

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Rafaela Dalsenter

Uso de programação visual computacional aplicada em *software* BIM para o desenvolvimento de rotinas no dimensionamento de bombas de recalque

Florianópolis

2022

Rafaela Dalsenter

Uso de programação visual computacional aplicada em *software* BIM para o desenvolvimento de rotinas no dimensionamento de bombas de recalque

Trabalho de Conclusão do Curso apresentado ao departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientadora: Prof. Cristine do Nascimento Mutti, PhD.

Florianópolis

2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Dalsenter, Rafaela

Uso de programação visual computacional aplicada em software BIM para o desenvolvimento de rotinas no dimensionamento de bombas de recalque / Rafaela Dalsenter ; orientadora, Cristine do Nascimento Mutti, 2022.

96 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, 2022.

Inclui referências.

1. Engenharia Civil. 2. Programação Visual. 3. Dynamo. 4. Bombas de Recalque. 5. BIM. I. Mutti, Cristine do Nascimento. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia Civil. III. Título.

Rafaela Dalsenter

Uso de programação visual computacional aplicada em *software* BIM para o desenvolvimento de rotinas no dimensionamento de bombas de recalque

Este Trabalho Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Civil

Florianópolis, 14 de julho de 2022

Prof.^a Liane Ramos as Silva, Dra.
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

Prof.(a) Cristine do Nascimento Mutti, PhD.
Orientadora
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Eduardo Lobo, Dr
Avaliador
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof.(a) Liseane Padilha Thives, Dra
Avaliadora
Universidade Federal de Santa Catarina

Este trabalho é dedicado aos meus pais, Valdir e Maria Salete, e ao meu irmão Rafael, e a todos os meus colegas e amigos que me acompanharam nesta trajetória.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Valdir e Maria Salete, e ao meu irmão Rafael por não medirem esforços para eu ter o privilégio de estudar e realizar meu sonho de me graduar em Engenharia Civil em uma universidade tão renomada. Vocês sempre serão meus guias em todas as minhas jornadas. Esta conquista é de vocês também!

A Universidade Federal de Santa Catarina pela oportunidade de ter estudado em uma das melhores universidades do país e ter me proporcionado um ensino de excelência. A todos os professores e orientadores, que contribuíram para a minha formação profissional e desenvolvimento pessoal e me auxiliaram no desenvolvimento deste trabalho, em especial, a minha orientadora Cristine Mutti.

Aos meus colegas e amigos que me acompanharam por toda esta trajetória, por todo apoio, carinho, ajuda, incentivo, e alívio em momentos de tensão. Vocês foram essenciais, obrigada por tanto!

Um agradecimento especial as minhas duas amigas Eduarda e Amanda, que estiveram ao meu lado nesses últimos meses de graduação, ajudando a aliviar a tensão e ansiedade que envolve este período de finalização do curso. Obrigada por estes momentos, foram extremamente essenciais!

A todos que, de alguma forma, contribuíram para que eu chegasse até aqui, meu muito obrigada.

“O pessimista vê dificuldade em cada oportunidade. O otimista, a oportunidade em cada dificuldade.”

(Albert Landers)

RESUMO

A produtividade na indústria da construção civil brasileira vem decrescendo constantemente quando comparada com outros setores da economia. Assim, a tecnologia BIM (*Building Information Modeling*) tem surgido como aliada às empresas do ramo para manterem a competitividade de mercado. Isso ocorre devido aos grandes benefícios que esta pode trazer para a execução de um empreendimento, em todas as suas fases, desde o planejamento até as fases finais. Muitos *softwares* de engenharia já apresentam esta tecnologia integrada, e o Autodesk Revit tem ganhado grande notoriedade no mercado. Este *software* possibilita aos usuários realizarem modelagens com alto grau de detalhamento, além de diversas outras vantagens. Visando uma maior potencialidade ao programa, pode-se alinhar com o *plugin Dynamo Visual Programming*. Esta é uma ferramenta de programação visual utilizada para simplificar tarefas repetitivas, realizar interações com os modelos do Revit ou até desenvolver algoritmos para dimensionamentos sem precisar de programas auxiliares. O presente trabalho tem o objetivo de apresentar a aplicação da programação visual para o desenvolvimento de ferramentas para o dimensionamento de bombas de recalque nas edificações. Foram desenvolvidas duas rotinas responsáveis por encontrar o valor da potência necessária da bomba de recalque e criação de uma tabela dinâmica para ajudar o usuário a dimensionar o sistema elevatório de uma edificação. Posteriormente, fez-se um levantamento sobre as limitações e benefícios das ferramentas que foram desenvolvidas neste trabalho, e, ao final, uma análise comparativa sobre os resultados obtidos em relação ao dimensionamento realizado por uma planilha de Microsoft Excel. Desta forma, através deste trabalho, verificou-se que pode ser possível aumentar as capacidades existentes do *software* Autodesk Revit e integrar conhecimentos de programação e sistemas prediais de água, onde tornou-se possível dimensionar bombas de recalque de edificação com eficácia e rapidez, trazendo à plataforma BIM, maior eficiência, tecnologia e competitividade.

Palavras-chave: BIM. Programação Visual. Dynamo, Revit. Bombas de Recalque.

ABSTRACT

Productivity in the Brazilian construction industry has been steadily decreasing when compared to other sectors of the economy. Thus, BIM technology has emerged as a tool for companies in the field to maintain market competitiveness. This is due to the great benefits that it can bring to the execution of an enterprise, in all its phases, from the planning to the final phases. Many engineering software already have this integrated technology, and Autodesk Revit is gaining great notoriety in the market. This software allows users to perform modeling with a high degree of detail, in addition to several other advantages. In order to increase the potential of the program, it can be aligned with the Dynamo Visual Programming plugin. This is a visual programming tool used to simplify repetitive tasks, perform interactions with Revit models or even develop algorithms for dimensioning without needing auxiliary programs. The present work aims to present the application of visual programming for the development of tools for the design of booster pumps in buildings. Two routines were developed responsible for finding the value of the required power of the booster pump and creating a dynamic table to help the user to dimension the lifting system of a building. Subsequently, a survey was carried out on the limitations and benefits of the tools that were developed in this work, and, at the end, a comparative analysis was carried out on the results obtained in relation to the design performed by a Microsoft Excel spreadsheet. Therefore, through this work, it was verified that it may be possible to increase the existing capabilities of Autodesk Revit software and integrate programming knowledge and water building systems, where it became possible to dimension building booster pumps efficiently and quickly, bringing greater efficiency, technology and competitiveness to the BIM platform.

Keywords: BIM. Visual Programming. Dynamo. Revit. Booster Pumps.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1– Porcentagem de variação do PIB da construção civil em relação ao PIB do Brasil.....	15
Figura 2 – Objetivos buscados por profissionais que desejam adotar o BIM em seu trabalho	18
Figura 3 – Exemplo de programação textual.....	23
Figura 4 – Exemplo de programação visual	24
Figura 5 – Estrutura de um nó no Dynamo	27
Figura 6 – organização dos pacotes de Nós no Dynamo.....	28
Figura 7 – Interface do Dynamo.....	29
Figura 8 – Execução automática	30
Figura 9 – Execução manual realizada pelo próprio usuário	30
Figura 10 – Nó específico para criação de códigos na linguagem Python.....	31
Figura 11 – Plano de trabalho da linguagem Python.....	32
Figura 12 – <i>Plugin</i> Dynamo dentro do Revit	33
Figura 13 – Bomba Centrífuga em corte	35
Figura 14 – Estrutura de uma bomba centrífuga	36
Figura 15 – Elementos de um conjunto elevatório.....	37
Figura 16 – Diagrama de Moody	43
Figura 17– Diagrama de Hunter-Rouse.....	44
Figura 18 – Rugosidade v e coeficiente de atrito f para alguns materiais	44
Figura 19 – Ábaco da Crane Corporation	48
Figura 20 – Bomba centrífuga KSB Meganorm, linha Mega	50
Figura 21 – Diagrama de quadricular para bomba de KSB Meganorm.....	50
Figura 22 – Bomba centrífuga KSB megaline, linha Megabloc	51
Figura 23 – Diagrama de quadricular para bomba de KSB Megaline	51
Figura 24 – Calculadora onde cliente obtém modelo de bomba conforme valores de vazão e altura manométrica	52
Figura 25 – Resultados obtidos na pesquisa.....	53
Figura 26 – Fluxograma da metodologia da pesquisa.....	54
Figura 27 – Fluxograma de passos para a criação da rotina.....	57
Figura 28 – Fluxograma base para criação da rotina.....	58

Figura 29 – Ajustes na tubulação de sucção do projeto	62
Figura 30 – Ajustes na tubulação de recalque do projeto.....	62
Figura 31 – Fluxograma ilustrando as etapas para o dimensionamento utilizando as rotinas desenvolvidas.....	63
Figura 32 – Code Block com indicações para usuários.....	64
Figura 33 – Dados de entrada da Rotina	65
Figura 34 – Transformação de unidade e cálculo do diâmetro de recalque sugerido	65
Figura 35 – Cálculo da vazão no Dynamo	66
Figura 36 – Função <i>Math.Pow</i>	67
Figura 37 – Seção responsável pela filtragem e somatório dos comprimentos da tubulação de recalque	69
Figura 38 - Seção responsável por filtrar as tubulações de Recalque pelo parâmetro Marca.....	69
Figura 39 - Seção responsável por filtrar os tubos de recalque e somar seus comprimentos	69
Figura 40 – Função <i>Math.Sum</i>	70
Figura 41 – Cálculo comprimento equivalente de recalque	70
Figura 42 – Aproximação da rotina (Lado esquerdo)	70
Figura 43 – Aproximação da rotina (Lado direito)	71
Figura 44 – Parâmetros de elevação de um tubo do Revit	71
Figura 45 – Cálculo da altura estática de recalque	72
Figura 46 – Resultados finais da tubulação de recalque	73
Figura 47 – Aproximação da seção – lado esquerdo.....	73
Figura 48 – Aproximação da seção – lado direito.....	73
Figura 49 – Seção responsável pela conferência da velocidade.....	74
Figura 50 – Aproximação da seção – lado esquerdo.....	74
Figura 51 – Aproximação da seção – lado direito.....	75
Figura 52 – Resultados Finais da bomba de recalque	76
Figura 53 – Rotina II	76
Figura 54 – Rotina II	77
Figura 55 – Projeto arquitetônico em três dimensões Projeto 01	79
Figura 56 – Projeto arquitetônico em três dimensões Projeto 02.....	79
Figura 57 – Projeto arquitetônico em três dimensões Projeto 03.....	80

Figura 58 – Dimensionamento realizado pelo Excel.....	81
Figura 59 – Bomba Multiestágio Schneider Me-al	83

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Perdas de cargas localizada sem metros de tubulação de PVC rígido ou cobre....	49
Quadro 2 – Tempo de Execução das Rotinas por projeto	82

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

API – Application Programming Interface

BIM – Building Information Modeling

CAD – Computer-aided design

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

LOD – Level of Development

MEP – Mechanical Electrical and Plumbing

NBR – Norma Técnica Brasileira

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	JUSTIFICATIVA	15
1.2	OBJETIVOS	18
1.2.1	Objetivo Geral.....	18
1.2.2	Objetivos Específicos	18
1.3	LIMITAÇÕES E DELIMITAÇÕES	19
1.4	ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO.....	19
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
2.1	<i>Building Information Modeling</i>	20
2.2	FERRAMENTAS BIM EM PROGRAMAÇÃO VISUAL.....	22
2.3	O DYNAMO	25
2.3.1	Aplicabilidade	27
2.3.2	Integração Dynamo – Revit	30
2.3.3	Relação do Dynamo com a linguagem de programação em Python.....	31
2.3.4	Aplicação e funcionalidades do Dynamo	33
2.4	BOMBAS HIDRÁULICAS	34
2.4.1	Considerações iniciais.....	34
2.4.2	Dimensionamento	37
2.4.3	Dimensionamento da tubulação do sistema elevatório.....	38
2.4.4	Dimensionamento da Bomba de Recalque	39
2.4.5	Rendimento da bomba	40
2.4.6	Altura manométrica	40
2.4.6.1.1	Determinação das perdas de carga.....	41
2.4.6.1.2	Perda de Carga Normal.....	45
2.4.6.1.3	Perdas de Carga Localizadas	46

2.5	ESCOLHA DA BOMBA	49
3	METODOLOGIA.....	54
3.1	ESTRUTURAÇÃO	55
3.2	CRIAÇÃO DAS ROTINAS DE CÁLCULO.....	59
3.3	AJUSTES INICIAIS NO PROJETO.....	60
3.3.1	Rotina I – Parte de dimensionamento da bomba.....	64
3.3.1.1	<i>Dados de entrada e informações iniciais – Parte B.....</i>	64
3.3.1.2	<i>Tubulação de recalque – Parte C.....</i>	67
3.3.1.2.1	Filtragem e comprimento da tubulação de recalque	67
3.3.1.2.2	Comprimento Equivalente de recalque.....	70
3.3.1.2.3	Altura estática de recalque.....	71
3.3.1.2.4	Resultados finais da tubulação de recalque	72
3.3.1.3	<i>Tubulação de sucção – Parte A.....</i>	74
3.3.1.4	<i>Resultados finais – Parte D.....</i>	75
3.3.2	Rotina II – Criação da tabela dinâmica – Parte E.....	76
4	APLICAÇÃO PRÁTICA DA METODOLOGIA	79
5	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS.....	82
6	CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	84
6.1	Sugestões para trabalhos futuros	86
	REFERÊNCIAS.....	87
	APÊNDICE A – Rotinas desenvolvidas: Rotina I	93
	APÊNDICE B – Rotinas desenvolvidas: Rotina II Erro! Indicador não definido.	

1 INTRODUÇÃO

1.1 JUSTIFICATIVA

A indústria da construção civil é um dos principais setores da economia do país, importância mostrada pela contribuição em 2019 com 3,2% do Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro (CBIC, 2020), e apesar de ter sido afetado pela pandemia mundial de COVID-19, o setor vem se recuperando, representando atualmente 2,5% do PIB Brasileiro (CBIC, 2022). Mundialmente, o setor da construção civil cresceu, em média, 1% ao ano nas duas últimas décadas, enquanto a economia mundial cresceu 2,8% e o setor industrial 3,6% (BARBOSA et al., 2017). No entanto, o setor sofreu, por muitos anos, uma queda de produtividade em função da falta de inovações e da defasagem tecnológica (CEOTTO, 2017). Tais circunstâncias de inseguranças e intranquilidades são exibidas na Figura 1. Conforme apresentados índices de pesquisas exibem esta abrupta variação de crescimento do setor (IBGE, 2021), gerando inseguranças e intranquilidade de empresas do ramo.

Figura 1– Porcentagem de variação do PIB da construção civil em relação ao PIB do Brasil



Fonte: IBGE (2021)

Desta forma, neste contexto de retração e inseguranças vivenciados nesta última década, foi necessário encontrar maneiras de diminuir os custos e aumentar a produtividade das empresas do setor (ESTEVAM 2018). Eastman et al (2014), sugeriu que as evidências de baixa produtividade devem-se a um processo que envolve um fluxo pobre de informações que exige frequentemente a entrada manual de dados. Para o autor está claro que as eficiências obtidas na

manufatura seriada por meio da automação, do uso de sistemas de informação e de práticas de gerenciamento mais aperfeiçoadas ainda não foram alcançadas no setor da construção civil. Já para Hardin (2015), a construção civil desempenha um papel fundamental na economia mundial, mas há muito que se caracteriza por uma baixa produtividade, onde seus processos são largamente fabricados, dando origem a baixa eficiência, elevado consumo e desperdício de recursos materiais e humanos.

Para tais autores, o *Building Information Modeling* (BIM) surge como uma forte aliada das empresas do ramo, a fim de contribuir com o aumento da competitividade, devido aos grandes benefícios que pode trazer para a execução de um empreendimento, em todas as suas fases, desde o planejamento até as fases finais. Hardin (2015) afirmou que, antes da tecnologia BIM, toda a etapa de planejamento de um empreendimento era muito prolongada e erros de compatibilização ocorriam com uma maior frequência. Assim, a probabilidade de prejuízos e danos moderados a graves era consideravelmente maior.

De acordo com o autor, o BIM é uma tecnologia cada vez mais presente no mundo da engenharia pois seu uso auxilia tanto no projeto quanto na execução de obras de todos os portes, auxiliando também em questões financeiras e de otimização de tempo. Para Netto (2016), a tecnologia em questão pode ser dita como revolucionária: um único sistema que permite a criação de projetos 3D, com todas as especificações de elementos de construção e materiais utilizados. Tamanho potencial revela, assim, uma plataforma completa para integração dos setores envolvidos no projeto. Assim, além da equipe de projetistas e o setor de compras, é possível alinhar todo *backoffice* em cada etapa do projeto, da sua concepção até a manutenção pós-entrega. Além destes benefícios, Hardin (2015) citou diversos outros âmbitos na economia de tempo utilizando suas funções automáticas, na facilidade de integração eliminando a necessidade de encontros e na economia financeira nas tomadas de decisões, pois possibilita a obtenção de informações prévias e precisas. É de conhecimento geral que desde 2015, quando essa afirmação foi feita, o uso da tecnologia aumentou no setor da construção. Campos (2022) também cita outras vantagens, como a disponibilidade de acesso a informações com mais agilidade, como estudo de impactos ambientais, simulações energéticas, acompanhamento virtual de um empreendimento e seu cronograma completo de execução, entre outros.

Os principais itens que diferenciam o BIM dos sistemas de CAD (*Computer-aided design*) tradicionais são a modelagem paramétrica e a interoperabilidade¹. Devido às inúmeras informações que são compartilhadas no processo de desenvolvimento do produto de uma construção, necessita-se a expansão desta interoperabilidade, de modo a otimizar a troca de dados entre sistemas com conhecimento de linguagem e formato. Por ser uma ferramenta visual e gráfica, o uso desta tecnologia também facilita imensamente o entendimento geral do projeto como um todo, tanto no que tange à execução quanto ao planejamento das atividades (EASTMAN et al., 2008).

Desta forma, o *software* Autodesk Revit entra como uma das possíveis soluções de ferramentas BIM desenvolvido para coordenação, integração e colaboração. Este é um *software* de complexidade elevada e com a curva de aprendizado extensa comparada à de outras ferramentas disponíveis. Este software proporciona vantagens aos projetistas que o utilizam, como qualidade projetual e construtiva, eficiência, ganho de velocidade e diminuição de tarefas desnecessárias, controle de projetos, entre outros, aliando excelência e rapidez na vida dos engenheiros projetistas (HARDIN 2015).

No entanto, embora o Autodesk Revit seja mundialmente utilizado e popularmente conhecido para questões de modelagem, o mesmo não conta com um método específico nativo de dimensionamento. Desta forma, muitos engenheiros projetistas optam por utilizar os métodos tradicionais de elaboração de projetos em *softwares* como o AutoCAD, com o auxílio de planilhas de cálculo, e até mesmo outros *softwares* não tão completos em relação à modelagem, mas que oferecem a ferramenta de dimensionamento (FERREIRA, 2022). Para o autor, a utilização de outros *softwares* em conjunto pode retardar o processo e gerar um custo financeiro maior ao projetista, além de poder ocorrer erros de dimensionamento quando cálculos são realizados manualmente.

Nesse contexto, ferramentas como o *Dynamo* e o *Python* podem ser utilizadas para estender as funcionalidades do Revit, desde a automatização de tarefas rotineiras, reduzindo o tempo de modelagem, como também para criação de algoritmos de dimensionamento. Dessa forma, o Revit pode se tornar um *software* totalmente independente e completo, com possibilidades de se modelar, dimensionar, elaborar vistas isométricas e cortes detalhados, emitindo também planilhas orçamentárias e quantitativos. Deste modo, há uma consequente

¹ A interoperabilidade é a capacidade de identificar os dados necessários para serem passados entre aplicativos (EASTMAN et al., 2008). Com ela é eliminada a necessidade de réplica de dados de entrada, facilitando, de modo automatizado, o fluxo de trabalho entre diferentes aplicativos em um projeto.

minimização na ocorrência de erros, aspecto buscado por muitos profissionais que desejam adotar o BIM como ferramenta de trabalho, conforme mostrado na Figura 2, uma vez que os projetos são planejados, elaborados e modificados de forma compatibilizada desde o início (SOUZA; LYRIO, 2009).

Figura 2 – Objetivos buscados por profissionais que desejam adotar o BIM em seu trabalho



Fonte: Souza e Lyrio (2009)

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho consiste em desenvolver e avaliar algoritmos para o dimensionamento de bombas de recalque em edificações no *software* Autodesk Revit.

1.2.2 Objetivos Específicos

- a) Criar ferramentas por meio da programação visual para dimensionamento de bombas de recalques em edificações;
- b) Aplicar ferramentas desenvolvidas em um projeto real de sistemas prediais de água fria;
- c) Analisar o desempenho das rotinas;
- d) Elencar vantagens perante a outros métodos e limitações das rotinas criadas.
- e) Disseminar o uso o Dynamo como alternativa para ferramenta de dimensionamento.

1.3 LIMITAÇÕES E DELIMITAÇÕES

O presente trabalho delimita-se à utilização de Linguagem de Programação Visual para dimensionar bombas de recalques em edificação, através de encontrar o valor de sua potência necessária de trabalho. O ambiente de utilização será o Dynamo, ferramenta associada ao software de modelagem Revit. O trabalho terá foco e se limitará a bombas centrífugas de edificações residenciais.

1.4 ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO

Este Trabalho de Conclusão de Curso está organizado em cinco capítulos, que permitem explorar os conteúdos específicos e necessários para entendimento e desenvolvimento do trabalho.

O primeiro capítulo é introdutório e apresenta a contextualização do tema, bem como a justificativa do trabalho, os objetivos, limitações e a estruturação.

O segundo capítulo compreende a revisão bibliográfica, que aborda os conceitos de Programação Visual Computacional, Dynamo (desde suas funcionalidades até o seu entendimento), uma aprofundização sobre o funcionamento das bombas de recalque em edificações e seu método de dimensionamento indicado pela NBR 5626:1992.

O terceiro capítulo aborda a metodologia empregada na elaboração do trabalho, isto é, quais foram os procedimentos para alcançar os objetivos propostos.

O quarto capítulo contém a aplicação da metodologia em um projeto real, e os resultados obtidos.

E por fim, no quinto capítulo são apresentadas as conclusões do trabalho e sugestões para trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 BUILDING INFORMATION MODELING

A sigla BIM significa *Building Information Modeling*, traduzido para o português, Modelagem da Informação da Construção. Underwood e Isikdag (2010) definem BIM como um modelo de informação que abrange completamente e suficientemente a informação necessária para auxiliar todos os processos do ciclo de vida da edificação e que pode ser interpretado diretamente por programas computacionais.

De acordo com Hardin (2015), o propósito do BIM é construir uma estrutura virtual antes da sua construção física. Esse modelo permite que os projetistas possam analisar e explorar o modelo virtual aonde o custo para alterações é menor do que aquele praticado durante a execução da obra.

A grande diferença dos modelos BIM para o processo tradicional é a utilização de objetos paramétricos. Programas de modelagem tradicionais CAD (*Computer-aided design* ou Desenho assistido por computador) 2D e 3D representam as informações através de elementos geométricos como pontos, linhas e retângulos. Esses programas não possuem dados sobre as entidades do que está sendo modelado (KHEMLANI, 2004).

Os modelos BIM, por sua vez, são compostos por objetos paramétricos que consistem em definições geométricas com dados e regras associadas. A geometria destes objetos não permite inconsistências e as regras paramétricas modificam automaticamente as geometrias associadas. Além disso, estes objetos tem a capacidade de vincular-se ou receber outros objetos e de divulgar ou exportar um conjunto de atributos (EASTMAN et al, 2014).

Existem atualmente diversos *softwares* que trabalham com tecnologia BIM. Para uma escolha correta, o projetista deve avaliar as características de cada *software* de acordo com as suas necessidades. Segundo Khemlani (2007 apud ANDRADE 2009), os principais critérios para a escolha de um *software* BIM são a capacidade de uma produção completa, sem necessitar de outros *softwares*; objetos que possibilitem uma relação associativa e conectiva com outros objetos; e, disponibilidade da biblioteca de objetos. Eastman et al (2014) expõem outras capacidades para serem analisadas na escolha do *software*, dentre elas:

- Interface do usuário, uma interface ruim resulta em longos períodos de aprendizagem e maior quantidade e frequência de erros.

- Facilidade na geração de desenhos, de modo que as mudanças no modelo se propaguem diretamente aos desenhos e vice-versa e que seja possível de gerar formatação automática conforme necessário.

- Facilidade de desenvolver objetos paramétricos personalizados, através da eficiência da ferramenta de esboço.

- Escalabilidade, habilidade em lidar com combinações de projetos em grandes escalas e modelagem com alto nível de detalhamento.

- Interoperabilidade.

- Ambiente multiusuário, permissão para que múltiplos usuários criem e editem partes do mesmo projeto em um único arquivo e gerenciem o acesso de outros usuários a essas informações.

O Revit é um *software* desenvolvido pela Autodesk que trabalha com a tecnologia BIM. O programa inclui recurso para projeto de arquitetura, engenharia de sistemas mecânicos, elétricos e hidráulicos, engenharia estrutural e construção (AUTODESK, 2021). A solução BIM completa inclui o Revit *Architecture* (projeto de arquitetura), Revit *Structure* (projeto de estrutura) e Revit *MEP* (projetos de instalações elétricas, hidráulicas e ar condicionado). A interoperabilidade entre eles permite a solução completa do modelo digital do edifício (NETTO, 2016).

Eastman et al (2014) apontaram como pontos fortes do *software* a facilidade de aprendizado, a interface amigável, o amplo conjunto de bibliotecas, a geração e o gerenciamento de informações com base em atualizações tanto no desenho quanto de vistas do modelo e o suporte a operações simultâneas no mesmo projeto. Entretanto, o autor cita que, como o sistema é baseado em memória, o *software* apresenta lentidão quando se trabalha com projetos maiores. Além disso, o autor também explica que o Revit possui limitações nas regras paramétricas que lidam com ângulos e não suporta superfícies curvas complexas.

Apesar de ser um *software* muito completo e mundialmente utilizado para fins de modelagem, Ferreira (2022) cita o fato de o Revit não realizar algumas funções de dimensionamento, fazendo com que muitos usuários utilizem algum outro *software* adicional para realizar tal ação, gerando, muitas vezes, um gasto financeiro e um tempo adicional despendido. Desta forma, o autor comenta que, para aumentar e potencializar as funcionalidades de um *software* e otimizar tempo e dinheiro, muitos profissionais acabam optando pela utilização de *plugins*. Ribeiro (2022) comenta que *plugin* é uma extensão que

permite adicionar novas ferramentas a um determinado *software* e, de maneira geral, possibilita aumentar as funcionalidades do *software* e pode trazer um diferencial na produtividade e nos resultados. A autora também cita que, desta forma, alguns *plugins* acabam ganhando notoriedade no quesito dimensionamento. Ribeiro também comenta que, um destes *plugins* é o Dynamo, uma ferramenta de programação que usa a estrutura visual, a chamada “programação visual” no qual é possível utilizar o *software* sem possuir conhecimento em linguagem de programação.

2.2 FERRAMENTAS BIM EM PROGRAMAÇÃO VISUAL

Atualmente, muitos setores procuram maneiras de melhorar sua qualidade e eficiência em seus processos por meio da automatização de atividades repetitivas. Para o ramo de serviços, Domingues (2019) comentou que a solução que está sendo utilizada é a elaboração de algoritmos capazes de desenvolver grande parte das tarefas de baixo nível intelectual agregado, permitindo que os profissionais concentrem seus esforços em atividades que exigem alto grau de raciocínio. Terdzis (2006) e Gianetti (2006) discutem, em suas respectivas obras, sobre como os métodos de elaboração de algoritmos podem auxiliar na melhoria da produtividade das empresas.

Para Terzidis (2006) o algoritmo é uma combinação de atividades visando a resolução de um problema conhecido, ou também pode ser visto como uma busca por variações de possíveis soluções aleatórias para um problema parcialmente conhecido. Observando-se o algoritmo a partir dessas duas óticas, podemos entender sua elaboração como a tradução de um problema em um conjunto de etapas finitas, coerentes e racionalmente lógicas para se resolver um problema. Segundo Kant (1985) a criação de um algoritmo consiste na conversão de esquemas de sequenciamento lógico, facilmente legíveis ao ser humano, em uma linguagem computacionalmente compreensível para atingir propósitos pré-estabelecidos. Para tais autores, a construção de algoritmos deve ser orientada por um caminho racional visando processos diretos e eficientes para resolução do que se propõe, sempre com foco em uma manipulação intuitiva e interfaces amigáveis por parte do usuário.

