

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**JOÃO VICTOR PREZOTTO FERREIRA**

**MÉTODO PARA ORÇAMENTAÇÃO AUTOMATIZADA EM MODELOS BIM PARA  
OBRAS DE INFRAESTRUTURA DE SANEAMENTO ATRAVÉS DE  
PROGRAMAÇÃO VISUAL**

**CURITIBA**

**2022**

**JOÃO VICTOR PREZOTTO FERREIRA**

**MÉTODO PARA ORÇAMENTAÇÃO AUTOMATIZADA EM MODELOS BIM PARA  
OBRAS DE INFRAESTRUTURA DE SANEAMENTO ATRAVÉS DE  
PROGRAMAÇÃO VISUAL**

**Automated budgeting method in BIM models for sanitation infrastructure  
construction through visual programming.**

Trabalho de conclusão de curso de graduação  
apresentada como requisito para obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia Civil da Universidade  
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).  
Orientador(a): Prof. M.Eng. Carlos Alberto da Costa

**CURITIBA**

**2022**



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

Esta licença permite download e compartilhamento do trabalho desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es), sem a possibilidade de alterá-lo ou utilizá-lo para fins comerciais. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

**JOÃO VICTOR PREZOTTO FERREIRA**

**MÉTODO PARA ORÇAMENTAÇÃO AUTOMATIZADA EM MODELOS BIM PARA  
OBRAS DE INFRAESTRUTURA DE SANEAMENTO ATRAVÉS DE  
PROGRAMAÇÃO VISUAL**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 15 de junho de 2022

---

Professor Carlos Alberto da Costa, M.Eng.  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Professor Cezar Augusto Romano, Dr.  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Professor Alfredo Iarozinski Neto, Dr.  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

**CURITIBA**

**2022**

Dedico este trabalho ao milagre do criador, por sua  
infinita vontade em me fazer um ser humano mais  
digno.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, que iluminou meu caminho para chegar até aqui, e, mesmo nos dias mais escuros, me guiou, cultivando em mim as virtudes da fé, pureza, bondade e perseverança.

A minha mãe, Sandra, e a minha avó, Sebastiana, que batalharam incansavelmente para que eu pudesse seguir com meus estudos, sendo meu alicerce toda vez que pensei em desistir.

Ao Professor Carlos Alberto da Costa, que me orientou com paciência e sabedoria. Aos grandes mestres que encontrei durante minha trajetória nesta instituição, exemplos de sabedoria, perseverança, comprometimento e desenvolvimento pessoal a serem seguidos e que se eternizaram em minha memória e maneira de agir, uma vez que moldaram também o meu pensar.

A Consult Engenharia, empresa atuante no mercado de projetos de Saneamento no estado do Paraná, onde pude evoluir profissionalmente.

Charlotte, minha gata, que me agraciou com sua companhia durante todas as horas necessárias a elaboração deste estudo, tornando mais brando o processo.

Aos meus companheiros de república, Vinícius Moura, João Marcos Correa, Lucas Guedes, Gustavo Gonçalves, Guilherme Giandoni, Fernando Martins e Marcelo Pendeza Jr, e também a todos amigos que passaram por minha jornada e me acrescentaram em experiência e humanidade.

Há um ditado que ensina "o gênio é uma grande paciência"; sem pretender ser gênio, teimei em ser um grande paciente. As invenções são, sobretudo, o resultado de um trabalho teimoso, em que não deve haver lugar para o esmorecimento (DUMONT).

## RESUMO

O mercado de projetos de saneamento tem impacto direto na qualidade de vida da população, recebendo grandes investimentos desde o recente marco regulatório legal no Brasil. Conhecendo os benefícios colhidos das aplicações da metodologia Bim, e, considerando-se a perspectiva futura do mercado de projetos de saneamento, este estudo propõe a programação visual como alternativa para automação do orçamento a partir de modelos BIM de obras de estruturas de saneamento. Através de revisão bibliográfica e sistematização das etapas de desenvolvimento necessárias, criou-se um conjunto de *scripts* que automatizam os procedimentos necessários para obter o orçamento diretamente do software de modelagem.

Palavras-chave: Modelagem Bim; Automação de processos; Saneamento público; Orçamentação 5D.

## **ABSTRACT**

The market for sanitation projects has a direct impact on populations standard of living, getting big investments since the recent regulatory mark on Brazil. Knowing the benefits from BIM application and considering the future perspective from sanitation projects market, this study proposes visual programming as solution to automate budging from BIM models for sanitation infrastructure construction. Through literature review and systematization of the necessary development stages, a set of scripts was created to automate the necessary procedures to get budging directly from modeling software.

Keywords: Bim Modeling; Process automation; Public Sanitation; 5D Budgeting.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Melhores e piores cidades em tratamento de esgoto no Brasil .....	14
Figura 2 – Ciclo de possíveis aplicações na metodologia BIM .....	19
Figura 3 – Diagrama conceitual de um processos BIM para orçamentação .....	22
Figura 4 – Relação de objetos BIM com estimação de quantidades e composições .....	23
Figura 5 – Curva de MacLeamy .....	24
Figura 6 – Exemplo de categorias de objetos no software Revit.....	26
Figura 7 – Objeto paramétrico e sua barra de propriedades.....	27
Figura 8 – Exemplo de vista gerada para documentação detalhada de projeto	28
Figura 9 – Relatório de materiais gerado para uma estação elevatória de esgoto .....	29
Figura 10 - Nó de Dynamo e sua composição .....	31
Figura 11 – Exemplo de Script básico gerado por programação visual .....	31
Figura 12 – Programação textual .....	32
Figura 13 – Dynamo Player e os <i>inputs</i> necessários de um algoritmo .....	33
Figura 14 – Armaduras criadas por rotina de programação.....	34
Figura 15 - Fluxograma do trabalho .....	37
Figura 16 – Exemplo de família de componentes produzida pelo autor .....	39
Figura 17 – Parâmetros de uma família de componentes.....	40
Figura 18 – Exemplo de tabela de pesquisa .....	41
Figura 19 – Exemplo da codificação de um tubo de aço carbono .....	44
Figura 20 - Script para automação do preenchimento das descrições .....	46
Figura 21 – Tabela de composições da Sanepar em formato pdf.....	48
Figura 22 – Tabela de composições da SANEPAR em formato xlsx .....	49
Figura 23 – Fluxograma geral da lógica dos scripts. ....	50
Figura 24 – Lógica inicial script 01 .....	53
Figura 25 – Tratamento de dados e preenchimento dos parâmetros correspondentes de interesse nos objetos representativos.....	55
Figura 26 – Objetos representativos para atividades dispostos ao lado de modelo do empreendimento .....	56
Figura 27 – Importação do banco de dados de custo ao dynamo. ....	57
Figura 28 – Entradas padrão de codificação para elementos estruturais.....	58
Figura 29 – Obtenção dos códigos das atividades e etapas em função dos códigos dos serviços de um objeto .....	60
Figura 30 - Criação de lista única de elementos de projeto .....	62
Figura 31 – Filtragem da lista de objetos do modelo .....	63
Figura 32 – Tratamento das listas para composições e etapas. ....	65
Figura 33 – Montagem das listas com atividades e composições.....	67
Figura 34 - Montagem da lista final de códigos da EAP. ....	68
Figura 35 – Captação e tratamento das quantidades totais das atividades.....	70
Figura 36 – Montagem do cabeçalho e exportação do relatório .....	72
Figura 37 – Relatório de validação de resultados .....	76

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1 – Parametros compartilhados associados ao modelo .....</b>	<b>42</b>
<b>Tabela 2 – Exemplo de tabela em Excel para troca de dados entre profissionais envolvidos no projeto .....</b>	<b>51</b>
<b>Tabela 3 – Relatório orçamentário obtido a partir do script 03.....</b>	<b>73</b>

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>12</b>
<b>1.1</b>	<b>Objetivos</b>	<b>15</b>
1.1.1	Objetivo geral	15
1.1.2	Objetivos Específicos	15
<b>1.2</b>	<b>Justificativa</b>	<b>15</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b>	<b>17</b>
<b>2.1</b>	<b>BIM e o mercado de projetos de saneamento</b>	<b>17</b>
<b>2.2</b>	<b>Metodologia BIM</b>	<b>18</b>
2.2.1	Objetos paramétricos	19
2.2.2	Ferramentas e processos de modelagem	20
2.2.3	Softwares BIM	25
2.2.3.1	Autodesk Revit	25
2.2.3.2	Autodesk Dynamo	29
<b>3</b>	<b>MÉTODO DE PESQUISA</b>	<b>35</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>	<b>38</b>
<b>4.1</b>	<b>Preparo do modelo</b>	<b>38</b>
<b>4.2</b>	<b>Preparo dos dados de custo</b>	<b>47</b>
<b>4.3</b>	<b>Desenvolvimento das rotinas</b>	<b>49</b>
4.3.1	Fluxograma geral de trabalho	49
4.3.2	Rotina para inserção de objetos representativos	51
4.3.3	Rotina para automação da inserção de etapas, atividades e serviços a objetos paramétricos do modelo.	57
4.3.4	Montagem e exportação do relatório orçamentário	61
4.3.6	Relatório de validação dos resultados	75
<b>5.</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	<b>78</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>80</b>
	<b>ANEXO A – ORÇAMENTO PRODUZIDO TRADICIONALMENTE</b>	<b>83</b>
	<b>APÊNDICE A – RELATÓRIO DE VALIDAÇÃO DE RESULTADOS</b>	<b>86</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Segundo Mega (2022), a metodologia BIM, ou *Building Information Modeling*, permite a criação digital de modelos virtuais precisos de construções civis, sua concepção, projeto e execução até seu gerenciamento e manutenção durante seu período de vida útil.

O conceito de BDS, *Building Description System*, foi criado em 1974 pelo professor Charles M. Eastman, como um sistema para otimização de projetos de construção. Em 1992 Eastman, G.A. Van Nederveen e F.P. Tolman publicaram o primeiro artigo usando o termo *Building Information Modeling*, discutindo conceitos da modelagem da construção, iniciando assim a difusão da metodologia de projeto integrado conhecida nos dias atuais. (MEGA, 2022).

Suas aplicações, além de permitirem maior integração entre todos os profissionais envolvidos em um projeto ligado a construção civil também aprimoram práticas do setor, trazendo diversos benefícios ao mercado.

Com o intuito de promover o avanço tecnológico na construção civil, o Governo Federal do Brasil criou em junho de 2017 o Comitê Estratégico de Implementação do *Building Information Modelling* – CE BIM – para alinhar as ações e iniciativas do setor público e privado e impulsionar sua adoção no país, visando maior economia, transparência e otimização de recursos no setor.

Segundo Estratégia (2017), o Governo Federal espera os seguintes resultados com sua implementação:

- Assegurar ganhos de produtividade ao setor de construção civil;
- Proporcionar ganhos de qualidade nas obras públicas;
- Aumentar a acurácia no planejamento de execução de obras proporcionando maior
- confiabilidade de cronogramas e orçamentação;
- Contribuir com ganhos em sustentabilidade por meio da redução de resíduos sólidos da construção civil;
- Reduzir prazos para conclusão de obras;
- Contribuir com a melhoria da transparência nos processos licitatórios;
- Reduzir necessidade de aditivos contratuais de alteração do projeto, de elevação de valor e de prorrogação de prazo de conclusão e de entrega da obra

- Elevar o nível de qualificação profissional na atividade produtiva;
- Estimular a redução de custos existentes no ciclo de vida dos empreendimentos.

Foram criadas três etapas de implementação para se alcancem os resultados almejados, como documenta Mega (2022). A partir de janeiro de 2021, passou a exigir-se a elaboração de modelos para arquitetura e disciplinas complementares de engenharia para extração de quantidade e documentação gráfica.

A partir de 2024 os modelos deverão contemplar algumas etapas de obra, como planejamento da execução, orçamentação e atualização do modelo com suas informações como construído (“as built”). Em 2028 se demandara abrangência em todo ciclo de vida do empreendimento, desde atividades pós obra até serviços de gerenciamento e manutenção após sua conclusão.

O BIM, portanto, simboliza não só uma mudança tecnológica de mercado, mas também uma nova maneira de agir dentro da AEC, Indústria da Arquitetura, Engenharia e Construção, uma vez que as interações entre os profissionais ganham novos fundamentos e uma nova maneira de ser pensada e executada.

Sendo o Governo Federal Brasileiro grande consumidor de obras de infraestrutura no Brasil, será ele o principal responsável por fomentar as aplicações da metodologia, uma vez que a tornou exigência nos contratos para empreendimentos públicos. (ESTRATÉGIA, 2017).

Entretanto, mesmo com regulamentação legal que exija para o ano de 2024 etapas de planejamento e orçamentação ligadas diretamente aos modelos, é registrado pelo autor que apenas 5% do PIB brasileiro ligado a construção faz hoje o uso da metodologia BIM.

O ITB, Instituto Trata Brasil, produz desde 2009 um relatório examinando detalhadamente os indicadores de saneamento básico e de abastecimento de água no Brasil, este apresentado na Figura 1. Segundo ITB (2022), 35 milhões de brasileiros não detém acesso a água tratada e 100 milhões de brasileiros não tem acesso a coleta de esgoto, o equivalente a dizer que 50% dos brasileiros não tem acesso a esgoto tratado.

**Figura 1 – Melhores e piores cidades em tratamento de esgoto no Brasil**

20 melhores cidades			20 piores cidades		
Município	Indicador de atendimento total de água	Indicador de atendimento total de esgoto	Município	Indicador de atendimento total de água	Indicador de atendimento total de esgoto
Santos	100	99,93	Canoas	100,00	46,66
Uberlândia	100	98,22	Belford Roxo	100,00	43,23
São José dos Pinhais	99,99	81,96	Recife	89,45	44,01
São Paulo	99,30	96,30	Teresina	96,23	35,74
Franca	100	99,60	São Luís	85,73	49,78
Limeira	97,02	97,02	Cariacica	84,67	34,69
Piracicaba	100	100	São João de Meriti	100,00	60,38
Cascavel	99,99	99,99	Jaboatão dos Guararapes	79,76	21,78
São José do Rio Preto	96,03	93,49	Manaus	97,50	21,95
Maringá	99,99	99,98	Duque de Caxias	88,72	37,47
Ponta Grossa	99,99	99,98	Maceió	89,61	43,03
Curitiba	100	99,98	Gravataí	95,24	38,17
Vitória da Conquista	97,66	82,96	Várzea Grande	96,71	29,88
Suzano	100	93,09	São Gonçalo	90,12	33,49
Brasília	99	90,90	Ananindeua	33,80	30,18
Campina Grande	99,73	91,98	Belém	73,41	17,14
Taubaté	100	99,70	Rio Branco	53,16	21,29
Londrina	99,99	99,98	Santarém	50,90	4,14
Goiânia	99,07	92,71	Porto Velho	32,87	5,88
Montes Claros	83,71	84,92	Macapá	37,56	10,78

**Fonte: Instituto Trata Brasil (2022)**

Sancionado em 2020, o Marco Legal do Saneamento é o novo marco regulatório legal do setor, que, através de leilões para concessão, já gerou mais de R\$ 70 bilhões em investimentos no setor desde o ano de sua aprovação. Embora o Saneamento Público Brasileiro ainda seja privilégio de poucos, as metas estabelecidas estipulam que até 2033, 99% da população brasileira deverá ter acesso a água potável e 90% a tratamento e coleta de esgoto. (CNN,2022).

Embora já estejam previstas para 2024 a exigência das etapas de planejamento e orçamentação nos modelos e, mesmo com crescentes investimentos no setor do saneamento público, Druszcz e Scuiasiato (2017) registram que são pontuais os estudos documentados acerca da empregabilidade e benefícios efetivos da tecnologia BIM aplicada ao saneamento no Brasil, não havendo registros das benfeitorias geradas pela metodologia ao setor.

Atrair custos aos objetos de um modelo BIM faz com que o mesmo passe a se comportar como um banco de dados de custos, possibilitando troca inteligente de informação entre os profissionais envolvidos nos projetos e diversas análises sobre os impactos financeiros das adotadas, assim como atualizações rápidas e confiáveis em caso de mudanças.

Partindo do exposto, surge a questão: como atrelar custos aos objetos de um modelo BIM de maneira inteligente e dinâmica, de forma que se mantenham integrados as quantidades calculadas no modelo, atualizando-se segundo as alterações de projeto e superando as limitações nativas de inserção e gerenciamento de dados comumente apresentada pelos softwares? Este trabalho investiga a programação visual como solução para tal.

## **1.1 Objetivos**

Os objetivos deste estudo foram divididos em objetivo geral e objetivos específicos.

### **1.1.1 Objetivo geral**

O objetivo geral deste estudo é desenvolver um fluxo de trabalho que automatize a integração de custos aos modelos BIM de obras de infraestrutura de saneamento através de programação visual.

### **1.1.2 Objetivos Específicos**

- Automatizar a inserção de objetos representativos que armazenem as etapas e atividades não representadas por objetos do modelo.
- Automatizar o preenchimento de dados de codificação para as etapas, atividades e serviços nos objetos do modelo.
- Geração de relatório orçamentário do modelo em planilha Excel
- Validação dos resultados obtidos comparando-os com orçamento realizado através de metodologia tradicional.

## **1.2 Justificativa**

Considerando a disseminação dos assuntos ambientais nos últimos anos, Meio Ambiente (2017) estima que mais de 50% dos resíduos sólidos gerados pelas atividades humanas sejam provenientes da construção.

Druszcz e Scuissiato (2017) registram que o uso da metodologia BIM aplicada ao saneamento público é extremamente restrito no Brasil, sendo praticamente inexistente quando se trata do planejamento e do gerenciamento das atividades de construção. Até a publicação de seu estudo, não se encontrava documentação de

empreendimentos ligados à área que tenham usufruído da metodologia em toda sua vida útil, sendo as poucas aplicações fruto de livre iniciativas pontuais.

