



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE
NÚCLEO DE TECNOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

PEDRO HENRIQUE DOS SANTOS SILVA

**INTEROPERABILIDADE BIM ENTRE OS *SOFTWARES* CYPECAD E REVIT EM
UM PROJETO ESTRUTURAL DE UMA EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL**

Orientador: Prof. Dr. Douglas Mateus de Lima

Caruaru

2024

PEDRO HENRIQUE DOS SANTOS SILVA

**INTEROPERABILIDADE BIM ENTRE OS *SOFTWARES* CYPECAD E REVIT EM
UM PROJETO ESTRUTURAL DE UMA EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação do Curso de Engenharia Civil do
Campus Agreste da Universidade Federal de
Pernambuco – UFPE, na modalidade de artigo
científico, como requisito parcial para obtenção
do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: Estruturas

Orientador(a): Prof. Dr. Douglas Mateus de Lima

Caruaru

2024

AGRADECIMENTOS

Meus maiores agradecimentos a Deus, meu Senhor Jesus Cristo, que provê todo o conhecimento, que dá o sentido de toda minha existência e que, por sua misericórdia e amor infinitos, me dá a vida, e à sua Santíssima Mãe, que tantas e tantas vezes me amparou em seu manto em todos os momentos que mais precisei.

A meus amados pais, que mesmo com a distância, sempre estiveram lá por mim e sei que sempre vão estar, não importa a idade que eu tenha, pelos seus sacrifícios e amor, por sempre acreditarem em mim e me deixarem livres para eu andar com minhas próprias pernas.

A meus irmãos, que sei que sempre acreditaram em mim e para quem busco ser inspiração de alguma forma. A minha companheira de vida, Eduarda Menezes, que cuida de mim todos os dias e que me faz querer ir em frente nos momentos de fraqueza.

Ao meu orientador, o professor Dr. Douglas, o qual admiro muito a inteligência e que no final acreditou em mim, que com sua capacidade sem igual de transmitir seus conhecimentos nas disciplinas de estruturas, me deu inspiração para escolher o tema, pela sua paciência e incentivo, e que sempre nos lembra: *“Aquele, porém, que perseverar até o fim, esse será salvo (Mateus 24-13)”*

Aos meus amigos, vários que fiz durante essa caminhada, os que foram breves e os que durarão para a vida, tanto pessoal quanto profissional, em especial Mario Júnior, que sem ele eu possivelmente não teria chegado até aqui, a Pedro Matos, que tanto no profissional quanto na amizade, se mostrou um companheiro e me deu a chance de me fazer engenheiro na prática, a Willian Calado, que em sua persistência, apesar das barreiras, se mostra alguém admirável e alguém inspirador. Aos meus amigos de terço, Soffia, André, Isabelle, Daniel, que rezaram comigo nas tardes do CAA. A Joseângelo, Jhonatta, Iago, Isabela, que tanto compartilharam comigo os trabalhos acadêmicos e me ajudaram a chegar até aqui.

A todos os meus locais de estágio, que me fizeram colocar em prática o que eu aprendi no curso, e à Pórtis Jr. com todos os seus membros, que abriram minha visão e mente para começar a aprender o que é ser um engenheiro no dia a dia.

A todos os meus professores, em especial Marília, Jocilene, Moura, Mahon, Gilson, Saulo, Maria Victória e Flávio, por transmitir seus conhecimentos e ajudar da melhor forma que puderam.

A Universidade Federal de Pernambuco, Campus Acadêmico do Agreste, que em grande parte me fez hoje ser quem eu sou.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CA-50	Aço para concreto armado com resistência de 500 MPa
CA-60	Aço para concreto armado com resistência de 600 MPa
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CAA-II	Classe de Agressividade Ambiental II
C25	Concreto com resistência de 25 MPa
C30	Concreto com resistência de 30 MPa
ELS-W	Estado-Limite de Abertura de Fissuras
ELS-DEF	Estado-Limite de Deformações Excessivas
ELS-F	Estado-Limite de Formação de Fissuras
ELS	Estado-Limite de Serviço
ELU	Estado-Limite Último
EPS	<i>Expanded Polystyrene</i> (Poliestireno Expandido)
ELS-W	Estado-Limite de Abertura de Fissuras
ELS-DEF	Estado-Limite de Deformações Excessivas
ELS-F	Estado-Limite de Formação de Fissuras
NBR	Norma Brasileira
SPT	<i>Standard Penetration Test</i> (Ensaio de Penetração Padrão)
TR	Treliça

Interoperabilidade BIM entre os *softwares* CYPECAD e REVIT em um projeto estrutural de uma edificação residencial

BIM interoperability between CYPECAD and REVIT software in a structural project of a residential building

Pedro Henrique dos Santos Silva¹

RESUMO

Este estudo analisou a integração entre os *softwares* CYPECAD e REVIT dentro de um projeto estrutural de uma residência de alto padrão, utilizando a abordagem *Building Information Modeling (BIM)*. A análise concentrou-se em como as duas ferramentas se interagem durante as fases de concepção, dimensionamento e detalhamento da estrutura, destacando as vantagens e desvantagens de cada uma. O CYPECAD foi empregado para o dimensionamento e detalhamento estrutural, enquanto o REVIT ofereceu uma modelagem tridimensional que facilita a visualização e a compatibilidade entre os projetos arquitetônico e estrutural. O estudo também explorou a utilização de arquivos IFC para assegurar a interoperabilidade entre os *softwares*, evidenciando como essa combinação pode aumentar a eficiência, diminuir a ocorrência de erros e aprimorar o processo de entrega dos projetos. Além disso, foi considerado o uso de ferramentas adicionais, como plugins e rotinas no Dynamo, para agilizar a modelagem e melhorar o detalhamento estrutural.

Palavras-chave: projeto estrutural; concreto armado; edifício residencial; CYPECAD; REVIT.

ABSTRACT

This study analyzed the integration between CYPECAD and REVIT software within a structural project of a high-end residence, using the Building Information Modeling (BIM) approach. The analysis focused on how the two tools interact during the design, sizing and detailing phases of the structure, highlighting the advantages and disadvantages of each one. CYPECAD was used for structural design and detailing, while REVIT offered three-dimensional modeling that facilitates visualization and compatibility between architectural and

¹Graduando em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Pernambuco. E-mail: pedro.hssilva@ufpe.br

structural projects. The study also explored the use of IFC files to ensure interoperability between software, highlighting how this combination can increase efficiency, reduce the occurrence of errors and improve the project delivery process. Furthermore, the use of additional tools, such as plugins and routines in Dynamo, was considered to speed up modeling and improve structural detail.

keywords: structural design; reinforced concrete; residential building; CYPECAD; REVIT.

1 INTRODUÇÃO

É inegável que o avanço da tecnologia na área da construção civil tem proporcionado significativas transformações nos métodos de concepção de projeto e execução de obras, trazendo aprimoramento na comunicação entre as disciplinas envolvidas em uma construção e, conseqüentemente, chegando ao que, segundo Nogueira (2009), seria um projeto moderno e competitivo que tem como aspectos fundamentais a segurança, a economia e a durabilidade, sendo que a informação clara e o planejamento detalhado são imprescindíveis para tal resultado.

Antes do advento da tecnologia, o processo de implementação de uma edificação era fragmentado e dependente de formas de comunicação baseadas em papel, o que resultava em erros e omissões, gerando custos imprevistos, atrasos e litígios judiciais entre os envolvidos em um empreendimento (EASTMAN *et al.*, 2014). A tecnologia *Building Information Modeling (BIM)* vem oferecer aos engenheiros projetistas um processo de organização e partilha de informação suportado numa base de dados global com informação estruturada num formato normalizado, onde consta toda a informação considerada necessária para definir uma estrutura (SILVA, 2013). O benefício-chave do modelo BIM deriva da habilidade de partilhar um único modelo digital integrado, consistente, capaz de suportar todos os aspectos no ciclo de vida do projeto da construção (CRESPO; RUSCHEL, 2007).

Uma das definições trazidas por Catelani (2016) é que *BIM* é um conjunto de políticas, processos e tecnologias que, combinados, geram uma metodologia para gerenciar o processo de projetar uma edificação ou instalação e ensaiar seu desempenho, gerenciar as suas informações e dados, utilizando plataformas digitais (baseadas em objetos virtuais), através de todo seu ciclo de vida.

Para o dimensionamento de um projeto estrutural, é necessário que o calculista tenha uma gama de conhecimentos teóricos sobre os materiais que compõem a estrutura (DA SILVA, 2016), e no Brasil, onde a predominância ainda é o método construtivo em concreto armado, os

engenheiros civis têm que estar aptos a entregar um projeto seguro e econômico. Nesse cenário, o mercado tem lançado diversos *softwares* que auxiliam nesse propósito, evitando erros e possibilitando uma análise global do sistema, garantindo uma entrega mais eficiente.

No contexto deste trabalho, serão usados dois *softwares* para o dimensionamento e detalhamento estrutural de um projeto arquitetônico pré-concebido: O CYPECAD e o Autodesk REVIT. O CYPECAD, um programa da empresa espanhola CYPE Ingenieros S.A, é um *software* para projeto e cálculo estrutural em concreto armado, pré-moldado, protendido e misto de concreto e aço que engloba as etapas de lançamento do projeto, análise e cálculo da estrutura, dimensionamento e detalhamento final dos elementos (MULTIPLUS *SOFTWARES TÉCNICOS*, 2023). O REVIT é um *software* de BIM que cria um modelo unificado que todas as disciplinas e áreas podem usar para trabalhar. Hospeda as informações que formam o modelo com base no qual os desenhos e documentos são derivados (AUTODESK, 2023). O REVIT não dimensiona por si mesmo, ele modela objetos e pode trazer, de acordo com a habilidade do projetista, um detalhamento mais eficiente e visualmente mais atraente, facilitando o entendimento daqueles que vão executar a obra, mas como alternativa de um software voltado para projetos estruturais, a AUTODESK dispõe do *Robot Structural Analysis Professional*, que é um *software* de análise de carga estrutural que verifica a conformidade do código e usa fluxos de trabalho integrados ao BIM para trocar dados com o REVIT (AUTODESK, 2023).