Para Giannetti (2006), dentre as diversas formas de comunicação e expressão intelectual emitidas pelos usuários, o computador assimila a entrada de informações através de seleção, escaneamento, clique, etc. O resultado de saída é consequência de um processamento

realizado pelo algoritmo e apresentado através de uma interface. Vale ressaltar que o tempo de processamento também é um quesito importante, visto que a resposta computacional deve ser dada sem atraso, viabilizando o uso.

De acordo com Kensek (2015), a busca por ferramentas de programação visual por parte de profissionais de projetos para a construção civil tem crescido no mundo inteiro, especialmente em função destas ferramentas permitirem a geração de formas complexas e manipulação de parâmetros através de algoritmos de fácil entendimento. Para o autor, este paradigma de programação tem democratizado a criação de algoritmos e facilitando o desenvolvimento de programas por profissionais de ramos que não envolvem tanto a parte de programação, como arquitetos e engenheiros civis.

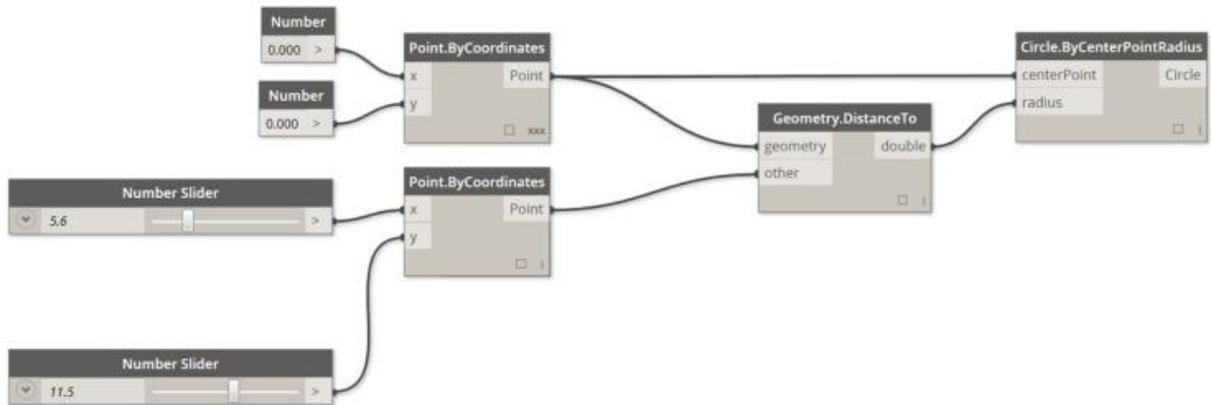
Pavlov (2015) cita que as funções das linguagens de programação escritas e visuais são iguais, ambas funcionam a partir de uma certa lógica de comandos com o objetivo de criar ou alterar algo dentro do modelo. O principal diferencial da programação visual é a interface com o programador, que se torna intuitiva por ser realizada através da interligação entre caixas de comando chamadas “nós”, constituídas a partir de códigos em linguagem *Python*, por exemplo. Por meio da conexão de vários nós, é possível criar redes de comando chamadas “scripts”, que agem no modelo de forma automatizada. As Figuras 3 e 4 apresentam as diferenças entre um código tradicional e outro visual, ambos com o objetivo de desenhar um círculo a partir de um ponto.

Figura 3 – Exemplo de programação textual

```
myPoint = Point.ByCoordinates(0.0,0.0,0.0);  
x = 5.6;  
y = 11.5;  
attractorPoint = Point.ByCoordinates(x,y,0.0);  
dist = myPoint.DistanceTo(attractorPoint);  
myCircle = Circle.ByCenterPointRadius(myPoint,dist);
```

Fonte: Pavlov (2015)

Figura 4 – Exemplo de programação visual



Fonte: Pavlov (2015)

O autor também comenta que ambos os códigos possuem o mesmo *input* e *output*, porém a programação visual é mais adequada para pessoas com pouco ou nenhum conhecimento de programação, como, para pessoas que nunca trabalharam com codificação e podem usar a programação visual para alcançar resultados semelhantes à programação textual. Porém, o autor também ressalta três importantes diferenças entre os dois métodos de programação:

- Possibilidades. A programação textual existe desde que o *software* existe. A programação visual (pelo menos na cena de substituição de programação textual em *software* de construção) é muito mais novo. Como tal, não é tão desenvolvido e nunca pode vir na frente de seu “pai”. Em situações onde não for suficiente, blocos de código textual podem ser inseridos dentro do ambiente visual para as necessidades específicas. Dado este fato, a programação visual não é tão rica e capacitadora quanto a textual, mas permitem desenvolver algoritmos sem habilidades de codificação.
- Flexibilidade. Depois de executar um código escrito, não há como voltar e ver exatamente o que e onde aconteceu. Se o código está funcionando como esperado, isso não é um problema, mas um grande momento de qualquer programador é gasto em encontrar erros no código. Uma solução é escrever linhas adicionais de código de “depuração”, para ajudar acompanhar as mudanças nas informações que fluem através do código. Trabalhando com programação visual permite que

as coisas sejam mais simples nesse sentido, pois depois de executar um “roteiro visual”, pode-se voltar cada comando e veja seus resultados no momento do cálculo. Isso torna a depuração muito mais simples do que passar por muitas linhas de código sem essa ajuda.

- Execução em tempo real. Compreensivelmente, um código não pode ser executado no momento de sua criação. A programação visual elimina essa limitação, pois colocar um nó, como uma ação única, atua como um completo e bloco de código finalizado. Depois de conectar suas entradas adequadamente, o código pode ser executado automaticamente e a alteração de qualquer uma das entradas é refletida no resultado na vida real.

Desta forma, o autor conclui que, apesar de a programação visual estar em desvantagem em alguns quesitos em relação à programação textual, ela ganha notoriedade devido a sua facilidade de aprendizado e seus resultados semelhantes.

Ademais, com a evolução dos *softwares* BIM, aplicativos que inicialmente eram focados na geração de formas arquitetônicas através da manipulação paramétrica passaram a ser utilizados para automatização de atividades durante o fluxo de trabalho dos projetos BIM, possibilitando, por meio da manipulação de parâmetros inseridos nos modelos, diversas funções que aumentam a eficiência e controle dos usuários sobre o processo projetual (AUTODESK, 2016). Dentre as diversas ferramentas disponíveis no mercado, destacam-se a ferramenta *Generative Components* (que integra o Bentley OpenBuildings²) e o *Grasshopper*, que trabalha de forma integrada com a ferramenta de modelagem 3D Rhinoceros da empresa McNeel e com o *software* de autoria Graphisoft ArchiCAD e o Dynamo, a ferramenta incorporada ao Autodesk Revit que será explorada neste presente trabalho. (DOMINGUES, 2019)

2.3 O DYNAMO

O *Dynamo Visual Programming*, mais conhecido como Dynamo, é uma aplicação de programação visual de código aberto, tendo sua primeira versão lançada em 2011 (NEZAMALDIN, 2019), podendo ser utilizado como um *software* autossuficiente na sua versão "Sandbox" ou como um “plug-in” (extensão) em *softwares* como o Revit. De acordo

² Antigo Bentley AECOSim

com Domingues (2019), é uma ferramenta concebida para expandir as funções do Revit, sendo que em suas últimas versões o *software* de autoria já vem com a instalação do aplicativo automática. O autor também comenta que, essencialmente, o *software* é uma ferramenta de criação de algoritmos que usa como base a programação visual, permitindo ao usuário produzir suas próprias rotinas, mesmo sem deter domínio em nenhuma linguagem de programação, além de poder ser utilizado para diversas finalidades, seja automação de atividades repetitivas, interações com os modelos do Revit, ou elaboração de modelos a partir de premissas complexas ou informações externas.

O Dynamo é uma ferramenta que em seu conceito permite um leque muito abrangente de aplicações. Dentre as principais aplicações que esta ferramenta pode propiciar, pode-se listar a elaboração de estruturas no Revit através da linguagem de programação e a extração de dados de um modelo para plataformas externas, como duas de suas principais atribuições. No *site* oficial do *software*, diversas aplicações são apresentadas para os mais variados perfis de profissionais que utilizam a ferramenta, apresentando possibilidades desde utilização como forma de impressora até a exportação de dados como dashboard para o *software* Excel da Microsoft. (KRON, 2013).

Segundo Sgambelluri (2014), gerar geometrias como a de um quarto, por exemplo, no Dynamo é bastante simples e rápido, o que mostra como através de parâmetros na rede lógica estabelecida é possível se obter elementos de forma rápida e eficaz utilizando esta plataforma. Portanto, com o Dynamo, é possível se criar de maneira racional e programatizada, massas, estruturas, famílias e entre outros elementos no Revit apenas definindo alguns parâmetros na rede visual de “quadros” do programa.

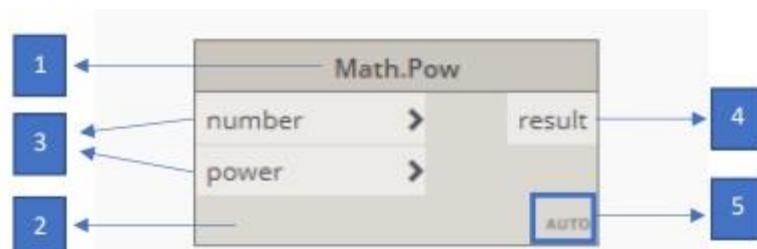
Diante das diversas aplicações que o Dynamo pode ter, fica a critério do projetista e do nível de detalhe que ele quer chegar o quão vantajoso esse plug-in pode se tornar. Segundo Snyder apud (GRIMM, 2014) existe uma tendência cada vez maior de as pessoas entregarem definições por meio de *add-ins* de plataformas de programação gráfica ao invés de entregar definições apenas por programas executáveis.

2.3.1 Aplicabilidade

O Dynamo possui uma interface intuitiva de fácil domínio, isso devido a sua base de "programação visual", ou seja, não é necessário saber programação de texto "base" ou textual, por exemplo. Em relação à complexidade de programação, o Dynamo pode ser descrito como uma ferramenta de programação que busca ser acessível para programadores, bem como para usuários não familiarizados com programação, uma vez que é utilizado o sistema de Nós como base de funcionamento (PRIMER, 2021). De acordo com Ferreira (2022), cada um destes nós, que compõem o desenvolvimento do código aberto, possui a seguinte estrutura:

- 1. Nome do Nó;
- 2. Corpo do Nó como um todo;
- 3. Dados de entrada ("input");
- 4. Dados de saída ou resultado ("output");
- 5. Ícone de laço, utilizado para trabalhar com listas e sublistas;

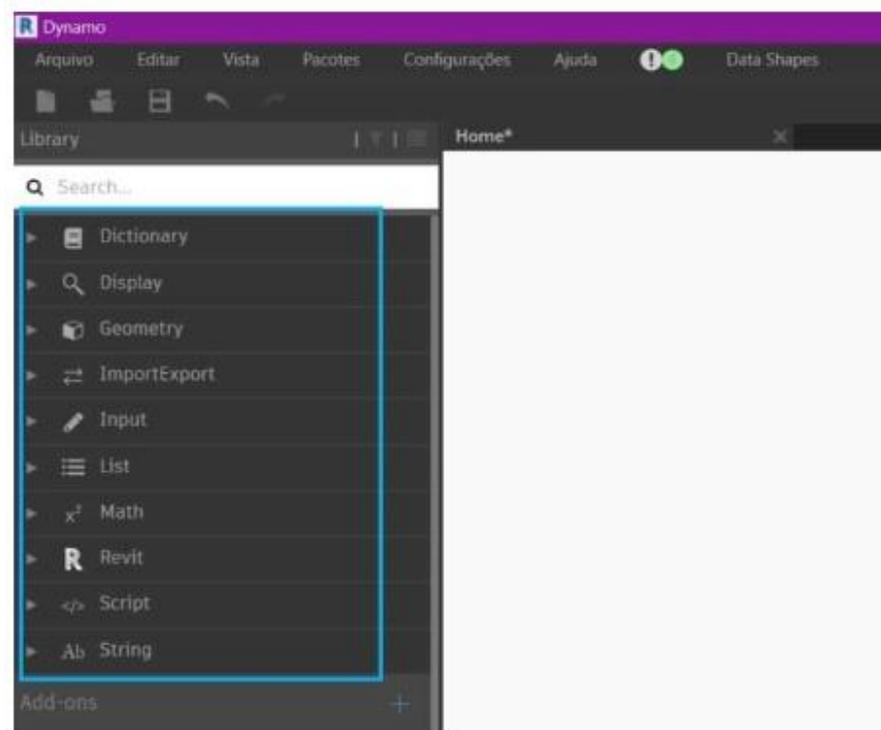
Figura 5 – Estrutura de um nó no Dynamo



Fonte: Ferreira (2022)

Dentro do plano de trabalho do Dynamo, os Nós estão organizados dentro de pacotes, também chamados de *packages*. A Figura 6 ilustra a organização dos pacotes de Nós padrões do Dynamo. Tais Nós fazem parte da biblioteca nativa do Dynamo chamada *DSCore*. Segundo Anton (2020), os nós podem ser acessados através do menu esquerdo. Eles estão separados em algumas categorias principais (*Dictionary, Display, Geometry, ImportExport, Input, List, Math, Revit, Script e String*).

Figura 6 – organização dos pacotes de Nós no Dynamo

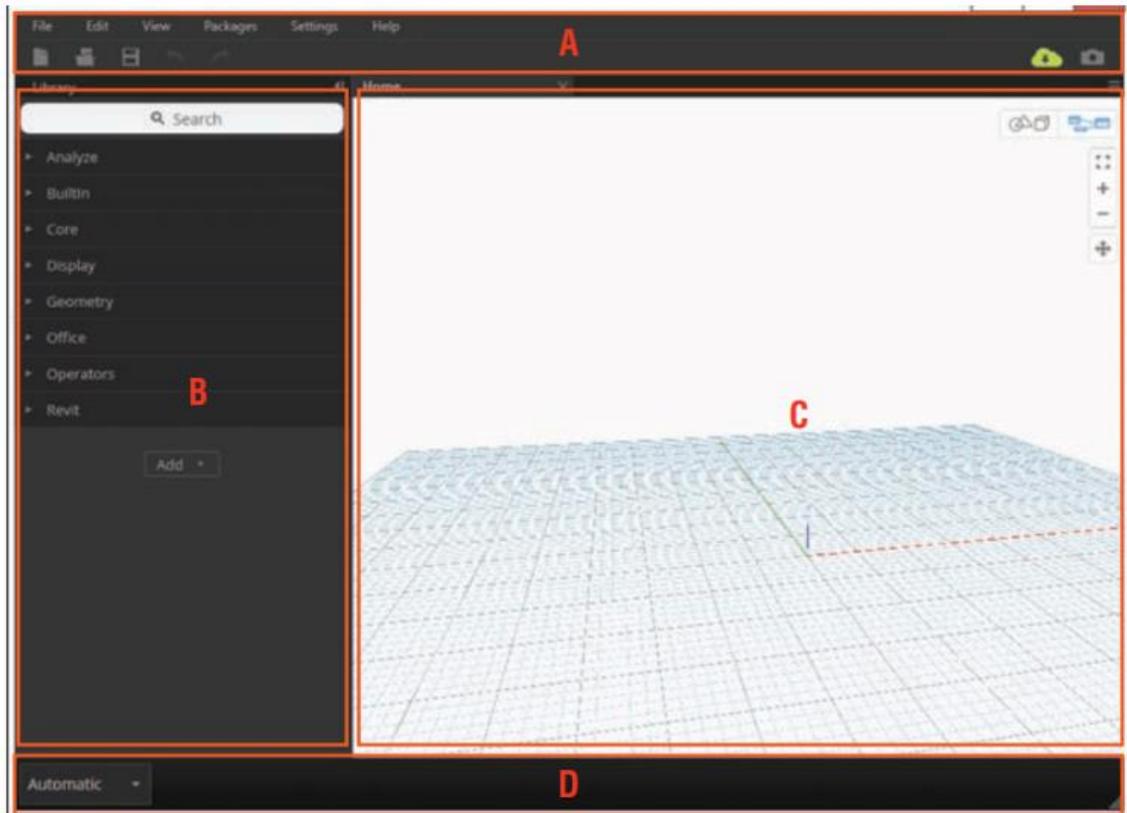


Fonte: Anton (2020)

Em comparação ao modelo tradicional de programação, onde o fluxo de trabalho acontece de cima para baixo, Ferreira (2022) cita que, o sentido de ação, no caso da programação visual, se dá da esquerda para a direita, onde os Nós estão interligados e compartilhando informações. O autor comenta que, durante o processamento, um Nó envia informações para o outro por meio do seu ponto de saída, ou output, localizado à direita, enquanto que o receptor recebe as informações no seu ponto de entrada, ou input, localizado à esquerda.

Giavoni (2018) apresenta a interface do usuário dividida em quatro regiões principais, de acordo com suas funcionalidades, conforme mostrado na Figura 7.

Figura 7 – Interface do Dynamo



Fonte: Giavoni (2018)

O autor diferencia a interface em quatro regiões distintas, de acordo com sua função:

A: *Toolbar* (barra de ferramentas): Como todo *software* padrão *Windows*, essa interface possui os botões clássicos de visualização, seleção e de salvamento do arquivo. Também, ao deixar o mouse sobre o botão, irá aparecer um pequeno resumo de sua função.

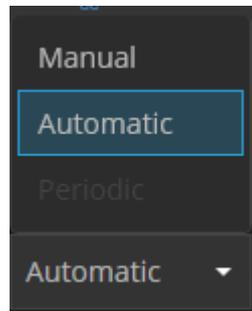
B: *Node Library* (Biblioteca de Nós): A Biblioteca de Nós é um repositório categorizado para todos os nós disponíveis. Você pode navegar pela Biblioteca de Nós clicando nos menus e sub- menus até revela um conjunto de nós e suas descrições.

C: *Workspace* (Plano de Trabalho): O espaço de trabalho é onde você interage com Nós enquanto desenvolve seu algoritmo do Dynamo. O espaço de trabalho é uma área em que duas visualizações são sobrepostas: a vista de gráfico e uma pré-visualização em 3D. Ambos são renderizados simultaneamente.

D: *Barra de Execução*: onde é executado a definição do Dynamo ou executa o processo definido na exibição. Uma nova definição é padronizada como automática. Isso significa que a definição está sendo executada automaticamente e é atualizada imediatamente

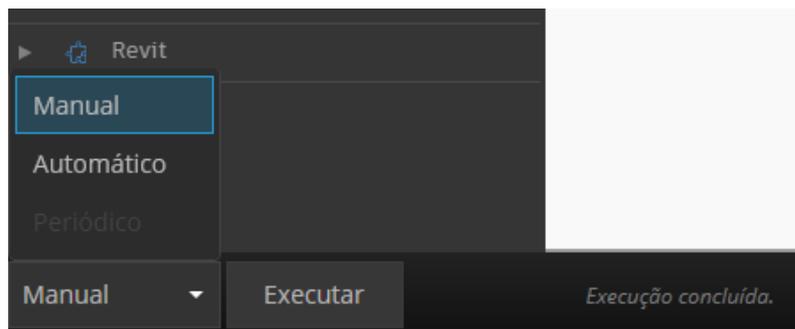
quando é modificado. Caso alterado, para manual, um botão “*Run*” aparece e o usuário deverá executar manualmente as novas alterações realizadas, conforme Figura 8 e 9;

Figura 8 – Execução automática



Fonte: A Autora (2022)

Figura 9 – Execução manual realizada pelo próprio usuário



Fonte: A Autora (2022)

2.3.2 Integração Dynamo – Revit

Segundo Nolle (2019), Application Programming Interface (API) é uma coleção de funções e procedimentos de um *software*, que podem ser acessados e executados. Logo, a API é definida como uma interface de códigos, totalmente documentada, que ajuda dois *softwares* diferentes a se comunicarem e trocarem dados entre si. Tendo em vista esta definição, o Revit API, permite que Dynamo receba e modifique informações do Revit.

Em síntese, o Dynamo permite que o usuário acesse o API do Revit, permitindo que o mesmo interaja diretamente com o modelo por meio de programação (visual ou convencional) podendo criar, editar, deletar, manipular dados, criar estruturas geométricas e realizar automatizações que não são possíveis utilizando somente o Revit.

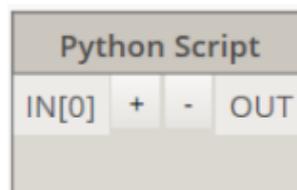
2.3.3 Relação do Dynamo com a linguagem de programação em Python

Segundo Primer (2021), Python é uma linguagem de programação amplamente usada, cuja popularidade tem muito a ver com seu estilo de sintaxe. É altamente legível, o que a torna mais fácil de aprender em relação às outras linguagens de programação convencionais. Além disso, o Python oferece suporte a módulos e pacotes e pode ser incorporado a aplicativos existentes.

Conforme citado anteriormente, a programação visual tem muitas vantagens. Ela permite que o programador crie programas em uma interface visual intuitiva, sem a necessidade de aprender sintaxe especial. Entretanto, Domingues (2019) cita que a programação visual pode encontrar algumas limitações, como por exemplo, em declarações condicionais *if/else* ou declarações looping. Nesse contexto, a linguagem Python oferece métodos mais eficazes para escrever essas declarações. Assim, conforme é destacado por Primer (2021), Python é uma ferramenta poderosa que pode estender os recursos do Dynamo e permitir que o usuário substitua muitos Nós por algumas linhas de código concisas.

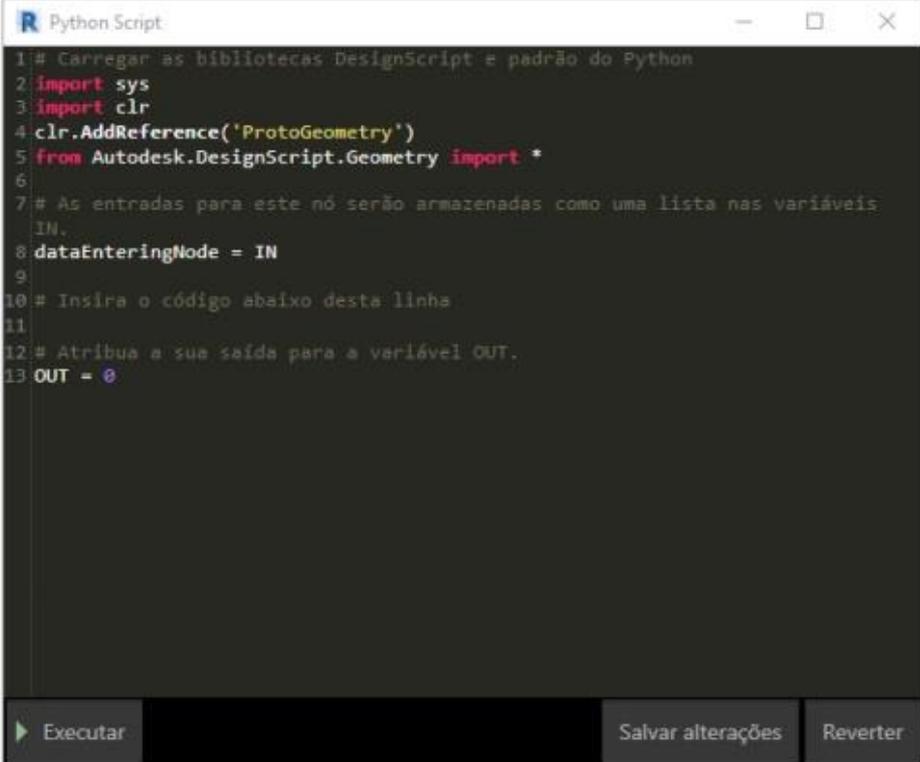
O autor também cita que o Dynamo possui dentro de seu plano de trabalho um Nó específico para criação de códigos na linguagem Python, facilitando o acesso do usuário a linguagem sem a necessidade da utilização de outros *softwares*. A Figura 10 ilustra o Nó específico para criação de códigos na linguagem Python. A Figura 11, por sua vez, exhibe o plano de trabalho da linguagem Python, onde os códigos são desenvolvidos pelo usuário.

Figura 10 – Nó específico para criação de códigos na linguagem Python



Fonte: Autora (2022)

Figura 11 – Plano de trabalho da linguagem Python



```
Python Script
1 # Carregar as bibliotecas DesignScript e padrão do Python
2 import sys
3 import clr
4 clr.AddReference('ProtoGeometry')
5 from Autodesk.DesignScript.Geometry import *
6
7 # As entradas para este nó serão armazenadas como uma lista nas variáveis
  IN.
8 dataEnteringNode = IN
9
10 # Insira o código abaixo desta linha
11
12 # Atribua a sua saída para a variável OUT.
13 OUT = 0
```

Executar Salvar alterações Reverter

Fonte: Ferreira (2022)

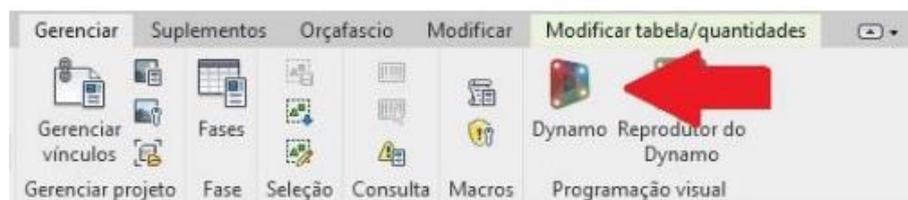
Ferreira (2022) também comenta que a interação entre o Python e o Dynamo acontece de uma forma simples. Assim, como nos Nós do Dynamo, é necessário que a entrada de dados seja feita na a parte esquerda do Nó, ou seja, as entradas são armazenadas na matriz IN (Figura 10). Após a entrada de dados, os mesmos são processados de acordo com o código escrito pelo usuário no plano de trabalho Python e, por fim, os valores são atribuídos à variável OUT (Figura 10) e devolvidos ao ambiente Dynamo. O autor cita que a linguagem Python não só é utilizada para criação de Nós personalizados, mas também dá ao programador acesso aos documentos e elementos do Revit. Isso torna o Python uma ferramenta indispensável no que diz respeito a potencializar a funcionalidade da aplicação Dynamo, pois ao combinar o processo de programação visual com o API, a colaboração e o desenvolvimento de ferramentas melhoram significativamente

2.3.4 Aplicação e funcionalidades do Dynamo

De acordo com Farias (2020), o Dynamo, como *plugin* do Revit (Figura 12), possui diversas funcionalidades, dando destaque a três delas:

- Automação de tarefas repetitivas: o autor cita que há inúmeras ações realizadas no Revit que são extremamente repetitivas e, certamente, o *software* facilita bastante as tarefas individuais. Mas quando é necessário executar essa tarefa 10, 20, 100 vezes, isso resulta em muitos cliques e poderá ocasionar em erros simultâneos. Um excelente exemplo é criar folhas; a criação de uma nova folha é algo simplório, porém quando é necessário criar 50 ou 100 folhas como é maioria dos casos torna-se uma tarefa exaustiva, mas com Dynamo consegue-se criar a quantidade desejada com apenas um clique.
- Eficiência Energética: o autor comenta que o Dynamo facilita a simulação do desempenho da construção em todo o processo. Embora os dados da simulação não substituam os dados reais, eles fornecem uma maneira de avaliar projetos com base em critérios objetivos. O desempenho não se limita apenas ao edifício, em seu teste de iluminação, acústicas, mas, às vezes, é necessário verificar o desempenho do modelo Revit .
- Explorar as opções de modelagem e design: o autor também comenta que o Dynamo, além de todas as suas funcionalidades, também é uma poderosa ferramenta de design. Com o Dynamo, o design realmente se torna um processo, à medida que é definido explicitamente as regras de design generativo. Ao codificar regras em uma estrutura de computação, é possível gerar centenas ou até milhares. Com o design paramétrico é possível tornar o projeto editável e adaptável a mudança externa.

Figura 12 – *Plugin* Dynamo dentro do Revit



Fonte: A Autora (2022)

Com tantas aplicabilidades, procurou-se, neste trabalho, estender este trabalho a criação de algoritmos para o dimensionamento de bombas de recalque.