Segundo CBIC (2016), a plataforma BIM tem causado impactos diretos no setor da construção civil reduzindo custos, aumentando sua eficiência e aperfeiçoando o gerenciamento de diversas etapas da construção.

Melhado (1995) *apud* Medeiros (2017) lembram que as fases de projeto e concepção são as de maior potencial de impacto na qualidade e no custo final de um empreendimento, justificando desta forma a importância de uma ferramenta capaz de proporcionar visão clara dos custos e etapas construtivas de um empreendimento, ainda em fase de projeto.

Porwal e Hewage (2013) definem como obrigatória a implementação destes modelos em obras públicas, uma vez que falamos de contratações rígidas com objetivos especificados, além da qualidade e experiência exigidas dos contratados, sendo fundamental precisão e racionalização para maximização dos recursos públicos, dada a importância econômica e social dos empreendimentos no setor.

Considerando-se os benefícios da automação de processos, como a significativa redução de erros humanos, otimização de fluxos de trabalho, decréscimo no tempo de execução e redução dos custos operacionais viabiliza-se estudo acerca de suas aplicações as metodologias de projeto utilizadas no setor do saneamento, uma vez que impactos financeiros, ambientais e sociais seriam acumulados com sua boa prática. (NEGRI, 2018).

As plataformas e softwares utilizados neste estudo foram escolhidos devido a maior familiaridade do autor com suas funcionalidades, assim como sua utilização no escritório de projetos onde este estudo começou a ser discutido.



## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo, será abordado o referencial onde se sustenta a elaboração deste trabalho.

### 2.1 BIM e o mercado de projetos de saneamento

Segundo Druszcz e Scuiasiato (2017), são isoladas as aplicações da modelagem BIM em projetos de saneamento no Brasil, não sendo ainda, registrado no Brasil, a construção de um empreendimento de saneamento que tenha a metodologia aplicada em seu ciclo de vida.

As autoras registram também que as aplicações em projetos de obras públicas sob responsabilidade dos governos dos estados do sul do Brasil estão com seus esforços voltados a adoção do BIM empregados prioritariamente em empreendimentos como hospitais, escolas e centros de ação social.

Pina (2015), em seu estudo, observa que a utilização da metodologia BIM é aplicável a todos os processos construtivos no âmbito da construção civil, sendo de especial importância em construções que necessitem de manutenções periódicas relativas aos seus ativos, como, por exemplo, centros comerciais, hospitais, estações de tratamento de água, estações de tratamento de esgoto, fábricas e escolas.

Druszcz e Scuiasiato (2017) observam que um dos maiores desafios encontrados no desenvolvimento do mercado do saneamento em ambiente BIM é a falta de peças específicas da área disponibilizadas pelos fabricantes, sendo necessário grande esforço inicial da equipe para construir uma biblioteca de componentes que supra as necessidades dos projetos na área.

Peças como conjuntos motobombas, conexões hidráulicas e válvulas, não são facilmente encontradas na internet e, uma vez encontradas ou desenvolvidas internamente, necessitam de criteriosa inserção de dados de maneira a assegurar a confiabilidade nos resultados obtidos do modelo.

Raros são também os estudos que documentam automações aplicadas a modelagem da informação aplicadas ao setor, encontrando, todavia, estudos aplicados a outros setores da infraestrutura ou construção civil.

## 2.2 Metodologia BIM

Eastman *et al.* (2014) coloca a modelagem da informação da construção como um dos mais promissores desenvolvimentos na indústria da arquitetura, engenharia e construção (AEC).

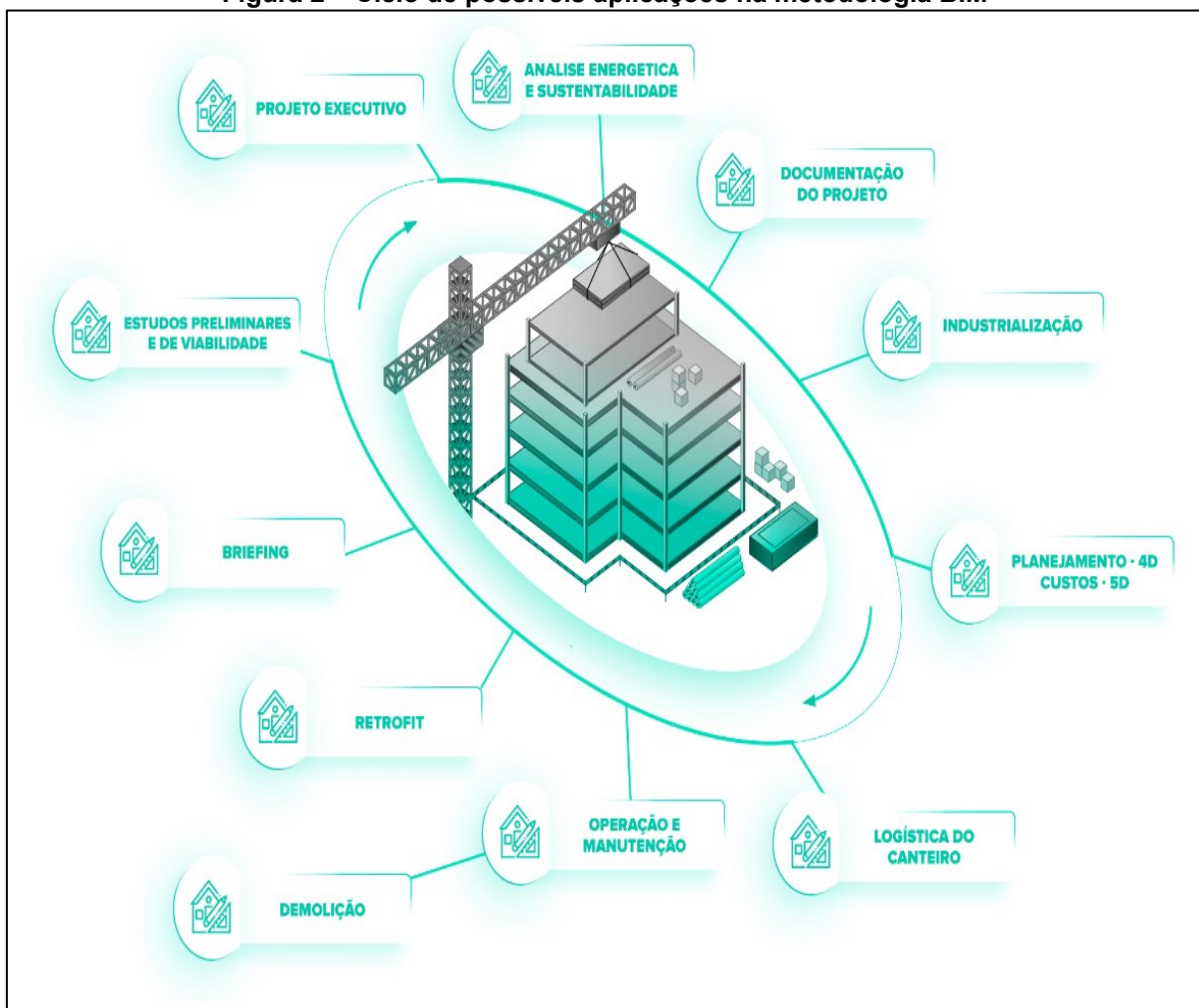
Com a tecnologia BIM, um modelo virtual preciso de uma edificação é construído de forma digital. “Quando completo, o modelo gerado computacionalmente contém a geometria exata e dados relevantes, necessários para dar suporte à construção, à fabricação e ao fornecimento de insumos necessários para a realização da construção”.

Cardoso *et al.* (2013) define BIM como um conjunto de softwares de base de dados, em formato digital, de todas as variáveis, especificações e aspectos a serem considerados em uma edificação como projeto, representada em um modelo 3D que pode ser avaliado durante toda sua concepção.

Mega (2022) registra que o BIM precisa ser executado através de um software, uma vez que seu conceito visa o gerenciamento digital de todas as informações ligadas a uma construção, conferindo as geometrias dados precisos, ressaltando ainda que a metodologia não se resume a um software, mas sim a um modo de trabalho moderno e colaborativo.

A Figura 2 apresenta possíveis atividades a serem desenvolvidas em ambiente BIM, desde a concepção até a manutenção e gerenciamento do empreendimento.

Figura 2 – Ciclo de possíveis aplicações na metodologia BIM



Fonte: Adaptado de Mega (2022)

### 2.2.1 Objetos paramétricos

O conceito de objeto paramétrico é fundamental para o entendimento do funcionamento dos modelos desenvolvidos em ambiente BIM, distanciando-os de objetos 2D convencionais.

Eastman *et al.* (2014) conceitua objeto paramétrico como a associação de geometrias a dados e regras, com caráter de não permitir inconsistências, uma vez que sua geometria é a mesma em qualquer vista que apareça. Uma vez que as regras paramétricas modificam automaticamente as geometrias, estas podem indicar quando um objeto viola determinadas regras de construção, ou ainda se está de acordo com sua norma de fabricação.

### 2.2.2 Ferramentas e processos de modelagem

Dentre os benefícios encontrados na modelagem BIM, destaca-se o modelo virtual da construção em si, tomando lugar da junção de múltiplos desenhos 2D que juntos descreviam o empreendimento e a concepção dos projetistas e contavam com certo nível de abstração para seu perfeito entendimento. (EASTMAN *et al.* 2014).

A visualização tridimensional em toda sua concepção, assim como a possibilidade de visualização e conferência de dados em ambientes de realidade aumentada trazem outro panorama para estudos e troca de informações possíveis nos empreendimentos nas fases de projeto e manutenção.

De acordo com Mega (2022), as informações apresentadas na metodologia CAD, *Computer Aided Design* (Desenho assistido por computador), vinham de diferentes fontes e estavam armazenadas em locais distintos sendo função dos profissionais sua integração, assim como suas atualizações, estas feitas manualmente.

Na metodologia BIM, portanto, trabalha-se com conceitos contrários aos apresentados na metodologia CAD. Uma vez que qualquer alteração de projeto é feita a um ponto, todos os outros pontos ligados a este serão automaticamente alterados, o que torna a tecnologia colaborativa, uma vez que depende de dados informados por profissionais de diferentes áreas para que a trama da construção virtual seja tecida de maneira lógica e funcional, fazendo com que tudo se conecte da maneira correta. (EASTMAN *et al.* 2014).

Registrado isso, entende-se que qualquer alteração na geometria de um objeto devera acarretar também em alteração automática das vistas onde aparece, além de atualização dos relatórios que recebem seus dados.

Isso reduz significativamente a quantidade de tempo e o número de erros associados com a geração de desenhos da construção para todas as disciplinas de projeto de maneira integrada ao modelo 3D.

O BIM permite a realização de análises diversas (acústica, energética, estrutural etc.) ainda durante a fase de projeto, gerando capacidade superior na visualização, integração e compatibilização desses projetos. Os dados, uma vez alterados em uma disciplina de projeto, serão transmitidas também as outras complementares, fazendo circular os novos dados de geometrias e informações

ligadas a essa alteração, proporcionando um ajuste global do modelo. (ESTRATÉGIA, 2018).

Segundo Eastman *et al.* (2014), em qualquer etapa de projeto a tecnologia BIM pode extrair uma lista precisa de quantitativos e espaços que pode ser utilizada para estimativas iniciais de custo, uma vez que essas são baseadas geralmente no custo unitário por metro quadrado. À medida que o projeto avança, quantitativos mais completos estão disponíveis para estimativas de custos mais precisas e confiáveis.

A partir da confirmação da viabilidade da solução adotada, parte-se com maior assertividade a busca por maior nível de detalhamento e especificação aos materiais, assim como o desenvolvimento dos modelos complementares.

Estes fatos, no entanto, não substituem a tarefa de um orçamentista, profissional fundamental na validação e interpretação destes dados, avaliando diversos fatores e tomando decisões que impactam diretamente nos custos do empreendimento. Um modelo computacional da, no entanto, maior confiança a esses profissionais, podendo ainda impactar positivamente em custos de licitações aumentando a certeza atrelada as quantidades de materiais. O autor registra ainda que a maioria dos softwares de modelagem contém ferramentas que possibilitam a extração de quantidades de materiais e componentes, além de recursos para exportar dados para planilhas ou banco de dados externos, no entanto, não dispendo muitas vezes de ferramentas integradas que possibilitem uma orçamentação direta. (EASTMAN *et al.* 2014).

Muitas vezes uma planilha personalizada capaz de associar os dados do levantamento de materiais gerados pelos softwares aos custos já é capaz de suprir as necessidades, embora faça-se necessária uma modelagem padronizada e uma significativa configuração prévia para resultados otimizados, uma vez que os objetos paramétricos carregam consigo a possibilidade de armazenar regras de cálculo e formulas para sua correta quantificação.

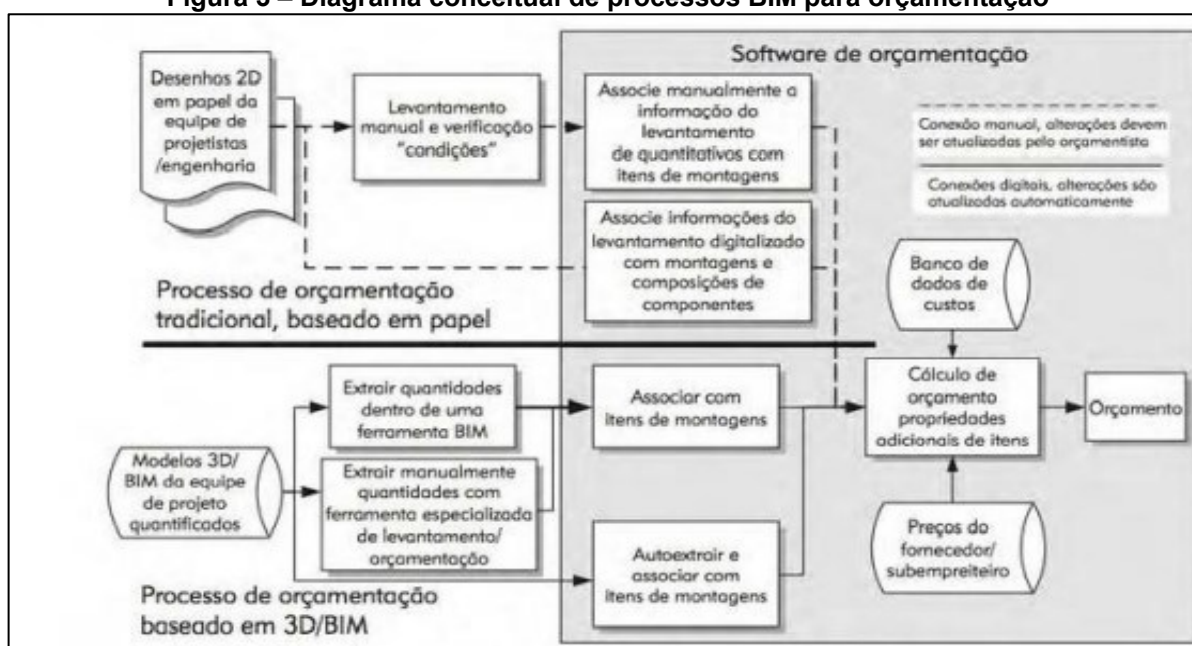
Uma segunda alternativa seria a utilização de uma ferramenta desenvolvida por terceiros. A maioria dos softwares de modelagem BIM atuais oferecem recursos que possibilitam à terceiros atuarem como desenvolvedores, elaborando ferramentas que se integram aos softwares de modelagem, como *plug-in's* (ferramentas que se integram e personalizam programas) ou outros tipos de aplicação, permitindo ao orçamentista de alguma forma associar aos objetos do modelo uma base de dados que contenha referências as atividades necessárias à construção.

De acordo com Eastman *et al.* (2014), objetos paramétricos contêm informações que os associem a algum recurso de material, pessoal ou tempo, tornando possível também a estimativa do tempo consumido para sua execução. Uma vez que se associa um banco de dados de custo aos objetos, se faz possível análise visual dos impactos financeiros gerados por cada objeto no custo final do empreendimento.

A sinergia da equipe e o trabalho em plataformas compatíveis traz resultados mais facilmente integráveis, possibilitando maior fluidez na troca de informação. É necessário, portanto, a definição prévia de metas e objetivos claros a cada um dos profissionais envolvidos, de forma que não ocorram conflitos de inserção de dados ou falhas de integração em meio ao andamento do projeto. “A integração antecipada e a colaboração são as chaves para um uso efetivo da tecnologia Bim.” (EASTMAN *et al.* 2014).

A Figura 3 apresenta possíveis fluxos de trabalho para a geração do orçamento, demonstrando o caminho seguido pela metodologia tradicional e os possíveis caminhos pela metodologia BIM: através da extração das quantidades no modelo e a associação manual com itens de montagem ou através da automação direta deste processo.

