



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

FRANCIELLY SANTOS FERREIRA

**MODELAGEM DE DRENAGEM SUPERFICIAL DE SUBESTAÇÃO
ELÉTRICA ATRAVÉS DO REVIT COM USO DA PROGRAMAÇÃO
VISUAL**

RECIFE

2023

FRANCIELLY SANTOS FERREIRA

**MODELAGEM DE DRENAGEM SUPERFICIAL DE SUBESTAÇÃO
ELÉTRICA ATRAVÉS DO REVIT COM USO DA PROGRAMAÇÃO
VISUAL**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia
Civil da Universidade Federal de
Pernambuco, como requisito parcial para
obtenção do título de Engenheira Civil.

Orientador (a): Rachel Perez Palha

RECIFE

2023

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Ferreira, Francielly Santos.

Modelagem de drenagem superficial de subestação elétrica através do Revit com uso da programação visual / Francielly Santos Ferreira. - Recife, 2023.
53 p. : il.

Orientador(a): Rachel Perez Palha

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Engenharia Civil - Bacharelado, 2023.

1. Revit. 2. Dynamo. 3. BIM. 4. Subestação. 5. Drenagem. I. Palha, Rachel Perez. (Orientação). II. Título.

620 CDD (22.ed.)

FRANCIELLY SANTOS FERREIRA

**MODELAGEM DE DRENAGEM SUPERFICIAL DE SUBESTAÇÃO
ELÉTRICA ATRAVÉS DO EVIT COM USO DA PROGRAMAÇÃO
VISUAL**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia
Civil da Universidade Federal de
Pernambuco, como requisito parcial para
obtenção do título de Engenheira Civil.

Aprovado em: 03/10/2023

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Rachel Perez Palha (Orientadora)
Universidade Federal de Pernambuco

MSc. Claudia Rafaela S. de Melo S. Nascimento (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Bruna Brito Liberal (Examinador Externo)
Engenheira civil, TPF Engenharia

AGRADECIMENTOS

Ao fim dessa longa caminhada, gostaria de agradecer a todos que estiveram ao meu lado independentemente do tamanho da dificuldade enfrentada.

Minha família que tanto amo, Maria de Fátima, Ronaldo, Flávia e todos os meus amados irmãos, vocês são o pilar de toda conquista que alcanço em minha vida. Minha eterna gratidão por nunca desistirem de acreditar em mim, pelo imenso apoio e carinho incondicional.

Um agradecimento especial a Terezinha (in memoriam), minha vó. Embora não possas estar comigo no dia da minha formatura, como te prometi, estarás eternamente presente em meus agradecimentos.

Aos meus colegas e amigos que cruzaram meu caminho e continuam comigo após uma jornada de muitas abdições mas também de muitos momentos de alegria. A presença de vocês tornou tudo mais fácil e significativo, o mais terno abraço a todos.

À Gabriela, meu porto seguro, sua presença me inspirou e me deu forças nos mais desafiadores momentos dessa caminhada. Você foi essencial para essa realização, espero poder proporcionar o mesmo em seus sonhos.

Aos colegas do trabalho, agradeço a todos pelo companheirismo, pelos sorrisos que me proporcionaram e por toda experiência que trocamos nesses anos.

À minha querida professora orientadora Rachel Palha, pela sua enorme demonstração de paciência e zelo durante esta pesquisa. Agradeço a sua disposição em todos os encontros, por seu conhecimento e orientação. Agradeço imensamente pela confiança e por ter me proporcionado a luz necessária para tornar esse trabalho possível.

A todos, que de alguma forma contribuíram para que eu pudesse chegar até aqui, minha mais sincera gratidão.

“Se ao menos o medo me fizesse recuar, pelo contrário, avanço mais e mais na mesma proporção desse medo. É como se o medo fosse uma coragem ao contrário” (Conceição, 2016, p. 62).

RESUMO

O presente estudo visa explorar a viabilidade da utilização da modelagem da informação da construção (BIM) para o desenvolvimento de projetos de drenagem na engenharia civil voltados para subestações elétricas. O uso do BIM tem se tornado fundamental na modernização da indústria da construção, possibilitando uma abordagem mais eficiente e precisa no planejamento e execução de projetos da engenharia. O estudo aborda a aplicação do software Revit como plataforma central para o desenvolvimento de modelos BIM, dando ênfase em sua utilidade na criação de projetos detalhados e na integração de informações multidisciplinares. Além disso, o Dynamo é explorado como uma ferramenta de automação e otimização de processos dentro do ambiente Revit, proporcionando um horizonte promissor na eficiência de projetos. O presente trabalho analisa os benefícios dessa abordagem, de forma aplicada a um projeto de drenagem pluvial para subestação de energia elétrica, de forma a apresentar as vantagens atreladas a essa utilização, como a economia de tempo e precisão na modelagem. Por meio de um estudo de caso são apresentadas as aplicações práticas dessas tecnologias, apresentando como a utilização do Revit, Dynamo e a programação visual está moldando o futuro dos projetos de engenharia civil, resultando em soluções mais eficientes e precisas.

Palavras-chave: Revit; Dynamo; BIM; Subestação; Drenagem.

ABSTRACT

This study aims to explore the feasibility of using Building Information Modeling (BIM) to develop civil engineering drainage projects for electrical substations. The use of BIM has become fundamental in the modernization of the construction industry, enabling a more efficient and accurate approach to the planning and execution of engineering projects. The study addresses the application of Revit software as a central platform for developing BIM models, emphasizing its usefulness in creating detailed designs and integrating multidisciplinary information. In addition, Dynamo is explored as a tool for automating and optimizing processes within the Revit environment, providing a promising horizon for project efficiency. This paper analyzes the benefits of this approach as applied to a storm drainage project for an electricity substation, in order to present the advantages associated with its use, such as time savings and accuracy in modeling. Through a case study the practical applications of these technologies are presented, showing how the use of Revit, Dynamo and visual programming is shaping the future of civil engineering projects, resulting in more efficient and accurate solutions.

Keywords: Revit; Dynamo; BIM; Substation; Drainage.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Disposição do estudo.	14
Figura 2 - Programação visual produzida na interface do Dynamo.	20
Figura 3 - Apresentação da ordem de uma lista no Dynamo.....	20
Figura 4 - Detalhamento das caixas de passagem.	24
Figura 5 - Visualização 3D da caixa de passagem.	24
Figura 6 - Propriedades do tipo da família.	25
Figura 7 - Vista superior dos parâmetros da caixa de passagem.	26
Figura 8 - Vista lateral dos parâmetros da caixa de passagem.	26
Figura 9 - Parâmetros correspondentes à intensidade pluviométrica.	27
Figura 10 - Parâmetros pertencentes à família selecionada.	28
Figura 11 - Visualização da rotina completa no Dynamo.	29
Figura 12 - Subparte A da rotina.	29
Figura 13 - Subparte B da rotina.	30
Figura 14 - Subparte C da rotina.	30
Figura 15 - Subparte D da rotina.	31
Figura 16 - Nó de entrada para seleção da linha.....	31
Figura 17 - Nó de entrada para definição da família.	32
Figura 18 - Nó de entrada para inserir a inclinação do terreno.	32
Figura 19 - Obtenção do comprimento da linha.	33
Figura 20 - Grupo responsável por definir os pontos de inserção das caixas.....	34
Figura 21 - Comando Watch para visualizar resultado da lista.	35
Figura 22 - Grupo verde responsável por criar as caixas.	36
Figura 23 - Nó Watch com lista de caixas criadas.	36
Figura 24 - Fluxograma detalhando o código em Python.	37
Figura 25 - Nós relacionados a programação em Python.	38
Figura 26 - Aplicação dos parâmetros às famílias criadas.	40
Figura 27 - Imagem aplicada ao reprodutor do Dynamo.....	42
Figura 28 - Reprodutor do Dynamo.	42
Figura 29 - Vista superior do pátio contendo caixas de passagem.	43
Figura 30 - Visualização em corte das caixas no pátio inclinado em 2,5%.	43
Figura 31 - Caixa de passagem.....	44
Figura 32 - Visualização em corte das caixas no pátio inclinado em 1%.	44
Figura 33 - Pátio da subestação com redes completas.....	45

Figura 34 - Visualização detalhada das caixas de passagem conectadas.	45
Figura 35 - Dados pluviométricos de Olinda, PE.	46
Figura 36 - Parâmetros da intensidade pluviométrica.	46

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

API – Interface de programação de aplicações

AEC – Arquitetura, Engenharia e Construção.

BIM – Building Information Modeling

CAD – Computer Aided Design

IFC – Industry Foundation Classes

i – Declividade

K, a, b, c – Parâmetros empíricos que variam conforme local

t – Tempo de concentração da chuva

T – Período de retorno da chuva

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	JUSTIFICATIVA E MOTIVAÇÃO	12
1.2	OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS	13
2	REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1	DEFINIÇÃO DO BIM	15
2.2	MODELOS BIM	16
2.3	INTEROPERABILIDADE	17
2.4	REVIT E MODELAGEM PARAMÉTRICA	18
2.5	PROGRAMAÇÃO VISUAL	19
3	METODOLOGIA	21
3.1	MATERIAIS E MÉTODOS	21
3.2	CRIAÇÃO E PARAMETRIZAÇÃO DE FAMÍLIAS	23
3.3	CAIXAS DE PASSAGEM	24
3.4	ROTINA.....	28
3.4.1	Dados de entrada	31
3.4.2	Definir a quantidade de caixas	32
3.4.3	Inserir as caixas	35
3.4.4	Utilizando Python para definir as alturas.....	37
3.4.5	Adicionando as alturas às caixas criadas	39
4	APLICAÇÃO PRÁTICA.....	41
4.1	ANÁLISE DOS RESULTADOS	47
4.2	LIMITAÇÕES DA ROTINA	49
5	CONCLUSÕES	50
5.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	51
	REFERÊNCIAS	52

1 INTRODUÇÃO

As inovações tecnológicas na construção civil agregam múltiplas possibilidades de otimização desde o projeto a execução da obra. A tecnologia BIM (Modelagem de Informação da Construção) eleva a forma de projetar e construir para um patamar de aperfeiçoamento na forma de pensar as etapas da construção e suas particularidades (Gonçalves, 2018).

A modelagem inovadora e tecnológica através do software BIM Revit proporciona a integração do armazenamento de informações multidisciplinares e a visualização tridimensional do que se projeta proporcionando a extração diversa de dados do modelo (Gaspar; Lorenzo, 2005).

Pensando no panorama em que se encontra a indústria da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) composta por mudanças significativas na busca da diminuição de erros, no aumento da produtividade e na difusão da adesão da tecnologia BIM, o presente trabalho tem por objetivo apresentar através do software da Autodesk Revit 2023 e da programação visual, a modelagem parcial de um projeto de drenagem superficial do pátio de uma subestação de energia elétrica.

Serão apontados no escopo da presente explanação as facilidades advindas do uso do software Revit e do uso da programação visual para modelagem do projeto e obtenção de informações pertinentes ao dimensionamento das redes de drenagem superficial do pátio da subestação. Além de apresentar os benefícios da utilização de famílias paramétricas para o foco estudado, será detalhada a criação de uma rotina automatizada no Dynamo através da programação visual para modelagem parcial do projeto e a utilização do Revit para obtenção da modelagem completa.

Dessa forma o estudo de caso abordado visa como um de seus objetivos apresentar facilidades advindas de se trabalhar com um software que utiliza tecnologia BIM e explicitar vantagens de utilizar a programação visual aplicada aos projetos de construção civil.

1.1 JUSTIFICATIVA E MOTIVAÇÃO

A crescente demanda por soluções eficientes, sustentáveis e inovadoras na indústria da construção tem colocado a modelagem de informações de construção BIM em foco nas discussões. No âmbito da engenharia civil, o BIM se apresenta como uma abordagem inovadora que ultrapassa a simples representação 2D de projetos. A capacidade do BIM de integrar dados

multidisciplinares e colaboração entre as partes interessadas o torna um elemento fundamental na busca por maior eficiência, precisão e qualidade em obras de engenharia.

O avanço tecnológico tem sido um dos principais impulsionadores dessa transformação no setor. O desenvolvimento de ferramentas como o Dynamo, uma plataforma de programação visual para o software Revit da Autodesk, tem aberto novas possibilidades para a automação de tarefas complexas, otimizar processos e maximizar o desempenho de projetos. Esse estudo visa abordar o potencial dessas tecnologias em contextos aplicados ao cotidiano da engenharia civil e de forma aplicada a projetos para subestações de energia elétrica (Gonçalves, 2018).

A motivação para este estudo também se estende à necessidade de otimizar a compatibilização entre projetos no âmbito da engenharia e mais especificamente da construção civil, uma vez que a possibilidade de diminuir desperdícios nessa indústria fomenta a atenção com a sustentabilidade ambiental e a eficiência energética. O BIM e todo o horizonte de possibilidades agregadas à inovação, desempenham um papel vital na busca por soluções mais sustentáveis e na redução do desperdício de recursos.

Além disso, o presente cenário da indústria da construção exige profissionais altamente qualificados e constantemente atualizados com as mais recentes tecnologias. Este estudo visa contribuir para a formação de engenheiros civis e a motivação desses profissionais para implementarem as ferramentas BIM em suas práticas profissionais, tornando-os mais preparados ao mercado de trabalho e aptos a enfrentar os desafios contemporâneos da construção civil.

Em suma, a justificativa e motivação deste estudo estão fundamentadas na importância crescente do BIM, programação e tecnologias relacionadas para a engenharia civil, bem como explorar como essas ferramentas podem revolucionar a maneira como a realidade da engenharia funciona, promovendo ainda mais eficiência, agilidade e qualidade em projetos.

1.2 OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS

Esse estudo tem como objetivo geral, a modelagem parcial de um projeto de drenagem superficial do pátio de uma subestação de energia elétrica. Em busca de compreender o impacto da utilização dos artifícios atrelados ao BIM nos processos relacionados a engenharia civil.

