



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL



**EDSON MATHEUS SANTOS FERREIRA**

**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**

UBERLÂNDIA (MG)

2022

EDSON MATHEUS SANTOS FERREIRA

**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 apresentado à Faculdade de Engenharia Civil (FECIV) da Universidade Federal de Uberlândia (UFU) como requisito obrigatório para conclusão do curso de Engenharia Civil.

**Orientador:** Prof. André Luiz de Oliveira

UBERLÂNDIA (MG)

2022

EDSON MATHEUS SANTOS FERREIRA

**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 apresentado à Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia como requisito parcial à obtenção do título de Engenheira Civil.

**Orientador:** Prof. André Luiz de Oliveira

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. André Luiz de Oliveira  
Orientador

---

Profa. Alice Rosa da Silva  
Examinador

---

Prof. José Eduardo Alamy Filho  
Examinador

UBERLÂNDIA (MG)

2022

## RESUMO

O presente trabalho visa apresentar a implementação da programação visual para o desenvolvimento de ferramentas para o dimensionamento automático de sistemas prediais de água fria e água quente. Apesar de ser um *software* difundido mundialmente no que se refere à tecnologia BIM, o Revit não possui um sistema de dimensionamento voltado para as normas brasileiras. Nesse sentido, foram desenvolvidas duas rotinas em programação visual no ambiente Dynamo, responsáveis, respectivamente, pela nomeação dos trechos que compõem um sistema predial de água e pelo dimensionamento de acordo com as prescrições da NBR 5626. Posteriormente, fez-se um levantamento acerca das limitações das ferramentas desenvolvidas e, por fim, uma análise comparativa acerca dos resultados obtidos por meio da programação visual frente aos resultados obtidos por meio de uma planilha Excel. Logo, por meio deste trabalho, pode ser possível aumentar as capacidades existentes do *software* Revit e integrar conhecimentos de programação e sistemas prediais de água, trazendo à plataforma BIM, maior eficiência, tecnologia e competitividade frente aos métodos utilizando planilhas.

**Palavras-chave:** Programação Visual; Sistemas prediais; BIM; Dimensionamento; Dynamo.

## ABSTRACT

This present assignment aims to show the implementation of Visual Programming to develop tools to calculate cold and hot water system. Besides being one of the most known *software*, when it comes to BIM technology, Revit doesn't have a calculation system according to Brazilian reality. In face of that, it was developed on Dynamo, two Visual Programming scripts to name pipe segments that compose a piping system and the related calculation process, according to the NBR 5626. Then, it was listed the limitations of the tools and, finally, a comparative analysis between the Visual Programming results and the results from an Excel spreadsheet. Therefore, with this assignment was possible to extend the Revit capabilities and integrate programming knowledge and water piping system, making the BIM platform, more efficient, technological, and competitive in comparison with the spreadsheet methods.

**Keywords:** Visual Programming; Cold and hot water system; BIM; Dynamo.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Objetivos buscados por profissionais que desejam adotar o BIM como ferramenta de trabalho. ....	14
<b>Figura 2</b> - Extensão Dynamo no menu de ferramentas do Revit.....	15
<b>Figura 3</b> - Plano de trabalho do Dynamo.....	16
<b>Figura 4</b> - Estrutura do Nó.....	17
<b>Figura 5</b> - Organização da biblioteca de Nós no plano de trabalho.....	18
<b>Figura 6</b> - Pacotes customizados e local de <i>download</i> . ....	19
<b>Figura 7</b> - Rotina para elevar uma lista de números ao quadrado utilizando Nós nativos. ....	20
<b>Figura 8</b> - Rotina para elevar uma lista de números ao quadrado utilizando bloco de código. ....	21
<b>Figura 9</b> - Nó específico da linguagem Python. ....	22
<b>Figura 10</b> - Plano de trabalho da linguagem Python. ....	22
<b>Figura 11</b> – Exemplo de família de caixa d'água e seu tipo. ....	23
<b>Figura 12</b> - Família de caixa d'água Fortlev e seus tipos disponível para utilização. ....	24
<b>Figura 13</b> – Parâmetros da tubulação. ....	25
<b>Figura 14</b> - Peso relativo (Unidades de luminárias) de uma bacia sanitária. ....	26
<b>Figura 15</b> - Fluxograma da metodologia da pesquisa.....	30
<b>Figura 16</b> - Ilustração esquemática de um sistema indireto por gravidade. ....	31
<b>Figura 17</b> - Templates padrão do Revit. ....	32
<b>Figura 18</b> - Peso relativo dos pontos de utilização. ....	33
<b>Figura 19</b> – Equipamento e seus parâmetros de utilização.....	34
<b>Figura 20</b> - Parâmetros compartilhados de uma tubulação qualquer. ....	35
<b>Figura 21</b> - Sistemas de tubulação disponíveis para classificação dos sistemas. ....	37
<b>Figura 22</b> - Classificação automática dos sistemas. ....	37
<b>Figura 23</b> - Tabela de dimensionamento no Revit.....	38
<b>Figura 24</b> - Ordem de classificação dos trechos. ....	39
<b>Figura 25</b> - Exemplo de classificação automática do sistema de tubulação.....	40
<b>Figura 26</b> - Exemplo de nomeação de trechos de acordo com o nome do sistema. ....	41
<b>Figura 27</b> - Fluxograma ilustrando as etapas para o dimensionamento utilizando as rotinas desenvolvidas. ....	42
<b>Figura 28</b> - Observações gerais acerca da rotina de numeração de trechos. ....	43

<b>Figura 29</b> - Tipos de caixas d'água cadastradas no modelo.....	44
<b>Figura 30</b> – Seção 2 do algoritmo, responsável por filtrar o reservatório de água fria. ....	44
<b>Figura 31</b> - Seção 3 com a função de filtrar somente as tubulações conectadas a caixa d'água. .....	45
<b>Figura 32</b> – Exemplo de sequenciamento de tubulações de acordo com o fluxo de água. ....	45
<b>Figura 33</b> - Seção 4, responsável por organizar as tubulações de acordo com o fluxo da água. .....	46
<b>Figura 34</b> - Lista de elementos organizados de forma sequencial, de acordo com o fluxo d'água.....	47
<b>Figura 35</b> - Seção 5 com função de nomear e numerar os trechos de tubulação.....	48
<b>Figura 36</b> - Modificação dos parâmetros Trecho e Numeração das tubulações.....	48
<b>Figura 37</b> - Exemplo de nomeação e numeração de trechos. ....	49
<b>Figura 38</b> - Seção 6, responsável pela verificação das pressões nos trechos. ....	49
<b>Figura 39</b> - Seção 7 responsável por zerar os parâmetros de cálculo.....	50
<b>Figura 40</b> - Atribuição do valor zero para os parâmetros de cálculo.....	50
<b>Figura 41</b> - Seção 8 que é responsável por exibir uma mensagem quanto da existência de erros ou não durante o processo. ....	51
<b>Figura 42</b> - Mensagem de erro devido à ausência ou cadastro indevido de caixa d'água. ....	51
<b>Figura 43</b> - Aviso no caso de dimensionamento realizado com sucesso.....	51
<b>Figura 44</b> - Seção 1 responsável por filtrar as tubulações conectadas à caixa d'água (parte 1). .....	52
<b>Figura 45</b> - Seção 1 responsável por filtrar as tubulações conectadas à caixa d'água (parte 2). .....	52
<b>Figura 46</b> - Seção 2 na qual agrupa todas as tubulações do projeto de acordo com a classificação do parâmetro "Nome do sistema". ....	53
<b>Figura 47</b> - Code Block com função de verificar a consistência do modelo, bem como se todas as tubulações estão numeradas (Seção 3). ....	54
<b>Figura 48</b> - Ilustração de como são atribuídas as singularidades às tubulações.....	54
<b>Figura 49</b> - Seção 4, responsável por atribuir o tipo de singularidades as tubulações. ....	55
<b>Figura 50</b> - Perdas de carga localizadas: Sua equivalência em metros de tubulação de PVC rígido.....	56

<b>Figura 51</b> - Singularidades e comprimentos equivalentes em metros em forma de dicionário. .....	56
<b>Figura 52</b> – Seção 5, responsável pela atribuição dos comprimentos equivalentes as tubulações. ....	57
<b>Figura 53</b> - Atribuição do comprimento equivalente de acordo com a singularidade.....	57
<b>Figura 54</b> - Seção 6, responsável pelo cálculo total do comprimento equivalente nos trechos (parte 1).....	58
<b>Figura 55</b> - Seção 6, responsável pelo cálculo total do comprimento equivalente nos trechos (parte 2).....	58
<b>Figura 56</b> – Seção 7, responsável pelo cálculo do peso, vazão, velocidade e perda de carga nos trechos. ....	59
<b>Figura 57</b> - Cálculo do comprimento dos trechos, perda de carga unitária total, comprimento equivalente total no trecho e perda de carga total (Seção 8). ....	59
<b>Figura 58</b> – Seção 9, responsável por calcular o desnível de cada trecho e atribuir os valores ao parâmetro desnível. ....	60
<b>Figura 59</b> - Cálculo das pressões de montante e jusante dos trechos (seção 10). ....	60
<b>Figura 60</b> - Seção 11, responsável por exibir a lista de erros (se houver) ou indicar se o dimensionamento foi realizado corretamente. ....	61
<b>Figura 61</b> - Mensagem exibida ao usuário, indicando que o dimensionamento foi realizado corretamente. ....	61
<b>Figura 62</b> - Ilustração esquemática do respiro na saída do reservatório de água quente.....	62
<b>Figura 63</b> - Ilustração esquemática de um reservatório de água fria.....	63
<b>Figura 64</b> - Ilustração de um sistema de circulação natural por termossifão. ....	63
<b>Figura 65</b> - Projeto Arquitetônico. ....	64
<b>Figura 66</b> - Perspectiva 3D das instalações de água fria e água quente. ....	65
<b>Figura 67</b> - Reprodutor do Dynamo contendo as rotinas desenvolvidas.....	66
<b>Figura 68</b> - Tabela de dimensionamento. ....	67
<b>Figura 69</b> - Resultado do dimensionamento utilizando planilha Excel.....	67
<b>Figura 70</b> - Utilização do Reprodutor Dynamo para atualização de informações de cálculo de acordo com mudanças feitas no projeto. ....	68
<b>Figura 71</b> - Visualização de Informações acerca do dimensionamento por meio de parâmetros. ....	70



## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Parâmetros compartilhados criados.....	34
<b>Tabela 2</b> - Exemplo geral de nomeação e ordem dos trechos.....	39
<b>Tabela 3</b> - Tempo de execução das rotinas.....	69

## **LISTA DE ABREVIATURAS**

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

API - Application Programming Interface

BIM - Building Information Modeling

C - Celsius

IPC - International Plumbing Code

NBR - Norma Técnica Brasileira

mca - Metros de coluna d'água

MEP - Mechanical Electrical and Plumbing

.txt - Extensão de arquivo de texto

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	12
1.1	Justificativa .....	13
1.2	Objetivos .....	14
1.2.1	Objetivo geral .....	14
1.2.2	Objetivos específicos .....	14
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
2.1	Dynamo.....	15
2.2	Interação Dynamo Revit .....	16
2.2.1	Modo de operação do Dynamo.....	17
2.3	Relação entre a linguagem Python e Dynamo .....	21
2.4	Famílias e elementos.....	23
2.5	Autodesk Revit MEP .....	24
2.5.1	Parâmetros compartilhados .....	26
2.6	NBR 5626:2020 .....	27
2.7	Dimensionamento .....	28
3	METODOLOGIA .....	29
4	ESTUDO APLICADO .....	31
4.1	Considerações iniciais.....	31
4.2	Preparação do <i>Template</i> .....	32
4.2.1	Criação dos Parâmetros .....	34
4.2.2	Criação do sistema de tubulação .....	36
4.2.3	Criação da tabela de dimensionamento .....	38
4.3	Metodologia para nomeação dos trechos.....	38
4.4	Criação das Rotinas de cálculo .....	41
4.4.1	Rotina I – Numeração dos trechos.....	43
4.4.2	Rotina 2 - Dimensionamento .....	51
5	OBSERVAÇÕES SOBRE AS ROTINAS.....	61
6	APLICAÇÃO PRÁTICA.....	64

6.1	Aplicação das rotinas .....	65
7	ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS .....	67
8	CONCLUSÕES.....	70
	REFERÊNCIAS .....	71
	APÊNDICE A – TABELA REVIT DE DIMENSIONAMENTO .....	74
	APÊNDICE B – TABELA DE DIMENSIONAMENTO – EXCEL .....	76

## 1 INTRODUÇÃO

Com o objetivo de fomentar o uso da tecnologia BIM (*Building Information Modeling*) nos projetos de engenharia e arquitetura no território nacional, o Governo Federal incluiu, em maio de 2018, por meio do Decreto nº 9.377, a plataforma BIM como parte de uma estratégia nacional visando incentivar a utilização desta tecnologia. Além disso, de acordo com o Decreto nº 10.306, de 2 de abril de 2020, a partir de janeiro de 2021, o BIM deverá ser utilizado na execução direta ou indireta de obras e serviços de engenharia realizadas pelos órgãos públicos e pelas entidades da administração pública federal.

Pode-se afirmar que, em razão de tais decretos, mesmo que por ora somente na esfera federal, além de coordenar a estruturação do setor público para adoção a plataforma BIM, os mesmos contribuirão, aos longos dos anos, para mudanças na elaboração, gerenciamento de projetos no setor privado e, também, na forma de capacitação e formação dos profissionais responsáveis pela elaboração de projetos na construção civil.

Segundo Autodesk (2021), o BIM integra dados estruturados e multidisciplinares para produzir uma representação digital de um recurso em todo seu ciclo de vida, desde o planejamento, o projeto, até a construção e as operações. Com a plataforma BIM, constroem-se maquetes eletrônicas, obtêm-se plantas, cortes e vistas, além de permitir a atualização do modelo em tempo real, o que minimiza os erros comuns na utilização de ferramentas em 2D.

Dentre os inúmeros *softwares* que utilizam a tecnologia BIM, o Revit é um *software* difundido mundialmente e extremamente importante para o desenvolvimento de projetos de arquitetura, engenharia, sistemas mecânicos, elétricos e hidráulicos.

Desse modo, visando estimular o desenvolvimento e aplicação de novas tecnologias relacionadas ao BIM, este trabalho tem, como objetivo, a criação de rotinas<sup>1</sup> utilizando programação visual e convencional no *software* Revit. Assim, objetivou-se a criação de ferramentas capazes de realizar o dimensionamento automático dos sistemas de água fria e água quente, considerando o consumo máximo provável de água e as prescrições da ABNT NBR 5626. As rotinas, por sua vez, foram desenvolvidas na linguagem de programação visual Dynamo e, também, na linguagem convencional Python, incorporada ao Dynamo.

Por fim, aplicaram-se as rotinas de dimensionamento a um caso prático, onde a averiguação da eficiência dos algoritmos se deu por meio da aplicação em um projeto real de

---

<sup>1</sup> A palavra rotina é comumente utilizada por programadores em Dynamo como sinônimo de algoritmo.

sistemas prediais de água fria e água quente, sendo possível, então, fazer observações sobre as ferramentas, bem como identificar suas limitações.

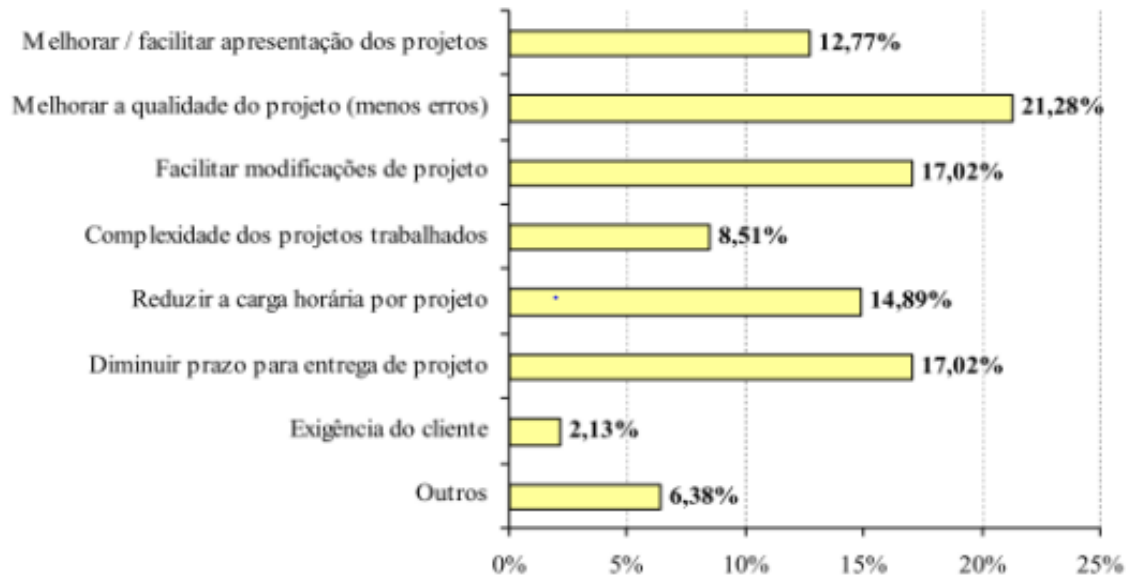
## 1.1 Justificativa

De acordo com Azhar (2008), as indústrias da arquitetura e engenharia há muito tempo buscam técnicas que visam diminuir o custo, aumentar a produtividade, a qualidade e também reduzir os prazos de entrega dos projetos. Nesse contexto, o BIM surge como solução para muitos destes pontos levantados e também como a tecnologia sucessora ao método tradicional de se elaborar projetos uma vez que, segundo Eastman et al (2008), essa tecnologia é uma das mais promissoras no setor da construção. Além disso, a mesma vem elevando lucros pela redução do tempo de desenvolvimento de projetos, assim como, aumentando a qualidade do projeto com a diminuição de erros e riqueza de detalhes.

Embora o Autodesk Revit MEP (*Mechanical Electrical and Plumbing*) seja um dos *softwares* mais utilizados no Brasil e no mundo, o mesmo não conta com um método específico de dimensionamento e verificações de acordo com as normativas brasileiras. Assim, muitos 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 em outros *softwares* menos refinados em questão de modelagem, mas que oferecem a ferramenta de dimensionamento.

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 e verificação de sistemas prediais de acordo com as normas brasileiras. Dessa forma, o Revit pode se tornar um *software* totalmente independente com possibilidades de se modelar, dimensionar, elaborar vistas isométricas e cortes detalhados, emitir planilhas orçamentárias e quantitativos, e criar realidade aumentada e pranchas. Ainda, uma vez que os projetos são desenvolvidos em um único *software*, a compatibilização entre os vários projetos que compõem um projeto de engenharia é facilitada. Assim, há uma conseqüente minimização na ocorrência de erros, aspecto buscado pela maioria dos profissionais que desejam adotar o BIM como ferramenta de trabalho, conforme mostrado na Figura 1, uma vez que os projetos são planejados, elaborados e modificados de forma compatibilizada desde o início.

**Figura 1** - Objetivos buscados por profissionais que desejam adotar o BIM como ferramenta de trabalho.



Fonte: Souza e Lyrio (2009).

Portanto, espera-se tornar o processo de elaboração de projetos de sistemas prediais no Revit mais eficiente, moderno, competitivo e preciso. Além disso, o presente trabalho faz-se um importante catalisador na utilização do BIM em projetos de sistemas prediais hidráulicos, através do uso de programação visual.

## 1.2 Objetivos

### 1.2.1 Objetivo geral

Desenvolver e avaliar algoritmos para o dimensionamento de sistemas prediais de água fria e água quente no Revit por meio da programação visual e Python.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- Criar ferramentas por meio da programação visual e Python para fins de dimensionamento de sistemas prediais de água fria e água quente, de acordo com as prescrições da NBR 5626;
- Aplicar as ferramentas desenvolvidas em um projeto real de sistemas prediais de água;
- Analisar o desempenho das rotinas, comparando-se os resultados obtidos com os resultados de uma planilha Excel.

- Elencar os pontos positivos e negativos, vantagens e limitações das rotinas.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Dynamo

Para se compreender no que consiste o Dynamo é necessário, primeiramente, ter uma dimensão do que venha a ser a programação visual. Pode-se dizer que a programação visual é um conceito no qual permite a construção de algoritmos por meio da utilização de uma interface gráfica (KRON, 2013). Em outras palavras, isso permite que usuário desenvolva algoritmos e aplicações sem a necessidade de linhas de código, assim como as linguagens de programação convencionais. Isso é possível uma vez que a programação visual é constituída por “*Nodes*” (ou em português “*Nós*”), que são pequenos blocos, os quais executam funções específicas, assunto, no qual é tratado mais adiante.

O 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 e Civil 3D. A principal finalidade do Dynamo é estender as funcionalidades da Autodesk. São exibidos, respectivamente, nas Figuras 2 e 3, a extensão Dynamo na barra de ferramentas do Revit e também o ambiente de trabalho do Dynamo.

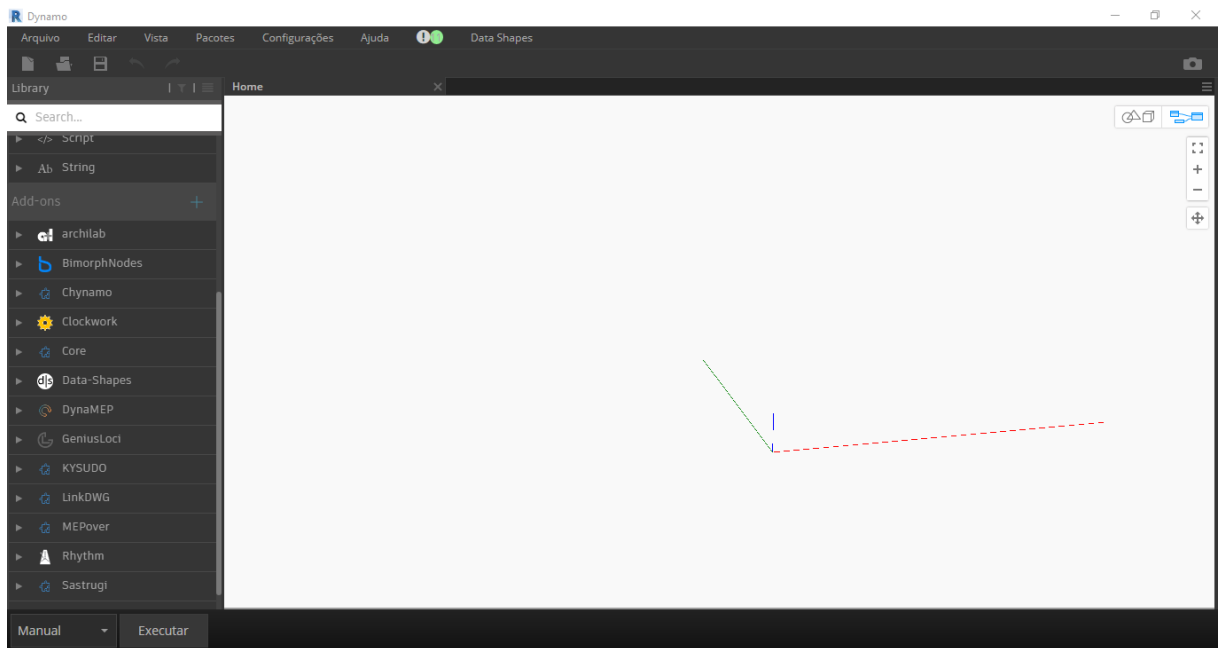
**Figura 2** - Extensão Dynamo no menu de ferramentas do Revit.



Fonte: Autor (2022).



**Figura 3** - Plano de trabalho do Dynamo.



Fonte: Autor (2022).

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).

## 2.2 Interação 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.

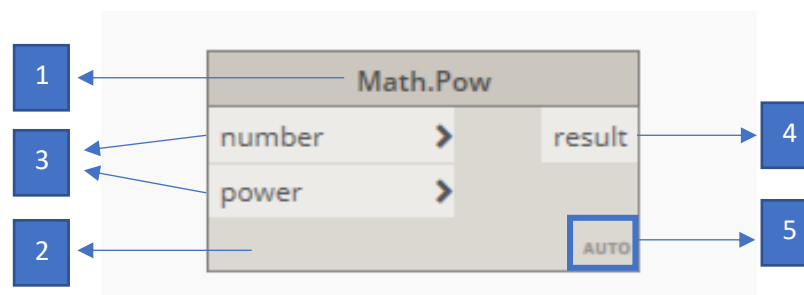
Em síntese, o Dynamo permite que o usuário acesse o API do Revit, permitindo que o mesmo interaja diretamente com o modelo por meio de programação (visual ou convencional) podendo criar, editar, deletar, manipular dados, criar estruturas geométricas e realizar automatizações que não são possíveis utilizando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

### 2.2.1 Modo de operação do Dynamo

O desenvolvimento de códigos dentro do ambiente Dynamo se dá por meio de Nós, conforme mencionado anteriormente, onde cada Nó, conforme ilustrado na Figura 4, possui a seguinte estrutura:

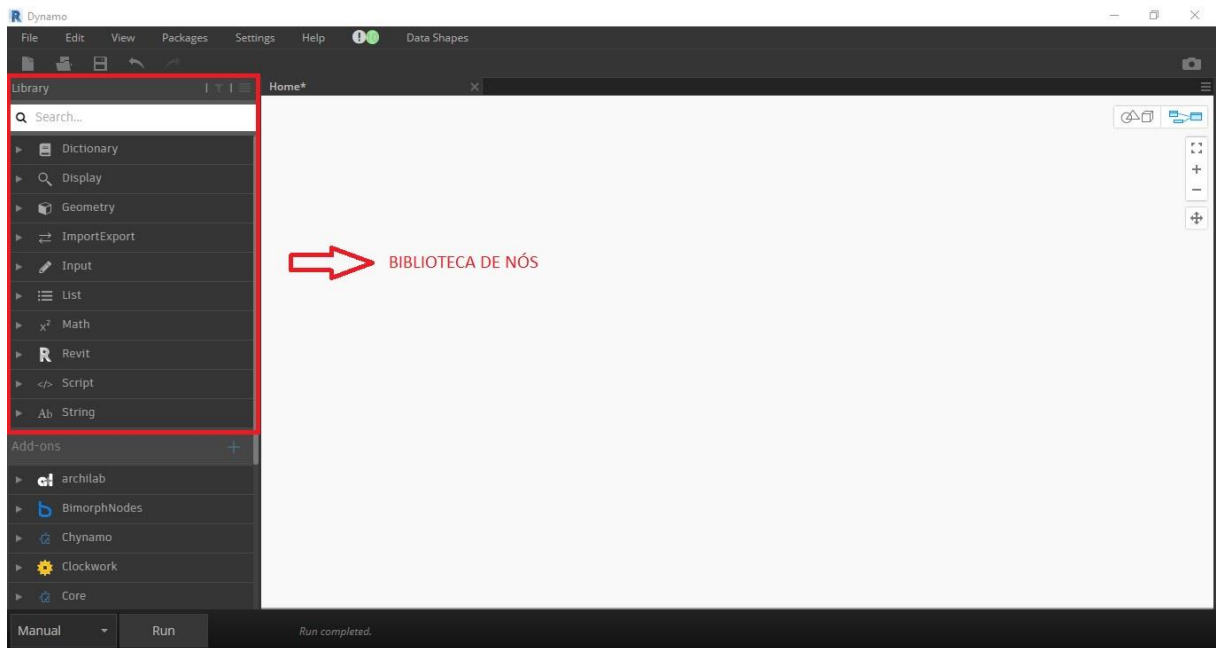
- 1. Nome do Nó;
- 2. Corpo do Nó como um todo;
- 3. Dados de entrada (“input”);
- 4. Dados de saída ou resultado (“output”);
- 5. Ícone de laço, utilizado para trabalhar com listas e sublistas.