Cada *software* trabalha com tipos de arquivos específicos que não se comunicam entre si, mas que trazem a possibilidade da interoperabilidade através da conversão do projeto em formato *Industry Foundation Classes (IFC)*, que viabiliza a troca consistente de dados entre diferentes aplicações de *softwares* específicos utilizados pela indústria da construção civil (CATELANI, 2016). Outro aspecto que um projetista deve analisar são as deficiências atuais que cada *software* oferece (OLIVEIRA 2005), assim, a partir de um olhar crítico, pode-se usar algo de um *software* que sirva de complemento e/ou aprimoramento para outro, além do uso de ferramentas extras lançadas no mercado que podem otimizar o fluxo de trabalho, como, por exemplo, os diversos plugins disponíveis.

Segundo Eastman *et al.* (2014), a interoperabilidade é um grande diferencial BIM, ela representa a necessidade de passar dados entre aplicações, ou seja, permite que diferentes *softwares* e profissionais transmitam informações durante o desenvolvimento de projetos, eliminando a necessidade de replicar as entradas de dados que já foram gerados e facilitando o fluxo de trabalho.

Visando isso, esse trabalho propõe a interoperabilidade BIM entre os *softwares* CYPECAD e REVIT em um projeto estrutural de uma residência de alto padrão, destacando os benefícios

em termos de coordenação, eficiência e redução de erros, além da entrega final do projeto de forma detalhada, usando o que cada *software* oferece de mais vantajoso.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

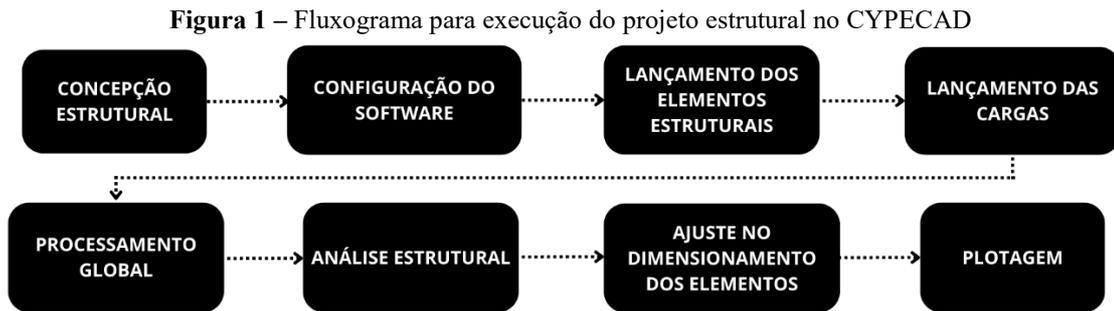
Investigar a interoperabilidade e o fluxo de informações via BIM entre os *softwares* CYPECAD e o REVIT em um projeto estrutural residencial, analisando suas capacidades individuais e interfaces de comunicação.

1.1.2 Objetivos específicos

- Realizar a concepção estrutural, obedecendo às Normas Técnicas vigentes, de uma residência de alto padrão com base em um projeto arquitetônico pré-concebido;
- Realizar o lançamento dessa estrutura através de um pré-dimensionamento com o auxílio do *software* CYPECAD;
- Analisar os resultados do dimensionamento estrutural obtidos a partir do *software*;
- Analisar a interoperabilidade entre os *softwares* usados;
- Realizar uma revisão das funcionalidades oferecidas pelo REVIT, com foco na representação de informações detalhadas dos elementos construtivos;
- Avaliar as vantagens do detalhamento com o REVIT em comparação ao detalhamento que o CYPECAD oferece;
- Analisar os benefícios e desafios da implementação da Metodologia BIM na gestão e no desenvolvimento de projetos estruturais, com foco na interoperabilidade entre *softwares*, otimização do fluxo de trabalho, precisão na modelagem e impactos na coordenação entre disciplinas.

2 METODOLOGIA

A metodologia deste estudo será baseada na aplicação da Metodologia BIM, que possibilita a integração das diversas fases de um projeto de engenharia, desde o planejamento até a execução. O estudo se concentrará na interoperabilidade entre os *softwares* CYPECAD, que será utilizado para o dimensionamento estrutural e detalhamento construtivo do projeto, e o REVIT, que será usado para a modelagem da arquitetura e para exemplos de apresentação de detalhes específicos para uma visualização mais clara e agradável, pois a modelagem no REVIT permite um trabalho mais minucioso, o que não é possível fazer no CYPECAD, pois uma vez tendo-se a estrutura dimensionada no CYPECAD, o projeto estrutural completo, ou parte dele, pode ser modelado no REVIT. Para a concepção estrutural, será seguido o fluxograma apresentado na Figura 1.



Fonte: Autor (2024)

2.1 Caracterização do projeto arquitetônico

O projeto arquitetônico utilizado para a concepção estrutural foi cedido pelo escritório de arquitetura do condomínio Terras Alpha Caruaru, Bairro Universitário, Caruaru-PE, o qual se trata de uma residência unifamiliar composta por 2 pavimentos, garagem e reservatório inferior, cuja área construída total equivale a 267,55 m².

O térreo possui 145,01 m² de área construída e nele encontra-se uma garagem que cabe 2 veículos, sala de estar, sala de jantar, suíte com um banheiro, depósito de materiais de limpeza, casa de bombas, área de serviço, um banheiro social e piscina no quintal com 14,84 m³, o reservatório inferior fica localizado abaixo da garagem com capacidade para 20.000 L. O pavimento superior possui 122,54 m² de área construída, uma varanda, sala de TV, duas suítes com 1 banheiro cada, uma suíte master com closet e banheiro e um pé direito duplo ao lado da

escada que dá acesso ao mesmo. O pavimento da cobertura é composto por telha de fibrocimento com duas águas e inclinação de 10% e acima tem-se ainda uma laje com espaço para duas caixas d'água de 10.000 L cada. A arquitetura se destaca muito pelo uso de paredes de vidro em toda sua concepção e inclinações das paredes externas.

A arquitetura do projeto possui platibanda, porém, neste contexto, ela não foi considerada no dimensionamento estrutural. Assim, o dimensionamento se concentra nos elementos principais da edificação, como vigas, pilares e lajes, desconsiderando a platibanda para os cálculos de carga e resistência.

2.2 Softwares utilizados

2.2.1 AutoCAD

O AutoCAD, criado pela Autodesk, é um programa popular de design auxiliado por computador (CAD - *Computer-Aided Design*) usado em arquitetura, engenharia, design de interiores e engenharia industrial. É comumente usado para desenhos técnicos 2D e modelagem 3D, com foco em projetos bidimensionais. Sua flexibilidade permite a criação de ilustrações para vários projetos e sua integração com outros aplicativos como REVIT e CYPECAD.

2.2.2 REVIT

O REVIT é um software desenvolvido pela Autodesk para modelagem de informações da construção (*Building Information Modeling - BIM*). Ele permite a modelagem 3D de estruturas tridimensionais, incorporando informações detalhadas sobre vários elementos da construção. O programa incentiva a colaboração entre diferentes áreas, aumentando a eficiência e a criação de projetos. Ele também oferece automação, permitindo tarefas repetitivas e mudanças integradas ao longo do projeto. Além disso, o REVIT simplifica o registro, gerando modelos tridimensionais e toda a documentação necessária. A ferramenta integrada Dynamo permite scripts personalizados para tarefas complexas e processos automatizados de modelagem e análise.

No fluxo de trabalho do AutoCAD para o REVIT, o primeiro passo é a importação da planta baixa em 2D do AutoCAD para uma vista no REVIT, geralmente no nível térreo, permitindo que as linhas sirvam como referência para a modelagem. Após a importação, inicia-se a criação das paredes e demais elementos estruturais, transformando as linhas do AutoCAD em

componentes paramétricos do REVIT, em seguida, são inseridas portas e janelas por meio de famílias paramétricas, que contêm informações sobre dimensões, materiais e outras propriedades construtivas. Com a estrutura principal definida, passa-se à modelagem da cobertura e de elementos estruturais, como vigas e pilares, seguindo as diretrizes do projeto arquitetônico e estrutural.

2.2.3 CYPECAD

O CYPECAD é um programa voltado para o cálculo, dimensionamento e elaboração de detalhes de estruturas em concreto armado e metálicas. É amplamente utilizado por engenheiros civis e profissionais projetistas, particularmente para construções de médio e grande porte. Ele adere aos padrões técnicos nacionais e internacionais e fornece critérios específicos de segurança da empresa desenvolvedora. Também torna possível a interoperabilidade BIM, possibilitando a exportação e importação de modelos no formato *Industry Foundation Classes (IFC)*, o que torna mais simples a colaboração com outros programas, como o REVIT. Ele apresenta excelente compatibilidade com o AutoCAD, possibilitando a transferência de plantas e layouts, o que simplifica a implementação da estrutura.

2.2.3.1 Classe de agressividade e materiais

O programa CYPECAD permite a inclusão de parâmetros necessários para o dimensionamento estrutural de acordo com as normas técnicas de cada país, como a ABNT NBR 6118:2023 do Brasil. Como a versão atual do CYPECAD é 2019, ele não pode utilizar a versão mais recente da norma, que é a NBR 6118:2023. A versão 2023 introduziu ajustes nos critérios de cobertura do concreto, principalmente para estruturas pré-moldadas, o que pode tornar os valores do CYPECAD 2019 incompatíveis com as atuais exigências. Além disso, a nova norma introduziu um coeficiente de aderência entre aço e concreto acima de 40 MPa, reduzindo sua resistência de cálculo, enquanto o software antigo pode considerar valores maiores do que os permitidos, afetando a segurança do projeto. Houve ainda um ajuste no coeficiente de aderência entre aço e concreto, o que pode refletir na ancoragem das barras, na verificação de resistência ao cortante e no detalhamento das armaduras de suspensão em vigas, gerando equívocos estruturais caso não seja considerado. Por último, foi incluída a necessidade de análise de vibração em certos elementos, que, ao deixar de ser feita como na versão CYPECAD 2019, pode culminar em projetos não conformes.