Como objetivos específicos destacam-se:

1. Realizar um referencial teórico com apresentação das principais definições de termos que são importantes para o entendimento do estudo.
2. Analisar o impacto do uso do BIM na elaboração de projetos de engenharia civil, com ênfase em aspectos como redução de erros, otimização e economia de tempo.
3. Analisar a implementação de famílias paramétricas voltadas a projetos de drenagem, capazes de armazenar informações pertinentes ao dimensionamento.
4. Estudar parâmetros que serão extraídos da modelagem inteligente para aplicação ao dimensionamento do projeto de drenagem posterior a modelagem realizada.
5. Explorar a aplicação prática do BIM em um estudo de caso: Efetuar um estudo de caso específico em um projeto de drenagem pluvial de subestação elétrica que utiliza a programação visual como parte integrante de seu processo. Avaliar como o Dynamo foi implementado, os desafios encontrados e os resultados obtidos em termos de eficiência e qualidade.

Os supracitados objetivos gerais e específicos fornecerão o arcabouço para a condução deste estudo, viabilizando uma análise aprofundada e abrangente do impacto do BIM na indústria da construção civil e seu papel na transformação dos processos de engenharia civil.

Com o objetivo de proporcionar ao leitor um panorama abrangente desse estudo, foi desenvolvido o fluxograma apresentado na Figura 1, o qual é composto pelas etapas subsequentes do presente trabalho.

Figura 1 - Disposição do estudo.



Fonte: A autora (2023).

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A fim de embasar e fundamentar a presente pesquisa, este capítulo se apresenta como uma base intuitiva para a compreensão dos conceitos, teorias e estudos prévios relacionados ao tema central deste estudo. A revisão da literatura aqui apresentada contribuirá significativamente para a contextualização e servirá de alicerce para análise e discussão, auxiliando na construção de argumentos embasados em sólido respaldo teórico.

2.1 DEFINIÇÃO DO BIM

A Modelagem da Informação da Construção (BIM) é uma tecnologia de trabalho colaborativo na indústria de construção que envolve a concepção e o uso de modelos 3D ricos em informações. Esses modelos digitais contemplam não somente o desenho em um projeto, mas também atribuem dados detalhados sobre materiais, componentes e processos construtivos. O BIM permite a visualização, análise e simulação de projetos na fase anterior a construção, trazendo aos indivíduos que fazem parte do processo benefícios (Freitas, 2020).

O conceito de BIM contempla a ideia de visualizar uma edificação completa antes dela ser de fato construída. A esse modelo digital da edificação estão agregadas todas as informações pertinentes para construí-lo. Tornando dessa maneira, o modelo digital em um banco de dados, sendo este um grande benefício para todas as etapas da obra em conjunto aos profissionais relacionados (Netto, 2016).

A utilização da tecnologia para aprimorar a construção civil faz parte da evolução da sociedade. A utilização de softwares de modelagem faz parte da realidade da engenharia e do desenvolvimento de novas formas de modelar, se aperfeiçoando a cada versão, agregam de forma crescente a precisão entre projeto e execução nos canteiros de obra. Como citado anteriormente, a capacidade de visualizar as etapas da obra, prever antes de concebido, atrela mais segurança ao ato de construir (Amorim, 2020).

Aos envolvidos na fase de projeto, as informações sobre cada ambiente, material, dimensões em geral fazem parte da concepção em conjunto do empreendimento que se deseja construir. Etapa essa que irá definir as regras que serão seguidas no canteiro de obras. Desse modo, a definição do que irá ser seguido pelos profissionais da construção tem a necessidade de ser o mais assertivo possível, diminuindo o risco de danos e prejuízos das partes envolvidas.

O modelo virtual gerado através da tecnologia BIM transmite a geometria precisa da edificação de forma computacional. Quando completa, essa modelagem contém dados relevantes, importantes para o desenvolvimento, que darão suporte à criação, fabricação e o fornecimento de insumos necessários para a construção (Eastman *et al.*, 2014). Os modelos BIM podem ser interpretados como base de dados capazes de promover à equipe de projetos, a utilização dessas informações para criar soluções de possíveis problemas e tomar decisões cruciais a obra (Campestrini *et al.*, 2015).

Os autores supracitados se completam uma vez que abordam a riqueza de informações advindas do protótipo computacional e a possibilidade de prever decisões importantes atreladas ao bom desempenho da obra. Uma vez que é possível atribuir condições aos modelos em estudo, um leque de possibilidades é atribuído aos indivíduos a frente desses modelos.

A possibilidade de realizar estudos entre os diversos projetos que compõem um empreendimento, atribui um maior nível de certezas aos projetistas. Os cenários que podem ser estudados nesse modelo computacional resultarão na concepção de forma antecipada de possíveis conflitos entre diferentes disciplinas, intensificando a qualidade do produto (Eastman *et al.*, 2014).

Os estudos de compatibilidades estão relacionados a economia de tempo, fator esse de suma importância na realidade dos escritórios de engenharia e arquitetura. A inviabilidade de execução de um projeto acarreta uma cadeia de reuniões e revisões, paralisação da construção, o que reflete diretamente no tempo, causando retrabalhos e conseqüentemente preocupações financeiras, o que fomenta a necessidade do desenvolvimento de tecnologias que atendam a realidade desses campos de atuação.

2.2 MODELOS BIM

Como assegura Campestrini *et al.* (2015) pode-se dizer que um modelo computacional que contém informações relacionadas às dimensões, formas e volume dos objetos, é definido como um modelo 3D. Desse modelo é plausível que se retirem informações relacionadas à forma espacial do objeto, características dos materiais, tipos do mesmo objeto em uso, entre outros.

Segundo Darós (2019) o modelo 4D contempla a ideia de atrelar ao modelo 3D o cronograma da obra, atribuindo informações sobre o planejamento da construção, possibilitando ao construtor o comparativo e acompanhamento do avanço físico com o modelo de planejamento. Para Silveira *et al.* (2006) no modelo 4D é possível visualizar o andamento

da obra em terceira dimensão (3D) com o advento das modificações advindas do tempo em questão da obra, o tempo sendo o fator da quarta dimensão. Diante disto, faz-se necessário evidenciar que os modelos 4D possibilitam verificação da logística de obra, de programações e atendimento de cronograma da obra, proporcionando análises assertivas quanto a disposições de espaço de canteiro e outros fatores pertinentes no decorrer da construção.

Conforme estabelecido por Campestrini *et al.* (2015) ao se programar o modelo BIM para comportar dados de custos específicos a serviços e materiais, têm-se o modelo 5D. A utilização da modelagem 5D garante uma maior precisão na estimativa de valores atribuídos a obra através da identificação automática dos itens da construção no modelo computacional (Sakamori, 2015). Os autores agregam o caráter financeiro atrelado à modelagem, onde cada item deve ser constituído de uma característica útil ao orçamento.

A dimensão 6D está relacionada à sustentabilidade da construção e C. Bomfim *et al.* (2016) explica que o processo relacionado ao 6D, permite a medição e verificação durante a construção e obtenção de melhor desempenho de sistemas e instalações, tornando possível a avaliação de soluções sustentáveis aplicadas às edificações.

O BIM 7D, segundo C. Bomfim *et al.* (2016) aborda o ciclo de vida do empreendimento assim como a manutenção e validade dos materiais, incluindo aspectos de operação, manutenção e sustentabilidade. Essa integração possibilita que os profissionais envolvidos no projeto e na gestão de empreendimentos tomem decisões precisas ao longo de todo o ciclo de vida do empreendimento.

O 8D refere-se à saúde e segurança durante a execução e manutenção da edificação. A nona dimensão aborda a gestão lean do setor da construção, também conhecida como construção enxuta. Todas essas dimensões culminam no BIM 10D, com a industrialização da construção civil (Gomes *et al.*, 2013).

2.3 INTEROPERABILIDADE

Como abordado, o BIM permite a comunicação entre diversos projetos específicos modelados digitalmente, como modelos de arquitetura, estrutura, instalações, que quando produzidos na mesma plataforma, devem se tornar um modelo integrado possibilitando a visualização dos comportamentos em conjunto. Dessa forma, interoperabilidade resume-se em um conceito importante, é a premissa básica para que os modelos conversem entre si (Addor, 2010).

Isto é, a capacidade de dois ou mais modelos trocarem informações entre uma gama de aplicativos desenvolvidos para otimização dos processos, de maneira que seja possível absorver tais informações advindas da junção dos modelos. De acordo com Azevedo (2009), o fato de que o BIM opera com base em dados computacionais, onde uma alteração tem consequências em todos os componentes ou projetos envolvidos, possibilita que todos compartilhem informações em sincronia a base de regras pré-definidas e parâmetros bem estipulados. Pode-se afirmar então que a interoperabilidade é a eficiência na troca de informações entre as aplicações e interfaces pertinentes a todas as fases da obra em um único modelo.

Como afirma Campestrini *et al.* (2015), ao decorrer da inovação em tecnologias para a indústria da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) diversos outros softwares BIM se apresentarão no mercado visando outras abordagens de acordo com a necessidade emergente como análises de geração de resíduos e poluentes, análises de atendimento a código de obras de prefeitura dentre outras possibilidades. Desse modo, a interoperabilidade seguirá cada vez mais presente nas exigências do bom desempenho de uma edificação.

Visando essa comunicação entre projetos, existe uma linguagem padrão internacional para que os softwares possam realizar a troca de modelos entre si denominada Industry Foundation Classes (IFC). IFC então, entende-se como um formato padrão de arquivo que teoricamente deve ser importado e exportado por todo software BIM, para promover a multidisciplinaridade e a compatibilização entre todas as plataformas (Pinho, 2013).

2.4 REVIT E MODELAGEM PARAMÉTRICA

Segundo Eastman *et al.* (2014), a ideia de objetos paramétricos é central para o entendimento do BIM e o que diferencia esse mundo da criação 2D tradicional. A modelagem paramétrica permite a definição de regras e relações que o objeto em sua fase de criação deverá respeitar e efetuar em sua implementação no projeto.

A modelagem paramétrica considera todos os dados utilizados para cada objeto como parâmetros característicos a ele, onde a mudança posterior de um dado desse objeto resulta em consequências no modelo. Esses parâmetros possuem influência no modelo de forma a possibilitar a verificação de inconsistências nas relações entre projetos a partir de regras que se queira delimitar, Eastman *et al.* (2014) exemplifica essa aplicação:

Uma maneira de gerar instantâneos 4D é com recursos que automatizam a filtragem de objetos numa vista, baseada em uma propriedade ou parâmetro de objeto. No Revit, por exemplo, cada objeto pode ser atribuído a uma "fase" que é entrada como texto, como "Junho 2007" ou "existente", e ordenar essas fases como desejado. Os usuários podem, então, aplicar filtros para mostrar todos os objetos numa fase específica ou nas anteriores.

O Revit é um software BIM da Autodesk amplamente utilizado em escritórios de arquitetura e engenharia, através das plataformas desenvolvidas para diversas especialidades como o “Revit Architecture” para arquitetura, o “Revit Structure” para engenharia e para instalações Mecânicas, Elétricas e Hidráulicas o “Revit MEP”. Plataformas essas criadas com o intuito de otimizar os processos fomentado pela competitividade entre as várias empresas da indústria AEC (Tarrafa, 2012).

Segundo Netto (2016) o nome Revit tem origem das palavras em inglês “Revise Instantly”, cuja tradução significa revisar instantaneamente, que pode ser interpretado como realizar alterações no projeto de forma instantânea em toda as vistas e instâncias trabalhadas. A automatização de processos, a otimização do tempo e a aplicação da programação visual dentre outras qualidades fazem o Revit ser amplamente utilizado nos projetos de engenharia e arquitetura.

2.5 PROGRAMAÇÃO VISUAL

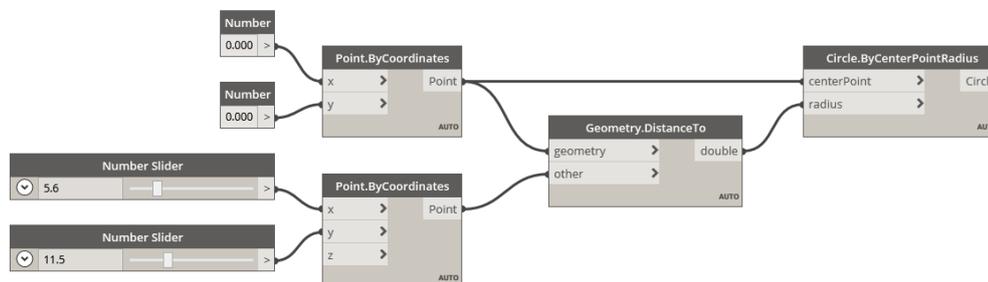
Como afirma Soares (2014) o Revit API (Application Programming Interface) é a interface que o projetista acessa para ter comunicação direta com o núcleo do software, através de bibliotecas concedidas pela empresa que o comercializa, no caso, a Autodesk.

A API do Revit possibilita aos projetistas a possibilidade de desenvolver ferramentas e plugins para o software com o intuito de otimização dos fluxos de trabalho, realização de modelagens paramétricas mais complexas expandindo o horizonte de criação para os projetos.

Entretanto, pela necessidade de conhecimentos específicos em linguagens de programação como Javascript, Python ou C para criação dos códigos, esse recurso não faz parte do cotidiano popular dos engenheiros e arquitetos, que em sua maioria, não possuem amplo conhecimento de programação. Desse modo, a programação visual ganha espaço com o objetivo de ser acessível para programadores experientes assim como para profissionais sem experiência com programação, possibilitando aos projetistas a visualização das consequências relacionadas aos componentes do algoritmo criado, como ilustra a Figura 2, com a possibilidade

também de adicionar linguagem de programação textual nas chamadas rotinas (O Dynamo Primer, 2017).

Figura 2 - Programação visual produzida na interface do Dynamo.