**Figura 3 – Diagrama conceitual de processos BIM para orçamentação**

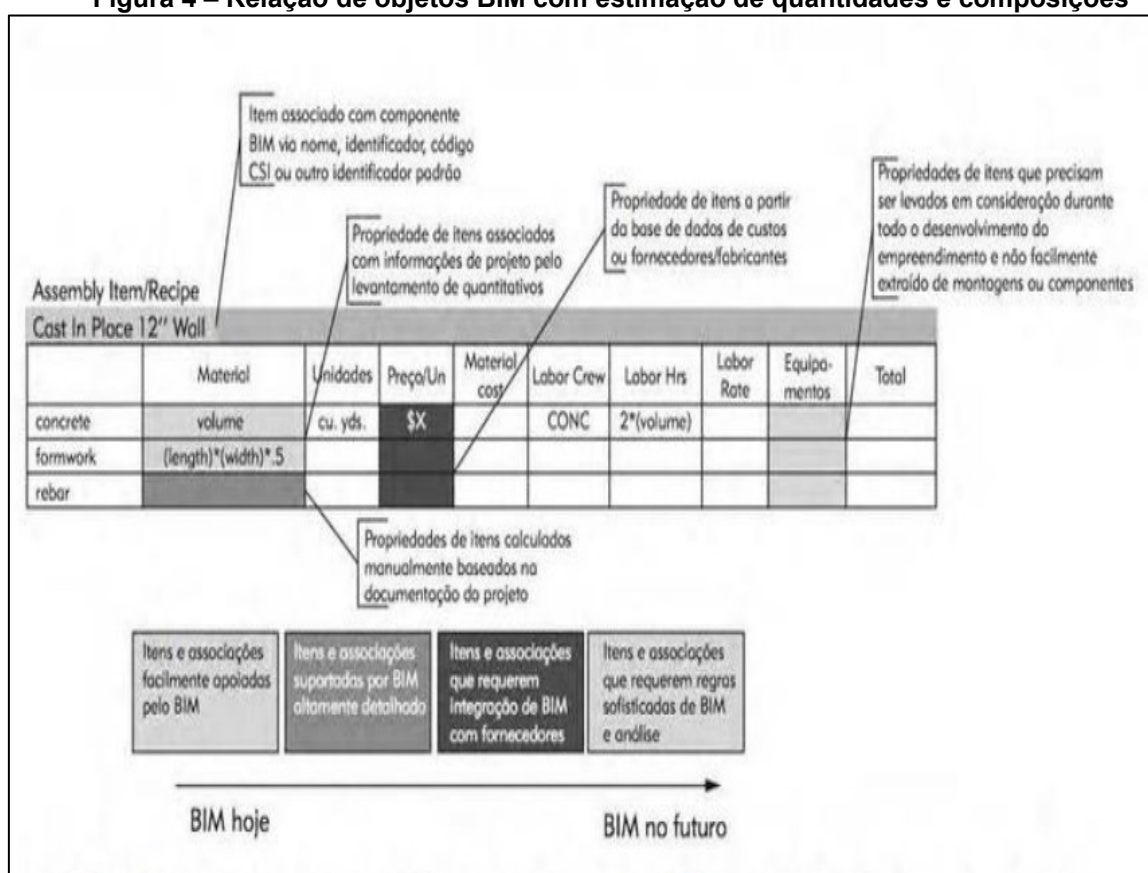


Fonte: Eastman *et al.* (2014)

No entanto, existem pontos a se considerar quando se fala em orçamentação utilizando metodologia BIM. As regras de cálculo inseridas nos objetos paramétricos ou suas informações contidas nativamente, como área e volume de sua geometria, constituem apenas parte das informações necessárias ao processo de orçamentação, devendo os dados restantes serem inseridos por entradas manuais de um profissional.

A Figura 4 demonstra que alguns tipos de associações de dados para correta quantificação dos componentes requerem regras sofisticadas de modelagem e análise, não sendo possível obter todas as relações necessárias nativamente.

**Figura 4 – Relação de objetos BIM com estimação de quantidades e composições**



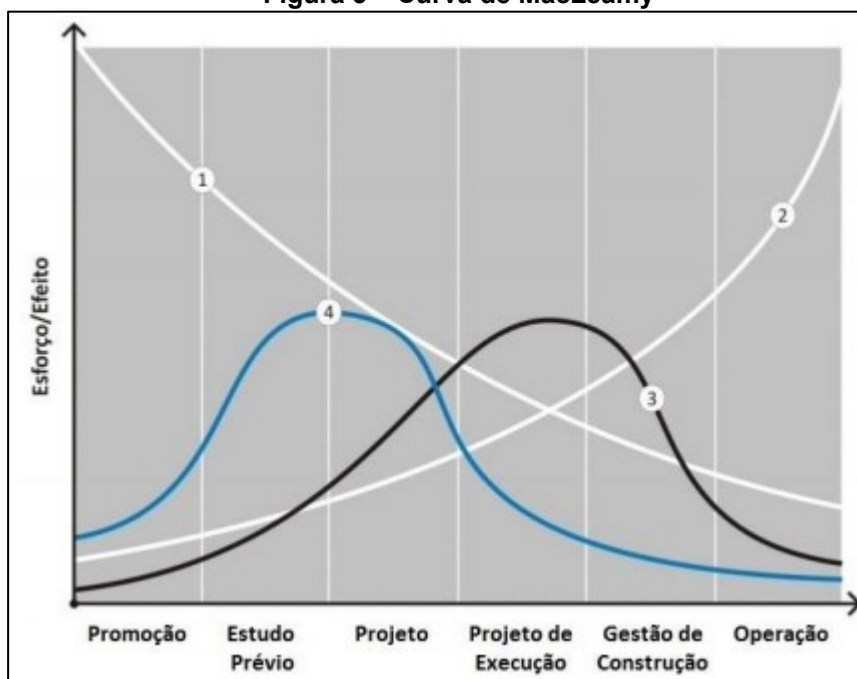
Fonte: Eastman *et al.* (2014)

Componentes de montagem exigem controle rigoroso sobre seus dados e regras de cálculo, obtendo-se, todavia, significativa melhora na quantificação e reprodução destes dados uma vez que a inserção seja feita de maneira confiável.

A Curva de MacLeamy, a mesma da Figura 5, apresenta as oportunidades de impacto nos custos e aspectos fundamentais de um empreendimento em função do seu tempo de projeto. A curva 1, demonstra que as possibilidades de impactos

financeiros são maiores quando as alterações são feitas ainda em fase inicial de concepção, ao passo que a curva 2 demonstra que os custos advindos das alterações de concepção se tornam maiores com o passar do tempo, além de diminuir as possibilidades de impacto positivo no seu custo final.

**Figura 5 – Curva de MacLeamy**



**Fonte: Curt (2004) apud Ferreira (2015)**

Por maior que seja a resistência por parte dos escritórios, profissionais e demais partes interessadas em aderir ao BIM, as curvas 3 e 4 demonstram que, por mais que se necessite um esforço financeiro maior em suas fases iniciais, o retorno sobre possíveis alterações nas concepções se tornam maiores já no médio prazo, o que, na prática, expõe graficamente o afirmado quanto as benfeitorias da metodologia: correções mais baratas e eficientes no médio e longo prazo do processo de concepção, etapas geralmente críticas onde os profissionais se deparam já com limites de prazo.

A metodologia BIM consiste de práticas distintas as tradicionais adotadas quando utilizando ferramentas CAD. As habilidades necessárias aos membros do time são também diferentes, uma vez que, além de trabalhar-se com diferentes softwares, o projetista deve ter também algum conhecimento que tangencie o gerenciamento e tratamento de dados computacionais, visto que os resultados serão agora obtidos por



interligação da informação, e não mais de fontes que trabalham independentemente entre si.

### 2.2.3 Softwares BIM

Um software BIM é definido como um ambiente virtual que permita o trabalho de diferentes dados relacionados a construção, permitindo sua visualização através de geometrias, relatórios e análises, tornando as soluções de projeto e manutenção mais inteligentes, racionais e confiáveis aos profissionais responsáveis. (YORI et al. 2020).

As oportunidades de aplicação de serviços em BIM podem ser organizadas em cinco atividades básicas: Coleta de dados, geração de informação, análise, compartilhamento e estudo do empreendimento baseado nas atividades anteriores. É importante pensar previamente sobre o uso desses processos e da tecnologia necessária para se chegar aos seus objetivos de projeto. (YORI. *et al.* 2020).

As simulações de custos, planejamento e ensaios utilizando modelos computacionais permitem a busca antecipada por soluções mais inteligentes, de maior viabilidade financeira e de menor impacto ambiental, trazendo novo cenário para as comparações de alternativas de projeto.

#### 2.2.3.1 Autodesk Revit

O software Autodesk Revit é um dos mais difundidos no mercado devido ao fato de seu ambiente englobar todas as disciplinas de projetos ligadas aos empreendimentos da construção civil. Yori *et al.* (2020) definem o software Autodesk Revit como uma aplicação BIM para a criação de modelos 3D paramétricos que geram geometrias, dados e documentação gráfica necessárias a concepção e construção de edificações e infraestrutura.

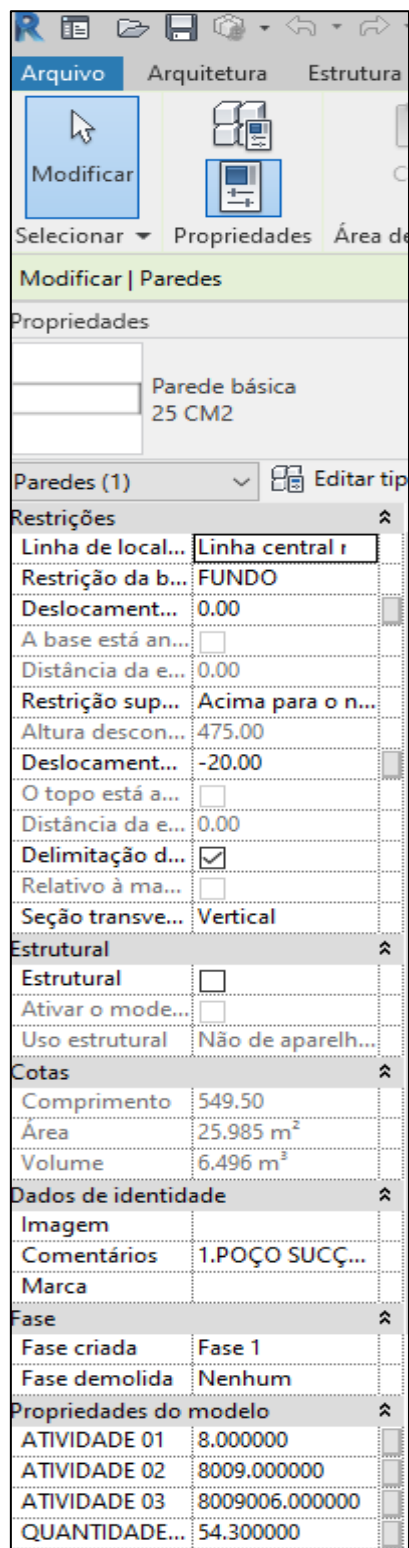
Ao selecionar um objeto, é possível acessar as diferentes informações armazenadas neste. Os objetos do Revit são classificados segundo hierarquia, começando pelas categorias. São exemplos de categorias: Paredes, pisos ou pilares estruturais. São ainda agrupados em famílias de componentes e em último nível em tipologia, que são os objetos da mesma família que contém valores de parâmetros idênticos. A Figura 6 apresenta algumas categorias de objetos do Revit.

**Figura 6 – Exemplo de categorias de objetos no software Revit**

**Fonte: Autoria própria a partir de Autodesk (2022)**

Na Figura 7, é possível observar a barra de propriedades de um objeto. É necessário registrar que o software armazena os dados em diferentes tipos de parâmetros. Segundo Medeiros (2018), há quatro tipos básicos de parâmetros: os parâmetros de família, parâmetros de sistema, parâmetros de projeto e parâmetros compartilhados, apresentando diferentes características entre si.

Figura 7 – Objeto paramétrico e sua barra de propriedades



Fonte: Autoria própria a partir de Autodesk (2022)

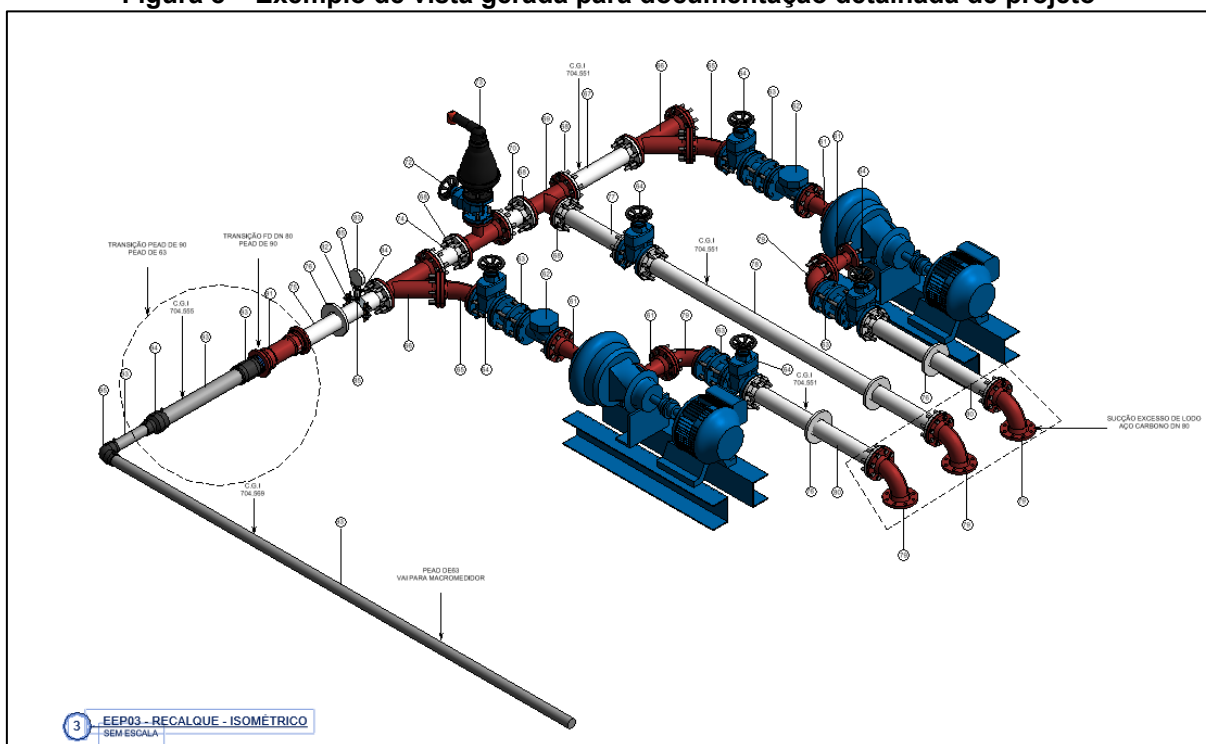
Os parâmetros de família são usados para análises, definição de geometria, cálculos e regras de quantificação.

Já parâmetros de projeto são dados armazenados globalmente no modelo, podendo estes serem lidos por objetos e também por algoritmos.

Os parâmetros compartilhados, por sua vez, são os que permitem maior fluxo de dados. As informações armazenadas nestes parâmetros podem ser usadas para elaboração de tabelas, quantificações, identificação e detalhamento dos itens, funcionando também como solução para aumentar a produtividade na correção de desenhos e alterações.

A Figura 8 apresenta exemplo de detalhamento usado na produção de documentação executiva para a unidade de saneamento usada neste estudo, apresentando uma instalação mecânica detalhada com identificadores que fazem a leitura de parâmetros compartilhados inseridos nos objetos apresentados na vista, integrando estes diretamente aos relatórios de materiais.

**Figura 8 – Exemplo de vista gerada para documentação detalhada de projeto**



**Fonte: Autoria própria a partir de Autodesk (2022)**

O relatório de materiais contendo os componentes de montagem do modelo é apresentado na Figura 9. Nele, é possível observar a especificidade da quantificação e da codificação adotada nos materiais de saneamento. Registra-se que, devido a interligação da informação do modelo, a numeração dos objetos apresentados no

relatório obrigatoriamente corresponderá a numeração reproduzida pelos identificadores no detalhamento.

