necessário selecionar o botão ferramentas no menu principal e em seguida preferências de trabalho, abrindo assim a página mostrada na figura 17, onde são criados os materiais condizentes com o que exige a norma, adicionando as barras de aço que normalmente são comercializadas no Brasil, assim como também é feita a verificação das unidades.

Figura 17 – Pagina para as configurações iniciais do Robot®

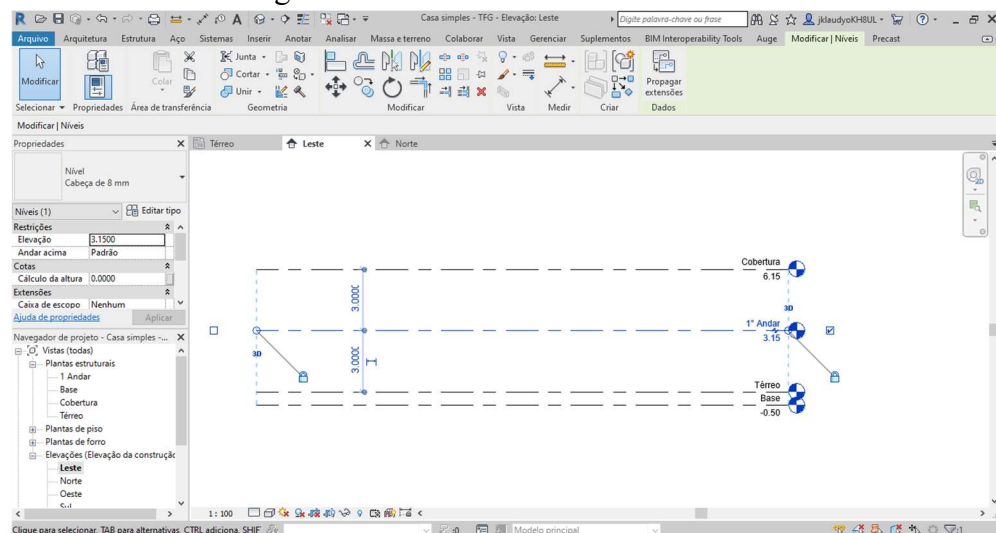


Fonte: Autoria Própria (2021).

4.7.2 Configurações iniciais do Revit®

O processo do lançamento dos componentes estruturais é iniciado no Revit®. Como a intenção é criar um modelo estrutural e já existe uma planta base foi utilizado o Template padrão do Revit® “Modelo estrutural”. Após abrir o Template, é necessário inserir a planta base, indo no menu inserir e posteriormente em importar formatos de CAD, após esse processo são verificadas as faixas de vista, adicionado os níveis (cobertura, 1º andar, térreo e base) e suas respectivas distancias, como mostrado na figura 18.

Figura 18 – Níveis adicionados no Revit

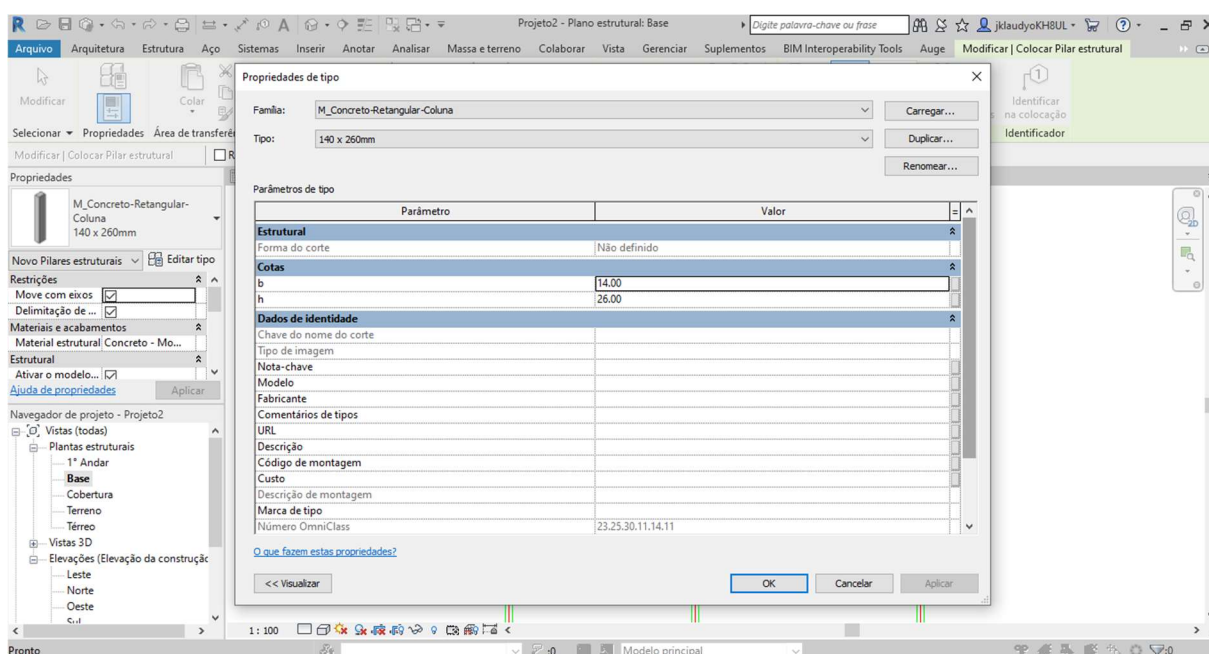


Fonte: Autoria Própria (2021).

4.7.3 Lançamento dos pilares

Já tendo a planta para locar as estruturas e os níveis já decididos, o próximo passo é o lançamento dos pilares, para é necessário ir na aba estruturas e posteriormente clicar em colunas, porem o software não apresenta pilares com as medidas de 14x26 cm e 14x30 cm, sendo imprescindível a criação dos modelos. Para criar os modelos é necessário ir em editar tipo, duplicar e editando as cotas b e h para os valores desejados, assim como também é feita a mudança para um nome condizente com as novas medidas, como mostrado na figura 19. Após ter as dimensões corretas, os pilares podem ser inseridos.

Figura 19 – Pilar editado com as medidas de 14x26 cm

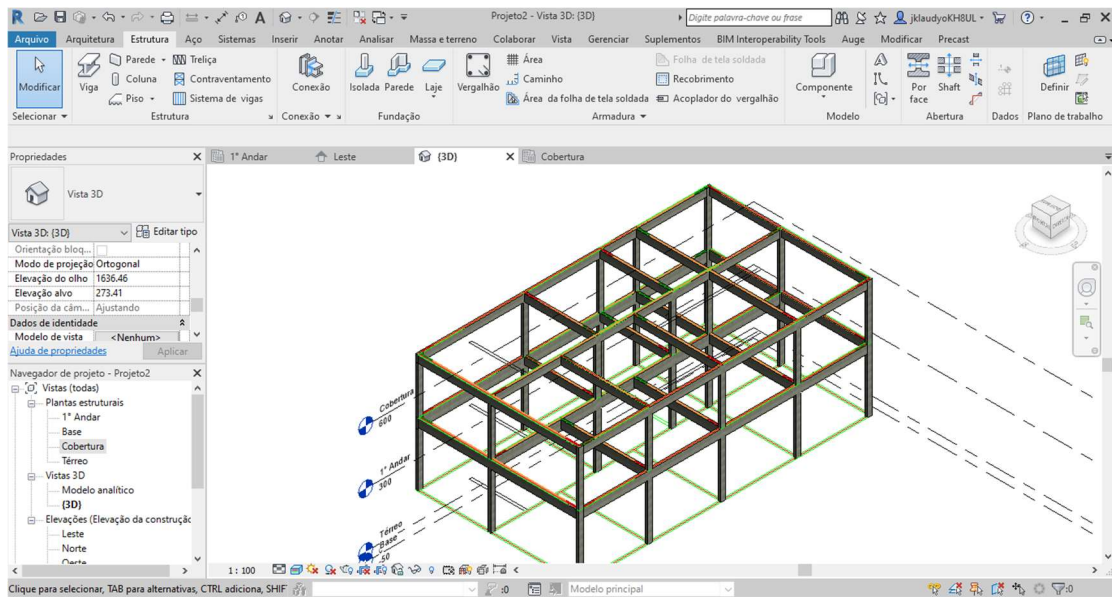


Fonte: Autoria Própria (2021).

4.7.4 Lançamento das vigas

Assim como os pilares as vigas não possuíam as dimensões calculadas no pré-dimensionamento, então em processo análogo ao mostrado no item 4.7.3, as vigas são geradas com as dimensões desejadas e posteriormente lançadas, ficando como demonstrado na figura 20.