O grau de agressividade é determinado pela Tabela 6 – Classes de agressividade ambiental, levando em consideração a localização da edificação, que é urbana e classificada como Classe II de agressão ambiental (CAA-II). A edificação, como não sendo de grande porte, terá para a resistência característica à variação (f_{ck}) o valor mínimo de 25 MPa. Para os valores de resistência característica ao escoamento (f_{yk}) dos aços utilizados, serão de CA-50 e CA-60. A Figura 2 mostra todas as configurações inseridas no CYPECAD.

Figura 2 – Parâmetros usados no CYPECAD

The screenshot displays the CYPECAD software interface with the following parameters:

- Normas:** ABNT NBR 6118:2014, ABNT NBR 14762: 2010, ABNT NBR 8800:2008, NBR 7190 e Eurocódigo 9
- Concreto armado:**
 - Concreto:**
 - Pisos: C25, em geral
 - Fundação: C25, em geral
 - Tubulões: C20, em geral
 - Pilares: C25, em geral
 - Cortinas: C25, em geral
 - Características do agregado: Granito (19 mm)
 - Aço:**
 - Barras: CA-50 e CA-60
 - Parafusos: ISO 898.C4.6
- Perfis:**
 - Aço:**
 - Laminados e soldados: A-36 250Mpa
 - Dobrados: CF-26
 - Madeira:** Vigas: C20 - Vigotas: C20 - Estruturas 3D: C20
 - Alumínio extrudado:** EN AW-5083 - F
- Ações:**
 - Carga permanente e sobrecarga
 - Com ação do vento (NBR 6123 (Brasil))
 - Com ação sísmica
 - Verificar resistência ao fogo
 - Estados limites (combinações)
 - Ações adicionais (cargas especiais)
- Coefficientes de flambagem:**
 - Pilares de betão e mistos: β_x 1.000, β_y 1.000
 - Pilares em aço: β_x 1.000, β_y 1.000
- Ambiente:**
 - Vigas: CAA II (Abertura máxima de fissura: 0.30 mm)
 - Blocos de coroamento: CAA II

Botão: Aceitar

Fonte: CYPECAD (2024)

No dimensionamento estrutural realizado no CYPECAD, diversos parâmetros influenciam diretamente a segurança, a durabilidade e o desempenho da edificação (Figura 2). Entre eles, destacam-se o tipo de aço utilizado, a resistência do concreto, a ação do vento, a limitação da abertura de fissuras e as características do agregado graúdo.

Os aços CA-50 e CA-60 são amplamente empregados no Brasil, diferenciando-se pelo limite de escoamento. O CA-50, mais dúctil, é indicado para regiões sujeitas a maiores deformações, enquanto o CA-60 possui maior resistência, permitindo reduzir a quantidade de aço em determinados elementos. O CYPECAD considera essas propriedades no dimensionamento das armaduras, garantindo que suportem as cargas aplicadas sem comprometer a integridade estrutural.

O concreto C-25, com característica de resistência de 25 MPa, é adequado para edificações prejudiciais, influenciando a capacidade da estrutura de suportar esforços, o dimensionamento das estruturas estruturais e a durabilidade em diferentes condições ambientais. No *software*, esse parâmetro impacta diretamente o projeto estrutural, determinando a necessidade de reforços ou ajustes no projeto.

A ação do vento é outro aspecto essencial, principalmente em edifícios altos. O CYPECAD analisa isso conforme a NBR 6123, considerando a pressão dinâmica do vento, efeitos aerodinâmicos e a necessidade de reforços em elementos verticais. Além disso, o limite de abertura de fissuras de 0,30 mm é utilizado para evitar corrosão das armaduras e infiltrações, garantindo maior durabilidade.

A escolha do agregado graúdo também influencia na resistência, trabalhabilidade e durabilidade do concreto. O uso de granito com diâmetro de 19 mm impacta na dosagem do concreto, na resistência final do material e na aderência entre o concreto e a armadura.

2.2.4 Plugins

Os plugins são ferramentas complementares que aumentam as funcionalidades dos *softwares BIM*. No REVIT, existem plugins para a modelagem estrutural que são utilizados para um detalhamento mais otimizado e com automação de processos, como, por exemplo, uma viga que deveria ter a modelagem das armaduras feita barra por barra, poderá ser pré-configurada e ter sua modelagem feita de forma semiautomática, onde o trabalho maior deverá ser escolher os parâmetros da modelagem e o lançamento das armaduras em cada elemento de concreto.

2.2.5 Dynamo

Segundo a Autodesk, o Dynamo é uma interface de programação gráfica que permite personalizar seu fluxo de trabalho de informações de construção por meio de rotinas. É instalado como parte do REVIT junto com os nós de programação específicos que usam a linguagem de programação Python que permite a integração de sistemas. Nesse caso, como o objetivo não é desenvolver as rotinas, e sim usar as ferramentas que o REVIT possui, serão usadas rotinas já prontas e específicas, desenvolvidas pela empresa RR ENGENHARIA, para auxiliar a modelagem estrutural, que incluem:

- Rotinas para lançamento de armaduras em geral;

- Rotinas para lançamentos de elementos de concreto;
- Rotinas para cotas;
- Rotinas para inserção de eixos;
- Rotinas para nomear elementos, entre outras.

2.2.6 Interoperabilidade BIM

A integração dos *softwares* REVIT e CYPECAD envolve o desenvolvimento e a modelagem da arquitetura no REVIT. Em seguida, é exportado o arquivo no formato IFC para dimensionamento estrutural no CYPECAD. No caso de um projeto arquitetônico que é concebido em formato DWG, como no caso deste projeto, a modelagem do REVIT foi necessária para garantir a verificação precisa da compatibilidade entre os componentes arquitetônicos e estruturais, o que não é possível no AutoCAD. A modelagem de elementos estruturais do REVIT inclui a criação de pilares, vigas e lajes, além da modelagem das armaduras necessárias. Para facilitar e automatizar algumas tarefas, é possível utilizar rotinas específicas no REVIT, otimizando o detalhamento e a coordenação da execução do projeto.

2.2.6.1 Arquivos IFC

O IFC (*Classes of Foundation of Industry*) é um padrão comum para iniciativas BIM interoperáveis, criado pela *Building SMART International*. Este formato de dados aberto e imparcial permite a transferência de informações entre diferentes plataformas de BIM, independentemente do software usado. Ele detalha geometria, elementos de construção e propriedades relacionadas, permitindo que todas as equipes do projeto visualizem e avaliem as mesmas informações, minimizando erros e evitando retrabalho. A ISO 16739, que define o esquema IFC, é reconhecida como o principal padrão para interoperabilidade BIM, fornecendo uma estrutura confiável para troca de informações.

2.2.6.2 BIM Server

O *BIM Server* é uma plataforma colaborativa que permite a unificação de modelos BIM, otimizando a cooperação da equipe ao longo do projeto. Ele serve como um repositório

centralizado, permitindo que vários membros da equipe acessem, modifiquem e recuperem modelos instantaneamente, criando um ambiente de trabalho integrado e colaborativo.

Um de seus principais benefícios é a capacidade de gerenciar versões e sincronizar modificações em modelos, evitando conflitos e aprimorando a colaboração com sistemas de gerenciamento de informações. O *BIM Server* também permite colaboração distribuída, permitindo que grupos em vários locais trabalhem simultaneamente no mesmo projeto. Isso é particularmente benéfico em grandes projetos de construção, onde especialistas de diferentes áreas e regiões precisam de interação constante.

O projeto é iniciado no REVIT, onde o modelo arquitetônico é desenvolvido e posteriormente exportado para o *BIMserver.center* em formato IFC, garantindo compatibilidade com outros *softwares* BIM. No CYPECAD, esse modelo IFC é carregado diretamente da plataforma, permitindo que o engenheiro estrutural adicione e calcule elementos estruturais. Após análise e dimensionamento, o modelo estrutural é exportado de volta para o *BIMserver.center*. No REVIT, é possível sincronizar o projeto com a plataforma para receber as alterações feitas no CYPECAD, garantindo que o modelo arquitetônico seja atualizado automaticamente com as informações estruturais.

2.3 Lançamento da estrutura

O lançamento da estrutura no CYPECAD será feito com base nas plantas arquitetônicas fornecidas, respeitando as normas técnicas de dimensionamento estrutural e deve garantir a segurança da estrutura, um bom desempenho e a durabilidade. Como um dos objetivos é comparar a entrega final dos projetos pelo CYPECAD e pelo REVIT, deve-se primeiro dimensionar a estrutura pelo CYPECAD respeitando as restrições arquitetônicas. Para isso, o *software* permite a vinculação de arquivos DWG, auxiliando a modelagem estrutural. O modelo arquitetônico possui muitas paredes de vidro, o que não permite a inclusão de pilares em certas regiões e demandará de algumas vigas em balanço.