**Figura 9 – Relatório de materiais gerado para uma estação elevatória de esgoto**

<1. RELAÇÃO DE MATERIAIS>				
A	B	C	D	E
Nº	COD.SAN	Descrição do Material	QUANT.	UN
<b>1. ENTRADA DE AFLUENTE</b>				
1	315408	TUBO ESPECIAL ACO CARBONO ASTM A1018SS GR40 EPOXI OCRE 406 INT 1000 EXT UM ESP6,35MM AWWA C200-210 NBR7560 PP PARA ESGOTO PN10 MEDIDA	1	UN
2	315411	TUBO ESPECIAL ACO CARBONO ASTM A1018SS GR40 EPOXI OCRE 406 INT 1000 EXT UM ESP6,35MM AWWA C200-210 NBR7560 PP PARA ESGOTO PN10 MEDIDA	1	UN
3	293007	TE FD FFF PN10 PARA ESGOTO DN200	2	UN
4	315412	TUBO ESPECIAL ACO CARBONO ASTM A1018SS GR40 EPOXI OCRE 406 INT 1000 EXT UM ESP6,35MM AWWA C200-210 NBR7560 PP PARA ESGOTO PN10 MEDIDA	1	UN
5	315407	TUBO ESPECIAL ACO CARBONO ASTM A1018SS GR40 EPOXI OCRE 406 INT 1000 EXT UM ESP6,35MM AWWA C200-210 NBR7560 PP PARA ESGOTO PN10 MEDIDA	1	UN
6	308389	FLANGE ESPECIAL ACO CARBONO ASTM A1018 SS GR 40 EPOXI OCRE 1000 UM ESP 15,8MM AWWA C200 C210 NBR 7560 PARA ESGOTO PN10 DE222 DN200	4	UN
7	308693	ABA DE VEDACAO ESPECIAL ACO CARBONO ASTM A1018 SS GR 40 EPOXI OCRE 1000 UM ESP 635MM AWWA C200 C210 NBR 7560 PARA ESGOTO PN10 DE222	2	UN
8	301775	PARAFUSO ACO INOX 316 A4 ROSCA INTEGRAL CABECA SEXTAVADA M20 X 90MM	32	UN
9	301788	PORCA SEXTAVADA, EM ACO INOX AISI 316, NORMA: DIN 934; ROSCA METRICA NORMAL - M20	32	UN
10	301794	ARRUELA LISA, EM ACO INOX AISI 316, NORMA: DIN 125A; - M20	64	UN
11	304568	ARRUELA DE BORRACHA PARA FLANGE PARA ESGOTO PN10 DN200	4	UN
<b>2. EEP02</b>				
12	S/C	CONJUNTO MOTOBOMBA SUBMERSIVEL P=9KW HM=11,49 MCA Q=90M3/H TENSÃO=380V REGIME DE SERVICO PESADO E CONTINUO	2	UN
13	S/C	REDUCAO FD FF CONCENTRICA PARA ESGOTO PN 10 DN 150 DN 100	2	UN
14	315396	TUBO ESPECIAL ACO CARBONO ASTM A1018SS GR40 EPOXI OCRE 406 INT 1000 EXT UM ESP6,35MM AWWA C200-210 NBR7560 PP PARA ESGOTO PN10 MEDIDA	2	UN
15	292998	CURVA FD FF 90 PARA ESGOTO PN10 DN150	4	UN
16	308408	FLANGE ESPECIAL ACO CARBONO ASTM A1018 SS GR 40 EPOXI OCRE 1000 UM ESP 14,2MM AWWA C200 C210 NBR 7560 PARA ESGOTO PN10 DE170 DN150	9	UN
17	315385	TUBO ESPECIAL ACO CARBONO ASTM A1018SS GR40 EPOXI OCRE 406 INT 1000 EXT UM ESP6,35MM AWWA C200-210 NBR7560 PP PARA ESGOTO PN10 MEDIDA	2	UN
18	308692	ABA DE VEDACAO ESPECIAL ACO CARBONO ASTM A1018 SS GR 40 EPOXI OCRE 1000 UM ESP 635MM AWWA C200 C210 NBR 7560 PARA ESGOTO PN10 DE170	3	UN
19	304644	JUNTA DE DESMONTAGEM TRAVADA ACO/FD PARA ESGOTO PN10 DN150	2	UN
20	314620	VALVULA RETENCAO FD FF COM PORTINHOLA UNICA INCLINADA 35 GRAUS OBTURADOR PARA ESGOTO PN 10 DN 150	2	UN
21	282667	REGISTRO GAVETA FD COM CUNHA ELASTICA E VOLANTE FF SERIE 14 CORPO CURTO PN 10 DN 150	3	UN
22	293006	TE FD FFF PN10 PARA ESGOTO DN150	2	UN
23	315385	TUBO ESPECIAL ACO CARBONO ASTM A1018SS GR40 EPOXI OCRE 406 INT 1000 EXT UM ESP6,35MM AWWA C200-210 NBR7560 PP PARA ESGOTO PN10 MEDIDA	1	UN
24	315397	TUBO ESPECIAL ACO CARBONO ASTM A1018SS GR40 EPOXI OCRE 406 INT 1000 EXT UM ESP6,35MM AWWA C200-210 NBR7560 PP PARA ESGOTO PN10 MEDIDA	1	UN
25	315385	TUBO ESPECIAL ACO CARBONO ASTM A1018SS GR40 EPOXI OCRE 406 INT 1000 EXT UM ESP6,35MM AWWA C200-210 NBR7560 PP PARA ESGOTO PN10 MEDIDA	1	UN
26	S/C	TE REDUCAO FD FFF PARA ESGOTO PN10 DN150 DN50	1	UN
27	282668	REGISTRO GAVETA FD COM CUNHA ELASTICA E VOLANTE FF SERIE 14 CORPO CURTO PN 10 DN 50	1	UN
28	S/C	VENTOSA AUTOMÁTICA PARA ESGOTO CORPO EM PRFV OU NYLON REFORÇADO COM CAPACIDADE VAZAO MINIMA A 0,4 BAR DE 220,0 M3/H FLANGE PN 10/16	1	UN
29	301775	PARAFUSO ACO INOX 316 A4 ROSCA INTEGRAL CABECA SEXTAVADA M20 X 90MM	160	UN
30	301774	PARAFUSO ACO INOX 316 A4 ROSCA INTEGRAL CABECA SEXTAVADA M16 X 80MM	24	UN
31	301794	ARRUELA LISA, EM ACO INOX AISI 316, NORMA: DIN 125A; - M20	320	UN
32	301793	ARRUELA LISA, EM ACO INOX AISI 316, NORMA: DIN 125A; - M16	48	UN
33	301788	PORCA SEXTAVADA, EM ACO INOX AISI 316, NORMA: DIN 934; ROSCA METRICA NORMAL - M20	160	UN
34	301787	PORCA SEXTAVADA, EM ACO INOX AISI 316, NORMA: DIN 934; ROSCA METRICA NORMAL - M16	24	UN
35	304567	ARRUELA DE BORRACHA PARA FLANGE PARA ESGOTO PN10 DN150	20	UN
36	304566	ARRUELA DE BORRACHA PARA FLANGE PARA ESGOTO PN10 DN100	2	UN
37	304564	ARRUELA DE BORRACHA PARA FLANGE PARA ESGOTO PN10 DN50	2	UN
<b>3. MACROMEDIDOR EEP02</b>				
38	S/C	REDUCAO FD FF CONCENTRICA PARA ESGOTO PN 10 DN 150 DN 100	2	UN
39	308407	FLANGE ESPECIAL ACO CARBONO ASTM A1018 SS GR 40 EPOXI OCRE 1000 UM ESP 14,2MM AWWA C200 C210 NBR 7560 PARA ESGOTO PN10 DE118 DN100	2	UN
41	307050	JUNTA DE DESMONTAGEM TRAVADA ACO/FD PARA ESGOTO PN10 DN 100	1	UN
42	315349	TUBO ESPECIAL ACO CARBONO ASTM A1018SS GR40 EPOXI OCRE 406 INT 1000 EXT UM ESP6,35MM AWWA C200-210 NBR7560 PP PARA ESGOTO PN10 MEDIDA	1	UN
43	313054	MEDIDOR DE VAZAO ELETROMAGNETICO 1,0MPA ALIMENTACAO 24VCC SINAL DE SAIDA 4-20MA PARA ESGOTO PN10 DN100	1	UN
44	315350	TUBO ESPECIAL ACO CARBONO ASTM A1018SS GR40 EPOXI OCRE 406 INT 1000 EXT UM ESP6,35MM AWWA C200-210 NBR7560 PP PARA ESGOTO PN10 MEDIDA	1	UN
44	315350	TUBO ESPECIAL ACO CARBONO ASTM A1018SS GR40 EPOXI OCRE 406 INT 1000 EXT UM ESP6,35MM AWWA C200-210 NBR7560 PP PARA ESGOTO PN10 MEDIDA	1	UN

Fonte: Autoria própria a partir de Autodesk (2022)

### 2.2.3.2 Autodesk Dynamo

Programação é definida como o ato de formalizar ao computador uma sequência de ordens a serem seguidas em sequência lógica, ou seja, fazer de um raciocínio humano uma lógica entendida pela máquina.

A programação, em si, exige certo nível de abstração para que se comunique eficientemente com o computador. Este é o poder da programação: o computador executa qualquer tarefa ou conjunto de tarefas a que for designado, sem atraso ou falha humana. (THE DYNAMO PRIMER, 2021).

Ao executar qualquer tipo de tarefa em um *software*, estamos realizando uma sequência lógica de comandos, análogo ao que pode ser reproduzido pelo computador: um conjunto de ações passo-a-passo que formam uma lógica básica de entradas, processamento e saída de dados.

A programação, portanto, permite que seja formalizado a máquina os conjuntos de tarefa a serem executadas automaticamente. Um algoritmo é, portanto, a abstrata junção de comandos e atividades a serem reproduzidas pelo computador, podendo essas serem descritas gráfica ou textualmente. (THE DYNAMO PRIMER, 2021).

O Dynamo é uma plataforma de programação visual para os *softwares* Autodesk, tendo também acesso a *softwares* de outras plataformas, como Microsoft Excel. A plataforma integra ambas formas de programação, visual e textual, em uma interface intuitiva e que visa entregar aos projetistas contato com as soluções oferecidas pela programação.

A programação aplicada a modelagem da informação da construção visa aumentar a gama de possibilidades criativas ao se trabalhar com gerenciamento de dados do modelo, criação de geometrias complexas e a transferência de dados entre diferentes plataformas. Para que possamos entender melhor o funcionamento multiplataforma do Dynamo, apresenta-se o conceito de API, segundo Take (2019):

O conceito de API nada mais é do que uma forma de comunicação entre sistemas. Elas permitem a integração entre dois sistemas, em que um deles fornece informações e serviços que podem ser utilizados pelo outro, sem a necessidade de o sistema que consome a API conhecer detalhes de implementação do *software*.

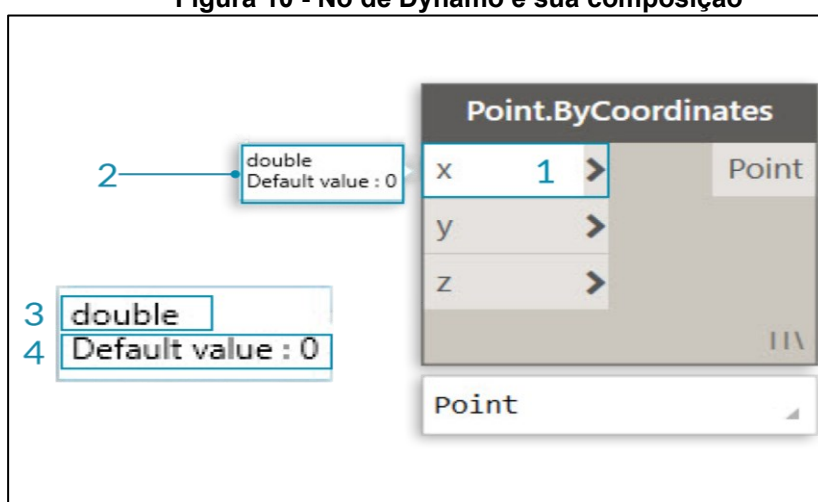
O Autodesk Dynamo tem acesso a diversas API'S, permitindo a transmissão de informações simultaneamente entre diferentes plataformas e *softwares*. O fórum The Dynamo Primer (2021) define o Autodesk Dynamo como uma ferramenta de programação visual acessível a programadores e não programadores, dando ao usuário a visualização do comportamento de seu *script* e a possibilidade de usar diferentes linguagens de programação em um mesmo ambiente.

O Autodesk Dynamo é, portanto, uma plataforma de programação visual para projetistas que permite a criação de ferramentas através do uso de biblioteca de funções computacionais pré-programada ou externa, tendo acesso a qualquer *software* Autodesk que tenha uma API (THE DYNAMO PRIMER, 2021).

O Dynamo tem seu funcionamento fundamentado na conexão lógica de nós de programação, recebendo, processando e transmitindo os dados de entrada e saída entre cada nó, como funções que recebem argumentos e processam esses valores. A anatomia de um nó da biblioteca é exposta na Figura 10, apresentando seus tipos de dado de entrada e saída.

O nó apresentado, `Point.ByCoordinates`, é responsável por receber os dados numéricos correspondentes as coordenadas de um ponto e processa-los, criando pontos nas coordenadas inseridas.

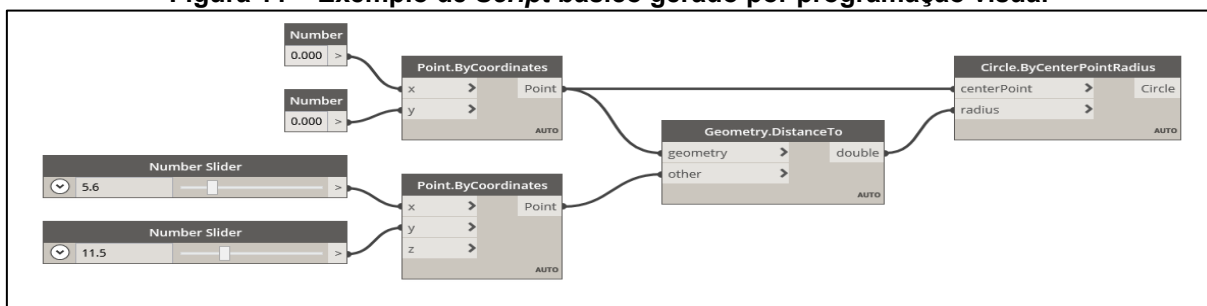
Figura 10 - Nó de Dynamo e sua composição



Fonte: The Dynamo Primer (2021)

A associação entre nós cria uma rede lógica análoga as linhas consecutivas da programação textual, dando sequência aos comandos que devem ser seguidos pelo computador. A Figura 11 apresenta um *script* básico para geração de um círculo, onde, informados numericamente o ponto de origem e seu raio, as linhas de contorno deste serão plotadas no plano XY.

Figura 11 – Exemplo de *Script* básico gerado por programação visual



Fonte: Autoria própria a partir de Autodesk (2022)

Um dos pontos fortes da programação visual é, portanto, a possibilidade de visualizar os resultados a cada saída de dados, entregando maior facilidade na interpretação dos resultados e desenvolvimento das rotinas.

A Figura 12 apresenta a mesma lógica descrita, escrita dessa vez em programação textual, evidenciando a similaridade entre os dois métodos.

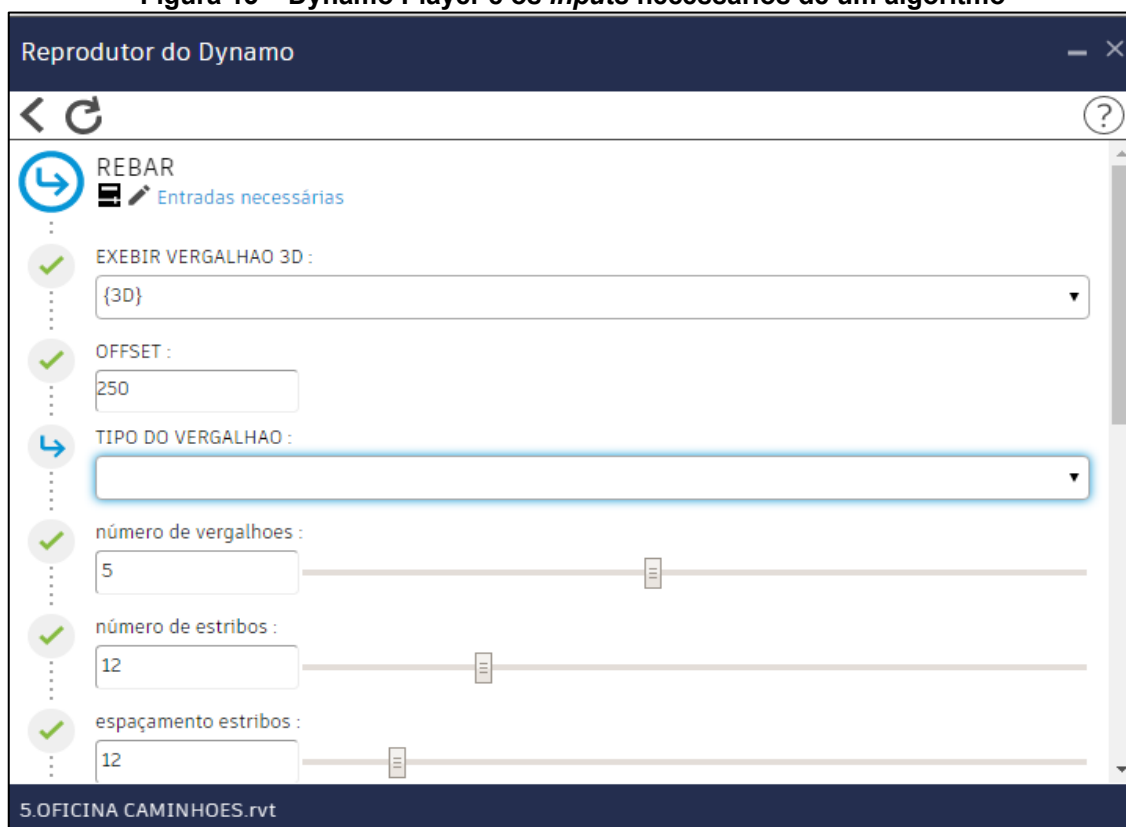
**Figura 12 – Programação textual**

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

**Fonte: The Dynamo Primer (2021)**

O Dynamo conta também com um reproduzidor, batizado Dynamo Player, onde executa-se rapidamente os *scripts* desenvolvidos, através uma intuitiva interface para entrada de dados que torna ágil a execução dos *scripts* durante o trabalho de modelagem. A Figura 13 apresenta o layout do Dynamo Player e sua interface de inserção de dados.