Figura 4 - Estrutura do Nó.



Fonte: Autor (2022).

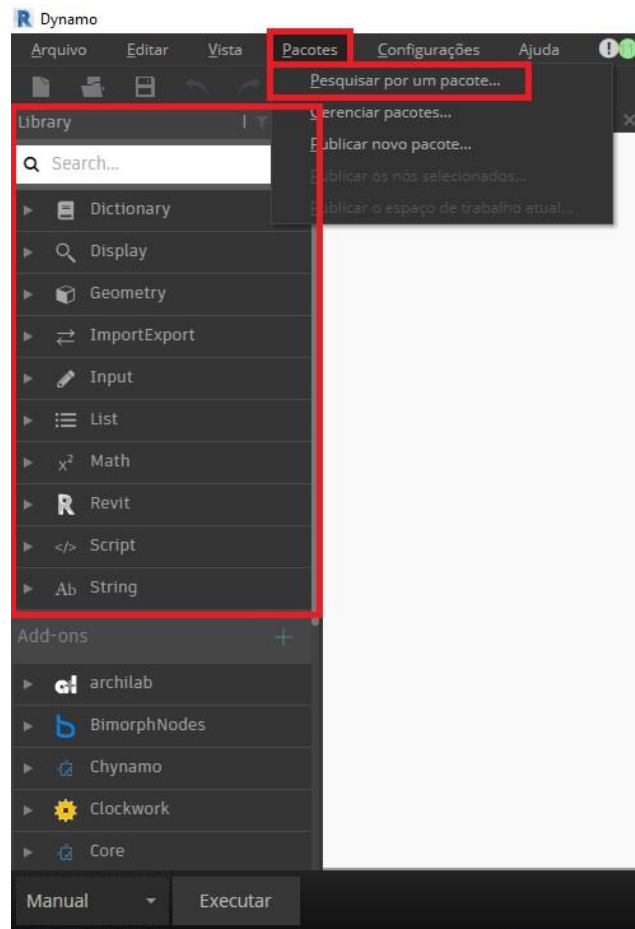
Dentro do plano de trabalho do Dynamo, os Nós estão organizados dentro de pacotes, também chamados de *packages*. A Figura 5 ilustra a organização dos pacotes de Nós padrões do Dynamo. Tais Nós fazem parte da biblioteca nativa do Dynamo chamada *DSCore*.

**Figura 5** - Organização da biblioteca de Nós no plano de trabalho.

Fonte: Autor (2022).

Por se tratar de um *software* de código aberto, o Dynamo permite a criação de Nós e pacotes customizados por meio de linguagens como C# e Python, podendo estes, ainda, serem compartilhados entre os usuários da aplicação, por meio do *download* diretamente no plano de trabalho do *software*. São exibidos na Figura 6, os pacotes customizados inseridos no plano de trabalho, os quais foram criados por terceiros (empresas especializadas na criação de conteúdo Dynamo ou outros usuários) e, também, o local na barra de ferramentas onde tais pacotes podem ser obtidos.

**Figura 6** - Pacotes customizados e local de *download*.



Fonte: Autor (2022).

Além de oferecer os Nós e pacotes nativos ou customizados, o Dynamo possui também um Nó especial chamado *Code Block* ou, em português, bloco de código. De acordo com Primer (2021), o bloco de código pode ser definido como um recurso exclusivo do Dynamo que vincula dinamicamente o ambiente de programação visual a um baseado em texto. Com o bloco de código o programador tem total liberdade para manipular, gerar e editar dados bem como criar funções específicas para determinada tarefa.

Além disso, o bloco de código tem acesso a todos os Nós Dynamo, ou seja, todos os Nós nativos podem ser escritos em forma de texto. Segundo Chappell (2019), um bloco de código escrito de forma limpa pode substituir vários Nós nativos, reduzindo significante o tamanho do algoritmo final. Apesar de que uma rotina final reduzida e organizada seja sempre desejável, a prioridade é sempre buscar funcionalidade e um correto funcionamento Chappell (2016).

Portanto, o bloco de código torna o Dynamo uma ferramenta bastante versátil, oferecendo ao programador as seguintes opções de trabalho:

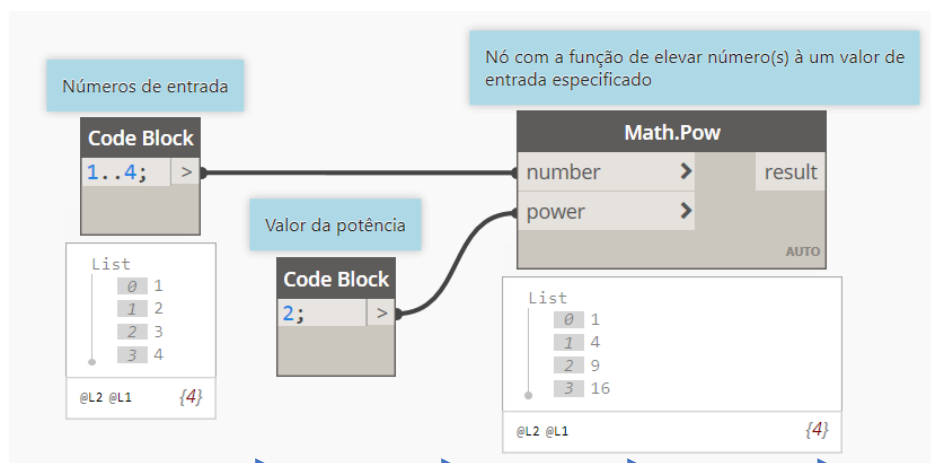
- Utilização somente de Nós, trazendo um carácter mais visual para a rotina;
- Utilização do bloco de códigos, oferecendo um visual mais parecido com as linguagens de programação convencionais;
- Utilização de Nós e bloco de códigos, permitindo ao programador tirar proveito máximo do Dynamo.

Em comparação ao modelo tradicional de programação, onde o fluxo de trabalho acontece de cima para baixo, o sentido de ação, no caso da programação visual, se dá da esquerda para a direita, onde os Nós estão interligados e compartilhando informações. 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.

É exibido, nas Figuras 7 e 8, um comparativo entre uma mesma rotina responsável por elevar uma lista de números ao quadrado, no qual a primeira utiliza Nós nativos, enquanto que a segunda utiliza somente um bloco de código. No primeiro caso, são utilizados 3 Nós, sendo 2 deles do tipo *Code Block*, onde um contém uma lista de números de 1 a 4, enquanto que o outro possui o número 2, que no caso será a potência da operação e, por fim, o Nó *Math.Pow*, no qual eleva número por número na lista à potência desejada. O segundo caso, se trata da mesma rotina, com as mesmas funções, entretanto, o Nó *Math.Pow* é escrito em sua forma de texto e a lista, bem com a potência para operação são escritas dentro da função.

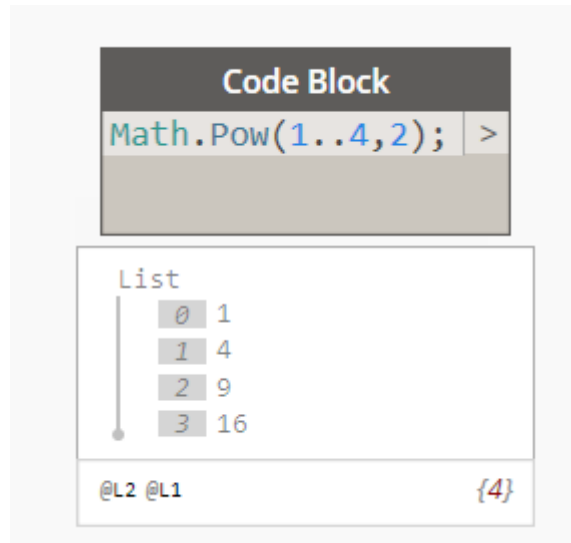
O primeiro caso exhibe a rotina com uma maior facilidade de leitura, principalmente para iniciantes, enquanto que o segundo exhibe com uma maior complexibilidade de leitura, porém mais reduzido.

**Figura 7** - Rotina para elevar uma lista de números ao quadrado utilizando Nós nativos.



Fonte: Autor (2022).

**Figura 8** - Rotina para elevar uma lista de números ao quadrado utilizando bloco de código.



Fonte: Autor (2022).

### 2.3 Relação entre a linguagem Python e Dynamo

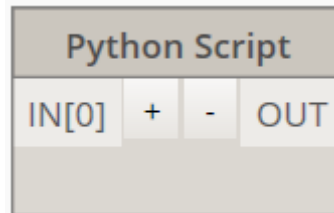
Segundo Primer (2021), Python é uma linguagem de programação amplamente usada, cuja popularidade tem muito a ver com seu estilo de sintaxe. É altamente legível, o que a torna mais fácil de aprender em relação às outras linguagens de programação convencionais. Além disso, o Python oferece suporte a módulos 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, 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 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 9 ilustra o Nó específico para criação de códigos na linguagem Python. A Figura 10, por sua vez, exibe o plano de trabalho da linguagem Python, onde os códigos são desenvolvidos pelo usuário. Diferentemente dos outros Nós, este, em

específico, necessita que o usuário dê duplo clique para que o mesmo tenha acesso ao plano de trabalho do Python.

**Figura 9** - Nó específico da linguagem Python.



Fonte: Autor (2022).

**Figura 10** - Plano de trabalho da linguagem Python.

```
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
```

Fonte: Autor (2022).

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 9). 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 9) e devolvidos ao ambiente Dynamo.

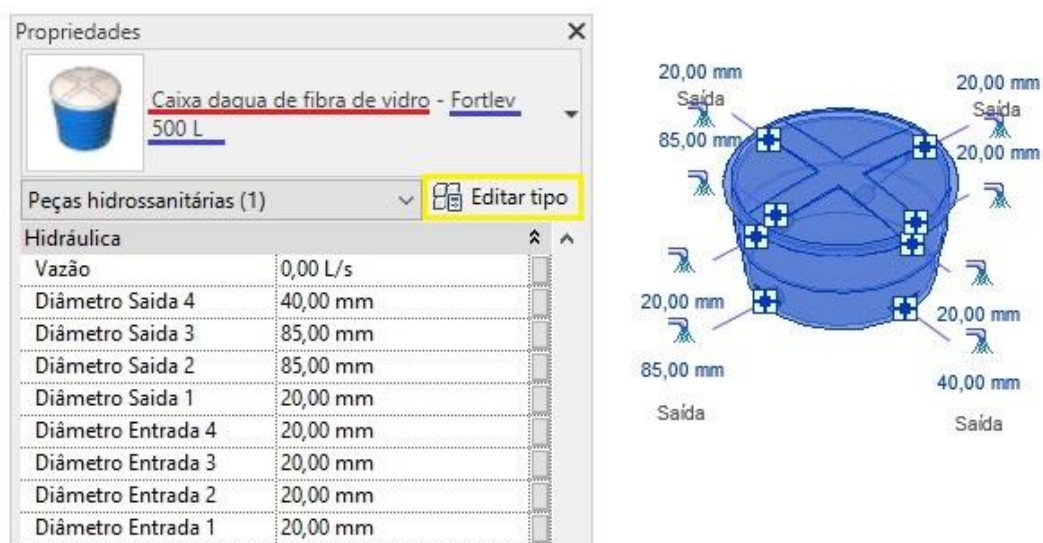
A linguagem Python não só é utilizada para criação de Nós personalizados, mas também dá ao programador acesso aos documentos e elementos do Revit. Isso torna o Python uma ferramenta indispensável no que diz respeito a potencializar a funcionalidade da aplicação Dynamo, pois ao combinar o processo de programação visual com o API, a colaboração e o desenvolvimento de ferramentas melhoram significativamente.

## 2.4 Famílias e elementos

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.

Dentro do contexto das famílias, um determinado elemento é chamado de tipo. Como exemplo, a Figura 11 ilustra uma família de Caixa d'água de fibra de vidro (destacado em vermelho) e seu tipo atual selecionado, Fortlev 500L (destacado em azul). Para visualizar/selecionar os demais tipos de uma família, basta clicar no retângulo amarelo e uma janela com vários tipos disponíveis para utilização no projeto será exibida, conforme mostrado na Figura 12.

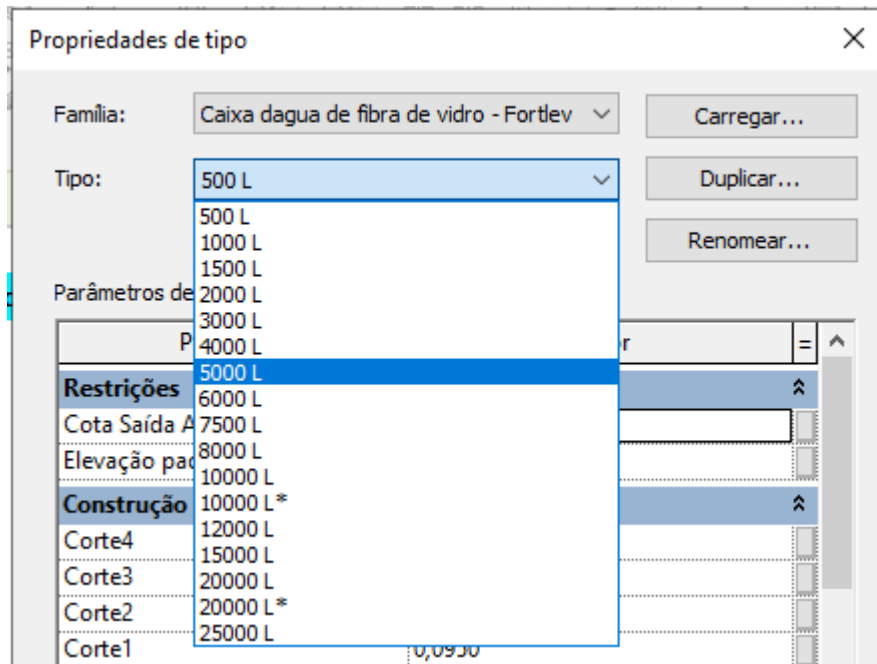
**Figura 11** – Exemplo de família de caixa d'água e seu tipo.



Fonte: Autor (2022).



**Figura 12** - Família de caixa d'água Fortlev e seus tipos disponível para utilização.



Fonte: Autor (2022).

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.

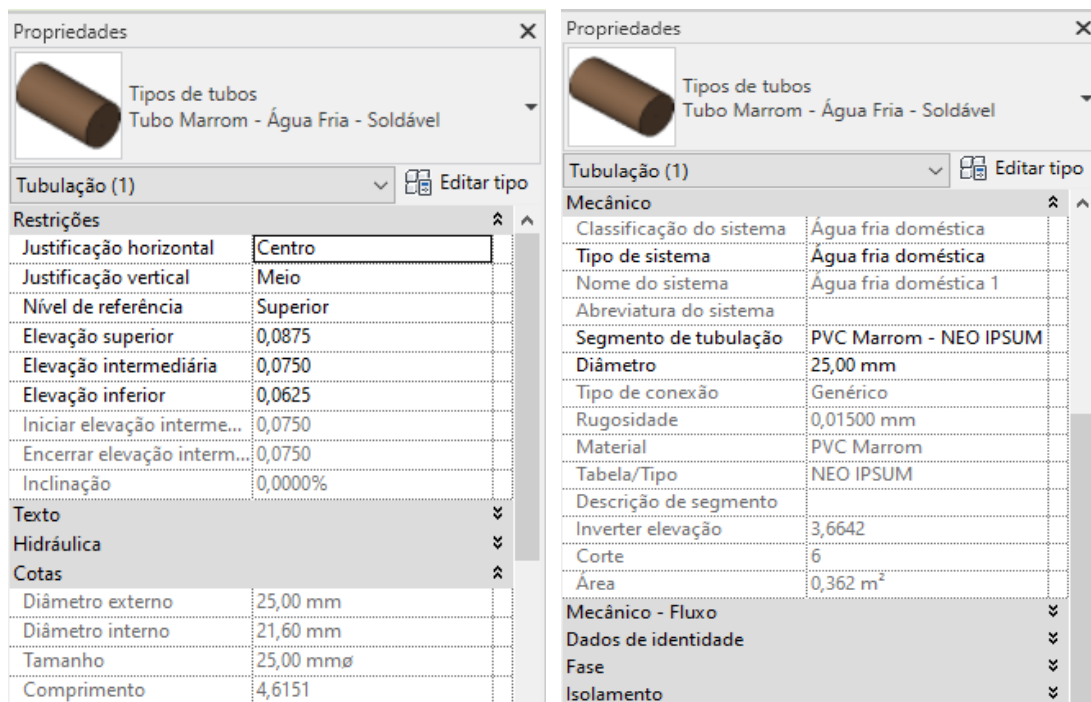
## 2.5 Autodesk Revit MEP

O Revit MEP é voltado ao desenvolvimento de projetos de instalações hidráulicas e elétricas, produzindo desenhos e gerando documentos. (COSTA, 2013). Além disso, por se tratar de um *software* BIM, o Revit MEP permite que múltiplos projetos de diferentes disciplinas possam trabalhar no mesmo ambiente. Isto significa dizer que é possível (e recomendado) o desenvolvimento de projetos hidrossanitários vinculados aos demais projetos (arquitetônico, estrutural ou elétrico), possibilitando a verificação de incompatibilidades bem como prever furos em elementos estruturais no ato da modelagem.

Segundo Whitbread (2015), parâmetros são a essência do que torna o Revit MEP uma ferramenta poderosa de design e modelagem. Os parâmetros 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. Este conceito de alteração no valor de parâmetros é importante, uma vez que em projetos de sistemas prediais mudanças de cota e diâmetros são comuns. São exibidos, na Figura 13, exemplos de parâmetros como, cota de referência, diâmetro, comprimento e dentre outros, para uma tubulação qualquer no Revit MEP.

Figura 13 – Parâmetros da tubulação.



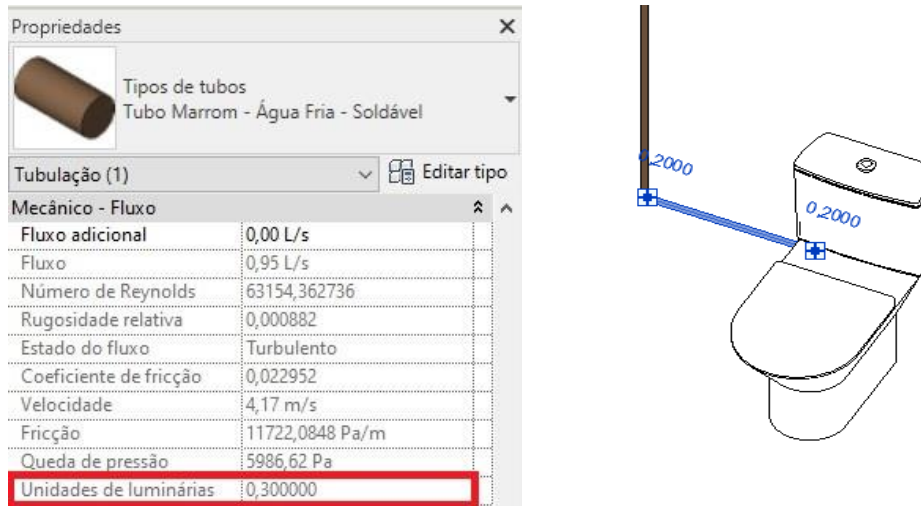
Fonte: Autor (2022).

Uma vez que o presente trabalho utilizará o método do consumo máximo provável de água para elaboração das rotinas de dimensionamento, é importante ressaltar como o Revit MEP apresenta as informações acerca dos pesos relativos dos equipamentos. Cada equipamento ou ponto de utilização possui um determinado peso relativo (item 4.2). O Revit, por sua vez, baseado na IPC (*International Plumbing Code*) de 2006, apresenta essa informação como um parâmetro chamado Unidades de Luminárias, no qual está associado aos pontos de utilização e tubulações do modelo. Por motivos de familiaridade e para adequação às normas brasileiras, as unidades de luminárias serão constantemente referidas aos pesos relativos.

Evidenciando, mais uma vez, o potencial deste *software* BIM, a leitura do peso relativo de um equipamento é feita e atribuída automaticamente à tubulação conectada ao mesmo, conforme apresentado na Figura 14, onde uma tubulação alimenta uma bacia de descarga cujo

peso relativo equivale 0,30. Dessa forma, dentro de um sistema com inúmeros e diferentes pontos de utilização, o *software* realiza o somatório dos pesos automaticamente em cada trecho.

**Figura 14** - Peso relativo (Unidades de luminárias) de uma bacia sanitária.



Fonte: Autor (2022).

### 2.5.1 Parâmetros compartilhados

Autodesk (2022) descreve os parâmetros como sendo propriedades dos elementos e famílias que formam o modelo, incluindo não apenas objetos de modelo e anotação, mas também vistas e folhas. No Revit, todos os elementos possuem parâmetros, os quais são responsáveis pelo armazenamento de suas propriedades e atributos. Existem diversos tipos de parâmetros, com diferentes funcionalidades, classificações e limitações. De acordo com Autodesk (2022), estão disponíveis no Revit os seguintes tipos de parâmetros:

- Parâmetros internos;
- Parâmetros de projeto;
- Parâmetros de família;
- Parâmetros globais;
- Parâmetros compartilhados.

Dada sua versatilidade, serão criados e utilizados, neste trabalho, parâmetros compartilhados. Segundo Autodesk (2022), os parâmetros compartilhados são parâmetros personalizados especiais porque não são salvos no projeto ou família. Esse tipo de parâmetro é armazenado em um arquivo de texto externo chamado de arquivo de parâmetro compartilhado, com extensão .txt. A versatilidade desse tipo de parâmetro permite que o mesmo:

- seja marcado em vistas do modelo;
- seja utilizado em tabelas, tanto para organização, como para cálculos;
- seja usado em várias famílias;
- seja utilizado em vários projetos e não em um só projeto, como a grande maioria dos parâmetros;
- tenha seus valores modificáveis, ou não, pelo usuário dependendo da escolha do usuário no momento da criação.
- possam ser visíveis, ou não, ao usuário dependendo da escolha do usuário no momento da criação.

## 2.6 NBR 5626:2020

Em substituição às ABNT NBR 7198:1993 – Projeto e execução de instalações prediais de água quente e ABNT NBR 5626:1998 – Instalação predial de água fria, a mais recente NBR, no âmbito das instalações prediais de água, intitulada ABNT NBR 5626:2020 - Sistemas prediais de água fria e água quente – Projeto, execução, operação e manutenção, passou a tratar os sistemas prediais de água fria bem como os sistemas de água quente de forma conjunta, em um único documento normativo.

Com a nova versão o responsável pelo projeto possui uma maior liberdade para definir os métodos de dimensionamento, desde que seja um método reconhecido e fundamentado. Isto se deve ao fato do antigo Anexo (Procedimento para dimensionamento de tubulações da rede predial de distribuição) não estar mais presente na mais nova versão. Segundo Costa (2020), em relação às vazões de dimensionamento dos trechos de tubulações, não é mais obrigatório a utilização do Método dos Pesos Relativos.

Em relação às pressões, é exigido na nova versão:

- Pressão dinâmica da água não pode ser inferior a 5 kPa (0,5 mca) em qualquer ponto da rede predial de distribuição, exceto nas tomadas de água na saída de reservatórios elevados;
- Para tomadas de água vertical na saída de reservatórios elevados, a pressão dinâmica mínima em cada ponto é dada pelo correspondente desnível geométrico ao nível d'água de cota mais baixa no reservatório, descontada a perda de carga até o ponto considerado;
- Pressão estática máxima nos pontos de utilização igual à 400 kPa (40 mca);
- Pressão dinâmica mínima de 10 kPa (1 mca), independente do ponto de utilização.

- A ocorrência de sobrepressões devidas a transientes hidráulicos deve ser considerada no dimensionamento das tubulações. Tais sobrepressões são admitidas, desde que não superem o valor de 200 kPa.

Em relação ao sistema de água quente, não há mais uma limitação quanto a temperatura máxima no sistema, sendo necessário, entretanto, medidas adicionais de segurança em casos que a temperatura supere 70°C. Por fim, é recomendado uma temperatura máxima de até 38°C para duchas higiênicas, jardins de infância e determinadas clínicas e hospitais.

## 2.7 Dimensionamento

Como mencionado anteriormente, a NBR 5626:2020 em vigor não exige a utilização do Método dos Pesos Relativos. Entretanto, por se tratar de um método consagrado na literatura e também de fácil aplicação, será utilizado como a base do dimensionamento e verificações neste trabalho.