2.4 BOMBAS HIDRÁULICAS

2.4.1 Considerações iniciais

A água sempre flui de uma condição de energia maior para outra condição de energia menor, como de um reservatório elevado (altura geométrica maior) para uma tubulação. Bonumá (2018) comenta que, para fazer a água fluir de uma condição de energia menor para uma condição de energia maior, faz-se necessário fornecer energia a ela. Em edificações, é normal isso acontecer quando há um reservatório inferior e reservatório superior.

De acordo com a NBR 5626:1992, há a necessidade da adoção de um reservatório inferior na edificação quando a pressão da rede pública não é suficiente para alimentar diretamente o reservatório inferior. Isto ocorre em edificações com mais de três pavimentos (acima de 9 metros de altura). Nesse caso, com a adoção de um reservatório inferior, a água é bombeada até o reservatório elevado, por meio de um sistema de recalque. Desta forma, Bonumá comenta que, neste sistema de recalque, a responsável por fornecer energia à água é a bomba hidráulica, que recebe trabalho mecânico, fornecido por outra máquina (como motor elétrico ou a combustão), e o transfere para o fluido realizar trabalho.

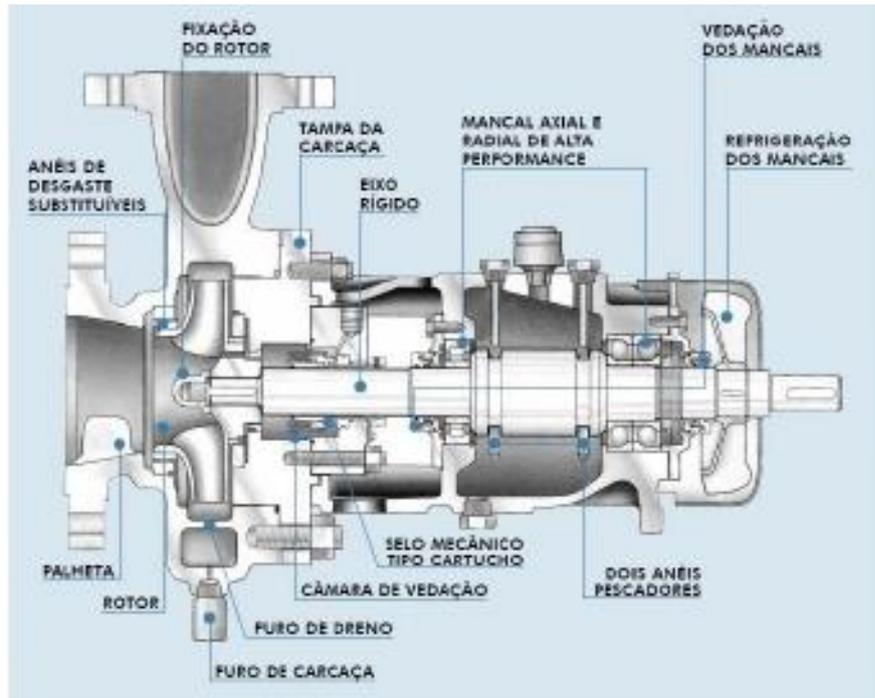
De acordo com Silva (2016), bombas são máquinas acionadas que recebem energia de uma fonte motora, transformam em energia cinética e energia de pressão e a transmitem ao fluido bombeado. A utilização de bombas ocorre sempre que se necessita aumentar a pressão de um fluido, transportá-lo pela tubulação de ponto a outro de uma planta, seguindo as condições de vazão e pressão estabelecidas pelo processo.

Para Gouvea (2008), existem diversos tipos de bombas, cada uma adequada a uma determinada condição que o processo exige, como por exemplo, a bomba a pistão é que é mais utilizada para propriedades rurais ou a bomba rotativa, utilizada para combate a incêndios em edificações. Porém as bombas mais utilizadas na indústria são bombas centrífugas, também conhecidas como bombas dinâmicas ou turbo-bombas. O autor também comenta que, em bombas centrífugas, a energia é transferida ao fluido pela rotação do eixo onde é montado o rotor, com um certo número de pás ou palhetas. A geometria do rotor e suas palhetas caracteriza

o tipo da bomba centrífuga e influencia a forma como a energia é transferida ao fluido e sua direção na saída do rotor. A vazão da bomba depende de suas características construtivas e das características do sistema onde ela está operando.

Gouvea também comenta que as bombas centrífugas são constituídas por três partes fundamentais, conforme Figura 13:

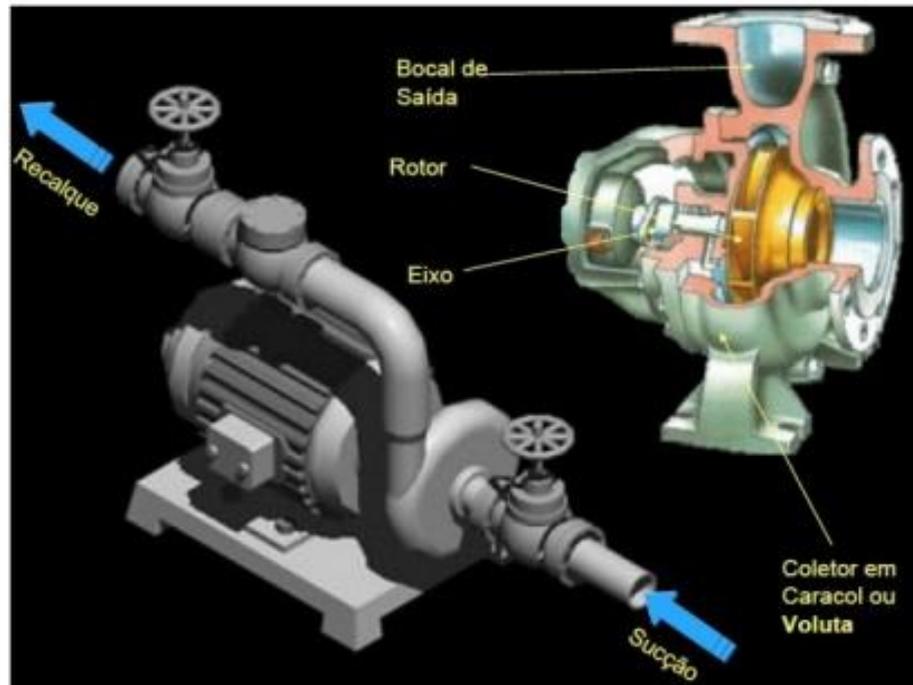
Figura 13 – Bomba Centrífuga em corte



Fonte: Gouvea (2008)

- Rotor ou Impelidor, responsável por impulsionar o fluido.
- Carça, que contém o líquido, envolvendo o rotor, e dispõe de bocais de entrada (sucção) e saída (descarga) do fluido.
- Eixo, atravessa a carça, conecta-se ao rotor, fornecendo movimento rotativo.

Figura 14 – Estrutura de uma bomba centrífuga



Fonte: Silva (2016)

Macintyre (2008) cita que as bombas centrífugas têm como princípio de funcionamento a criação de duas zonas de pressão: uma de baixa pressão na sucção e outra de alta pressão na descarga (recalque). Na partida é necessário que a carcaça da bomba e tubulação de sucção estejam totalmente preenchidas com o líquido a ser bombeado. O enchimento da carcaça da bomba e a tubulação de sucção é chamado de escorva. O movimento rotativo do rotor faz com que as partículas de líquido sejam impulsionadas para fora. Esse movimento centrífugo cria um “vácuo” na entrada (baixa pressão) e um “acúmulo” na saída (alta pressão) pela redução da velocidade com o aumento de volume na carcaça (no difusor ou pás difusoras). O autor também comenta que a baixa pressão succiona novas partículas vindas da sucção, estabelecendo um fluxo contínuo de líquido. A alta pressão permite que o líquido vença as perdas impostas pela tubulação e seus acessórios.

A bomba de recalque, também chamada de bomba submersível, bomba submersa ou bomba hidráulica, faz parte da categoria de bombas centrífugas. Bonumá (2018) cita que esta é um equipamento bastante utilizado nos sistemas de transferência e/ou elevação de fluidos de um lugar para outro e sua utilização é comum para diversos propósitos, tanto em sistemas simples de imóveis residenciais (para recalque de esgotos residenciais ou na elevação de água de um local para outro, geralmente, em edifícios, de um reservatório inferior para um

reservatório superior), como também em sistemas de tratamento de efluentes, na irrigação de lavouras. Além disso, seu design e estatura pequena tem a capacidade de otimizar o espaço e assim facilitar a performance de qualquer projeto.

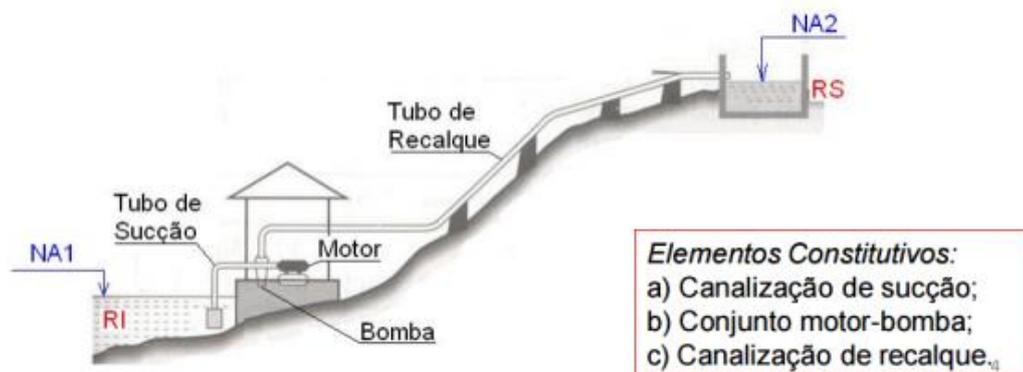
A autora comenta que a bomba funciona a partir da força centrífuga para gerar força à medida que expelle líquido do recalque. Seu funcionamento se dá com a utilização de um rotor introduzido na bomba centrífuga, que atua como uma espécie de turbina e oferece energia para o líquido conforme os líquidos do equipamento escorrem no interior de suas palhetas.

Gonçalves (2016) comenta que, a bomba de recalque pode ser encontrada em diversas potências, dependendo do tipo de trabalho e necessidades de operação. O equipamento é fabricado com materiais que garantem a durabilidade e a resistência do produto, com ampla proteção contra choques mecânicos, intempéries e atritos. Além disso, a bomba de recalque está disponível em diversos modelos, de acordo com as necessidades de cada cliente.

2.4.2 Dimensionamento

A NBR 5626:1992 fixa as exigências e os critérios para o dimensionamento das canalizações de água fria. Assim, esta seção será dividida em duas, divergindo entre dimensionamento da tubulação de recalque e sucção e dimensionamento da bomba, devido as diferentes considerações em cada situação. Macintyre (2008) e Bonumá (2018) citam, em suas respectivas obras, métodos de dimensionamento e considerações.

Figura 15 – Elementos de um conjunto elevatório



Fonte: Bonumá (2018)

2.4.3 Dimensionamento da tubulação do sistema elevatório

Para Ucker (2015), um sistema de recalque ou elevatório é o conjunto de tubulações, acessórios, bombas e motores necessário para transportar uma certa vazão de água ou qualquer outro líquido de um reservatório (ou ponto) inferior para outro reservatório (ou ponto) superior. Assim, o autor comenta que o dimensionamento das tubulações de recalque (constituída pela canalização que liga a bomba ao reservatório superior, incluindo registros, válvula de retenção, manômetros, curvas e, eventualmente, equipamentos para o controle dos efeitos do golpe de aríete.) e tubulação de sucção (constituída pela canalização que liga o reservatório inferior à bomba, incluindo os acessórios necessários, como válvula de pé com crivo, registro, curvas etc.) são extremamente importantes e influenciam no dimensionamento final da bomba de recalque.

A NBR 5626:1992 recomenda o emprego da fórmula de Forchheimer para escolha do diâmetro de recalque:

$$Dr = 1,3 \cdot \sqrt[2]{Q} \cdot \left(\frac{\sqrt{T}}{\sqrt{24}} \right)^{1/4} \cdot 1000 \quad (1)$$

Onde:

Dr = diâmetro de recalque - em milímetros (mm);

T = período - horas de funcionamento da bomba por dia, em horas (h)

Q = vazão (m³/s).

O Ds (diâmetro de sucção) é o diâmetro comercial imediatamente superior ao diâmetro de recalque.

A NBR 5626:1992 também estipula que o diâmetro de sucção deve ser um diâmetro superior ao diâmetro de recalque com a finalidade de diminuir a carga cinética de entrada da bomba.

Para Tolentino (2021), existem vários critérios para a escolha do diâmetro das tubulações. Um critério amplamente utilizado é baseado na velocidade máxima da água na tubulação.

Para o cálculo da velocidade, o autor apresenta a seguinte fórmula:

$$v = \left(\frac{4 \cdot Q}{D^2 \cdot \pi} \right) \quad (2)$$

Caso o valor encontrado pela fórmula da ABNT não coincida com um diâmetro comercial, o diâmetro de recalque (D_r) deverá ser um diâmetro comercial inferior ou superior ao calculado. Portanto, o autor comenta que é necessário submetê-lo ao cálculo da velocidade econômica para comprovação, em que a velocidade econômica (v) fica entre 0,5 e 4,0 metros por segundo (m/s).

2.4.4 Dimensionamento da Bomba de Recalque

Para realizar o dimensionamento de uma bomba de recalque, Gouvea (2008) cita que é necessário escolher a bomba capaz de fornecer a descarga de vazão necessária, isto é, o tipo de bomba e a potência do motor.

Quanto ao tipo de bomba, a bomba centrífuga é a comumente utilizada em edificações. Deve-se, de acordo com a NBR 5626:1992 determinar a potência do motor que a aciona, através da fórmula da potência (3).

Bonumá (2018), comenta que, a potência é o trabalho realizado sobre o líquido ao passar pela bomba por unidade de tempo, para transportar a vazão Q do reservatório inferior para o reservatório superior, vencendo a altura manométrica total (H_m).

Para Macintyre (2008), o trabalho útil feito por uma bomba centrífuga é naturalmente o produto do peso do líquido deslocado pela altura desenvolvida. Se considerado este trabalho na unidade de tempo, tem-se a potência hidráulica, que é expressa pela fórmula:

$$P \text{ (cV)} = \frac{i \cdot Q \cdot H_m}{75 \cdot n} \quad (3)$$

onde,

P (cV) = Potência em c.V.

i = Peso específico do fluído (kgf/m³)

Q = vazão em m³/s

H_m = altura manométrica (m)

n = rendimento em eficiência global (%)

Se todas as variáveis estiverem nas unidades indicadas acima, o valor obtido de potência é o cavalo-Vapor (cv), que consiste em uma unidade que expressa a potência de uma máquina e representa a força necessária para elevar, num segundo, a 1 m de altura, um peso de 75 kg. (Porto Editora, 2022).

Macintyre (2008) comenta que o cavalo-vapor é uma unidade pouco utilizada no meio científico devido à existência do watt (unidade SI). Porém, a sua utilização persiste, nomeadamente no meio da indústria automobilística, para classificar a potência máxima dos motores de combustão interna.

2.4.5 Rendimento da bomba

Designado pela letra n , Macintyre (2008) cita que rendimento da bomba é a relação entre a potência útil e a potência motriz, isto é, entre a potência aproveitável pelo líquido para escoar no encanamento e a potência do motor que aciona a bomba. Em geral, os fabricantes medem em seus ensaios os valores de H e não os de H_u , e adotam no cálculo da potência útil o valor de H . Com o valor do rendimento obtido através desses ensaios, fazem seus gráficos e tabelas.

O autor comenta que o rendimento varia conforme o tipo de bomba, e, para uma mesma P_{bomba} , varia com a vazão, a altura manométrica e o número de rotações. Seu valor deve ser obtido dos catálogos dos fabricantes em função das referidas grandezas. Apenas como uma indicação preliminar para uma estimativa do valor da potência motriz, pode-se adotar de 40% a 60% para o rendimento de bombas pequenas e 70% a 75% para P_{bombas} médias. O valor do rendimento pode cair a menos de 40% se a P_{bomba} não operar nas condições favoráveis previstas para os Trendimentos citados. Bombas de potência bastante pequena podem ter Trendimento máximo de cerca de 40%.

2.4.6 Altura manométrica

Dentre as variáveis que compõe a fórmula da potência, a altura manométrica é a mais difícil de ser calculada. Macintyre (2008) comenta que a altura manométrica é a parcela da altura útil correspondente ao ganho de pressão do líquido em sua passagem pela bomba. É a diferença entre as alturas representativas das pressões à saída e à entrada da bomba. A altura

útil é igual à altura manométrica acrescida do ganho de energia cinética do líquido em sua passagem pela bomba.

É calculada através da seguinte fórmula:

$$H = \left(h_s + \frac{v_0^2}{2g} + J_s \right) + (h_r + J_r) \quad (4)$$

Onde,

h_s = altura de sucção

h_r = altura de recalque

J_s = perda de carga de sucção

J_r = perda de carga de recalque

$\frac{v_0^2}{2g}$ = parcela da energia cinética. v é a velocidade (m/s); g é a aceleração da gravidade (m²/s),

2.4.6.1.1 Determinação das perdas de carga

Em um projeto de uma instalação de bombeamento e da rede de distribuição de água de um prédio, Macintyre (2008) comenta que é imprescindível calcular a energia que o líquido irá despende para escoar no encanamento, isto é, a perda de carga na tubulação.

Para Viana (2019), perda de carga refere-se à perda de energia que um fluido, em uma tubulação sob pressão, sofre em razão de vários fatores como o atrito deste com uma camada estacionária aderida à parede interna do tubo ou em razão da turbulência devido às mudanças de direção do traçado. Existem dois tipos de perdas de carga: as distribuídas e as localizadas. A perda de carga distribuída ocorre em trechos de tubulação retilíneos e de diâmetro constante.

O autor comenta que, essa grandeza é fundamental no cálculo da potência de uma bomba e em todas as questões relacionadas com o escoamento de líquidos em tubulações. A perda de carga, ou de energia, resulta do atrito interno do líquido, isto é, de sua viscosidade, da resistência oferecida pelas paredes em virtude de sua rugosidade e das alterações nas trajetórias das partículas líquidas impostas pelas peças e dispositivos intercalados na tubulação. Darcy e Weisbach (1845) chegaram à expressão geral da perda de carga válida para qualquer líquido, a qual é empregada no chamado método moderno ou racional, e que pode ser escrito sob a forma:

$$J = f \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (5)$$

Onde,

J = perda de carga ao longo do comprimento do tubo (mca)

f = fator de atrito de Darcy-Weisbach (adimensional)

l = comprimento do tubo (m)

d = diâmetro interno do tubo (m)

v = velocidade do líquido no interior do tubo (m/s)

g = aceleração da gravidade local (m/s²)

Nesta expressão, a perda de carga J varia:

- diretamente como comprimento l da tubulação e o quadrado da velocidade de escoamento v ;
- Inversamente com as dimensões da seção de escoamento e , portanto, com o diâmetro d .
- varia diretamente também com um fator f chamado de coeficiente de atrito.

Para Macintyre, o regime de escoamento no bombeamento e distribuição de água é do tipo denominado “regime turbulento”, com distribuição das velocidades de escoamento de modo relativamente uniforme ao longo de cada seção transversal de escoamento. Demonstra-se que nesse regime de escoamento o fator f de perda de carga depende:

- da rugosidade relativa das paredes da tubulação, isto é, de ε e d sendo ε a rugosidade absoluta das paredes e d o diâmetro interno da tubulação. Esses valores são tabelados em função da natureza do material da tubulação de seu diâmetro e do tempo de uso;
- do número de Reynolds Re , o qual é dado por:

$$Re = \frac{v \cdot d}{\nu} \quad (6)$$

onde:

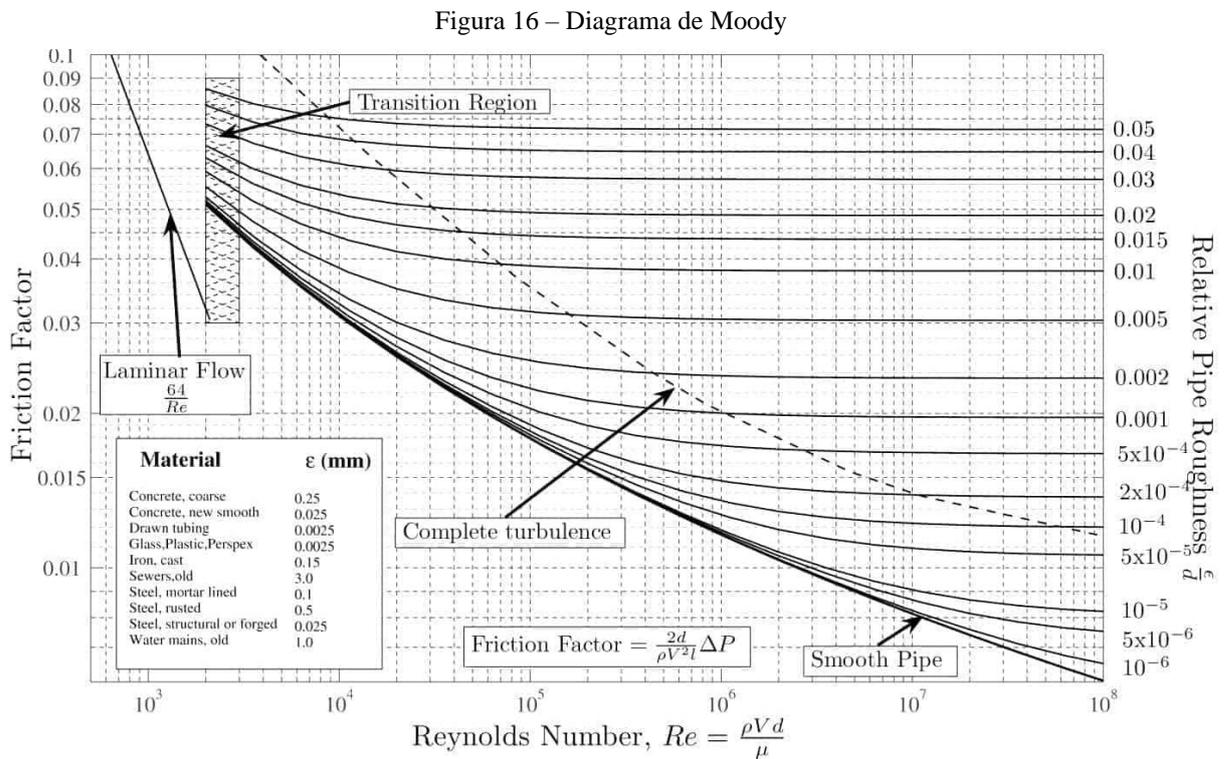
ν = velocidade média na seção onde se escolheu a dimensão (dim/s).

d = dimensão linear, característica do dispositivo onde se processa o escoamento, por exemplo, o diâmetro interno de um tubo (m).

ν = coeficiente de viscosidade cinemática, grandeza que caracteriza a viscosidade, ou seja, o atrito intermolecular do líquido.

Existem dois conhecidos diagramas que permitem obter o fator de resistência ou de atrito f :

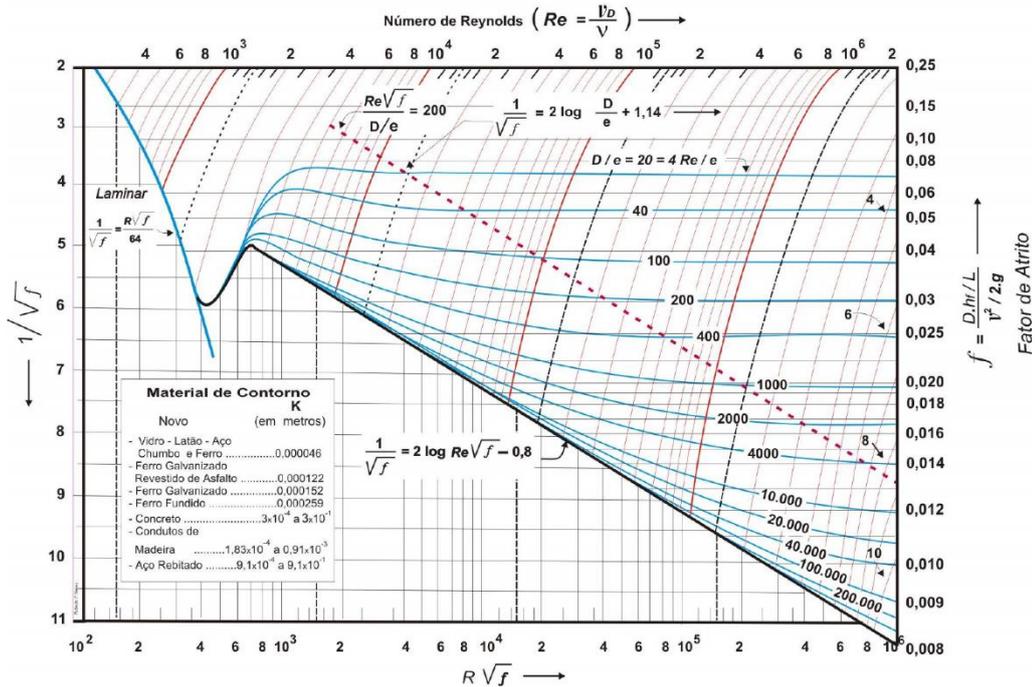
a) Diagrama de Moody: Entrando-se com o valor Re do número de Reynolds e a rugosidade relativa ϵ obtém-se imediatamente o valor do coeficiente de perda de carga f .



Fonte: Connor (2020)

b) Diagrama de Hunter-Rouse. Com os valores do número de Reynolds e as curvas correspondentes a ϵ inverso da rugosidade relativa, acham-se os valores de f .

Figura 17– Diagrama de Hunter-Rouse



Fonte: Gonçalves (2016)

Esses diagramas prestam-se a líquidos de qualquer viscosidade e qualquer regime de escoamento, seja ele laminar ($Re < 2.000$), de transição (Re entre 2.000 e 4.000) e turbulento ($Re < 4.000$), podendo ser utilizados para tubulações, quaisquer que sejam suas rugosidades.

Para as condições normais da água fria potável, pode-se adotar para a rugosidade e o coeficiente de atrito f os valores indicados na Figura 18, correspondendo os menores valores de f aos tubos de maior diâmetro.

Figura 18 – Rugosidade ν e coeficiente de atrito f para alguns materiais

Material do tubo	Rugosidade ϵ (mm)	Coefficiente de atrito f
Aço galvanizado novo		
- com costura	0,15 a 0,20	0,012 a 0,06
- sem costura	0,06 a 0,15	0,009 a 0,012
Ferro fundido		
- revestido com asfalto	0,3 a 0,9	0,014 a 0,10
- revestido com cimento	0,05 a 0,15	0,012 a 0,06
- usado (sem revestimento)	0,40 a 12,0	0,02 a 1,5
Cimento-amianto		
- novo	0,05 a 0,10	0,009 a 0,058
- usado	0,60	0,10 a 0,15
PVC e cobre	0,015	0,009 a 0,050

Fonte: Mascintyre (2008)

Na prática corrente de instalações de abastecimento e distribuição de água e nas instalações prediais, Macintyre comenta que se recorre quase sempre a fórmulas empíricas aplicáveis cada qual a um determinado tipo de material de tubulação. Pode-se, nesse caso, dividir o cálculo da perda de carga em duas partes: Perda de carga normal e perda de carga localizada.

2.4.6.1.2 Perda de Carga Normal

Macintyre cita que existem várias fórmulas e ábacos correspondentes que traduzem a dependência entre as grandezas Q , d , v e J , introduzindo coeficientes ou fatores empíricos que levam em conta a qualidade do material, a rugosidade da tubulação, portanto a idade do mesmo, e o tipo de revestimento interno.

A NBR 5626:1992 recomenda o emprego das fórmulas de Flamant e de Fair-Whipple-Hsiao para cálculo das perdas de carga no dimensionamento de tubulações.

A fórmula de Flamant (1892) para tubos de paredes lisas é:

$$\frac{d \cdot J}{4} = b \cdot \left(\frac{\sqrt{v}}{\sqrt{d}} \right) \quad (6)$$

Onde:

$J = hf/L$ = taxa de perda de carga entre dois pontos da tubulação (em metros/metros);

b = coeficiente que depende da natureza (material e estado) das paredes dos tubos;

v = velocidade média da água em m/s;

d = diâmetro interno da tubulação (m), sendo recomendado observar o limite entre 0,01m e 1,0m.