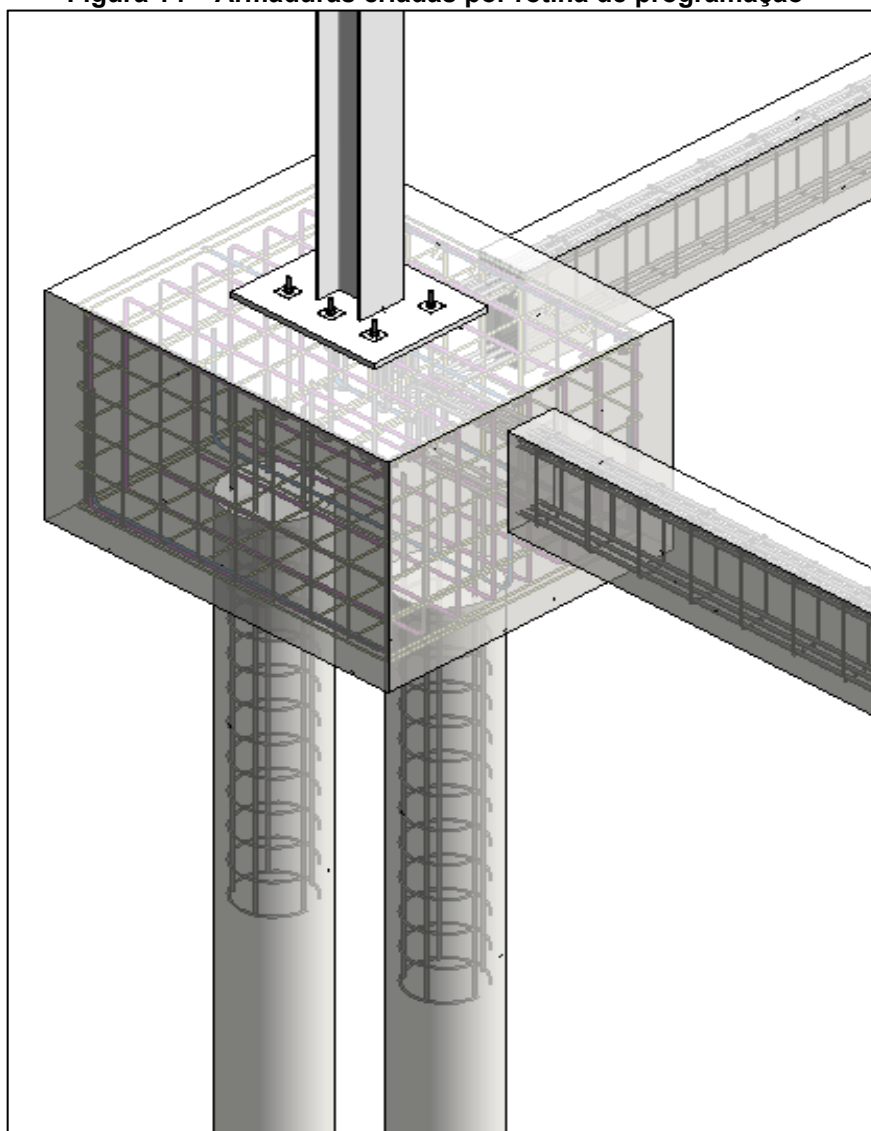
Figura 13 – Dynamo Player e os *inputs* necessários de um algoritmo

Fonte: Autoria própria a partir de Autodesk (2022)

A título de evidenciar as diversas aplicabilidades da programação na modelagem, apresenta-se o resultado obtido com *script* usado para automatizar a criação de armadura em estacas de concreto armado desenvolvido pelo autor, exemplo de lógica computacional para criação de geometrias. Este foi elaborado devido a necessidade de detalhamento de diferentes elementos de fundação que incluíam a tarefa de modelagem de suas armaduras e preenchimento manual de alguns dados. Com as entradas de dados apresentadas acima, o algoritmo é capaz de gerar automaticamente as armaduras para o elemento.

Os estribos e vergalhões já hospedados nas estacas de concreto, modelados segundo os dados de entrada da rotina, podem ser vistos na Figura 14.

**Figura 14 – Armaduras criadas por rotina de programação**



**Fonte: Autoria própria a partir de Autodesk (2022)**

### 3 MÉTODO DE PESQUISA

Através do referencial teórico deste trabalho, constatou-se as poucas aplicações da metodologia BIM em empreendimentos de saneamento, observando, porém, a sua importância devido aos cenários econômicos e sociais atuais, o novo marco regulatório legal do setor, suas necessidades e projeções futuras de impacto na economia.

Partindo de questionamento acerca das possibilidades para automação da inserção de custos aos objetos e geração de orçamento automatizado a partir do modelo BIM, estudou-se a programação visual e a plataforma Dynamo, como alternativa para o desenvolvimento de fluxo de trabalho que automatize os diversos cálculos e comandos necessários para a criação do orçamento a partir do modelo.

O estudo em questão fez o uso do modelo de uma estação elevatória de esgoto parte da ampliação projetada para o sistema de esgotamento sanitário do município de São João do Ivai - PR. Este modelo passou por uma preparação prévia para que pudesse armazenar os dados referentes aos códigos das composições e também seus custos calculados, em parâmetros previamente criados. Com o modelo previamente preparado, partiu-se para o desenvolvimento das rotinas.

Por se tratar de um algoritmo que visa entregar solução a obras de infraestrutura de saneamento, as composições de custos utilizadas neste trabalho foram obtidas diretamente do site da Sanepar, de acordo com as referências deste estudo.

Sistematizando os processos computacionais necessários para a criação do documento que responda o questionamento inicial deste trabalho, a programação foi dividida em quatro *scripts* com executáveis distintos. Com isso, buscou-se que os quatro *scripts*, em conjunto, constituam um fluxo de trabalho conciso, podendo-se executar também cada uma das etapas separadamente.

O primeiro *script* desenvolvido tem a função de inserir e armazenar no modelo atividades do orçamento advindas de dados externos, transformando-o em um banco de dados global de custos do empreendimento, visto que por vezes nem todos os dados de quantidade serão retirados do modelo.

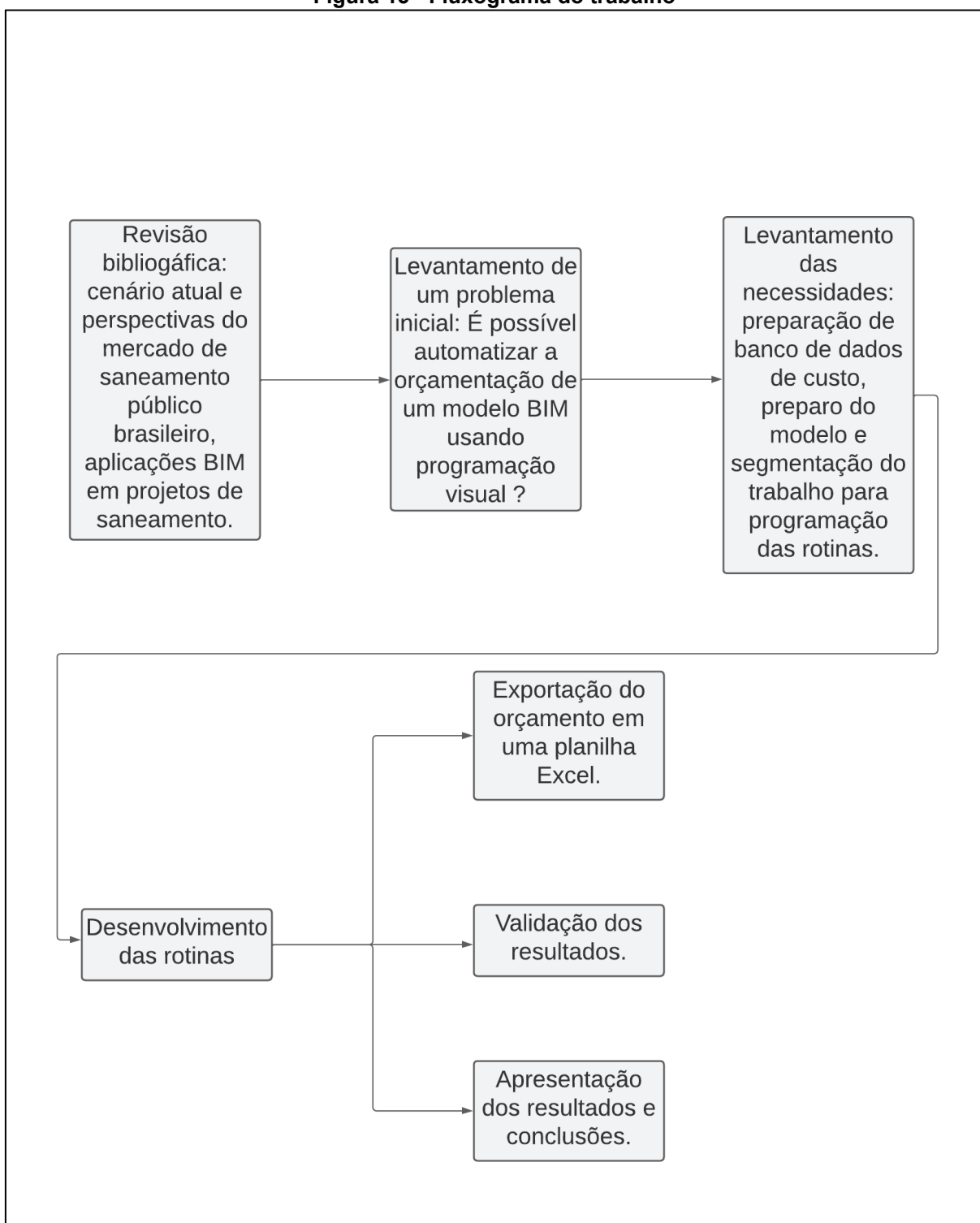
O segundo *script* é responsável por automatizar a inserção e armazenamento dos códigos referentes as etapas, atividades e serviços em seus respectivos objetos.

O terceiro algoritmo, faz a leitura e o processamento dos dados armazenados previamente, necessários a montagem e exportação, em tabela Excel, do relatório buscado neste estudo.

O quarto *script*, por sua vez, válida os resultados obtidos através da comparação do relatório com um documento análogo gerado por metodologia tradicional de orçamentação.

As etapas aqui descritas estão sistematizadas no fluxograma apresentado na Figura 15.

Figura 15 - Fluxograma do trabalho



Fonte: Autoria própria a partir de Lucidchart (2022)

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão abordadas as tratativas referentes à elaboração do estudo e suas etapas de desenvolvimento.

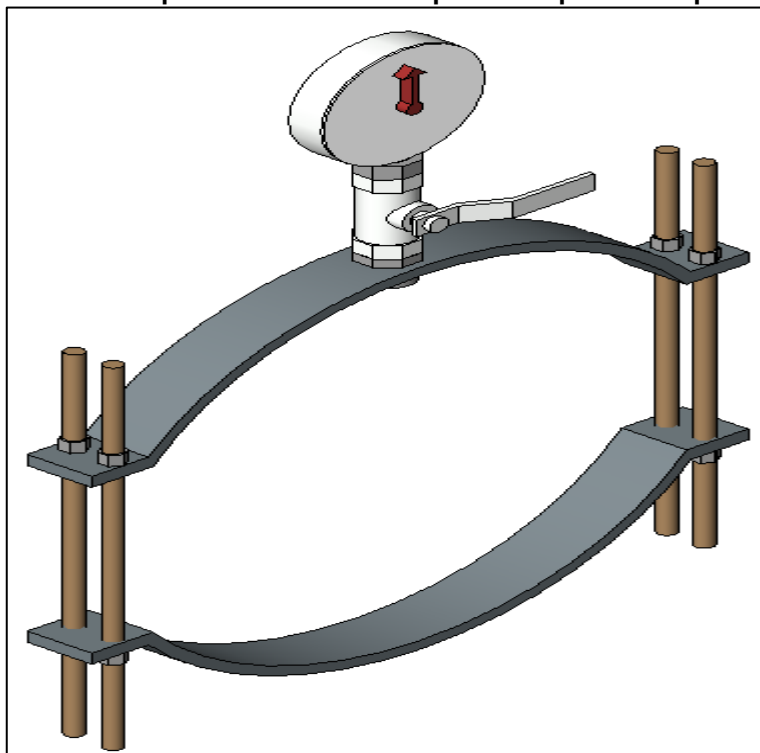
### 4.1 Preparo do modelo

O preparo prévio do modelo consistiu em trabalho para que sejam armazenados corretamente os dados de custo e a codificação das composições nos objetos, através da inserção de parâmetros compartilhados em categorias nativas no modelo, ou seja, as categorias que não são criadas em arquivos externos ao do projeto, e também a inserção de dados nas famílias de componentes usados nas instalações mecânicas e hidráulicas, sendo estes responsáveis pela maior parte dos dados a serem processados e organizados neste estudo.

As descrições armazenadas nos materiais e seus códigos de estoque foram obtidos diretamente de banco de dados disponibilizados pela Sanepar em seu site, uma vez que os procedimentos aqui descritos visam atender qualquer instalação que utilize os mesmos padrões e componentes.

Um exemplo de famílias de componente usado nestas instalações é apresentado na Figura 16. O medidor de pressão apresentado é comumente encontrado em barriletes de sistemas elevatórios. Sendo este composto por diversos subcomponentes, é necessário que cada peça contida nesta composição seja corretamente quantificada pelo sistema, princípio básico para que seja válida a hipótese de parametrização de dados.

Figura 16 – Exemplo de família de componentes produzida pelo autor



Fonte: Autoria própria a partir de Autodesk (2022)

No referencial teórico deste trabalho foram abordados os diferentes tipos de parâmetros com que o *software* Revit trabalha e armazena os seus dados, registrando também que os parâmetros compartilhados são os que permitem maior fluxo de dados.

Os dados necessários são armazenados previamente nos arquivos das famílias usando uma planilha em formato csv (separado por vírgulas), sendo estes dados buscados através de um parâmetro de entrada, no caso, o diâmetro nominal da peça, retornando os demais valores referentes a outros parâmetros de interesse.

Na Figura 17 visualiza-se os parâmetros de família dos componentes de montagem apresentados acima, onde é possível também observar que os parâmetros seguem regras de cálculo previamente armazenadas.

Figura 17 – Paramêtros de uma família de componentes

Tipos de famílias

Digite o nome:

Parâmetros de pesquisa

Parâmetro	Valor	Fórmula	Bloquear
MATERIAL PARAFUSOS	MATERIAL PARAFUSOS	=	
<b>Hidráulica</b>			
Descrição do Material (padrão)	COLAR TOMADA FD DN30	= size_lookup(TABELA, "Desc	
Localidade (padrão)		=	
Material (padrão)	FD	= "FD"	
<b>Cotas</b>			
A (AJUSTE) (padrão)	173.0	= DE / 2 + 10 mm	<input type="checkbox"/>
B ( AJUSTE) (padrão)	203.0	= DE / 2 + 40 mm	<input type="checkbox"/>
C (AJUSTE) (padrão)	165.0	= DE / 2 + 2 mm	<input type="checkbox"/>
D (AJUSTE) (padrão)	85.0	= DN / 4 + 10 mm	<input type="checkbox"/>
DE (padrão)	326.0	= size_lookup(TABELA, "DE",	<input type="checkbox"/>
DE/2 (padrão)	163.0	= DE / 2	<input type="checkbox"/>
DN (padrão)	300.0	=	<input type="checkbox"/>
DN/2 (padrão)	150.0	= DN / 2	<input type="checkbox"/>
DN/4 (padrão)	75.0	= DN / 4	<input type="checkbox"/>
NIPLEDN1 (padrão)	20.0	= 20 mm	<input type="checkbox"/>
NIPLEDN2 (padrão)	15.0	= 15 mm	<input type="checkbox"/>
PARAFUSOS (padrão)	20.0	= ([B ( AJUSTE)] - [A (AJUSTE	<input type="checkbox"/>

Gerenciar tabelas de pesquisa...

[Como posso gerenciar meus tipos de família?](#)

OK Cancelar Aplicar

Fonte: Autoria própria a partir de Autodesk (2022)

Exemplo de tabela usada para armazenar dados em componentes de instalações pode ser vista na Figura 18. Vale ressaltar que o Revit é rigoroso quanto ao formato usado nestas tabelas, devendo estas obedecer ao formato demonstrando para plena funcionalidade.



Figura 18 – Exemplo de tabela de pesquisa

	A	B	C	D	E
1		DN##length##millimeters	dn_pequeno##length##millimeters	Descrição do Material##other##	TIPO DE JUNTA##other##
2	50	50	50	JUNCAO FD FFF PARA ESGOTO PN10 DN50	Junta mecânica de conexão de FD DN 50
3	80	80	80	JUNCAO FD FFF PARA ESGOTO PN10 DN80	Junta mecânica de conexão de FD DN 80
4	100	100	100	JUNCAO FD FFF PARA ESGOTO PN10 DN100	Junta mecânica de conexão de FD DN 100
5	150	150	150	JUNCAO FD FFF PARA ESGOTO PN10 DN150	Junta mecânica de conexão de FD DN 150
6	200	200	200	JUNCAO FD FFF PARA ESGOTO PN10 DN200	Junta mecânica de conexão de FD DN 200
7	250	250	250	JUNCAO FD FFF PARA ESGOTO PN10 DN250	Junta mecânica de conexão de FD DN 250
8	300	300	300	JUNCAO FD FFF PARA ESGOTO PN10 DN300	Junta mecânica de conexão de FD DN 300
9	400	400	400	JUNCAO FD FFF PARA ESGOTO PN10 DN400	Junta mecânica de conexão de FD DN 400
10					
11	100	100	80	JUNCAO REDUCAO FD FFF PARA ESGOTO PN10 DN100 DN80	Junta mecânica de conexão de FD DN 100
12	150	150	100	JUNCAO REDUCAO FD FFF PARA ESGOTO PN10 DN150 DN100	Junta mecânica de conexão de FD DN 150
13	200	200	100	JUNCAO REDUCAO FD FFF PARA ESGOTO PN10 DN200 DN100	Junta mecânica de conexão de FD DN 200
14	200	200	150	JUNCAO REDUCAO FD FFF PARA ESGOTO PN10 DN200 DN150	Junta mecânica de conexão de FD DN 200
15	250	250	200	JUNCAO REDUCAO FD FFF PARA ESGOTO PN10 DN250 DN200	Junta mecânica de conexão de FD DN 250
16	250	250	150	JUNCAO REDUCAO FD FFF PARA ESGOTO PN10 DN250 DN150	Junta mecânica de conexão de FD DN 250
17	300	300	250	JUNCAO REDUCAO FD FFF PARA ESGOTO PN10 DN300 DN250	Junta mecânica de conexão de FD DN 300
18	300	300	200	JUNCAO REDUCAO FD FFF PARA ESGOTO PN10 DN300 DN200	Junta mecânica de conexão de FD DN 300
19	400	400	300	JUNCAO REDUCAO FD FFF PARA ESGOTO PN10 DN400 DN300	Junta mecânica de conexão de FD DN 400

Fonte: Autoria própria (2022)

Os parâmetros criados para o armazenamento dos dados necessários nesse trabalho são apresentados na Tabela 1. Uma vez que estes parâmetros são corretamente preenchidos nos objetos, garante-se que o modelo respondera corretamente quando alterações forem solicitadas.