Figura 20 – 3D após o lançamento das vigas e dos pilares no Revit

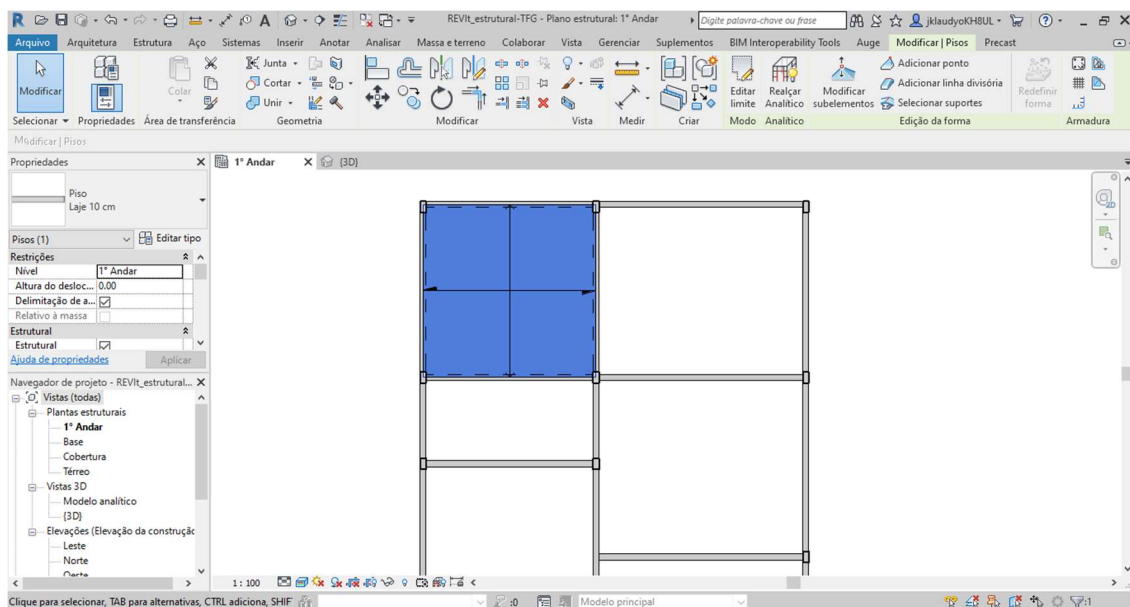


Fonte: Autoria Própria (2021).

4.7.5 Lançamento das lajes

Foram criados vários tipos de laje, devido a diferença de altura em ter as mesmas encontrada no pré-dimensionamento. Para executar o comando é utilizado o atalho “SB”, e então já configurado a altura, o piso estrutural pode ser inserido, como mostrado na figura 21.

Figura 21 - Processo de lançamento das lajes

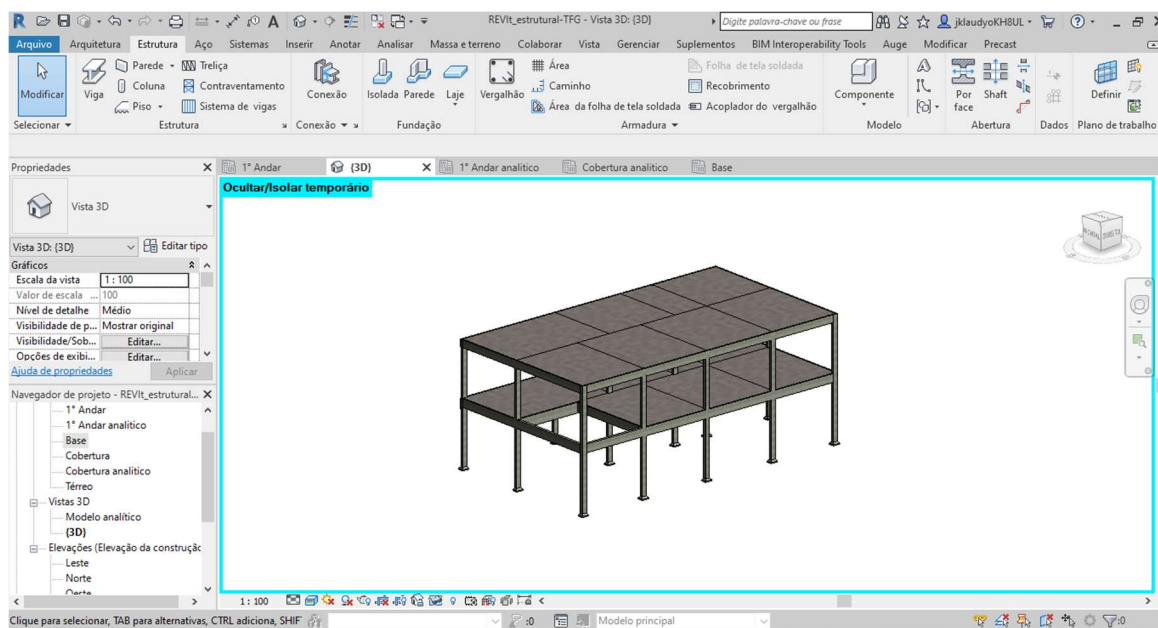


Fonte: Autoria Própria (2021).

4.7.6 Lançamento das fundações

O processo de adicionar as fundações é bastante simples, a partir da aba estrutura, e em seguida fundações. Para o trabalho foi escolhido a opção de sapata isolada, com isso basta selecionar a fundação desejada e inserir na base dos pilares, como mostrado na figura 22.

Figura 22 - 3D após o lançamento de todas as estruturas

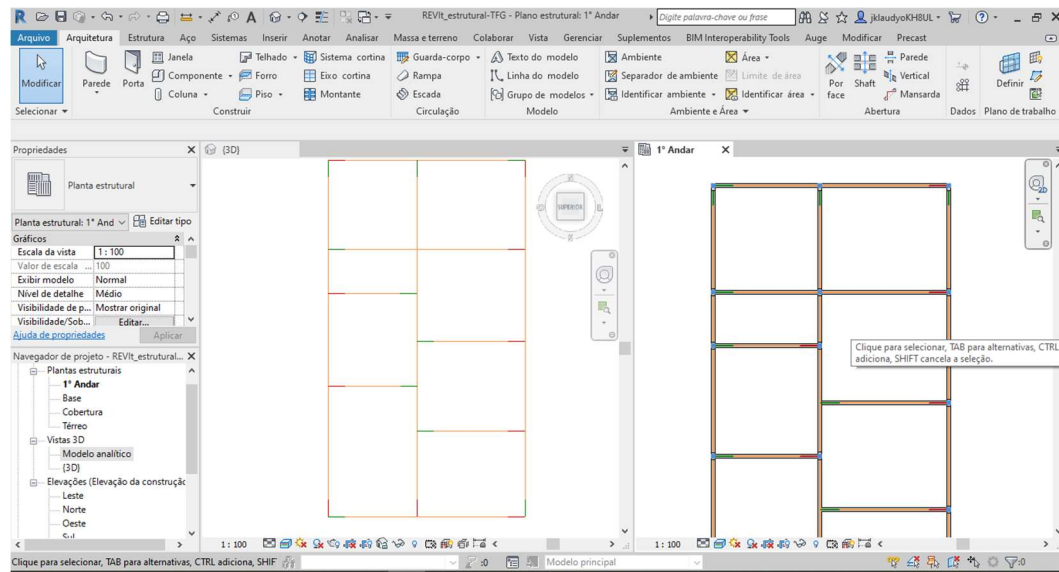


Fonte: Autoria Própria (2021).

4.7.8 Envio do modelo para o Robot®

Após o lançamento dos pilares e das vigas, é indicado a verificação utilizando o modelo analítico, para identificar se as vigas e os pilares apresentam ligações corretas em suas linhas de análise, essa verificação é feita utilizando o comando VG e habilitando o modelo analítico, mostrado na figura 23. Após essa verificação o modelo é enviado para o Robot®, indo no menu analisar, Robot Structural Analysis e vínculo para Robot Structural Analysis, esse procedimento deve ser feito com o Robot® já aberto na sua página inicial.

Figura 23 – Verificação de inconsistências no modelo analítico



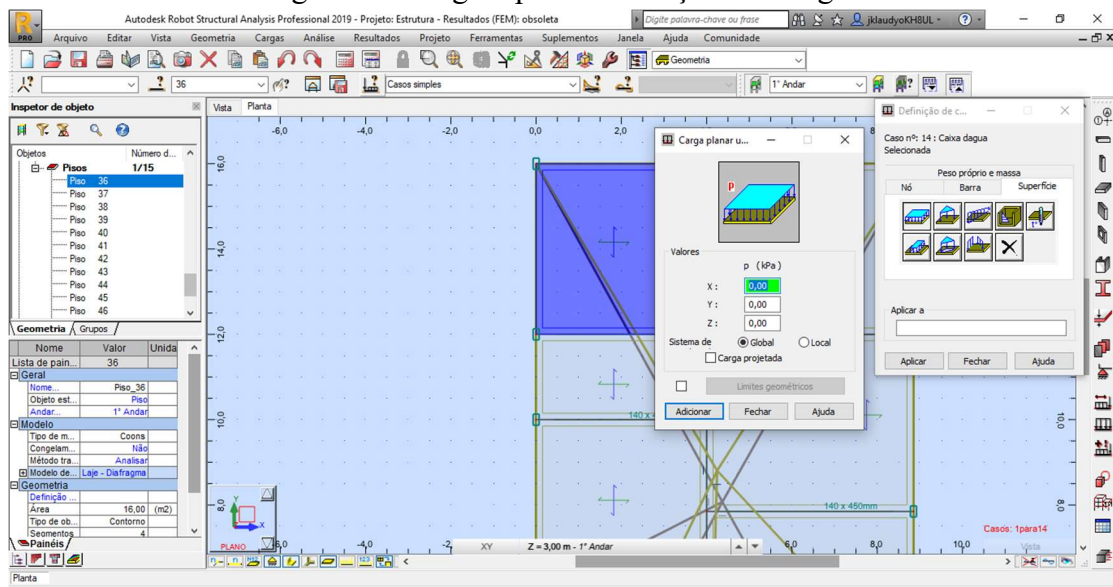
Fonte: Autoria Própria (2021).

4.7.7 Cargas

No Robot[®] as cargas apresentam diferentes classificações, mas para o trabalho foram utilizados dois tipos a DL que é a carga considerada permanente e a LL que é considerada carga variável. O peso próprio, já é definido em DL.