A concepção da estrutura se dá inicialmente com o posicionamento dos pilares, depois com a inclusão das vigas e, por fim, das lajes. O lançamento dos pilares se deu na ordem dos pilares de canto, das extremidades (bordas) e dos pilares centrais para evitar que pilares fiquem muito próximos sem necessidade, respeitando a distância máxima de 6 metros um do outro. Deve-se também localizar a caixa d'água para locar 4 pilares para suportar seu peso. Antes de vincular o arquivo DWG no CYPECAD, é indicado fazer um tratamento do arquivo arquitetônico, apagando elementos que não são necessários para a concepção estrutural e colocando cada

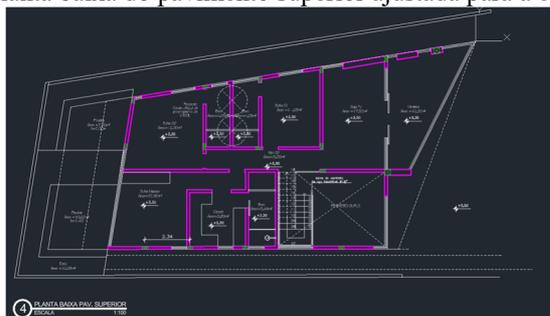
pavimento em um arquivo DWG diferente. A exemplo, as Figuras 3 e 4 mostram o antes e depois do pavimento superior que será usado para ser vinculado no CYPECAD, e ainda no AutoCAD, como mostra na Figura 4, a posição dos pilares já foi pré-concebida para facilitar o lançamento, sendo representados pela cor verde.

Figura 3 – Planta baixa do pavimento superior usada para a concepção estrutural



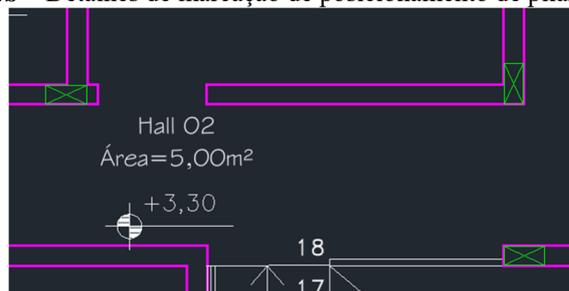
Fonte: AutoCAD (2024)

Figura 4a – Planta baixa do pavimento superior ajustada para a concepção estrutural



Fonte: AutoCAD (2024)

Figura 4b – Detalhes de marcação de posicionamento de pilares (em verde)



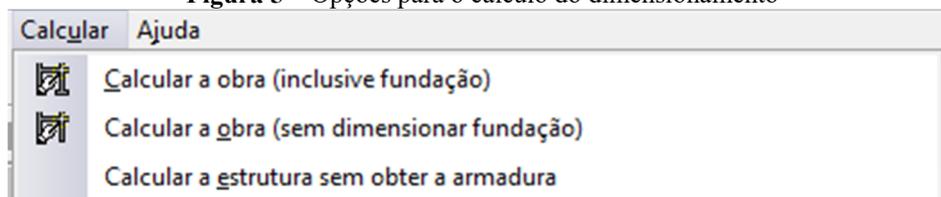
Fonte: AutoCAD (2024)

A área mínima, segundo a ABNT NBR 6114:2023, para pilares é 360 cm^2 com base mínima de 14 cm. Como primeira estimativa, foram adotadas para todos os pilares e vigas as dimensões de 15 x 30 cm, o que dá 450 cm^2 . Devido à arquitetura que possui paredes com extremidades laterais inclinadas, a solução adotada foi lançar vigas inclinadas nos locais para que as paredes seguissem o formato. Para o lançamento das lajes, foi escolhido o tipo “vigotas armadas”, para

o pavimento superior, sendo TR 12 + 4 (armação treliçada que tem 12 centímetros de altura mais 4 cm de capa de concreto) com bloco do tipo poliestireno, e para a laje de cobertura, o tipo TR 8 + 4, pois as cargas são menores nessa laje. Todas as vigotas são inseridas sendo paralelas a uma viga e na menor direção do vão. Para o lançamento da escada, foi inserida uma viga de apoio no térreo (viga V5). A escada é formada por dois lances em U, com um patamar apoiado em uma meia parede. Segundo estabelecido previamente pela arquitetura, a escada possui 18 degraus com pisos de 30 cm, espelhos de 18 cm e largura horizontal de 90 cm. O CYPECAD permite o cálculo da obra junto à fundação ou à parte dela (Figura 5). Nesse caso, primeiro foi calculada toda a estrutura, e com as armaduras corrigidas, a fundação foi calculada.

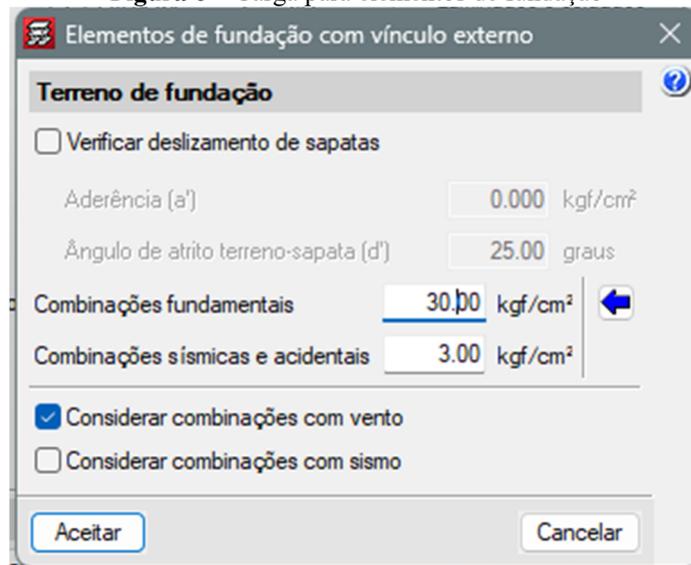
Para a fundação do imóvel, o CYPECAD permite a análise de diferentes soluções conforme as características do solo e da estrutura. Entre as opções viáveis, destacam-se as sapatas corridas, indicadas para edificações com cargas distribuídas ao longo de paredes, e as placas radier, recomendadas para solos com menor capacidade de suporte, proporcionando uma distribuição uniforme das cargas e reduzindo recalques diferenciais. O tipo de fundação escolhido foi do tipo sapata retangular excêntrica, o que para esse tipo de obra é suficiente para suportar as cargas, tendo suas dimensões adotadas como mínimas. Quanto ao laudo técnico de ensaio para a fundação, foi realizado um ensaio de penetração dinâmica, onde devido a formações rochosas a poucos centímetros da superfície, não se conseguiu efetuar a perfuração necessária para a realização dos ensaios penetrométricos (SPT) segundo a ABNT NBR 6484:2021. A 0,32 m da superfície foi constatada a presença de rocha, logo, segundo a ABNT NBR 6122:2019 (Projeto e Execução de fundações) em sua Tabela 4, para rocha sã, maciça, o valor da pressão básica é de 3,0 MPa, que em kgf/cm^2 equivale a 30,59, sendo arredondado então para 30 kgf/cm^2 , como mostra a Figura 6. Não foi considerada a opção de combinações com sismo.

Figura 5 – Opções para o cálculo do dimensionamento



Fonte: CYPECAD (2024)

Figura 6 – Carga para elementos de fundação



Fonte: CYPECAD (2024)

Todo o dimensionamento de armaduras feito pelo CYPECAD irá tentar garantir a segurança contra a ruptura, que após o cálculo estrutural, ficará visível quais elementos precisarão de ajustes, por isso caberá ao projetista ter a capacidade de fazer uma boa análise e resolver os problemas técnicos apresentados. Na Figura 7, é mostrado o modelo 3D da estrutura lançada.

Figura 7 – Lançamento da estrutura no CYPECAD



Fonte: CYPECAD (2024)

2.4 Ações e combinações de ações no CYPECAD

CYPECAD é um software que pode especificar ações e combinações de ações com base no tipo de projeto e regulamentações relevantes. Ele executa as seguintes etapas para dimensionamento:

1. Definição de cargas: Pode-se introduzir cargas fixas e variáveis nos componentes da estrutura, incluindo peso do material, força do vento e mais. Ele calcula

automaticamente certas cargas (como o peso próprio) e a entrada manual de outras (como as cargas e sobrecargas de ocupação);

2. Definição das combinações de ações: Geração automática de combinações permanentes, variáveis e acidentais, considerando coeficientes para estados limite último (ELU) e de serviço (ELS).
3. Avaliação estrutural: Análise da segurança e funcionamento da estrutura, verificando esforços como momentos fletores, forças cortantes e axiais.
4. Dimensionamento e avaliação: Cálculo das dimensões dos componentes estruturais, garantindo resistência no ELU e verificando deformações e estabilidade no ELS.
5. Relatórios e conclusões: Geração de documentação com esforços aplicados, resultados da análise e comprovação da conformidade com normas.

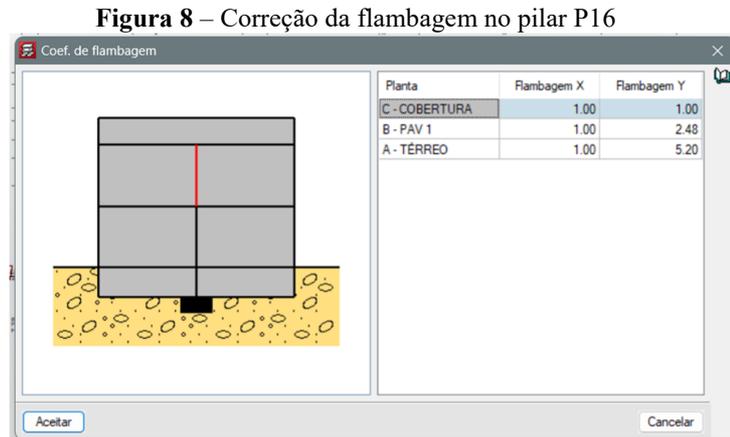
Embora o CYPECAD ofereça automaticamente combinações baseadas em normas, ele também possibilita a adaptação das combinações de forças de acordo com as exigências particulares do projeto. Por exemplo, pode-se adicionar combinações para situações de vento intenso em áreas específicas ou integrar cargas acidentais que possam surgir durante a utilização da estrutura.