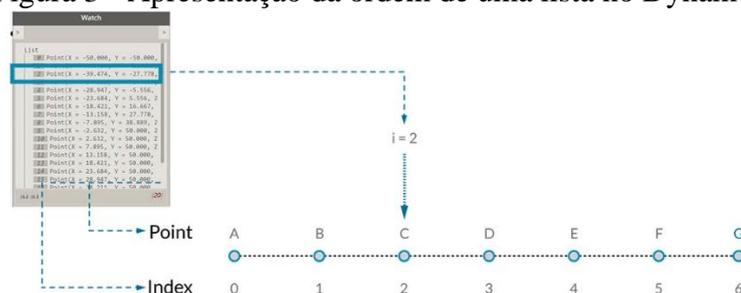
Fonte: Dynamo Primer, 2017.

O Dynamo é normalmente associado a design paramétrico para desenvolvimento de formas complexas, entretanto, há diversas aplicações usuais que atestam a implementação do Dynamo como ferramenta de otimização de processos diários como a exportação de planilhas, modificação de parâmetros de famílias entre outros, isto é, a programação visual é capaz de processar qualquer tipo de dado em busca de eficiência e otimização de processo (Duncan; Capraru, 2015).

O fluxo de informações conectados pelas linhas dentro da interface do Dynamo é basicamente da esquerda para a direita, o que não impede de mexer os nós e deixar na posição desejada, contanto que os fios de entrada estejam conectados aos nós de inputs e os de saída aos de output. O Dynamo organiza os dados em forma de listas, as quais podem ser modificadas, criadas e extraídas seus dados.

As listas representam uma coleção de elementos e seu domínio é um importante passo para rotinas engenhosas e inteligentes, visto que o usuário está a quase todo o tempo lidando com elas. Podem ser divididas em n-sub-listas e cada um de seus itens possuem um número indicando seu índice. Estes iniciam a partir de zero e são importantes, pois endereçam os valores contidos nas listas e as próprias sub-listas conforme apresenta a Figura 3 (O Dynamo Primer, 2017).

Figura 3 - Apresentação da ordem de uma lista no Dynamo.



Fonte: Dynamo Primer, 2017.

3 METODOLOGIA

No presente capítulo será apresentado o estudo de caso produzido como foco de atuação desse trabalho. O estudo de caso é uma metodologia de pesquisa qualitativa que nos permite uma análise aprofundada e contextualizada da questão que se estuda a fim de oferecer subsídios para novas pesquisas no contexto (Yin, 2009).

O objetivo deste estudo de caso é examinar como a implementação da programação visual através do Dynamo, responsável por automatizar processos, impactou a eficiência operacional de um projeto de drenagem de empresa e sua propensão para futuras implementações.

3.1 MATERIAIS E MÉTODOS

A modelagem da drenagem a ser estudada na presente pesquisa é parte do projeto de drenagem desenvolvido por uma empresa atuante na área de engenharia voltada a atender as demandas do setor elétrico mais especificamente subestações de alta tensão. A empresa em questão é formada por um quadro de profissionais competentes, de alta capacidade técnica e experiência com desenvolvimento de projetos de subestações desde a terraplenagem até o comissionamento.

As subestações de energia elétrica consistem em uma concentração de equipamentos elétricos, responsáveis por auxiliar na transmissão e distribuição da energia através da adequação dos níveis de tensão a depender da fonte geradora de energia. As subestações podem ter o objetivo de aumentar ou diminuir a tensão elétrica da fonte geradora, a fim de realizar a distribuição (Fuchs, 2015).

Devido à natureza sensível das informações relacionadas aos projetos em discussão, optamos por manter o anonimato da empresa, utilizando o nome fictício "Empresa Axis" ao longo deste estudo.

O quadro de colaboradores da empresa Axis é dividida em setores que fazem os diversos tipos de projetos necessários para a construção de uma subestação de energia ou ampliação de uma subestação já existente. A divisão dos setores se dá pela área de atuação dos profissionais, o setor de engenharia civil por exemplo é responsável pelos projetos de terraplenagem, detalhamento de fundações, locação de fundações e canaletas coletoras de dutos no pátio,

drenagem superficial de águas pluviais e drenagem periférica e projetos arquitetônicos e estruturais das edificações responsáveis pelo controle dos equipamentos.

A empresa Axis demonstrou um histórico significativo de envolvimento em projetos de forte impacto no setor, com a aplicação da metodologia BIM em seus projetos a empresa obteve ganhos significativos no processo de desenvolvimento de seus processos.

Para análise do projeto de drenagem com aplicação de automatização de processos, será descrito nesse estudo os componentes do modelo assim como as etapas de desenvolvimento do processo responsável pela automatização para o fim desejado.

Ao longo do desenvolvimento de projetos de drenagem pluvial em subestações que possuem terreno inclinado, foi constatado o problema de associações com o nível do terreno inserido no Revit. O problema está no nível considerado pelo Revit que corresponde a um plano de trabalho, incapaz de ser inclinado, o que limita os projetos de platô terraplenado inclinado quanto à agilidade ao inserir os componentes pertinentes ao projeto de drenagem. A partir disso, obteve-se o problema a ser estudado na presente pesquisa com o objetivo de realizar a inserção automatizada desses componentes sem a necessidade de ajustar individualmente as alturas de cada elemento inserido em planta.

Para alcançar o objetivo, múltiplas pesquisas sem resultados positivos foram traçadas através de conteúdo disponível na internet. Como fruto dessas pesquisas, para o problema em questão, foi utilizada a programação visual através do Dynamo como uma solução aplicável e de grandes resultados em estudos de casos internacionais.

Os fluxogramas guiaram a criação das diversas rotinas que foram testadas a cada conjunto de nós que compunham uma sequência de execução. Com a realização de rotinas suficientes para chegar ao mais próximo da solução do problema, foi possível efetuar uma análise crítica a respeito dos resultados obtidos.

Considerando que será utilizado o software Revit como uma ferramenta para o desenvolvimento da modelagem de projetos de drenagem com utilização da automatização, faz-se necessário algumas adaptações na sua configuração padrão, pois como já foi visto este software não foi desenvolvido para este tipo de projeto. Dessa forma, precisa-se associar o Revit ao Dynamo para que se torne possível alcançar o resultado positivo desta pesquisa.

A princípio, é necessária a criação de famílias, como são denominados os itens no software, que serão necessárias para o desenvolvimento da modelagem do projeto de drenagem do pátio. Essas famílias após criadas, devem possuir dados intrínsecos a elas que são denominados parâmetros. Dados estes de suma importância para a modelagem inteligente, uma vez que atribuem informações pertinentes a obra em cada família criada.

Realizada a etapa de criação das famílias necessárias, é necessário inserir estas criações em um arquivo modelo, denominado template. O template precisa possuir todas as famílias pertinentes ao projeto e as regras que precisam ser aplicadas às vistas para melhor divisão de etapas e objetivos para a vista. As famílias que farão parte do template dividem-se em famílias de objetos e famílias de anotação, necessárias para identificar os objetos, tornar visíveis os parâmetros atribuídos às famílias, dentre outras possibilidades de aplicação.

Realizou-se a criação de um projeto base para realização dos testes a partir desse template modelo. Uma vez criado, será desenvolvida uma sequência de comandos, denominados de rotina no Dynamo, que terá como objetivo identificar um item balizador e a partir dele inserir as famílias desejadas com um decréscimo de profundidade a cada comprimento “L” estipulado para distância entre as famílias.

Foi vinculado ao projeto base, intitulado de drenagem do pátio, o projeto de urbanização, previamente desenvolvido contendo a inclinação do terreno e o platô terraplenado da subestação estudada. Esse vínculo pode ser entendido como inserir no projeto base uma projeção do modelo que se pretende vincular contendo todas as informações desde modelo inclusive a representação 3D do mesmo. O ato de vincular o projeto de urbanização ao projeto de drenagem do pátio irá permitir a verificação de possíveis interferências e adaptações necessárias ao projeto.

Após a criação da rotina e do projeto base foram realizados os comparativos entre o uso deste modelo desenvolvido através do BIM e a comparação com um projeto realizado sem a aplicação dessa rotina também realizado na interface do Revit mas sem a automatização provida da rotina.

3.2 CRIAÇÃO E PARAMETRIZAÇÃO DE FAMÍLIAS

O Revit, por se tratar de um programa de tecnologias BIM, permite a criação de itens conforme a necessidade do usuário. Em projetos de drenagem pluvial se utilizam caixas de passagens de alvenaria que receberão os tubos de PEAD responsáveis pelo transporte da água drenada.

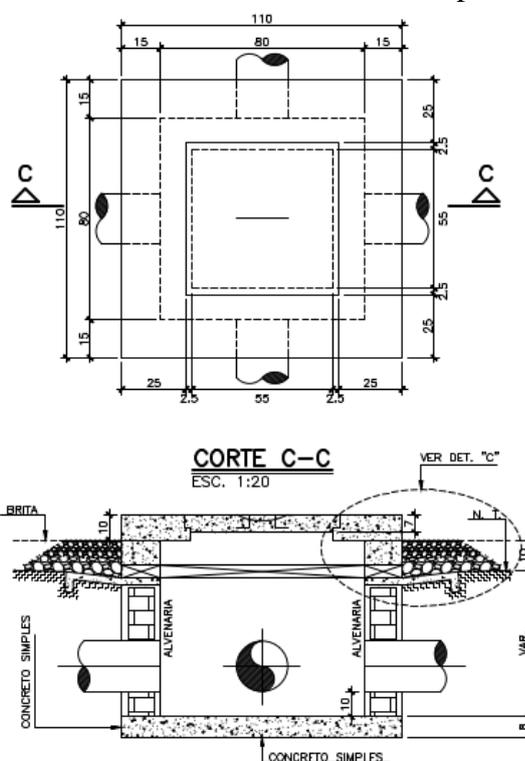
As caixas de passagem de água, também referenciadas como caixas coletoras ou caixas de inspeção, possuem as seguintes dimensões:

- Largura interna útil = 0,80 m

- Comprimento interna útil = 0,80 m
- Base em concreto simples = 0,08 m
- Laje ou tampa em concreto armado = 0,60 x 0,60 x 0,10 m
- Paredes de fechamento com 0,15 m
- Profundidade útil variável a depender do dimensionamento.

As dimensões apresentadas acima estão detalhadas na Figura 4 onde é possível observar as cotas correspondentes a cada informação supra listada:

Figura 4 - Detalhamento das caixas de passagem.

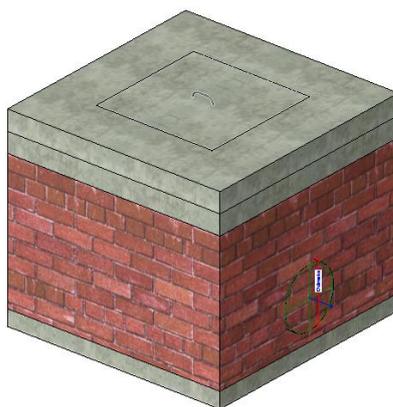


Fonte: A autora (2023).

3.3 CAIXAS DE PASSAGEM

Para a modelagem das caixas de passagem foram adotadas as dimensões listadas e obteve-se o modelo 3D apresentado na Figura 5, sendo possível visualizar a visualização realista dos materiais que compõem a caixa de passagem.

Figura 5 - Visualização 3D da caixa de passagem.



Fonte: A autora (2023).

As dimensões listadas acima foram inseridas na família desenvolvida delimitando assim os parâmetros componentes do tipo de família criado. O tipo em estudo recebe o nome de CAIXA COLETORA – 80 x 80 cm conforme Figura 6 que apresenta os parâmetros intrínsecos à família da caixa coletora.

Figura 6 - Propriedades do tipo da família.

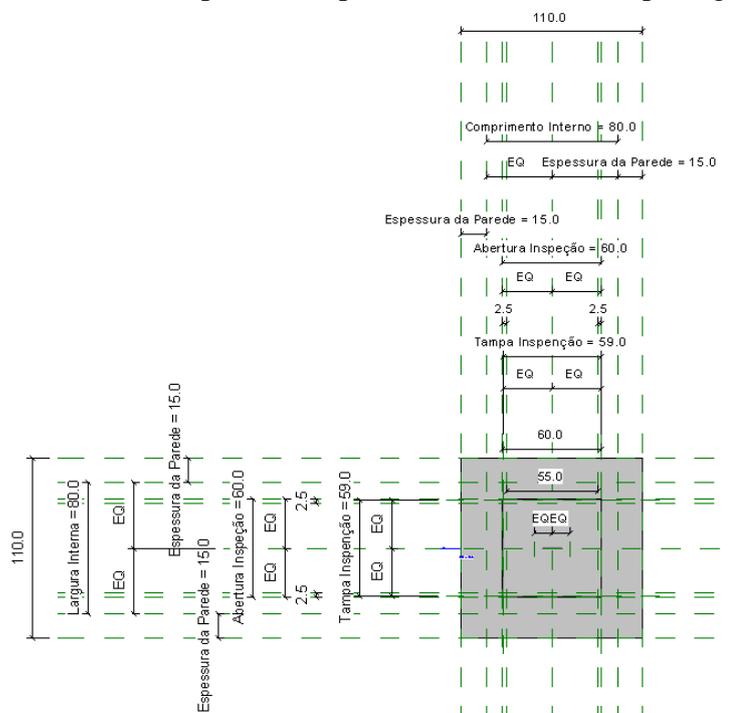
Parâmetro	Valor	Fórmula	Bloquear
Restrições			
Vazão (L/min) (padrão)	30.000000	=	
Inclinação (m/m) (padrão)	0.005000	=	
DN mínimo do tubo (padrão)	300.0 mm	=if(Øint mín. do condutor. < 50 mm, 50 mm, if(and(Øint mín.	<input checked="" type="checkbox"/>
Øint mín. do condutor. (padrão)	264.9 mm	=(1000 mm * (((Vazão (L/min))) / (14659.46542 * ((Inclinaçã	<input checked="" type="checkbox"/>
Elevação padrão	0.00	=	<input type="checkbox"/>
Materiais e acabamentos			
Aço	Aço	=	
Dimensões			
Comprimento Interno	80.00	=	<input checked="" type="checkbox"/>
Largura Interna	80.00	=	<input checked="" type="checkbox"/>
Profundidade (padrão)	70.00	=	<input checked="" type="checkbox"/>
Espessura da Parede	15.00	=	<input checked="" type="checkbox"/>
Abertura Inspeção	60.00	=	<input type="checkbox"/>
Altura da alvenaria (padrão)	80.00	=Profundidade + 10 cm	<input checked="" type="checkbox"/>
COTA DA TAMPA	20.00	=	<input type="checkbox"/>
GERATRIZ (padrão)	15.00	=DN mínimo do tubo / 2	<input checked="" type="checkbox"/>
GERATRIZ INFERIOR (padrão)	65.00	=Profundidade - 5 cm	<input checked="" type="checkbox"/>
Tampa Inspeção	59.00	=	<input type="checkbox"/>
Parâmetros IFC			
Outros			

Fonte: A autora (2023).