**Tabela 1 – Parametros compartilhados associados ao modelo**

Nome	Tipo de dados	Tipo	Categorias aplicadas
Descrição do Material	String	Compartilhado	Modelos genéricos, Conexões de tubo, Acessórios de tubo, tubos, Equipamentos mecânicos, Mobiliário
Quantidade	Double	Compartilhado	Modelos genéricos, Conexões de tubo, Acessórios de tubo, tubos, Equipamentos mecânicos, Mobiliário
Localidade	String	Compartilhado	Modelos genéricos, Conexões de tubo, Acessórios de tubo, tubos, Equipamentos mecânicos, Mobiliário
Código SANEPAR	String	Compartilhado	Modelos genéricos, Conexões de tubo, Acessórios de tubo, tubos, Equipamentos mecânicos, Mobiliário
Atividade 01	Double	Compartilhado	Modelos genéricos, Conexões de tubo, Acessórios de tubo, tubos, Equipamentos mecânicos, Mobiliário
Atividade 02	Double	Compartilhado	Modelos genéricos, Conexões de tubo, Acessórios de tubo, tubos, Equipamentos mecânicos, Mobiliário
Atividade 03	Double	Compartilhado	Modelos genéricos, Conexões de tubo, Acessórios de tubo, tubos, Equipamentos mecânicos, Mobiliário
Quantidadetotal	Double	Compartilhado	Modelos genéricos, Conexões de tubo, Acessórios de tubo, tubos, Equipamentos mecânicos, Mobiliário
Tipo de Junta	String	Compartilhado	Modelos genéricos, Conexões de tubo, Acessórios de tubo, tubos, Equipamentos mecânicos, Mobiliário
Custo mao de obra 01	Double	Compartilhado	Modelos genéricos, Conexões de tubo, Acessórios de tubo, tubos, Equipamentos mecânicos, Mobiliário
Custo mao de obra 02	Double	Compartilhado	Modelos genéricos, Conexões de tubo, Acessórios de tubo, tubos, Equipamentos mecânicos, Mobiliário
Custo mao de obra 03	Double	Compartilhado	Modelos genéricos, Conexões de tubo, Acessórios de tubo, tubos, Equipamentos mecânicos, Mobiliário
Custo material 01	Double	Compartilhado	Modelos genéricos, Conexões de tubo, Acessórios de tubo, tubos, Equipamentos mecânicos, Mobiliário
Custo material 02	Double	Compartilhado	Modelos genéricos, Conexões de tubo, Acessórios de tubo, tubos, Equipamentos mecânicos, Mobiliário
Custo material 03	Double	Compartilhado	Modelos genéricos, Conexões de tubo, Acessórios de tubo, tubos, Equipamentos mecânicos, Mobiliário

**Fonte: Autoria própria a partir do Excel (2022)**

Foram utilizados durante o processo de modelagem também alguns parâmetros nativos do Revit, como os parâmetros Comentários e Marca, respectivamente com a função de armazenar a numeração dos elementos e suas unidades de medida nos relatórios de materiais.

As tubulações de aço carbono e ferro dúctil, por carregarem particularidades de codificação, já explicitam limitações nativas do *software* quanto ao preenchimento de alguns dados.

Um tubo de aço carbono, por exemplo, tem sua descrição composta pela concatenação de dados de sua especificação técnica como diâmetro interno, externo e intervalo de comprimento. Nativamente, o *software* não oferece regras de cálculo que gerem os resultados buscados.

A Figura 19 apresenta exemplo de descrição recebida por um destes tubos, demonstrando que seriam inúmeras as possibilidades de codificação para a mesma

família de componentes. Uma vez que estes, diferentemente de famílias de objetos criados em arquivos externos ao do projeto, não conseguem armazenar tabelas de pesquisa, como é o caso do componente apresentado na Figura 16, são necessárias técnicas mais refinadas de modelagem para sua correta codificação

Figura 19 – Exemplo da codificação de um tubo de aço carbono

**Ocultar/Isolar temporário**

Tipos de tubos  
TUBULAÇÃO AÇO  
CARBONO ASTM A1018

Tubulação (1) Editar tipo

**Restrições**

Localização n...  
Tipo de Sistema  
Justificação h... Centro  
Justificação v... Meio  
Nível de refer... FUNDO  
Elevação supe... 363.00  
Elevação inter... 363.00  
Elevação infer... 67.05  
Iniciar elevaçã... 363.00  
Encerrar eleva... 67.06  
Inclinação 927964.6327%

**Hidráulica**

Código SANE... 315396  
Descrição do ... TUBO ESPECIA...

**Etapa**

Localidade 2. EEP02  
Material AÇO CARBONO  
Comprimento 2.950000

TRECHO  
QUANTIDADE 1.000000

**Cotas**

Diâmetro exte... 170.0 mm  
Diâmetro inte... 153.0 mm  
Tamanho 150 mm  
Comprimento...  
Comprimento 295.94

**Mecânico**

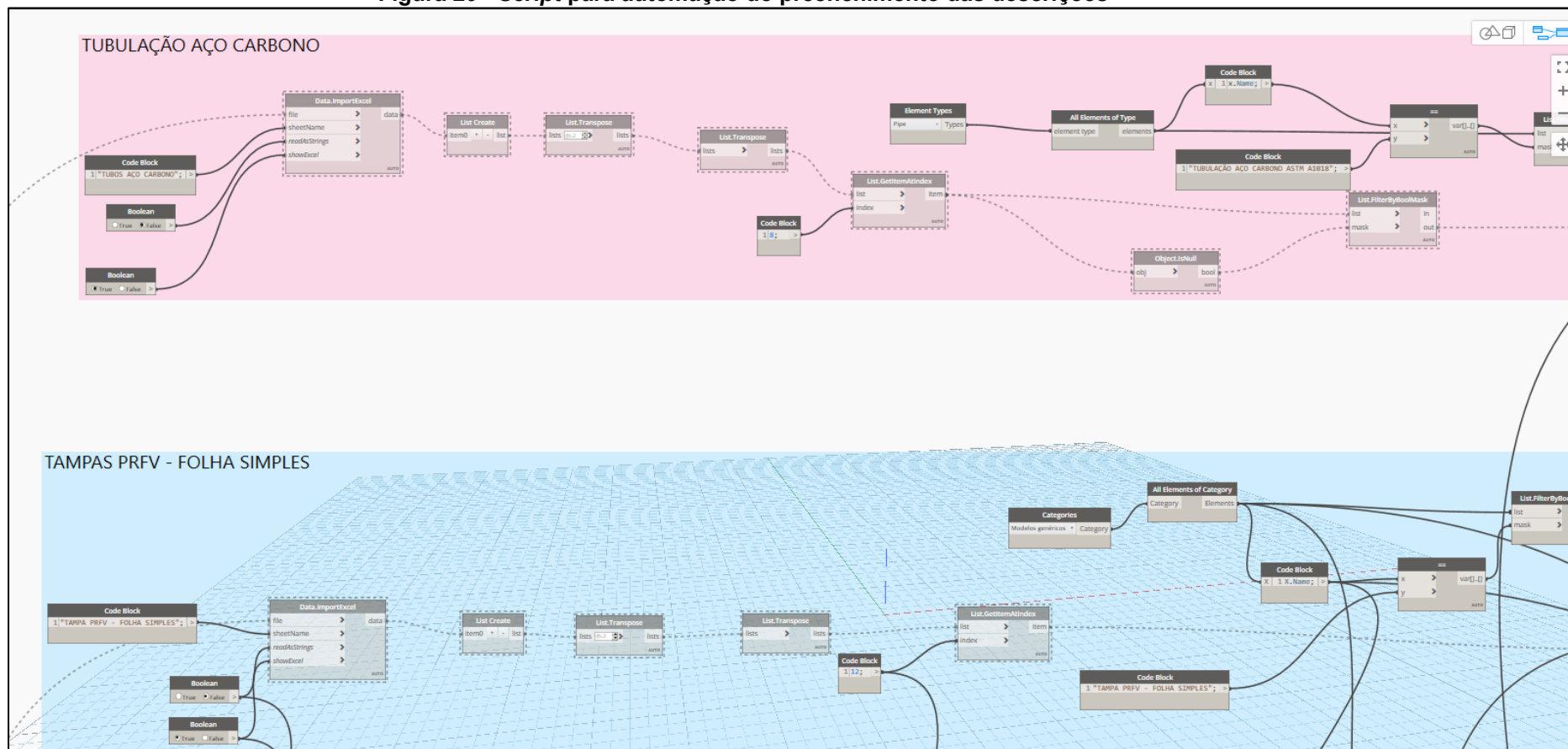
Classificação ... Fornecimento ...  
Tipo de sistema GAS  
Nome do sist... GAS 13  
Abreviatura d...  
Segmento de ... Aço Carbono ...  
Diâmetro 150.0 mm  
Tipo de conex... Genérico  
Rugosidade 0.259 mm  
Material Aço Carbono

TUBO ESPECIAL AÇO CARBONO ASTM A1018SS GR40 EPOXI OCRE 406 INT 1000 EXT UM ESP6,35MM AWWA C200-210 NBR7560 PP PARA ESGOTO PN10 MEDIDA DE 2,5 A 3,0 METRO DE 170 DN150 (L = 2,95M)

Fonte: Autoria própria a partir de Autodesk (2022)

Os *scripts* utilizados para o preenchimento destes dados foram desenvolvidos anteriormente a este trabalho e parte dele está apresentado na Figura 20. Sua lógica consiste na separação de cada material que possua uma regra específica de codificação, a leitura de seus dados e a manipulação destas informações computacionalmente através da concatenação de *strings*, ou seja, a criação de regras de cálculo computacionais que atendam as demandas para correta codificação dos objetos.

Figura 20 - Script para automação do preenchimento das descrições



Fonte: Fonte: Autoria própria a partir de Autodesk (2022)

O preenchimento do parâmetro Código Sanepar também foi automatizado em segunda rotina desenvolvida previamente, através da leitura das descrições armazenadas nos objetos pelo *script* apresentado na Figura 20 e a sua busca em tabela de códigos de materiais da Sanepar lida pelo Dynamo.



Uma vez, porém, de posse dessas soluções em pleno funcionamento, relatórios concisos passam a ser gerados e atualizados em instantes, trazendo significativo ganho de produtividade nas atividades de modelagem.

Vale ressaltar que, embora não sejam o objetivo deste trabalho, os *scripts* apresentados anteriormente tem papel fundamental no bom desempenho deste estudo, uma vez que geram parte dos dados aqui processados.

#### **4.2 Preparo dos dados de custo**

As composições de custos disponibilizadas pela Sanepar podem ser encontradas diretamente no site da própria empresa, em formato pdf. O documento contém composições referentes a todas as etapas de construção de uma obra de infraestrutura de saneamento, da preparação do terreno até a entrega da obra. A Figura 21 apresenta parte deste.

Figura 21 – Tabela de composições da Sanepar em formato pdf

		Simulação - Tabela de Preços - Sanepar					
FEVEREIRO 2021		Aprovação:					
Código	Descrição	UD	Valor Unitário	M. O.	Mat.		
001	CANTEIRO DE OBRAS						
001.001	CONSTRUÇÃO DO CANTEIRO	UD	Valor Unitário	M. O.	Mat.		
001001001	Escritório	m²	513,72	375,50	138,22		
001001002	Alojamento	m²	383,62	287,64	95,99		
001001003	Refeitório	m²	471,35	348,61	122,75		
001001004	Barracão fechado para materiais	m²	278,48	203,93	74,55		
001001005	Barracão aberto	m²	124,71	106,65	18,06		
001001006	Sanitário isolado	m²	584,39	368,28	216,11		
001001007	Chuveiro isolado	m²	483,11	314,73	168,38		
001.002	ABASTECIMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA	UD	Valor Unitário	M. O.	Mat.		
001002001	Entrada provisória de energia trifásica 70A	ud	2.344,33	459,31	1.885,02		
001.003	ABASTECIMENTO DE ÁGUA	UD	Valor Unitário	M. O.	Mat.		
001003001	Entrada provisória de água	ud	222,64	222,64	0,00		
001003002	Poço freático sem revestimento	m	339,11	312,82	26,30		
001003003	Poço freático com revestimento com tijolos não rejuntados	m	454,07	358,35	95,73		
001003004	Poço freático com revestimento com tijolos rejuntados	m	602,84	506,32	96,53		
001.004	PROTEÇÃO DA ÁREA	UD	Valor Unitário	M. O.	Mat.		
001004001	Cerca provisória de arame farpado	m	40,35	37,57	2,78		
001004002	Tapume de tábuas contínuas	m	121,01	99,54	21,47		
001004003	Tapume de chapa de madeira compensada	m	91,21	76,78	14,43		
001.005	PLACA DE OBRA	UD	Valor Unitário	M. O.	Mat.		
001005001	Em chapa preta	m²	381,97	67,94	314,04		

RelTabelaPrecoSimulacao 02/08/2021 21:17 Pag. 1 | 350

Fonte: Sanepar (2021)

Para a correta leitura destes dados pela plataforma Dynamo, converteu-se o arquivo pdf em uma tabela Excel, no formato xlsx. A conversão foi realizada através de ferramenta online, encontrando-se diversas opções com uma pesquisa no Google.

No entanto, o arquivo convertido não vem no formato ideal para o prosseguimento do estudo: é gerada uma tabela para cada folha do arquivo pdf, além de diferentes linhas em branco e dados vazios que interfeririam no correto tratamento destes dados.

A fim de unificar todas as planilhas geradas a partir da conversão do arquivo pdf, foi escrito um *script* na linguagem VBA – *Visual Basic Advanced*, linguagem fonte de aplicações Microsoft, visando a produção de uma tabela única, formato ideal para integração dos dados.

A Figura 22 apresenta a tabela unificada de composições já em formato xlsx, podendo agora ser corretamente lida pelo Dynamo. Este processo permite também rápida atualização do banco de dados.



Figura 22 – Tabela de composições da SANEPAR em formato xlsx

Código	Descrição	UD	Valor Unitário	M.O	Mat.
001	CANTEIRO DE OBRAS				
1.001	CONSTRUÇÃO DO CANTEIRO	UD	Valor Unitário	M. O.	Mat.
001001001	Escritório	m²	513,72	375,50	138,22
001001002	Alojamento	m²	383,62	287,64	95,99
001001003	Refeitório	m²	471,35	348,61	122,75
001001004	Barracão fechado para materiais	m²	278,48	203,93	74,55
001001005	Barracão aberto	m²	124,71	106,65	18,06
001001006	Sanitário isolado	m²	584,39	368,28	216,11
001001007	Chuveiro isolado	m²	483,11	314,73	168,38
1.002	ABASTECIMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA	UD	Valor Unitário	M. O.	Mat.
001002001	Entrada provisória de energia trifásica 70A	ud	2.344,33	459,31	1.885,02
1.003	ABASTECIMENTO DE ÁGUA	UD	Valor Unitário	M. O.	Mat.
001003001	Entrada provisória de água	ud	222,64	222,64	0,00
001003002	Poço freático sem revestimento	m	339,11	312,82	26,30
001003003	Poço freático com revestimento com tijolos não rejuntados	m	454,07	358,35	95,73
001003004	Poço freático com revestimento com tijolos rejuntados	m	602,84	506,32	96,53
1.004	PROTEÇÃO DA ÁREA	UD	Valor Unitário	M. O.	Mat.
001004001	Cerca provisória de arame farpado	m	40,35	37,57	2,78
001004002	Tapume de tábuas contínuas	m	121,01	99,54	21,47
001004003	Tapume de chapa de madeira compensada	m	91,21	76,78	14,43
1.005	PLACA DE OBRA	UD	Valor Unitário	M. O.	Mat.
002	SERVIÇOS TÉCNICOS				
2.001	TOPOGRAFIA E GEODÉSIA - SERVIÇOS	UD	Valor Unitário	M. O.	Mat.
002001001	Cadastro de unidade existente	m²	2,06	2,04	0,03
002001002	Cadastro de poço de visita e tubulação existente - esparsas	ud	132,65	129,40	3,26
002001003	Cadastro de poço de visita e tubulação existente - concentradas	ud	79,76	77,92	1,85
002001004	Locação de furos de sondagem	ud	32,93	26,82	6,11
002001005	Transporte de Altitude (Cota): extensão <= 2 km	km	419,03	393,20	25,83
002001006	Transporte de Altitude (Cota): 2 km < extensão <= 10 km	km	251,41	235,92	15,50
002001007	Transporte de Altitude (Cota): 10 km < extensão	km	167,61	157,28	10,33
002001008	Lev. Planialtimétrico Cadastral de área: 0,00 m2 < área <= 1.000 m²	m²	0,82	0,73	0,10

Fonte: Autoria própria a partir de dados fornecidos pela Sanepar (2022)

### 4.3 Desenvolvimento das rotinas

De posse da planilha de composições já em formato trabalhável por ambos os *softwares*, pode-se de fato partir para o desenvolvimento da sequência de *scripts*.