2.5 Cargas utilizadas

O sistema CYPECAD calcula automaticamente o peso da estrutura, que pode ser duplicado caso seja negligenciado. A partir da NBR 6120:2019, são encontrados os pesos dos componentes construtivos, para incluir na estrutura as cargas e sobrecargas de acordo com os materiais escolhidos e tipos de ambientes na residência. Para a vedação, foi escolhido bloco cerâmico vazado de 14 e 19 cm, sendo que a NBR dispõe o valor do peso em função da escolha da espessura do revestimento por face, sendo este escolhido de 2 cm (o mais espesso) como fator de segurança.

Um fator importante a ser considerado é em relação às vigas que não têm travamento em uma de suas direções, pois o CYPECAD dimensiona os pilares como se todos eles estivessem travados. Deve-se então corrigir o comprimento de flambagem com relação ao ponto e na direção sem travamento. Os pilares que estão nessa condição desde sua concepção estrutural são os pilares P6, P13, P14 e P15, que não possuem travamento no térreo na direção y, e o pilar P16, que não possui travamento no térreo e no pavimento superior também na direção y. O comprimento de flambagem é corrigido dividindo-se o comprimento total do pilar (7,8 m) pela altura do ponto que não está travado pelo pilar, que no térreo é 1,5 m, no pavimento superior e

pavimento de cobertura são 3,15 m, logo, para os pontos necessitados, tem-se a correção com o valor de 5,2 m para o térreo e 2,48 m para o pavimento superior e pavimento de cobertura. A Figura 8 mostra o pilar P16 com os valores de correção no comprimento de flambagem. Todos os pilares que não precisam de correção continuaram com o valor 1 no *software*.



Fonte: CYPECAD (2024)

Sobre a ação do vento, o CYPECAD permite a inserção de seus valores de acordo com a região e o cálculo estrutural irá incluir automaticamente essas ações. O programa indica que a região da qual o empreendimento faz parte (região em azul) possui uma velocidade básica de vento de 30 m/s. Para esse projeto, foi adotada uma média um pouco acima como medida de segurança de 35 m/s, como mostra a Figura 9.



Fonte: CYPECAD (2024)

A carga permanente das paredes sobre as vigas é calculada multiplicando o peso do bloco cerâmico pela altura total da parede e distribuindo-a linearmente. A arquitetura possui paredes de caixilhos com vidro que interseccionam com a alvenaria. Devido à alvenaria ser mais pesada, ao longo de todas as vigas que têm paredes, foi considerada a alvenaria como peso principal. O peso do caixilho junto ao vidro foi usado para o dimensionamento da viga da varanda do pavimento superior e em trechos das vigas V6 e V14 do térreo. Para a laje do pavimento superior, foi considerado o peso do revestimento de pisos e edifícios residenciais e comerciais junto com o peso do forro de gesso. Na cobertura, foi considerado o peso do forro de gesso junto à telha de fibrocimento. A carga permanente para a laje da caixa d'água foi calculada considerando o peso de duas caixas de 10.000 L cada. Na Tabela 1, são apresentados os materiais utilizados para o dimensionamento e sua respectiva carga.

Tabela 1 – Peso dos materiais usados para a carga permanente da estrutura

MATERIAIS	PESO - ESPESSURA DE REVESTIMENTO POR FACE (kN·m ²)
Bloco cerâmico vazado 14 cm	1,9
Bloco cerâmico vazado 19 cm	2,3
Telhas de fibrocimento onduladas (com espessura até 5 mm) e estrutura de madeira	0,4
Forro de gesso em placas, inclui estrutura de suporte	0,15
Revestimentos de pisos de edifícios residenciais e comerciais	1,0
Caixilhos, incluindo vidro simples (espessura 4 mm) — de alumínio,	0,2

Fonte: Autor (2024)

Como os valores dos pesos da Tabela 1 e considerando as dimensões dos elementos e o tipo de elemento, foi calculado o valor da carga permanente, valores esses convertidos em t/m, unidade usada no *software*. Nas vigas que não possuem carga de parede, foi atribuído um valor mínimo de 0,19 tf·m⁻¹ por fator de segurança (carga atribuída a vigas que possuem blocos de 0,14 m e altura de 1 m). Quanto às vigas da cobertura, apenas as vigas de borda têm carga de parede, não sendo atribuída carga permanente nas vigas internas. A varanda possui uma parede de 0,15 m de altura com caixilhos de 0,9 m, portanto multiplica-se cada altura ao seu peso e somam-se as cargas para obter a carga final. Esse procedimento foi feito para cada elemento. O peso da caixa d'água foi adquirido de acordo com seu volume e densidade da água. A Tabela 2 mostra a atribuição de cargas permanentes nas vigas de acordo com as características das paredes que cada viga suporta.

Tabela 2 – Atribuição de cargas permanentes nas vigas de acordo com as características das paredes que cada viga suporta.

CARACTERÍSTICAS	CARGA PERMANENTE (t/m)
Altura parede 2,6 m; bloco de 14 cm	0,50
Altura parede 2,5 m; bloco de 14 cm	0,48
Altura parede 2,6 m; blocos de 19 cm	0,59
Caixilhos e vidros com 6 m de altura	0,12
Sem carga de parede	0,19
Varanda com guarda-corpo de vidro	0,05
2 Caixas d'água 10.000 L	0,23

Fonte: Autor (2024)

Para as cargas permanentes das lajes, foram considerados os elementos presentes em cada laje de acordo com a Tabela 1. Somando esses elementos e convertendo em t/m, têm-se os valores apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Valores das cargas permanentes das lajes

PAVIMENTO	ELEMENTOS CONSIDERADOS	CARGA PERMANENTE (t/m)
Superior	Forro de gesso + contrapiso + revestimento	0,12
Coberta	Forro de gesso + Telhado de fibrocimento	0,06
Caixa d'água	Mínima para manutenção	0,1
Escada	Guarda-corpo + revestimento	0,14

Fonte: Autor (2024)

Para o dimensionamento adequado das lajes, um aspecto crucial a ser levado em conta é a sobrecarga. Essa sobrecarga refere-se à carga que atua sobre a estrutura além do peso dos materiais utilizados na construção. Em um projeto de laje, as sobrecargas precisam ser definidas com base no tipo de ambiente onde a laje será empregada, considerando a finalidade de cada área. Por exemplo, em construções residenciais, as sobrecargas costumam ser inferiores em relação a prédios comerciais ou industriais, onde o movimento de pessoas e o peso dos dispositivos são mais significativos. Para áreas residenciais, as normas técnicas costumam prescrever cargas de ocupação menores, ao passo que para armazéns, ginásios ou locais com alta densidade de equipamentos pesados, as sobrecargas são consideravelmente maiores.

A norma ABNT NBR 6120:2019 determina as cargas acidentais necessárias para o dimensionamento estrutural das lajes, variando conforme a finalidade do espaço. Ao analisar a estrutura do projeto, é necessário reconhecer os variados tipos de ambientes apresentados na arquitetura, como dormitórios, cozinhas, áreas de serviço e escritórios, além de relacionar cada um à sua carga específica. Essa seleção meticulosa das cargas foi fundamentada na utilização

esperada para cada espaço. A Tabela 4 mostra os ambientes que o projeto arquitetônico apresenta e as cargas relacionadas.

Tabela 4 – Valores das sobrecargas por ambiente

AMBIENTE	CARGA UNIFORMEMENTE DISTRIBUÍDA (kN·m ⁻²)
Dormitórios	1,5
Sala, copa, cozinha	1,5
Sanitários	1,5
Dispensa, área de serviço e lavanderia	2,0
Áreas de uso comum	3,0
Corredores de uso comum	3,0
Depósitos	3,0
Cobertura	1,0
Escada	0,25

Fonte: Autor (2024)

2.6 Critérios de análise para o dimensionamento da estrutura

No CYPECAD, as forças cortantes e os momentos fletores são examinados de maneira minuciosa para assegurar que os componentes estruturais concebidos sejam capazes de suportar as cargas aplicadas. Esses esforços são fundamentais para o dimensionamento adequado de vigas, lajes e pilares, assegurando a segurança e a estabilidade da construção ao longo do tempo.

O CYPECAD realiza automaticamente uma verificação para assegurar que o esforço cortante calculado esteja abaixo da capacidade de resistência do concreto e do aço. Se esse valor exceder os limites permitidos, o *software* indica os pontos de mais solicitação para que sejam analisados. Também é verificado se a seção transversal do concreto e as barras de aço têm capacidade para suportar o momento fletor sem que ocorra fissuração ou deformação excessiva. Caso o valor calculado seja superior à capacidade da seção, também são indicados os pontos para ajustes. A avaliação de forças cortantes e momentos fletores faz parte da análise estrutural global. Com essas informações, o *software* produz os gráficos de cortante e momento fletor, destacando os locais onde as solicitações são mais significativas. Esses gráficos podem ser exibidos no CYPECAD, proporcionando uma maneira clara de identificar áreas críticas e realizar escolhas relacionadas ao dimensionamento. O programa torna essa análise mais acessível e compreensível por meio de relatórios abrangentes e gráficos ilustrativos.

3.1.1 Verificação dos pilares

No dimensionamento inicial, alguns pilares não passaram em algumas verificações da NBR 6118:2014, a exemplo do pilar P13 que não passou no estado limite de ruptura frente a solicitações normais e ao esforço cortante e na armadura mínima e máxima, tendo as dimensões iniciais 15 x 30 cm, e os erros seguiram em todos os pavimentos, como mostram as Figuras 11 e 12.