Após criar o tipo de carga, para aplica-la é necessário, ir em carga novamente e em definição de carga, abrindo assim uma nova página, como mostrado na figura 24, nessa página são escolhidos os tipos de carga e seus respectivos valores.

Figura 24 – Pagina para a definição das cargas

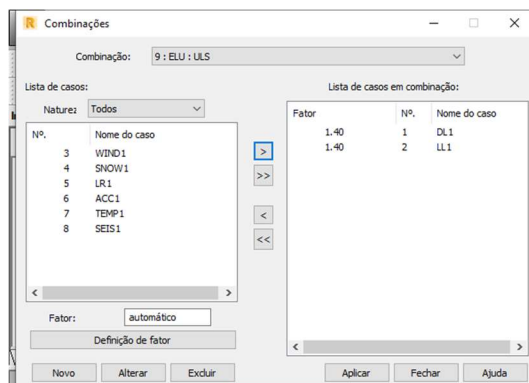


Fonte: Autoria Própria (2021).

4.7.8 Combinação das cargas

O software permite o usuário fazer a própria combinação ou automatiza-la. No caso do trabalho foi feito manualmente para manter a combinação utilizada no método manual. Para acessar a combinação das cargas é por meio do menu cargas, como mostrado na figura 25.

Figura 25 - Painel de combinação de cargas

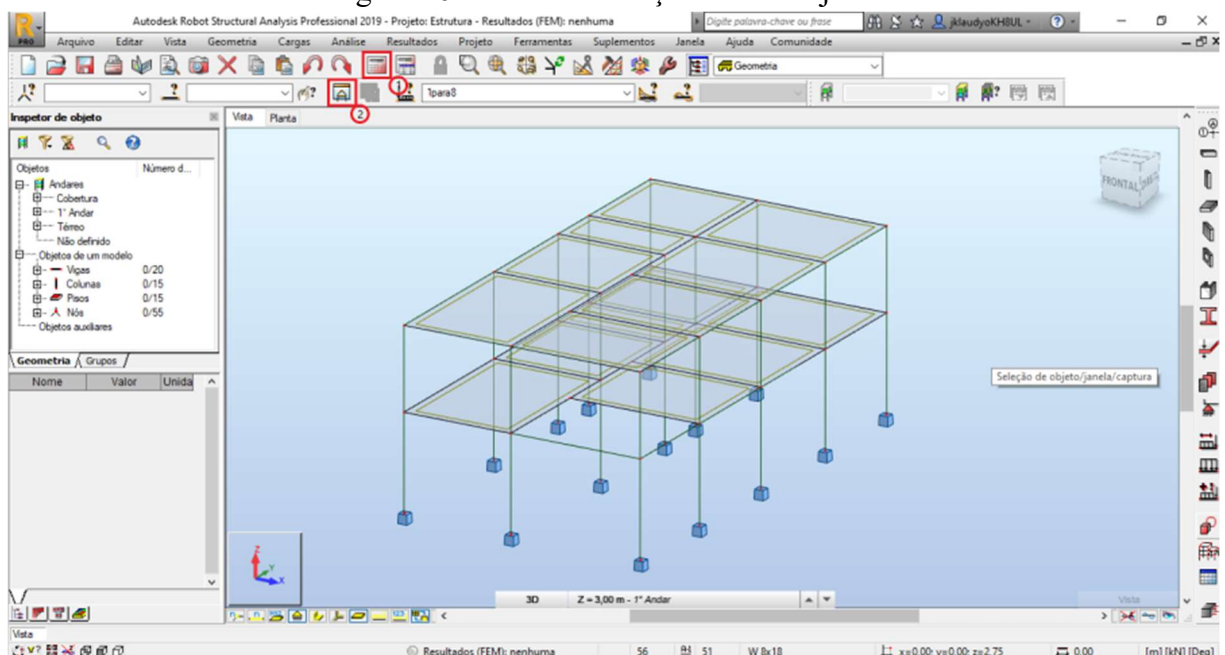


Fonte: Autoria Própria (2021).

4.7.9 Análises

Após configurar todas as cargas, basta ir em calcular, apresentado como 1 na figura 26, que praga irá iniciar o processo de análise da estrutura.

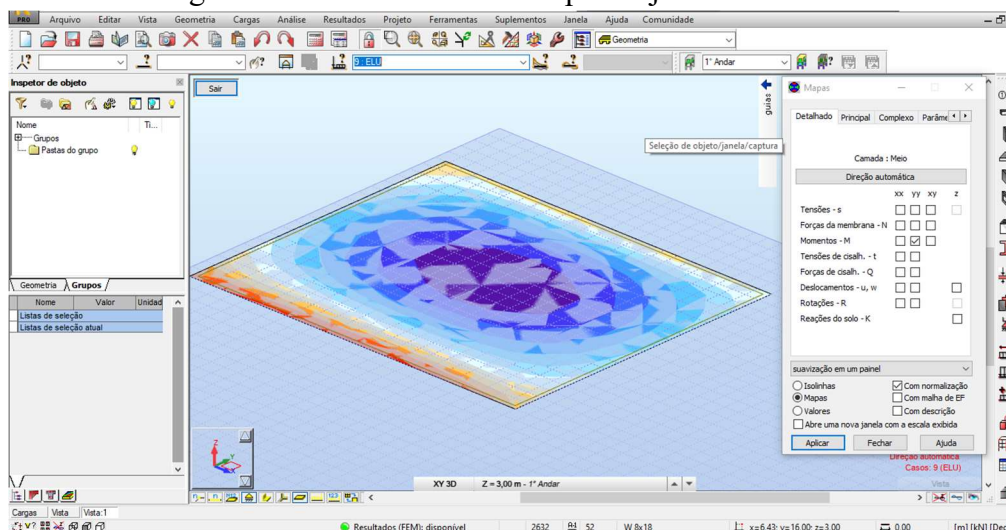
Figura 26 – Análise e edição em nova janela



Fonte: Autoria Própria (2021).

Após a análise da estrutura para melhor entendimento dos resultados, a plataforma possibilita ao usuário observar cada elemento estrutural separadamente. Para isso, é necessário selecionar o elemento, e em seguida, clicar no símbolo de edição como mostrado por 2 na figura 27. Com isso será apresentado o elemento separado como mostrado na figura 27.

Figura 27 – Momentos obtidos para lajes via ROBOT®



Fonte: Autoria Própria (2021).

4.8 MÉTODO MANUAL

4.8.1 Determinação dos momentos nas lajes e reações nas vigas

O primeiro passo para análise estrutural pelo método manual é obter os momentos da laje e a divisão das cargas sobre as vigas. Os procedimentos utilizados para a determinação dos momentos nas lajes e as reações sobre as vigas, estão demonstrados nos itens 3.6.1.1 e 3.6.1.2.

Os resultados encontrados estão resumidos nas Tabelas 15 e 16.

Tabela 15 – Momentos das lajes

Lajes	Combinação ELU (kN/m ³)	μ_y	$\mu_{x'}$	μ_y	$\mu_{y'}$	M_x (kN.m/m)	$M_{x'}$ (kN.m/m)	M_y (kN.m/m)	$M_{y'}$ (kN.m/m)
Laje 1	6,67	2,81	6,99	2,81	6,99	3,00	7,46	3,00	7,46
Laje 2	10,44	3,96	9,03	2,74	7,72	6,61	15,08	4,58	12,90
Laje 3	6,67	4,13	8,47	1,08	5,64	1,10	2,26	0,29	1,50
Laje 4	10,21	3,28	7,22	1,92	5,75	5,77	12,70	3,38	10,11
Laje 5	6,67	2,38	5,98	2,66	6,46	2,54	6,38	2,84	6,90
Laje 6	9,47	3,96	9,03	2,74	7,72	6,00	13,68	4,15	11,70
Laje 7	8,17	6,6	0	4,18	11,23	9,36	0,00	5,93	15,93

Fonte: Autoria Própria (2021).

Tabela 16 – Reação das lajes nas vigas

Lajes	Combinação ELU (kN/m ³)	k_x	k_x'	k_y	k_y'	q_x (kN/m)	q_x' (kN/m)	q_y (kN/m)	q_y' (kN/m)
Laje 1	6,67	1,83	3,17	1,83	3,17	4,88	8,46	4,88	8,46
Laje 2	10,44	2,20	3,80	1,83	3,17	9,19	15,87	7,64	13,24
Laje 3	6,67	4,01	4,01	1,44	2,5	5,35	5,35	1,92	3,34
Laje 4	10,21	3,36	3,36	1,44	2,5	14,24	14,24	6,10	10,60
Laje 5	6,67	1,52	2,63	3,08	3,08	4,06	7,02	8,22	8,22
Laje 6	9,47	2,20	3,80	1,83	3,17	8,33	14,40	6,93	12,01
Laje 7	8,17	2,72	2,72	2,5	4,33	9,65	0,00	8,87	15,36

Fonte: Autoria Própria (2021).

4.8.2 Análise das vigas v4 e v6

Devido a concepção estrutural escolhidas, as primeiras vigas analisadas devem ser a 4 e a 6, pois ambas estão apoiadas na viga 9. As cargas atuantes nas vigas são as advindas das lajes como demonstrado no tópico anterior e as causadas pelo peso próprio e a alvenaria.