#### 4.3.1 Fluxograma geral de trabalho

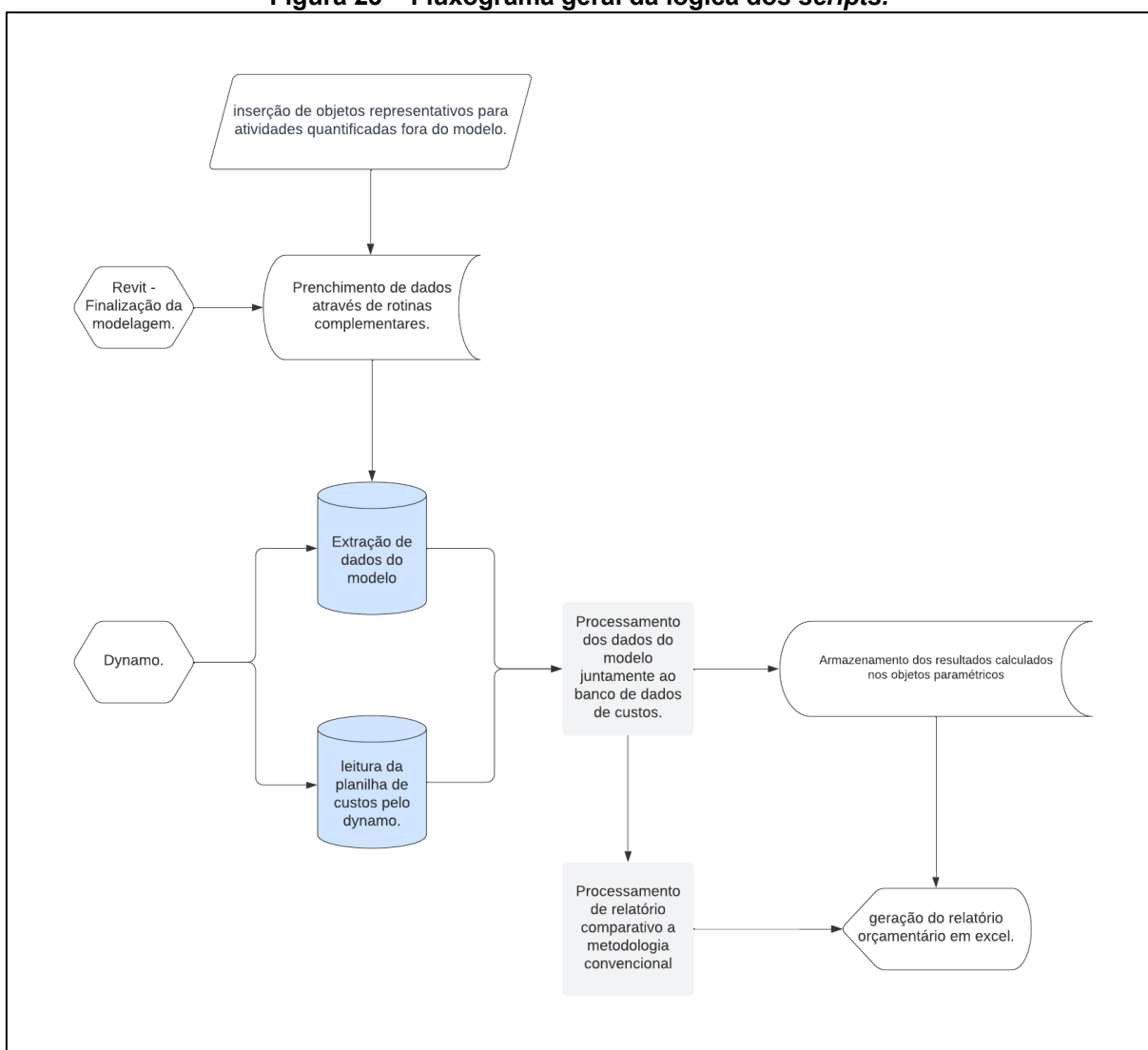
O fluxo de trabalho elaborado consiste, primeiramente, na inserção de objetos representativos no modelo com função de armazenar atividades quantificadas através de outra metodologia ou plataforma, fazendo com que, desta maneira, estas atividades passem a constar no relatório produzido e que o modelo passe a se comportar também como um banco de dados de custos do empreendimento.

Feita a inserção dos objetos representativos, parte-se para a automação do preenchimento dos códigos referentes as atividades nos objetos do modelo.

Uma vez que o modelo se encontra também com os dados necessários já armazenados, executa-se a lógica responsável por ler e trabalhar globalmente os dados, exportando-os em planilha no Excel ao final do processo.

O último *script* dá ao usuário a possibilidade de validar os resultados obtidos através de relatório comparativo com orçamento gerado através de metodologia tradicional. O fluxograma da Figura 23 resume as etapas lógicas apresentadas.

**Figura 23 – Fluxograma geral da lógica dos *scripts*.**



**Fonte: Autoria própria (2022)**

#### 4.3.2 Rotina para inserção de objetos representativos

Por vezes, projetistas utilizam diferentes plataformas ou metodologias em projetos do mesmo empreendimento, sendo especialmente necessária maturidade na comunicação e troca de dados entre os profissionais nestas condições.

Com a função de inserir no modelo objetos paramétricos que representem os custos quantificados externamente ao modelo BIM, usa-se uma tabela contendo os códigos e as quantidades calculadas para estes serviços. A Tabela 2 apresenta o formato dos dados a serem inseridos para que a rotina possa preencher corretamente os parâmetros dos objetos representativos.

**Tabela 2 – Exemplo de tabela em Excel para troca de dados entre profissionais envolvidos no projeto**

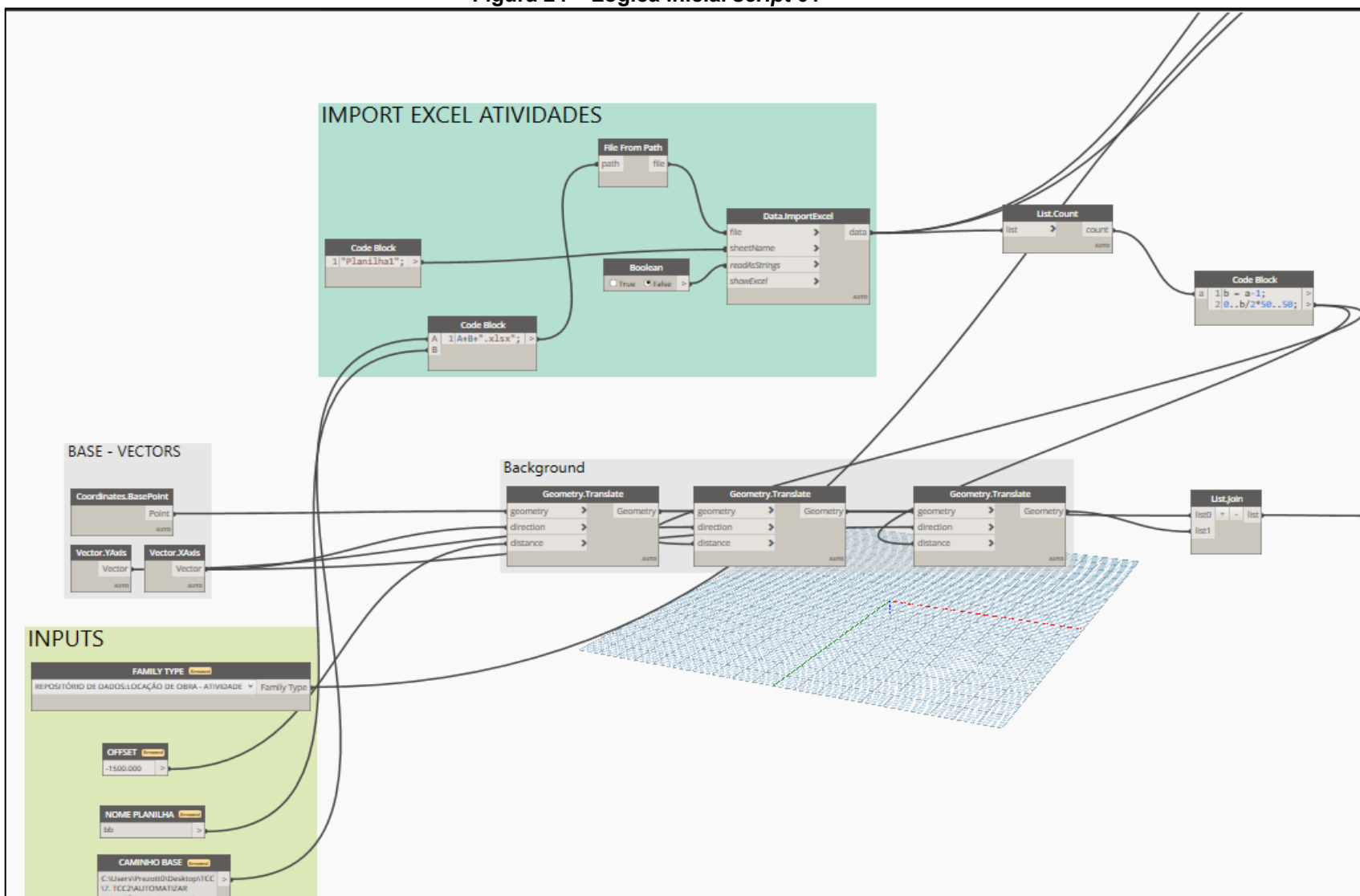
CÓDIGO DO SERVIÇO	QUANTIDADE
2001041	57,6
2002041	57,6
2007005	1
4006001	297,74
4007004	1687,21
4013001	8,62
4013002	48,85
4015003	57,47
4018001	1927,48
4019001	19274,8
6001001	75
8018001	62,44
8019001	9385
8020006	1098
8027001	61,43
8027002	66,21
8028001	0,25
8030004	94,8
4019001	19274,80

**Fonte: Autoria própria (2022)**

A Figura 24 apresenta os comandos iniciais desta lógica, obtendo os vetores canônicos X e Y, responsáveis por dar a direção da distribuição dos elementos. Nesse ponto, já é informado ao programa também o endereço onde a tabela que contém as atividades externas está armazenada no computador.

Para se determinar as coordenadas de inserção destes objetos, conta-se primeiramente o número de serviços únicos contidos na Tabela 1, distribuindo estes objetos uniformemente em duas direções a partir de um ponto de entrada informado pelo usuário. A localização de cada um dos objetos é obtida através da função *Geometry.Translate*, que faz cópias das geometrias de entrada segundo as direções distancias informadas.

Figura 24 – Lógica inicial script 01

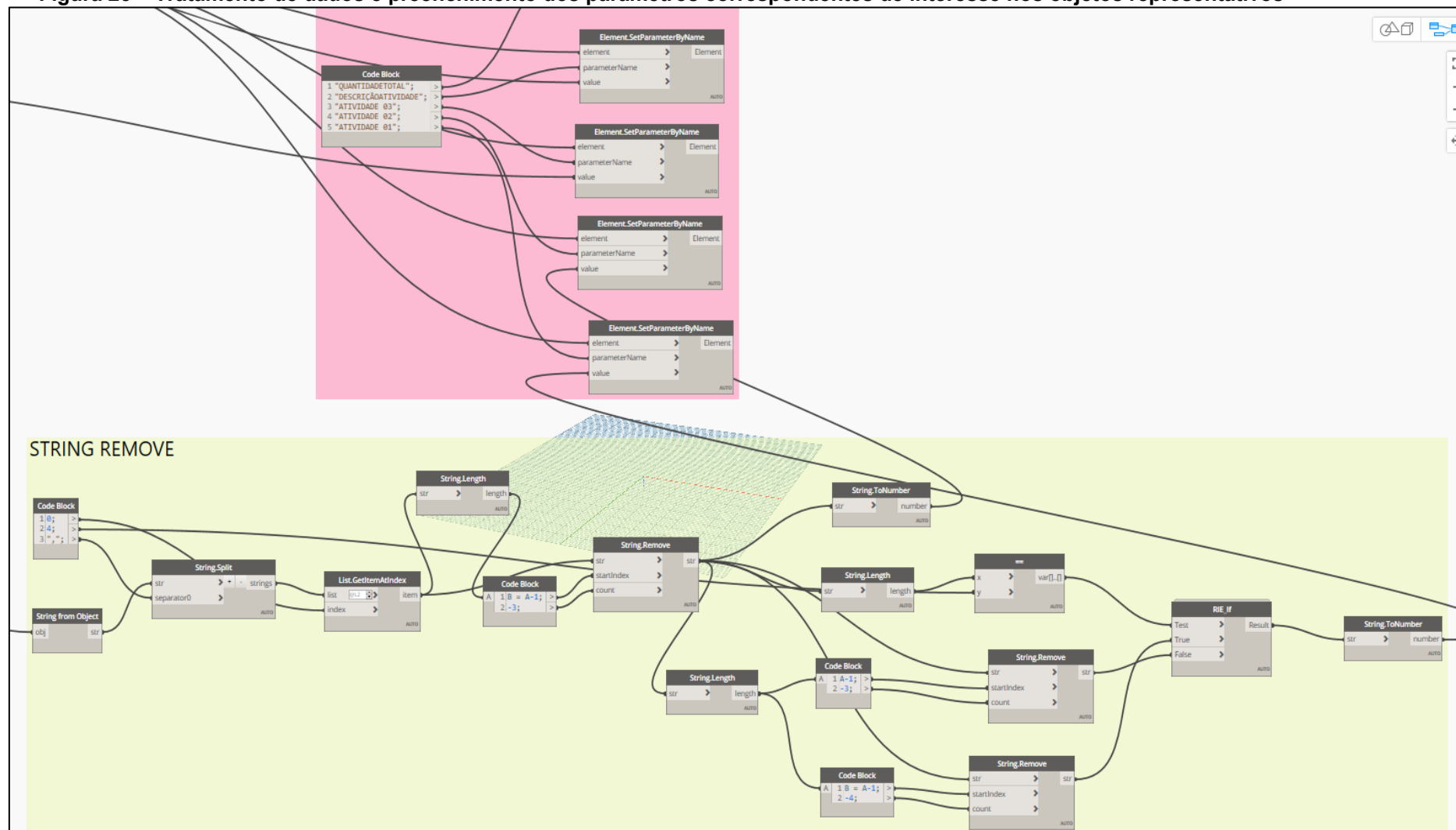


Fonte: Autoria própria a partir de Autodesk (2022)

A continuação da lógica apresentada na Figura 24 pode ser vista na Figura 25, onde, já com os pontos de localização para inserção dos objetos representativos, é realizado o tratamento de dados necessários a obtenção dos códigos das etapas e atividades destes objetos, a partir do código do serviço, assim como seu armazenamento nos objetos.

Os códigos referentes as etapas e atividades de cada serviço são obtidos através da transformação dos dados numéricos em *strings*, tipo de dado computacional que armazena uma sequência de caracteres, utilizando posteriormente a função *String.Remove* para a remoção dos caracteres finais de cada sequência.

Figura 25 – Tratamento de dados e preenchimento dos parâmetros correspondentes de interesse nos objetos representativos

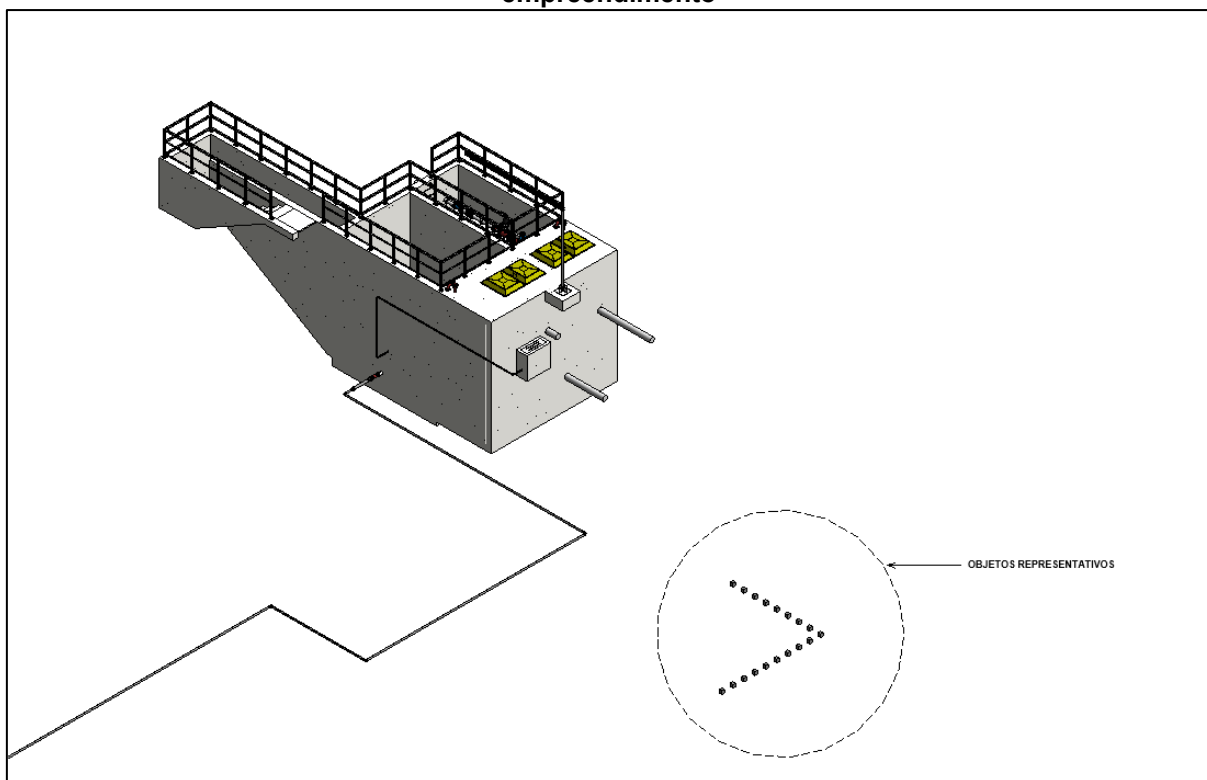


Fonte: Autoria própria a partir de Autodesk (2022)

O resultado da primeira lógica pode ser visto na Figura 26, com os objetos representativos, que tiveram sua geometria resumida a um cubo, a título de simplificação, dispostos ao lado do modelo do empreendimento. Estes objetos podem facilmente ser ocultados de qualquer vista, não impedindo sua funcionalidade.