A perda de carga unitária, por sua vez, pode ser determinada por meio da equação de Fair-Whipple-Hsiao (1930):

$$J = 0,000869 \times Q^{1.75} D^{4.75} \quad (7)$$

Em que:

J = Perda de carga unitária, em m/m.

Q = Vazão relativa no trecho, em m³/s.

D = Diâmetro interno da tubulação, em m.

A perda de carga total no trecho pode ser estimada como sendo:

$$\Delta H = J \times (L + Ce) \quad (8)$$

Em que:

ΔH = Perda de carga total no trecho, em m.

J = Perda de carga unitária, em m/m.

L = Comprimento total do trecho, em m.

Ce = Comprimento equivalente total das singularidades no trecho, em m.

2.4.6.1.3 Perdas de Carga Localizadas

Além da perda de energia ocorrida ao longo da tubulação, as peças especiais, conexões, válvulas etc. também são responsáveis por perdas de energia, por causarem turbulência, alterarem a velocidade, mudarem a direção dos filetes, aumentarem o atrito e provocarem choques das partículas líquidas (MACINTYRE 2008).

Essas perdas, localizadas onde existem as peças mencionadas, são, por isso, chamadas de locais, localizadas ou acidentais. De acordo com Bonumá (2018), ocorrem em trechos da tubulação onde há presença de acessórios, sejam eles: válvulas, curvas, derivações, registros ou conexões, bombas, turbinas e outros. A presença desses acessórios contribui para a alteração de módulo ou direção da velocidade média do escoamento e, conseqüentemente, de pressão no local, ou seja, age alterando a uniformidade do escoamento. A autora também comenta que, desta forma, há contribuição para o aumento da turbulência no fluido e essa turbulência provoca a perda de carga. Neste caso, a perda de carga é provocada pelos acessórios na tubulação e recebe o nome de perda de carga localizada.

Ao ser calculada a perda de carga de uma tubulação deve-se, portanto, adicionar à perda de carga normal, isto é, ocorrida ao longo do encanamento, as perdas de carga correspondentes a cada uma dessas peças, conexões e válvulas.

Para Macintyre, há alguns métodos para se calcular essas perdas:

- Utilização da fórmula geral das perdas localizadas e de tabelas onde se encontram valores do coeficiente K de perdas localizadas, para várias peças e conexões. A perda de carga localizada correspondente a uma peça, cujo coeficiente de perda de carga tem o valor K, é calculada por

$$J = K \left(\frac{v^2}{2g} \right) \quad (9)$$

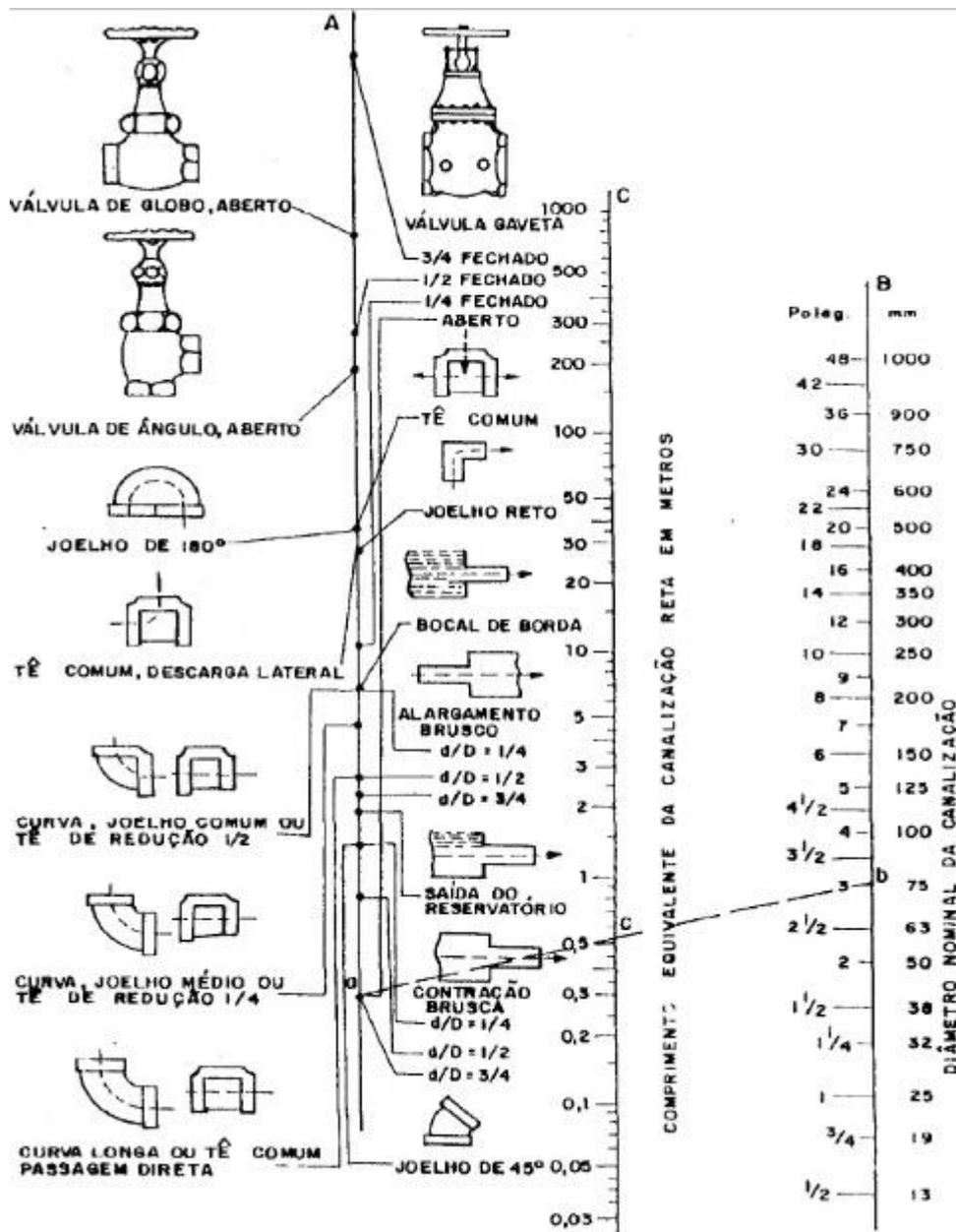
2º) Métodos dos comprimentos equivalentes ou virtuais. O método baseia-se no seguinte: cada peça especial ou conexão acarreta uma perda de carga igual à que produziria um certo comprimento de tubulação com o mesmo diâmetro. Esse comprimento de tubulação equivale virtualmente, sob o ponto de vista de perda de carga, ao que produz a peça considerada.

O autor cita que, para a determinação dos comprimentos equivalentes pode, ser utilizado:

a) O ábaco da Crane Corporation: O método desenvolvido pela Crane Co. é uma modificação do método do comprimento equivalente, porém, leva em consideração o fato de que há um grau mais elevado de turbulência em válvulas e acessórios do que em um tubo reto para um dado número de Reynolds. (OLIVEIRA 2018). O ábaco pode ser visualizado na Figura 19.

b) A tabela de comprimentos equivalentes: pode-se usar as tabelas apresentada parcialmente na NBR 5626:1998 e retirada de publicação da Crane Corporation. A NBR 5626:1998 apresenta um quadro resumido. A tabela está apresentada na Figura 20.

Figura 19 – Ábaco da Crane Corporation



Fonte: Macintyre (2008)

Quadro 1– Perdas de cargas localizadas em metros de tubulação de PVC rígido ou cobre.

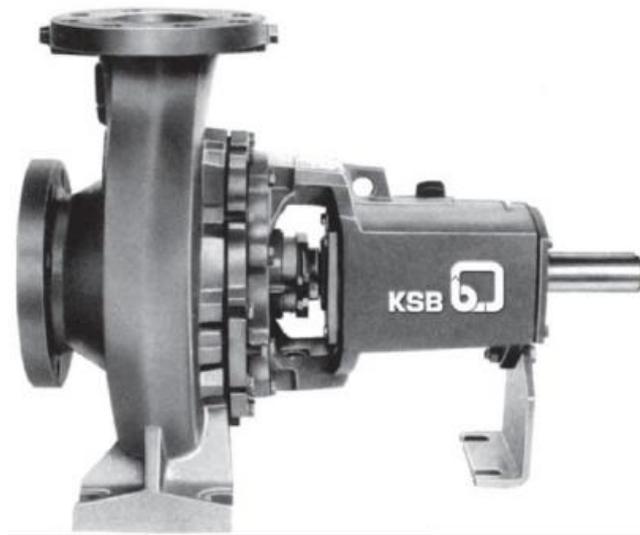
		DIÂMETROS								
DN mm		20	25	32	40	50	60	75	85	110
Ref. pol.		1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2	2 1/2	3	4
Joelho 90°		1,1	1,2	1,5	2,0	3,2	3,4	3,7	3,9	4,3
Joelho 45°		0,4	0,5	0,7	1,0	1,0	1,3	1,7	1,8	1,9
Curva 90°		0,4	0,5	0,6	0,7	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6
Curva 45°		0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
TE 90° passagem direta		0,7	0,8	0,9	1,5	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6
TE 90° saída de lado		2,3	2,4	3,1	4,6	7,3	7,6	7,8	8,0	8,3
TE 90° saída bilateral		2,3	2,4	3,1	4,6	7,3	7,6	7,8	8,0	8,3
Entrada normal		0,3	0,4	0,5	0,6	1,0	1,5	1,6	2,0	2,2
Entrada de borda		0,9	1,0	1,3	1,8	2,3	2,8	3,3	3,7	4,0
Saída de canalização		0,8	0,9	1,3	1,4	3,2	3,3	3,5	3,7	3,9
Válvula de pé e crivo		8,1	9,5	13,3	15,5	18,3	23,7	25,0	26,8	28,6
Válvula de re- tenção tipo leve		2,5	2,7	3,8	4,9	6,8	7,1	8,2	9,3	10,4
Válvula de re- tenção pesado		3,6	4,1	5,8	7,4	9,1	10,8	12,5	14,2	16,0
Registro globo aberto		11,1	11,4	15,0	22,0	35,8	37,9	38,0	40,0	42,3
Registro gaveta aberto		0,1	0,2	0,3	0,4	0,7	0,8	0,9	0,9	1,0
Registro ângulo aberto		5,9	6,1	8,4	10,5	17,0	18,5	19,0	20,0	22,1

Fonte :Gouvea (2008)

2.5 ESCOLHA DA BOMBA

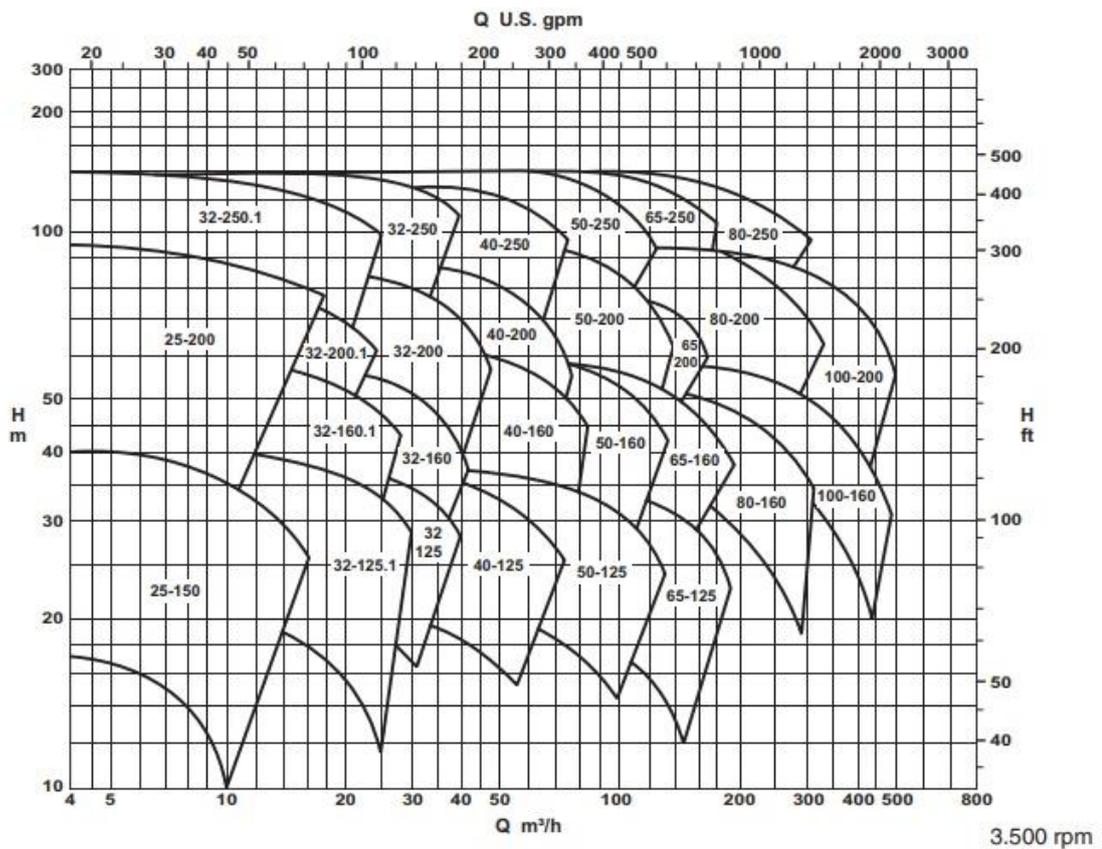
Uma vez determinados os valores da vazão Q e da altura manométrica H , Gouvea (2008) cita que, a maneira usual de se proceder à escolha da bomba é recorrer aos catálogos dos fabricantes. Realizando ensaios de laboratório com suas bombas, os fabricantes organizam tabelas e traçam curvas que representam a variação de uma grandeza em função de outra, mantendo uma terceira grandeza fixa. As Figuras 21 e 23 mostram os diagramas de quadrículos das bombas Meganorm e Megaline da KSB. Se for adotada uma bomba KSB Meganorm para $H = 62,38$ m e $Q = 15.688$ l/h = $15,7$ m³/h, o modelo deve ser 25-200 (3.500 rpm), e para o tipo Megaline 32-200 (3.500 rpm).

Figura 20 – Bomba centrífuga KSB Meganorm, linha Mega



Fonte: Macintyre (2008)

Figura 21 – Diagrama de quadricular para bomba de KSB Meganorm



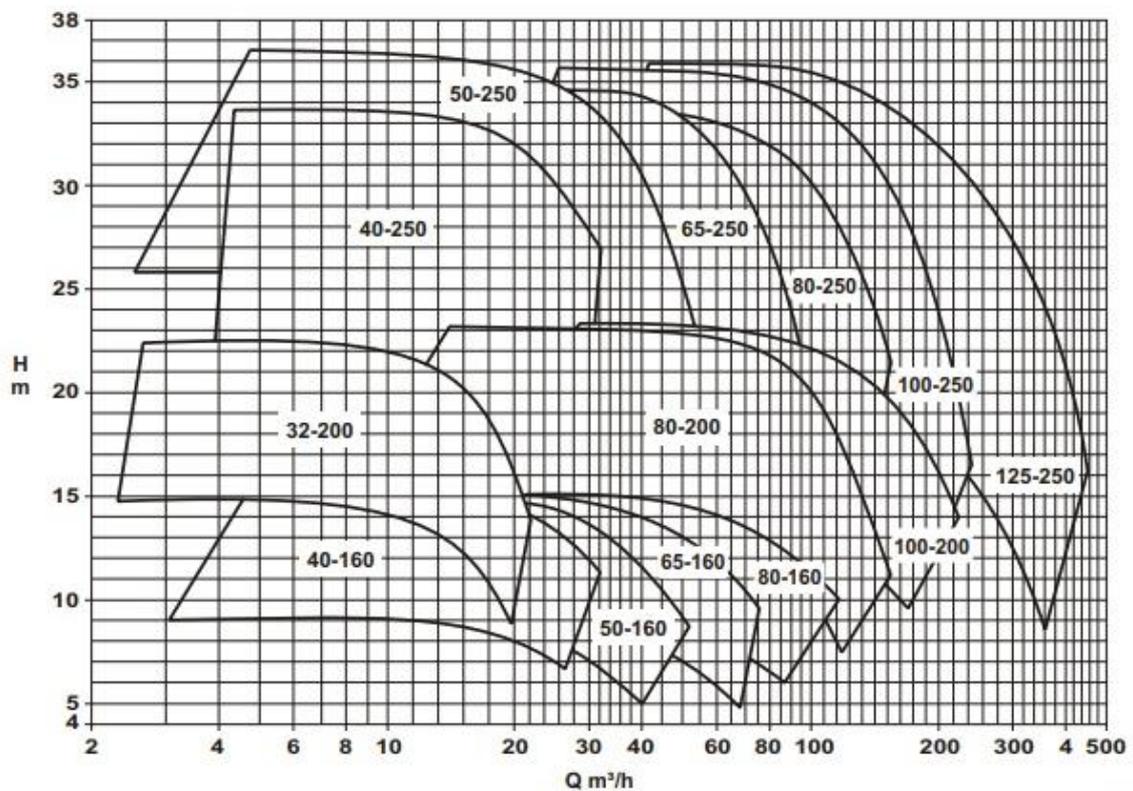
Fonte: manual técnico - catálogo KSB Meganorm (2018)

Figura 22 – Bomba centrífuga KSB megaline, linha Megabloc



Fonte: Macintyre (2008)

Figura 23 – Diagrama de quadricular para bomba de KSB Megaline



Fonte: manual técnico - catálogo KSB megaline (2018)

No entanto, atualmente, estes diagramas já não são tão usuais devido a sua complexidade, e a maioria dos *sites* de bombas buscam facilitar a vida dos clientes e

Figura 25 – Resultados obtidos na pesquisa

Resultados por Família

Precisa de ajuda para encontrar o modelo mais adequado? Contate nosso suporte técnico através do 0800 648 0200.

Centrifugas Monoestágio



Centrifugas Multiestágios Inox



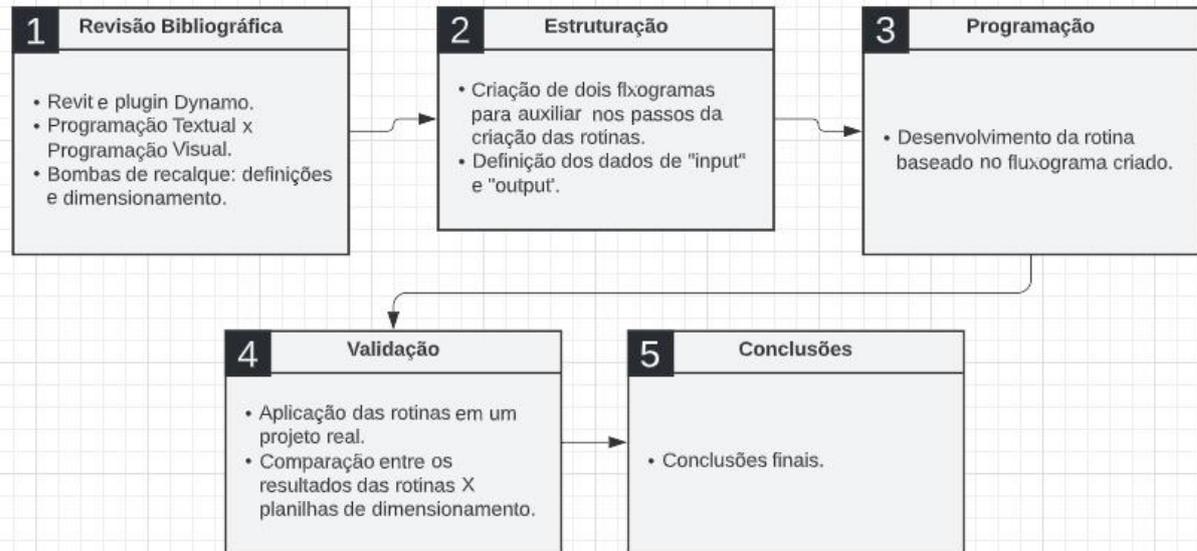
Fonte: Franklin Electric Indústria de Motobombas S.A (2022)

Desta forma, ficou evidente que basta ter o valor da vazão, altura manométrica e potência, consegue-se encontrar com facilidade a bomba necessária para suprir a demanda e também realizar pesquisas de mercado.

3 METODOLOGIA

Para o do presente trabalho, foram necessários a realização das etapas descritas no fluxograma abaixo:

Figura 26 – Fluxograma da metodologia da pesquisa



Fonte: A Autora (2022)

Revisão bibliográfica: foi realizado o embasamento teórico para o desenvolvimento do trabalho acerca do estudo proposto. Dessa forma, abordaram-se temas como Dynamo sendo um *plugin* do Revit; toda a fundamentação da programação visual (inclusive comparando-a com programação textual) e algumas pontuações sobre bombas de recalque e seu dimensionamento.

Criação e definição de fluxogramas auxiliares: dois fluxogramas foram criados com o intuito de auxiliar a estruturação da rotina; o primeiro foi criado com o intuito de definir quais seriam os dados de entrada (*input*), sendo que o dado de saída final (*output*) já era conhecido, sendo este o objetivo do trabalho (chegar no valor final da potência da bomba);

Programação: com o fluxograma feito, pode-se partir para a criação da rotina, realizada dentro do *plugin* do Revit, o Dynamo.

Validação: após o termino da parte da programação, pode-se aplicar em alguns projetos reais, e validação com os resultados anteriormente obtidos pela empresa, no Excel. Assim pode-se comparar questão de tempo, precisão e utilidade.

Análise dos Resultados: Com os algoritmos prontos e já validados, pode-se fazer uma análise crítica a respeito dos resultados obtidos.

3.1 ESTRUTURAÇÃO

Após realizar toda a fundamentação teórica sobre todos os aspectos da programação visual e ter um amplo domínio sobre o Dynamo, foi realizado um fluxograma inicial, exibido na Figura 27, para estruturar e organizar as ideias de como organizar toda a rotina, para acertar quais passos e suas respectivas ordens para a obtenção do valor final (a potência da bomba). Neste momento também foi necessário definir quais seriam os dados de entrada (*input*) e os dados de saída (*output*). Como o dado de saída é de um valor conhecido pois é o objetivo do trabalho, ou seja, o valor final da potência da bomba, em cavalo-Vapor, partiu-se deste valor para encontrar quais seriam os valores de entrada do algoritmo.

Desta forma, o raciocínio foi: o resultado final esperado é o do valor da potência da bomba. Este valor é encontrado, de acordo com a NBR 5676:1992, a partir da fórmula explicitada na seção 2.4.3 da Revisão Bibliográfica, possuindo quatro variáveis, sendo estas a vazão, altura manométrica, peso específico da água e rendimento da bomba.

Vazão: o valor da vazão é calculado, de acordo com a NBR 5626:1992, pela divisão do consumo diário (valor advindo do cálculo do reservatório da edificação) pelo tempo de bomba ligada (varia de acordo com modelo da bomba). Esses dados precisam ser dados de entrada da rotina, pois não são dados conhecidos e são dados variáveis.

Rendimento da bomba: este valor é tabelado, e varia com a marca escolhida para a bomba e seu modelo. Assim, entra também como dado de entrada da rotina, permitindo também que o usuário consiga testar alguns valores de acordo com as marcas que ele deseja.

Peso específico da água: como este valor é constante, foi adotado diretamente na fórmula.

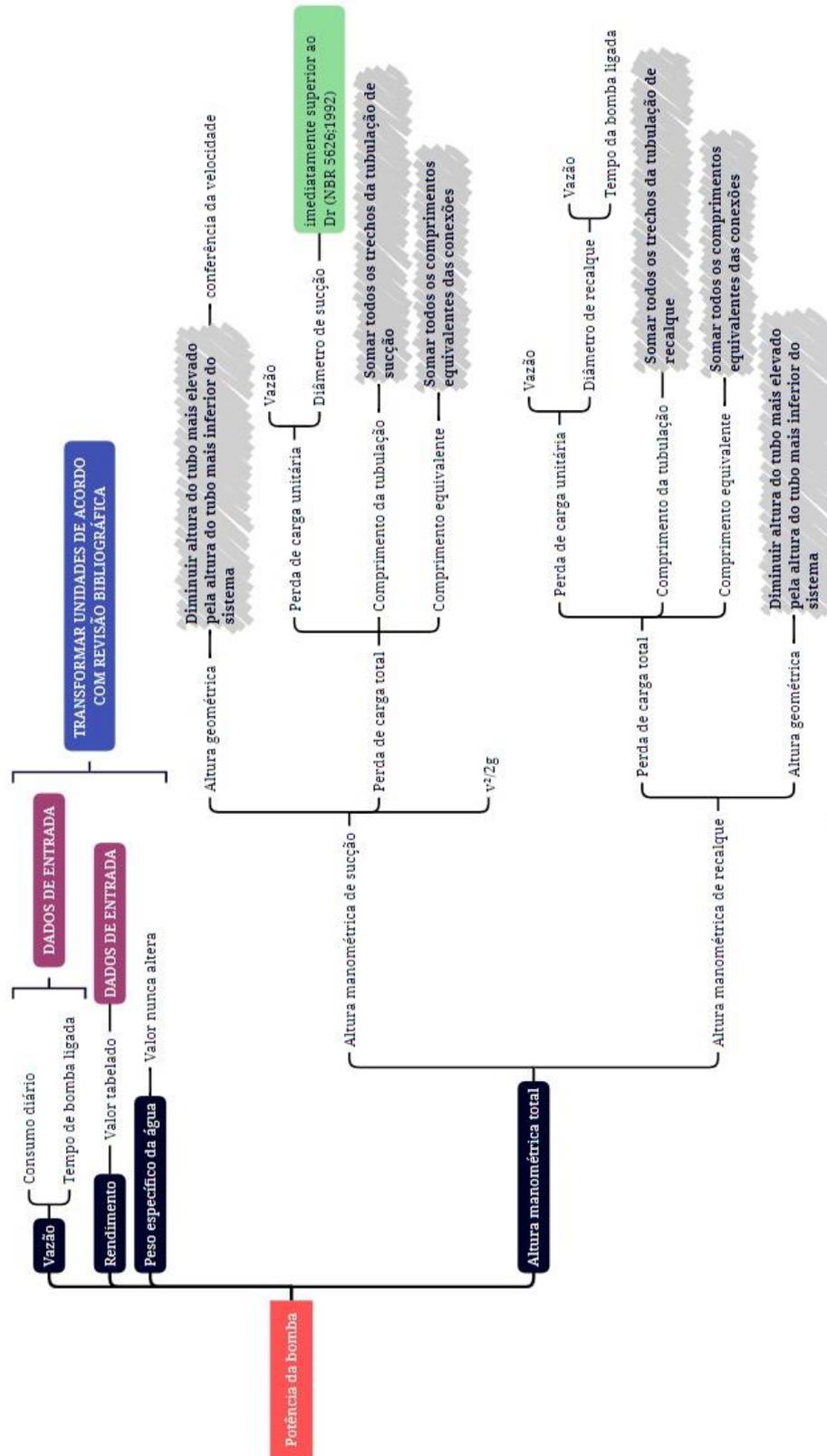
Altura manométrica: este é o valor mais complexo de ser obtido. De acordo com a seção 2.4.3 da Revisão bibliográfica, a altura manométrica é a energia por unidade de peso que o sistema solicita para transportar o fluido e, para a obtenção do valor, são necessários alguns dados: comprimento total da tubulação, diferença de cota da elevação, comprimento equivalente da tubulação, perda de carga total da tubulação. Todos esses valores não são disponibilizados pelo Revit mas podem ser obtidos através da programação visual. Neste

momento, verificou-se que o Revit não faz nenhuma distinção entre as tubulações de recalque e sucção e, desta forma, elas precisam ser diferenciadas de alguma maneira, devido as diferenças de considerações entre elas. A forma encontrada para realizar tal ação foi definindo através de um parâmetro específico a todos elementos, o parâmetro “Marca”. Este procedimento será explicado na seção 3.3.

As frases hachuradas em cinza, na Figura 27, são as ações que o Dynamo precisa executar para chegar às variáveis da fórmula da potência. Após finalizado este fluxograma, pode-se criar um segundo fluxograma, agora com as informações organizadas em ordem de acontecimentos (Figura 28), com os dados de entrada, agora conhecidos, no início (na direita) e os dados de saída no final (a esquerda). Este fluxograma é semelhante à rotina final realizada no Dynamo e será utilizado como base para a criação da mesma.