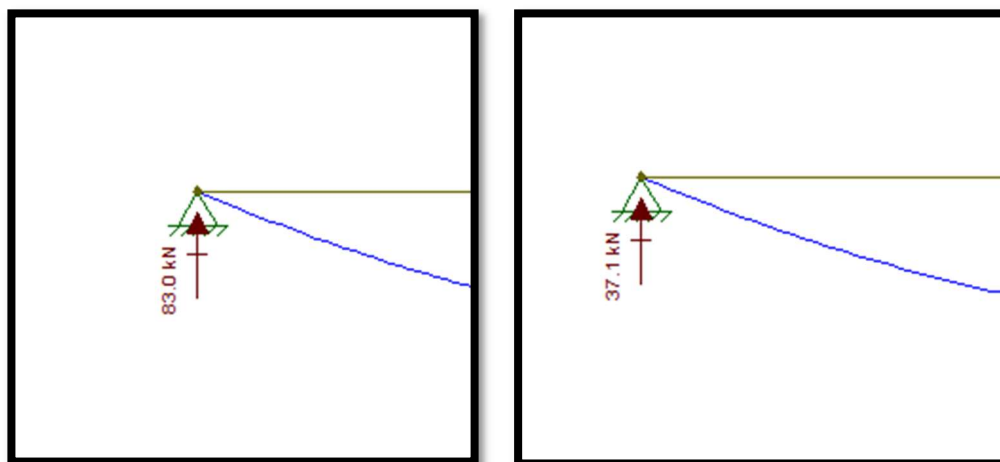
Para a análise das vigas foi utilizado o software FTOOL para auxiliar no cálculo, e o valor das reações encontradas está representada na figura 28. A rigidez a flexão dos pilares foi calculada conforme mostrado no item 3.6.1. Como tanto a viga 4 como a 6 apresentam a base de 26 cm a rigidez foi de 5707,52 Kn.m/Rad. As cargas utilizadas no FTOOL estão representadas na Tabela 17.

Tabela 17 – Tabela de cargas das Vigas 4 e 6

Vigas	Cargas permanentes (kN/m)		Esforços advindos da laje (kN/m)		Total (kN/m)
	Carga da alvenaria	Peso próprio	Lado 1	Lado 2	
Viga 4	5,824	2,21	14,24	14,40	36,67
Viga 6	5,824	2,21	8,33	-	16,36

Fonte: Autoria Própria (2021).

Figura 28 – Reações das vigas 4 e 6 respectivamente



Fonte: Autoria Própria (2021).

4.8.3 Análise das vigas v8, v9 e v10

Assim como as demais vigas, a 8, 9 e 10, terão como cargas o peso próprio a alvenaria e das reações das lajes. Somente a viga 9, terá dois carregamentos extras que são devido ao apoio das vigas 4 e 6. As cargas utilizadas para o cálculo do momento fletor estão resumidas na Tabela 18.

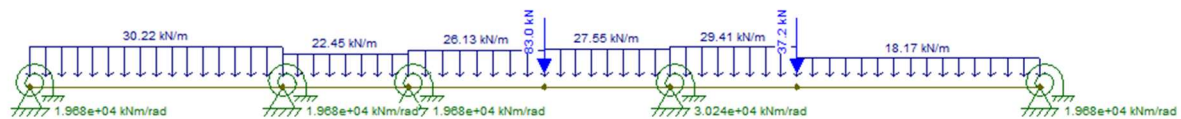
Tabela 18 - Cargas nas vigas 8, 9 e 10

Vigas	Vãos	Alvenaria (kN/m)	Peso próprio (kN/m)	Lado 1(kN/m)	Lado 2 (kN/m)	Carregamento ELU (kN/m)
V8	Vão 1	5,824	2,695	4,88	-	13,40
	Vão 2	5,824	2,695	1,92	-	10,44
	Vão 3	5,824	2,695	4,06	-	12,57
	Vão 4	5,824	2,695	9,65	-	18,17
V9	Vão 1	5,824	2,695	8,46	13,24	30,22
	Vão 2	5,824	2,695	3,34	10,60	22,45
	Vão 3 1° parte	5,824	2,695	7,02	10,60	26,13
	Vão 3 2° parte	5,824	2,695	7,02	12,01	27,55
	Vão 4 1° parte	5,824	2,695	9,65	12,01	29,41
	Vão 4 2° parte	5,824	2,695	9,65	-	18,17
V10	Vão 1	5,824	1,96	7,64	-	15,43
	Vão 2	5,824	1,96	6,10	-	13,90
	Vão 3	5,824	1,96	6,93	-	14,72
	Vão 4	5,824	1,96	-	-	7,78

Fonte: Autoria Própria (2021).

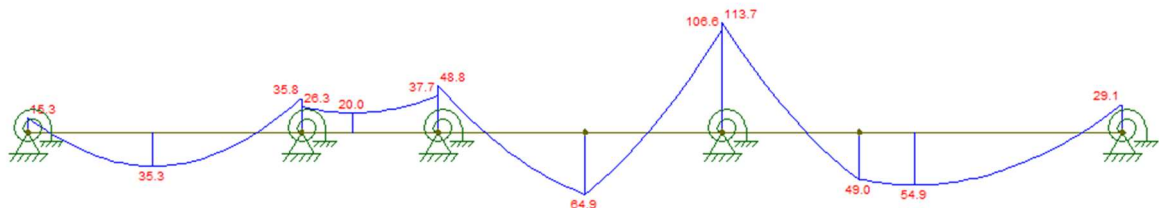
Para auxiliar no cálculo dos momentos atuantes nas vigas foi utilizado o software FTOOL. No cálculo da rigidez a flexão dos pilares, é necessário o momento de inércia e como haviam pilares com seções diferentes sendo a maioria com 14x26 cm e um com 14x30 cm, foram encontrados dois coeficientes um no valor de 19.685 Kn.m/Rad para a seção de 14x26 cm tendo a base de 14 cm e o valor de 30.240 Kn.m/Rad para a seção de 14x30 cm, também com base de 14 cm.

Figura 29 - Forças aplicadas na viga 9



Fonte: Autoria Própria (2021).

Figura 30 - Momentos obtidos para a viga 9



Fonte: Autoria Própria (2021).

5 RESULTADO E DISCUSSÕES

5.1 ANÁLISE DOS MOMENTOS NAS LAJES

Para a análise das lajes foram feitos 3 processos distintos, sendo um pelo modelo manual e dois por modelos desenvolvidos por softwares, ambos os processos utilizados são considerados modelos lineares. Vale-se ressaltar que durante a modelagem não foi alterado nem um tipo de vínculo, pois o trabalho tem como objetivo primordial o entendimento de como as diferenças entre as análises influenciam nos resultados. Os resultados obtidos estão resumidos nas Tabelas 19 e 21, assim como o comparativo os valores nas tabelas 20 e 22.

Tabela 19 – Momentos obtidos em X

Lajes	Manual (kN.m)/m		TQS [®] (kN.m)/m		Robot [®] (kN.m)/m	
	Mx p	Mx n	Mx p	Mx n	Mx p	Mx n
Laje 1	3,00	7,46	3,79	6,82	2,96	6,81
Laje 2	6,61	15,08	6,44	6,82	7,59	7,58
Laje 3	1,1	2,26	0,55	2,74	1,06	4,96
Laje 4	5,77	12,70	6,69	7,87	4,95	10,4
Laje 5	2,54	6,38	3,03	5,68	2,07	7,97
Laje 6	6,00	13,68	8,33	7,57	4,28	15,28
Laje 7	9,36	0,00	10,22	6,44	9,24	4,25

Fonte: Autoria Própria (2021).

Tabela 20 - Comparativo dos momentos obtidos em X

Lajes	Manual / TQS [®]		Manual / Robot [®]	
	Mx p	Mx n	Mx p	Mx n
Laje 1	21%	9%	1%	9%
Laje 2	3%	55%	15%	50%
Laje 3	50%	21%	4%	54%
Laje 4	14%	38%	14%	18%
Laje 5	16%	11%	19%	25%
Laje 6	28%	45%	29%	12%
Laje 7	8%	-	1%	-

Fonte: Autoria Própria (2021).

Tabela 21 – Momentos obtidos em Y

Lajes	Manual		TQS [®]		Robot [®]	
	My p	My n	My p	My n	My p	My n
Laje 1	3	7,46	4,17	3,79	2,91	3,63
Laje 2	4,58	12,9	7,19	7,95	5,71	4,72
Laje 3	0,29	1,5	0,18	1,82	0,75	2,38
Laje 4	3,38	10,11	5,90	5,90	4,97	8,16
Laje 5	2,84	6,9	2,65	5,68	1,78	4,56
Laje 6	4,15	11,7	6,82	4,17	3,44	8,18
Laje 7	5,93	15,93	5,68	9,47	5,91	7,98

Fonte: Autoria Própria (2021).

Tabela 22 - Comparativo dos momentos obtidos em Y

Lajes	Manual / TQS [®]		Manual / Robot [®]	
	Mx p	Mx n	Mx p	Mx n
Laje 1	28%	49%	3%	51%
Laje 2	36%	38%	20%	173%
Laje 3	37%	22%	61%	37%
Laje 4	43%	42%	32%	24%
Laje 5	7%	18%	37%	34%
Laje 6	39%	64%	17%	30%
Laje 7	4%	41%	0%	50%

Fonte: Autoria Própria (2021).