Neste caso é atribuído um peso a cada equipamento e a vazão relativa de cada trecho pode ser calculada de acordo com a seguinte equação:

$$Q = 0,3 \times \sqrt{\sum P} \quad (1)$$

Em que:

$Q$  = Vazão relativa em l/s.

$\sum P$  = Somatório de pesos relativos no trecho analisado.

A velocidade do fluxo nos trechos de tubulação, pode ser determinada isolando-se a velocidade na fórmula da vazão  $Q = V \times A$ , conforme a seguir:

$$V = \frac{Q}{\frac{\pi}{4} \times D^2} \quad (2)$$

Em que;

$V$  = Velocidade no trecho em m/s.

$Q$  = Vazão relativa no trecho, em m<sup>3</sup>/s.

$D$  = Diâmetro interno da tubulação, em m.

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

$$J = 0,000869 \times \frac{Q^{1,75}}{D^{4,75}} \quad (3)$$

Em que:

$J$  = Perda de carga unitária, em m/m.

$Q$  = Vazão relativa no trecho, em m<sup>3</sup>/s.

$D$  = Diâmetro interno da tubulação, em m.

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

$$\Delta_H = J \times (L + C_e) \quad (4)$$

Em que:

$\Delta_H$  = Perda de carga total no trecho, em m.

$J$  = Perda de carga unitária, em m/m.

$L$  = Comprimento total do trecho, em m.

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

A pressão dinâmica disponível a jusante em um trecho qualquer é obtida através da seguinte expressão:

$$P_j = P_m \pm Desnível - \Delta_H \quad (5)$$

Em que:

$P_j$  = Pressão dinâmica disponível a jusante do trecho considerado.

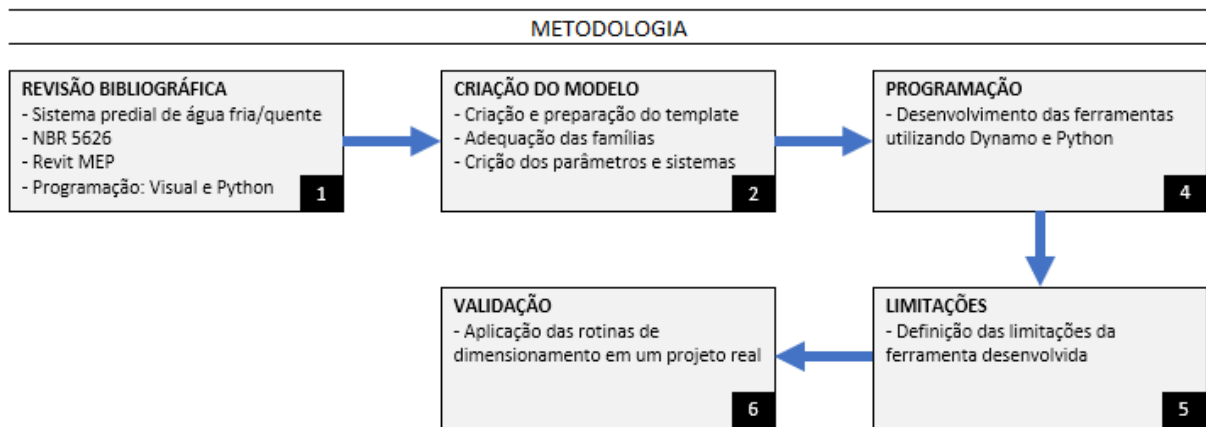
$P_m$  = Pressão dinâmica disponível a montante do trecho considerado.

$Desnível$  = Diferença de cotas geométricas dos pontos que definem o trecho.

### 3 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento e conclusão do presente trabalho, foram necessários a realização dos procedimentos ilustrados no fluxograma da Figura 15.

Figura 15 - Fluxograma da metodologia da pesquisa.



Fonte: Autor (2022).

Baseado no fluxograma da Figura 15, a metodologia de trabalho dividiu-se da seguinte maneira:

- **Etapa 1 – Revisão bibliográfica:** foi realizado o embasamento teórico para o desenvolvimento do trabalho acerca do estudo proposto. Dessa forma, abordaram-se temas como Dynamo, Python, famílias e elementos no Revit, Revit MEP, parâmetros compartilhados e seu papel no presente trabalho e, por fim, algumas pontuações importantes da NBR 5626:2020 acerca das instalações prediais de água fria e água quente.
- **Etapa 2 – Criação do modelo:** de forma a proporcionar um ambiente de base para implementação das rotinas de programação, foi desenvolvido um *template* no Revit, onde todas as famílias de elementos contidas no mesmo foram adequadas à realidade da NBR 5626:2020. Em um segundo momento, foram criados os parâmetros necessários para o armazenamento das informações a respeito do dimensionamento.
- **Etapa 3 – Programação:** foram desenvolvidas as ferramentas para a nomeação dos trechos e para o dimensionamento dos sistemas de água fria e água quente, de acordo com a NBR 5626:2020, utilizando o Dynamo e Python.
- **Etapa 4 – Limitações:** definidas as rotinas para a nomeação e para o dimensionamento, foram identificadas as limitações de processamento das mesmas, identificando os casos nos quais resultam em erros por parte do processamento do Revit e, conseqüentemente, em erro de processamento das rotinas.

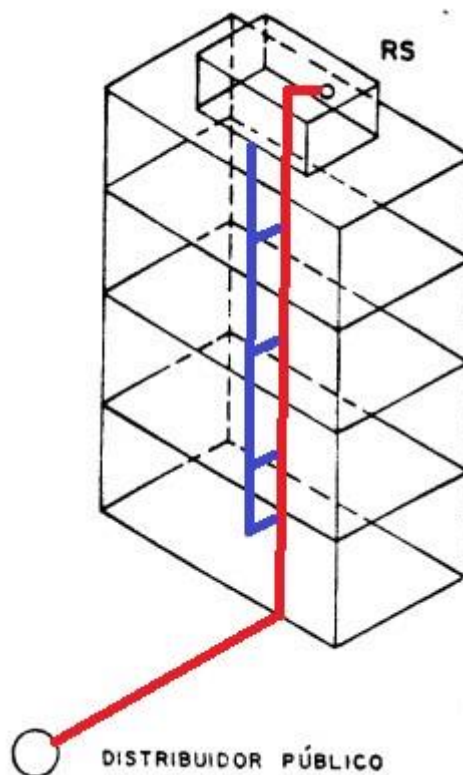
- **Etapa 5 – Validação:** com auxílio de um projeto real de instalações de água fria e água quente, fez-se a avaliação das ferramentas desenvolvidas por meio da comparação dos resultados obtidos com os resultados de uma planilha Excel.

## 4 ESTUDO APLICADO

### 4.1 Considerações iniciais

Além de considerar o consumo máximo provável de água, as rotinas para o dimensionamento foram desenvolvidas considerando o sistema indireto com reservatório por gravidade, ou seja, um sistema onde a rede de distribuição do edifício é alimentada a partir de um reservatório elevado que por sua vez é alimentado diretamente pela rede pública. Assim, por meio das rotinas, as verificações e o dimensionamento ocorrem somente nos trechos da rede de distribuição da edificação, conforme destacados em azul, na ilustração esquemática de um sistema indireto na Figura 16.

**Figura 16** - Ilustração esquemática de um sistema indireto por gravidade.



Fonte: Adaptado de Ilha e Gonçalves (2022).

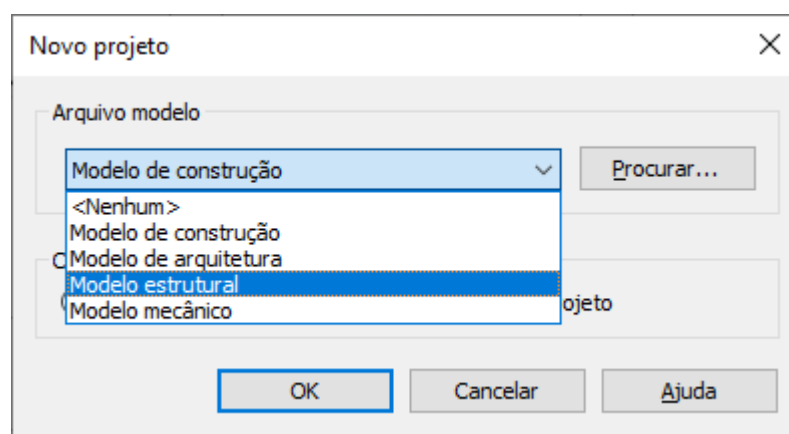


Uma vez que, neste caso, o dimensionamento ocorre somente nos trechos da rede de distribuição da edificação, todo o cálculo referente ao dimensionamento do ramal predial e hidrômetro deve ser feito à parte pelo projetista. O tipo de reservatório, por sua vez, sua capacidade e tamanho, não interfere diretamente no dimensionamento realizado pelos algoritmos, pois o projeto deve conter pelo menos um reservatório para o processamento das rotinas, independentemente de suas dimensões. Assim, pressupõe-se que o projetista realize todos os cálculos referentes à capacidade de armazenamento do reservatório principal e à capacidade dos aquecedores para a efetiva modelagem.

#### 4.2 Preparação do *Template*

Segundo Autodesk (2022), um *template* é um arquivo modelo, desenvolvido para servir de base para o desenvolvimento de novos projetos dentro do Revit. Assim, este inclui modelos de vista, 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, conforme ilustrado na Figura 17, o *software* permite a criação de modelos personalizados, os quais podem ser modificados e melhorados de acordo com necessidades específicas.

Figura 17 - *Templates* padrão do Revit.



Fonte: Autor (2022).

O modelo é, geralmente, aprimorado durante o desenvolvimento de um projeto que, depois de finalizado, com todas as representações gráficas, textos, tabelas, parâmetros, famílias entre muitas outras configurações, pode ser convertido para *template*.

Assim, antes de qualquer procedimento de cálculo ou desenvolvimento de algoritmos, foi necessário a realização da configuração de um *template*, a qual foi sendo atualizado ao longo de todo estudo, para a adequação das famílias de peças hidrossanitárias com a NBR 5626. Dessa forma, todas as famílias de pontos de utilização utilizadas no *template* foram adequadas aos pesos relativos apresentados na Figura 18.

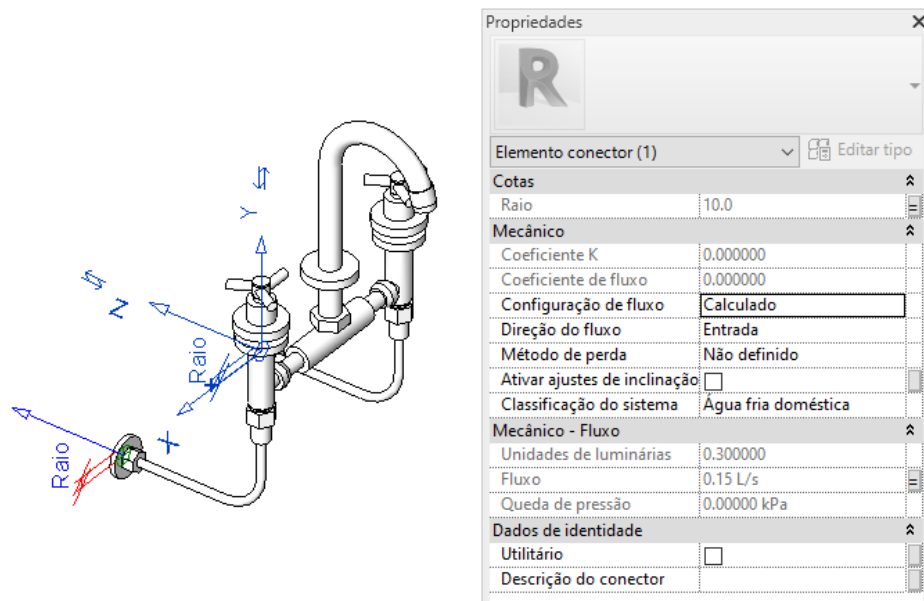
**Figura 18** - Peso relativo dos pontos de utilização.

Aparelho sanitário		Peça de utilização	Vazão de projeto L/s	Peso relativo
Bacia sanitária		Caixa de descarga	0,15	0,3
		Válvula de descarga	1,70	32
Banheira		Misturador (água fria)	0,30	1,0
Bebedouro		Registro de pressão	0,10	0,1
Bidê		Misturador (água fria)	0,10	0,1
Chuveiro ou ducha		Misturador (água fria)	0,20	0,4
Chuveiro elétrico		Registro de pressão	0,10	0,1
Lavadora de pratos ou de roupas		Registro de pressão	0,30	1,0
Lavatório		Torneira ou misturador (água fria)	0,15	0,3
Mictório cerâmico	com sifão integrado	Válvula de descarga	0,50	2,8
	sem sifão integrado	Caixa de descarga, registro de pressão ou válvula de descarga para mictório	0,15	0,3
Mictório tipo calha		Caixa de descarga ou registro de pressão	0,15 por metro de calha	0,3
Pia		Torneira ou misturador (água fria)	0,25	0,7
		Torneira elétrica	0,10	0,1
Tanque		Torneira	0,25	0,7
Torneira de jardim ou lavagem em geral		Torneira	0,20	0,4

Fonte: NBR 5626 (1998).

Como exemplo, é mostrado na Figura 19 um misturador de bica alta para lavatório contendo dois conectores, local onde as tubulações de água fria e quente se conectam no equipamento. Ao clicar em um dos conectores, é exibida uma janela de propriedades do mesmo, como, por exemplo, direção do fluxo e classificação do sistema (água quente ou água fria). Dessa forma, para a adequação às normas brasileiras, modificaram-se os parâmetros Unidades de luminárias para os valores de peso relativo, apresentados na Figura 18, para o equipamento lavatório.

**Figura 19** – Equipamento e seus parâmetros de utilização.



Fonte: Autor (2022).

#### 4.2.1 Criação dos Parâmetros

No *software* Revit, os parâmetros são a chave para gerenciar adequadamente as informações contidas no projeto/modelo. Isso se deve ao fato de que, segundo Kensek (2015), cada elemento no Revit possui parâmetros, responsável por armazenar informações como propriedades e atributos, o que permite o agrupamento, classificação, caracterização e gerenciamento de todos os elementos do modelo.

Nesse sentido, foram criados parâmetros compartilhados para uma melhor organização dos elementos e informações contidas no modelo e, principalmente, para o auxílio na criação dos algoritmos de cálculo. Desse modo, foram criados os parâmetros conforme exibido na Tabela 1.

**Tabela 1** - Parâmetros compartilhados criados.

<b>Parâmetros</b>	<b>Descrição</b>
<b>Trecho</b>	Trecho ao qual a tubulação pertence dentro do sistema
<b>Numeração</b>	Numeração da tubulação dentro do sistema global
<b>Peso</b>	Peso relativo de todos os equipamentos, nos quais são alimentados diretamente ou indiretamente pela tubulação
<b>Vazão</b>	Vazão no trecho, em l/s

<b>Velocidade</b>	Velocidade no trecho, em m/s
<b>Perda de carga unitária (m/m)</b>	Perda de carga unitária no trecho, em m/m
<b>Singularidade</b>	Singularidade na qual está conectada na entrada da tubulação
<b>Comp. Equivalente</b>	Comprimento equivalente da singularidade na qual está conectada à tubulação, em m
<b>Perda de carga</b>	Perda de carga total no trecho, em m
<b>Pressão montante</b>	Pressão à montante do trecho, em mca
<b>Pressão jusante</b>	Pressão à jusante do trecho, em mca

Os parâmetros mostrados na Tabela 1, foram criados como parâmetros não modificáveis, o que significa que os mesmos não podem ser modificados pelo usuário e só podem ser alterados mediante programação, neste caso, os algoritmos das seções subsequentes. Tal procedimento, por sua vez, evita que os usuários possam alterar os parâmetros de modo a comprometer a confiabilidade dos resultados.

Assim, cada tubulação dentro do modelo terá os parâmetros criados na Tabela 1, caracterizados em dois grupos, sendo eles: Grupo 1: Texto, com a finalidade de identificação; Grupo 2: Hidráulica, com o objetivo de armazenar informações de dimensionamento. São mostrados, na Figura 20 (destacado em vermelho), os parâmetros criados de acordo com os grupos mencionados de uma tubulação qualquer dentro do modelo.

**Figura 20** - Parâmetros compartilhados de uma tubulação qualquer.



Fonte: Autor (2022).

#### 4.2.2 Criação do sistema de tubulação

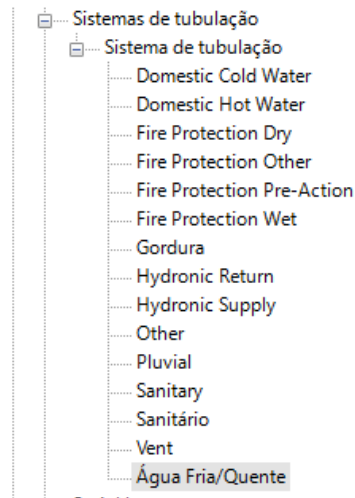
Autodesk (2022) classifica os sistemas de tubulações no Revit, como sendo sistemas hidráulicos ou entidades lógicas que facilitam os cálculos de vazão e dimensionamento de equipamentos. Além disso, tais elementos facilitam o cálculo de peso relativo dentro de um sistema de tubulações. Em outras palavras, em um sistema qualquer com inúmeros pontos de utilização, o conceito de sistema dentro do Revit permite que o somatório de pesos relativos seja realizado de forma automática no projeto, desde que as tubulações sejam modeladas de forma correta.

Segundo Autodesk (2022), o Revit, por padrão, oferece 3 tipos de sistemas: água quente doméstica, água fria doméstica e sanitário, os quais são atribuídos de forma automática e inteligente no ato de criação de uma tubulação. Assim, ao se criar uma tubulação de água fria, o programa reconhece este elemento e o define como uma tubulação do sistema de água fria.

Nos projetos hidráulicos brasileiros, recorrentemente, tem-se tubulações de água fria e água quente conectadas, como por exemplo, na ligação entre boiler e caixa d'água, onde um determinado trecho é composto por tubulações de água fria, entretanto, nos trechos próximos ao boiler há uma transição para os tubos de água quente. Para o Revit, no entanto, isso é uma problemática, pois um tubo de água fria e de água quente conectados irá produzir, respectivamente, um sistema de água fria e outro de água quente, os quais não compartilharão informações, uma vez que diferentes sistemas não compartilham informações entre si, fato que impossibilita o cálculo automático de peso relativo.

Visando solucionar o problema mencionado, foi necessário criar um sistema único para as tubulações de água quente e fria, chamando Água Fria/Quente, conforme ilustrado na Figura 21.

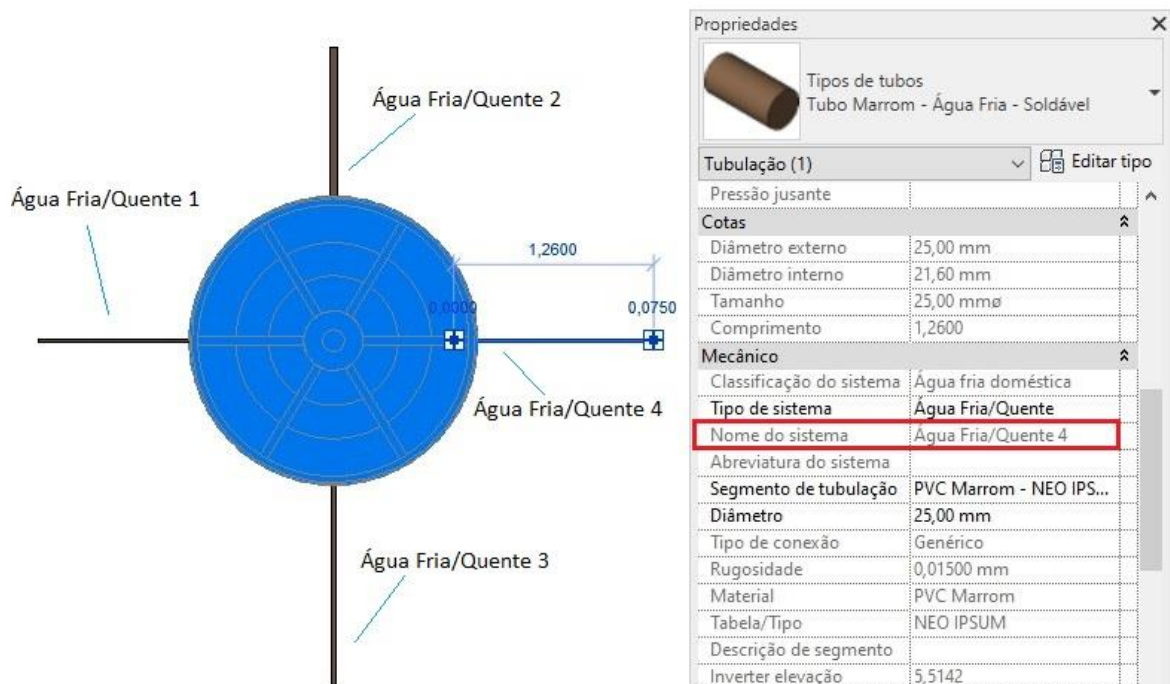
**Figura 21** - Sistemas de tubulação disponíveis para classificação dos sistemas.



Fonte: Autor (2022).

Dessa forma, qualquer tubulação criada no modelo será automaticamente associada ao sistema Água Fria/Quente n, onde n é um número no qual o Revit atribui aos sistemas de modo que cada sistema seja único. Como exemplo, é mostrado na Figura 22, um reservatório de água fria, no qual há quatro tubulações conectadas, onde nesse caso, o Revit atribui automaticamente os nomes de sistemas como: Água Fria/Quente 1, Água Fria/Quente 2, Água Fria/Quente 3 e Água Fria/Quente 4.

**Figura 22** - Classificação automática dos sistemas.



Fonte: Autor (2022).

### 4.2.3 Criação da tabela de dimensionamento

Para fins de dimensionamento, foi criada uma tabela no Revit contendo todas as informações pertinentes ao dimensionamento. Essas informações dizem respeito aos parâmetros compartilhados mencionados anteriormente. Dessa forma, as colunas da tabela mostrada na Figura 23, são alimentadas uma vez que as rotinas são executadas.

Além disso, as informações e resultados do dimensionamento estarão disponíveis para o usuário tanto nos parâmetros das tubulações, bastando o mesmo selecionar uma tubulação qualquer no modelo para ter acesso a tais informações, bem como na tabela de dimensionamento, que representará um memorial de cálculo.

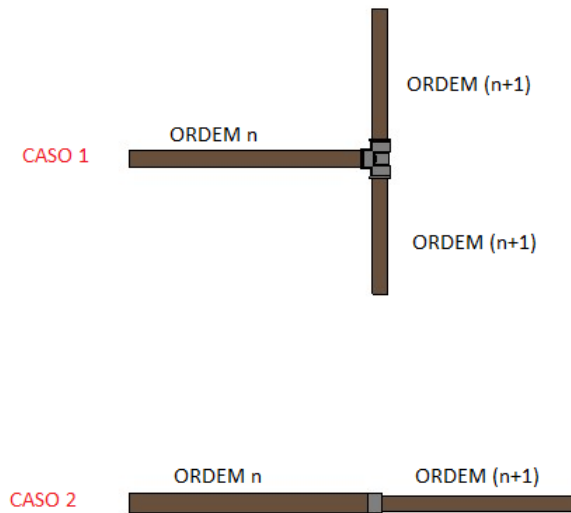
**Figura 23** - Tabela de dimensionamento no Revit.

<Dimensionamento>													
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
Trecho	Peso	Vazão (L/s)	D (mm)	DI (mm)	Velocidade	L (m)	J (m/m)	Singularidades	Comp. Eq (m)	P. Carga (m)	Desnível (m)	P. Montante	P. Jusante

Fonte: Autor (2022).

### 4.3 Metodologia para nomeação dos trechos

De modo a facilitar o desenvolvimento das rotinas de cálculo, foi elaborada uma metodologia de nomeação e numeração dos trechos de tubulação. Tal processo se baseia na classificação dos trechos de tubulações a uma certa ordem. Por exemplo, um trecho de ordem 1 é aquele imediatamente na saída do reservatório superior. Por outro lado, um trecho de ordem 2 é um subtrecho do trecho de ordem 1, e assim por diante. Ademais, o que define um subtrecho de um determinado trecho é a mudança de diâmetro e a presença de conexão tê, ou seja, derivações de direção dentro do sistema, conforme ilustrado na Figura 24.

**Figura 24** - Ordem de classificação dos trechos.

Fonte: Autor (2022).

É exibido na Tabela 2, como os algoritmos, desenvolvidos nas seções subsequentes, nomeiam os trechos de acordo com a ordem. De forma direta, um trecho de ordem 1 só pode, portanto, ser nomeado por um único número (1, 2 ou 3, por exemplo). Trechos de ordem 2 são nomeados com a numeração do trecho 1, acrescidos de um ponto (“.”) mais um número, sendo este número 1 ou 2, por conta das conexões tê, nas quais se derivam em dois novos trechos.