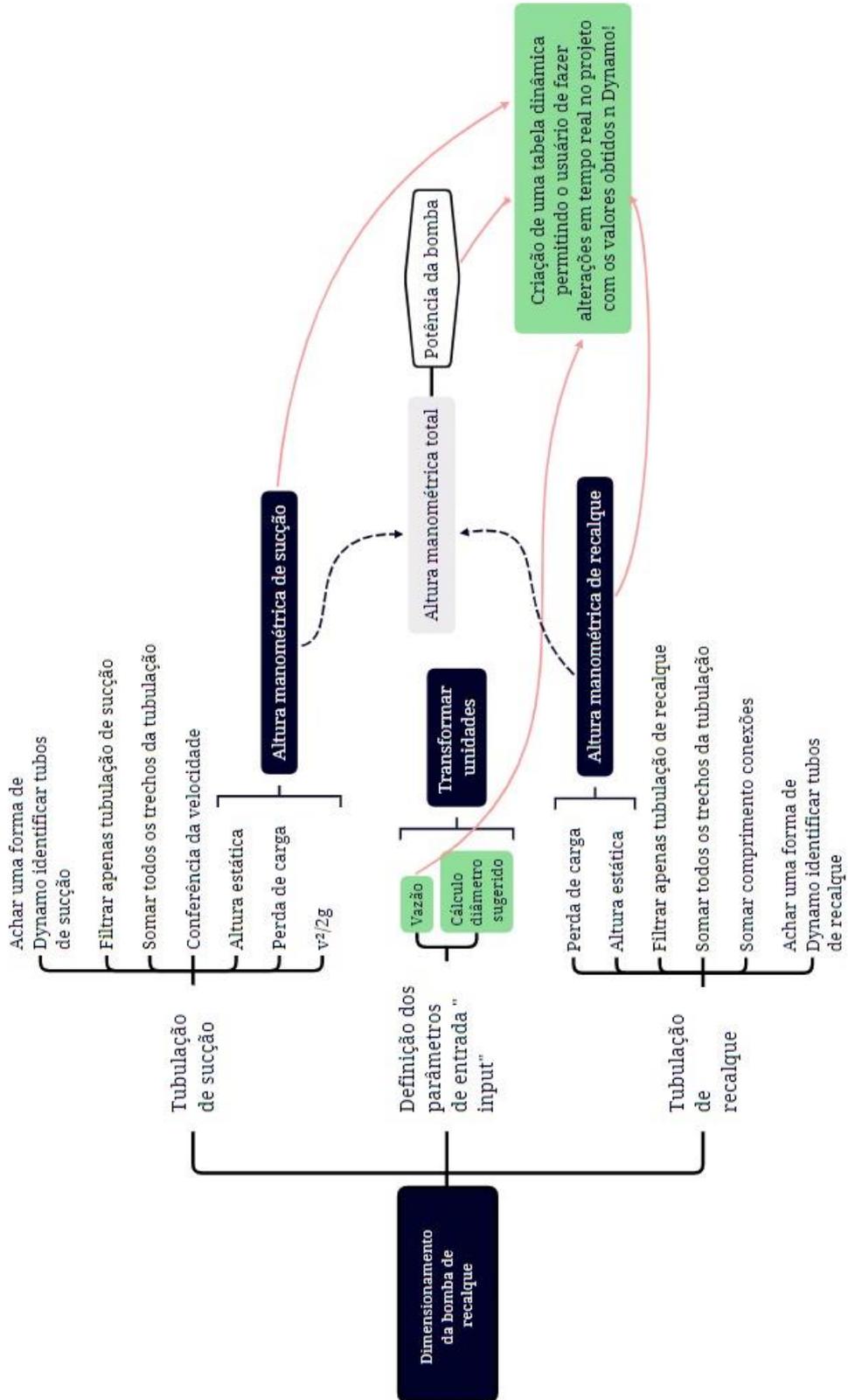
Após, com a ideia do algoritmo estruturada, pode-se partir para a programação em si.

Figura 27 – Fluxograma de passos para a criação da rotina



Fonte: A Autora (2022)

Figura 28 – Fluxograma base para criação da rotina



Fonte: A Autora (2022)

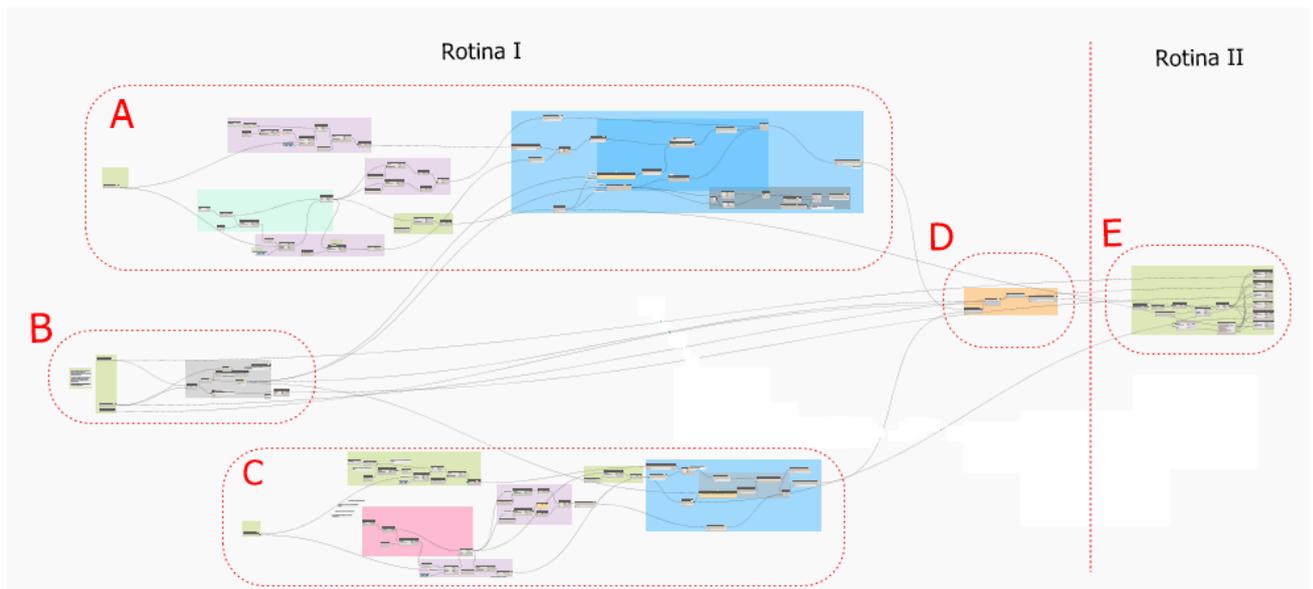
3.2 CRIAÇÃO DAS ROTINAS DE CÁLCULO

Como comentado na seção 3.1, a primeira parte da criação da rotina foi a criação de um fluxograma de como o Dynamo deve realizar o dimensionamento para chegar no resultado final. Neste momento foram definidos os dados de entrada e de saída (*input* e *output*). Assim, partiu-se para a ferramenta em si, onde foram ordenadas as rotinas.

Nesta seção é explicado o método de construção da rotina responsável por realizar o dimensionamento das bombas de recalque e seu modo de funcionamento.

Por questão de visualização e, principalmente, de didática, a rotina foi subdividida em seções menores e classificadas de acordo com sua ordem de execução, de acordo com a Figura 29, sendo cada seção devidamente explicada no decorrer desta seção.

Figura 29 – Divisão da rotina para questões de entendimento



Fonte: A Autora (2022)

A rotina foi dividida em duas partes, sendo a primeira parte responsável por chegar ao valor da potência da bomba (intitulada como Rotina I pela autora) e a segunda parte responsável por criar uma tabela dinâmica de visualização para permitir ao usuário testar valores de entrada de forma rápida e concisa, como a alteração diâmetros, comprimentos e alturas, e conseguir obter os novos resultados instantaneamente em sua tela de projeto (intitulada como Rotina II pela autora).

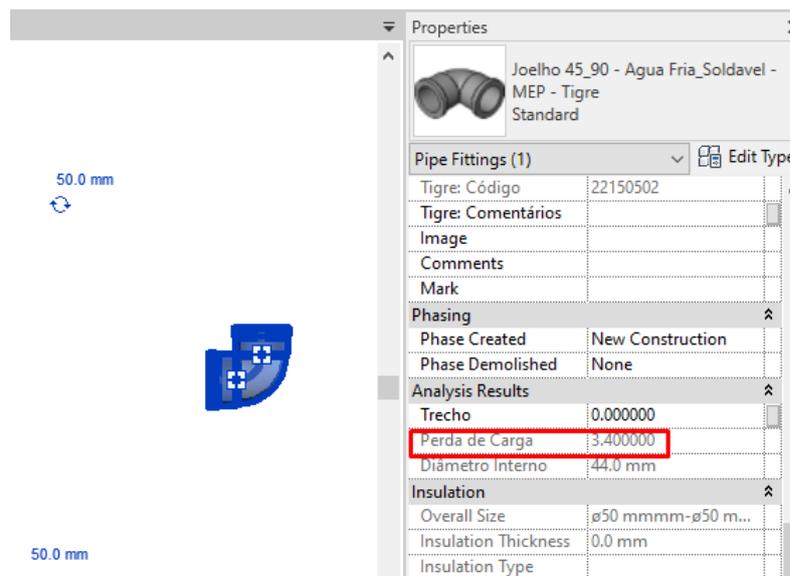
3.3 AJUSTES INICIAIS NO PROJETO

Para que a rotina seja executada de forma eficiente e não apresente erros de dimensionamento, é necessário realizar alguns ajustes iniciais no projeto em que ela for utilizada.

O cenário ideal seria que o projeto fosse criado em um *template* que possuísse algumas informações já pré-inseridas, como a perda de carga das peças, por exemplo (Figura 30). Neste caso, foram adotados os *templates* disponibilizados pela Tigre, que já possuem sistemas de tubos, tabelas prontas, filtros, anotações para detalhamentos, entre outros. O *template* é disponibilizado através do *site* da empresa.

Segundo Autodesk (2022), *template* é um arquivo modelo, desenvolvido para servir de base para o desenvolvimento de novos projetos dentro do *software* Autodesk Revit. Assim, este inclui modelos de vistas, famílias carregadas, configurações definidas (como unidades, padrões de preenchimento, estilos de linha, espessuras de linha, escalas de vista e etc.) e geometria já previamente salvas, evitando que o usuário tenha que configurar tais informações ao dar início a um novo projeto. Além dos modelos de *template* padrão do Revit, o *software* permite a criação de modelos personalizados, os quais podem ser modificados e melhorados de acordo com necessidades específicas.

Figura 30 – Conexão e seus parâmetros de utilização, com foco no parâmetro: perda de carga.



Fonte: A Autora (2022)

Outra distinção que precisa ser realizada é na diferenciação das tubulações de sucção e recalque. Como mencionado anteriormente, o Revit, em si, não faz essa diferenciação nas tubulações, sendo assim, o usuário da rotina precisa diferenciá-las de alguma forma, pois a rotina foi feita separando-as, devido as distinções de considerações no dimensionamento entre as duas.

O método escolhido para o Dynamo conseguir diferenciar, foi através de algum parâmetro comum em todas as peças: o parâmetro Marca. Assim, o jeito escolhido foi escrever SUCÇÃO neste parâmetro para os tubos de sucção e escrever RECALQUE para os tubos de recalque. Na seção 4.4, será visto que há uma função no Dynamo que identifica e “separa” essas tubulações, distinguindo-as.

Segundo Whitbread (2015), parâmetros são a essência do que torna o Revit MEP uma ferramenta poderosa de design e modelagem. Os parâmetros são as propriedades de cada elemento e contêm os dados computáveis que definem as propriedades não apenas dos componentes do modelo, mas também tudo o que constitui um projeto dentro do Revit. São as características de todos os elementos no *software*, que determina o comportamento, a aparência, o desempenho e as informações. Valores de parâmetros podem ser editados conforme necessário, mas os próprios parâmetros não podem ser removidos ou modificados

Assim, através do parâmetro Marca, o Dynamo filtrará as respectivas tubulações de recalque e sucção pelo nome adicionado neste parâmetro (este foi escolhido pois é um parâmetro comum em todos os elementos do Revit).

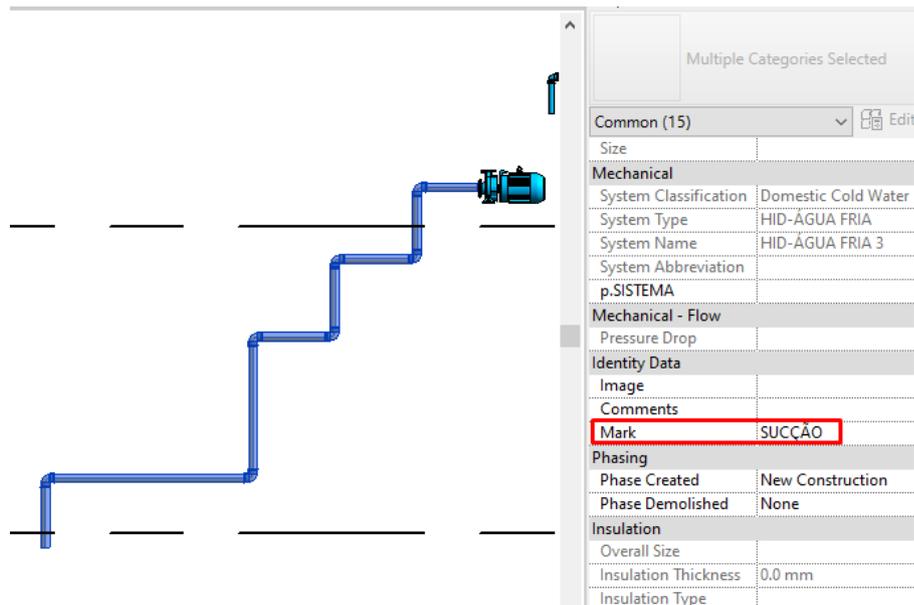
- Toda tubulação de recalque recebe o nome em um parâmetro devidamente escolhida de: RECALQUE, conforme Figura 30.
- Toda tubulação de sucção recebe o nome em um parâmetro devidamente escolhida de: SUCÇÃO, conforme Figura 31.
- Todas as conexões devem ter devidamente a informação contida de Perda de Carga, como mostra a Figura 30. Estes valores devem ser primeiramente conferidos com os valores tabelados disponibilizados na NBR 5626:1992 (Tabela 1 da seção 2.4.6 da Revisão Bibliográfica).

Desta forma, antes de executar a rotina, o usuário precisará inicialmente, selecionar os tubos de recalque e escrever RECALQUE no parâmetro Marca e escrever sucção no parâmetro Marca das tubulações de sucção. Feito isso, é importante que o usuário se certifique que as

conexões estão apresentando os respectivos valores de carga dentro do Parâmetro ‘perda de carga’, como exibido na Figura 29.

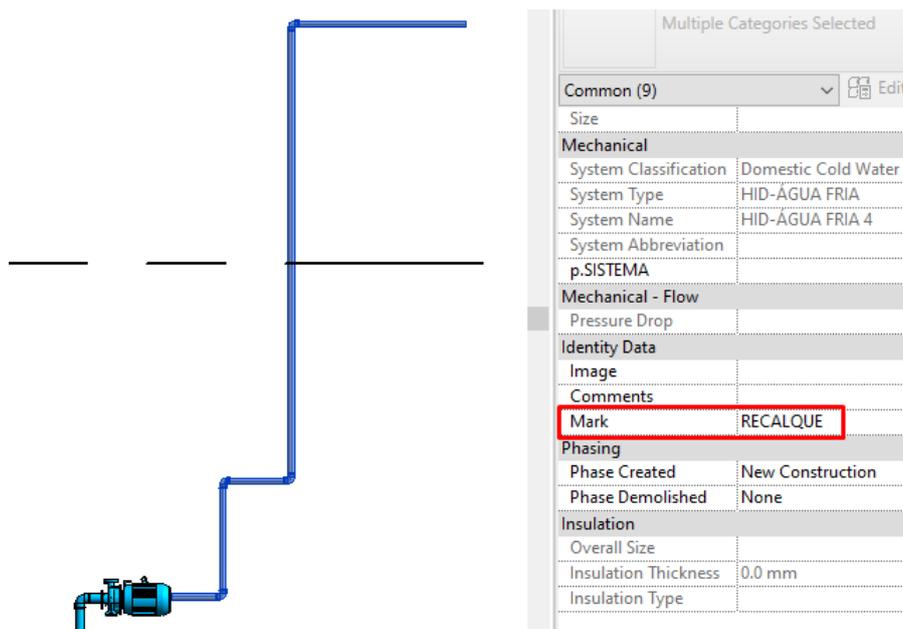
Após a realização destas atividades, o projeto já está pronto para ser rodado na rotina. A Figura 31 exibe um fluxograma de passos iniciais e de como o Dynamo irá se comportar perante elas.

Figura 29 – Ajustes na tubulação de sucção do projeto



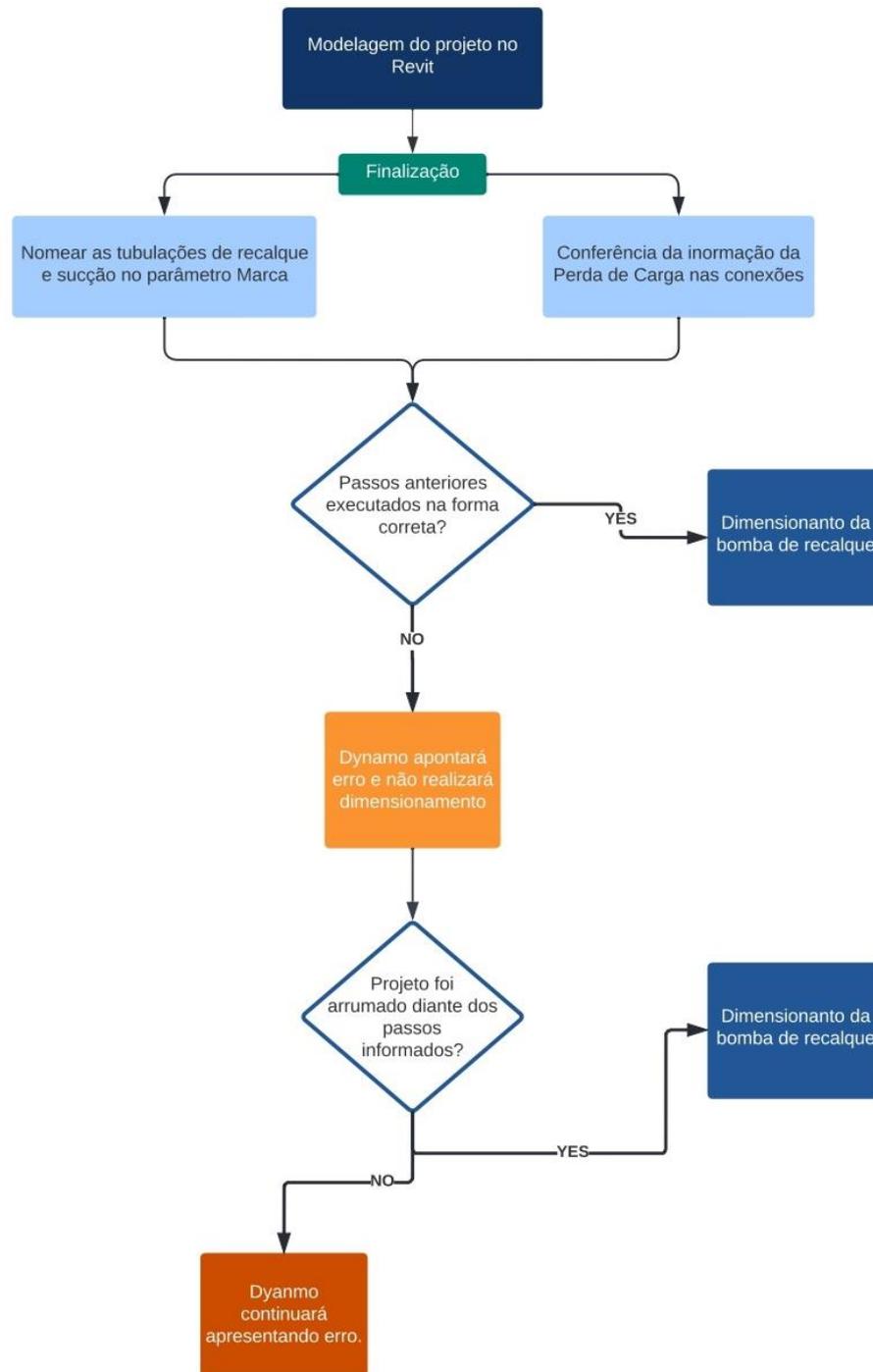
Fonte: A Autora (2022)

Figura 30 – Ajustes na tubulação de recalque do projeto



Fonte: A Autora (2022)

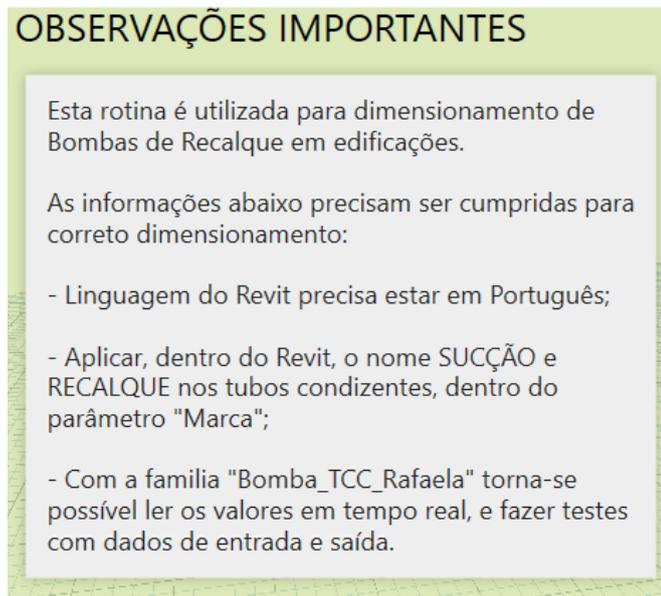
Figura 31 – Fluxograma ilustrando as etapas para o dimensionamento utilizando as rotinas desenvolvidas



Fonte: A Autora (2022)

Como mencionado sobre essas alterações no projeto e considerações importantes para o correto desempenho do programa, uma nota inicial foi adicionada à rotina, conforme Figura 34, devido a importância destas informações.

Figura 32 – Code Block com indicações para usuários



Fonte: A Autora (2022)

3.3.1 Rotina I – Parte de dimensionamento da bomba

3.3.1.1 Dados de entrada e informações iniciais – Parte B

A parte inicial da rotina é composta pelos dados de entrada. Aqui, são colocados todos os dados que foram previamente estabelecidos como dados de entrada (*input*) na seção 3.1, ou seja, o consumo diário, o tempo de funcionamento da bomba e seu rendimento. Esses valores vão ser utilizados na rotina e influenciarão no cálculo final da potência da bomba. Desta forma, ao utilizar a rotina, o usuário poderá testar alguns valores de entrada, para ver se o valor final, ou seja, de saída, está condizente para que ele necessite.

Os valores de entrada que o usuário necessita são:

- Consumo diário: Este valor provem do cálculo do reservatório. É um valor de entrada importante pois é necessário saber quanto a bomba terá que elevar por dia, e pode-se calcular a vazão, valor que entra no cálculo da potência da bomba. Este valor, geralmente é calculado em m^3/h ou m^3/s .

- Tempo de bomba ligada por dia: Este valor é importante pois é necessário para o cálculo da vazão, valor que entra no cálculo final da potência da bomba.
- Rendimento da bomba: Como mencionado na seção 2.4.5 da Revisão Bibliográfica, toda bomba apresenta um determinado rendimento. Este valor entra diretamente no cálculo final da potência e é inversamente proporcional ao resultado final.

Figura 33 – Dados de entrada da Rotina

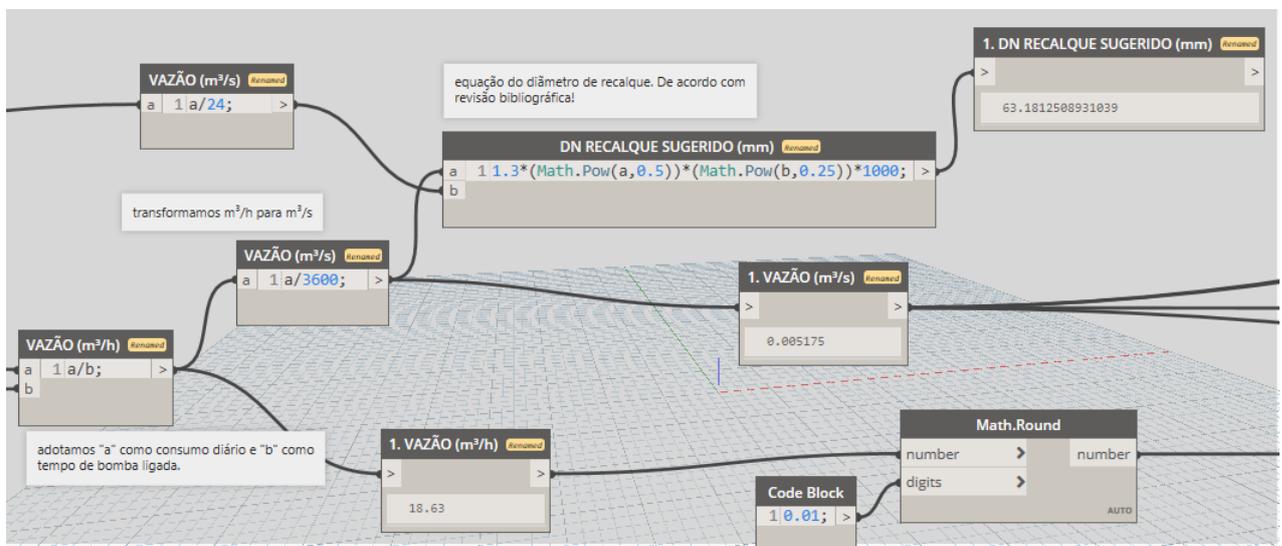
The screenshot shows a form with three input fields:

- Consumo Diário (m³/h)**: Value 93.150
- Tempo bomba ligada (h/dia)**: Value 5.000
- RENDIMENTO DA BOMBA**: Value 0.800

Fonte: A Autora (2022)

Após inserir os dados de entrada, alguns destes valores precisam ser transformados para as unidades corretas, como mencionado na seção 2.4.2 da Revisão bibliográfica, para, no final, a potência final ser na unidade de cavalo-Vapor (unidade em que as bombas são vendidas no mercado). Tem-se agora, na Figura 34, as primeiras ações do algoritmo propriamente dito.

Figura 34 – Transformação de unidade e cálculo do diâmetro de recalque sugerido

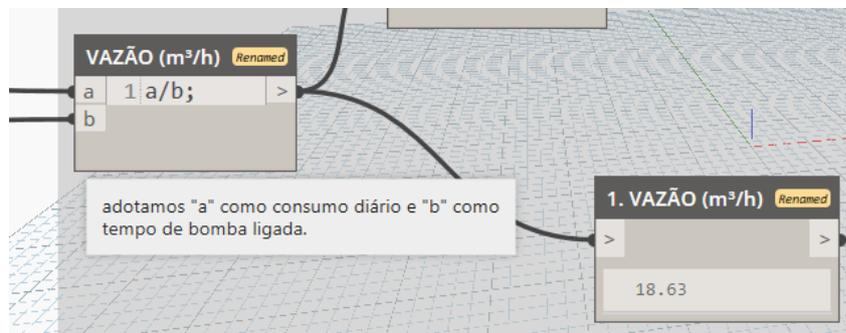


Fonte: A Autora (2022)

Estas informações serão utilizadas em várias outras seções da rotina, e, desta forma, foram as primeiras ações a serem feitas. Nesta seção, tem-se o cálculo da vazão (divisão do consumo diário, em m^3/dia , pelo tempo de bomba ligada por dia, em horas) e o diâmetro sugerido de recalque (Seção 2.4.3 da Revisão Bibliográfica), conforme Figura 36. Assim, obtém-se o valor da vazão, em m^3/h . Este valor é dividido por 3600 para obter o valor em m^3/s (este valor entra com esta unidade na fórmula do diâmetro sugerido, conforme seção 2.4.3 da Revisão Bibliográfica). O valor da vazão também foi deixado como opção em m^3/h , pois é utilizada esta unidade na formula final da potência da bomba (conforme seção 2.4.4 da Revisão Bibliográfica).