É observado que os resultados obtidos por meio do cálculo manual, apresentam valores superiores aos apresentados pelos softwares, principalmente quando comparado ao Robot[®] e comparado aos momentos negativos do TQS[®]. Analisando os valores obtidos e os mapas apresentados pelos programas utilizados, é possível identificar a diferença de análise entre as plataformas utilizadas, pois as lajes do Robot[®] apresentam altos valores na ligação da laje com as vigas centrais, já o TQS[®] por utilizar o método de grelha tradicional, composto por elementos lineares, que funcionam como vigas contínuas e apresentam nós com 3 graus de liberdade, que tende a suavizar mais os momentos apresentando assim uma discrepância menor entre os momentos positivos e negativos, podendo dizer que o TQS[®] apresenta uma análise plástica mais eficiente, e mais condizente com o que realmente acontece com a estrutura.

5.2 ANÁLISE DOS MOMENTOS NAS VIGAS

O processo de cálculo dos momentos nas vigas foi executado em três processos distintos. Um manual com a análise sendo feita pelo método de viga contínua melhorada, e dois processos do tipo computacional um com auxílio do software da Autodesk[®] o Robot[®] e outro

com o TQS[®] V22 versão estudante, no caso dos programas utilizados a modelagem foi realizada sem alteração nas condições de vínculo, de forma a melhor entender como a diferença das considerações tendem a influenciar no resultado final. O resumo dos resultados obtidos está apresentado nas Tabelas 23 e 24. Também foi notado que no processo manual a carga que foi colocada sobre a viga 9, teve bem mais influência, quando comparado aos modelos dos programas utilizados, essa diferença se dá pois no modelo manual a carga foi analisada separadamente, já nos softwares utilizados por serem do tipo pórtico espacial todo o modelo sofre deformação conjunta.

Tabela 23 - Momentos positivos obtidos

Vigas		Manual	Robot [®]	TQS [®]	Diferença relativa Manual / Robot [®]	Diferença relativa Manual / TQS [®]
V8	Vão 1	14,90	17,56	12,75	15%	14%
	Vão 2	1,20	2,96	1,08	59%	10%
	Vão 3	7,50	6,87	6,47	8%	14%
	Vão 4	40,02	29,30	37,47	27%	6%
V9	Vão 1	35,50	24,50	28,25	31%	20%
	Vão 2	20,00	8,82	11,67	56%	41%
	Vão 3	64,90	20,15	34,24	69%	47%
	Vão 4	54,90	38,19	47,48	32%	14%
V10	Vão 1	13,70	14,35	11,09	5%	19%
	Vão 2	9,40	8,45	7,75	10%	18%
	Vão 3	10,70	8,56	10,59	20%	1%
	Vão 4	5,50	4,90	3,43	11%	38%

Fonte: Autoria Própria (2021).

Tabela 24 - Momentos negativos obtidos

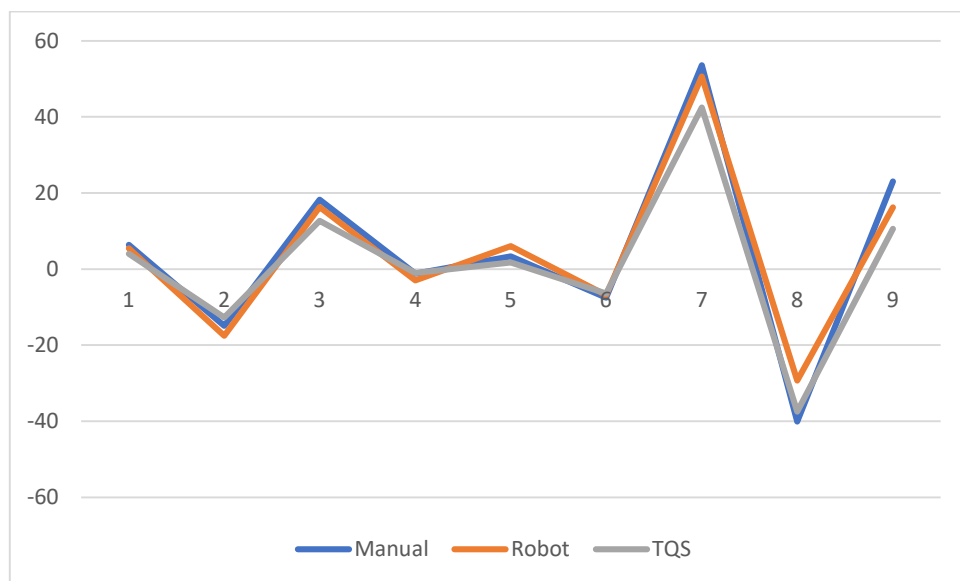
Vigas		Manual	TQS [®]	Robot [®]	Diferença relativa Manual / robot [®]	Diferença relativa Manual / TQS [®]
V8	Início vão 1	6,4	4,0	5,4	16%	37%
	Entre o vão 1 e vão 2	18,2	12,7	16,3	10%	30%
	Entre o vão 2 e vão 3	3,3	1,7	6,0	45%	49%
	Entre o vão 3 e vão 4	53,6	42,5	50,7	5%	21%
	Final do vão 4	23,0	10,6	16,2	30%	54%
V9	Início vão 1	15,3	7,7	7,7	49%	49%
	Entre o vão 1 e vão 2	35,8	20,9	19,8	45%	42%

V10	Entre o vão 2 e vão 3	48,8	27,1	24,4	50%	45%
	Entre o vão 3 e vão 4	113,7	89,0	64,6	43%	22%
	Final do vão 4	29,1	15,1	16,9	42%	48%
	Início vão 1	11,3	5,6	4,1	64%	51%
	Entre o vão 1 e vão 2	23,7	18,2	19,4	18%	23%
	Entre o vão 2 e vão 3	20,3	18,3	15,7	23%	10%
	Entre o vão 3 e vão 4	17,3	13,3	10,5	39%	23%
	Final do vão 4	4,2	2,5	2,5	40%	42%

Fonte: Autoria Própria (2021).

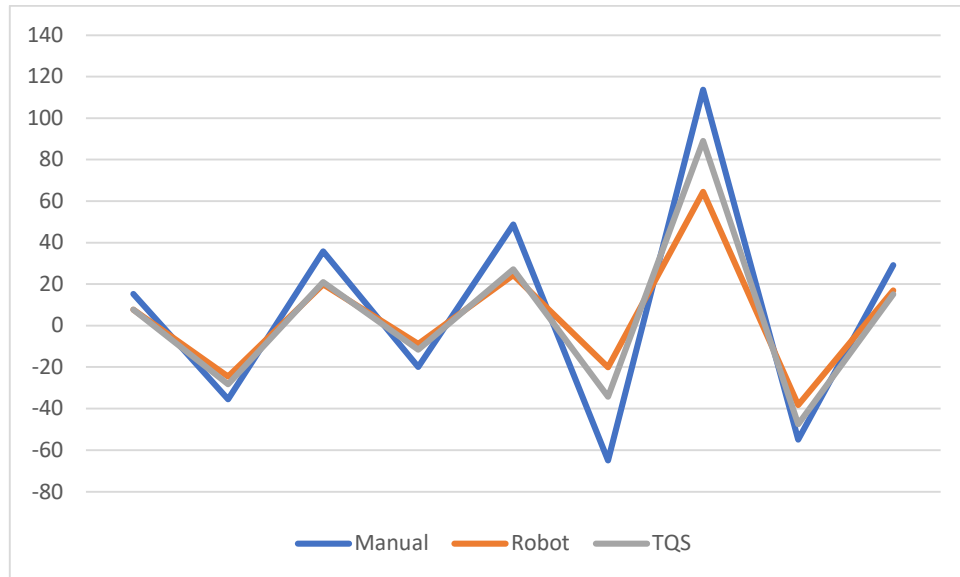
Observando os resultados é perceptível a tendência vista nas vigas, onde foi perceptível que a interação das lajes com as vigas centrais no Robot[®], apresentavam momentos acentuados com relação as outras análises, esse fato acabou fazendo com que os momentos na viga 9 (a viga central), fosse menor se comparado proporcionalmente com os resultados relativos das vigas. Isso tende a ocorrer pois a laje tende a acrescentar rigidez, quando o método considerar a ligação laje-viga-pilar.

Gráfico 1 – Momentos da viga 8



Fonte: Autoria Própria (2021).

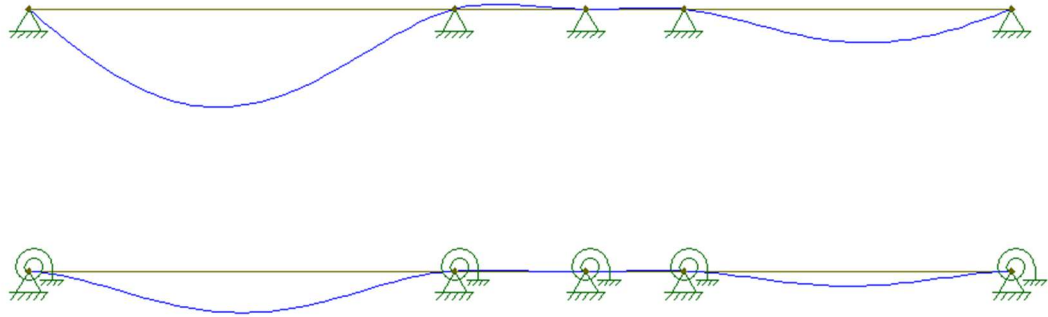
Gráfico 2 – Momentos da viga



Fonte: Autoria Própria (2021).