Para a aplicação desses parâmetros são criados planos de referência que recebem cotas entre si para designar o espaço cotado e consequentemente receber o parâmetro correspondente àquela dimensão cotada. A Figura 7, evidencia a definição dos parâmetros mediante

detalhamento na Figura 4, onde são delimitados por cotas as espessuras de parede, abertura para tampa, largura e comprimento da caixa de passagem.

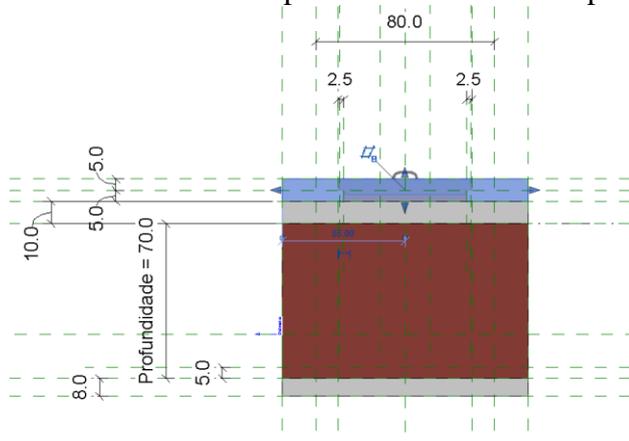
Figura 7 - Vista superior dos parâmetros da caixa de passagem.



Fonte: A autora (2023).

A partir da aplicação de um parâmetro que define a profundidade da caixa como apresenta a Figura 8, é possível alterar essa dimensão dentro do projeto sem necessidade de remodelar a família criada.

Figura 8 - Vista lateral dos parâmetros da caixa de passagem.



Fonte: A autora (2023).

No intuito de atribuir informações pertinentes ao dimensionamento das redes de drenagem pertencentes ao projeto, foram inseridas na família da caixa de passagem alguns parâmetros responsáveis por receber as informações dos coeficientes importantes para o cálculo da intensidade pluviométrica, importante para determinar o volume de chuva em determinada área por um período.

A “Intensidade Pluviométrica” será definida pela Equação 1 e terá seu valor expresso em mm/h. O “T” corresponde ao tempo de retorno de chuva e o “t” ao tempo de concentração máximo da chuva, ambos devem ser previamente calculados e inseridos pelo projetista.

$$i = \frac{K \cdot T^a}{(t + b)^c} \quad (1)$$

Todos os valores de K, a, b, c, T e t serão relacionados aos valores expressos pelo usuário no grupo de parâmetros de “Outros” como apresentado na Figura 9.

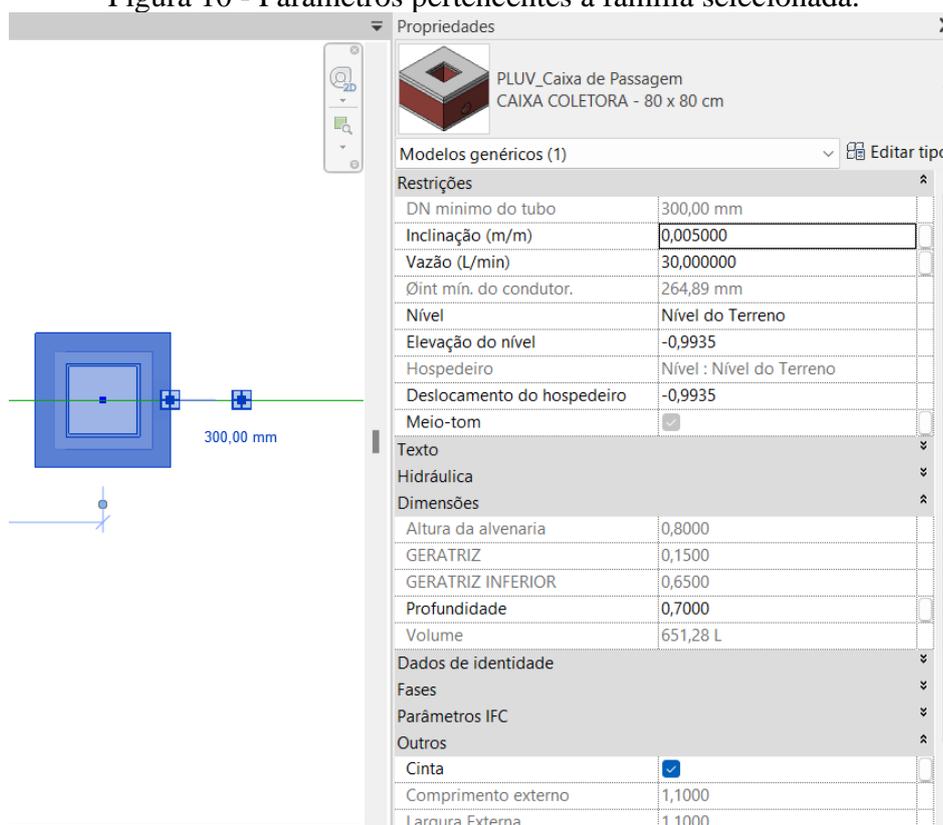
Figura 9 - Parâmetros correspondentes à intensidade pluviométrica.

Parâmetro
Outros
Cinta (padrão)
Comprimento externo (padrão)
Int_Pluv_a
Int_Pluv_b
Int_Pluv_c
Int_Pluv_K
Int_Pluv_T
Int_Pluv_t
Int_Pluv_j

Fonte: A autora (2023).

Para a aplicação da rotina do Dynamo, é importante que sejam observados os parâmetros do tipo “built-in” que são parâmetros internos e nativos do Revit. No caso em estudo, os parâmetros “Nível” e “Elevação do nível” como observados na Figura 10, são essenciais ao funcionamento da lógica aplicada na rotina, sendo referenciados em múltiplos nós.

Figura 10 - Parâmetros pertencentes à família selecionada.



Fonte: A autora (2023).

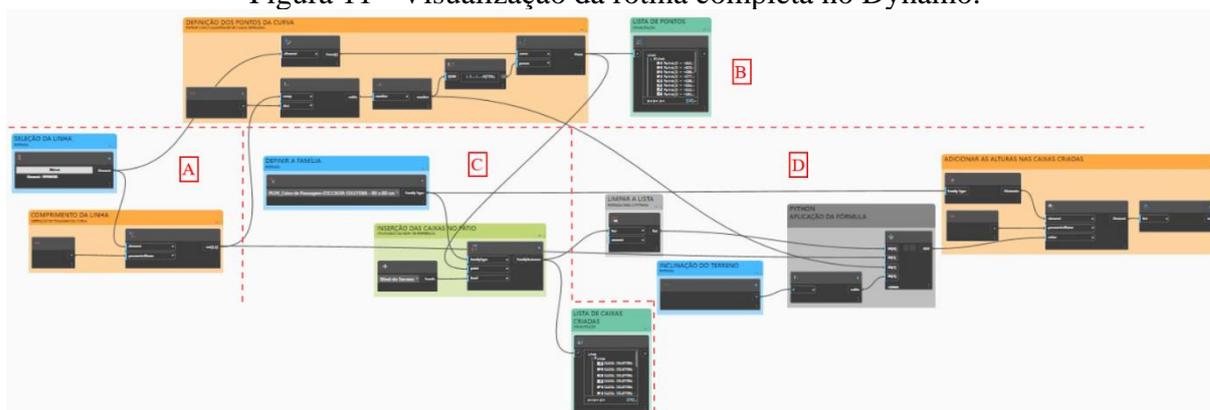
3.4 ROTINA

Conforme explanado no item 3.1, foi desenvolvido um fluxograma que direcionasse a linha de raciocínio ao desenvolver a rotina. Uma vez estabelecidas as etapas, a organização na busca pelos comandos que contemplarão a lógica se torna mais prática e direta.

A presente seção tem por finalidade mapear todo o desenvolvimento de uma rotina na interface do Dynamo que tem por objetivo inserir automaticamente caixas de passagem de forma a acompanhar a inclinação do platô terraplenado, ou seja, o nível do terreno finalizado de uma subestação elétrica.

Visando um melhor entendimento dos processos que serão detalhados nos demais itens, a Figura 11 apresenta uma visão completa da rotina dividida em subpartes no intuito de proporcionar uma melhor compreensão do fluxo de informações dentro da rotina.

Figura 11 - Visualização da rotina completa no Dynamo.

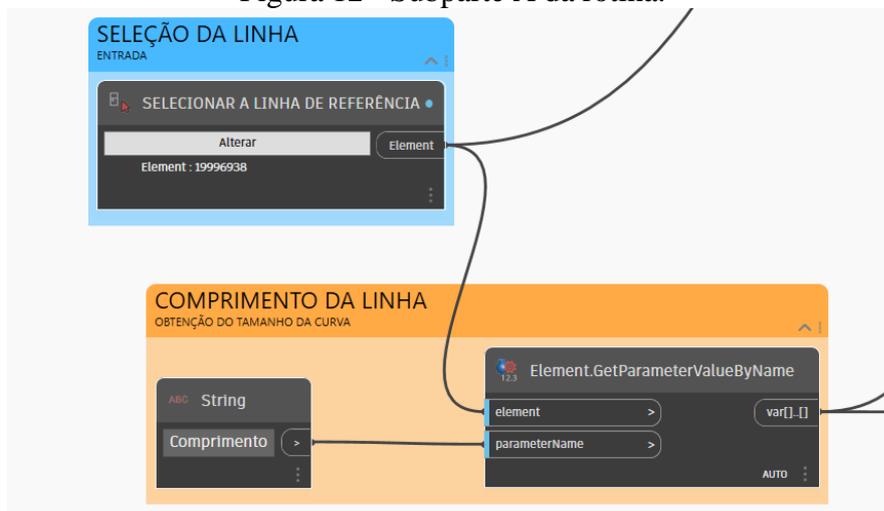


Fonte: A autora (2023).

A rotina também foi subdividida em grupos correspondentes à ação que está sendo desenvolvida dentro destes grupos. Cada grupo recebe uma cor equivalente a seu objetivo, sendo a cor azul atrelada a dados de entrada ou input, a cor laranja relacionada à manipulação de dados, o verde está vinculado a comandos de saída ou output, o ciano apresenta nós de visualização ou comentários e a cor cinza corresponde a nós relacionados a programação em Python.

A subparte correspondente à letra A está apresentada na Figura 12 contendo dois nós, estes realizam conexão entre si conectando um nó do grupo azul a um nó do grupo laranja. A função desse subgrupo ou subparte é realização uma etapa de seleção e efetuar o cálculo do comprimento do elemento selecionado.

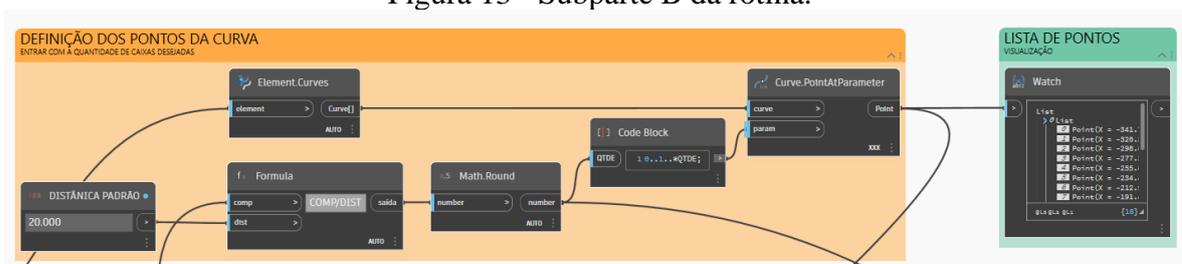
Figura 12 - Subparte A da rotina.



Fonte: A autora (2023).

O subgrupo ou subparte B agrupa dois nós, sendo eles do grupo laranja e do grupo ciano. O grupo laranja, presente na Figura 13, é composto por 6 nós que em conjunto possuem a função de dividir o elemento selecionado anteriormente em partes definidas. O grupo ciano por sua vez realiza a apresentação do resultado obtido por meio do grupo laranja.

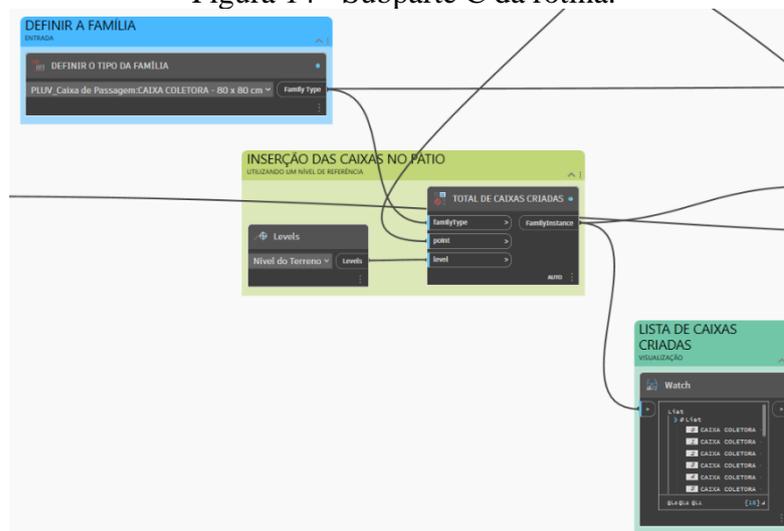
Figura 13 - Subparte B da rotina.