Dentro do Dynamo, para realizar uma operação matemática como divisão e adição, deve-se criar um novo Node, definir quais são as variáveis e nomeá-las. Por exemplo, o consumo diário foi denominado de variável “a” e o tempo de bomba ligada de variável “b”. Assim, para achar a vazão, foi dividido a/b , como observado na Figura 37, e a variável “a” e “b” estão ligadas as suas condizentes.

Figura 35 – Cálculo da vazão no Dynamo



Fonte: Autora (2022)

A função utilizada para elevar um número ao quadrado (no cálculo do diâmetro sugerido, por exemplo) é a *Math.Pow*. Esta função eleva o primeiro número na lista à potência desejada, conforme exemplo na Figura 38. Por exemplo, se, dentro da fórmula, for digitado *Math.Pow* (3,2), ele representa o número 3 elevado à potência 2.

Figura 36 – Função *Math.Pow*

The image shows a 'Code Block' window with the text `Math.Pow(1..4,2); >`. Below the code block is a 'List' window displaying the results of the function: a vertical list with indices 0, 1, 2, and 3, corresponding to values 1, 4, 9, and 16. At the bottom of the list window, there are two expressions: `@L2 @L1` on the left and `{4}` on the right.

Fonte: Autora (2022)

Após esta parte inicial, onde são inseridos os valores de entrada, a rotina está separada em duas partes: a parte de cálculo da tubulação de sucção (Parte A da Figura 29) e a parte de cálculo de tubulação de recalque (Parte C da Figura 29).

3.3.1.2 Tubulação de recalque – Parte C

A parte C da rotina é responsável por calcular a altura manométrica final da tubulação de recalque (que posteriormente será somada com a altura manométrica de sucção e este valor entrará diretamente no cálculo da potência da bomba). Essas operações envolvem algumas operações, que foram intituladas de seção e seguem abaixo:

3.3.1.1.1 Filtragem e comprimento da tubulação de recalque

A primeira ação a ser realizada nesta seção é a filtragem dos tubos de recalque que envolvem o sistema elevatório. Esta ação será realizada com o Node *All elements of Category - Category - Pipes*. Com esta função, o Revit seleciona todos os tubos que estão presentes na modelagem. No entanto, o Node *Element.GetParameterValueByName*, pega o valor do parâmetro que ele recebe. Neste caso, como mostra a Figura 38, de todos os elementos da categoria Pipes, ele selecionar todos os tubos que possuem algo escrito no parâmetro marca. No entanto, alguns tubos possuem a palavra sucção e outros a palavra recalque.

Desta forma, a função *String.Contains* é utilizada para realizar uma pesquisa por um conjunto de caracteres, sendo semelhante a fazer o comando "Localizar" em um processador de texto. Nesse caso, obtém-se um retorno de "true" ou "false" se essa *substring* for encontrada dentro do item. Assim, após selecionar todos os tubos que possuem alguma informação escrita no parâmetro Marca, ele irá procurar quais desses tubos possuem a palavra "recalque" dentro do parâmetro.

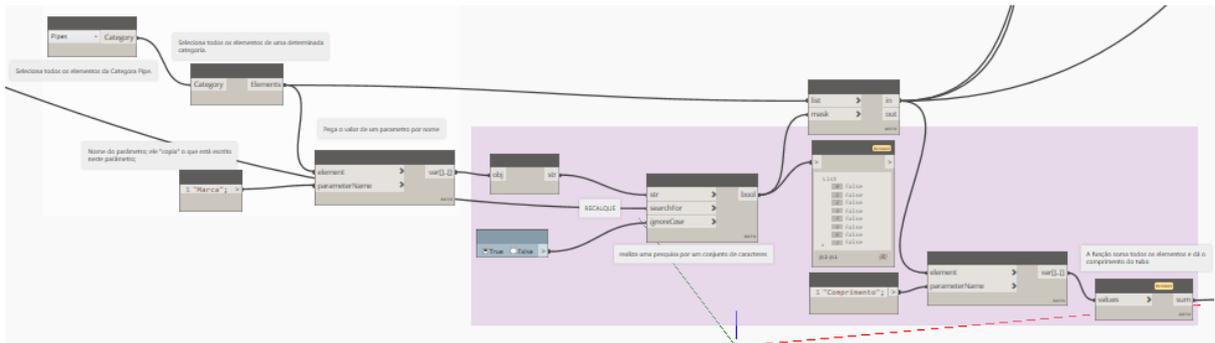
Assim sendo, na entrada "searchFor", é definida a *string* procurada, neste caso, a palavra recalque. A saída é dada como uma lista de falsos e verdadeiros. A lógica booleana é utilizada para filtrar os elementos na próxima etapa.

List.FilterByBoolMask é o Node utilizado para eliminar os falsos e verdadeiros. A saída "in" retorna as instruções com uma entrada "mask" de "true", enquanto a saída "out" retorna aquelas que são "false". Neste caso, são requeridas apenas as opções verdadeiras (ou seja, "true"), pois indicam que a palavra recalque foi encontrada no parâmetro Marca (são tubulações de recalque).

Desta forma, com todos os tubos que possuem a palavra recalque no parâmetro Marca já selecionados, novamente o Node *Element.GetParametreValueByName* entra, selecionando todos os comprimentos destes tubos (através do parâmetro comprimento do Revit), e estes comprimentos são somados pelo Node *Math.Sum* (Figura 40), que apenas realiza a soma dentro do Dynamo. Assim, tem-se o somatório dos comprimentos das tubulações de recalque.

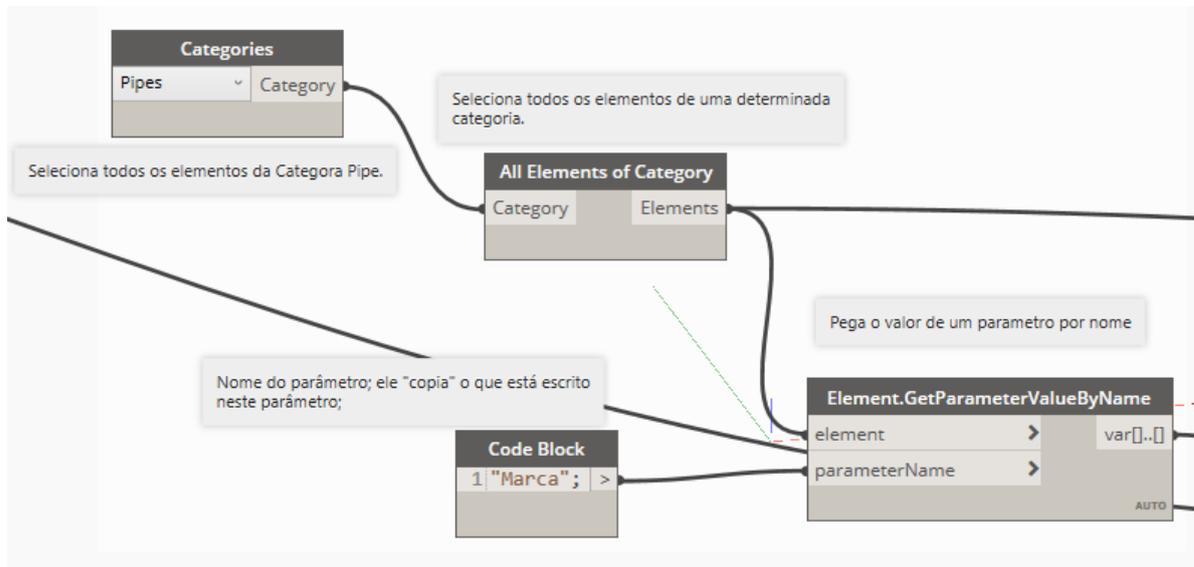
A Figura 37 é exibida toda a rotina responsável pela filtragem e pelo somatório dos comprimentos da tubulação de recalque. As Figuras 38 e 39 exibem a rotina de uma forma mais amplificada, para uma melhor visualização e entendimento.

Figura 37 – Seção responsável pela filtragem e somatório dos comprimentos da tubulação de recalque



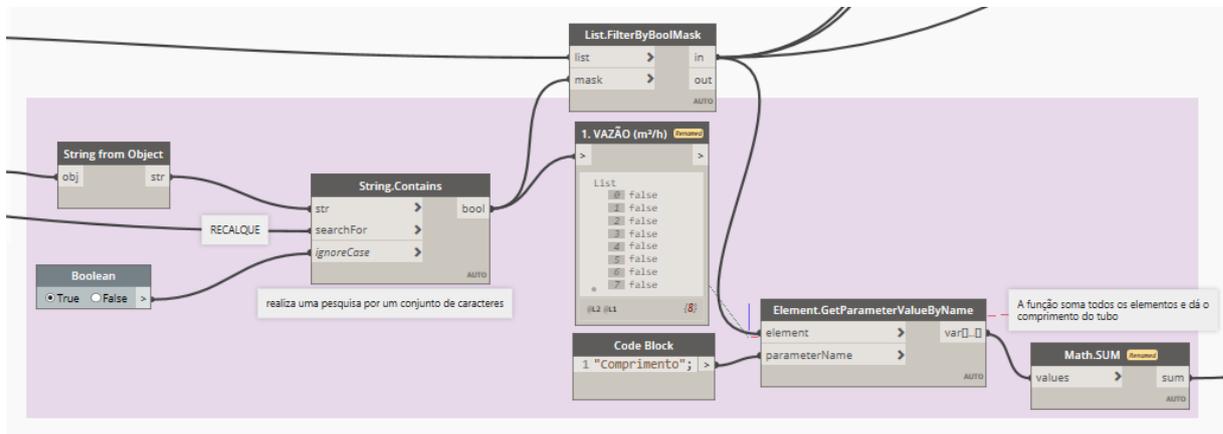
Fonte: A Autora (2022)

Figura 38 - Seção responsável por filtrar as tubulações de Recalque pelo parâmetro Marca

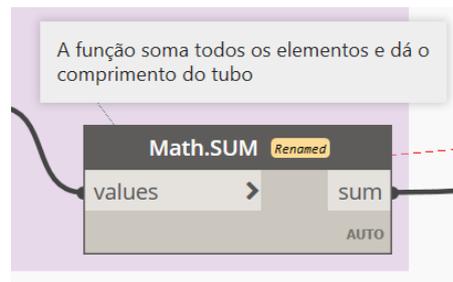


Fonte: A Autora (2022)

Figura 39 - Seção responsável por filtrar os tubos de recalque e somar seus comprimentos



Fonte: A Autora (2022)

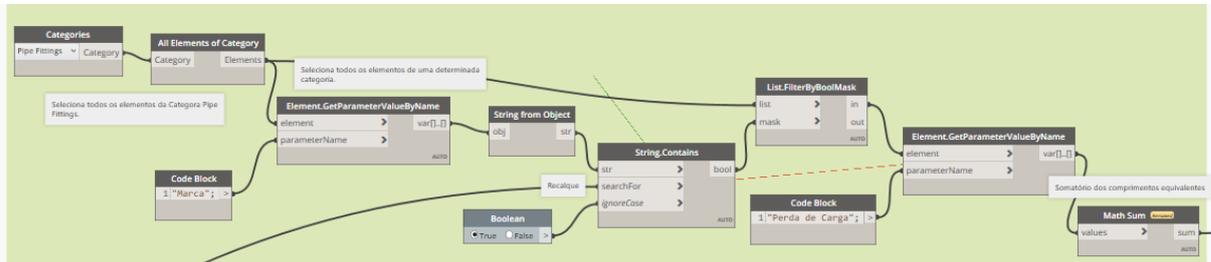
Figura 40 – Função *Math.Sum*

Fonte: A Autora (2022)

3.3.1.1.2 Comprimento Equivalente de recalque

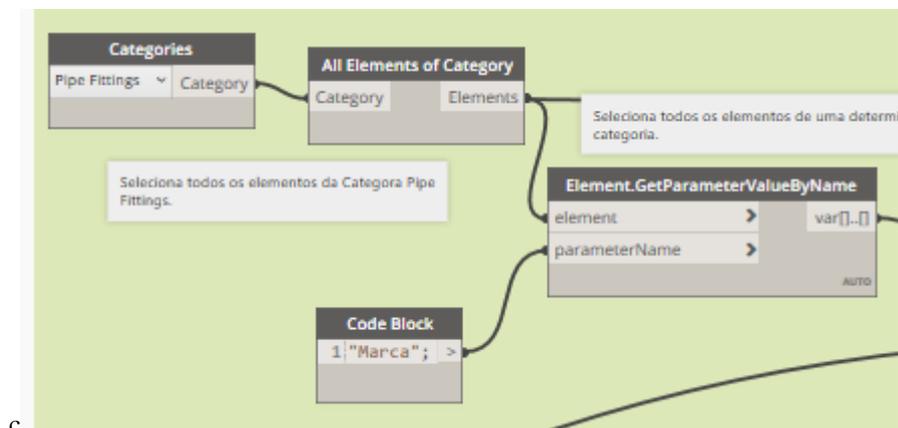
Esta seção é praticamente igual à anterior. Neste caso, são filtradas todas as conexões dentre os tubos de recalque. E pelo Node *Math Sum*, são somadas todas as informações de perda de carga. Desta forma, obtém-se o valor de comprimento equivalente da tubulação de recalque, como explicado na Seção 2.4.6 da Revisão Bibliográfica.

Figura 41 – Cálculo comprimento equivalente de recalque



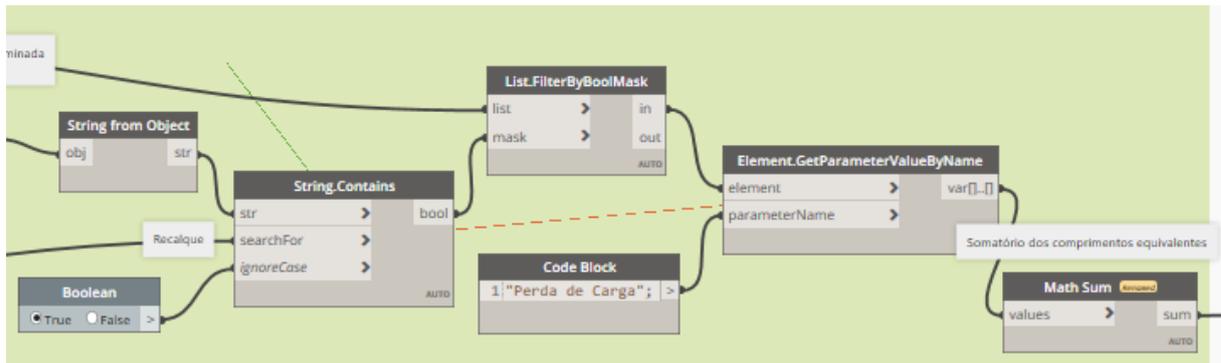
Fonte: A Autora (2022)

Figura 42 – Aproximação da rotina (Lado esquerdo)



Fonte: A Autora (2022)

Figura 43 – Aproximação da rotina (Lado direito)

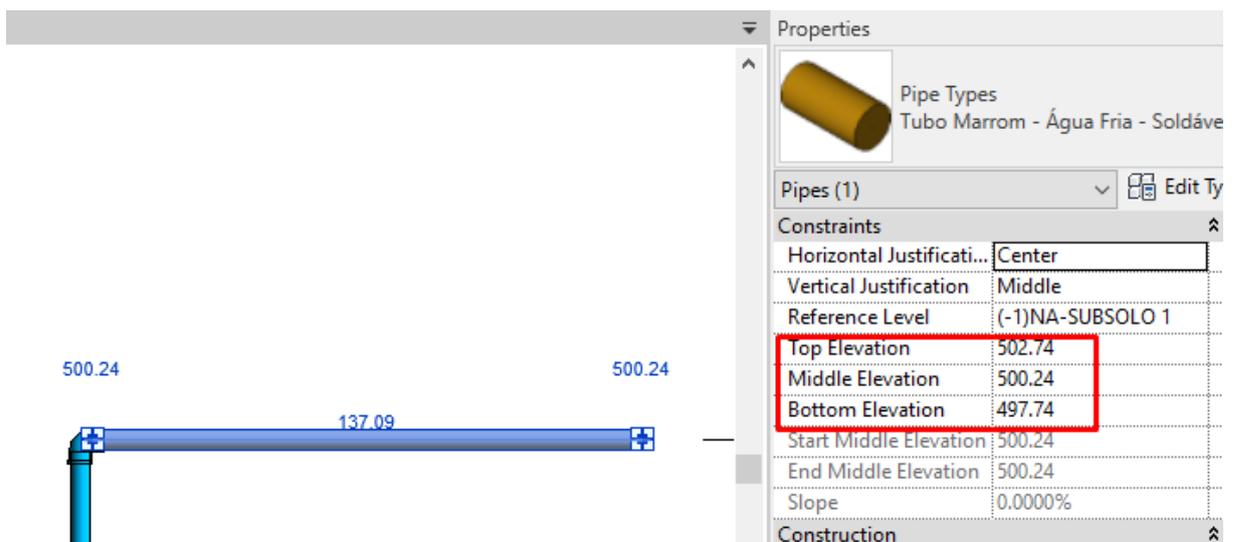


Fonte: A Autora (2022)

3.3.1.1.3 Altura estática de recalque

Nesta seção, é obtido o valor da diferença de altura de recalque (maior altura menos a menor altura). Antes de partir para a explicação da rotina, é importante observar a Figura 44, onde mostra uma tubulação no Revit. Por padrão, cada tubulação possui três parâmetros de elevação: a elevação superior (*top elevation*), a elevação média (*middle elevation*) e a elevação inferior (*bottom elevation*). A superior é a cota até a parte mais alta do tubo, e a inferior é a cota mais baixa. A elevação média é a média dessas duas elevações. Em diâmetros pequenos, os valores são muito próximos, mas em diâmetros maiores, pode haver uma significativa diferença. Desta forma, essas questões foram consideradas na criação desta seção da rotina.

Figura 44 – Parâmetros de elevação de um tubo do Revit



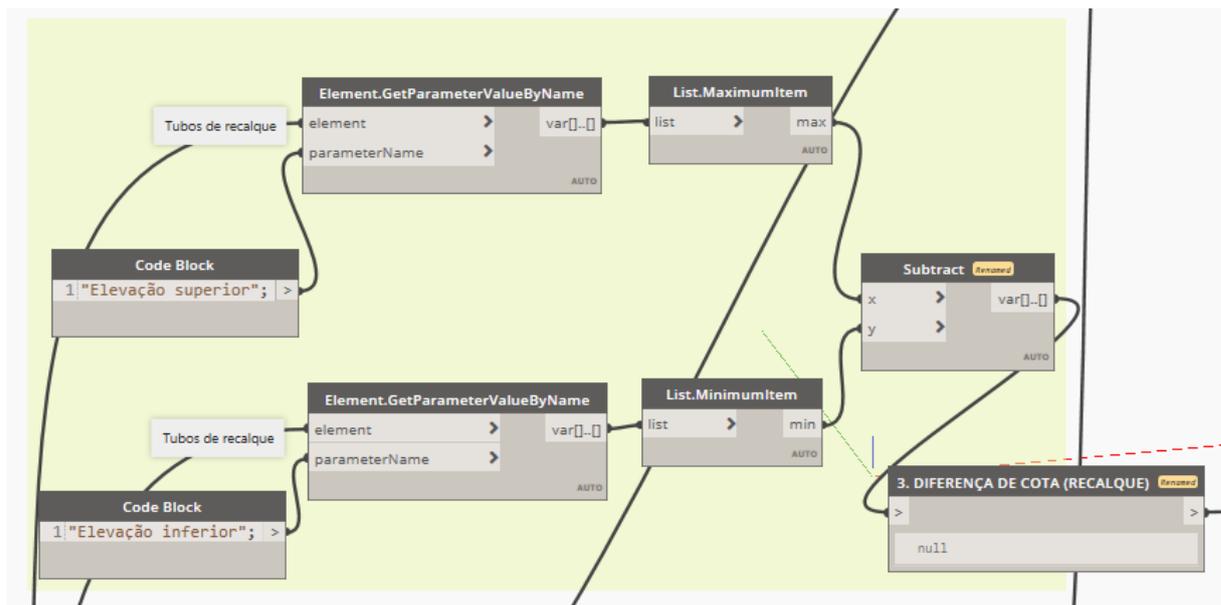
Fonte: A Autora (2022)

Desta forma, na criação desta seção da rotina, são realizadas duas filtragens, novamente pela função: *Element.GetParameterValueByName*, como explicado anteriormente (Figura 45). A primeira filtragem seleciona todos os valores do parâmetro de elevação superior. Assim, o Node *List.MaximumItem*, irá selecionar apenas o maior valor do diâmetro. A operação se repete com o parâmetro de elevação inferior, e é obtido o menor valor de elevação de todos os tubos de recalque.

O comando final *Subtract* faz a diferença entre eles e, desta forma, obtém-se o valor de cota, ou seja, a maior altura da tubulação de recalque menos a menor altura da tubulação.

Este valor obtido, multiplicado a perda de carga unitária de recalque, resultará na altura manométrica de recalque, valor este importante para o dimensionamento da bomba, como mostrado na seção 2.4.4 da Revisão bibliográfica.

Figura 45 – Cálculo da altura estática de recalque



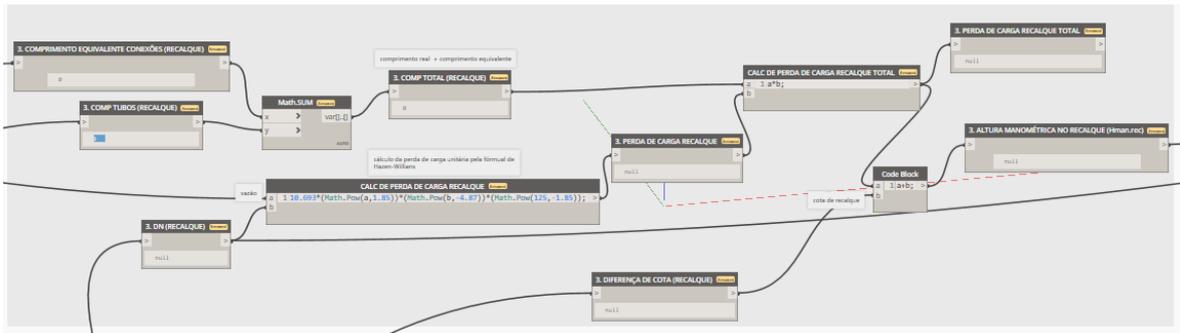
Fonte: A Autora (2022)

3.3.1.1.4 Resultados finais da tubulação de recalque

Agora, com todos os principais valores já calculados, pode-se partir para as operações matemáticas. Nesta seção, novamente tem-se a imagem na Rotina na Figura 46, e as aproximações para uma melhor visualização nas Figuras 47 e 48. Para a obtenção do valor do comprimento total da tubulação de recalque, soma-se, com o Node *Math.Sum*, os valores do

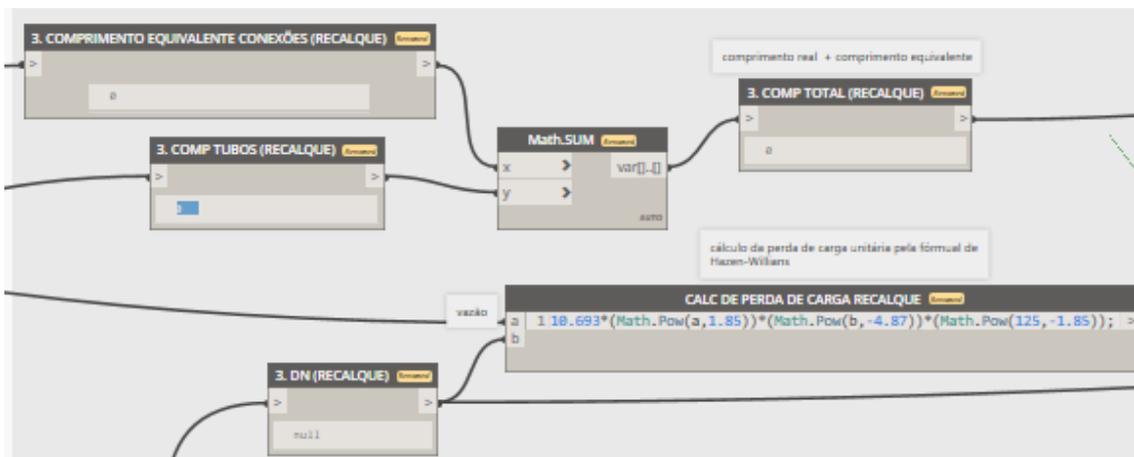
comprimento equivalente de recalque e comprimento dos tubos, conforme explicado na seção 2.4.3 da Revisão Bibliográfica. Agora, somando-se a perda de carga de recalque com o comprimento real da tubulação, obtém-se a perda de carga total de recalque, que, somando com a elevação de recalque, obtém-se, finalmente a altura manométrica de recalque.

Figura 46 – Resultados finais da tubulação de recalque



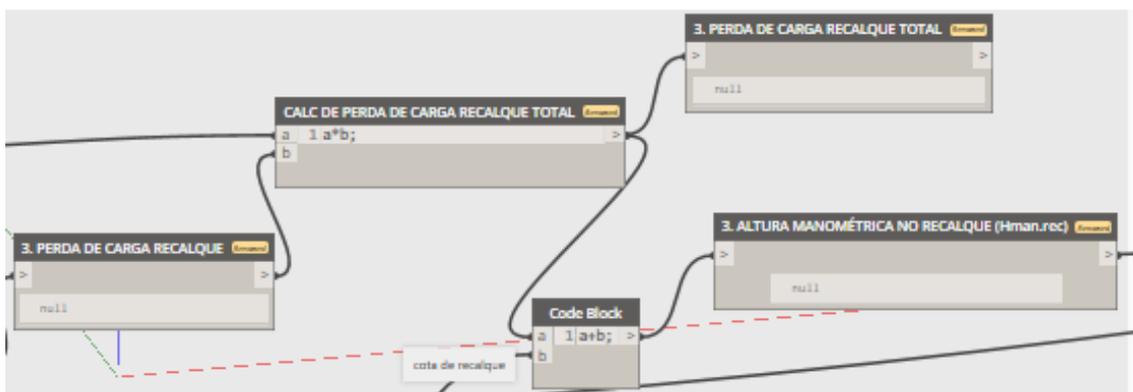
Fonte: A Autora (2022)

Figura 47 – Aproximação da seção – lado esquerdo



Fonte: A Autora (2022)

Figura 48 – Aproximação da seção – lado direito



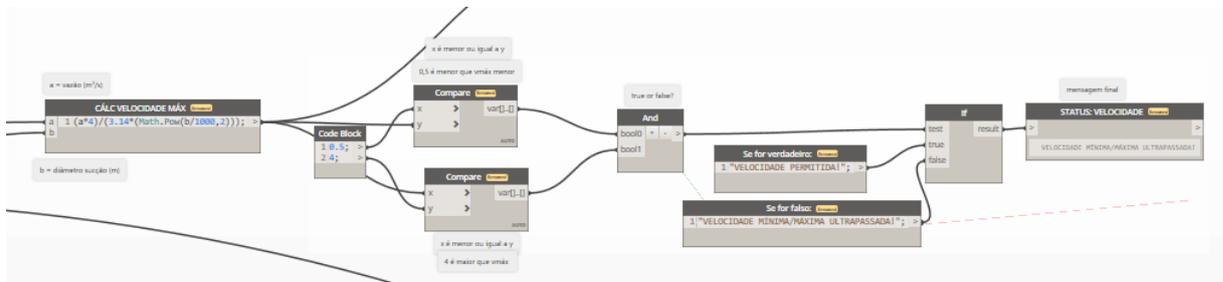
Fonte: A Autora (2022)

3.3.1.3 Tubulação de sucção – Parte A

Para a parte da tubulação de sucção, muitas das seções são idênticas a parte de recalque, pois envolve também toda a parte de filtragem da tubulação, somatório dos comprimentos, até a obtenção da altura manométrica de sucção. O que se altera é que as tubulações de sucção possuem a palavra sucção no parâmetro Marca. Desta forma, estes itens não foram explicados novamente neste trabalho.