**Tabela 2** - Exemplo geral de nomeação e ordem dos trechos.

<b>Ordem</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
<b>Trecho</b>	1	1.1	1.1.1	1.1.1.1
				1.1.1.2
			1.1.2	1.1.2.1
				1.1.2.2
		1.2	1.2.1	1.2.1.1
				1.2.1.2
			1.2.2	1.2.2.1
				1.2.2.2

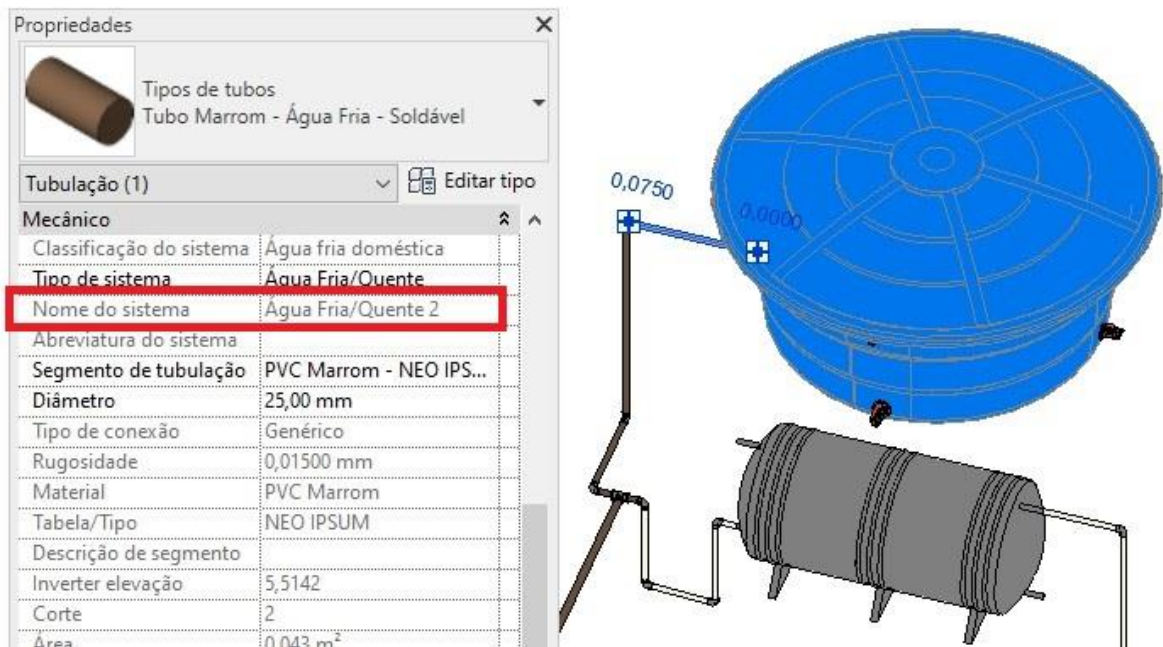
A rotina de nomeação, no entanto, nomeia um trecho de ordem 1 com base na numeração do sistema, onde tal sistema é classificado e nomeado pelo Revit, conforme explicado na seção 4.2.2. É mostrada na Figura 25, uma tubulação conectada ao reservatório de água fria, onde automaticamente foi atribuído pelo Revit o sistema Água Fria/Quente 2 a essa



tubulação, e conseqüentemente, todas as outras tubulações conectadas em cadeia até os pontos de utilização.

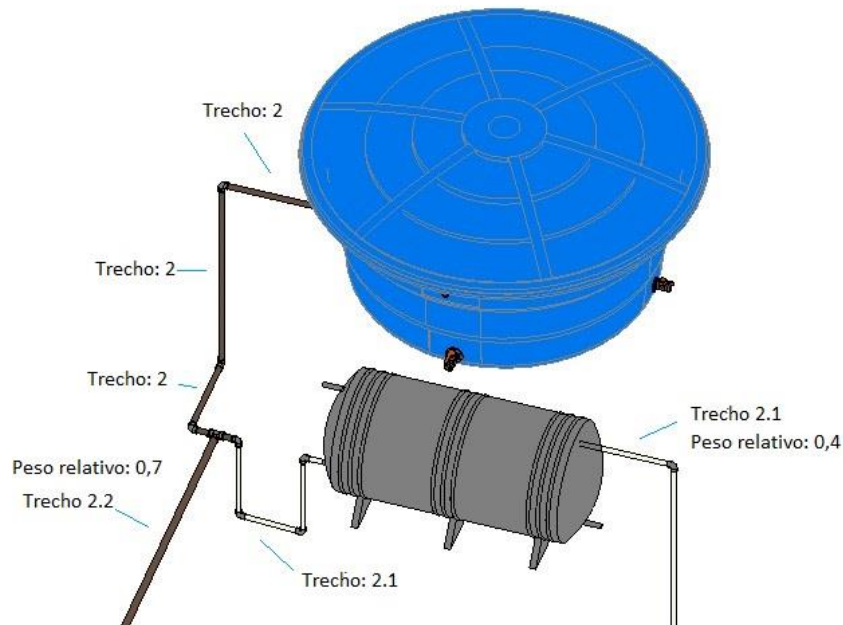
Portanto, os trechos e subtrechos deste sistema serão nomeados seguindo a lógica da Tabela 2, porém, tendo como base o número 2, conforme mostrado na Figura 25. Além disso, é importante mencionar que foi necessário estabelecer um critério, visando a padronização, para a ordem de nomeação em derivações decorrentes da conexão tê, uma vez que esta divide o sistema em dois subsistemas. Nesse caso, é nomeado primeiramente, aquele trecho que apresenta o menor peso relativo, conforme mostrado na Figura 26.

**Figura 25** - Exemplo de classificação automática do sistema de tubulação.



Fonte: Autor (2022).

**Figura 26** - Exemplo de nomeação de trechos de acordo com o nome do sistema.

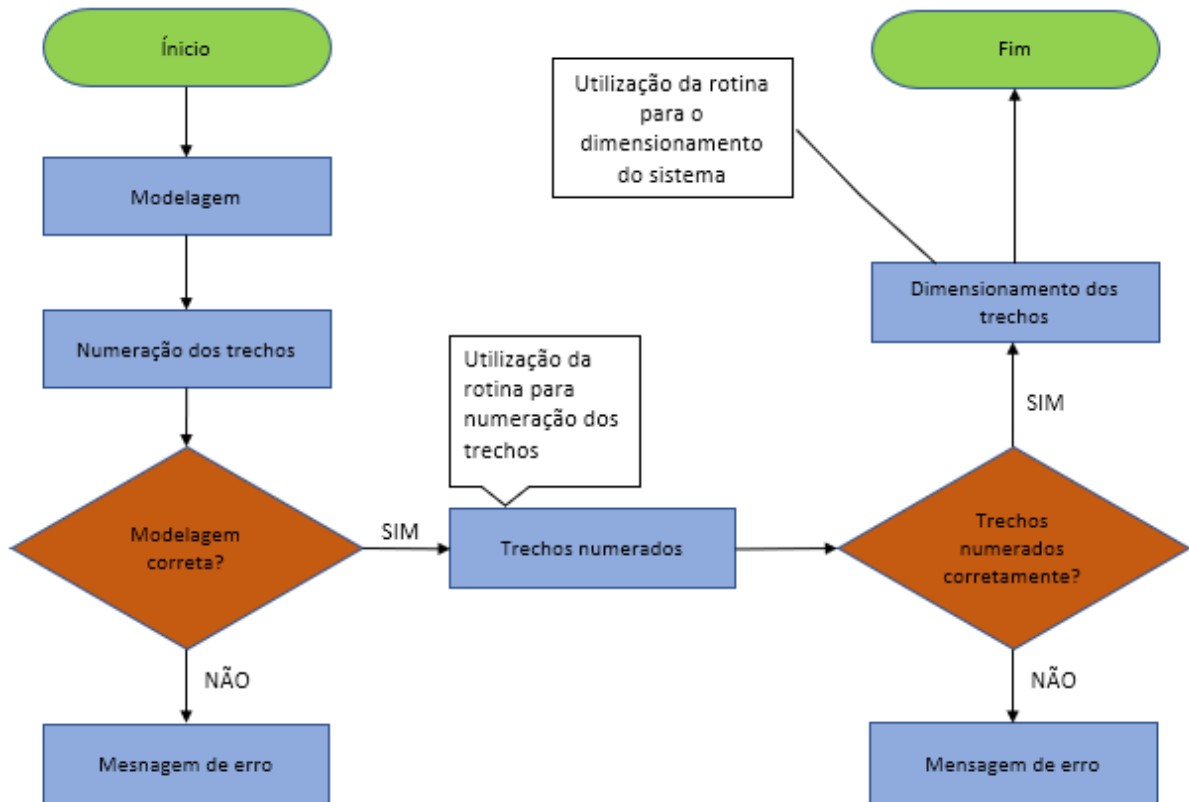


Fonte: Autor (2022).

#### 4.4 Criação das Rotinas de cálculo

Foram desenvolvidas duas rotinas, sendo a primeira responsável pela nomeação e numeração dos trechos de tubulação, enquanto que a segunda realiza as verificações e dimensionamento dos sistemas de água fria e água quente. Assim, é mostrado na Figura 27, o fluxo de trabalho para o dimensionamento dos sistemas de água fria e água quente utilizando o *template* e as rotinas criadas.

**Figura 27** - Fluxograma ilustrando as etapas para o dimensionamento utilizando as rotinas desenvolvidas.



Fonte: Autor (2022).

Dessa forma, para o início do processo, o usuário deve fazer a modelagem dos sistemas de água fria e água quente (caso haja) no *template* elaborado. Tal modelagem, por sua vez, deve ser feita de maneira correta, ou seja, o sistema de abastecimento deve ser do tipo indireto por gravidade e todas as tubulações e equipamentos de utilização devem estar conectados em cadeia, de maneira que o fluxo da água não seja interrompido. Em caso de modelagem incorreta, o Revit não é capaz de fazer o somatório automático dos pesos dos equipamentos até o reservatório de água fria.

Uma vez que a modelagem foi realizada corretamente, é possível executar a primeira rotina, na qual é responsável pela nomeação dos trechos dos sistemas, conforme metodologia apresentada na seção 4.3. Por fim, com todos os trechos numerados corretamente, é realizado o dimensionamento dos sistemas, por meio da rotina 2, considerando o consumo máximo provável de água.

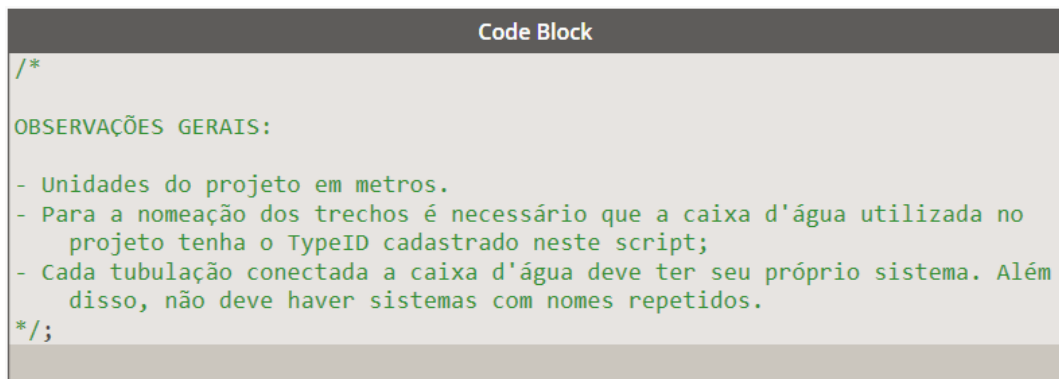
A seguir, é apresentada de forma detalhada a construção das rotinas responsáveis pela numeração dos trechos e dimensionamento.

#### 4.4.1 Rotina I – Numeração dos trechos

Nesta seção é explicado o método de construção da rotina responsável pela numeração dos trechos e seu modo de funcionamento. Por questão de visualização e, principalmente, de didática, a rotina foi subdividida em seções menores e numeradas de acordo com sua ordem de execução, sendo cada seção devidamente explicada no decorrer desta seção.

De início, em relação à seção 1, Figura 28, foi criado um *Code Block* contendo as observações gerais sobre a rotina em questão. Tais observações referem-se aos requisitos que devem ser atendidos para o correto funcionamento do algoritmo, evitando resultados inesperados. Além disso, o mesmo não é responsável por executar nenhum tipo de ação além de orientar, informar e facilitar a manutenção e/ou atualização da rotina por parte do(s) programador(es).

**Figura 28** - Observações gerais acerca da rotina de numeração de trechos.



```
Code Block
/*
OBSERVAÇÕES GERAIS:
- Unidades do projeto em metros.
- Para a nomeação dos trechos é necessário que a caixa d'água utilizada no
  projeto tenha oTypeID cadastrado neste script;
- Cada tubulação conectada a caixa d'água deve ter seu próprio sistema. Além
  disso, não deve haver sistemas com nomes repetidos.
*/;
```

Fonte: Autor (2022).

O *template* criado conta com 3 tipos de caixas d'água cadastradas, as quais podem ser utilizadas no desenvolvimento de projetos de sistemas prediais dentro do modelo. Dessa forma, o cadastro de tais elementos foi realizado utilizando a identidade de família, no qual se trata de uma identificação única das famílias dentro do Revit, conforme destacado em alaranjado na Figura 30. Os elementos cadastrados estão apresentados na Figura 29.

**Figura 29** - Tipos de caixas d'água cadastradas no modelo.



Fonte: Autor (2022).

Tem-se na seção 2, Figura 30, as primeiras ações do algoritmo propriamente dito. Esta seção é responsável por filtrar, dentre todos os elementos inseridos no projeto, somente o reservatório de água fria.

**Figura 30** – Seção 2 do algoritmo, responsável por filtrar o reservatório de água fria.

The screenshot displays a software interface with the following components:

- Code Block (top):** Contains the following code:
 

```
//Family ID das caixas d'aguas
tigre = 2510198;
fortlev1 = 2128627;
fortlev2 = 2133529;
out = [tigre,fortlev1,fortlev2];
```
- Categories (bottom left):** A dropdown menu showing 'Peças hidrossanitárias' and a 'Category' column.
- All Elements of Category (bottom left):** A table with 'Category' and 'Elements' columns.
- Code Block (middle right):** Contains the following code:
 

```
x xIDs = Elements.Element.Id(Revit.FamilyInstance.GetFamily(x));
familyIDs bools = DSCore.List.Contains(familyIDs,xIDs<1>);
filtered = DSCore.List.FilterByBoolMask(x,bools);
out= Dictionary.ValueAtKey(filtered,"in");
```
- List (bottom right):** Shows a single element: 'Caixa com Tampa - 1000 L' with a highlighted ID of 2811626.

Fonte: Autor (2022).

Após selecionar o reservatório de água fria, a seção 3, Figura 31, determina quais tubulações se conectam a caixa d'água, ou seja, tubulações nas quais estão posicionadas na saída do reservatório. Primeiramente, o elemento caixa d'água é inserido no Nó customizado *MEP conector info* da biblioteca *MEPOver*, no qual identifica todos os elementos (tubulação, conexões e equipamentos) conectados em cadeia desde a caixa d'água até os pontos de utilização. O resultado é uma lista de elementos, sem uma ordem sequencial. Esta lista, por sua vez, é inserida no nó *Code Block*, no qual tem a função de filtrar somente as tubulações que estão conectadas ao reservatório.

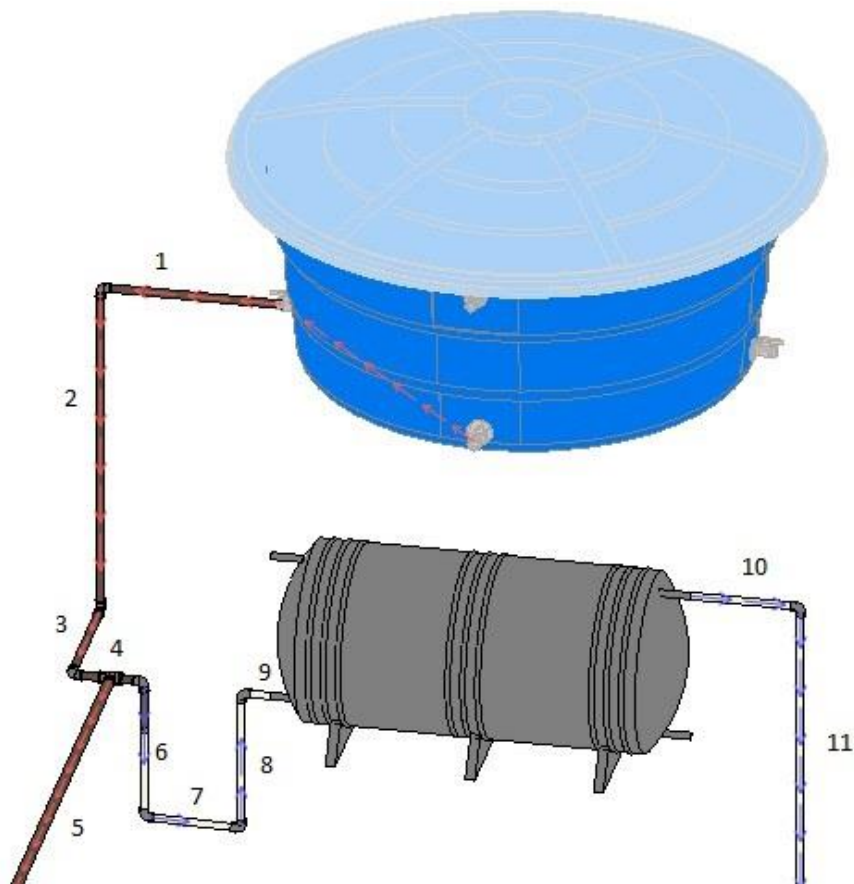
**Figura 31** - Seção 3 com a função de filtrar somente as tubulações conectadas a caixa d'água.



Fonte: Autor (2022).

Na sequência, foi desenvolvido a parte do algoritmo responsável por identificar, organizar e listar sequencialmente as tubulações desde a caixa d'água até os pontos de utilização com base no fluxo de água, conforme ilustrado na Figura 32.

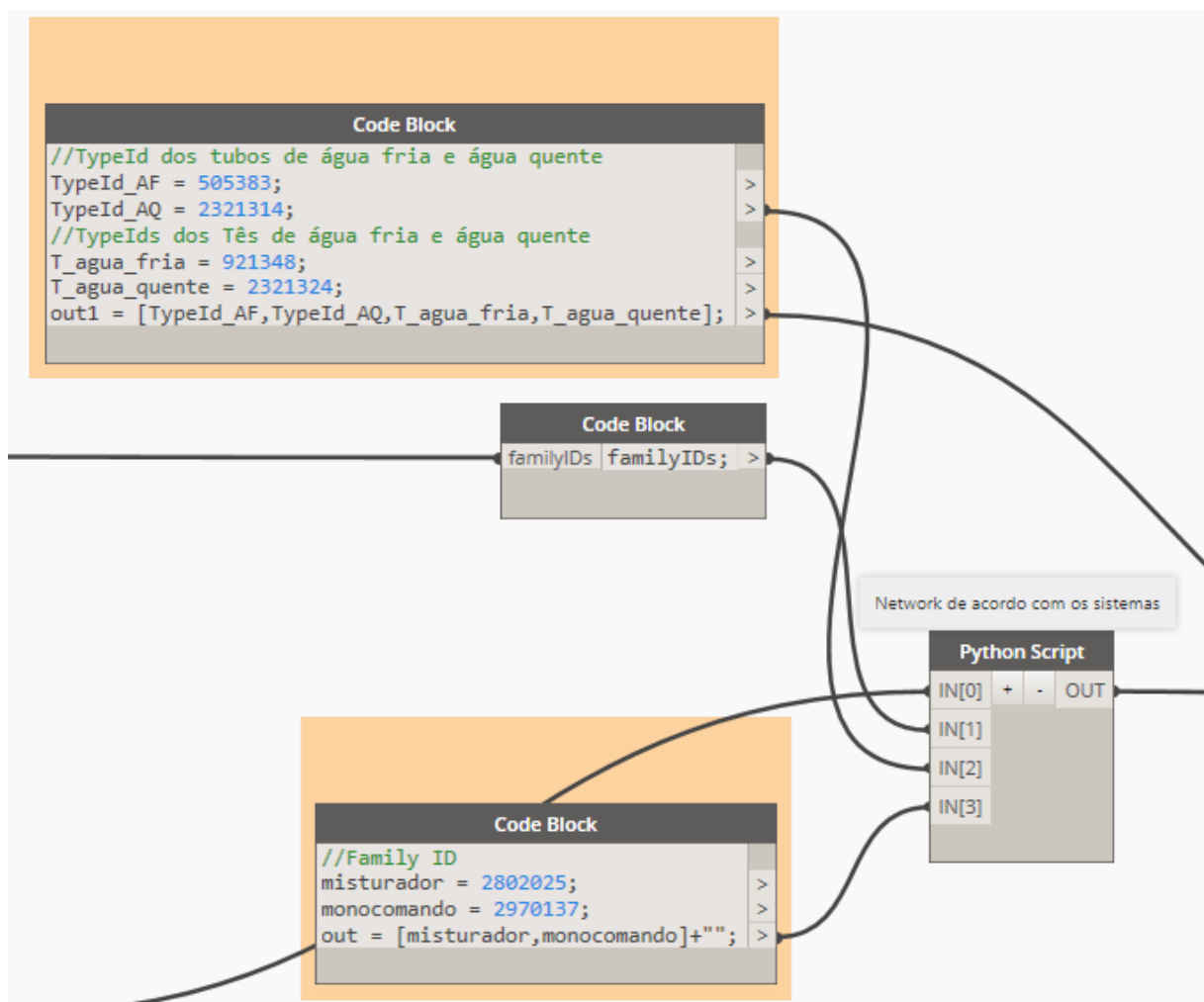
**Figura 32** – Exemplo de sequenciamento de tubulações de acordo com o fluxo de água.



Fonte: Autor (2022).

Para essa tarefa, no entanto, foi necessário desenvolver um código específico utilizando a linguagem Python para o acesso ao API do Revit, uma vez que não existem Nós (nativos ou customizados) capazes de listar tubulações sequencialmente desde o reservatório até os pontos de utilização. Dessa forma, conforme mostrado na Figura 33, tem-se o Nó *Code Block*, contendo a identidade de tipo das tubulações de água fria e água quente, bem como a identidade de tipo das respectivas conexões do tipo tê destas tubulações. Tem-se, também, outro Nó *Code Block* contendo a identidade de família dos misturadores/monocomando para chuveiros.

**Figura 33** - Seção 4, responsável por organizar as tubulações de acordo com o fluxo da água.

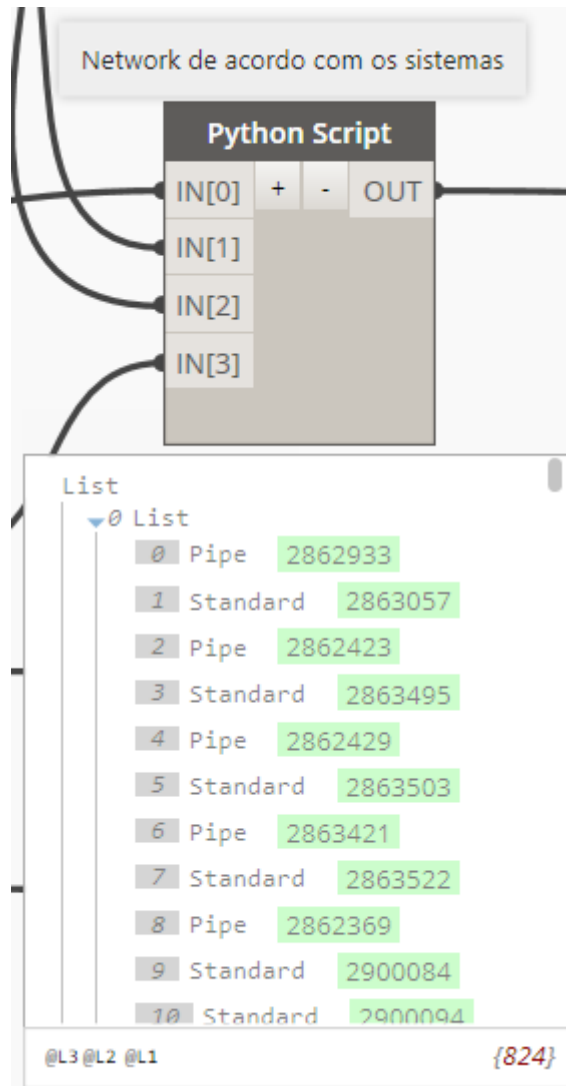


Fonte: Autor (2022).

Dessa forma, a lista contendo as tubulações que se conectam a caixa d'água são inseridas no Nó Python. Este Nó, por sua vez, tem a função de organizar todas as tubulações, conexões e equipamentos do projeto de forma sequencial, partindo do reservatório principal até os pontos

de utilização, conforme o sentido de fluxo. Assim, é exibida na Figura 34, a lista de elementos organizada de acordo com o sentido do fluxo.

**Figura 34** - Lista de elementos organizados de forma sequencial, de acordo com o fluxo d'água.



Fonte: Autor (2022).

Posteriormente, os elementos organizados, passam para o processamento na seção 5, Figura 35, responsável pela nomeação dos trechos. Esta seção é composta por 3 nós, sendo eles um *Code Block*, com a função de filtrar as tubulações e conexões, retirando os demais elementos da lista. Esses elementos, então, são processados na sequência pelo Nó Python, no qual atribui valores aos parâmetros de trecho e numeração das tubulações, conforme ilustrado na Figura 36, de modo que as mesmas são nomeadas de acordo com o exemplo mostrado na Figura 37, e também de acordo com os comentários realizados na seção 4.3.