Com base nos resultados obtidos e nos gráficos 1 e 2 foi identificado uma maior discrepância no momento fletor negativo. Que tem como principal causa a diferença da rigidez viga-pilar, e seu fator de engastamento parcial, isso fica bem claro quando se observa os resultados obtidos no segundo vão das vigas 8 e 9, pois esse vão tem um comprimento bem inferente dos demais, o que ocasiona a tendência de apresentação de contra flecha, que tende a serem anulados ou minimizados de acordo com a oposição que o pilar realiza aos giros. Logo, como a ligação viga-pilar tende a captar melhor esse movimento que o modelo de viga continua, os momentos apresentados pelos softwares tendem a serem realmente menores. Esse efeito de contra flecha é ilustrado na figura 31.

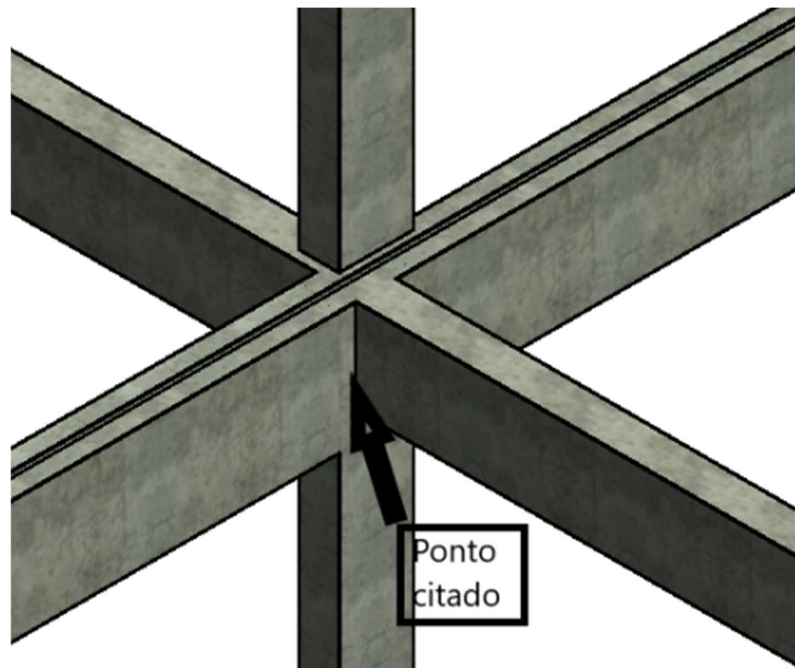
Figura 31 - Representação da contra flecha



Fonte: Autoria Própria (2021).

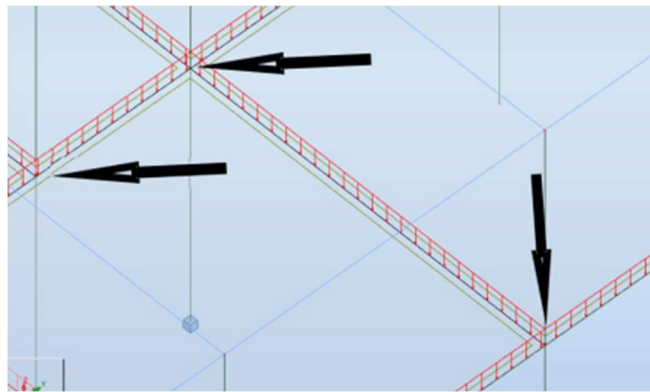
Também é notório a diferença entre os resultados obtidos pelos softwares. Essa diferença é advinda de algumas considerações dos programas, como a utilização de tonelada força pelo TQS® e Newton pelo RSA, tendo em vista que ao fazer a conversão utilizando 9,81 a precisão de cálculo acaba diminuindo. Outra diferença apresentada entre os softwares é com relação a carga final, pois o RSA tende a apresentar valores maiores, consequentemente momentos também maiores, essa diferença é causada devido ao RSA apresentar restrições no modelo de elementos finitos, pois nesse modelo os elementos estruturais são considerados somente como barras, não possuindo propriedade tridimensional, sendo assim, incapaz de identificar as intersecções entre as lajes, vigas e pilares. Essa restrição acaba gerando dois problemas, o primeiro é que nos pontos de encontro entre os elementos, o peso do concreto acaba sendo contabilizado mais vezes como representado na figura 32, e o segundo problema é que as cargas adicionadas nas vigas acabam sobrepondo o pilar como mostrado na figura 33.

Figura 32 - Intersecção entre pilares e vigas onde o concreto é contabilizado mais de uma vez para o cálculo do peso próprio da estrutura no RSA



Fonte: Autoria Própria (2021).

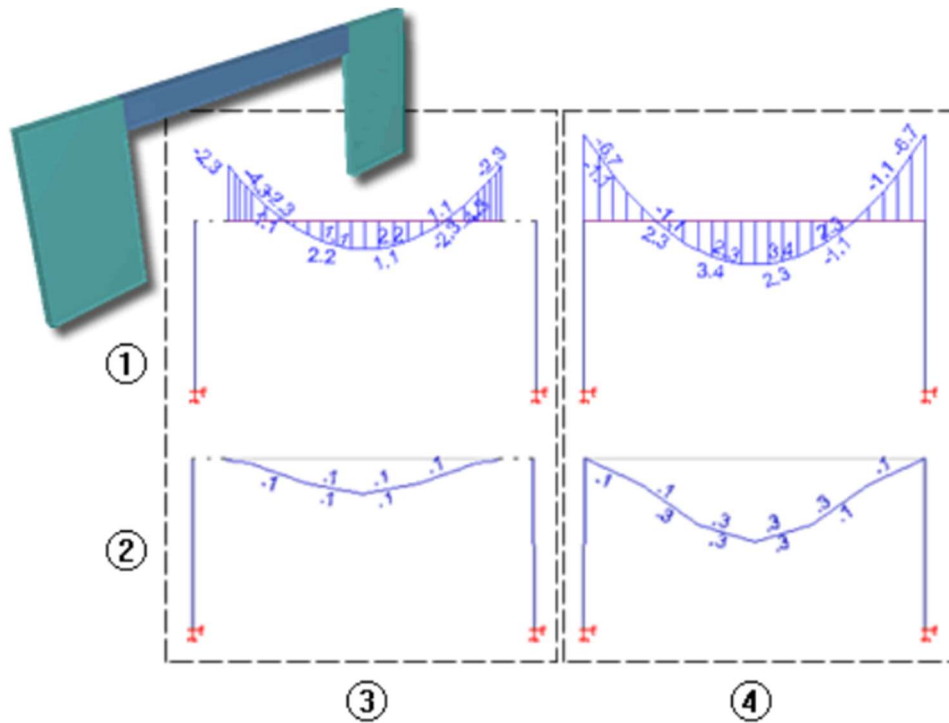
Figura 33 - Comparação entre a aplicação de cargas de alvenaria no TQS e no RSA, respectivamente.



Fonte: Autoria Própria (2021).

Outro fato que causou a diferença entre os resultados foi, o fato do TQS[®] implementar automaticamente os trechos rígidos, esses trechos definem o vão efetivo da viga que acaba por ser inferior ou contabilizado pelo Robot[®], tendendo a fazer com que os momentos do TQS[®] sejam inferiores como mostrado na figura 34.

Figura 34 - Diferença ao utilizar trechos rígidos



Fonte: Figura 5 de TQS docs.

5.3 COMPARAÇÃO DA ÁREA DE AÇO

Foi feito o cálculo manual das vigas 8 e 9, com os momentos obtidos pelos métodos, para se ter uma base da diferença causada pelas análises. Vale-se ressaltar que quando as áreas de aço foram inferiores a área mínima, a mesma foi colocada como 2 bitolas de 10mm, tendo em vista uma área mínima de 1,15 cm². As áreas de aço calculadas para as vigas 8 e 9, com os momentos encontrados estão resumidas nas tabelas 25, 26, 27, 28, 29 e 30.

Tabela 25- Cálculo da armadura longitudinal da viga 8 com momentos advindos do TQS

Momentos (kN.m)	KMD	Kx	Kz	As (cm ²)	Bitola (mm)	Nº bitolas	A efetiva (cm ²)
12,75	0,019	0,029	0,988	0,577	10	2	1,57
1,08	0,002	0,002	0,999	0,048	10	2	1,57
6,47	0,010	0,014	0,994	0,291	10	2	1,57
37,47	0,057	0,086	0,965	1,738	10	3	2,35
4	0,006	0,009	0,994	0,180	10	2	1,57
12,7	0,019	0,028	0,988	0,575	10	2	1,57
1,7	0,002	0,004	0,998	0,076	10	2	1,57
42,5	0,064	0,099	0,960	1,981	10	3	2,35
10,6	0,016	0,024	0,990	0,479	10	2	1,57

Fonte: Autoria Própria (2021).

Tabela 26- Cálculo da armadura longitudinal da viga 8 com momentos advindos do Robot

Momentos (kN.m)	KMD	Kx	Kz	As (cm ²)	Bitola (mm)	N° bitolas	A efetiva (cm ²)
17,56	0,027	0,040	0,984	0,799	10	2	1,57
2,96	0,004	0,007	0,997	0,133	10	2	1,57
6,87	0,010	0,015	0,994	0,309	10	2	1,57
29,3	0,044	0,067	0,973	1,348	10	2	1,57
5,4	0,008	0,012	0,995	0,243	10	2	1,57
16,3	0,025	0,037	0,985	0,741	10	2	1,57
6	0,009	0,013	0,995	0,270	10	2	1,57
50,7	0,077	0,119	0,953	2,383	12,5	2	2,454
16,2	0,025	0,037	0,985	0,736	10	2	1,57

Fonte: Autoria Própria (2021).