Figura 11 – Dimensionamento inicial do pilar P13

Edição da armadura		Dimensão		Armadura longitudinal						Armadura transversal		As/As (%)	
		X (cm)	Y (cm)	Cantos		Face X		Face Y		Estribos	Espaçamento		
C - COBERTURA	6.3 m	30	15	4	Ø16	6	Ø16	0	--	Ø5	6	4.5	×
B - PAV 1	3.15 m	30	15	4	Ø16	6	Ø16	0	--	Ø5	9	4.5	×
A - TÉRREO	0 m	30	15							Ø5	10	4.5	×
Fundação	-1.5 m			4	Ø16	6	Ø16	0	--	Ø4.2	--	4.5	×

Fonte: CYPECAD (2024)

Figura 12 – Erros associados ao dimensionamento inicial do pilar P13

Verificação		
<input checked="" type="checkbox"/> Mostrar só as verificações não cumpridas		
Estado	Zona	Verificação
Erro	Fundação	Estado limite de ruptura frente a solicitações normais (ABNT NBR 6118:2014, Artigos 11.3.3.4.3, 15.8 e 17)
Erro	A - TÉRREO (-1.5 - 0 m)	Armadura mínima e máxima (ABNT NBR 6118:2014, Artigo 17.3.5.3)
Erro	A - TÉRREO (-1.5 - 0 m)	Estado limite de ruptura frente a solicitações normais (ABNT NBR 6118:2014, Artigos 11.3.3.4.3, 15.8 e 17)
Erro	B - PAV 1 (0 - 3.15 m)	Armadura mínima e máxima (ABNT NBR 6118:2014, Artigo 17.3.5.3)
Erro	B - PAV 1 (0 - 3.15 m)	Estado limite de ruptura frente a solicitações normais (ABNT NBR 6118:2014, Artigos 11.3.3.4.3, 15.8 e 17)
Erro	C - COBERTURA (3.15 - 6.3 m)	Armadura mínima e máxima (ABNT NBR 6118:2014, Artigo 17.3.5.3)
Erro	C - COBERTURA (3.15 - 6.3 m)	Estado limite de ruptura frente a solicitações normais (ABNT NBR 6118:2014, Artigos 11.3.3.4.3, 15.8 e 17)
<input checked="" type="checkbox"/> Há 7 verificações não cumpridas.		

Fonte: CYPECAD (2024)

Deve-se então ajustar as armaduras e/ou as dimensões dos pilares para corrigir os erros. No caso do pilar P13, observou-se que não era mais possível aumentar a armadura, pois já existia erro de área de armadura máxima já ultrapassada, então a solução encontrada foi aumentar as dimensões dos pilares, primeiro na direção x, que relativo à posição do pilar frente à arquitetura não iria ter alguma alteração. Ao alterar as dimensões para 15 x 40 cm e recalculer a armadura, constatou-se que mesmo assim não passou nas verificações no pavimento da fundação e do térreo, com erros no estado de ruptura e de armadura máxima, como mostram as Figuras 13 e 14.

Figura 13 – Primeira tentativa de ajuste no dimensionamento do pilar P13

Edição da armadura												Opções		Atualizar
	Dimensão	Dimensão		Armadura longitudinal						Armadura transversal		As/Ac (%)		
		X (cm)	Y (cm)	Cantos		Face X		Face Y		Estribos	Espaçamento			
C - COBERTURA	6.3 m	40	15	4	Ø12.5	12	Ø12.5	0	--	Ø5	15	3.3	✓	
B - PAV 1	3.15 m	40	15	4	Ø12.5	12	Ø12.5	0	--	Ø5	15	3.3	✓	
A - TÉRREO	0 m	40	15							Ø5	15	4.7	✗	
Fundação	-1.5 m			4	Ø16	10	Ø16	0	--	Ø4.2	--	4.7	✗	

Resumo das verificações																		
Pilar	Posição	Verificações					Combinação	Veri.	Esforços desfavoráveis					Referência		Eq.	Com.	
		Disp.	Arm.	Q (%)	N.M (%)	Aprov. (%)			N (t)	Mox (t.m)	Myy (t.m)	Qx (t)	Qy (t)	Mox (t.m)	Myy (t.m)			
P13	Ext. Superior	✓	✗	88.2	✗	✗	PP+CP	Am..N.M	24.16	-13.26	-2.73	3.04	-0.43	-0.41	-2.27			
							1.4 PP+1.4 CP+0.7 Qa+1.4 V(+X)	Q	34.05	-18.69	-3.64	4.57	-0.65	-0.58	-3.04			
	Ext. Inferior	✓	✗	88.1	✗	✗	PP+CP	Am..N.M	24.46	10.54	1.65	3.04	-0.43	0.11	1.38			
							1.4 PP+1.4 CP+0.7 Qa+1.4 V(+X)	Q	34.47	15.01	2.93	4.57	-0.65	0.20	2.44			
Elemento de Fundação		N.A.	N.A.	29.4	✗	✗	PP+CP	N.M	24.46	10.23	1.65	3.04	-0.43	0.11	1.38			

Fonte: CYPECAD (2024)

Figura 14 – Erros associados a primeira tentativa de ajuste do pilar P13

Mostrar só as verificações não cumpridas		
Estado	Zona	Verificação
✗ Erro	Fundação	Estado limite de ruptura frente a solicitações normais (ABNT NBR 6118:2014, Artigos 11.3.3.4.3, 15.8 e 17)
✗ Erro	A - TÉRREO (-1.5 - 0 m)	Armadura mínima e máxima (ABNT NBR 6118:2014, Artigo 17.3.5.3)
✗ Erro	A - TÉRREO (-1.5 - 0 m)	Estado limite de ruptura frente a solicitações normais (ABNT NBR 6118:2014, Artigos 11.3.3.4.3, 15.8 e 17)

Fonte: CYPECAD (2024)

Aumentando ainda mais que 40 cm sem aumentar os 15 cm, daria erro de esbeltez. Teve que ser necessário alterar também a direção y, aumentando a espessura da parede, e como se tem uma parede contínua e em pé direito duplo, é necessário manter a espessura constante da parede, para evitar “dentes” sobressaltados e manter a estética arquitetônica. Portando, todos os pilares seguintes ao pilar P13, sendo os pilares P14, P15, P16, tiveram que ter sua espessura aumentada. Todas as verificações foram cumpridas quando o P13 teve suas dimensões alteradas para 20 x 50 cm, como mostram as Figuras 15 e 16.

Figura 15 – Segunda tentativa de ajuste no dimensionamento do pilar P13

Edição da armadura												Opções		Atualizar
	Dimensão	Dimensão		Armadura longitudinal						Armadura transversal		As/Ac (%)		
		X (cm)	Y (cm)	Cantos		Face X		Face Y		Estribos	Espaçamento			
C - COBERTURA	6.3 m	50	20	4	Ø12.5	2	Ø12.5	0	--	Ø5	15	0.7	✓	
B - PAV 1	3.15 m	50	20	4	Ø12.5	2	Ø12.5	0	--	Ø5	15	0.7	✓	
A - TÉRREO	0 m	50	20							Ø5	19	2.8	✓	
Fundação	-1.5 m			4	Ø16	10	Ø16	0	--	Ø4.2	--	2.8	✓	

Resumo das verificações																		
Pilar	Posição	Verificações					Combinação	Veri.	Esforços desfavoráveis					Referência		Eq.	Com.	
		Disp.	Arm.	Q (%)	N.M (%)	Aprov. (%)			N (t)	Mox (t.m)	Myy (t.m)	Qx (t)	Qy (t)	Mox (t.m)	Myy (t.m)			
P13	Ext. Superior	✓	✓	37.0	87.6	97.7	1.4 PP+1.4 CP+1.4 Qa+0.84 V(-Y)	Q,N,M	7.66	2.72	-1.11	1.10	2.01	2.53	-1.11			
	Ext. Inferior	✓	✓	37.0	97.7		1.4 PP+1.4 CP+1.4 Qa+0.84 V(-Y)	Q,N,M	8.59	-3.01	1.81	1.10	2.01	-2.80	1.81			

Fonte: CYPECAD (2024)

Figura 16 – Verificação de erros após o segundo ajuste do pilar P13

Estado	Zona	Verificação
✓ Passa	Fundação	Disposições relativas às armaduras (ABNT NBR 6118:2014, Artigos 13.2.3, 18.2.4 e 18.4)
✓ Passa	Fundação	Armadura mínima e máxima (ABNT NBR 6118:2014, Artigo 17.3.5.3)
✓ Passa	Fundação	Estado limite de ruptura relativo ao esforço cortante (ABNT NBR 6118:2014, Artigos 17.4.1.1, 17.4.2.2 e 18.3.3.2)
✓ Passa	Fundação	Estado limite de ruptura frente a solicitações normais (ABNT NBR 6118:2014, Artigos 11.3.3.4.3, 15.9 e 17)
✓ Passa	A - TERREO (1.5 - 0 m)	Disposições relativas às armaduras (ABNT NBR 6118:2014, Artigos 13.2.3, 18.2.4 e 18.4)
✓ Passa	A - TERREO (1.5 - 0 m)	Armadura mínima e máxima (ABNT NBR 6118:2014, Artigo 17.3.5.3)
✓ Passa	A - TERREO (1.5 - 0 m)	Estado limite de ruptura relativo ao esforço cortante (ABNT NBR 6118:2014, Artigos 17.4.1.1, 17.4.2.2 e 18.3.3.2)
✓ Passa	A - TERREO (1.5 - 0 m)	Estado limite de ruptura frente a solicitações normais (ABNT NBR 6118:2014, Artigos 11.3.3.4.3, 15.9 e 17)
✓ Passa	B - PAV 1 (0 - 3.15 m)	Disposições relativas às armaduras (ABNT NBR 6118:2014, Artigos 13.2.3, 18.2.4 e 18.4)
✓ Passa	B - PAV 1 (0 - 3.15 m)	Armadura mínima e máxima (ABNT NBR 6118:2014, Artigo 17.3.5.3)
✓ Passa	B - PAV 1 (0 - 3.15 m)	Estado limite de ruptura relativo ao esforço cortante (ABNT NBR 6118:2014, Artigos 17.4.1.1, 17.4.2.2 e 18.3.3.2)
✓ Passa	B - PAV 1 (0 - 3.15 m)	Estado limite de ruptura frente a solicitações normais (ABNT NBR 6118:2014, Artigos 11.3.3.4.3, 15.9 e 17)
✓ Passa	C - COBERTURA (3.15 - 6.3 m)	Disposições relativas às armaduras (ABNT NBR 6118:2014, Artigos 13.2.3, 18.2.4 e 18.4)
✓ Passa	C - COBERTURA (3.15 - 6.3 m)	Armadura mínima e máxima (ABNT NBR 6118:2014, Artigo 17.3.5.3)
✓ Passa	C - COBERTURA (3.15 - 6.3 m)	Estado limite de ruptura relativo ao esforço cortante (ABNT NBR 6118:2014, Artigos 17.4.1.1, 17.4.2.2 e 18.3.3.2)
✓ Passa	C - COBERTURA (3.15 - 6.3 m)	Estado limite de ruptura frente a solicitações normais (ABNT NBR 6118:2014, Artigos 11.3.3.4.3, 15.9 e 17)

Todas as verificações foram cumpridas.