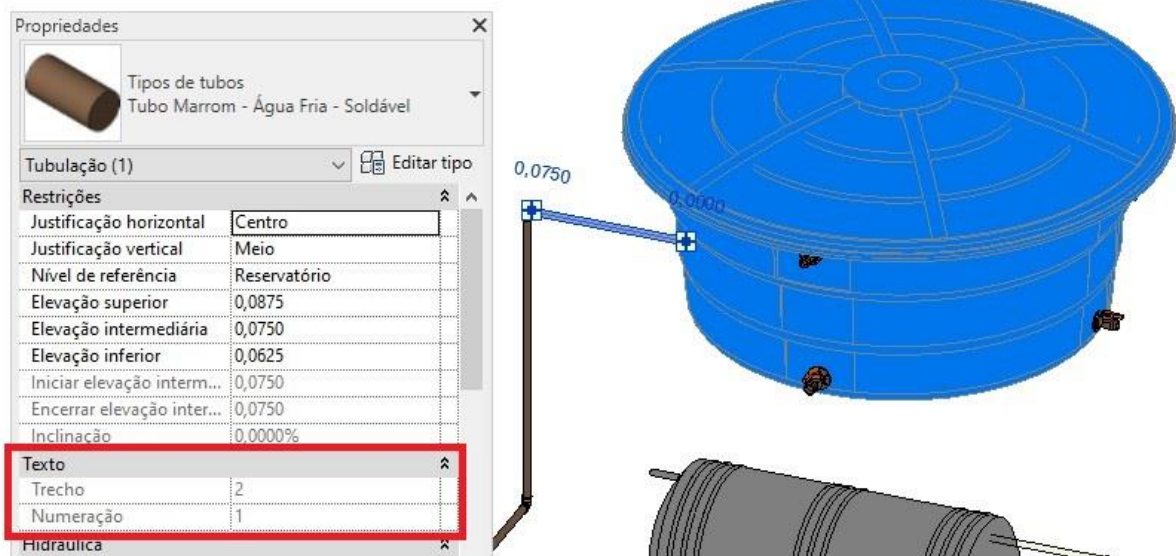


**Figura 35** - Seção 5 com função de nomear e numerar os trechos de tubulação.



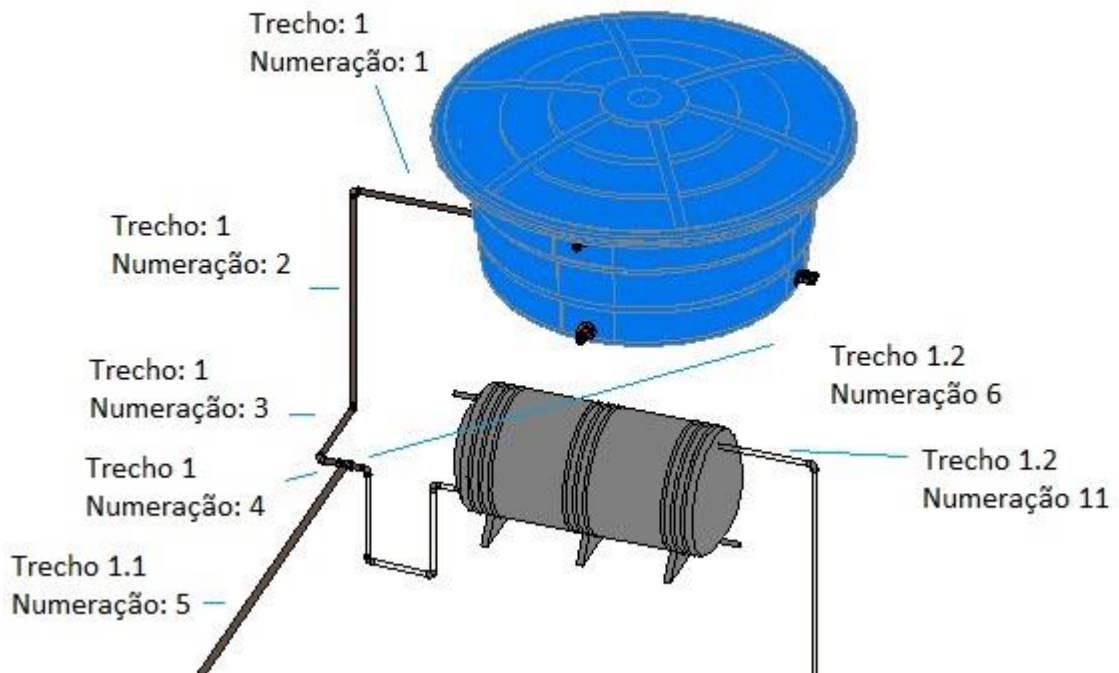
Fonte: Autor (2022).

**Figura 36** - Modificação dos parâmetros Trecho e Numeração das tubulações.



Fonte: Autor (2022).

**Figura 37** - Exemplo de nomeação e numeração de trechos.



Fonte: Autor (2022).

Após o processamento na seção anterior, os elementos são encaminhados para a seção 6 e 7. Na seção 6, ilustrada na Figura 38, são verificados, nos trechos, os critérios de pressões mínimas e máximas, considerando as pressões dinâmicas e estáticas comentadas na seção 2.6.

**Figura 38** - Seção 6, responsável pela verificação das pressões nos trechos.

```

Code Block
x trecho = Elements.Element.GetParameterValueByName(x,"Trecho");
groups = DSCore.List.GroupByKey(x<1>,trecho<1>["groups"]);
equip = DSCore.List.LastItem(DSCore.List.Sort(Elements.Element.
    GetParameterValueByName(groups,"Equipamento")<1><1><1><1>);
equip_fix1 = equip=="?" "-" : equip;
equip_fix2 = DSCore.String.Contains(equip_fix1<1>,"monocomando chuveiro"?
    "Chuveiro":equip_fix1;
apply_par = Elements.Element.SetParameterByName(groups,"Equipamento",equip_fix2);

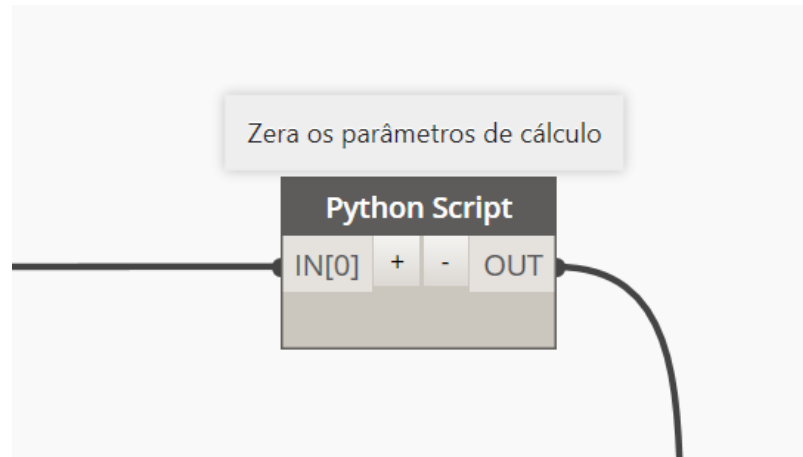
```

Fonte: Autor (2022).

Posteriormente, todos os elementos passam pelo nó Python (Figura 39), na seção 7, cuja função é zerar todos os parâmetros de cálculo das tubulações, conforme exibido na Figura 40. Dessa forma, sempre que uma tubulação é alterada no modelo, ou seja, caso haja alteração no diâmetro, comprimento ou qualquer outro tipo de alteração, ou inserção de novas tubulações, é

necessário reexecutar a rotina para realização da nomeação e numeração dos trechos e para zerar os parâmetros de cálculo.

**Figura 39** - Seção 7 responsável por zerar os parâmetros de cálculo.



Fonte: Autor (2022).

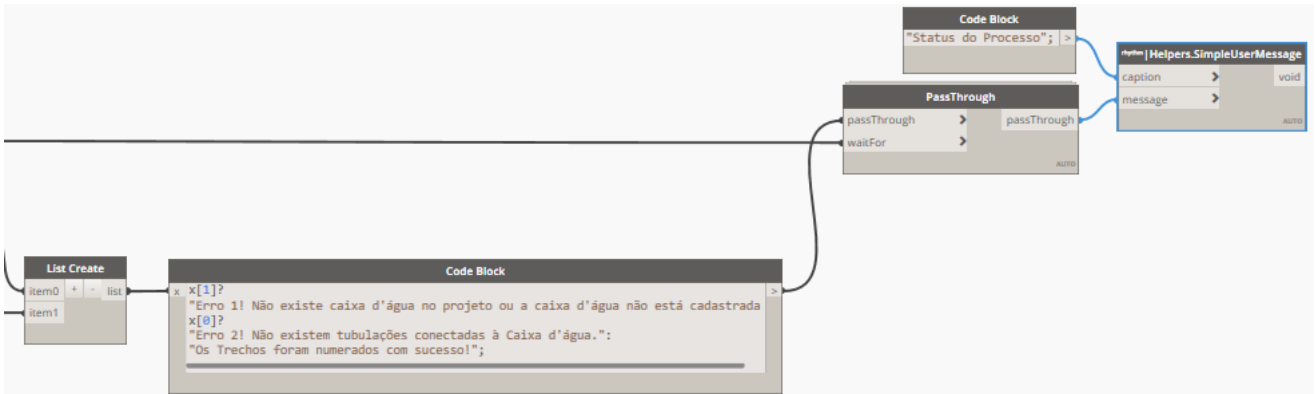
**Figura 40** - Atribuição do valor zero para os parâmetros de cálculo.

Hidráulica	
Peso	0,000000
Vazão	0,00 L/s
Velocidade	0,00 m/s
Perda carga unitária (m...)	0,000000
Singularidade	
Comp. Equivalente	0,0000
Perda de carga	0,0000
Pressão montante	0,00000 kPa
Pressão jusante	0,00000 kPa

Fonte: Autor (2022).

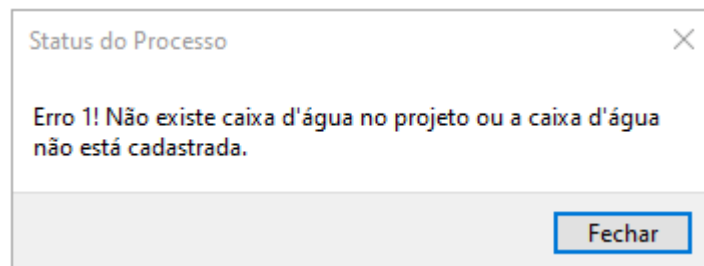
Por fim, a seção 8, mostrada na Figura 41, exibe os avisos referentes a todas as etapas anteriores. Nesse caso, é exibida uma mensagem ao usuário, informando se houve algum tipo de erro durante o processo ou se os trechos foram numerados com sucesso, conforme apresentado nas Figuras 42 e 43.

**Figura 41** - Seção 8 que é responsável por exibir uma mensagem quanto da existência de erros ou não durante o processo.



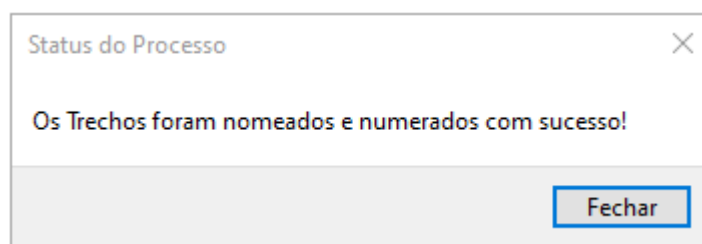
Fonte: Autor (2022).

**Figura 42** - Mensagem de erro devido à ausência ou cadastro indevido de caixa d'água.



Fonte: Autor (2022).

**Figura 43** - Aviso no caso de dimensionamento realizado com sucesso.



Fonte: Autor (2022).

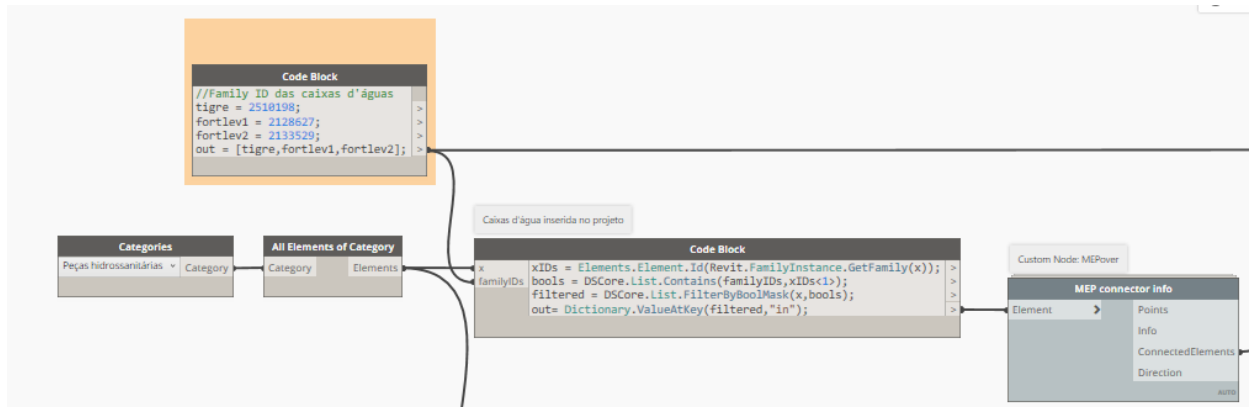
#### 4.4.2 Rotina 2 - Dimensionamento

Assim como na seção anterior, a rotina de dimensionamento também foi dividida em seções, onde as mesmas foram explanadas ao longo de toda essa seção.

De modo semelhante ao início da rotina anterior, a seção 1 desta rotina é responsável por filtrar, dentre todos os elementos, as tubulações conectadas à caixa d'água. A Figura 44

exibe a parte 1 da seção 1, na qual é responsável por filtrar a caixa d'água utilizada no projeto. Tendo a caixa d'água filtrada, o nó *MEP conector info* encontra todos os elementos que se conectam de forma direta e indireta a caixa d'água. Assim como na rotina anterior, é necessário que a caixa d'água em questão esteja devidamente cadastrada no algoritmo, conforme exibido na Figura 44, destacado em laranja.

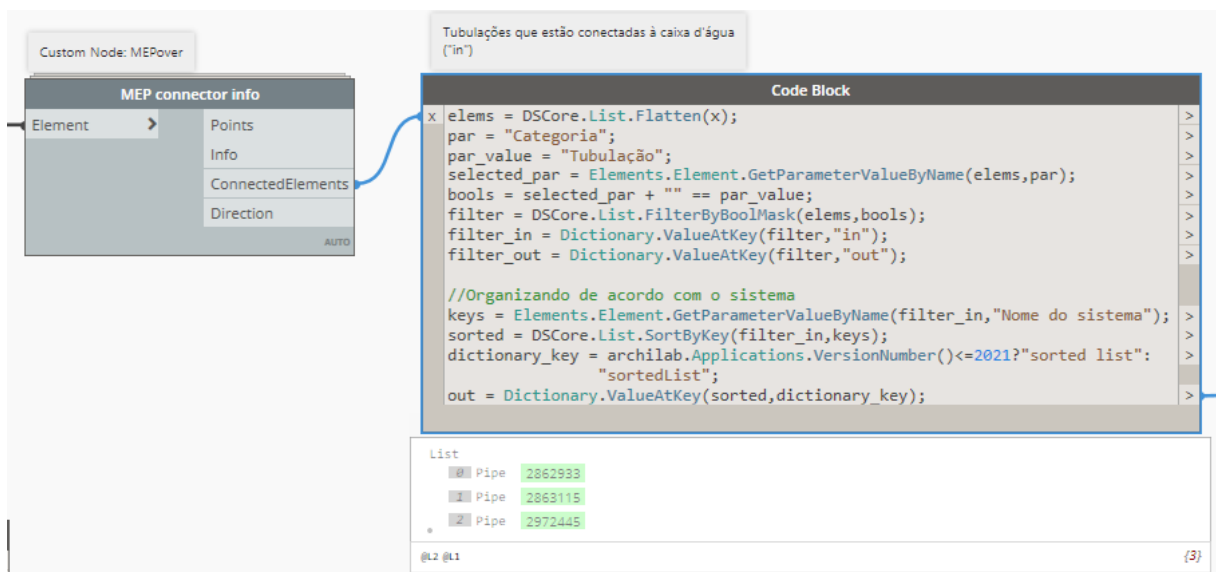
**Figura 44** - Seção 1 responsável por filtrar as tubulações conectadas à caixa d'água (parte 1).



Fonte: Autor (2022).

Posteriormente, os elementos são inseridos no Nó *Code Block* (Figura 45) que, por sua vez, filtra dentro todos os elementos, as tubulações que fazem parte da tomada de água imediatamente na saída do reservatório em questão.

**Figura 45** - Seção 1 responsável por filtrar as tubulações conectadas à caixa d'água (parte 2).



Fonte: Autor (2022).

Em seguida, na seção 2, todas as tubulações do projeto são agrupadas de acordo com o seu tipo de sistema, no *Code Block* da Figura 46, pois como se sabe, as tubulações que derivam da caixa d'água, possuem uma classificação de sistema único, conforme mostrado na seção 4.2.2.

**Figura 46** - Seção 2 na qual agrupa todas as tubulações do projeto de acordo com a classificação do parâmetro "Nome do sistema".

The screenshot shows a software interface with two tables at the top: 'Categories' (with columns 'Tubulação' and 'Category') and 'All Elements of Category' (with columns 'Category' and 'Elements'). A blue arrow points from the 'Elements' column to a 'Code Block' window. A text box above the code block says 'Tubulações dos sistemas que se conectam a caixa d'água'. The code block contains the following C# code:

```

x sys1 = Elements.Element.GetParameterValueByName(x,"Nome do sistema"); >
y sys2 = Elements.Element.GetParameterValueByName(y,"Nome do sistema"); >
groups = DSCore.List.GroupByKey(x,sys1); >
grouped = Dictionary.ValueAtKey(groups,"groups"); >
keys = Dictionary.ValueAtKey(groups,"unique keys"); >
bools = DSCore .List.Contains(sys2,keys<1>); >
filter = DSCore.List.FilterByBoolMask(grouped,bools); >
pipes = Dictionary.ValueAtKey(filter,"in"); >

```

Fonte: Autor (2022).

A seção 3, por sua vez, ilustrada na Figura 47, verifica se todas as tubulações inseridas no projeto estão numeradas corretamente. Logo, se o usuário executar primeiramente a rotina de nomeação dos trechos e, posteriormente, inserir novas tubulações no modelo, essas novas tubulações não estariam nomeadas e, eventualmente, não seriam processadas pela rotina de dimensionamento, o que resultaria em um dimensionamento totalmente impreciso. Portanto, esta seção impede que o resto do algoritmo seja executado.

**Figura 47** - Code Block com função de verificar a consistência do modelo, bem como se todas as tubulações estão numeradas (Seção 3).

Verificação se os trechos estão nomeados corretamente

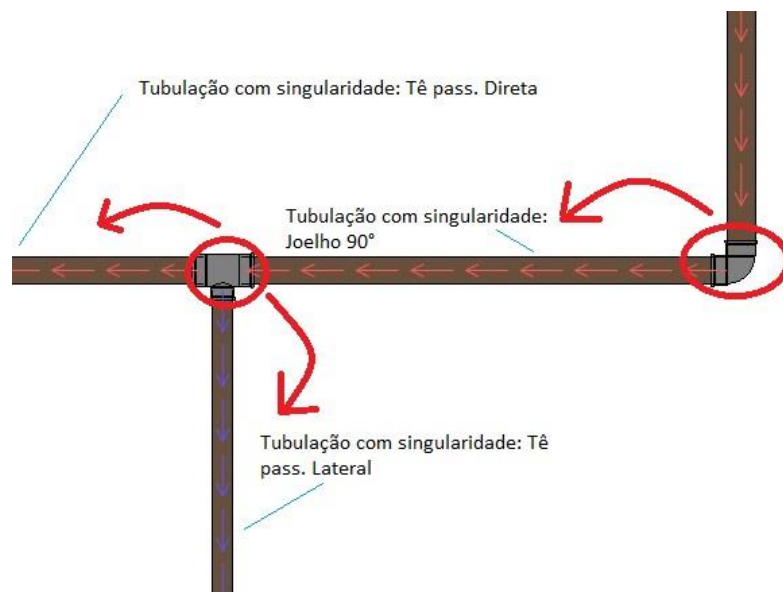
```

Code Block
x trecho = Elements.Element.GetParameterValueByName(x,"Trecho");
num = Elements.Element.GetParameterValueByName(x,"Numeração");
sort = DSCore.List.SortByKey(x<1>,DSCore.String.ToNumber(num)<1>);
sorted = Dictionary.ValueAtKey(sort,archilab.
    Applications.VersionNumber()<=2021?"sorted list":"sortedList");
bools = trecho == "";
check = DSCore.List.AllFalse(bools);
packed = [[],sorted];
idx = check? 1 : 0;
out = packed[idx];
  
```

Fonte: Autor (2022).

Após a verificação, caso esteja tudo correto, o algoritmo entra na seção 4, responsável por atribuir às tubulações o tipo de singularidade nas quais estão conectadas. Para fins de padronização e, principalmente, para o desenvolvimento do algoritmo, é dito que uma singularidade pertence a uma tubulação se a mesma se conectada na entrada da tubulação (tendo o fluxo da água como referência), conforme mostrado na Figura 48.

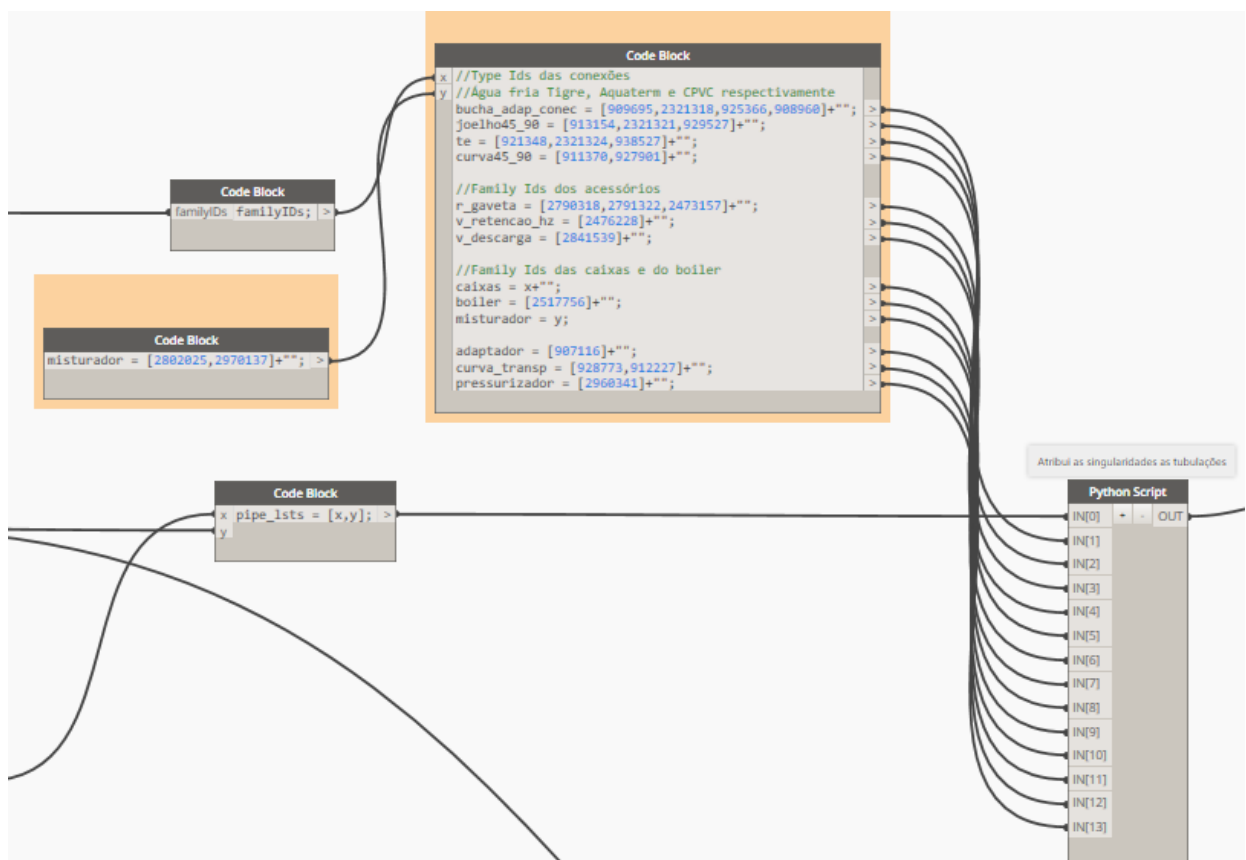
**Figura 48** - Ilustração de como são atribuídas as singularidades às tubulações.



Fonte: Autor (2022).

Primeiramente, para a execução da seção 4, foi necessário cadastrar as identidades de tipo e de família de todas as singularidades que compõem um projeto de sistemas prediais, como, por exemplo, os joelhos de 45° e 90°. Logo, dentro do algoritmo o cadastro de tais elementos foi realizado como destacado em alaranjado na Figura 49. Por fim, as tubulações processadas na seção anterior são inseridas no Nó Python, no qual atribui a todas tubulações as correspondentes singularidades, modificando o parâmetro compartilhado Singularidade.

**Figura 49** - Seção 4, responsável por atribuir o tipo de singularidades às tubulações.



Fonte: Autor (2022).

Após atribuição do tipo de singularidade, é realizado, na seção 5, a atribuição dos comprimentos equivalentes às tubulações, tendo como base as singularidades anteriormente determinadas. Nesta etapa foi utilizado um dicionário de programação para registrar os comprimentos equivalentes de todas as singularidades disponíveis para utilização no modelo, de acordo com os comprimentos e singularidades mostrados na Figura 50. O dicionário contendo todas as singularidades e comprimentos equivalentes é exibido na Figura 51.



**Figura 50** - Perdas de carga localizadas: Sua equivalência em metros de tubulação de PVC rígido.

DE (mm)	D. ref. (pol.)	Joelho 90°	Joelho 45°	Curva 90°	Curva 45°	Tê 90° Passagem Direita	Tê 90° Saída de lado	Tê 90° Saída Bilateral	Entrada Normal	Entrada de Borda	Saída de Canalização	Válvula de Pé e Crivo	Válvula de Retenção Tipo Leve	Válvula de Retenção Tipo Pesado	Registro de Globo Aberto	Registro de Gaveta Aberto	Registro de Ângulo Aberto
20	½"	1,1	0,4	0,4	0,2	0,7	2,3	2,3	0,3	0,9	0,8	8,1	2,5	3,6	11,1	0,1	5,9
25	¾"	1,2	0,5	0,5	0,3	0,8	2,4	2,4	0,4	1,0	0,9	9,5	2,7	4,1	11,4	0,2	6,1
32	1"	1,5	0,7	0,6	0,4	0,9	3,1	3,1	0,5	1,2	1,3	13,3	3,8	5,8	15,0	0,3	8,4
40	1¼"	2,0	1,0	0,7	0,5	1,5	4,6	4,6	0,6	1,8	1,4	15,5	4,9	7,4	22,0	0,4	10,5
50	1½"	3,2	1,3	1,2	0,6	2,2	7,3	7,3	1,0	2,3	3,2	18,3	6,8	9,1	35,8	0,7	17,0
60	2"	3,4	1,5	1,3	0,7	2,3	7,6	7,6	1,5	2,8	3,3	23,7	7,1	10,8	37,9	0,8	18,5
75	2½"	3,7	1,7	1,4	0,8	2,4	7,8	7,8	1,6	3,3	3,5	25,0	8,2	12,5	38,0	0,9	19,0
85	3"	3,9	1,8	1,5	0,9	2,5	8,0	8,0	2,0	3,7	3,7	26,8	9,3	14,2	40,0	0,9	20,0
110	4"	4,3	1,9	1,6	1,0	2,6	8,3	8,3	2,2	4,0	3,9	28,6	10,4	16,0	42,3	1,0	22,1

Fonte: Tigre (2021).