Fonte: A autora (2023).

Por sua vez, o subgrupo C é formado por 3 nós como ilustra a Figura 14. A subparte em questão interliga um grupo azul a um grupo verde para realização da terceira etapa da rotina onde são criadas as caixas de passagem. O resultado alcançado no grupo verde é listado e apresentado no grupo ciano.

Figura 14 - Subparte C da rotina.



Fonte: A autora (2023).

Por sua vez, a subparte D também é composta por 3 grupos. Como pode ser avaliado na Figura 15, os grupos presentes são o azul, cinza e laranja, que ao serem conectados realizarão a última etapa da rotina responsável por atribuir uma elevação a cada caixa de passagem criada.

Figura 15 - Subparte D da rotina.



Fonte: A autora (2023).

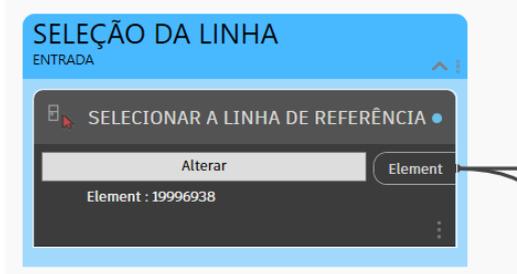
3.4.1 Dados de entrada

Para obter as informações iniciais da rotina, foi criado o grupo de cor azul, este grupo é identificado três vezes na Figura 11 do item anterior. Em uma das vezes o grupo recebe o nó de seleção do tipo “Select Model Element”, que seleciona um elemento no modelo, ou seja, dentro do projeto aberto no Revit. Na segunda vez que o grupo aparece, o nó utilizado é do tipo “Family Types”, cuja função pode ser definida como definir o tipo da família que deseja utilizar e na terceira vez o nó criado é o “Number” para inserir o valor da inclinação do pátio.

Conforme ilustrado na Figura 16, o elemento selecionado foi uma linha de modelo criada dentro do Revit, que servirá como referência para inserção das caixas. O grupo então foi personalizado para conter título e subtítulo que indicassem o objetivo daquele grupo, o que deixa o fluxo das conexões entre os nós mais didático.

Dessa forma pode ser observado o título “SELEÇÃO DA LINHA” e o subtítulo “ENTRADA” para categorizar aquele nó como um nó de input, que tornam o procedimento mais intuitivo ao usuário da rotina. Vale ressaltar que esse nó é utilizado para selecionar elementos no projeto, para que a linha criada no projeto seja aparente na interface do Dynamo, ela precisa ser criada como linha de modelo pois essa categoria habilita a visualização em todas as vistas, inclusive na vista 3D.

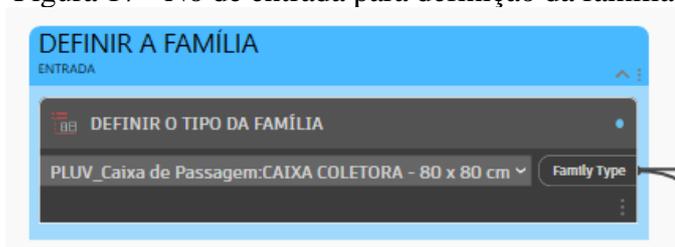
Figura 16 - Nó de entrada para seleção da linha.



Fonte: A autora (2023).

A categorização do nó também acontece com o segundo nó de entrada, entretanto, o objetivo passa a ser a definição da família que será criada no projeto através da rotina. Dessa forma, o título e o subtítulo do nó evidenciado, indicam que o mesmo tem por objetivo “DEFINIR A FAMÍLIA”, induzindo o usuário a procurar a família desejada na lista que compõe o nó como mostra a Figura 17. O nó “Family Types” tem a característica de fornecer ao usuário uma lista de todas as famílias pertencentes ao projeto modelo no Revit, permitindo assim a escolha da caixa de passagem já carregada no projeto.

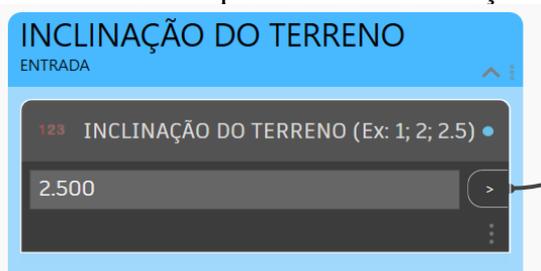
Figura 17 - Nó de entrada para definição da família.



Fonte: A autora (2023).

A criação do nó ilustrado na Figura 18 tem importância imprescindível para a automatização dos processos e será detalhado no item 3.4.4. O nó em questão foi definido como um nó de entrada, então o usuário sem a necessidade de abrir o código no Dynamo obtém a autonomia de indicar a inclinação do pátio do projeto em questão dentro da interface do reproduzidor do Dynamo, onde são agrupados todos os comandos de entrada.

Figura 18 - Nó de entrada para inserir a inclinação do terreno.



Fonte: A autora (2023).

3.4.2 Definir a quantidade de caixas

Para a definição da quantidade de caixas de passagem por eixo horizontal foi utilizada uma sequência lógica que interliga múltiplos nós capazes de transformar o dado advindo de um nó de entrada e resultar em uma informação que será necessário em um ou mais nós posteriores.

Para extrair o comprimento da linha selecionada, faz-se necessário a introdução do nó “Element.GetParameterValueByName” que torna viável a extração de uma informação pertencente a um elemento. No contexto estudado, esse nó que possui dois campos de entrada, receberá no campo “element” a linha selecionada e no campo “parameterName” será conectado um nó do tipo String que contém o nome exato do parâmetro intrínseco ao elemento selecionado como indicado na Figura 19, resultando através destes o comprimento da linha.

Figura 19 - Obtenção do comprimento da linha.



Fonte: A autora (2023).

Os grupos na cor laranja como referenciado no item 3.5, correspondem aos tratamentos aplicados às informações. No grupo “DEFINIÇÃO DOS PONTOS DA CURVA” essa manipulação de dados é realizada em múltiplos nós para aplicação em um nó final intitulado “Curve.PointAtParameter”. Este nó precisa de dois campos de entrada para resultar em pontos em uma curva, sendo eles “curve” e “param”. Para a transição da linha selecionada no projeto para a interface do Dynamo é preciso conectar a saída do nó de seleção com o nó “Element.Curves” que transforma um elemento em curva e o representa na sua interface.

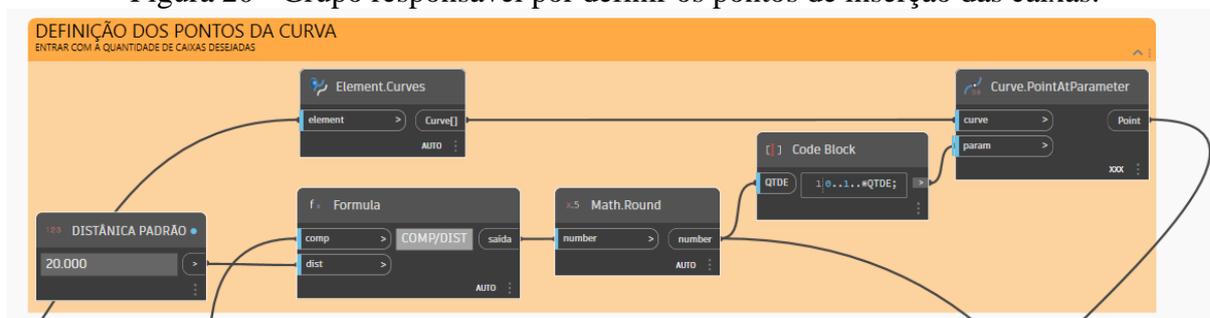
A curva então é obtida dentro da lógica e o campo “param” será definido mediante uma sequência que manipula o nó “DISTÂNCIA PADRÃO”, que contém o valor de 20 m correspondente ao padrão estimado para distanciar caixas em um projeto de drenagem na empresa Axis, e o comprimento obtido anteriormente para resultar nos pontos onde as caixas de passagem serão inseridas.

A ideia de distar as caixas a cada 20 m está atrelada a coleta que cada caixa irá realizar. Uma vez que cada caixa possui um raio de coleta de 10 m, ao inserir duas caixas com distância

de 20 m entre elas, a condição de coleta para cada caixa está respeitada. Essa premissa é importante para realizar um bom projeto de drenagem pois as caixas estão em uma distância suficiente para evitar possíveis acúmulos de água no pátio.

Para processar o cálculo dos pontos de inserção, os nós do grupo realizam a operação matemática que divide o comprimento da linha pela distância padrão definida e arredonda esse resultado de forma a obter um número inteiro como quantidade de caixas a serem inseridas. Essa quantidade obtida é um dado de entrada no “Code Block”, que por ser uma ferramenta desenvolvida para o Dynamo, permite ao usuário definir variáveis como dados de entrada e construir um script de regras como a criação de uma lista que tenha a quantidade de itens definida como a variável “QTDE” presente na Figura 20.

Figura 20 - Grupo responsável por definir os pontos de inserção das caixas.

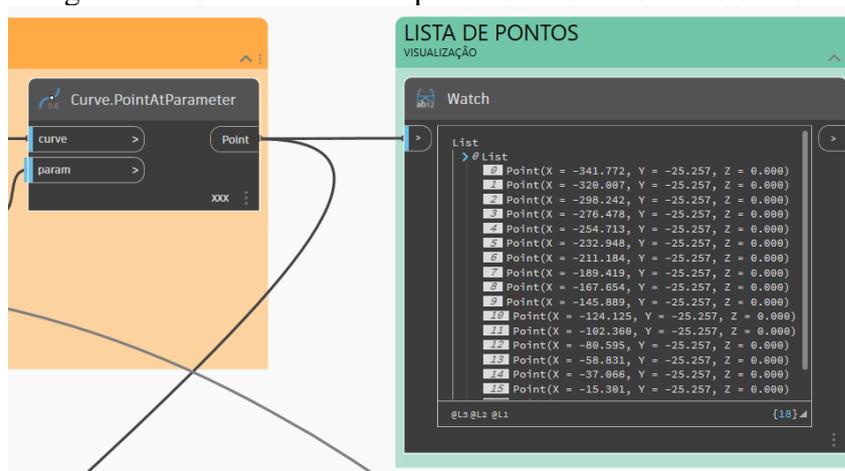


Fonte: A autora (2023).

Foi adotada nessa lógica a ideia de arredondar o valor resultado da divisão do comprimento da curva pela distância, pelo fato de que a quantidade de caixas precisa ser um número inteiro e o arredondamento para um valor inferior delimita que as caixas estarão dentro da linha selecionada.

Portanto, no último nó do grupo explicitado acima os dados foram inseridos nos campos esperados e o resultado desse nó é a lista dos pontos que receberão caixas de passagem na linha selecionada. Através da inserção do grupo de cor ciano composto pelo nó “Watch” do Dynamo, é possível visualizar a lista completa de pontos extraídos do nó anterior conforme apresentado na Figura 21.

Figura 21 - Comando Watch para visualizar resultado da lista.



Fonte: A autora (2023).

3.4.3 Inserir as caixas

Conforme aprofundado no item 3.4.1, a família que se deseja inserir precisa ser definida e o nó que possibilita essa escolha tem como saída o tipo escolhido. Com o intuito de inserir as famílias de caixas no projeto, o grupo de cor verde com o título “INSERÇÃO DAS CAIXAS NO PÁTIO” e subtítulo “UTILIZANDO UM NÍVEL DE REFERÊNCIA” foi criado para tornar o processo mais didático ao projetista utilizador da rotina.

Um dos nós desse grupo é o “Levels” cuja função é possibilitar ao usuário percorrer em uma lista que contém todos os níveis pertencentes ao projeto para escolher o nível almejado e usá-lo como referência no nó posterior. Desse modo, interno ao grupo foi definido o Nível do Terreno como nível de referência que servirá consequentemente para delimitar o posicionamento das caixas de passagem.

O segundo nó pertencente ao grupo da cor verde, intitulado como “TOTAL DE CAIXAS CRIADAS”, é o nó “FamilyInstance.ByPointAndLevel” que recebe nos campos de variáveis o tipo da família, o ponto de inserção e o nível como pode ser observado na Figura 22. Foi realizada a conexão das saídas dos nós que possuem essas informações, um deles sendo o point cuja saída consiste no resultado do grupo laranja detalhado no do item 3.4.2.