Disposições relativas às armaduras (ABNT NBR 6118:2014, Artigos 13.2.3, 18.2.4 e 18.4)

Visualizar impressão | Configuração | Imprimir | Procurar

Compartilhar | Exportar

Disposições relativas às armaduras (ABNT NBR 6118:2014, Artigos 13.2.3, 18.2.4 e 18.4)
A verificação não é necessária

Fonte: CYPECAD (2024)

É importante salientar que o CYPECAD nem sempre vai encontrar a melhor combinação de armaduras possível, portanto, é indispensável verificar todos os pilares individualmente, mesmo com todas as verificações sendo inicialmente cumpridas. Esse procedimento do pilar P13 foi feito para todos os pilares até que todas as verificações tivessem sido cumpridas. Figura 17.

Figura 17 – Pilares sem indicação de erros após as correções

Agrupamentos			
Rev.	Blo.	Pilares	Pas. Pisos
<input type="checkbox"/>		P1 e P4	✓ Fundação - C - COBERTURA
<input type="checkbox"/>		P2	✓ Fundação - D - CAIXA D'AGUA
<input type="checkbox"/>		P3	✓ Fundação - D - CAIXA D'AGUA
<input type="checkbox"/>		P5	✓ Fundação - C - COBERTURA
<input type="checkbox"/>		P6	✓ Fundação - C - COBERTURA
<input type="checkbox"/>		P7	✓ Fundação - C - COBERTURA
<input type="checkbox"/>		P8	✓ Fundação - D - CAIXA D'AGUA
<input type="checkbox"/>		P9	✓ Fundação - D - CAIXA D'AGUA
<input type="checkbox"/>		P10	✓ Fundação - C - COBERTURA
<input type="checkbox"/>		P11	✓ Fundação - C - COBERTURA
<input type="checkbox"/>		P12	✓ Fundação - C - COBERTURA
<input type="checkbox"/>		P13	✓ Fundação - C - COBERTURA
<input type="checkbox"/>		P14	✓ Fundação - C - COBERTURA
<input type="checkbox"/>		P15	✓ Fundação - C - COBERTURA
<input type="checkbox"/>		P16	✓ Fundação - C - COBERTURA

Fonte: CYPECAD (2024)

Devido ao aumento da espessura de 15 a 20 cm na direção y dos pilares P13, P14, P15, P16, para suportar o fator de tensão por ruptura e as áreas de aço, o bloco de 19 cm foi usado como consequência. A Tabela 5 mostra as dimensões finais de todos os pilares.

Tabela 5 – Dimensões finais dos pilares

DIMENSÃO (cm)	VIGAS
15 x 30	P1, P2, P3, P4, P9, P10, P11
15 x 40	P5, P7, P8
30 x 30	P6, P12
50 x 20	P13
40 x 20	P14, P16
45 x 20	P15

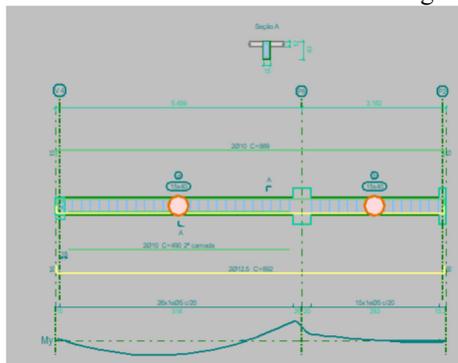
Fonte: Autor (2024)

A fundação foi calculada após toda a edificação ser dimensionada. Por ser em rocha, não houve problemas no dimensionamento, tendo as dimensões das sapatas tomadas como mínimas, como indica a ABNT NBR 6122:2019, não sendo inferiores a 0,60 m.

3.1.2 Verificação das vigas

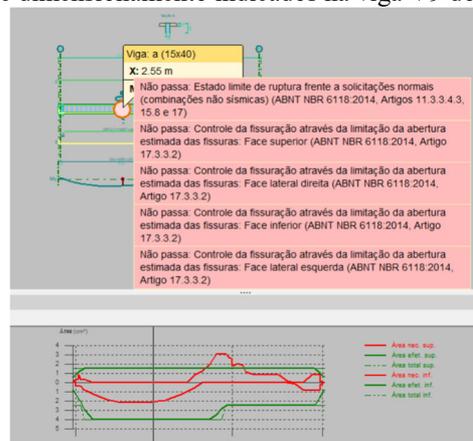
Outro fator a ser considerado é a variação da altura das vigas do pavimento superior e do pavimento de cobertura, que varia de 40 a 50 cm, o que irá interferir nas cargas permanentes das vigas do pavimento imediatamente abaixo, pois a altura total da parede diminui. Ao dimensionar as vigas, além de corrigir os erros, é indicado verificar cada viga para tentar otimizar as armaduras. As Figuras 18 e 19 mostram a localização e quais os erros de dimensionamento na viga V9 do pavimento de cobertura. Observa-se que cada viga apresentada no CYPECAD tem um gráfico associado às áreas de aço mínima necessário em vermelho e à área atual em verde que deve ser modificada conforme são feitas as alterações.

Figura 18 – Locais de erros de dimensionamento indicados na viga V9 do pavimento de coberta



Fonte: CYPECAD (2024)

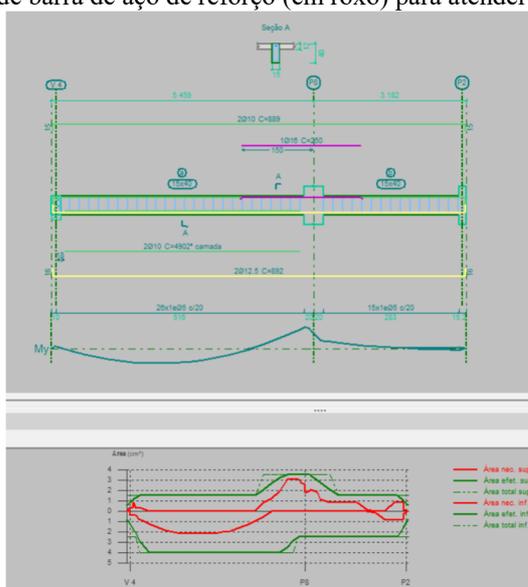
Figura 19 – Erros de dimensionamento indicados na viga V9 do pavimento de coberta



Fonte: CYPECAD (2024)

Percebe-se que a região em volta do pilar P8 necessita de mais reforço estrutural, logo, ao acrescentar uma barra de aço nessa região, indicada no gráfico, a linha verde (que indica a área de aço efetiva) aumenta, ultrapassando a linha vermelha (que indica a área de aço mínima necessária), e o erro é sanado, como mostra a Figura 20.

Figura 20 – Inserção de barra de aço de reforço (em roxo) para atender a região mais solicitada



Fonte: CYPECAD (2024)

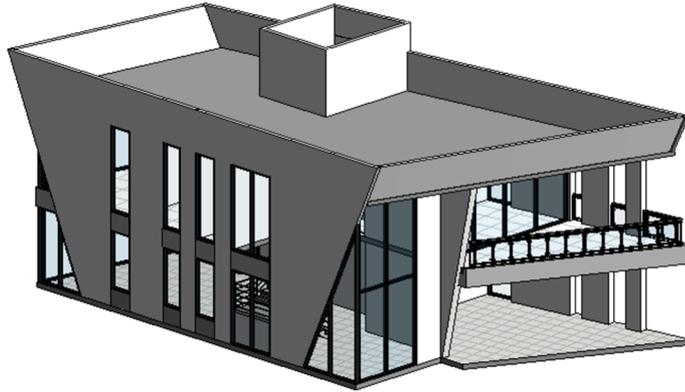
Como algumas vigas não puderam ter sua flecha reduzida com o uso de armadura adicional, foram especificadas no projeto contraflechas de acordo com o indicado no *software*. As que necessitaram de contraflecha são as vigas V7, V9, V15 do pavimento superior. Sendo que para a viga V15 foi necessária uma contraflecha de apenas 0,02 mm, podendo ser ignorada, e as vigas V7 e V9 tiveram contraflechas de 2 e 1 cm, respectivamente. Nas vigas do térreo, como há a contribuição do solo, não foi necessário acrescentar contraflechas. Todo esse procedimento de análise foi feito em todas as vigas. Na Tabela 6, são apresentadas as dimensões finais das vigas projetadas.