Tabela 27- Cálculo da armadura longitudinal da viga 8 com momentos do cálculo manual

Momentos (kN.m)	KMD	Kx	Kz	As (cm ²)	Bitola (mm)	N° bitolas	A efetiva (cm ²)
14,9	0,023	0,034	0,987	0,676	10	2	1,57
1,2	0,002	0,003	0,999	0,054	10	2	1,57
7,5	0,011	0,017	0,993	0,338	10	2	1,57
40,02	0,061	0,093	0,963	1,861	10	3	2,355
6,4	0,010	0,014	0,994	0,288	10	2	1,57
18,2	0,028	0,041	0,983	0,828	10	2	1,57
3,3	0,005	0,007	0,997	0,148	10	2	1,57
53,6	0,081	0,126	0,950	2,527	12,5	3	3,681
23	0,035	0,052	0,979	1,052	10	2	1,57

Fonte: Autoria Própria (2021).

Tabela 28- Cálculo da armadura longitudinal da viga 9 com momentos advindos do TQS

Momentos (kN.m)	KMD	Kx	Kz	As (cm ²)	Bitola (mm)	N° bitolas	A efetiva (cm ²)
28,25	0,0428	0,064	0,974	1,298	10	2	1,57
11,67	0,0176	0,026	0,989	0,528	10	2	1,57
34,24	0,0518	0,079	0,968	1,582	10	3	2,35
47,48	0,072	0,111	0,955	2,224	10	3	2,35
7,70	0,012	0,017	0,993	0,347	10	2	1,57
20,90	0,032	0,047	0,981	0,953	10	2	1,57
27,10	0,041	0,062	0,975	1,244	10	2	1,57
89,00	0,135	0,217	0,913	4,363	12,5	4	4,91
15,10	0,023	0,034	0,986	0,685	10	2	1,57

Fonte: Autoria Própria (2021).

Tabela 29- Cálculo da armadura longitudinal da viga 9 com momentos advindos do Robot

Momentos (kN.m)	KMD	Kx	Kz	As (cm ²)	Bitola (mm)	N° bitolas	A efetiva (cm ²)
24,5	0,037	0,055	0,978	1,119	10	2	1,57
8,82	0,013	0,020	0,992	0,397	10	2	1,57
20,15	0,030	0,045	0,982	0,916	10	2	1,57
37,19	0,056	0,085	0,965	1,719	10	3	2,35
7,7	0,012	0,017	0,993	0,346	10	2	1,57
19,8	0,030	0,045	0,982	0,900	10	2	1,57
24,4	0,037	0,055	0,977	1,114	10	2	1,57
64,6	0,097	0,152	0,939	3,072	12,5	4	4,91
16,9	0,025	0,038	0,985	0,769	10	2	1,57

Fonte: Autoria Própria (2021).

Tabela 30- Cálculo da armadura longitudinal da viga 9 com momentos do cálculo manual

Momentos (kN.m)	KMD	Kx	Kz	As (cm ²)	Bitola (mm)	N° bitolas	A efetiva (cm ²)
35,5	0,054	0,083	0,967	1,119	10	2	1,57
20,0	0,031	0,046	0,981	0,397	10	2	1,57
64,9	0,099	0,156	0,937	0,916	10	2	1,57
54,9	0,084	0,131	0,947	1,719	10	3	2,35
15,3	0,023	0,035	0,986	0,346	10	2	1,57
35,8	0,055	0,084	0,966	0,900	10	2	1,57
48,8	0,075	0,116	0,954	1,114	10	2	1,57
113,7	0,175	0,291	0,883	3,072	10	4	3,14
29,1	0,045	0,068	0,973	0,766	10	2	1,57

Fonte: Autoria Própria (2021).

Com base nos resultados obtidos das áreas de aço efetiva, é possível perceber que para vigas que recebem poucas cargas como as da extremidade, a diferença final na quantidade de aço necessária acaba não tendo muita diferença, visto a necessidade de cumprir a área de aço mínima exigida por norma, contudo para as vigas que recebem mais cargas como as que ficam entre as lajes essa diferença nos valores dos momentos acabam gerando grande diferença nas áreas de aço efetivas, e consequentemente no valor final da obra. A diferença final na quantidade de aço acaba sendo reduzida também, devido a utilização de barras predefinidas, pois são as comumente vendidas no mercado, esse fato acaba gerando um intervalo entre os valores de áreas de aço efetivas, sendo assim se observada a área de aço calculada é possível identificar uma divergência superior, mas que não acaba tendo influência no custo final da obra.

Essa diferença entre as áreas de aço calculadas e as efetivas pode ser bem observado nas tabelas 31 e 32:

Tabela 31 - Resumo da área de aço efetiva

TQS [®]	Robot [®]	Manual	Diferença relativa manual/Robot [®]	Diferença relativa Manual/TQS [®]
1,57	1,57	1,57	0%	0%
1,57	1,57	1,57	0%	0%
1,57	1,57	1,57	0%	0%
2,35	1,57	2,355	33%	0%
1,57	1,57	1,57	0%	0%
1,57	1,57	1,57	0%	0%
1,57	1,57	1,57	0%	0%
2,35	2,454	3,681	33%	36%
1,57	1,57	1,57	0%	0%

Fonte: Autoria Própria (2021).

Tabela 32 - Resumo da área de aço calculada

TQS [®]	Robot [®]	Manual	Diferença relativa manual/Robot [®]	Diferença relativa manual/TQS [®]
0,577	0,799	0,676	15%	15%
0,048	0,133	0,054	59%	11%
0,291	0,309	0,338	9%	14%
1,738	1,348	1,861	28%	7%
0,18	0,243	0,288	16%	38%
0,575	0,741	0,828	11%	31%
0,076	0,27	0,148	45%	49%
1,981	2,383	2,527	6%	22%
0,479	0,736	1,052	30%	54%

Fonte: Autoria Própria (2021).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

6.1 CONCLUSÃO

O presente trabalho se propôs a analisar de três formas diferentes uma mesma estrutura, e o que as diferenças encontradas resultavam no valor final encontrado, para isso foi necessário a realização de todas as etapas até a análise da estrutura, que foi feita pelo método considerado manual devido a maior interferência do usuário, e por dois métodos que utilizam o pórtico espacial que são os do Robot® e do TQS®. Após a realização dos processos observou-se, que independente da forma, todos os métodos utilizados dependem do engenheiro que está o guiando. Essa dependência foi observada logo no começo da realização do trabalho pois os programas comercializados no Brasil ainda não apresentam a fase de pré-dimensionamento e locação automática das estruturas, deixando assim, essas fases como decisões exclusivas do projetista. Outras definições que também acabam sendo exclusivas do projetista são as vinculadas ao tipo de ambiente onde a estrutura será construída.

Observou-se que no processo manual, tem uma dependência bastante significativa do fato humano, o que acaba elevando a chance de ocorrerem erros e diminuindo a celeridade, por isso nesse processo foram utilizados dois softwares de fácil entendimento o Excel® para auxiliar nos cálculos gerais e o FTOOL para se obter os momentos. Nos processos do TQS® e do RSA, o usuário também tem sua importância, pois todas as análises feitas são sobre o modelo feito pelo usuário, logo, qualquer erro na modelagem pode causar diferença nos resultados. Por isso, para se obter resultados corretos é necessário um grande conhecimento nas ferramentas dos programas e das normas vigentes.

Com base nos procedimentos depreendeu-se que, os programas utilizados realmente vieram para com o intuito de facilitar a vida do engenheiro estrutural, pois apresentam uma maior celeridade da realização dos projetos, contudo, é necessário que o mesmo tem um amplo conhecimento da plataforma, pois como mostrado no trabalho cada empresa tende a ter considerações distintas, e de forma geral com relação aos procedimentos o TQS® apresentou uma facilidade maior e uma maior interação com o usuário. Já com relação aos dados foi visto que os softwares utilizados apresentam modelos mais condizentes com comportamento real das estruturas, devido a possuírem considerações plásticas mais realista que as utilizadas no método manual, mas essa diferença se dá pois para fazer os cálculo que o Robot® e o TQS® fazem, iria requerer muito tempo do profissional.

Vê-se a importância desse trabalho de forma a disseminar as diferenças entre os três modelos estudados, e facilitar o entendimento das diferenças existentes entre os mesmos e o que essa diferença causa, bem como também foram apresentados os procedimentos necessários para as análises.

6.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Devido ao TQS[®] estudante só ter liberado o modelo IV, assim fica sendo sugerido um estudo com a finalidade de comparar os modelos existentes no TQS[®]. Também, surge a possibilidade de comparação com outros programas como o CYPECAD[®] e o EBERICK[®]. É possível também a possibilidade de fazer a análise de mais elementos, como os pilares, ou até trabalhar com o coeficiente de engastamento viga-pilar pelo software TQS[®], verificando a diferença causada pelo valor do mesmo.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto — Procedimento. 3 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

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

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

AUTODESK. **Sobre o Revit**. 2020 Disponível em: <https://knowledge.autodesk.com/pt-br/support/revit/getting-started/caas/CloudHelp/cloudhelp/2020/PTB/Revit-GetStarted/files/GUID-D8835F8E-1330-4DBC-8A55-AF5941056C58-htm.html>. Acesso em 20 out. 2020.

AUTODESK. **Sobre os relacionamentos da modelagem paramétrica**. 2019 Disponível em: <https://knowledge.autodesk.com/pt-br/support/revit/getting-started/caas/CloudHelp/cloudhelp/2018/PTB/Revit-GetStarted/files/GUID-71F2C8EE-2A90-4076-A6C7-702082566DDF-htm.html>. Acesso em 20 out. 2020.