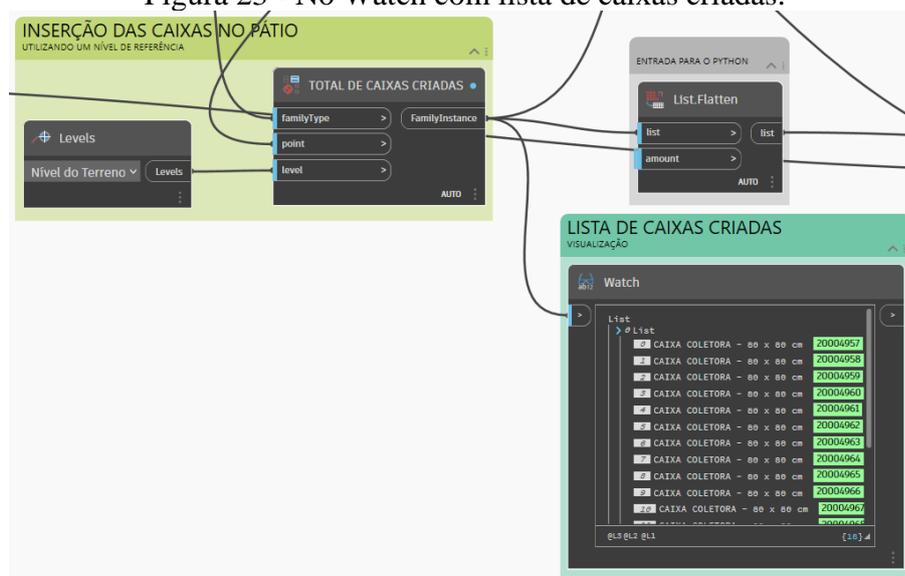
Figura 22 - Grupo verde responsável por criar as caixas.



Fonte: A autora (2023).

Em posse de todos os pontos no projeto, o nível de referência e o tipo da família, foi executado o nó responsável por criar as famílias de caixas dentro do projeto. Esse nó utilizado entrega como resultado uma lista de todas as caixas que foram criadas e por intenção de tornar o processo mais intuitivo, foi criado um grupo ciano de visualização para expressar os resultados desse nó conforme a Figura 23.

Figura 23 - Nó Watch com lista de caixas criadas.



Fonte: A autora (2023).

Dessa forma, as caixas de passagem são criadas no nível do terreno como explicado acima, o que otimiza a inserção de caixas de passagem em um projeto de drenagem para subestações planas, sendo satisfatório para esses casos.

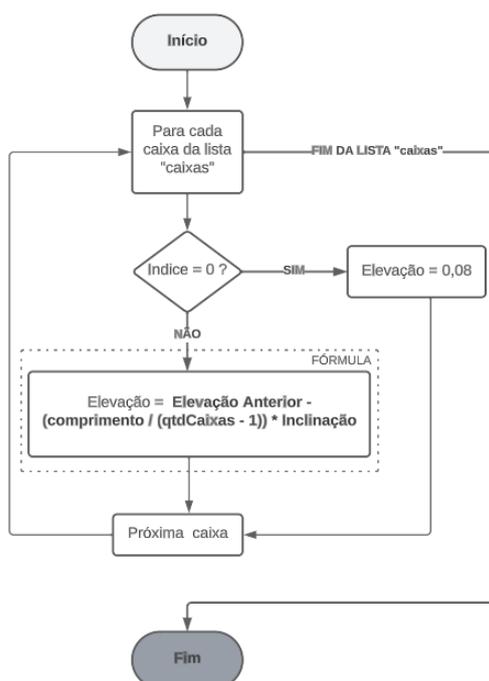
Entretanto, é necessário desenvolver nós que realizem a aplicação de alturas diferentes de inserção das caixas, visando a possibilidade de utilização da rotina para um terreno inclinado.

3.4.4 Utilizando Python para definir as alturas

Visando a amplitude de possibilidades advindas da programação textual através do Python quando utilizado na interface do Dynamo, foi traçada uma série de estudos referentes à linguagem de programação com o objetivo de aplicar fórmulas de forma mais simplificada por meio do Python Script.

A possibilidade de criação de código escrito por meio do Python permite a simplificação dos processos e até possibilita a diminuição da quantidade de nós utilizados para realizar um comando no Dynamo. Visando a complexidade da aplicação da fórmula para calcular as profundidades das caixas em série, foi desenvolvido um código escrito que determina a profundidade da caixa seguinte a partir do valor da profundidade da caixa anterior conforme demonstra o algoritmo presente na Figura 24.

Figura 24 - Fluxograma detalhando o código em Python.



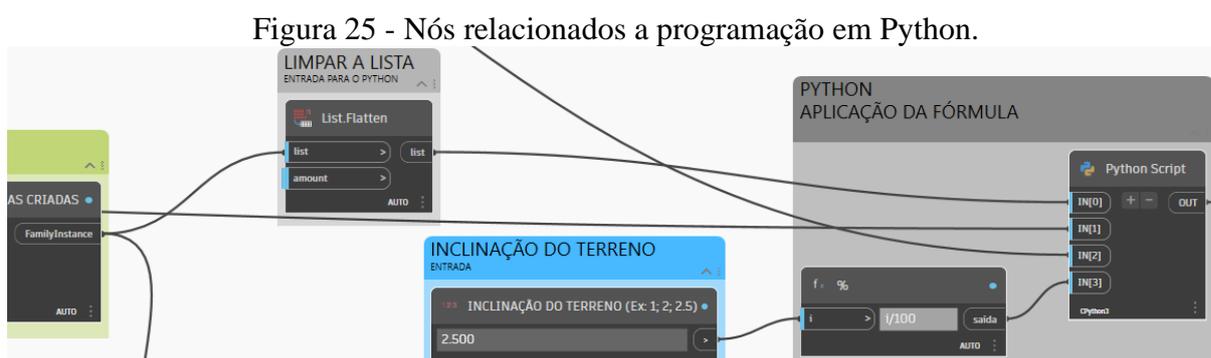
Fonte: A autora (2023).

Algumas informações precisam ser coletadas em campos de entrada no nó de Python Script para que o código dentro da caixa de programação desse nó extraia os dados de entrada e os utilize para realizar a lógica proposta.

Foi conectado ao campo IN[0] de entrada do Python Script, sendo esse o primeiro em uma sequência de quatro entradas, a saída do grupo verde que cria as caixas no projeto como explicado no Item 3.4.3. O intuito dessa conexão decorreu da necessidade de obter a lista de caixas de passagem pertencentes ao projeto.

Para o campo IN[1] a informação necessária é o comprimento da linha de referência definida no grupo laranja do item 3.4.2 referente ao parâmetro “comprimento”. Uma vez conectada a saída do grupo laranja de comprimento à entrada correspondente, foi conectado ao IN[2] a saída do número inteiro adquirido do grupo laranja que define a quantidade de pontos na curva no item 3.4.2.

O campo de entrada restante é o IN[3] que receberá a inclinação do terreno definida pelo usuário no nó de entrada do grupo azul como apresenta a Figura 25. Antes que a saída do nó referente a inclinação seja conectada ao IN[3], um nó intermediário faz a transformação para que o valor digitado pelo usuário seja modificado para porcentagem. Transformação essa que tem o intuito de facilitar para o usuário no momento de inserir a inclinação, poupando uma operação matemática, que por mais simples que seja pode ser um fator para possíveis inconsistências no resultado caso inserido incorretamente.



Fonte: A autora (2023).

Conforme comentado, o campo IN[0] receberá a lista de caixas criadas no projeto, contudo, um nó intermediário faz a conexão do nó de saída ao nó hospedeiro. A função desse nó intermediário denominado “List.Flatten” é simplificar a estrutura do resultado. As saídas

dos nós no Dynamo são estruturadas por índices e listas de listas, cuja hierarquia proporciona a oportunidade de executar operações paramétricas complexas (O Dynamo Primer, 2017).

Usando o nó “List.Flatten” apresentado na Figura 25, foi possível obter uma lista de menor hierarquia possível de dados. Essa ferramenta é útil ao lidar com estruturas complexas de listas, mas que não são necessariamente relevantes para o fluxo de trabalho.

Diante de todas as informações necessárias para a execução do Python Script após conectar cada saída a seu respectivo campo de entrada, foi desenvolvido o código em Python que realizasse a inserção de uma elevação de acordo com o índice da caixa presente na lista de caixas criadas. Caso o índice fosse 0, correspondente à primeira caixa inserida, o valor da elevação é 0,08 m posicionando a caixa de forma que a estrutura da tampa coincida com o limite da brita pertencente ao pátio da subestação.

Para as caixas seguintes na lista de caixas criadas, a elevação é definida de maneira que a inclinação do terreno seja respeitada. Para isso, a Equação 2 recebe os campos de entrada do nó Python Script e define para cada caixa em sequência, o valor do parâmetro correspondente a elevação no nível previamente esclarecido na Figura 24. Portanto, para cada elevação após a primeira caixa, o valor será definido pelo acréscimo do valor anterior à divisão do comprimento pela quantidade de caixas menos a primeira, multiplicado pela inclinação do terreno.

$$cotaAtual = cotaAnterior - \left(\frac{\text{comprimento}}{qtdeCaixas - 1} \right) * \text{inclinação} \quad (2)$$

3.4.5 Adicionando as alturas às caixas criadas

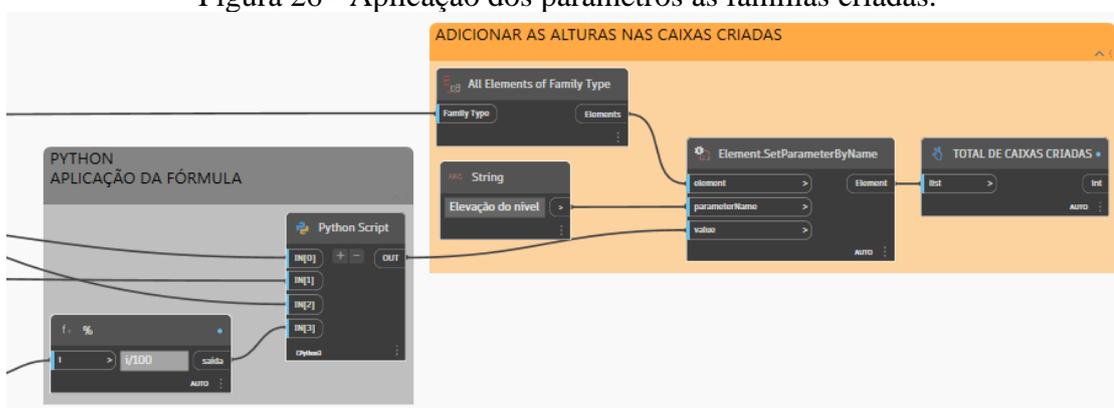
Uma vez criadas todas as caixas e definidas as elevações, foi criado um grupo laranja que atribuisse os valores das elevações às famílias de caixas criadas. O grupo é composto por um nó principal do tipo “Element.SetParameterByName” utilizado para aplicar uma informação a um parâmetro em uma família ou mais, uma vez definidos os três campos de entrada correspondentes a esse nó.

Os três campos de entrada no nó principal foram definidos conforme a Figura 26, onde é possível visualizar a conexão da saída do Python Script para o campo “value” que corresponde ao valor que será inserido no parâmetro. Para conectar ao “parameterName”, foi utilizado um nó do tipo String que precisa conter a escrita exata do nome do parâmetro da família que se deseja alterar, sendo ele “Elevação do nível” para as caixas de passagem do projeto.

Uma vez definidos o valor e o nome do parâmetro que receberá esse valor, foi atribuído ao campo “element” todas as caixas do tipo escolhido no item 3.4.1. Desse modo, ao executar a rotina, todas as caixas de passagem serão inseridas no projeto e terão seus valores correspondentes de elevação devidamente aplicados.

Ao executar a rotina, a saída do nó “Element.SetParameterByName” é composto por uma lista de todos os elementos que sofreram alteração na execução do nó. No intuito de obter esse resultado de forma direta e resumida, foi inserido um nó do tipo “List.Count” responsável por contar todos os itens presentes na lista de entrada e resultar no valor exato do somatório da quantidade de itens.

Figura 26 - Aplicação dos parâmetros às famílias criadas.



Fonte: A autora (2023).

4 APLICAÇÃO PRÁTICA

A fim de validar a rotina desenvolvida e explicada ao longo do capítulo 3, buscou-se aplicá-la a um cenário real vivenciado no cotidiano dos projetistas alvo desse estudo, o pátio de uma subestação elétrica. Para execução da rotina foram realizadas algumas atividades preliminares dispostas nos parágrafos a seguir.

Foi realizada a modelagem genérica de dois pátios correspondentes a projetos de urbanização de subestação com inclinações dos terrenos escolhidas arbitrariamente em 2,5% e 1% para aplicação da rotina criada e demonstração das caixas inseridas com suas correspondentes elevações. As urbanizações modeladas são representadas por um pátio britado com espessura de 10 cm cuja inclinação foi estabelecida na extremidade esquerda para que o caimento ocorresse para o lado direito.

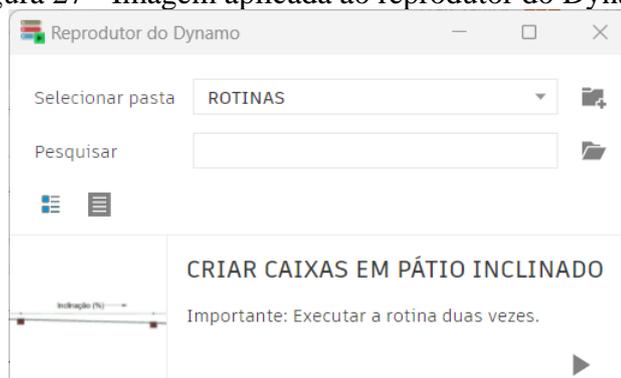
Um novo projeto foi criado na interface do Revit e nele foram configuradas as unidades, visto que serão utilizados valores de elevação, para posteriormente vincular o projeto modelo de urbanização. Em uma primeira análise foi inserido como vínculo o projeto da subestação cuja inclinação do terreno é de 2,5%. Com o vínculo devidamente inserido no projeto, foi realizada a criação de um modelo de vista capaz de ocultar eixos, linhas de referências e elementos topográficos simulando a execução habitual de início para um projeto de drenagem na empresa Axis.

Em uma vista intitulada “pavimento térreo” onde é possível visualizar todo o pátio a partir de uma vista superior, foi traçada uma linha de modelo a partir do ponto onde deve estar o centro da primeira caixa de passagem até o ponto onde deve estar o centro da última caixa de passagem. A visualização da linha de modelo em um corte corresponde a uma linha reta contemplando toda sua extensão.