**Figura 51** - Singularidades e comprimentos equivalentes em metros em forma de dicionário.

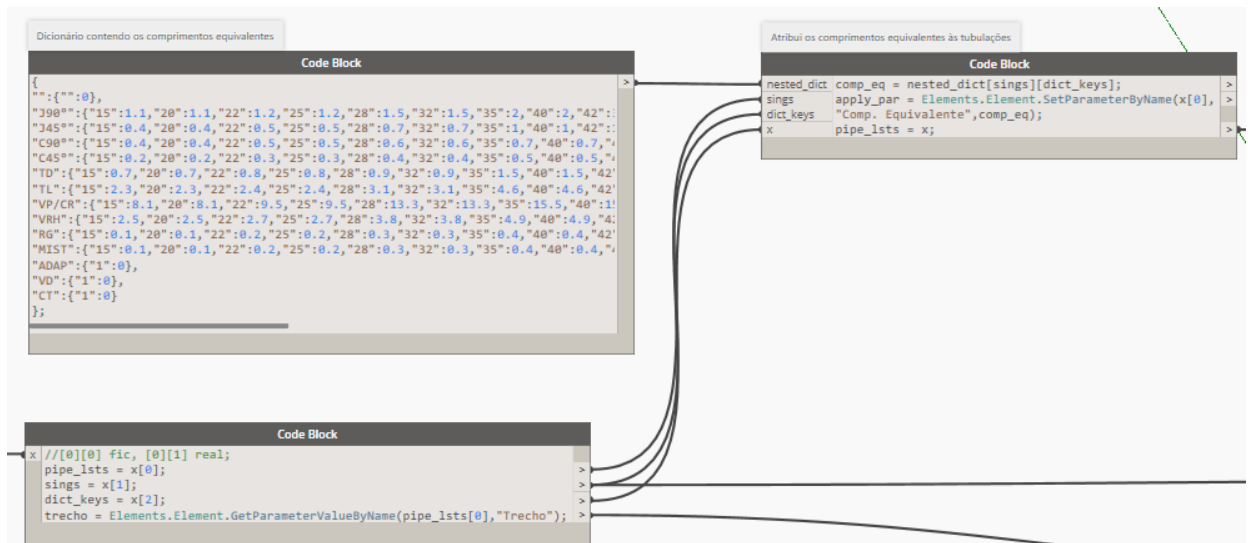
```

Dicionário contendo os comprimentos equivalentes
Code Block
{
  "": {"": 0},
  "J90": {"15": 1.1, "20": 1.1, "22": 1.2, "25": 1.2, "28": 1.5, "32": 1.5, "35": 2, "40": 2, "42": 2},
  "J45": {"15": 0.4, "20": 0.4, "22": 0.5, "25": 0.5, "28": 0.7, "32": 0.7, "35": 1, "40": 1, "42": 1},
  "C90": {"15": 0.4, "20": 0.4, "22": 0.5, "25": 0.5, "28": 0.6, "32": 0.6, "35": 0.7, "40": 0.7, "42": 0.7},
  "C45": {"15": 0.2, "20": 0.2, "22": 0.3, "25": 0.3, "28": 0.4, "32": 0.4, "35": 0.5, "40": 0.5, "42": 0.5},
  "TD": {"15": 0.7, "20": 0.7, "22": 0.8, "25": 0.8, "28": 0.9, "32": 0.9, "35": 1.5, "40": 1.5, "42": 1.5},
  "TL": {"15": 2.3, "20": 2.3, "22": 2.4, "25": 2.4, "28": 3.1, "32": 3.1, "35": 4.6, "40": 4.6, "42": 4.6},
  "VP/CR": {"15": 8.1, "20": 8.1, "22": 9.5, "25": 9.5, "28": 13.3, "32": 13.3, "35": 15.5, "40": 15.5},
  "VRH": {"15": 2.5, "20": 2.5, "22": 2.7, "25": 2.7, "28": 3.8, "32": 3.8, "35": 4.9, "40": 4.9, "42": 4.9},
  "RG": {"15": 0.1, "20": 0.1, "22": 0.2, "25": 0.2, "28": 0.3, "32": 0.3, "35": 0.4, "40": 0.4, "42": 0.4},
  "MIST": {"15": 0.1, "20": 0.1, "22": 0.2, "25": 0.2, "28": 0.3, "32": 0.3, "35": 0.4, "40": 0.4, "42": 0.4},
  "ADAP": {"1": 0},
  "VD": {"1": 0},
  "CT": {"1": 0}
};
    
```

Fonte: Autor (2022).

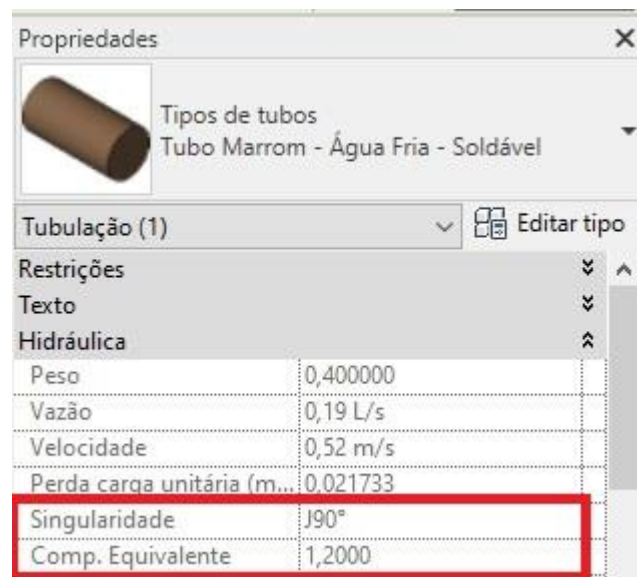
Dessa forma, as tubulações da etapa anterior são processadas uma a uma na seção 6, na qual o Nó superior à direita na Figura 52, lê o parâmetro “Singularidade” de todas as tubulações e procura os correspondentes valores no dicionário da Figura 51, para atribuir os respectivos valores de comprimento equivalente no parâmetro “Comp. Equivalente” das tubulações. É mostrado na Figura 53, um exemplo de tubulação com singularidade igual à um joelho de 90° e seu respectivo comprimento equivalente obtido por meio do dicionário Dynamo.

**Figura 52** – Seção 5, responsável pela atribuição dos comprimentos equivalentes às tubulações.



Fonte: Autor (2022).

**Figura 53** - Atribuição do comprimento equivalente de acordo com a singularidade.



Fonte: Autor (2022).

Após a atribuição do comprimento equivalente para cada tubulação, e uma vez que os trechos estão devidamente nomeados, é calculado na seção 6, Figuras 54 e 55, o comprimento total equivalente nos trechos.

**Figura 54** - Seção 6, responsável pelo cálculo total do comprimento equivalente nos trechos (parte 1).

```

Code Block
sings grouped1 = DSCore.List.GroupByKey(sings<1>,trecho_fix<1>);
trecho_fix grouped1 = Dictionary.ValueAtKey(grouped1,"groups");
groups1 = Dictionary.ValueAtKey(grouped1,"groups");
grouped2 = DSCore.List.GroupByKey(groups1<1><1>,groups1<1><1>);
groups2 = Dictionary.ValueAtKey(grouped2,"groups");
count = DSCore.List.FirstItem(groups2<1><1><1>=" " ||
DSCore.List.Count(groups2<1><1><1>="1? "nulo":
DSCore.List.Count(groups2<1><1><1>+"*");
first_itm2 = DSCore.List.FirstItem(groups2<1><1><1>);
quantity = count + first_itm2;
sings_trecho = DSCore.String.Join("+",quantity);
sings_fix = DSCore.String.Replace(DSCore.String.Replace
(sings_trecho,"nulo+",""),"nulo","");
out = trecho_fix;

Atribui as singularidades totais nos trechos
Code Block
x trecho = Elements.Element.GetParameterValueByName(x[1],"Trecho");
y grouped = DSCore.List.GroupByKey(x[1]<1>,trecho<1>);
groups = Dictionary.ValueAtKey(grouped,"groups");
apply_par = Elements.Element.SetParameterByName(groups,
"Singularidades Trecho",y);
pipes_lsts = x;
  
```

Fonte: Autor (2022).

**Figura 55** - Seção 6, responsável pelo cálculo total do comprimento equivalente nos trechos (parte 2).

```

Atribui o comprimento equivalente total nos trechos
Code Block
y trecho_fix = y;
x comp_eq_calc=Elements.Element.GetParameterValueByName(x[0],"Comp. Equivalente");
grouped1 = DSCore.List.GroupByKey(comp_eq_calc<1>,trecho_fix<1>);
groups1 = Dictionary.ValueAtKey(grouped1,"groups");
comp_eqv_trecho = DSCore.Math.Sum(groups1);
trecho2 = Elements.Element.GetParameterValueByName(x[1],"Trecho");
grouped2 = DSCore.List.GroupByKey(x[1]<1>,trecho2<1>);
groups2 = Dictionary.ValueAtKey(grouped2,"groups");
apply_par = Elements.Element.SetParameterByName(groups2,
"Comp. Equivalente Trecho",comp_eqv_trecho);
packed = [x,apply_par,trecho_fix];
  
```

Fonte: Autor (2022).

Posteriormente, na seção 7, Figura 56, são calculados os pesos, a vazão, a velocidade e a perda de carga unitária em cada segmento de tubulação, utilizando as equações descritas na seção 2.7.

**Figura 56** – Seção 7, responsável pelo cálculo do peso, vazão, velocidade e perda de carga nos trechos.

Cálculo: Peso, vazão, velocidade e perda de carga unitária

```

Code Block
x unidades = archilab.Applications.VersionNumber() <= 2021 ? "Unidades de luminárias":
  "Unidades de carga";
pesos = Elements.Element.GetParameterValueByName(x[1], unidades);
vazão = 0.3 * DSCore.Math.Sqrt(pesos);
d_int = Elements.Element.GetParameterValueByName(x[1], "Diâmetro interno");
vel = (vazão / 1000) / (DSCore.Math.PI * DSCore.Math.Pow(d_int / 1000, 2) / 4);
perda_unit = 0.000869 * DSCore.Math.Pow(vazão / 1000, 1.75) /
  DSCore.Math.Pow(d_int / 1000, 4.75);
apply_par1 = Elements.Element.SetParameterByName(x[1], "Peso", pesos);
apply_par2 = Elements.Element.SetParameterByName(x[1], "Vazão", vazão);
apply_par3 = Elements.Element.SetParameterByName(x[1], "Velocidade", vel);
apply_par4 = Elements.Element.SetParameterByName(x[1],
  "Perda carga unitária (m/m)", perda_unit);
packed = x;

```

Fonte: Autor (2022).

Em seguida, na seção 8 (Figura 57), são calculados, nos trechos, o comprimento total, a perda de carga unitária total, o comprimento equivalente total e a perda de carga.

**Figura 57** - Cálculo do comprimento dos trechos, perda de carga unitária total, comprimento equivalente total no trecho e perda de carga total (Seção 8).

Cálculo: Comprimento trecho, perda unitária total no trecho, comprimento equivalente total no trecho e perda de carga no trecho

```

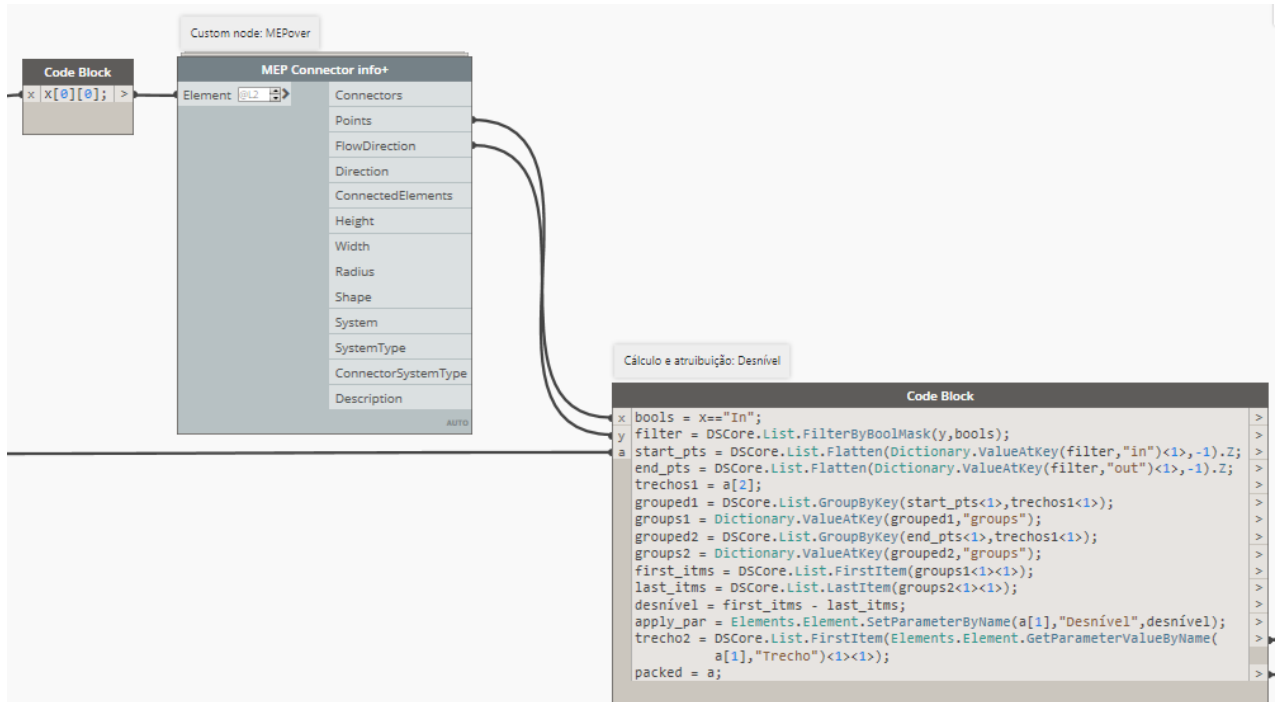
Code Block
x comp = Elements.Element.GetParameterValueByName(x[0][0], "Comprimento");
b grouped1 = DSCore.List.GroupByKey(comp < 1, x[2] < 1);
groups1 = Dictionary.ValueAtKey(grouped1, "groups");
comp_trecho = DSCore.Math.Sum(groups1);
perda_unit_trecho = DSCore.List.FirstItem(b < 1 < 1);
comp_eq_trecho = DSCore.List.FirstItem(Elements.Element.
  GetParameterValueByName(x[1], "Comp. Equivalente Trecho") < 1 < 1);
perda_carga = comp_trecho * perda_unit_trecho + comp_eq_trecho * perda_unit_trecho;
apply_par1 = Elements.Element.SetParameterByName(x[1],
  "Comprimento Trecho", comp_trecho);
apply_par2 = Elements.Element.SetParameterByName(x[1], "Perda de carga",
  perda_carga);
packed = x;

```

Fonte: Autor (2022).

A seção 9, mostrada na Figura 58, por sua vez, é responsável por calcular, para cada trecho, o desnível e, em seguida, atribuir os valores calculados aos respectivos trechos.

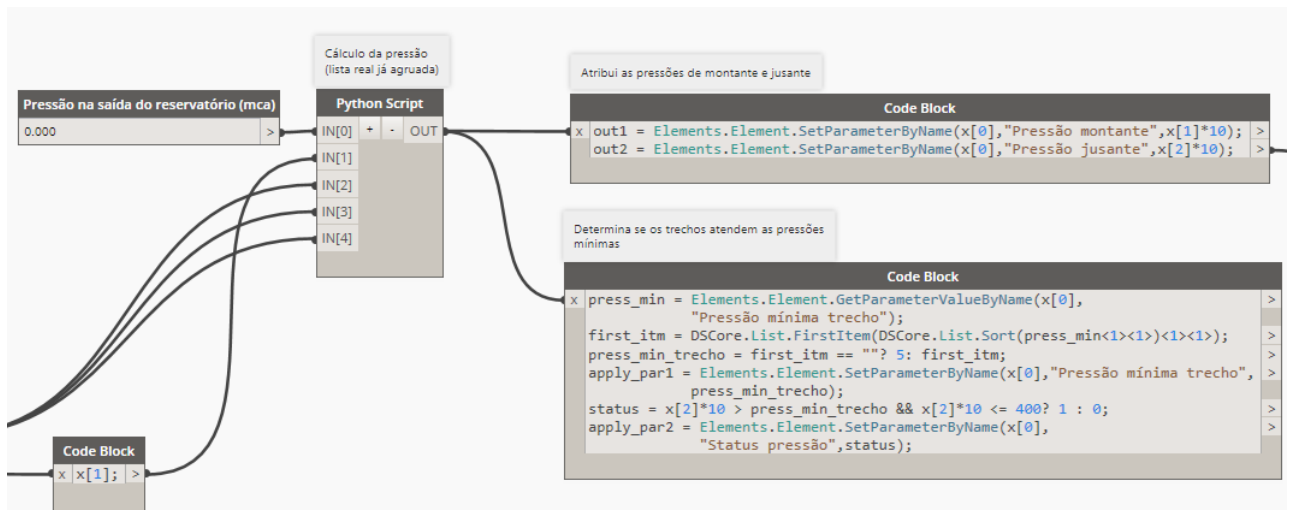
**Figura 58** – Seção 9, responsável por calcular o desnível de cada trecho e atribuir os valores ao parâmetro desnível.



Fonte: Autor (2022).

Por fim, são calculados, na seção 10, as pressões (montante e jusante) nos trechos por meio do Nó Python mostrado na Figura 59 e, em seguida, tais pressões são atribuídas aos parâmetros de pressão montante e pressão jusante, por meio do Nó superior à direita. O Nó inferior à direita, por sua vez, é responsável por determinar se os trechos atendem as pressões mínimas e máximas, considerando as pressões dinâmicas e estáticas.

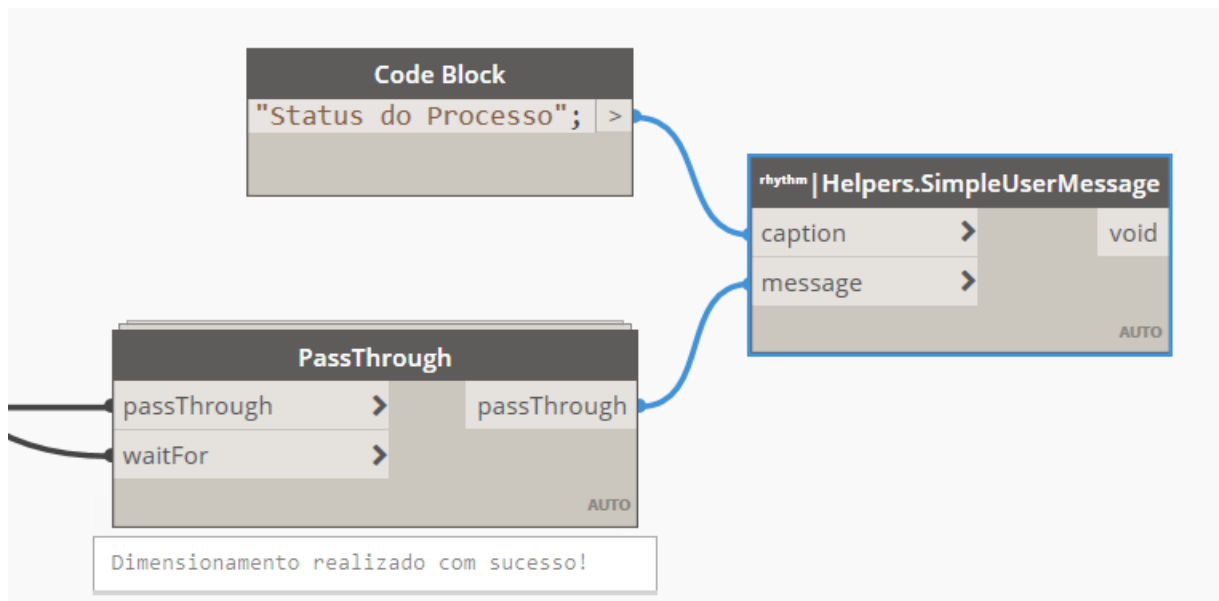
**Figura 59** - Cálculo das pressões de montante e jusante dos trechos (seção 10).



Fonte: Autor (2022).

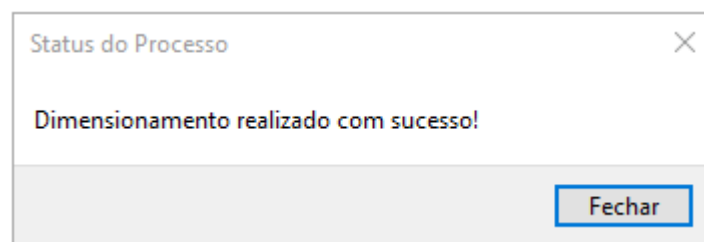
Ao final do algoritmo, na seção 11, é exibido um aviso ao usuário informando se houve algum tipo de erro no processo de dimensionamento ou se os trechos foram dimensionados corretamente, conforme mostrado nas Figuras 60 e 61.

**Figura 60** - Seção 11, responsável por exibir a lista de erros (se houver) ou indicar se o dimensionamento foi realizado corretamente.



Fonte: Autor (2022).

**Figura 61** - Mensagem exibida ao usuário, indicando que o dimensionamento foi realizado corretamente.



Fonte: Autor (2022).

## 5 OBSERVAÇÕES SOBRE AS ROTINAS

Assim como qualquer outro *software* ou *plug-ins*, as rotinas para o dimensionamento dos sistemas de água fria e água quente possuem limitações. Nesse sentido, foram encontradas duas limitações referentes à modelagem dos sistemas de água fria/água quente, as quais interferem diretamente no funcionamento das rotinas. A primeira destas limitações está

relacionada à inserção de respiros nas tubulações do sistema. Os respiros possuem um papel muito importante dentro do sistema predial de água. Assim, Abrava (2009), discorre sobre os respiros da seguinte forma:

Na saída para o consumo de água quente para a edificação deve-se instalar um respiro: sua instalação é de uso obrigatório e tem a função de deixar sair ar e vapor, aliviando a pressão do sistema e não permitindo que o reservatório seja submetido a pressões positiva ou negativa, o que poderia levar a um rompimento.

Apesar de se apresentarem obrigatórios na saída dos reservatório de água quente, no Revit esse tipo de sistema com respiro, conforme ilustrado na Figura 62, causa um “erro” no somatório automático de pesos relativos do sistema. Isso se deve ao fato de que, uma vez que nesse trecho do suspiro não há fluxo de água, o correspondente peso possui valor igual a zero e isso faz com que o Revit assuma que na saída do reservatório o peso relativo também seja zero.

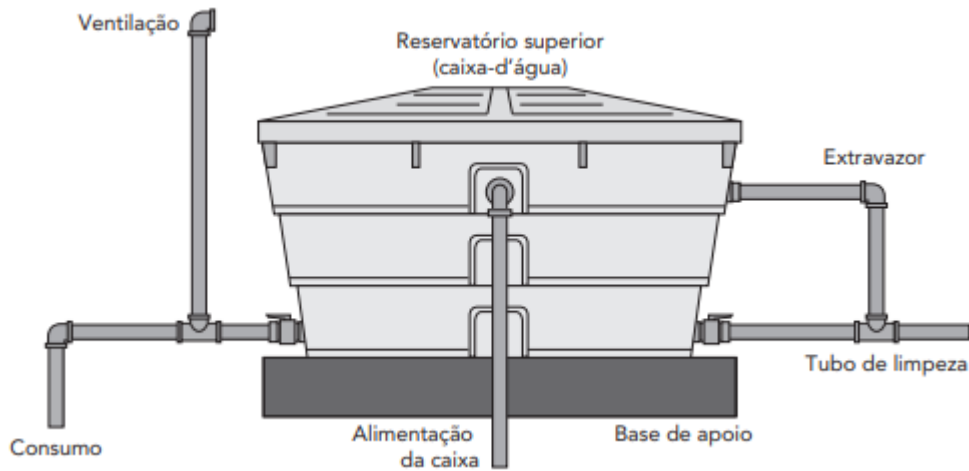
**Figura 62** - Ilustração esquemática do respiro na saída do reservatório de água quente.



Fonte: Adaptado de Abrava (2009).

Pelo mesmo motivo, a utilização de tubos de ventilação e extravasor, conforme ilustrado na Figura 63, acarreta o mesmo erro no somatório de pesos do *software*.

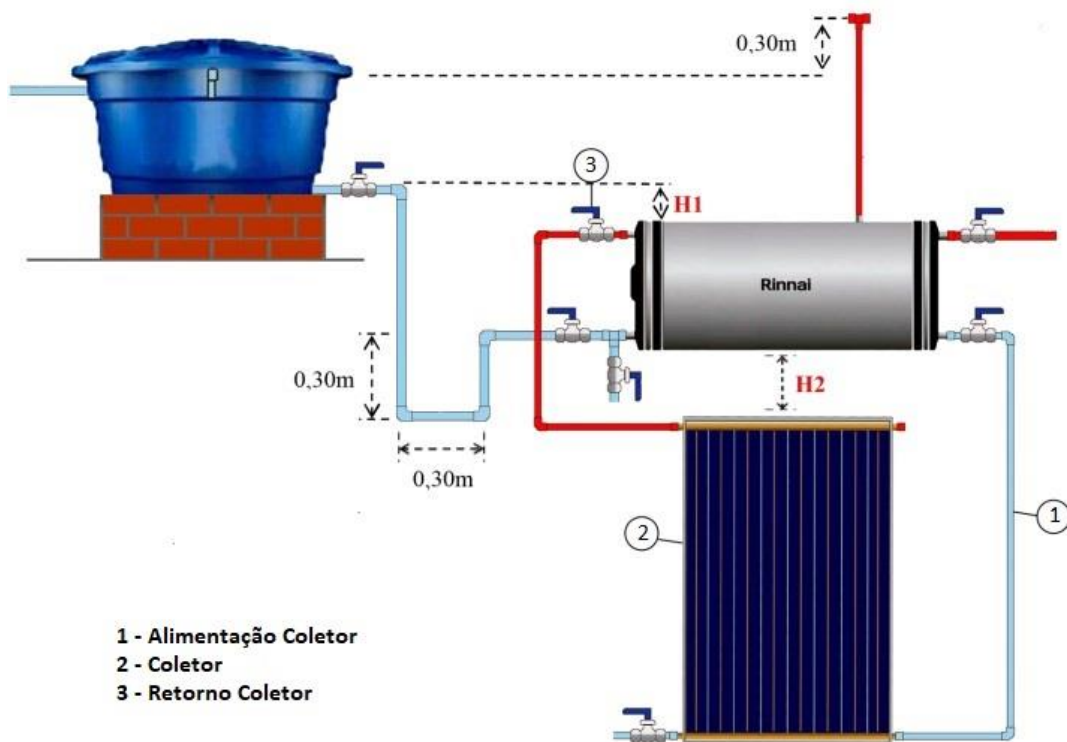
**Figura 63** - Ilustração esquemática de um reservatório de água fria.