Tabela 6 – Dimensões das vigas por pavimento

PAVIMENTO	DIMENSÃO (cm)	VIGAS
Térreo	30 x 15	V1, ..., V15
Pavimento superior	15 x 50	V1, V3, V5, V11, V13, V15
	15 x 40	V2, V6, ..., V10, V12, V14
Coberta	20 x 50	V4
	15 x 50	V1, V13
	15 x 40	V2, V3, V6 à V12
Caixa d'água	20 x 50	V4 e V5
Caixa d'água	15 x 40	V1, V2, V3, V4
Viga inclinada	15 x 30	V11
	20 x 30	V12, V13

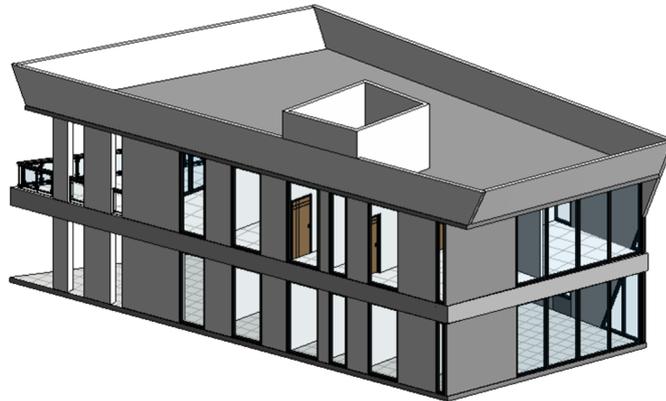
Fonte: Autor (2024)

Figura 24 – Modelagem arquitetônica 3D no REVIT: perspectiva 1



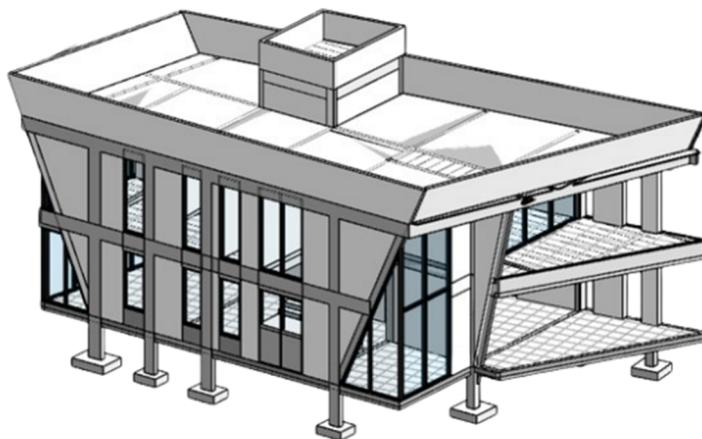
Fonte: REVIT (2024)

Figura 25 – Modelagem arquitetônica 3D no REVIT: perspectiva 2



Fonte: REVIT (2024)

Figura 26 – Integração do projeto arquitetônico e estrutural em uma única visualização



Fonte: REVIT (2024)

3.4 Comparativo final dos detalhamentos entregues entre CYPECAD e o REVIT

Em termos de qualidade gráfica e apresentação visual, o REVIT tende a oferecer melhores gráficos e layouts mais sofisticados, enquanto o CYPECAD foca mais na precisão técnica dos dados, sendo uma escolha ideal para análises estruturais detalhadas, mas com gráficos menos elaborados. Outro ponto é que o REVIT, por ser um programa de modelagem, necessita de mais tempo e atenção do projetista e muita familiaridade no uso de suas ferramentas, em que, puramente sem auxílio de plugins e rotinas, a modelagem de um projeto estrutural seria muito mais custosa.

A ferramenta 3D do CYPECAD, apesar de mais limitada, sendo apenas de visualização, ainda sim é muito útil, pois irá fornecer uma visão geral do projeto. Levando isso em conta, no dia a dia do projetista, o REVIT seria mais indicado para modelagens pontuais de elementos estruturais em partes que se deseje um destaque mais elaborado.

Mesmo com o uso do IFC, ele não é perfeito, e a compatibilização entre os *softwares* por essa extensão de arquivo apresenta algumas falhas de informações, como deformações de elementos e até elementos faltando. O mais ideal é a união da parte técnica do CYPECAD junto à sofisticação gráfica do REVIT para tornar a entrega dos resultados muito superiores àqueles que só usam apenas um ou outro *software*, mas isso irá depender da criatividade do projetista.

4 CONCLUSÃO

A interoperabilidade entre os *softwares* CYPECAD e REVIT mostrou-se uma solução eficaz para o desenvolvimento de projetos estruturais complexos, aumentando a eficiência dos processos e facilitando a colaboração entre as diferentes áreas envolvidas. A aplicação da metodologia BIM, junto à capacidade de compartilhamento de dados entre as diversas plataformas, ajudou a diminuir a ocorrência de erros, elevou a precisão no dimensionamento e entrega de resultados mais visuais e detalhados. A pesquisa também enfatizou a necessidade de uma análise crítica sobre as limitações dos *softwares*, utilizando suas características complementares para melhorar o fluxo de trabalho. A combinação dos resultados do CYPECAD com a modelagem aprofundada do REVIT, especialmente através da automação, pode resultar em uma apresentação de projeto mais integrada e elaborada, evidenciando a importância da interoperabilidade e da tecnologia BIM no ramo da construção.

REFERÊNCIAS

ABREU, J. M.; BASTOS, R. M. **Integração da metodologia BIM na engenharia de estruturas**. Disponível em: <https://paginas.fe.up.pt/~be2012/Indice/BE2012/pdf-files/076_Artigo.pdf>. Acesso em: 06 dez. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações**. Rio de Janeiro, 1980.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6122: Projeto e execução de fundações**. Rio de Janeiro, 2019.

AUTODESK. **AutoCAD**. Disponível em: <<https://www.autodesk.com/products/autocad/overview>>. Acesso em: 17 out. 2024.

AUTODESK. **Comparação entre REVIT e AutoCAD**. Disponível em: <<https://www.autodesk.com.br/solutions/REVIT-vs-autocad>>. Acesso em: 11 dez. 2023.

AUTODESK. **REVIT**. Disponível em: <<https://www.autodesk.com/products/REVIT/overview>>. Acesso em: 01 out. 2024.

BRASIL. **Decreto nº 9.983, de 20 de agosto de 2019**. Dispõe sobre a implementação da tecnologia BIM no Brasil. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2019-2022/2019/Decreto/D9983.htm#art15>. Acesso em: 10 dez. 2023.

CARVALHO, D. A. **Avaliação da viabilidade técnica do uso de BIM para infraestrutura viária**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Uberlândia, 2023. Disponível em: <<https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/34621>>. Acesso em: 10 dez. 2023.

CASTRO, A. A. **A importância do BIM para o setor da construção civil**. Revista de Engenharia e Tecnologia, v. 5, n. 2, p. 45-58, 2022.

CYPE. **CYPECAD**. Disponível em: <<https://www.cype.com/software/cypecad/>>. Acesso em: 02 out. 2024.

DA SILVA, T. F. T. (2016). **Estudo da interação entre edifícios de alvenaria estrutural e pavimentos em concreto armado**. Disponível em: <<https://doi.org/10.11606/d.18.2016.tde-06042016-104201>>. Acesso em: 22 dez. 2024.

DE OLIVEIRA, O. J. (2005). **Modelo de gestão para pequenas empresas de projeto de edifícios**. Disponível em: <<https://doi.org/10.11606/t.3.2005.tde-15062005-112500>>. Acesso em: 22 dez. 2024.

FARIA, R. A. **Análise do uso de tecnologia BIM em projetos de edificações escolares**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade

Federal de Minas Gerais, 2021. Disponível em:
<<http://repositorio.fucamp.com.br/handle/FUCAMP/397>>. Acesso em: 10 dez. 2023.

FERRARI, F. B. **Planejamento e controle de obras de construção civil com o uso da tecnologia BIM**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2022. Disponível em:
<<http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/25415>>. Acesso em: 10 dez. 2023.

GOMES, L. A.; SANTOS, M. E. **Simulação de Soluções Estruturais de Aço**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade do Porto, Porto, 2012. Disponível em:
<<https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/65497/2/26493.pdf>>. Acesso em: 08 dez. 2023.

ISO. **ISO 16739: Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries**. Genebra: International Organization for Standardization, 2013.

MULTIPLUS. **Software CYPECAD: Projeto de estruturas de concreto**. Disponível em:
<<https://multiplus.com/software/cypecad/index.html>>. Acesso em: 11 dez. 2023.

PANIZZA, A. de C. **Colaboração em CAD**. Disponível em:
<https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UNICAMP-30_ef23a7cbba1124e8e0bfce37ee604d7a>. Acesso em: 08 dez. 2023.

PIRES, A. L. **Modelo de gerenciamento de projetos aplicado ao desenvolvimento de software**. *_Revista de Gestão de Projetos_*, [S. l.], v. 3, n. 3, p. 35-44, 2012. Disponível em:
<<https://www.revistas.usp.br/gestaodeprojetos/article/view/50958>>. Acesso em: 08 dez. 2023.

SILVA, L. C. **Uso de BIM para controle de custos e prazos em obras públicas**. *_Revista Rease_*, [S. l.], v. 9, n. 1, p. 129-142, 2023. Disponível em:
<<https://periodicorease.pro.br/rease/article/view/6853/2626>>. Acesso em: 11 dez. 2023.

SUCCAR, B. **Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders**. *Automation in Construction*, v. 18, n. 3, p. 357-375, 2009.

SZABO, C. Z.; TEODOR, V. I. **BIM in structural engineering: REVIT-CYPE interoperability issues**. *Journal of Building Engineering*, v. 12, p. 224-232, 2020.

PEDRO HENRIQUE DOS SANTOS SILVA

**INTEROPERABILIDADE BIM ENTRE OS *SOFTWARES* CYPECAD E REVIT EM
UM PROJETO ESTRUTURAL DE UMA EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Engenharia Civil do Campus Agreste da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, na modalidade de artigo científico, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil. Defesa realizada por vídeoconferência.

Área de concentração: Estruturas

Aprovado em 25 de outubro de 2024.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Douglas Matheus de Lima (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Me. Iálysson da Silva Medeiros (Avaliador)
Universidade Federal do Rio de Janeiro

Prof. Me. Henrique Tavares Lima (Avaliador)
Concordia University (BCEE)