Com o intuito de tornar o processo de execução das rotinas mais prático, foram aplicadas algumas configurações à rotina como a atribuição de uma imagem vinculada à rotina aparente no reprodutor do Dynamo, como representado na Figura 27 onde pode ser observada a imagem escolhida e o símbolo de play para execução.

Essa configuração no reprodutor do Dynamo é importante por tornar o processo mais intuitivo a quem irá utilizar, evitando que haja a necessidade de um treinamento intenso junto ao usuário para utilizar a rotina em seu projeto e atribuindo dessa forma mais independência ao projetista. Dispensando desse modo, uma qualificação mais específica do usuário, uma vez que apenas a apresentação dos comandos e funcionamento é suficiente para o uso, o que torna a rotina mais plural e aplicável para qualquer usuário que não tenha familiaridade com o Dynamo.

Figura 27 - Imagem aplicada ao reprodutor do Dynamo.

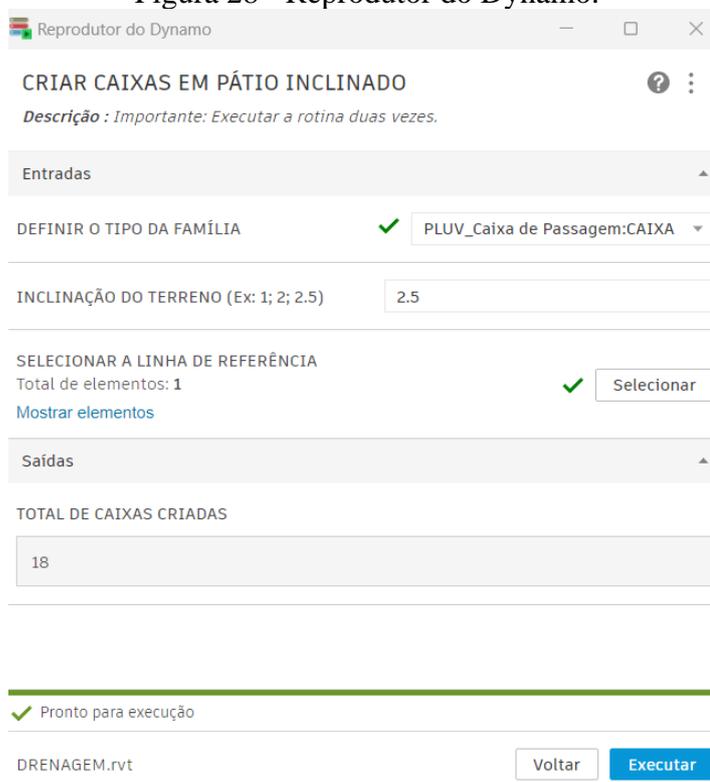


Fonte: A autora (2023).

Também faz parte das configurações realizadas a aplicação da especificação "É de entrada" a um conjunto de nós pertencentes à rotina, habilitada na interface do Dynamo. Isso permite que os nós selecionados tenham sua manipulação vinculada explicitamente ao reprodutor do Dynamo, como mostrado na Figura 28.

Da mesma forma realizou-se a aplicação da especificação "É saída" ao último nó da rotina, correspondente à quantidade de caixas criadas para que o projetista tenha essa informação quando executada a rotina.

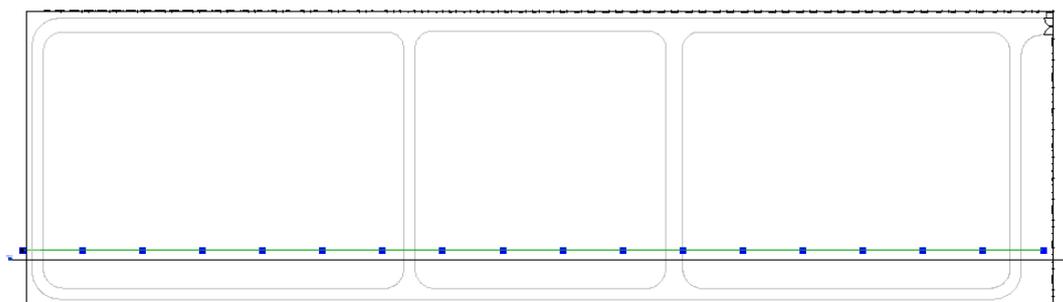
Figura 28 - Reprodutor do Dynamo.



Fonte: A autora (2023).

Através do Reprodutor do Dynamo apresentado acima, foi definido o tipo da família da caixa de passagem, a inclinação de 2,5% e a linha de modelo criada foi selecionada. Em seguida, ao executar uma vez a rotina, todas as caixas foram criadas como é possível observar todos os blocos na cor azul correspondentes às famílias de caixas na Figura 29.

Figura 29 - Vista superior do pátio contendo caixas de passagem.



Fonte: A autora (2023).

Entretanto, é necessário executar uma segunda vez a rotina, para que as elevações sejam inseridas às caixas de passagem criadas no projeto. Realizada a sequência, as caixas são posicionadas nas elevações desejadas de acordo com a Figura 30, onde as caixas estão acompanhando a camada de brita da urbanização vinculada.

Figura 30 - Visualização em corte das caixas no pátio inclinado em 2,5%.



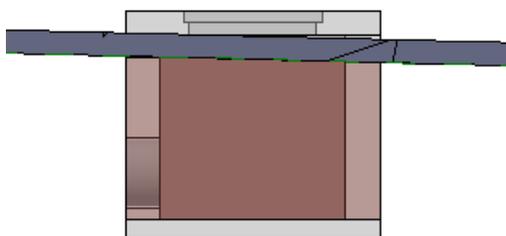
Fonte: A autora (2023).

Dessa forma, foi identificada a necessidade de inserir uma descrição para a rotina presente na interface do reprodutor do Dynamo como “Importante executar a rotina duas vezes” como pode ser observado na Figura 28 na parte superior abaixo do título da rotina. A inclusão dessa descrição tem o intuito de servir como alerta para o usuário, importante para a utilização adequada e correta da rotina em seu máximo potencial.

Para um projeto de drenagem eficiente, é essencial que a tampa da caixa de passagem esteja posicionada acima do nível da camada de brita. Conseqüentemente, de acordo com o explicado no item 3.4.4, as elevações das caixas foram pensadas de forma a atender essa

premissa. Como resultado dessa abordagem, é possível observar na Figura 31 o posicionamento preciso da tampa da caixa de passagem acima do nível da brita.

Figura 31 - Caixa de passagem.



Fonte: A autora (2023).

Para a aplicação da rotina no pátio inclinado em 1%, os mesmos processos foram empregados, seguindo as mesmas etapas descritas para a análise do pátio inclinado em 2,5%. Essas etapas incluem o vínculo do projeto de urbanização do pátio mencionado, a aplicação do modelo de vista previamente criado e configurado, além da execução da rotina duas vezes seguidas. Como resultado, obtiveram-se as caixas representadas na Figura 32, devidamente inseridas com a inclinação almejada.

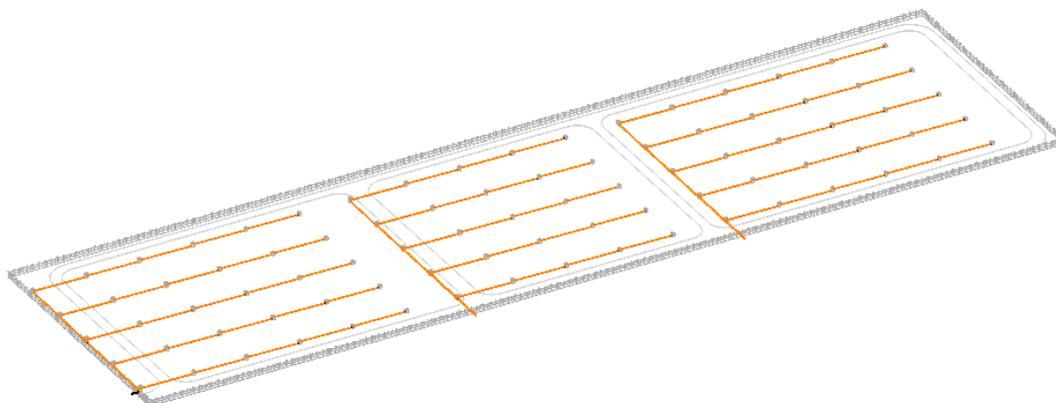
Figura 32 - Visualização em corte das caixas no pátio inclinado em 1%.



Fonte: A autora (2023).

Uma vez obtidas as caixas de passagem devidamente posicionadas no pátio, foi utilizado o pátio cuja inclinação é de 2,5% para ilustrar a completa conexão das redes de drenagem. Mediante utilização da rotina todas as caixas foram selecionadas e copiadas a cada 20 metros na planta baixa para contemplar todo o pátio como pode ser analisado na Figura 33. Adquirindo dessa forma, a drenagem prévia de todo o pátio da subestação, salvo verificação com interferências na posição com os outros projetos pertinentes a uma subestação elétrica.

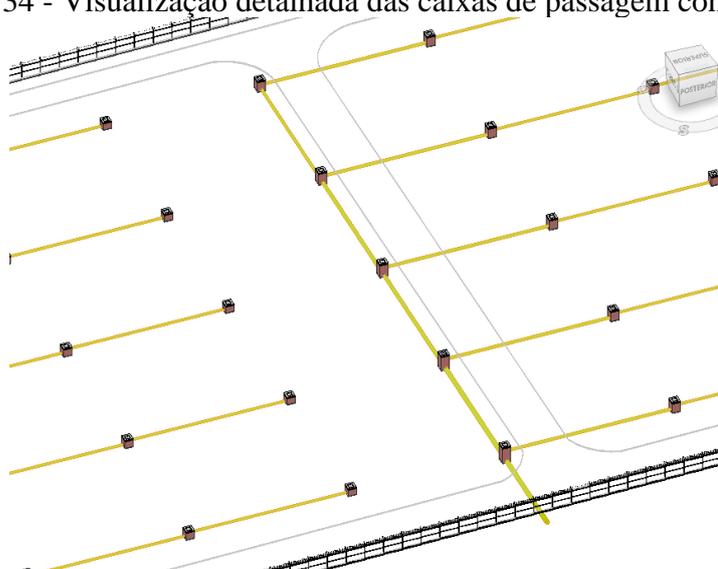
Figura 33 - Pátio da subestação com redes completas.



Fonte: A autora (2023).

A modelagem das redes de drenagem é realizada por etapas uma vez que os diâmetros das tubulações utilizadas precisam ser validados através dos cálculos para o dimensionamento de cada rede. O prévio posicionamento das caixas de passagem necessita de avaliação em conjunto de outros projetos frente a subestação para que as áreas de contribuição de cada caixa sejam corretamente determinadas para aplicação do cálculo dos diâmetros. Na Figura 34 é possível visualizar o arranjo das caixas de passagem conectadas em rumo a um ponto de destino final.

Figura 34 - Visualização detalhada das caixas de passagem conectadas.



Fonte: A autora (2023).

Uma vez modelada a drenagem da subestação, através do software Plúvio 2.1 elaborado pela Universidade Federal de Viçosa, é possível determinar o valor destes parâmetros K, a, b e c pela seleção da cidade alvo do empreendimento (UFV, 2006). No presente estudo de caso serão utilizados os valores da cidade de Olinda no estado de Pernambuco como é observado na Figura 35 que contém o relatório gerado pelo software.

Figura 35 - Dados pluviométricos de Olinda, PE.

Plúvio 2.1
Copyright (2005) © GPRH

RELATÓRIO
Parâmetros da Equação de Intensidade, Duração e Frequência da Precipitação

LOCALIZAÇÃO:

Localidade: Olinda Estado: Pernambuco
Latitude: 08°01'00"
Longitude: 34°51'00"

PARÂMETROS DA EQUAÇÃO:

K: 666,64
a: 0,2
b: 10
c: 0,66

Fonte: Pluvio 2.1 (2006).

Foram utilizados valores arbitrários para “T” e “t”, que representam, respectivamente, o tempo de retorno e o tempo de concentração da chuva, a fim de ilustrar o funcionamento da fórmula associada à família das caixas de passagem. Essa fórmula demonstrou uma execução correta, como pode ser observado na Figura 36 que contém o parâmetro “Int_Pluv_i” representando o valor da intensidade pluviométrica calculada.

Figura 36 - Parâmetros da intensidade pluviométrica.

Tipos de famílias

Digite o nome:

Parâmetros de pesquisa

Parâmetro	Valor	Fórmula
Outros		
Cinta (padrão)	<input checked="" type="checkbox"/>	=
Comprimento externo (padrão)	150.00	=Comprimento Interno + (2 * Espessura da Parede)
Int_Pluv_a	0.200000	=
Int_Pluv_b	10.000000	=
Int_Pluv_c	0.660000	=
Int_Pluv_K	666.640000	=
Int_Pluv_T	25.000000	=
Int_Pluv_t	6.300000	=
Int_Pluv_j	201.110873	=(Int_Pluv_K * (Int_Pluv_T ^ Int_Pluv_a)) / ((Int_Pluv_t + Int_Pluv_b) ^ Int_Pluv_c)

Fonte: A autora (2023).

4.1 ANÁLISE DOS RESULTADOS

O principal resultado encontrado foi que o objetivo geral desta pesquisa foi alcançado, visto que a rotina desenvolve a aplicação das caixas ao longo da inclinação do terreno respeitando o limite do pátio britado conforme esperado. Além disso, a modelagem das redes foi realizada de forma rápida, precisa e de forma facilitada através do template criado no Revit.

Durante a utilização da rotina, percebeu-se que o uso do Reprodutor do Dynamo, disponibilizado pela Autodesk, representou significativos ganhos de tempo e traz ao usuário uma interface amigável e personalizável. A possibilidade de inserir os dados de entrada necessários para aplicação da rotina sem necessitar abrir o código visual criado, agrega agilidade e praticidade no cotidiano dos projetos.