Fonte: Júnior (2014).

Por outro lado, a modelagem do sistema coletor, conforme mostrado na Figura 64, não acarreta nenhuma influência no processo de dimensionamento pois, embora haja fluxo de água, não há pontos de utilização sendo abastecidos diretamente.

**Figura 64** - Ilustração de um sistema de circulação natural por termossifão.



Fonte: Rinnai (2021).



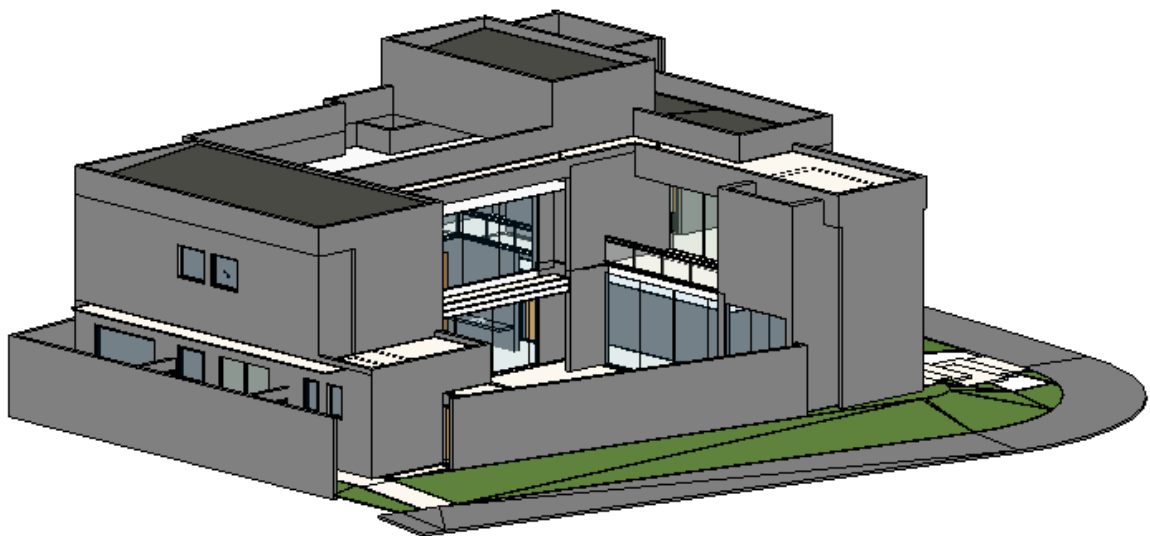
Em relação a compatibilidade, tem-se que as rotinas desenvolvidas são compatíveis com todas as versões do Revit superiores ou iguais a versão 2020, desde que estas versões estejam configuradas no idioma Português.

## 6 APLICAÇÃO PRÁTICA

Para a validação das rotinas desenvolvidas na etapa anterior, foram feitas aplicações das mesmas em um projeto hidrossanitário real, fornecido pela empresa ATTA Engenharia, no qual o projeto arquitetônico é exibido na Figura 65. Em relação ao projeto, o mesmo consistia em um projeto completo, contendo todo o sistema de água fria, água quente e esgoto. Entretanto, como neste trabalho é tratado somente do dimensionamento de água fria e água quente e as rotinas foram programadas para serem executadas no *template* desenvolvido, foi necessário realizar toda a modelagem do sistema de água fria e água quente, conforme mostrado na Figura 66.

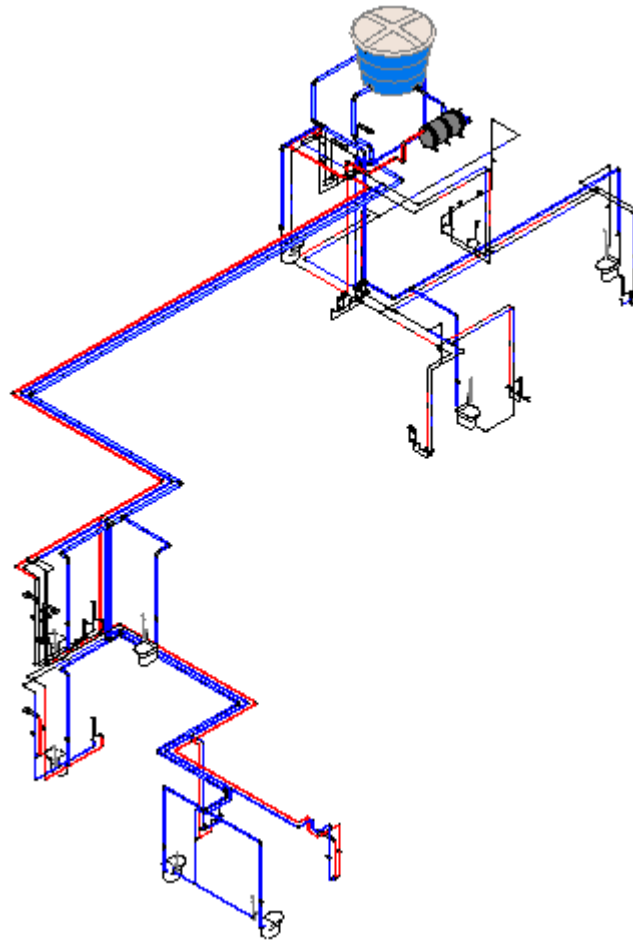
Posteriormente, compararam-se os resultados obtidos pelos algoritmos com os resultados obtidos pelo processo de cálculo utilizando uma planilha Excel.

**Figura 65** - Projeto Arquitetônico.



Fonte: Autor (2022).

**Figura 66** - Perspectiva 3D das instalações de água fria e água quente.

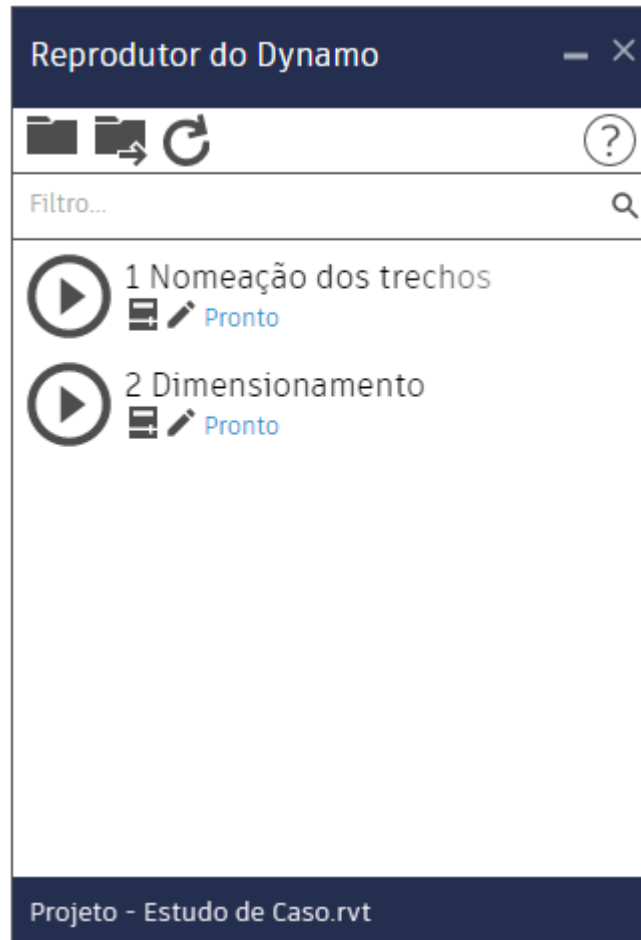


Fonte: Autor (2022).

## 6.1 Aplicação das rotinas

Após a efetiva modelagem dos sistemas de água fria e água quente, foram executadas as rotinas por meio do Reprodutor do Dynamo, conforme exibido na Figura 67. Assim, executou-se, primeiramente, a rotina para a numeração dos trechos e, posteriormente, a responsável pelo dimensionamento de todo o sistema.

**Figura 67** - Reprodutor do Dynamo contendo as rotinas desenvolvidas.



Fonte: Autor (2022).

É exibido na Figura 68, parte da tabela de dimensionamento, conforme mostrada na seção 4.2.3, produzida pelas rotinas. Ademais, são exibidos, na Figura 69, os resultados de dimensionamento por meio da utilização de uma planilha Excel. O resultado completo das rotinas bem como da planilha, podem ser consultados nos Apêndices A e B deste documento.

Figura 68 - Tabela de dimensionamento.

<Dimensionamento>													
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
Trecho	Equipamento	Peso	Vazão (L/s)	DI (mm)	Velocidade	L (m)	J (m/m)	Singularidades	Comp. Eq (m)	P. Carga (m)	Desnível (m)	P. Montante	P. Jusante
<b>Água Fria/Quente 1</b>													
1	-	96	2,94 L/s	75,60 mm	0,65 m/s	2,95	0,01	3*J90°	11,70	0,10	1,184	0,00 kPa	10,84 kPa
1.1	-	32	1,70 L/s	53,40 mm	0,76 m/s	1,20	0,01	TL	7,60	0,12	0,000	10,84 kPa	9,64 kPa
1.1.1	-	32	1,70 L/s	44,00 mm	1,12 m/s	2,23	0,03	J90°	3,40	0,19	2,230	9,64 kPa	30,01 kPa
1.1.1.1	Bacia Sanitária p/ VD	32	1,70 L/s	35,20 mm	1,74 m/s	0,79	0,10	VD+J90°	2,00	0,28	0,719	30,01 kPa	34,44 kPa
1.2	-	64	2,40 L/s	66,60 mm	0,69 m/s	5,12	0,01	TD+J90°	6,20	0,10	3,796	10,84 kPa	47,80 kPa
1.2.1	-	64	2,40 L/s	53,40 mm	1,07 m/s	1,36	0,03	2*J90°	7,10	0,21	0,000	47,80 kPa	45,69 kPa
1.2.1.1	-	32	1,70 L/s	44,00 mm	1,12 m/s	8,80	0,03	TD+J90°	5,50	0,49	1,872	45,69 kPa	59,51 kPa
1.2.1.1.1	Bacia Sanitária p/ VD	32	1,70 L/s	35,20 mm	1,74 m/s	0,79	0,10	VD+J90°	2,00	0,28	0,719	59,51 kPa	63,93 kPa
1.2.1.2	-	32	1,70 L/s	44,00 mm	1,12 m/s	3,35	0,03	TL+J90°	10,50	0,47	1,872	45,69 kPa	59,66 kPa
1.2.1.2.1	Bacia Sanitária p/ VD	32	1,70 L/s	35,20 mm	1,74 m/s	0,79	0,10	VD+J90°	2,00	0,28	0,719	59,66 kPa	64,09 kPa
<b>Água Fria/Quente 2</b>													
2	-	160	3,79 L/s	75,60 mm	0,85 m/s	22,93	0,01	7*J90°	27,30	0,54	1,618	0,00 kPa	10,80 kPa
2.1	-	32	1,70 L/s	53,40 mm	0,76 m/s	1,89	0,01	TL+J90°	11,00	0,18	0,000	10,80 kPa	9,04 kPa
2.1.1	-	32	1,70 L/s	44,00 mm	1,12 m/s	1,80	0,03	J90°	3,40	0,18	1,796	9,04 kPa	25,22 kPa
2.1.1.1	Bacia Sanitária p/ VD	32	1,70 L/s	35,20 mm	1,74 m/s	0,79	0,10	VD+J90°	2,00	0,28	0,719	25,22 kPa	29,65 kPa
2.2	-	128	3,39 L/s	75,60 mm	0,76 m/s	0,29	0,01	TD	2,50	0,02	0,000	10,80 kPa	10,55 kPa
2.2.1	-	32	1,70 L/s	66,60 mm	0,49 m/s	1,74	0,00	TD+J90°	6,00	0,04	0,000	10,55 kPa	10,18 kPa
2.2.1.1	-	32	1,70 L/s	44,00 mm	1,12 m/s	1,78	0,03	J90°	3,70	0,19	1,779	10,18 kPa	26,10 kPa
2.2.1.1.1	Bacia Sanitária p/ VD	32	1,70 L/s	35,20 mm	1,74 m/s	0,79	0,10	VD+J90°	2,00	0,28	0,719	26,10 kPa	30,52 kPa
2.2.2	-	96	2,94 L/s	53,40 mm	1,31 m/s	3,29	0,04	TL	7,60	0,39	3,291	10,55 kPa	39,58 kPa
2.2.2.1	-	32	1,70 L/s	44,00 mm	1,12 m/s	3,65	0,03	TL+2*J90°	14,00	0,60	1,882	39,58 kPa	52,35 kPa
2.2.2.1.1	Bacia Sanitária p/ VD	32	1,70 L/s	35,20 mm	1,74 m/s	0,79	0,10	VD+J90°	2,00	0,28	0,719	52,35 kPa	56,78 kPa
2.2.2.2	-	64	2,40 L/s	53,40 mm	1,07 m/s	10,02	0,03	TL+5*J90°	24,60	0,87	0,180	39,58 kPa	32,71 kPa
2.2.2.2.1	-	32	1,70 L/s	44,00 mm	1,12 m/s	3,53	0,03	TL+J90°	10,50	0,48	1,702	32,71 kPa	44,93 kPa

Fonte: Autor (2022).

Figura 69 - Resultado do dimensionamento utilizando planilha Excel.

<b>Água Fria/Quente 1</b>													
Trecho	Peso	Vazão (l/s)	DI (mm)	Vel (m/s)	L (m)	J (m/m)	Singularidades	Comp. Eq (m)	P. Carga (m)	Desnível (m)	P. Montante (mca)	P. Jusante (mca)	P. Jusante (kPa)
1	96	2,94	75,60	0,65	2,95	0,01	3*J90°	11,7	0,10	1,184	0,00	1,08	10,84
1.1	32	1,70	53,40	0,76	1,2	0,01	TL	7,6	0,12	0,000	1,08	0,96	9,64
1.1.1	32	1,70	44,00	1,12	2,23	0,03	J90°	3,4	0,19	2,230	0,96	3,00	30,01
1.1.1.1	32	1,70	35,20	1,74	0,79	0,10	VD+J90°	2	0,28	0,719	3,00	3,44	34,44
1.2	64	2,40	66,60	0,69	5,12	0,01	TD+J90°	6	0,10	3,796	1,08	4,78	47,82
1.2.1	64	2,40	53,40	1,07	1,36	0,03	2*J90°	7,1	0,21	0,000	4,78	4,57	45,70
1.2.1.1	32	1,70	44,00	1,12	8,8	0,03	TD+J90°	5,4	0,49	1,872	4,57	5,96	59,56
1.2.1.1.1	32	1,70	35,20	1,74	0,79	0,10	VD+J90°	2	0,28	0,719	5,96	6,40	63,99
1.2.1.2	32	1,70	44,00	1,12	3,35	0,03	TL+J90°	10,5	0,47	1,872	4,57	5,97	59,68
1.2.1.2.1	32	1,70	35,20	1,74	0,79	0,10	VD+J90°	2	0,28	0,719	5,97	6,41	64,11
<b>Água Fria/Quente 2</b>													
Trecho	Peso	Vazão (l/s)	DI (mm)	Vel (m/s)	L (m)	J (m/m)	Singularidades	Comp. Eq (m)	P. Carga (m)	Desnível (m)	P. Montante (mca)	P. Jusante (mca)	P. Jusante (kPa)
2	160	3,79	75,60	0,85	22,93	0,01	7*J90°	27,30	0,54	1,618	0	1,08	10,80
2.1	32	1,70	53,40	0,76	1,89	0,01	TL+J90°	11,00	0,18	0,000	1,08	0,90	9,04
2.1.1	32	1,70	44,00	1,12	1,80	0,03	J90°	3,40	0,18	1,796	0,90	2,52	25,22
2.1.1.1	32	1,70	35,20	1,74	0,79	0,10	VD+J90°	2,00	0,28	0,719	2,52	2,97	29,65
2.2	128	3,39	75,60	0,76	0,29	0,01	TD	2,50	0,02	0,000	1,08	1,06	10,56
2.2.1	32	1,70	66,60	0,49	1,74	0,00	TD+J90°	6,20	0,04	0,000	1,06	1,02	10,18
2.2.1.1	32	1,70	44,00	1,12	1,78	0,03	J90°	3,70	0,19	1,779	1,02	2,61	26,09
2.2.1.1.1	32	1,70	35,20	1,74	0,79	0,10	VD+J90°	2,00	0,28	0,719	2,61	3,05	30,52
2.2.2	96	2,94	53,40	1,31	3,29	0,04	TL	7,60	0,39	3,291	1,06	3,96	39,58
2.2.2.1	32	1,70	44,00	1,12	3,65	0,03	TL+2*J90°	14,00	0,60	1,882	3,96	5,24	52,36
2.2.2.1.1	32	1,70	35,20	1,74	0,79	0,10	VD+J90°	2,00	0,28	0,719	5,24	5,68	56,79
2.2.2.2	64	2,40	53,40	1,07	10,02	0,03	TL+5*J90°	24,60	0,87	0,180	3,96	3,27	32,71
2.2.2.2.1	32	1,70	44,00	1,12	3,53	0,03	TL+J90°	10,50	0,48	1,702	3,27	4,49	44,93

Fonte: Autor (2022).

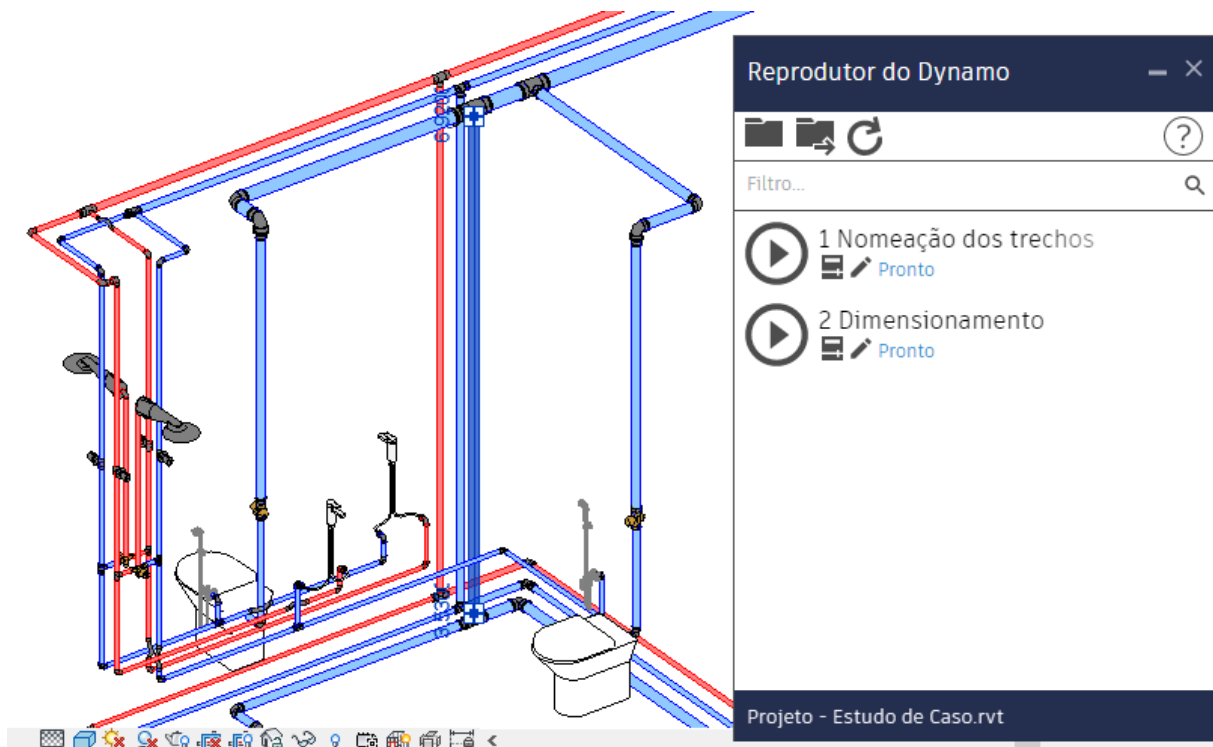
## 7 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O principal objetivo de implementar um sistema de dimensionamento, de acordo com a NBR 5626, 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 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, conforme ilustrado na Figura 70.

**Figura 70** - Utilização do Reprodutor Dynamo para atualização de informações de cálculo de acordo com mudanças feitas no projeto.



Fonte: Autor (2022).

No que se refere ao tempo de execução, é exibido na tabela 3 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.

**Tabela 3** - Tempo de execução das rotinas.

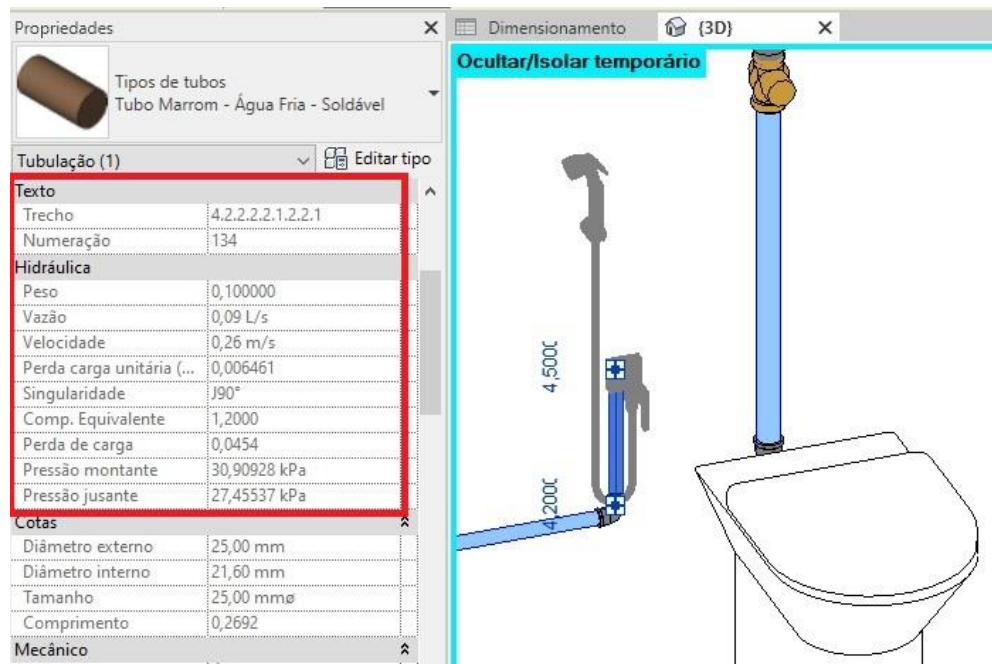
<b>Arquivo</b>	<b>Função</b>	<b>Tempo de Exec.</b>
Rotina 1	Nomeação dos trechos	7,76 s
Rotina 2	Dimensionamento	16,58 s

Fonte: Autor (2022).

Outro ponto importante levantado é a apresentação das informações de dimensionamento ao usuário, no qual as mesmas são apresentadas de duas formas, sendo elas:

- Tabela de dimensionamento: Possui todas as informações pertinentes ao dimensionamento, de forma intuitiva, permitindo que o usuário faça as devidas análises de forma prática, conforme mostrado na Figura 68. Além disso, a formatação condicional nas colunas da velocidade e pressões, permite a fácil identificação de trechos com altas velocidades ou problemas com as pressões dinâmicas e estáticas.
- Parâmetros das tubulações: Após o dimensionamento, os parâmetros das tubulações tem seus valores modificados pelas rotinas. Dessa forma, todas as tubulações contidas no projeto, possuem informações referentes ao dimensionamento, onde as mesmas podem ser visualizadas por meio da seleção de uma tubulação qualquer no modelo, conforme apresentado na Figura 71.

**Figura 71** - Visualização de Informações acerca do dimensionamento por meio de parâmetros.



Fonte: Autor (2022).

## 8 CONCLUSÕES

A metodologia proposta neste trabalho, teve por base a criação de algoritmos para o dimensionamento de sistemas prediais de água fria e água quente. Para isso, os algoritmos foram desenvolvidos utilizando a programação visual Dynamo bem como a linguagem de programação Python. Dessa forma, foi possível criar um fluxo de trabalho automático para o dimensionamento dos sistemas prediais com base no consumo provável de água e em conformidade com NBR 5626. Conclui-se, portanto, que foram atingidos todos os objetivos propostos inicialmente.

Frente ao fato de que o Revit não possui um sistema de dimensionamento 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 mais utilizado no mundo, 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 por meio de planilhas. Tal fato, evidencia uma grande superioridade na utilização das rotinas, como, por exemplo, o fator tempo, sobre o método tradicional.

No que diz respeito às limitações das ferramentas, foram identificadas poucas restrições com relação à modelagem dos sistemas de tubulações, tais como a modelagem do sistema com

presença de respiros e tubos de ventilação. Além disso, é necessário que todo sistema de tubulação tenha um reservatório de água, independentemente de sua capacidade.

A utilização do Reprodutor do Dynamo torna as rotinas acessíveis e de fácil manuseio, mesmo para usuários não familiarizados com programação. Assim, para a utilização das ferramentas de dimensionamento, o projetista basicamente necessita fazer a efetiva modelagem do sistema predial de água e, posteriormente, o dimensionamento e verificações por meio da execução das rotinas no *Dynamo Player*, não necessitando que o ambiente Dynamo seja aberto para a execução dos algoritmos.