AUTODESK. **História do Robot Structural Analysis Professional**. 2021 Disponível em: <https://knowledge.autodesk.com/pt-br/support/robot-structural-analysis-professional/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2022/PTB/Robot-GSG/files/An-Introduction-to-RSA/Robot-GSG-An-Introduction-to-RSA-RSA-Story-html.html>. Acesso em 20 out. 2020.

BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. Flexão composta e pilares de concreto armado: notas de aula. Bauru, SP: UNESP, 2021. Disponível em: <https://wwwp.feb.unesp.br/pbastos/concreto2/Pilares.pdf>. Acesso em: 20 out 2021.

BRASIL. Decreto nº 9.983, de 22 de agosto de 2019. Dispõe sobre a Estratégia Nacional de Disseminação do Building Information Modelling e institui o Comitê Gestor da Estratégia do Building Information Modelling, 22 agosto 2019. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2019/decreto/D9983.htm. Acesso em: 31 out. 2021

BRASIL. Lei nº 14.133, de 01 de abril de 2021. Lei de Licitações e Contratos Administrativos, 01 abril 2021. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2021/lei/L14133.htm. Acesso em: 31 out. 2021.

BRENDER, Murilo Dias; LIMA, Natália Baêta Vieira; RIBEIRO, Sidnea Eliane Campos. **Conhecimento e Estimativa Do Uso Do Bim Pelos Profissionais Atuantes Das Indústrias Aec No Brasil**. Fumec: Construindo, v. 8, n. 2, p. 1-8, 2016.

BARBOZA, Robiati Marcos. **Concepção e Análise de Estruturas de Edifícios em Concreto Armado**. Relatório Final de Iniciação Científica - FAPESP, Universidade Estadual Paulista, Bauru, São Paulo, 2008. Disponível: <
http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/14280/material/2008IC_Marcos.pdf>. Acesso em: 20 out. 2021.

CAMPESTRINI, Tiago Francisco *et al.* **Entendendo BIM**. Curitiba, Paraná, Brasil, 2015. Disponível em: http://www.gpsustentavel.ufba.br/documentos/livro_entendendo_bim.pdf em: 20 out 2021.

CARVALHO, Roberto Chust; FIGUEIREDO FILHO, Jasson Rodrigues de. **Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado: segundo a NBR 6118:2014**. 4. ed. São Carlos: EdUFSCar, 2014.

EASTMAN, Chuck. *et al.* **Manual de Bim: um guia de modelagem da informação da construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e incorporadores**. Tradução de Cervantes Gonçalves Ayres Filho, et al. Porto Alegre: Bookman, 2014.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5 ed. SÃO CAETANO DO SUL: ATLAS, 2010. 26-43 p.

HELENE, Paulo RL. Vida útil das estruturas de concreto. In: **IV Congresso Iberoamericano de Patologia das Construções**. Porto Alegre, RS. 1997.

JUSTI, Alexander Rodrigues. **Implantação da plataforma Revit nos escritórios brasileiros**. *Gestão & Tecnologia de Projetos*, v. 3, n. 1, p. 140-152, 2008.

LAUBMEYER, Livia A. S.; MAGALHÃES, Arnaldo L. F.; LEUSIN, Sergio R. A. **Impactos do uso do BIM em escritórios de arquitetura: Oportunidades no mercado imobiliário**. In: **IV Encontro de Tecnologia de Informação e Comunicação na Construção civil**, Rio de Janeiro, 2009.

MEDEIROS, Mayara de Freitas. **DIMENSIONAMENTO E DETALHAMENTO DE PILARES-PAREDE**. 2016. 77 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2016

NARDELLI, Eduardo Sampaio. **GUIA AsBEA BOAS PRATICAS EM BIM: fascículo I**. São Paulo: Asbea, 2013.

NASCIMENTO JUNIOR, João Augusto do. **UTILIZAÇÃO DE PLATAFORMA BIM PARA PARAMETRIZAÇÃO DE PROJETOS DE ESTRUTURAS DE CONCRETO PRÉMOLDADO**. 2015. 96 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenheiro de Produção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

NETTO, Claudia Campos. **Autodesk® Revit® Architecture 2016: conceitos e aplicações**. São Paulo: Saraiva, 2017. 30 p.

OLIVEIRA, André Batista. **COBRIMENTO DE ARMADURAS DE CONCRETO ARMADO: LEVANTAMENTO DE CRITERIOS ADOTADOS NA UTILIZAÇÃO DE ESPAÇADORES**. 2014. 89 f. Monografia (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

PERES, M.P; HAYAMA, A.O.F.; VELASCO, A.D. **A PARAMETRIZAÇÃO E A ENGENHARIA In GRAPHICA 2007- Desafio da Era Digital: Ensino e Tecnologia VIII Simpósio Nacional de Geometria Descritiva e Desenho Técnico**. Curitiba. Exatas: UFPR, 2007.

PINHEIRO, Libânio M. **Fundamentos do concreto e projeto de edifícios**. São Carlos: 2007.

PINHEIRO, Libânio M. et al. **ESTRUTURAS DE CONCRETO**. Aços para Armaduras, São Paulo, ano 2010, v. 1, p. 1-14, 2010.

PIMENTEL, Felipe Rodrigues. **VERIFICAÇÃO DOS RESULTADOS DO SISTEMA CAD/TQS PARA PILARES E ESTABILIDADE GLOBAL**. 2014. 62 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

SANTA CATARINA. Francisco Cardoso de Camargo Filho. Secretário Estadual de Planejamento. **CADERNO DE ESPECIFICAÇÕES DE PROJETOS EM BIM**. 2. ed. Florianópolis: Governo do Estado de Santa Catarina, 2015.

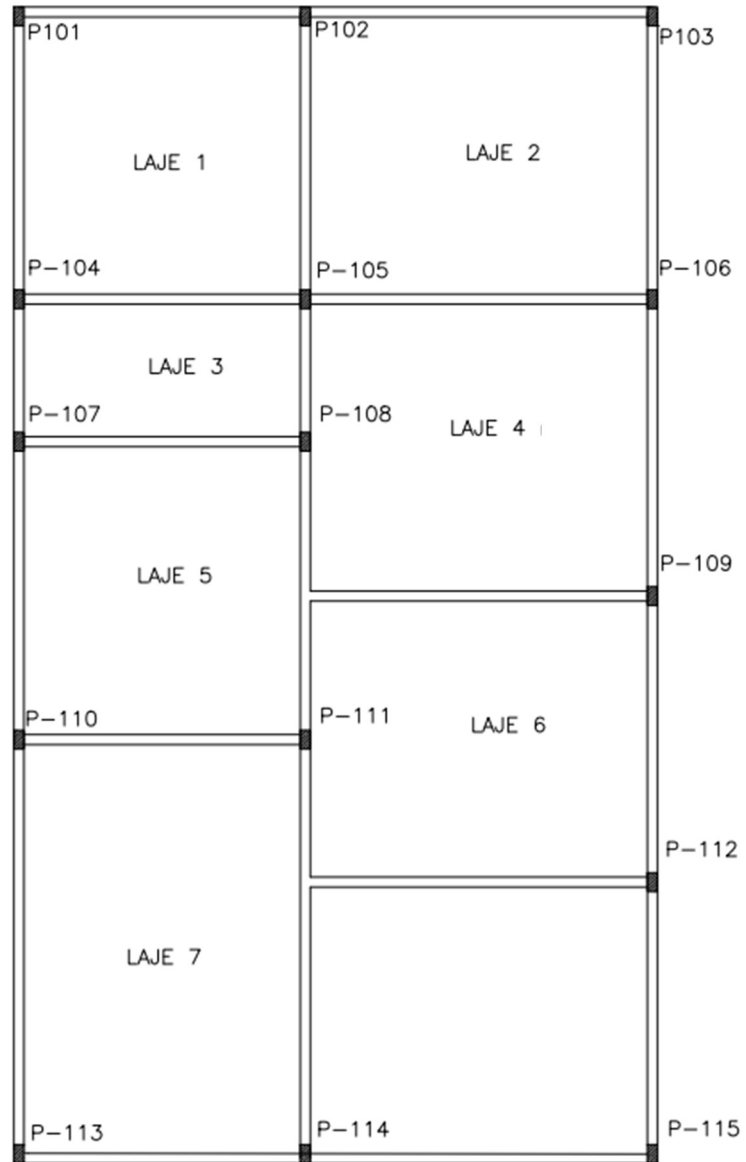
SANTANA, Andreza Ferreira de. **PROCESSO DE MODELAGEM E ANÁLISE ESTRUTURAL DE EDIFÍCIO MULTIPAVIMENTOS EM CONCRETO PRÉ-MOLDADO UTILIZANDO A TECNOLOGIA BIM**. 2019. 92 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2019.

SILVA, Kaio Ricardo da. **INTEROPERABILIDADE ENTRE SOFTWARE DE PROJETO ESTRUTURAL COM A PLATAFORMA BIM**. 2019. 87 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2019.

TQS INFORMÁTICA. **Manual de início rápido TQS**. 2019 Disponível em: <https://www.tqs.com.br/QSG/#p=2>. Acesso em 20 out. 2020.

TQS DOCS. **Pórtico Espacial**. Disponível em: <https://docs.tqs.com.br/Docs/Details?id=3150&language=pt-br> . Acesso em 01 set. 2020.

APÊNDICE A – Locação dos elementos estruturais no 1º andar



APÊNDICE B – Locação dos elementos estruturais na cobertura