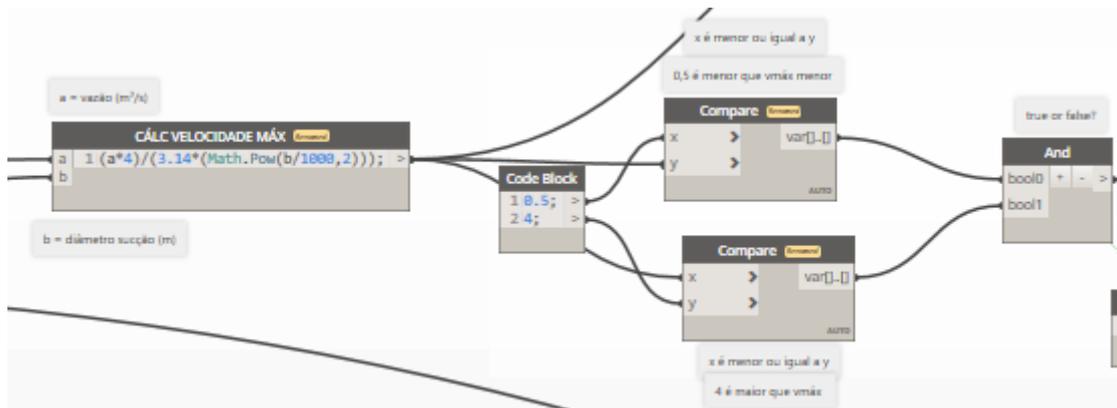
No entanto, a diferença é que na tubulação de sucção, é necessária fazer a conferência da velocidade e perda de carga, conforme seção 2.4.3 da Revisão Bibliográfica.

Figura 49 – Seção responsável pela conferência da velocidade



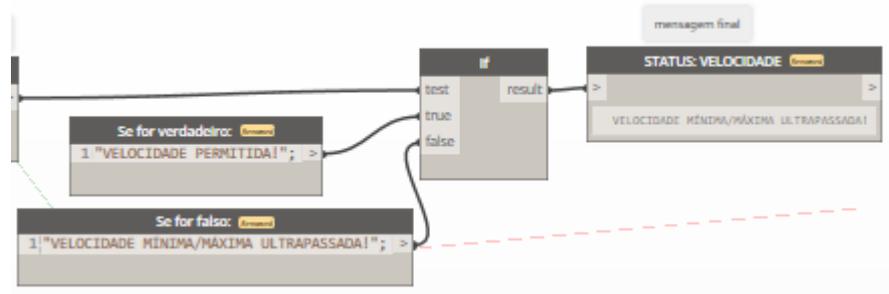
Fonte: A Autora (2022)

Figura 50 – Aproximação da seção – lado esquerdo



Fonte: A Autora (2022)

Figura 51 – Aproximação da seção – lado direito



Fonte: A Autora (2022)

Nesta seção, a velocidade máxima é calculada de acordo com a seção 2.4.3 da Revisão Bibliográfica. No entanto, o objetivo é verificar se ela é maior que o mínimo (0,5 m/s) e menor que o máximo (4 m/s). Desta forma, o Node utilizado é o *compare*. Este Node, como mostra na Figura 50, afirma que o valor denominado de x é menor ou igual ao valor denominado y. Assim, no Node *compare* superior da Figura 50, x equivale a 0.5 e y é a velocidade máxima. O Node *compare* está afirmando que 0.5 é menor que a velocidade máxima. Já no Node *compare* inferior da Figura 50, x equivale a velocidade máxima e y equivale a 4 m/s. Este Node afirma que a velocidade máxima é menor que 4 m/s.

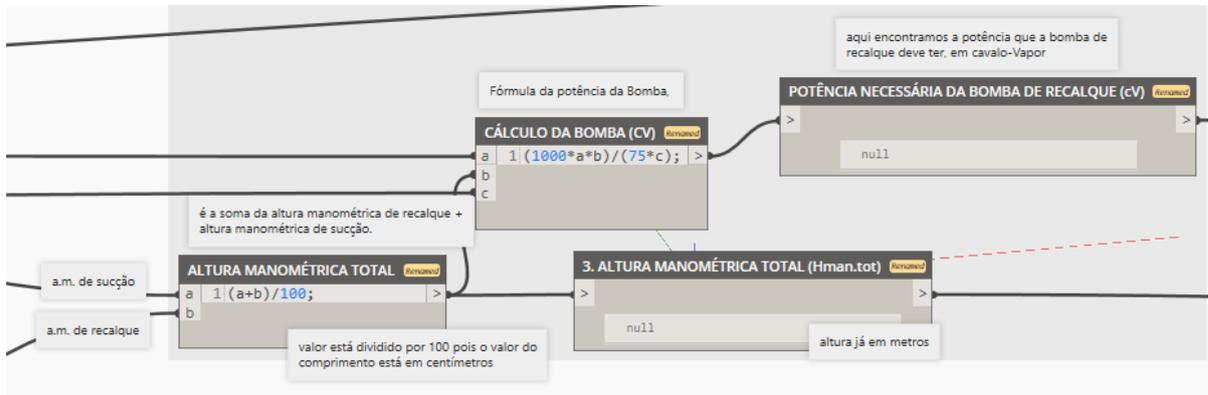
Após é utilizado o Node *And*, que retornará o valor de *true*, caso essas duas afirmações estejam corretas, e assim o Dynamo exibirá a mensagem: Velocidade Permitida

Se uma ou as duas informações forem falsas, o Dynamo retorna o valor de *false*, e exibirá a mensagem: Velocidade mínima/máxima ultrapassada. Assim sendo, o usuário precisará alterar valores no modelo para que a velocidade esteja no intervalo de valores permitido.

3.3.1.4 Resultados finais – Parte D

Com os resultados da tubulação de recalque e da tubulação de sucção (ou seja, a obtenção da altura manométrica de cada um deles), são obtidos os resultados finais. O dado final de saída da rotina será a potencial final da bomba, em cavalo-Vapor.

Figura 52 – Resultados finais da bomba de recalque

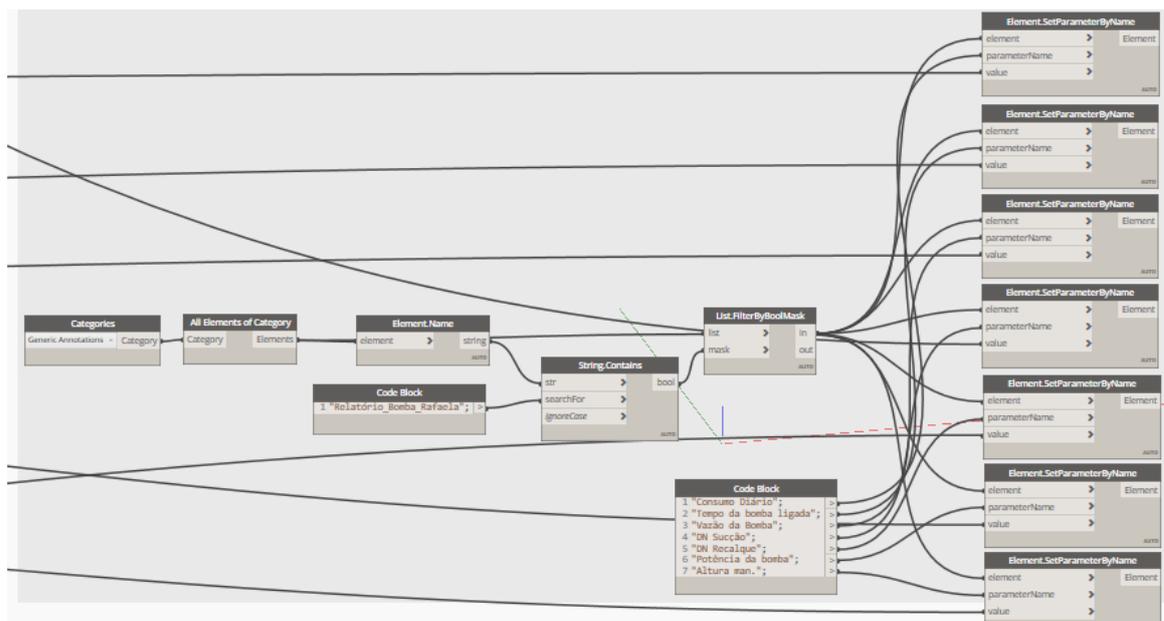


Fonte: A Autora (2022)

3.3.2 Rotina II – Criação da tabela dinâmica – Parte E

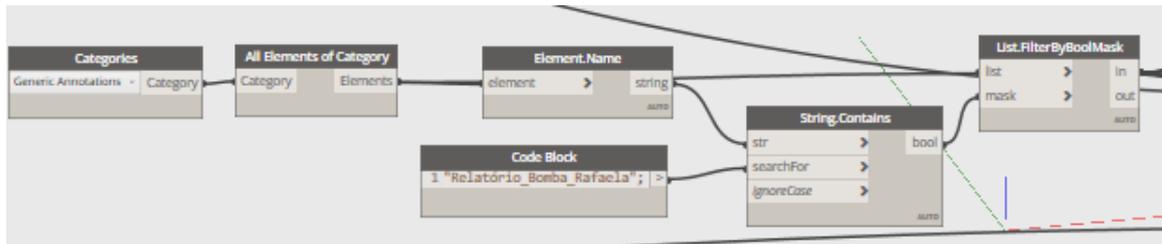
A segunda parte da rotina, intitulada como Rotina II (Figura 53), é responsável por realizar a criação de uma tabela dinâmica, mostrada na Figura 54, dentro do ambiente Revit para auxiliar os usuários e permitir o teste de hipóteses e situações. A ideia central é permitir uma melhor visualização instantânea dos resultados, após o usuário modificar informações no modelo, como: diâmetro, tubulação de recalque e sucção, altura e comprimento das tubulações, percurso das tubulações, entre outras. A Figura 53 exibe a rotina por completa, e as Figuras 54 e 55 exibem elas mais aproximadas, para um melhor entendimento.

Figura 53 – Rotina II



Fonte: A Autora (2022)

Figura 54 – Rotina II



Fonte: A Autora (2022)

A formulação desta Rotina II é muito semelhante as demais. Aqui, foi necessário criar uma nova família, intitulada como “Relatório_Bomba_Rafaela” ou seja, uma tabela, (Figura 55), que deve ser carregada no projeto que será utilizada a rotina. O Dynamo irá procurar a família dentro de todas as *Generic Annotations* (é a classificação das tabelas no Revit) do Revit, como mostrado na Figura 56. Agora, novamente o Node *Element.SetParameterByName* é utilizado, onde os valores de cada parâmetro (consumo diário, tempo de bomba ligada, etc) serão “puxados” dos resultados da rotina e mostrados na tabela, que estará sendo exibida na tela de projeto do Revit, e, assim, torna-se possível fazer alterações no modelo e obter, no mesmo momento as novas informações de dimensionamentos do sistema elevatório da edificação.

Figura 55 – Tabela Dinâmica

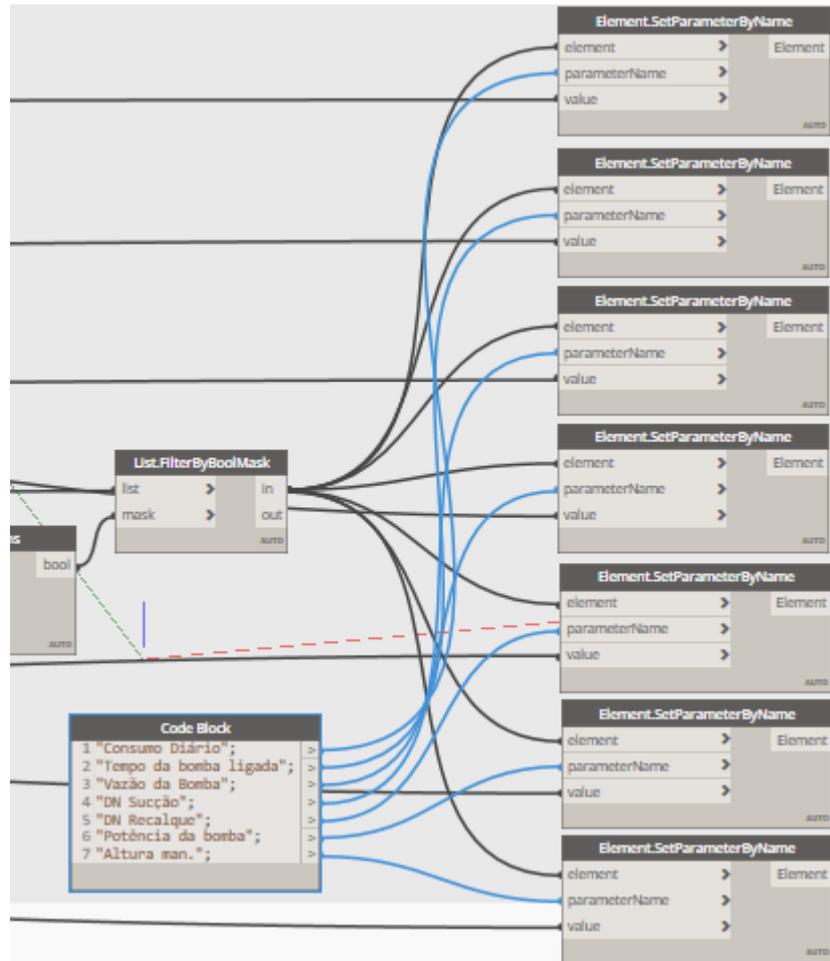
INFORMAÇÕES - SISTEMA DE BOMBEAMENTO		
Consumo diário :	0	m^3/dia
Tempo da bomba ligada :	0	h/dia
Vazão da bomba :	0	m^3/h
DN Sucção:	0	mm
DN Recalque:	0	mm
Potência da Bomba:	0	cv

Fonte: A Autora (2022)

Esta tabela será inserida como uma família no Revit. Segundo Autodesk (2022), uma família é um grupo de elementos com um conjunto comum de propriedades, chamadas de parâmetros, e uma representação gráfica relacionada. Dessa forma, diferentes elementos pertencentes a uma família podem ter valores diferentes para alguns ou todos os seus parâmetros, mas o conjunto de parâmetros (seus nomes e significados) é o mesmo.

Assim como os elementos, as famílias também possuem parâmetros e qualquer mudança nos mesmos refletem em todos os elementos da família. No entanto, ao selecionar um tipo de elemento dentro da família, seus parâmetros podem ser alterados independentemente dos parâmetros de família, ou seja, a mudança apenas irá influenciar o elemento em questão.

Figura 56 – Rotina II



Fonte: A Autora (2022)

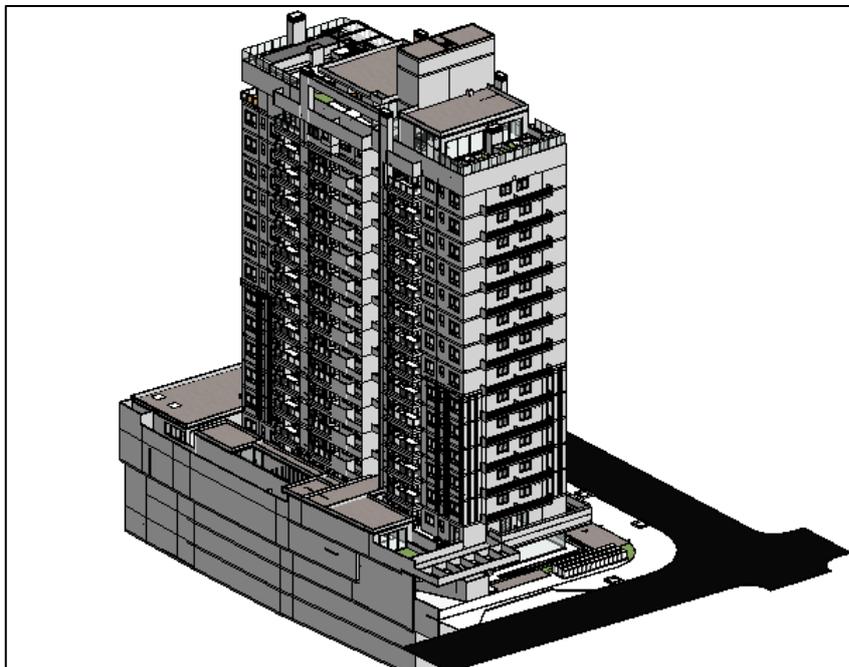
4 APLICAÇÃO PRÁTICA DA METOLOGIA

4.1 APLICAÇÃO PRÁTICA

Para a validação das rotinas desenvolvidas na etapa anterior, foram feitas aplicações das mesmas, primeiramente em três projetos hidrossanitários reais, de diferentes tamanhos e padrões. Os projetos em três dimensões encontram-se nas Figuras 55, 56 e 57.

O primeiro projeto, conforme mostrado o seu projeto em 3 dimensões na Figura 55, consiste em um projeto completo contendo 15 pavimentos, uma população total de 442 pessoas, 1 torre e 13349,5 m² a serem construídos. O segundo projeto aplicado consiste em um projeto com 7 pavimentos, 1 torre, população de 130 pessoas e área de 4957,0 m². Já o terceiro consiste em um projeto de 2 torres com 88 apartamentos, população de 667 pessoas e área de 18957,3 m². Posteriormente, compararam-se os resultados obtidos pelos algoritmos com os resultados obtidos pelo processo de cálculo utilizando uma planilha Excel.

Figura 55 – Projeto arquitetônico em três dimensões Projeto 01

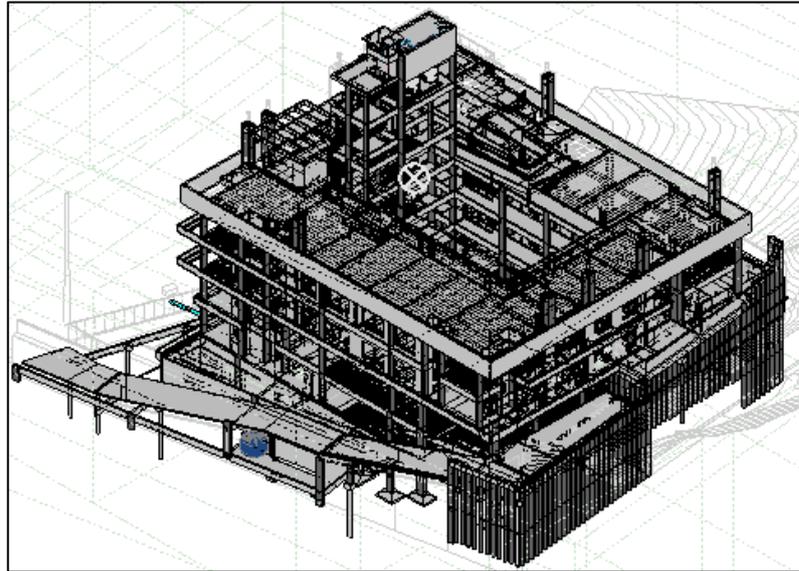


Fonte: A Autora (2022)

O segundo projeto, conforme mostrado o seu projeto em 3 dimensões na Figura 56, consiste em um projeto com 7 pavimentos, 1 torre, população de 130 pessoas e área de 4957,0 m². Já o terceiro consiste em um projeto de 2 torres com 88 apartamentos, população de 667

pessoas e área de 18957,3 m². Posteriormente, compararam-se os resultados obtidos pelos algoritmos com os resultados obtidos pelo processo de cálculo utilizando uma planilha Excel.

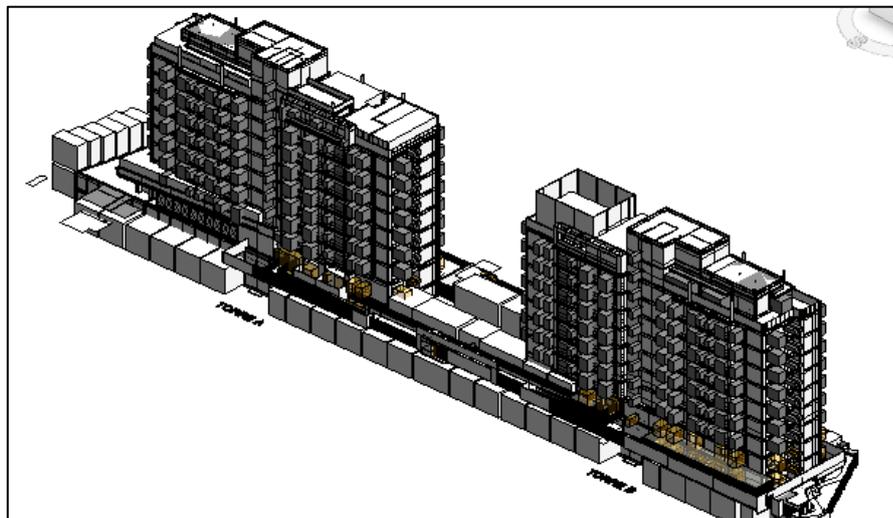
Figura 56 – Projeto arquitetônico em três dimensões Projeto 02



Fonte: A Autora (2022)

Já o terceiro projeto, conforme mostrado o seu projeto em 3 dimensões na Figura 57, consiste em um projeto de 2 torres com 88 apartamentos, população de 667 pessoas e área de 18957,3 m². Posteriormente, compararam-se os resultados obtidos pelos algoritmos com os resultados obtidos pelo processo de cálculo utilizando uma planilha Excel.

Figura 57 – Projeto arquitetônico em três dimensões Projeto 03



Fonte: A Autora (2022)

Após a efetiva modelagem dos sistemas, foram executadas as rotinas por meio do Reprodutor do Dynamo, no modo de processamento automático, conforme citado na seção 2.2 da Revisão Bibliográfica. Assim, executou-se, primeiramente, a primeira parte da rotina, a responsável pelo dimensionamento da bomba de recalque.

No dimensionamento desta bomba de recalque, ao utilizar planilha de Excel, alguns cálculos já são automatizados, porém algumas informações teriam que ser obtidas de forma manual. Por exemplo, o comprimento da tubulação tanto de sucção quando de recalque, o somatório do comprimento das peças equivalentes, entre outros. Além de demandar tempo, há também o risco de, no momento de coleta desses dados de forma manual, o usuário retire alguma informação errônea e dimensione a bomba de forma incorreta. Na Figura 58, as células em vermelho são as que foram necessárias a coleta de dados manualmente para conseguir realizar o dimensionamento.

Figura 58 – Dimensionamento realizado pelo Excel

CÁLCULO BOMBA DE RECALQUE	
Demanda diária (m³)	93,15
Horas de funcionamento bomba	6
Vazão de recalque (m³/s)	0,004313
Vazão de recalque (m³/h)	15,525
Diâmetro recalque (mm)	60,36607
Diâmetro recalque adotado (mm)	63
Diâmetro sucção (mm)	75
Altura manométrica (m.c.a.)	67,14167
Desnível total (m)	58,723
Perda de carga total (m)	8,418674

PERDA DE CARGA									
	Diâmetro (mm)	Vazão (l/s)	Velocidade (m/s)	Comprimento (m)			Perda de carga		
				Real	Equiv.	Total	Unitária	Total	
sucção	75	4,3125	0,97615	25,3713	58,1	83,4713	0,013908	1,160892196	
recalque	63	4,3125	1,383433	121,869	106,1	227,969	0,031837	7,257781676	
									8,418673872

SUCÇÃO			
	Qntd	Leq un	Leq total
Joelho 45º 63mm	2	1,7	3,4
Registro de gaveta 63mm	2	0,9	1,8
Joelho 90º 63mm	11	3,7	40,7
Tê lateral 63mm	2	7,8	15,6
somatório			58,1

RECALQUE			
	Qntd	Leq un	Leq total
Registro de gaveta 75mm	2	0,9	1,8
Joelho 90º 75mm	19	3,9	74,1
Tê lateral 75mm	2	8	16
Válvula de retenção pes. 75mm	1	14,2	14,2
somatório			106,1

Fonte: A Autora (2022)

Após a realização da rotina nestes projetos, comparou-se os resultados obtidos e a precisão de resultados foi exatamente a mesma, não tendo diferença entre os valores. No quesito tempo, houve uma excelente melhora (observar Quadro 2). No primeiro projeto real a ser implantada a metodologia, conforme Quadro 2, houve uma redução em mais de 98% do tempo. No segundo projeto, intitulado de Projeto 2, houve uma redução de 97% e no terceiro projeto, uma redução de 97,5%, gerando, uma redução média de 97,5% no tempo da realização no dimensionamento.

Quadro 2 – Tempo de Execução das Rotinas por projeto

Projeto	Descrição do Projeto	Modo de Execução	Tempo Execução
Projeto 01	Projeto com 15 pavimentos, 1 torre, população de 442 pessoas. Área de 13349,5 m ²	Utilizando a Rotina feita na metodologia deste trabalho	21 segundos
		Cálculo utilizando planilha Excel	18,5 min = 1110 segundos
Projeto 02	Projeto com 7 pavimentos, 1 torre, população de 130 pessoas. Área de 4957,0 m ²	Utilizando a Rotina feita na metodologia deste trabalho	16,5 segundos
		Cálculo utilizando planilha Excel	11,2 min = 676 segundos
Projeto 03	Projeto com 2 torres, 88 apartamentos, população de 667 pessoas. Área de 18957,3 m ²	Utilizando a Rotina feita na metodologia deste trabalho	26 segundos
		Cálculo utilizando planilha Excel	17,5 min = 1050 segundos

Fonte: A Autora (2022)

4.1 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS

O principal objetivo de implementar um sistema de dimensionamento de bombas de recalque em edificações no *software* Revit, utilizando linguagens de programação foi atingido. Dessa forma, as rotinas desenvolvidas apresentaram ótimos resultados em relação ao processo de cálculo utilizando uma planilha feita no Microsoft Excel, uma vez que as mesmas proporcionam praticidade, precisão nos cálculos e um reduzido tempo de execução e processamento. As planilhas Excel, por sua vez, são mais suscetíveis a erros, uma vez que toda a inserção de dados e manipulação de fórmulas, é feita manualmente pelo usuário, além de toda demanda de tempo necessária para realização de tais procedimentos.

Em relação ao uso das rotinas, percebeu-se que a utilização do Reprodutor Dynamo, além de oferecer uma interface amigável e de fácil manuseio para usuários não familiarizados com programação, proporcionou uma maior produtividade em relação ao processamento dos elementos modelados. Isso se deve ao fato de que, é possível utilizar o Reprodutor Dynamo enquanto é feita mudanças no projeto, como por exemplo, após a mudança de diâmetro ou inserção de novas tubulações, é possível atualizar as informações de dimensionamento em tempo real, por meio da execução das rotinas no Reprodutor Dynamo.

No que se refere ao tempo de execução, é exibido na Tabela 2 o tempo de processamento dos algoritmos utilizando o Reprodutor do Dynamo e tendo como base o projeto do estudo de caso apresentado na seção anterior.

Um ponto importante levantado é a apresentação das informações de dimensionamento ao usuário, feita pela Tabela Dinâmica (rotina II), uma família criada para apresentar as mudanças em tempo real e possui todas as informações pertinentes ao dimensionamento, de forma intuitiva, permitindo que o usuário faça as devidas análises de forma prática, e consiga alterar no projeto e obter as informações calculadas no Dynamo em sua vista de projeto, sofrendo as alterações no exato momento.

Outro ponto importe a destacar é a precisão que a rotina tem em relação ao Excel. Desta forma, o usuário pode realizar testes, alterando os diâmetros de tubulações ou diferença em sua trajetória, aumentar ou diminuir a altura geométrica do sistema, mudar a elevação da bomba, entre outras opções, e obter diferentes valores de potência.

Desta forma, tamanha precisão das rotinas impede que os usuários cheguem a valores errôneos de dimensionamento, o que poderia gerar um custo financeiro extremamente elevado e desnecessário, além de correr riscos de gerar problemas na edificação com uma bomba que não supre a potência necessária. A Figura 59 mostra uma pesquisa de mercado realizada mostrando que pequenas diferenças de potência podem aumentar consideravelmente o valor de mercado de uma bomba, de mesmo modelo e marca. Como mostrado na Figura 59, a bomba de 2 cVs pode custar 26% a mais que a bomba de 1cV. Uma bomba de 3 cVs custa 24% a mais que a de 2 cVs e 57% a mais do que a de 1 cV. Desta forma, o cliente, se dimensionar erroneamente a sua bomba, pode ter um gasto demasiadamente desnecessário.