No tocante a tempo de duração, a rotina foi acionada e teve sua execução concluída em menos de 10 segundos para ambas as situações testadas. Já para a modelagem completa de todas as redes de drenagem no pátio, foram utilizados 35 minutos para cada cenário de inclinação.

A utilização da programação visual e de um template no Revit aplicado ao projeto específico de drenagem está atrelada a uma série de vantagens frente as tecnologias tradicionais CAD utilizadas na empresa Axis como também na engenharia civil como um todo, sendo elas:

- A criação automática dos itens.
- A praticidade de gerar vistas e cortes para maior compreensão da conexão entre os componentes.
- A atualização automática em todas as vistas uma vez realizada uma alteração no modelo.
- A habilidade de promover uma representação mais fiel a realidade.

Além da facilidade de utilizar projetos modelados separadamente para compatibilização, usando poucos comandos dentro do Revit é possível vincular os demais projetos pertinentes, como foi realizado no estudo atual com o projeto de urbanização. No cenário de projeto de subestações elétricas é importante a constante visualização das etapas dos demais projetos dos setores complementares visando a eficiência máxima da drenagem do pátio evitando o acúmulo de água próximo a fundações de equipamentos garantindo o funcionamento pleno da subestação.

Constata-se que a modelagem da drenagem contemplando todo o pátio foi aprimorada uma vez que se utilizou a rotina para criar as caixas nas elevações esperadas, facilitando o desenvolvimento do projeto visto que não se fez necessário a criação de cortes para ajustar tais

elevações. Em contraste, o processo de modelagem anterior desempenhado pela empresa Axis demandava mais dos projetistas dos setores relacionados, uma vez que não era possível observar o impacto da drenagem em 3D nos projetos nem nos cortes para análise de conflitos.

Mediante levantamento realizado junto ao corpo de profissionais da empresa Axis, o tempo médio para execução da modelagem inicial dos projetos de drenagem sem as tecnologias BIM era de 2 dias para cada projeto. Com a utilização da rotina e do template construído no Revit, o tempo utilizado para a mesma modelagem é de 35 minutos para cada projeto. Sendo assim, utilização do Revit e da programação visual proporcionam uma modelagem consideravelmente mais rápida dos projetos.

No processo de modelagem com uso de tecnologias CAD também não era possível atribuir a gama de informações relevantes ao projeto diretamente aos itens, como é o caso dos dados de intensidade pluviométrica, utilizado como um sinalizador das possibilidades atribuídas a utilização de parâmetros nas famílias podendo ser aplicado para demais levantamentos úteis a um projeto de drenagem.

A empresa Axis aprovou o uso da rotina para desenvolvimento dos projetos de drenagem em conjunto com a utilização do Revit para completar a modelagem das redes. Uma vez que são inúmeros os ganhos com a otimização dos processos e a rápida conexão entre as caixas de passagem. Os profissionais que compõem a equipe de projetos civis da empresa Axis quando questionados sobre a aplicação da forma de modelar se mostraram otimistas com o panorama das possibilidades de melhorias nos projetos mediante utilização da rotina e da modelagem no Revit.

Os demais setores da empresa usufruem da modelagem otimizada ao vincular o projeto da drenagem em seus projetos e se apresentam entusiasmados com as consequências da forma de projetar. A utilização do projeto em Revit pelos outros setores possibilita a análise mais apurada dos conflitos no pátio da subestação o que facilita a tomada de decisões e atribui mais confiança ao cliente frente a negociações ao enviar o 3D dos projetos vinculados para análise da subestação.

Essa abordagem integrativa entre os projetos permite uma compreensão mais abrangente e eficiente das interações entre diferentes disciplinas e sistemas dentro do projeto em cada contrato, promovendo a identificação precoce de conflitos e situações possíveis. Ao consolidar dados e representações em um único ambiente de modelagem, os profissionais da empresa foram capazes de colaborar de maneira mais eficaz, tomar decisões embasadas em informações atualizadas e reduzir a ocorrência de retrabalho.

Em suma, o uso da rotina associada ao template no Revit proporciona um ambiente propenso para adoção de tecnologias BIM no cenário de desenvolvimento de projetos de engenharia civil como um todo, uma vez que facilita a análise da conexão entre projetos e reduz o tempo de execução entre outros mencionados.

4.2 LIMITAÇÕES DA ROTINA

Por se tratar de um estudo de caso, a aplicação da rotina desenvolvida é bastante específica, entretanto, vale ressaltar que a necessidade da utilização varia com o tamanho da área em questão. Quanto maior a subestação, maior será a quantidade de caixas a serem inseridas e maior a complexidade do projeto o que faz a utilização da rotina ser bastante útil para o ganho de agilidade e precisão nos processos.

Não foram observados problemas que impossibilitem a utilização da rotina uma vez que os resultados obtidos foram satisfatórios. Entretanto, é necessário excluir a primeira caixa criada pelo fato dela ser inserida em uma região possivelmente ocupada por um muro ou cerca que isola a área interna da subestação.

Isso ocorre porque a linha de modelo que precisa ser criada para guiar a rotina no Dynamo, precisa ser iniciada no ponto mais alto do pátio da subestação onde será definida a inclinação a ser seguida. Resultando, portanto, em uma caixa fora do perímetro desejado, necessitando sua exclusão.

Outra questão observada é a necessidade de rodar a rotina no Dynamo duas vezes para que o objetivo seja alcançado por completo. Apesar de levar pouco tempo para executar os comandos, precisa ser executado em duas etapas.

É importante ressaltar que a aplicação da rotina se limita à primeira etapa da modelagem, o que atribui à rotina uma utilidade parcial em estágio inicial da rotina, a qual é complementada com a modelagem direta na interface do Revit por meio de comandos manuais para multiplicação das caixas no pátio e conexão entre elas com a utilização de famílias de tubos.

5 CONCLUSÕES

Em posse dos resultados obtidos nesta pesquisa, é possível concluir que o objetivo geral foi plenamente alcançado, demonstrando a eficácia da rotina desenvolvida para a aplicação das caixas de passagem ao longo da inclinação do terreno, acompanhando os limites do pátio britado, conforme previamente solicitado. Além disso, a modelagem das redes foi simplificada consideravelmente por meio do template criado no software Revit, atribuindo agilidade e praticidade ao processo.

Ao aplicar a rotina, ficou evidente que a integração do Reprodutor do Dynamo, fornecido pela Autodesk, representou ganhos significativos em termos de eficácia e usabilidade. A possibilidade de inserir os dados de entrada sem a necessidade de abrir a interface do Dynamo para acessar o código visual criado agregou positivamente para as atividades cotidianas de projeto.

Um dos aspectos notáveis foi a adequação a inclinação desejada e o tempo de execução da rotina, que se mostrou extremamente eficiente. A aplicação da rotina e a modelagem de todas as caixas no pátio, foi concluída com extrema agilidade e sem grandes dificuldades. Esse desempenho é positivo para a utilização nos projetos de engenharia e torna a abordagem altamente vantajosa em termos de produtividade.

A utilização da programação visual e do template no Revit demonstrou claramente as vantagens em relação às tecnologias CAD usuais. Entre essas vantagens, destacam-se a criação automática de itens, a facilidade de geração de vistas e cortes para uma compreensão mais clara das conexões entre os componentes, a atualização automática em todas as vistas após qualquer alteração no modelo e a capacidade de criar representações mais precisas da realidade.

Além disso, a compatibilização entre projetos modelados separadamente para compatibilização, bem como a facilidade de vincular outros projetos pertinentes, mostrou-se extremamente útil e eficiente, como foi demonstrado no estudo atual ao modelar separadamente a drenagem e a urbanização obtendo a visualização do conjunto.

Em resumo, a aplicação da rotina juntamente com o template no Revit cria um ambiente propício para a adoção de tecnologias BIM no desenvolvimento de projetos de drenagem pluvial. Além de realizar a prática compatibilização entre projetos, a abordagem reduz significativamente o tempo e qualidade de execução, aumentando a eficiência e a precisão do processo de projeto.

O estudo então demonstra o potencial e a importância das ferramentas BIM no cenário de desenvolvimento de projetos de drenagem e ressalta a relevância deste estudo na busca por práticas mais avançadas e eficazes na engenharia civil.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A presente pesquisa é apenas um passo inicial para diversas outras funções que podem ser implementadas através do Dynamo no modelo, elevando o horizonte de possibilidades na criação de um projeto de drenagem.

A seguir, a lista de sugestões para desenvolvimento em trabalhos futuros:

- Desenvolvimento de uma rotina que realize a leitura do pátio diretamente no vínculo e atenda a inclinação.
- Desenvolvimento de uma rotina que execute a conexão dos tubos entre as caixas.
- Desenvolvimento de uma rotina que realize o dimensionamento das redes e altere os diâmetros dos tubos conectados.
- Criação de rotina que detecte conflitos entre os demais projetos e mova as caixas criadas para livrar tais interferências.
- Criação de rotina que realize o levantamento de quantitativos e materiais relacionados ao projeto.

REFERÊNCIAS

- ADDOR, Miriam. **BIM – Building Information Modeling**. ASBEA – Associação Brasileira dos Escritórios de Arquitetura. Encontro Regional, 2009.
- AMORIM, S. R. L. **Gerenciamento e coordenação de projetos BIM: Um guia de ferramentas e boas práticas para o sucesso de empreendimentos**. 1. ed. – [Reimpr.]. Rio de Janeiro: LTC, 2020
- AZEVEDO, O. J. M. **Metodologia BIM – Building Information Modeling na Direção Técnica de Obras**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação, Universidade do Minho, Portugal, 2009.
- BOMFIM, C. A.A.; DE MATOS, Pedro Cesar Correia; LISBOA, Bruno Teixeira Wildberger. **Gestão de Obras com BIM–Uma nova era para o setor da Construção Civil**. Blucher Design Proceedings, v. 3, n. 1, p. 556-560, 2016.
- CAMPESTRINI, T. F. *et al.* (Org.). **Entendendo o BIM, 2015. Uma visão do projeto de construção sob o foco da informação**. 1ª Edição, Curitiba, Paraná, Brasil, 2015, 31p.
- DAROS, José. **GUIA COMPLETO: BIM 4D cronograma da obra**. 2019. Disponível em: < <https://utilizandobim.com/blog/bim-4d-cronograma/>>. Acesso em: 13 ago. 2023.
- DUNCAN, A.; CAPRARU, A. **An MEP Engineer’s Guide to Dynamo**. In: AUTODESK UNIVERSITY, 2015, Las Vegas.
- EVARISTO, Conceição. **Olhos d’água**. 1 ed. Rio de Janeiro: Pallas: Fundação Biblioteca Nacional, 2016.
- EASTMAN, C. *et al.* **Manual de BIM. Um guia de modelagem da informação da construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e incorporadores**. Editora Bookman, Porto Alegre, 2014.
- FUCHS, R. D. **Transmissão de energia elétrica**. 3 ed. Uberlândia-MG: EDUFU, 2015
- FREITAS, R. C. F. **O Processo de Adoção do BIM em Empresas Públicas e em Construtoras de Infraestrutura**. São Paulo. 2020. 200 p. (Mestrado) Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2020.
- GOMES, Carlos Eduardo Marmorato *et al.* **Light Steel Frame: Construção industrializada a seco para habitação popular: Práticas sustentáveis**. Encontro Latino-Americano de edificações e comunidades sustentáveis, Curitiba, Paraná, 2013.
- GONÇALVES, F. J. **BIM: Tudo o que você precisa saber sobre esta metodologia**. 2018. Disponível em: < <https://maisengenharia.altoqi.com.br/bim/tudo-o-que-voce-precisa-saber/>>. Acesso em: 14 out. 2023.

GONÇALVES, P.H. **Automatização do fluxo de informações dentro do processo BIM com foco na avaliação do desempenho térmico, acústico e o custo das decisões projetuais**. 2018. Tese de Doutorado em Estruturas e Construção Civil, Publicação E.TD – 005A/18, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 188p.

GASPAR, J.; LORENZO, N T. **Revit passo a passo** – volume I. ProBooks. São Paulo. 2015

NETTO, Cláudia Campos. **Autodesk Revit Architecture 2016 – Conceitos e Aplicações**. 1. ed. São Paulo: Saraiva, 2016.

O DYNAMO PRIMER. O que é programação visual? **O Dynamo Primer**. Disponível em: <https://primer.dynamobim.org/pt-br/01_Introduction/1-1_what_is_visual_programming.html> Acesso em: 14 ago. 2023.

PINHO, Sérgio Miguel Ferreira, **O MODELO IFC COMO AGENTE DE INTEROPERABILIDADE**. Tese de Mestrado pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal, 2013.

SAKAMORI, Marcelo Mino. **Modelagem 5D (BIM): processo de orçamentação com Estudo sobre controle de custos e valor agregado para empreendimentos de construção civil**. Curitiba, 2015. 110p. Dissertação - Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Construção Civil.

SILVEIRA, S. J.; GÓMEZ, L. A.; JUNGLES, A. E. **Metodologia para interoperabilidade entre softwares de planejamento e de visualização gráfica para o desenvolvimento do planejamento 4D**. In: ENEGEP, 26., 2006, Fortaleza. Anais... Fortaleza: 2006.

SOARES, Silvia Maria A. P. **O desenvolvimento de um aplicativo de verificação de requisitos através do Revit API**. Em: AUTODESK UNIVERSITY BRASIL, 2014, Fluminense.

TARRAFA, Diogo Gonçalo Pinto. **Aplicabilidade prática do conceito BIM em projeto de estruturas**. Dissertação de Mestrado, Universidade de Coimbra, Departamento de Engenharia Civil. 2012, 69p.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA (UFV). Grupo de Pesquisas em Recursos Hídricos. **Softwares - Plúvio**. Viçosa, 2006.

YIN, RK (2009). **Pesquisa de estudo de caso: Design e métodos**. 4ª Ed. Thousand Oaks. California: Sage Publications.