Por meio deste trabalho foi possível aumentar as capacidades existentes do *software* Revit e integrar conhecimentos de programação e sistemas prediais de água, trazendo à plataforma BIM, maior eficiência, tecnologia e competitividade frente aos métodos tradicionais.

## REFERÊNCIAS

- ABRAVA - Associação Brasileira de Refrigeração, Ar condicionado Ventilação e Aquecimento. **Qualidade em instalações de aquecimento solar. Boas práticas.** São Paulo, dezembro de 2009. Disponível em: [https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/manuais/Qualidade\\_em\\_Instalacoes\\_de\\_Aquecimento\\_Solar.pdf](https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/manuais/Qualidade_em_Instalacoes_de_Aquecimento_Solar.pdf). Acesso em : 10/03/2022.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5626: Instalação predial de água fria.** Rio de Janeiro, 1998.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5626: Sistemas Prediais de Água Fria e Água Quente.** Rio de Janeiro, 2020.
- AUTODESK. **About Families.** Revit - Support and learning. Disponível em: <https://knowledge.autodesk.com/support/revit/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2019/ENU/Revit-Model/files/GUID-6DDC1D52-E847-4835-8F9A-466531E5FD29-htm.html>. Acesso em: 02/03/2022.
- AUTODESK. **About Parameters.** Revit - Support and learning. Disponível em: <https://knowledge.autodesk.com/support/revit/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2020/ENU/Revit-Model/files/GUID-E7D12B71-C50D-46D8-886B-8E0C2B285988-htm.html>. Acesso em: 02/03/2022.



- AUTODESK. **Creating Piping Systems**. Revit - Support and learning. Disponível em: <https://knowledge.autodesk.com/support/revit/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2019/ENU/Revit-Model/files/GUID-647C6E66-C353-409D-B9E8-B22333D5252D-htm.html>. Acesso em: 02/03/2022.
- AUTODESK. **Project Templates**. Revit - Support and learning. Disponível em: <https://knowledge.autodesk.com/support/revit/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2020/ENU/Revit-Customize/files/GUID-4C16B54A-7ADA-4DEB-A278-C199B1BC4207-htm.html>. Acesso em: 28/02/2022.
- AUTODESK. **Shared Parameters**. Revit - Support and learning. Disponível em: <https://knowledge.autodesk.com/support/revit/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2020/ENU/Revit-Model/files/GUID-E7D12B71-C50D-46D8-886B-8E0C2B285988-htm.html>. Acesso em: 02/03/2022.
- Azhar, S., A. Nadeem, J. Y. N. Mok and B. H. Y. Leung (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.
- CHAPPELL, Craig. **Zero to Hero – Tackling Dynamo from Scratch for MEP Engineers**. 2016.
- COSTA, Eveline Nunes. **Avaliação da Metodologia BIM para a compatibilização de projetos**. 2013 84p. Dissertação (Engenharia Civil) - Universidade de Ouro Preto. Ouro Preto.
- COSTA, Giorgy Maia. Revisão da ABNT NBR 5626–um estudo sobre novo texto de 2020. 2021.
- EASTMAN, C. M.; TEICHOLZ, P.; SACKS, R. e LISTON, K. **BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors**. Hoboken: Wiley, 2008, 490 p. CLAYTON et al (2008).
- ILHA, Marina Sangoi de Oliveira; GONÇALVES Orestes Marraccini. **Texto Técnico. Sistemas Prediais de Água fria**. Escola Politécnica da USP/Departamento de Engenharia de construção Civil.
- JÚNIOR, Roberto de Carvalho. **Instalações Prediais Hidráulico-sanitárias. Princípios básicos para elaboração de projetos**. 2014.

- KENSEK, Karen. **Visual programming for building information modeling: Energy and shading analysis case studies**. Journal of Green Building, v. 10, n. 4, p. 28-43, 2015.
- KRON, Zach. **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-Design-Dynamo-Visual-Programming-Revit-and-Autodesk-Vasari-2013>. Acesso em: 05/01/2022.
- NEZAMALDIN, Darwn. **Parametric design with Visual programming in Dynamo with Revit: The conversion from CAD models to BIM and the design of analytical applications**. 2019.
- Nolle, Tom. **Definition: Application Program Interface (API)**. 2019. Disponível em: <https://www.techtarget.com/searcharchitecture/definition/application-program-interface-API>. Acesso em: 08/03/2022.
- RINNAI. **Sistema de Aquecimento Solar (SAS)**. 2021.
- SOUZA, Livia L Alves De e LYRIO, Arnaldo de Magalhães. **Impactos do uso do BIM em escritórios de Arquitetura: Oportunidades no Mercado Imobiliário**. v.4, p. 26-53, 2009.
- TIGRE. **Predial: Água fria – Catalogo Técnico**. 2021.
- WHITBREAD, Simon. **Mastering Autodesk Revit MEP 2016: Autodesk Official Press**. John Wiley & Sons, 2015.

## APÊNDICE A – TABELA REVIT DE DIMENSIONAMENTO

Trecho	Equipamento	Peso	Vazão (L/s)	DI (mm)	Velocidade	L (m)	J (m/m)	Singularidades	Comp. Eq (m)	P. Carga (m)	Desní vel (m)	P. Montante	P. Jusante
Água Fria/Quente 1													
1	-	96	2,94 L/s	75,60 mm	0,85 m/s	2,95	0,01	3*J90°	11,70	0,10	1,184	0,00 kPa	10,84 kPa
1.1	-	32	1,70 L/s	53,40 mm	0,76 m/s	1,20	0,01	TL	7,80	0,12	0,000	10,84 kPa	9,64 kPa
1.1.1	-	32	1,70 L/s	44,00 mm	1,12 m/s	2,23	0,03	J90°	3,40	0,19	2,230	9,64 kPa	30,01 kPa
1.1.1.1	Bacia Sanitária p/ VD	32	1,70 L/s	35,20 mm	1,74 m/s	0,79	0,10	VD+J90°	2,00	0,28	0,719	30,01 kPa	34,44 kPa
1.2	-	64	2,40 L/s	66,60 mm	0,69 m/s	5,12	0,01	TD+J90°	6,20	0,10	3,796	10,84 kPa	47,80 kPa
1.2.1	-	64	2,40 L/s	53,40 mm	1,07 m/s	1,36	0,03	2*J90°	7,10	0,21	0,000	47,80 kPa	45,69 kPa
1.2.1.1	-	32	1,70 L/s	44,00 mm	1,12 m/s	8,80	0,03	TD+J90°	5,50	0,49	1,872	45,69 kPa	59,51 kPa
1.2.1.1.1	Bacia Sanitária p/ VD	32	1,70 L/s	35,20 mm	1,74 m/s	0,79	0,10	VD+J90°	2,00	0,28	0,719	59,51 kPa	63,93 kPa
1.2.1.2	-	32	1,70 L/s	44,00 mm	1,12 m/s	3,35	0,03	TL+J90°	10,50	0,47	1,872	45,69 kPa	59,66 kPa
1.2.1.2.1	Bacia Sanitária p/ VD	32	1,70 L/s	35,20 mm	1,74 m/s	0,79	0,10	VD+J90°	2,00	0,28	0,719	59,66 kPa	64,09 kPa
Água Fria/Quente 2													
2	-	160	3,79 L/s	75,60 mm	0,85 m/s	22,93	0,01	7*J90°	27,30	0,54	1,618	0,00 kPa	10,80 kPa
2.1	-	32	1,70 L/s	53,40 mm	0,76 m/s	1,89	0,01	TL+J90°	11,00	0,18	0,000	10,80 kPa	9,04 kPa
2.1.1	-	32	1,70 L/s	44,00 mm	1,12 m/s	1,80	0,03	J90°	3,40	0,18	1,796	9,04 kPa	25,22 kPa
2.1.1.1	Bacia Sanitária p/ VD	32	1,70 L/s	35,20 mm	1,74 m/s	0,79	0,10	VD+J90°	2,00	0,28	0,719	25,22 kPa	29,65 kPa
2.2	-	128	3,39 L/s	75,60 mm	0,76 m/s	0,29	0,01	TD	2,50	0,02	0,000	10,80 kPa	10,55 kPa
2.2.1	-	32	1,70 L/s	66,60 mm	0,49 m/s	1,74	0,00	TD+J90°	6,00	0,04	0,000	10,55 kPa	10,18 kPa
2.2.1.1	-	32	1,70 L/s	44,00 mm	1,12 m/s	1,78	0,03	J90°	3,70	0,19	1,779	10,18 kPa	26,10 kPa
2.2.1.1.1	Bacia Sanitária p/ VD	32	1,70 L/s	35,20 mm	1,74 m/s	0,79	0,10	VD+J90°	2,00	0,28	0,719	26,10 kPa	30,52 kPa
2.2.2	-	96	2,94 L/s	53,40 mm	1,31 m/s	3,29	0,04	TL	7,60	0,39	3,291	10,55 kPa	39,58 kPa
2.2.2.1	-	32	1,70 L/s	44,00 mm	1,12 m/s	3,65	0,03	TL+2*J90°	14,00	0,60	1,882	39,58 kPa	52,35 kPa
2.2.2.1.1	Bacia Sanitária p/ VD	32	1,70 L/s	35,20 mm	1,74 m/s	0,79	0,10	VD+J90°	2,00	0,28	0,719	52,35 kPa	56,78 kPa
2.2.2.2	-	64	2,40 L/s	53,40 mm	1,07 m/s	10,02	0,03	TL+5*J90°	24,60	0,87	0,180	39,58 kPa	32,71 kPa
2.2.2.2.1	-	32	1,70 L/s	44,00 mm	1,12 m/s	3,53	0,03	TL+J90°	10,50	0,48	1,702	32,71 kPa	44,93 kPa
2.2.2.2.1.1	Bacia Sanitária p/ VD	32	1,70 L/s	35,20 mm	1,74 m/s	0,79	0,10	VD+J90°	2,00	0,28	0,719	44,93 kPa	49,35 kPa
2.2.2.2.2	-	32	1,70 L/s	44,00 mm	1,12 m/s	2,99	0,03	TL+J90°	10,50	0,46	1,702	32,71 kPa	45,11 kPa
2.2.2.2.2.1	Bacia Sanitária p/ VD	32	1,70 L/s	35,20 mm	1,74 m/s	0,79	0,10	VD+J90°	2,00	0,28	0,719	45,11 kPa	49,53 kPa
Água Fria/Quente 3													
3	-	5,7	0,72 L/s	53,40 mm	0,32 m/s	3,30	0,00	RG+7*J90°	24,60	0,08	1,104	0,00 kPa	10,20 kPa
3.1	-	5,7	0,72 L/s	44,20 mm	0,47 m/s	3,13	0,01	5*J90°	17,00	0,15	0,904	9,72 kPa	17,28 kPa
3.1.1	-	1,5	0,37 L/s	28,50 mm	0,58 m/s	3,42	0,02	TD	2,30	0,11	3,418	17,28 kPa	50,39 kPa
3.1.1.1	-	0,8	0,23 L/s	18,00 mm	0,91 m/s	7,70	0,07	TL+4*J90°+RG	9,60	1,27	2,670	50,39 kPa	64,35 kPa
3.1.1.1.1	Misturador Mesa Bica Alta	0,3	0,16 L/s	18,00 mm	0,65 m/s	0,87	0,04	TD+2*J90°	3,20	0,16	-0,300	64,35 kPa	59,71 kPa
3.1.1.1.2	Misturador Mesa Bica Alta	0,3	0,16 L/s	18,00 mm	0,65 m/s	0,18	0,04	TL+CT+J90°	3,60	0,15	-0,285	64,35 kPa	59,99 kPa
3.1.1.2	-	0,9	0,28 L/s	28,50 mm	0,45 m/s	1,07	0,01	TL	4,60	0,07	0,000	50,39 kPa	49,72 kPa
3.1.1.2.1	-	0,3	0,16 L/s	23,10 mm	0,39 m/s	7,32	0,01	TL	3,10	0,13	0,000	49,72 kPa	48,44 kPa
3.1.1.2.1.1	Misturador p/ lavatório	0,3	0,16 L/s	18,00 mm	0,65 m/s	4,28	0,04	5*J90°+RG+CT	6,50	0,43	2,370	48,44 kPa	67,61 kPa
3.1.1.2.2	-	0,8	0,23 L/s	23,10 mm	0,55 m/s	1,91	0,02	TD	1,50	0,08	0,000	49,72 kPa	48,95 kPa
3.1.1.2.2.1	Misturador Mesa Bica Alta	0,3	0,16 L/s	18,00 mm	0,65 m/s	4,53	0,04	TD+5*J90°+RG	7,10	0,47	2,370	48,95 kPa	67,98 kPa
3.1.1.2.2.2	Misturador p/ lavatório	0,3	0,16 L/s	18,00 mm	0,65 m/s	5,35	0,04	TL+2*CT+4*J90°+R	7,40	0,51	2,370	48,95 kPa	67,53 kPa
3.1.2	-	4,2	0,61 L/s	33,70 mm	0,69 m/s	0,08	0,02	TL	7,30	0,15	0,000	17,28 kPa	15,76 kPa
3.1.2.1	-	0,8	0,27 L/s	33,70 mm	0,30 m/s	3,98	0,00	TL+5*J90°	23,30	0,13	0,320	15,76 kPa	17,64 kPa
3.1.2.1.1	-	0,8	0,27 L/s	18,00 mm	1,05 m/s	1,57	0,09	J90°+RG	3,40	0,47	1,589	17,64 kPa	28,83 kPa
3.1.2.1.1.1	Chuveiro	0,4	0,19 L/s	18,00 mm	0,75 m/s	2,38	0,05	TD+4*J90°+MIST	5,80	0,42	-1,116	28,83 kPa	13,44 kPa
3.1.2.1.1.2	Chuveiro	0,4	0,19 L/s	18,00 mm	0,75 m/s	1,27	0,05	TL+MIST+J90°	3,80	0,26	-1,100	28,83 kPa	15,21 kPa
3.1.2.2	-	3,4	0,55 L/s	33,70 mm	0,82 m/s	0,57	0,02	TD	2,20	0,05	0,000	15,76 kPa	15,29 kPa
3.1.2.2.1	-	0,6	0,23 L/s	18,00 mm	0,91 m/s	7,09	0,07	TD+3*J90°+RG	6,00	0,96	2,770	15,29 kPa	33,34 kPa
3.1.2.2.1.1	Misturador p/ lavatório	0,3	0,16 L/s	18,00 mm	0,65 m/s	1,13	0,04	TD+2*J90°	3,20	0,17	-0,300	33,34 kPa	28,60 kPa
3.1.2.2.1.2	Misturador p/ lavatório	0,3	0,16 L/s	18,00 mm	0,65 m/s	0,30	0,04	TL+J90°	3,60	0,16	-0,285	33,34 kPa	28,93 kPa
3.1.2.2.2	-	2,8	0,50 L/s	33,70 mm	0,56 m/s	19,18	0,01	TL+2*J90°	13,70	0,47	0,000	15,29 kPa	10,54 kPa
3.1.2.2.2.1	-	1,4	0,35 L/s	33,70 mm	0,40 m/s	2,44	0,01	TD	2,20	0,04	0,000	10,54 kPa	10,18 kPa
3.1.2.2.2.1.1	-	0,7	0,25 L/s	23,10 mm	0,60 m/s	1,08	0,03	TD+2*J90°	3,80	0,13	0,000	10,18 kPa	8,92 kPa
3.1.2.2.2.1.1.1	-	0,7	0,25 L/s	18,00 mm	0,99 m/s	1,90	0,08	J90°+RG	1,70	0,30	1,923	8,92 kPa	25,11 kPa
3.1.2.2.2.1.1.1.1	Misturador p/ lavatório	0,3	0,16 L/s	18,00 mm	0,65 m/s	2,19	0,04	TD+3*J90°+CT	4,40	0,26	0,485	25,11 kPa	27,31 kPa
3.1.2.2.2.1.1.1.2	Chuveiro	0,4	0,19 L/s	18,00 mm	0,75 m/s	1,20	0,05	TL+MIST+J90°	3,80	0,26	-1,100	25,11 kPa	11,53 kPa
3.1.2.2.2.1.2	-	0,7	0,25 L/s	18,00 mm	0,99 m/s	2,35	0,08	TL+CT+J90°+RG	3,80	0,52	1,955	10,18 kPa	24,54 kPa
3.1.2.2.2.1.2.1	Misturador p/ lavatório	0,3	0,16 L/s	18,00 mm	0,65 m/s	2,87	0,04	TD+CT+3*J90°	4,40	0,29	0,485	24,54 kPa	26,46 kPa
3.1.2.2.2.1.2.2	Chuveiro	0,4	0,19 L/s	18,00 mm	0,75 m/s	1,21	0,05	TL+MIST+J90°	3,80	0,26	-1,100	24,54 kPa	10,95 kPa



## APÊNDICE B – TABELA DE DIMENSIONAMENTO – EXCEL

## Água Fria/Quente 1

Trecho	Peso	Vazão (l/s)	DI (mm)	Vel (m/s)	L (m)	J (m/m)	Singularidades	Comp. Eq (m)	P. Carga (m)	Desnível (m)	P. Montante (mca)	P. Jusante (mca)	P. Jusante (kPa)
1	96	2,94	75,60	0,65	2,95	0,01	3*J90°	11,7	0,10	1,184	0,00	1,08	10,84
1.1	32	1,70	53,40	0,76	1,2	0,01	TL	7,6	0,12	0,000	1,08	0,96	9,64
1.1.1	32	1,70	44,00	1,12	2,23	0,03	J90°	3,4	0,19	2,230	0,96	3,00	30,01
1.1.1.1	32	1,70	35,20	1,74	0,79	0,10	VD+J90°	2	0,28	0,719	3,00	3,44	34,44
1.2	64	2,40	66,60	0,69	5,12	0,01	TD+J90°	6	0,10	3,796	1,08	4,78	47,82
1.2.1	64	2,40	53,40	1,07	1,36	0,03	2*J90°	7,1	0,21	0,000	4,78	4,57	45,70
1.2.1.1	32	1,70	44,00	1,12	8,8	0,03	TD+J90°	5,4	0,49	1,872	4,57	5,96	59,56
1.2.1.1.1	32	1,70	35,20	1,74	0,79	0,10	VD+J90°	2	0,28	0,719	5,96	6,40	63,99
1.2.1.2	32	1,70	44,00	1,12	3,35	0,03	TL+J90°	10,5	0,47	1,872	4,57	5,97	59,68
1.2.1.2.1	32	1,70	35,20	1,74	0,79	0,10	VD+J90°	2	0,28	0,719	5,97	6,41	64,11

## Água Fria/Quente 2

Trecho	Peso	Vazão (l/s)	DI (mm)	Vel (m/s)	L (m)	J (m/m)	Singularidades	Comp. Eq (m)	P. Carga (m)	Desnível (m)	P. Montante (mca)	P. Jusante (mca)	P. Jusante (kPa)
2	160	3,79	75,60	0,85	22,93	0,01	7*J90°	27,30	0,54	1,618	0	1,08	10,80
2.1	32	1,70	53,40	0,76	1,89	0,01	TL+J90°	11,00	0,18	0,000	1,08	0,90	9,04
2.1.1	32	1,70	44,00	1,12	1,80	0,03	J90°	3,40	0,18	1,796	0,90	2,52	25,22
2.1.1.1	32	1,70	35,20	1,74	0,79	0,10	VD+J90°	2,00	0,28	0,719	2,52	2,97	29,65
2.2	128	3,39	75,60	0,76	0,29	0,01	TD	2,50	0,02	0,000	1,08	1,06	10,56
2.2.1	32	1,70	66,60	0,49	1,74	0,00	TD+J90°	6,20	0,04	0,000	1,06	1,02	10,18
2.2.1.1	32	1,70	44,00	1,12	1,78	0,03	J90°	3,70	0,19	1,779	1,02	2,61	26,09
2.2.1.1.1	32	1,70	35,20	1,74	0,79	0,10	VD+J90°	2,00	0,28	0,719	2,61	3,05	30,52
2.2.2	96	2,94	53,40	1,31	3,29	0,04	TL	7,60	0,39	3,291	1,06	3,96	39,58
2.2.2.1	32	1,70	44,00	1,12	3,65	0,03	TL+2*J90°	14,00	0,60	1,882	3,96	5,24	52,36
2.2.2.1.1	32	1,70	35,20	1,74	0,79	0,10	VD+J90°	2,00	0,28	0,719	5,24	5,68	56,79
2.2.2.2	64	2,40	53,40	1,07	10,02	0,03	TL+5*J90°	24,60	0,87	0,180	3,96	3,27	32,71
2.2.2.2.1	32	1,70	44,00	1,12	3,53	0,03	TL+J90°	10,50	0,48	1,702	3,27	4,49	44,93
2.2.2.2.1.1	32	1,70	35,20	1,74	0,79	0,10	VD+J90°	2,00	0,28	0,719	4,49	4,94	49,36
2.2.2.2.2	32	1,70	44,00	1,12	2,99	0,03	TL+J90°	10,50	0,46	1,702	3,27	4,51	45,11
2.2.2.2.2.1	32	1,70	35,20	1,74	0,79	0,10	VD+J90°	2,00	0,28	0,719	4,51	4,95	49,54

## Água Fria/Quente 3

Trecho	Peso	Vazão (l/s)	DI (mm)	Vel (m/s)	L (m)	J (m/m)	Singularidades	Comp. Eq (m)	P. Carga (m)	Desnível (m)	P. Montante (mca)	P. Jusante (mca)	P. Jusante (kPa)
3	5,7	0,72	53,40	0,32	3,3	0,00	RG+7*J90°	24,60	0,08	1,104	0,00	1,02	10,20
3.1	5,7	0,72	44,20	0,47	3,13	0,01	5*J90°	17,00	0,15	0,904	0,97	1,73	17,27
3.1.1	1,5	0,37	28,50	0,58	3,42	0,02	TD	2,30	0,11	3,418	1,73	5,04	50,39
3.1.1.1	0,6	0,23	18,00	0,91	7,7	0,07	TL+4*J90°+RG	9,60	1,27	2,670	5,04	6,43	64,34
3.1.1.1.1	0,3	0,16	18,00	0,65	0,87	0,04	TD+2*J90°	3,20	0,16	-0,300	6,43	5,97	59,71
3.1.1.1.2	0,3	0,16	18,00	0,65	0,18	0,04	TL+CT+J90°	3,60	0,15	-0,285	6,43	6,00	59,98
3.1.1.2	0,9	0,28	28,50	0,45	1,07	0,01	TL	4,60	0,07	0,000	5,04	4,97	49,72
3.1.1.2.1	0,3	0,16	23,10	0,39	7,32	0,01	TL	3,10	0,13	0,000	4,97	4,84	48,44
3.1.1.2.1.1	0,3	0,16	18,00	0,65	4,28	0,04	5*J90°+RG+CT	6,50	0,43	2,370	4,84	6,78	67,81
3.1.1.2.2	0,6	0,23	23,10	0,55	1,91	0,02	TD	1,50	0,08	0,000	4,97	4,90	48,95
3.1.1.2.2.1	0,3	0,16	18,00	0,65	4,53	0,04	TD+5*J90°+RG	7,10	0,47	2,370	4,90	6,80	67,98
3.1.1.2.2.2	0,3	0,16	18,00	0,65	5,35	0,04	TL+2*CT+4*J90°+RG	7,40	0,51	2,370	4,90	6,75	67,53
3.1.2	4,2	0,61	33,70	0,69	0,08	0,02	TL	7,30	0,15	0,000	1,73	1,58	15,75
3.1.2.1	0,8	0,27	33,70	0,30	3,98	0,00	TL+5*J90°	23,30	0,13	0,320	1,58	1,76	17,64
3.1.2.1.1	0,8	0,27	18,00	1,05	1,57	0,09	J90°+RG	3,40	0,47	1,589	1,76	2,88	28,82
3.1.2.1.1.1	0,4	0,19	18,00	0,75	2,38	0,05	TD+4*J90°+MIST	5,80	0,42	-1,116	2,88	1,34	13,43
3.1.2.1.1.2	0,4	0,19	18,00	0,75	1,27	0,05	TL+MIST+J90°	3,80	0,26	-1,100	2,88	1,52	15,20
3.1.2.2	3,4	0,55	33,70	0,62	0,57	0,02	TD	2,20	0,05	0,000	1,58	1,53	15,28
3.1.2.2.1	0,6	0,23	18,00	0,91	7,09	0,07	TD+3*J90°+RG	6,00	0,96	2,770	1,53	3,33	33,33
3.1.2.2.1.1	0,3	0,16	18,00	0,65	1,13	0,04	TD+2*J90°	3,20	0,17	-0,300	3,33	2,86	28,59
3.1.2.2.1.2	0,3	0,16	18,00	0,65	0,3	0,04	TL+J90°	3,60	0,16	-0,285	3,33	2,89	28,92
3.1.2.2.2	2,8	0,50	33,70	0,56	19,18	0,01	TL+2*J90°	13,70	0,47	0,000	1,53	1,05	10,54
3.1.2.2.2.1	1,4	0,35	33,70	0,40	2,44	0,01	TD	2,20	0,04	0,000	1,05	1,02	10,17
3.1.2.2.2.1.1	0,7	0,25	23,10	0,60	1,08	0,03	TD+3*J90°	3,80	0,13	0,000	1,02	0,89	8,91
3.1.2.2.2.1.1.1	0,7	0,25	18,00	0,99	1,9	0,08	J90°+RG	1,70	0,30	1,923	0,89	2,51	25,11
3.1.2.2.2.1.1.1.1	0,3	0,16	18,00	0,65	2,19	0,04	TD+3*J90°+CT	4,40	0,26	0,485	2,51	2,73	27,31
3.1.2.2.2.1.1.1.2	0,4	0,19	18,00	0,75	1,2	0,05	TL+MIST+J90°	3,80	0,26	-1,100	2,51	1,15	11,52
3.1.2.2.2.1.2	0,7	0,25	18,00	0,99	2,35	0,08	TL+CT+J90°+RG	3,80	0,52	1,955	1,02	2,45	24,54
3.1.2.2.2.1.2.1	0,3	0,16	18,00	0,65	2,87	0,04	TD+CT+3*J90°	4,40	0,29	0,485	2,45	2,65	26,47