Figura 59 – Bomba Multiestágio Schneider Me-al

 <p>Bomba Centrifuga Schneider 4 Estágios Me-al 1210 1cv 127/220 Volts 150510</p>	 <p>Bomba Centrifuga Schneider Me-al 1420v 2cv 127/220v</p>	 <p>Bomba Multiestágio Schneider Me-al 1530v 3cv 220/380v Trif</p>
R\$ 2.318,64	R\$ 2.941,93	R\$ 3.654,45
 <p>Bomba Multiestágio Schneider Me-al 2250 5 Cv Trifásica</p>	 <p>Bomba Multiestágio Schneider Me-al 24100 10cv Trifásica 4v Booster</p>	 <p>Bomba D'água Centrifuga Horizontal Multiestágios ME-BR 24150 15 Cv Trifásica ...</p>
R\$ 4.278,54	R\$ 8.117,58	R\$ 12.931,05

Fonte: Pesquisa de Mercado (2022)

5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

5.1 CONCLUSÕES

A metodologia proposta neste trabalho teve por base a criação de algoritmos para o dimensionamento de bombas de recalque em edificações. Para isso, os algoritmos foram desenvolvidos utilizando a programação visual Dynamo. Dessa forma, foi possível criar um fluxo de trabalho automático para o dimensionamento em conformidade com NBR 5626:1992. Conclui-se, portanto, que foram atingidos todos os objetivos propostos inicialmente. Frente ao fato de que o Revit não possui um sistema de dimensionamento nativo voltado para as normas brasileiras, pode-se dizer que os resultados alcançados foram extremamente satisfatórios, uma vez que se estendeu as funcionalidades do software BIM, juntamente com a praticidade as quais as ferramentas de dimensionamento proporcionaram e, principalmente, a precisão de cálculo e tempo de execução frente ao método de dimensionamento manual ou por meio de planilhas. Tal fato, evidencia uma grande superioridade na utilização das rotinas, como, por exemplo, o fator tempo aliado à precisão, sobre o método tradicional.

Dessa forma, este presente trabalho expande novas possibilidades para o dimensionamento de instalações do sistema elevatório de uma edificação através de um software BIM auxiliado pelo Dynamo como alternativa à programas auxiliares de dimensionamento. Uma vez que é mostrada a viabilidade da realização de cálculos conforme normativas brasileiras dentro do programa BIM de maneira automatizada, customizada e o mais importante, assertiva. Além disso, esse processo admite alterações facilmente, ou seja, caso ocorra mudança a modelagem, a rotina calculará automaticamente e trará novos resultados, permitindo que o usuário acompanhe em tempo real os novos valores obtidos e consiga testar valores e hipóteses.

Pode-se concluir também que esta pesquisa também apresenta contribuição para a disseminação da programação visual, que no país atualmente ainda é pouco estudada, principalmente para a área de sistemas prediais. Aliás, o uso dessa ferramenta mostrou que a mesma pode ser utilizada em diversas aplicações, como dimensionamento de outros subsistemas prediais ou qualquer outra limitação que o software Autodesk Revit apresente e tornar esses processos em rotinas automatizadas, trazendo mais potencialidade ao software.

Dito isto, as principais contribuições deste trabalho são: 1) aumentar as capacidades existentes do software Autodesk Revit e integrar conhecimentos de programação e sistemas prediais de água, trazendo à plataforma BIM, maior eficiência, tecnologia e competitividade frente aos métodos tradicionais. 2) abordagem mais aprofundada sobre os benefícios da programação

visual e sua benéfica utilização aos usuários. 3) demonstrar que projetistas usuários do Revit podem utilizar seus conhecimentos em programação, tanto a visual quanto a textual (mais comum), para dimensionar sistemas, sem precisar de *softwares* adicionais. 4) disseminar o uso do Dynamo no país.

5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Segue abaixo algumas sugestões para trabalhos futuros:

- Desenvolvimento de rotinas de dimensionamento para outros subsistemas, como água quente, sanitário, incêndio, piscina, elétrico, etc;
- Desenvolvimento de rotinas para identificação automática do caminho crítico;
- Desenvolvimento de rotinas de detalhamento, como a colocação automática identificadores de anotação (*tags*);
- Desenvolvimento de rotina de *clash detection* para visualização de interferências e geração de furos na estrutura automáticos;
- Criação de rotinas inteiramente em programação textual (*Python*) através do Dynamo.

REFERÊNCIAS

AUTODESK. **Creating Piping Systems**. Revit - Support and learning. Disponível em: <https://knowledge.autodesk.com/support/revit/learnexplore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2019/ENU/Revit-Model/files/GUID-647C6E66-C353-409D-B9E8-B22333D5252D-htm.html>. Acesso em: 02 jun. 2022.

AUTODESK. **About Families. Revit - Support and learning**. Disponível em: <https://knowledge.autodesk.com/support/revit/learnexplore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2019/ENU/Revit-Model/files/GUID-6DDC1D52-E847-4835-8F9A-466531E5FD29-htm.html>. Acesso em: 02 jun. 2022.

AUTODESK. **About Parameters. Revit - Support and learning**. Disponível em: <https://knowledge.autodesk.com/support/revit/learnexplore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2020/ENU/Revit-Model/files/GUID-E7D12B71-C50D-46D8-886B-8E0C2B285988-htm.html>. Acesso em: 02 jun. 2022.

AUTODESK. **Revit. 2021**. Disponível em: <<https://www.autodesk.com.br/products/revit-family/overview>>. Acesso em: 09 mar. 2022.

ANDRADE, M. L. V. X. de; RUSCHEL, R. C. **Interoperabilidade de aplicativos BIM usados em arquitetura por meio do formato IFC**. Periódico Científico do Instituto de Arquitetura e Urbanismo. Gestão & Tecnologia de Projetos, v. 4, n. 2. USP, 2009.

ANTON, R. **Uma introdução à aplicação da programação visual com Dynamo**. Disponível em: <<https://thorusengenharia.com.br/uma-introducao-a-programacao-visual-com-dynamo/>>. Acesso em: 29 jun. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5626: **Sistemas Prediais de Água Fria e Água Quente**. Rio de Janeiro, 2020.

AUTODESK **Discover Dynamo**, 2016. Disponível em: <<http://dynamobim.org/explore/>>. Acesso em: 15 jun. 2022.

AZEVEDO, O.M. **Metodologia BIM - Building Information Modeling na Direção Técnica de Obras**. Tese de mestrado (Mestrado em Engenharia Civil, Reabilitação, Sustentabilidade e Materiais de Construção). Universidade do Minho, 2009-

AZHAR, S., A. NADEEM, J. Y. N. MOK and LEUNG, B.H.Y. (2008). **Building Information Modeling (BIM): A New Paradigm for Visual Interactive Modeling and Simulation for Construction Projects**. First International Conference on Construction in Developing Countries (ICCIDC-I) “Advancing and Integrating Construction Education, Research & Practice”. Karachi, Pakistan.

BAPTISTA, M.B., COELHO, M.M.L.P., CIRILO, J.A. **Hidráulica aplicada**. Porto alegre: ABRH, 2003.

BARBOSA, F., WOETZEL, J., MISCHKE, J., RIBEIRINHO, M. J., SRIDHAR, M., PARSONS, M., BROWN, S. **Reinventing construction: A route to higher productivity**. McKinsey Global Institute. 2017.

BEKAERT, B. **A tecnologia na construção civil e seus desdobramentos**. Belgo Bekaert Arames. 13/07/2020. Construção Civil. Disponível em: <<https://blog.belgobekaert.com.br/construcao-civil/a-tecnologia-na-construcao-civil-e-seus-desdobramentos/>>. Acesso em: 29 jun. 2022.

BONUMÁ, N. B. **Sistemas Elevatórios - Bombas**. Disponível em <https://moodle.ufsc.br/pluginfile.php/2382488/mod_resource/content/10/cap5Bombas.pdf> Acesso em 08 jun. 2022.

CALEONE, A. **Modelagem de Projeto arquitetônico e hidrossanitário e realização de orçamento utilizando ferramentas BIM**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina, 2018.

CAMPOS, C. **Dez anos de BIM no Brasil: como anda esta inovação?** Disponível em: < <https://tiinside.com.br/16/03/2015/bim-no-brasil-dez-anos-se-passaram-e-o-mercado-ainda-nao-adotou-a-tecnologia/>> . Acesso em: 02 jul. 2022.

CBIC. **Participação da Construção Civil no PIB Brasil. 2021**. Disponível em: <http://www.cbicdados.com.br/menu/pib-e-investimento/pib-brasil-e-construcao-civil>. Acesso em: 20 jun. 2022.

CEOTTO, L. H. **Falta de inovações e atraso na adoção de novas tecnologias na construção**. Buildin, Construção e Informação, 2017. Disponível em: <https://www.buildin.com.br/falta-deinovacao-e-atraso-na-adocao-de-novas-tecnologias-na-construcao/>. Acesso em: 18 jun. 2022.

CHAPPELL, C. **Zero to Hero – Tackling Dynamo from Scratch for MEP Engineers**. 2016

CONNOR, N. **O que é diagrama de Moody?** Disponível em: < <https://www.thermal-engineering.org/pt-br/o-que-e-o-diagrama-moody-definicao/>>. Acesso em 26 jun. 2022.

DOMINGUES, L. F. **Melhoria da qualidade do processo de projeto com o uso do BIM: Estudo de caso**. Trabalho de Conclusão de Curso. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2019.

EASTMAN, C. et al. **Automatic rule-based checking of building designs**. *Automation in Construction*, v. 18, n. 8, p. 1011–1033, 2009. Disponível em: .

EASTMAN, C. et al. **Manual BIM: Um guia de modelagem da informação da construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e incorporadores**. Porto Alegre: Bookman, 2014.

ESTEVAM, K. M.. **As transformações e tendências da globalização na construção civil e no mercado imobiliário**. Universidade Federal do Amazonas, 2018.

FARIAS, J. C.. **O que é Dynamo?** Disponível em: < <https://spbim.com.br/o-que-e-o-dynamo/>>. Acesso em 25 jun. 2022.

FERREIRA, E. M. S.. **Programação em plataforma BIM: Desenvolvimento de rotinas em programação visual computacional para o dimensionamento de sistemas prediais de água fria e água quente de acordo com a ABNT NBR 5626**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil). Universidade Federal de Uberlândia, 2022.

FERREIRA, P.. **Curso Dynamo for Revit**. [S.l.]: 1 vídeo (39 min). Disponível em : <https://www.youtube.com/watch?v=WFTK6oF5aec&list=LL&index=9&t=441s>. Acesso em: 01 jun. 2022.

FLORES, M. D.. **Comparação das incompatibilidades de um projeto residencial unifamiliar elaborado em CAD 2D com a sua modelagem em BIM 3D**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina, 2017.

FONTANA, B. C.. **Estudo de caso da integração entre BIM e Sienge no orçamento de um edifício residencial**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina, 2017.

GIANNETTI, B. F. **Ecologia Industrial: conceitos, ferramentas e aplicações**. São Paulo: Blucher, 2006.

GOMES, H.P. **Sistemas de Abastecimento de Água: Dimensionamento Econômico e Operação de Redes Elevatórias**. 3a ed. São Paulo: ABES, 2009.

GONCALVES, A.S. **Bombas Hidráulicas**. Instituto Federal do Rio Grande do Norte. Curso: Técnico em Mecânica. Rio Grande do Norte: IFSC, 2016.

GOUVÊA, M. M. R.. **Estudo de Confiabilidade em Bombas Centrífugas**. Disponível em: <<https://portalidea.com.br/cursos/manuteno-de-bombas-centrifugas-apostila03.pdf>>. Acesso em: 07 jun. 2022.

GRIMM, T.. **Practical Dynamo: Linking Revit with Excel. 2014. Revit Add-ons**. Disponível em: < <http://revitaddons.blogspot.com.br/2014/09/practical-dynamo-linkingrevit-with.html> >. Acesso em: 20 jun. 2022.

HARDIN, B.; McCool, D. **BIM and Construction Management: Proven Tools, Methods, and Workflows**. 2. ed. Indianapolis: John Wiley & Sons, Inc., 2015.

JÚNIOR, R.. **Instalações Prediais Hidráulico-sanitárias. Princípios básicos para elaboração de projetos**. 2014.

JUSTINO, D. **Dimensionamento do Sistema de Recalque para abastecimento de água da comunidade de Macundú, distrito de São João Marcos, município de Rio Claro, Rio de Janeiro**. Centro Universitário de Volta redonda, 2012.

KANT, E. **Understanding and Automating Algorithm Design**. IEEE Transactions on Software Engineering, v. SE-11, n.11, p. 1361-1374, nov. 1985.

KENSEK, K. **Visual programming for building information modeling: Energy and shading analysis case studies**. *Journal of Green Building*, v. 10, n. 4, p. 28-43, 2015.

KHEMLANI, L. **The IFC Building Model: A Look Under the Hood**. AEC Bytes, 2004.

KRON, Z. **Enhanced Parametric Design with Dynamo Visual Programming for Revit and Autodesk Vasari**. Retrieved from Autodesk University: Disponível em: <https://www.autodesk.com/autodesk-university/class/Enhanced-Parametric-DesignDynamo-Visual-Programming-Revit-and-Autodesk-Vasari-2013>. Acesso em: 05 jun. 2022.

LIMA, T. **BIM na Construção Civil: o que sua empresa tem a ganhar?**. Disponível em: <https://www.sienge.com.br/blog/bim-na-construcao-civil/>>. Acesso em: 16 mai. 2022.

MACINTYRE, A.J. **Bombas e instalações de bombeamento**. 2ed Rio de Janeiro: LTC, 2008. 782p.

MATTANA, L. **Contribuição para o ensino de orçamentação com uso de BIM no levantamento de quantitativos**. Dissertação de mestrado (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Universidade Federal de Santa Catarina, 2017.

MEDEIROS, G. R. L. **Projeto de sistemas prediais hidráulicos em BIM: adequação dos métodos de cálculo às normas brasileiras através da programação visual**. 2017. 81 f. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Civil, Fortaleza, 2017.

MICROSOFT. **Microsoft Excel**. Disponível em: <<https://products.office.com/pt-br/excel>> . Acesso em: 24 mai. 2022.

NETTO, C. **Autodesk Revit Architecture 2016: Conceitos e Aplicações**. 1 ed. São Paulo: Érica, 2016. 464 p.

NEZAMALDIN, D. **Parametric design with Visual programming in Dynamo with Revit: The conversion from CAD models to BIM and the design of analytical applications.** 2019.

NOLLE, T. **Definition: Application Program Interface (API).** 2019. Disponível em: <https://www.techtarget.com/searcharchitecture/definition/application-programinterface-API>. Acesso em: 08 jun. 2022.

OLIVEIRA, A.. **Minicurso gratuito Revit MEP Hidrossanitário.** Disponível em <<http://alessandro-bim.com.br/produto/minicurso-gratuito-revitmep-hidrossanitario>>. Acesso em: 07 jun. 2022.

OLIVEIRA, P. V.. **Determinação da altura manométrica em instalações de bombeamento, operando com diferentes fluidos de trabalho e temperaturas variáveis.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica). Universidade Federal do Ceará, 2018.

PAVLOV, P. **Automation of information flow from Revit to BSim using Dynamo.** 2015. Dissertação (Mestrado), Programa de Gerenciamento da indústria da construção da Universidade de Aalborg, Aalborg, 2015.

PORTO EDITORA – *cavalo-vapor (cv)* na Infopédia [em linha]. Porto: Porto Editora. [consult. 2022-06-20 04:58:04]. Disponível em [https://www.infopedia.pt/\\$cavalo-vapor-\(cv\)](https://www.infopedia.pt/$cavalo-vapor-(cv))

PRIMER, D. **The Dynamo Primer.** [S. l.], 2021. Disponível em: <<https://primer.dynamobim.org/ptbr>>. Acesso em: 28 mai. 2022.

RIBEIRO. S. A.. **5 PLUGINS DO REVIT PRA ENGENHARIA.** Disponível em <https://www.espacoquatre.com/single-post/5-plugins-do-revit-para-engenharia>. Acesso em 20 jun. 2022.

SANTOS, T. **Sistemas de Recalque: Tudo o que você precisa saber.** Disponível em:<ocaenergia.com/blog/comandos-eletricos/sistemas-de-recalque-tudo-o-que-voce-precisa-saber> Acesso em: 07 jun. 2022.

SENA, P. C. P de. **Automação de processos de projeto e programação em BIM: Dynamo, Python e C#. 92f.** Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Programa de Pós Graduação do Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019.

SGAMBELLURI, M. **Revit for Architects.** 2014. Autodesk University. Disponível em: <<http://au.autodesk.com/au-online/classes-on-demand/class-catalog/2014/revit-for-architects/ab6557>>. Acesso em: 17 jun. 2022.

SILVA, A. G.. **Bombas Hidráulicas.** Disponível em: <<https://docente.ifrn.edu.br/andouglassilva/disciplinas/mecanica-dos-fluidos/aula-8-bombas>>. Acesso em: 08 jun. 2022.

SOUZA, L. L. A. De e LYRIO, A. de M.. **Impactos do uso do BIM em escritórios de Arquitetura: Oportunidades no Mercado Imobiliário.** v.4, p. 26- 53, 2009.

SULENTA, L. D. M.. **Modelagem BIM aplicada no processo de compatibilização e extração de quantitativos de projetos de edificações.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina, 2012.

TERZIDIS, K. **Algorithmic Architecture.** 1ª ed. Oxford: Elsevier, 2006.

TIGRE. **Predial: Água fria – Catalogo Técnico.** 2021.

TOLENTINO, João B. **HIDRÁULICA AGRÍCOLA.** Disponível em: < <https://hidraulica.tolentino.pro.br/index.html#este-livro> > Acesso: 28 jun. 2022.

TOTVS, Equipe. **BIM: como está revolucionando a construção civil.** Disponível em: < <https://www.totvs.com/blog/gestao-para-construcao/bim/> > Acesso em 07 de junho de 2022.

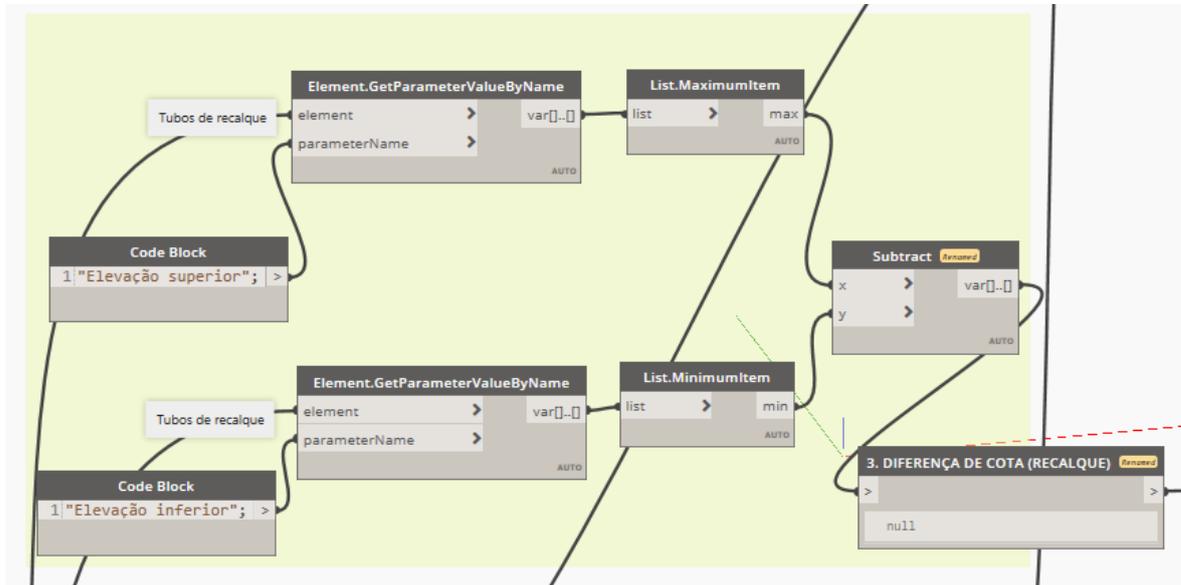
UCKER, F. E.. **Hidráulica – Sistemas Elevatórios – Aula 4.** Disponível em < <http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/17409/material/AULA%204%20-%20ESTA%C3%87%C3%95ES%20ELEVAT%C3%93RIAS.pdf> >. Acesso: 29 jun. 2022.

UNDERWOOD, J.; ISIKDAG, Umit. **Handbook of Research on Building Information Modelling and Construction Informatics: Concepts and Technologies.** IGI Global, 2010.

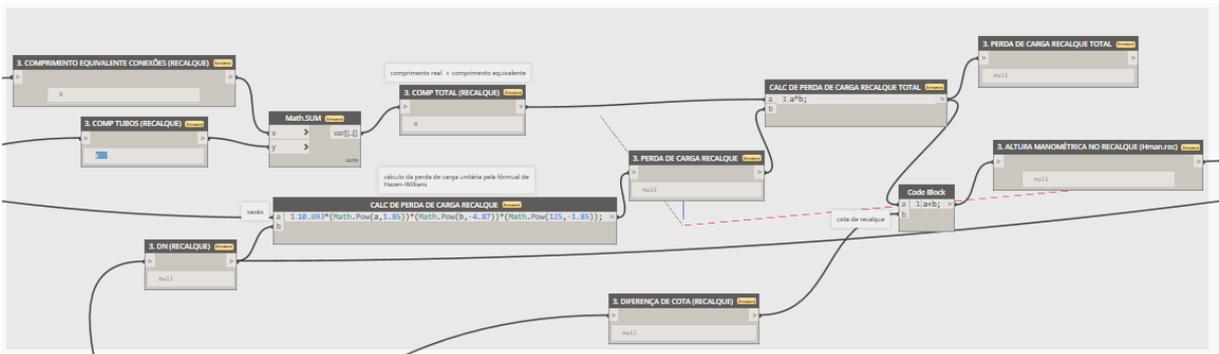
VIANA, D. Perda de carga: entenda o que é. Disponível em:

<<https://www.guiadaengenharia.com/perda-carga/#:~:text=Para%20iniciarmos%2C%20perda%20de%20carga,mudan%C3%A7as%20de%20dire%C3%A7%C3%A3o%20do%20tra%C3%A7ado.>> Acesso em: 08 jun. 2022.

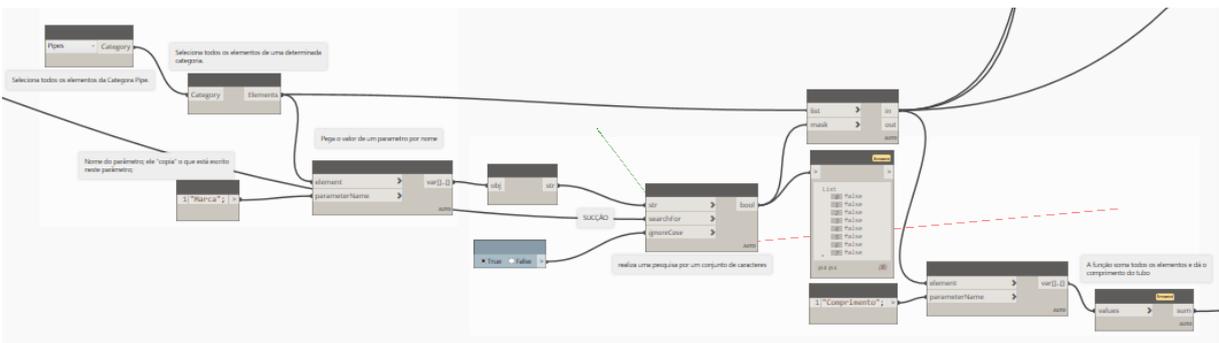
04_ Recalque: altura estática de recalque



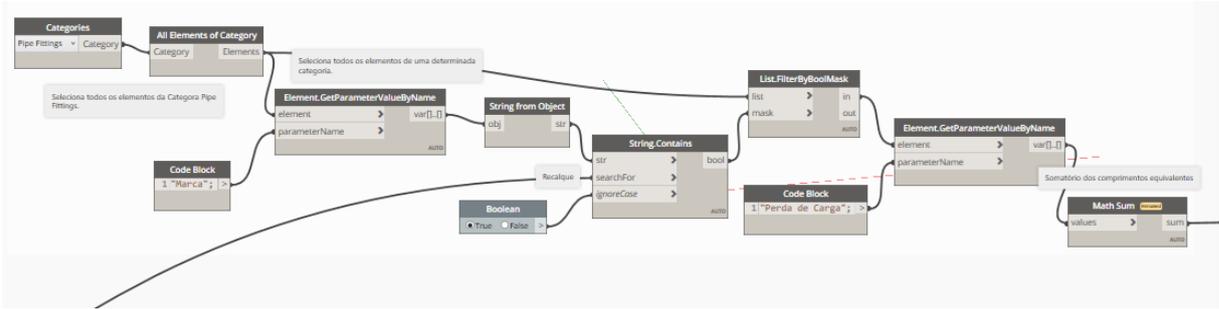
05_ Recalque: resultados finais da tubulação de recalque



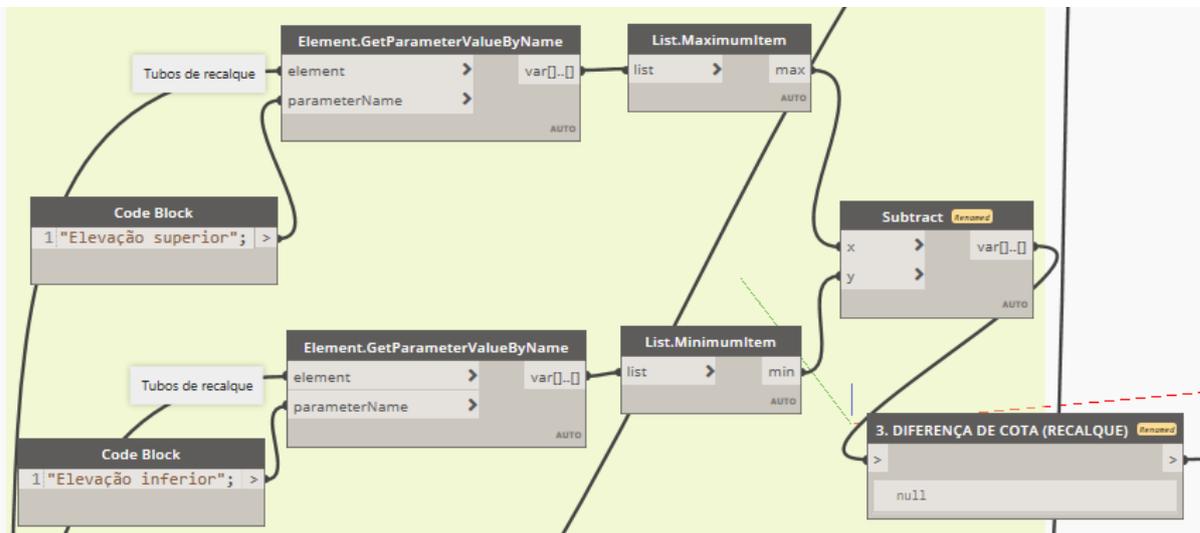
06_ Sucção: filtragem dos tubos de sucção e comprimento da tubulação de sucção



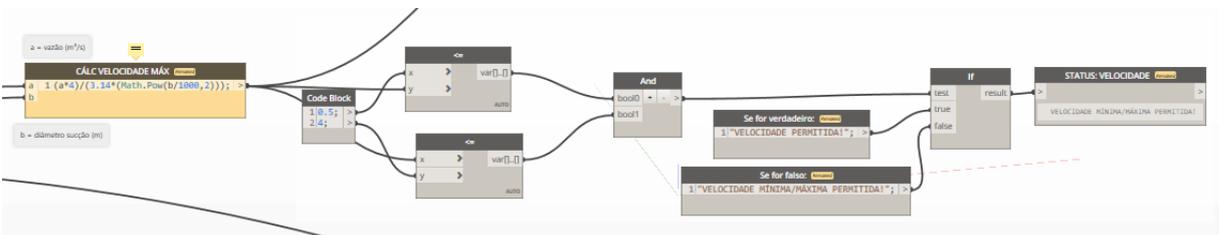
07_ Sucção: comprimento equivalente da tubulação



08_ Sucção: Altura estática da sucção



09_ Sucção: Conferencia da velocidade



10_ Resultados finais