Com estes objetos inseridos, objetiva-se que quantidades e dados gerados pelos projetistas possam ser facilmente compartilhados entre si, passando o modelo a desempenhar papel de um banco de dados de custos globais do empreendimento em questão, uma vez que armazena também as atividades quantificadas também em outras metodologias.

**Figura 26 – Objetos representativos para atividades dispostos ao lado de modelo do empreendimento**



**Fonte: Autoria própria a partir de Autodesk (2022)**

Em síntese, buscou-se nesta etapa do desenvolvimento uma maneira de armazenar no modelo atividades que embora componham o orçamento, não estão representadas por objetos modelados, simplificando a maneira como os projetistas compartilhariam estes dados e automatizando sua inserção e armazenamento no modelo do empreendimento através de objetos representativos.



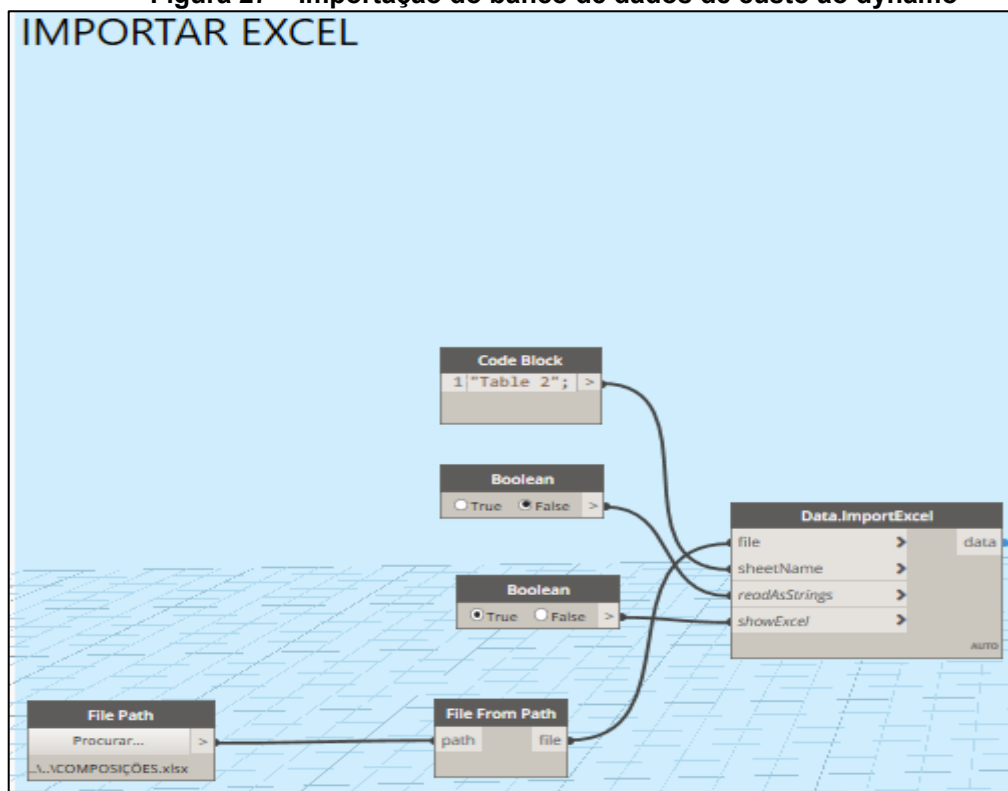
#### 4.3.3 Rotina para automação da inserção de etapas, atividades e serviços a objetos paramétricos do modelo.

Esta rotina é a que apresenta maior número de possibilidades para seu contínuo desenvolvimento, devendo este ser buscado através de metodologias PDCA (*Plan, Do, Check, Act*), de forma a tornar seus resultados mais refinados e abrangentes. Contudo, a rotina aqui programada é suficientemente completa para o estudo em questão.

A Figura 27 apresenta os nós utilizados para a importação da planilha Excel contendo o banco de dados previamente preparado, afim de que, uma vez que o algoritmo seja capaz de ler os códigos das atividades armazenadas nos objetos, poderá buscar por estes códigos e retornar os valores unitários de custos e demais dados de interesse.

Sendo a importação das composições um denominador comum ao início de todos os algoritmos apresentados neste trabalho, o tratamento de dados necessário à criação de listas independentes para cada uma das variáveis de interesse (custos unitários, descrições, unidades de medida) será discutida posteriormente.

**Figura 27 – Importação do banco de dados de custo ao dynamo**

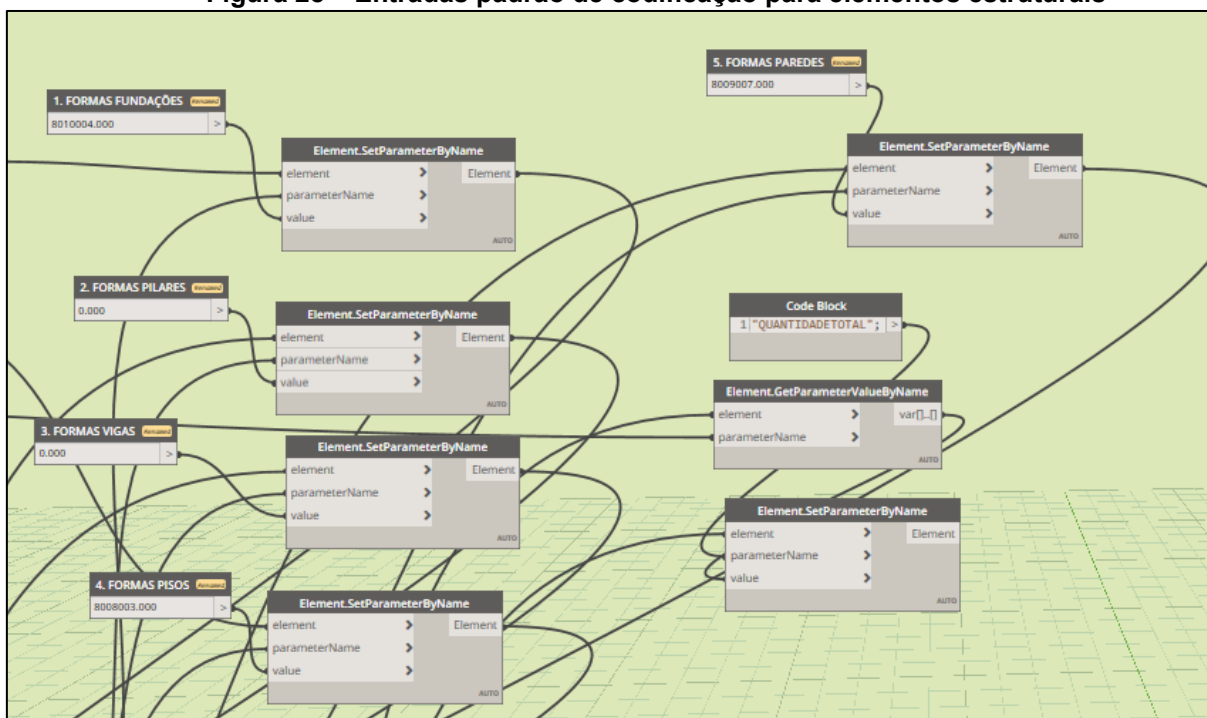


Fonte: Autoria própria a partir de Autodesk (2022)

Alguns *inputs* são solicitados ao usuário nesta etapa do trabalho, afim de tornar a inserção de tarefas aos objetos mais dinâmica. Armazena-se, no entanto, valores padrão de códigos a serem inseridos as diferentes categorias de objetos e grupos de seleção criados na rotina, por razão de praticidade na entrada de dados. A título de exemplificação, caso o usuário opte por trocar a espessura das formas usadas convencionalmente em uma determinada categoria de elementos estruturais, como paredes, pilares ou vigas estruturais, informa-se ao programa o código referente a uma outra composição diferente da armazenada como padrão.

A Figura 28 apresenta os nós utilizados para armazenar os códigos das atividades aos elementos, através do uso da função *SetParameterByName*. O algoritmo, nessa etapa, já é suficientemente inteligente para distinguir cada grupo de objetos estruturais, de instalações mecânicas e hidráulicas.

**Figura 28 – Entradas padrão de codificação para elementos estruturais**



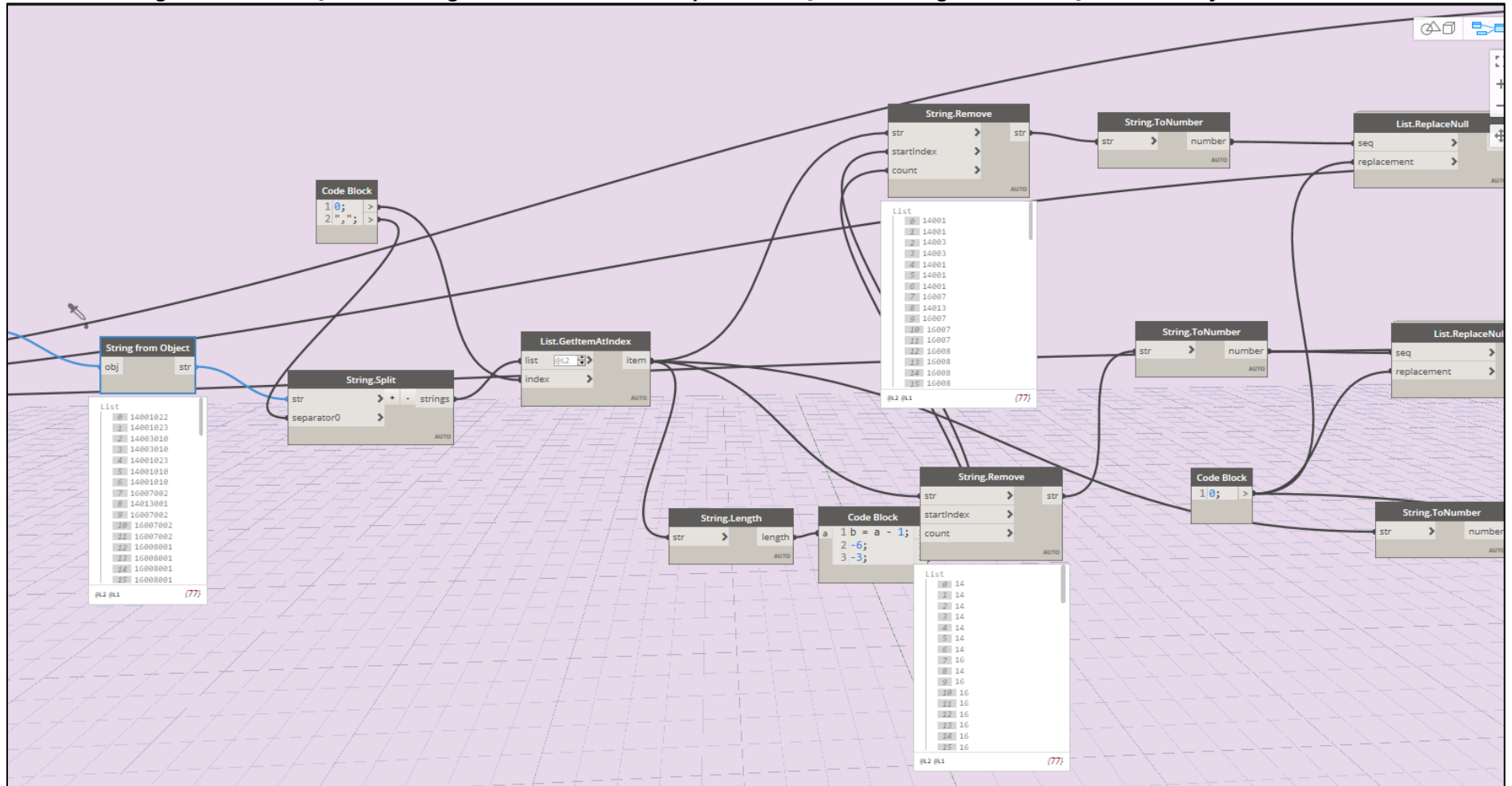
Fonte: Autoria própria a partir de Autodesk (2022)

A partir dos códigos dos serviços armazenados nos objetos, realiza-se tratamento destes dados para obter as atividades e as etapas associadas, armazenando-as também nos objetos juntamente das descrições e dos códigos referentes aos serviços. Este processo de tratamento é análogo ao realizado no primeiro *script* e está demonstrando detalhadamente na Figura 29.

Os códigos armazenados para os serviços são lidos, e através da função *String.Remove*, é possível obter os dados de interesse. Observa-se o nó *String.FromObject*, que converte dados numéricos em *strings*, passando a lista com os códigos dos serviços, e os dois próximos nós *String.Remove* passando, respectivamente, os códigos das atividades e das etapas.

Ao final do processo, usa-se a função *SetParameterByName* para armazenar nos objetos os valores de códigos referentes as etapas, atividades e serviços.

Figura 29 – Obtenção dos códigos das atividades e etapas em função dos códigos dos serviços de um objeto



Fonte: Autoria própria a partir de Autodesk (2022)

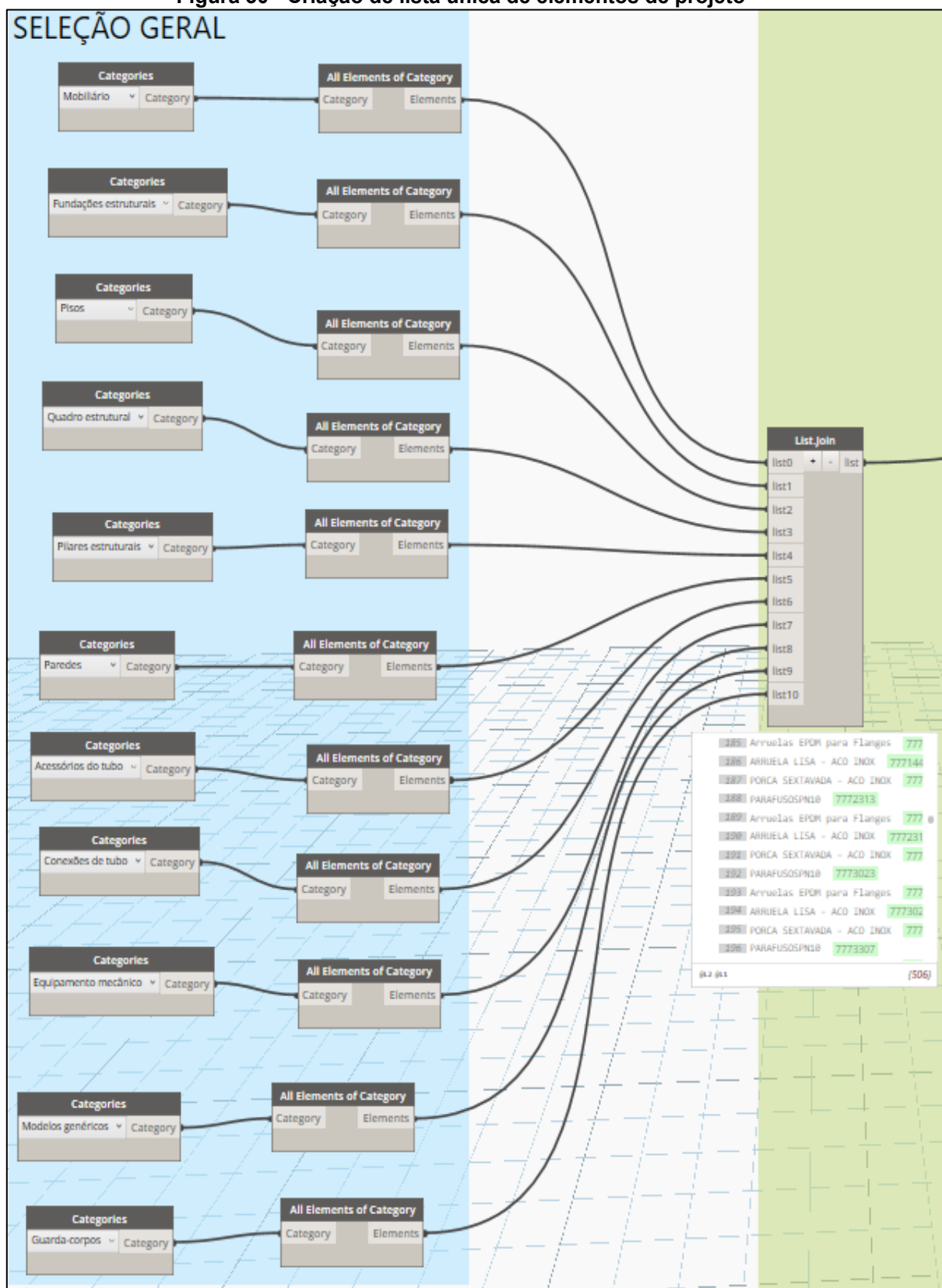
Em síntese, nesta etapa realizou-se a automação da codificação de objetos do modelo, armazenando os códigos de seus serviços, atividades e etapas. O usuário pode informar intuitivamente através do Dynamo Player as entradas para cada grupo de objetos, contando com valores pré-armazenados. Até a conclusão deste trabalho, o programa era capaz de distinguir e tratar corretamente os dados referentes as atividades da estrutura civil, instalações mecânicas e hidráulicas, além de acessórios gerais dos modelos de forma correta.

#### 4.3.4 Montagem e exportação do relatório orçamentário

O terceiro *script* é responsável por fazer a leitura e as operações necessárias nos dados armazenados nas etapas anteriores deste trabalho, uma vez que, agora, o modelo encontra-se com os dados necessários a correta orçamentação.

Inicia-se com a repetição da lógica apresentada na Figura 27, importando tabela de composições ao Dynamo. Criou-se então uma lista única contendo todos os objetos das diferentes categorias usadas no modelo, conforme apresentado na Figura 30

Figura 30 - Criação de lista única de elementos de projeto

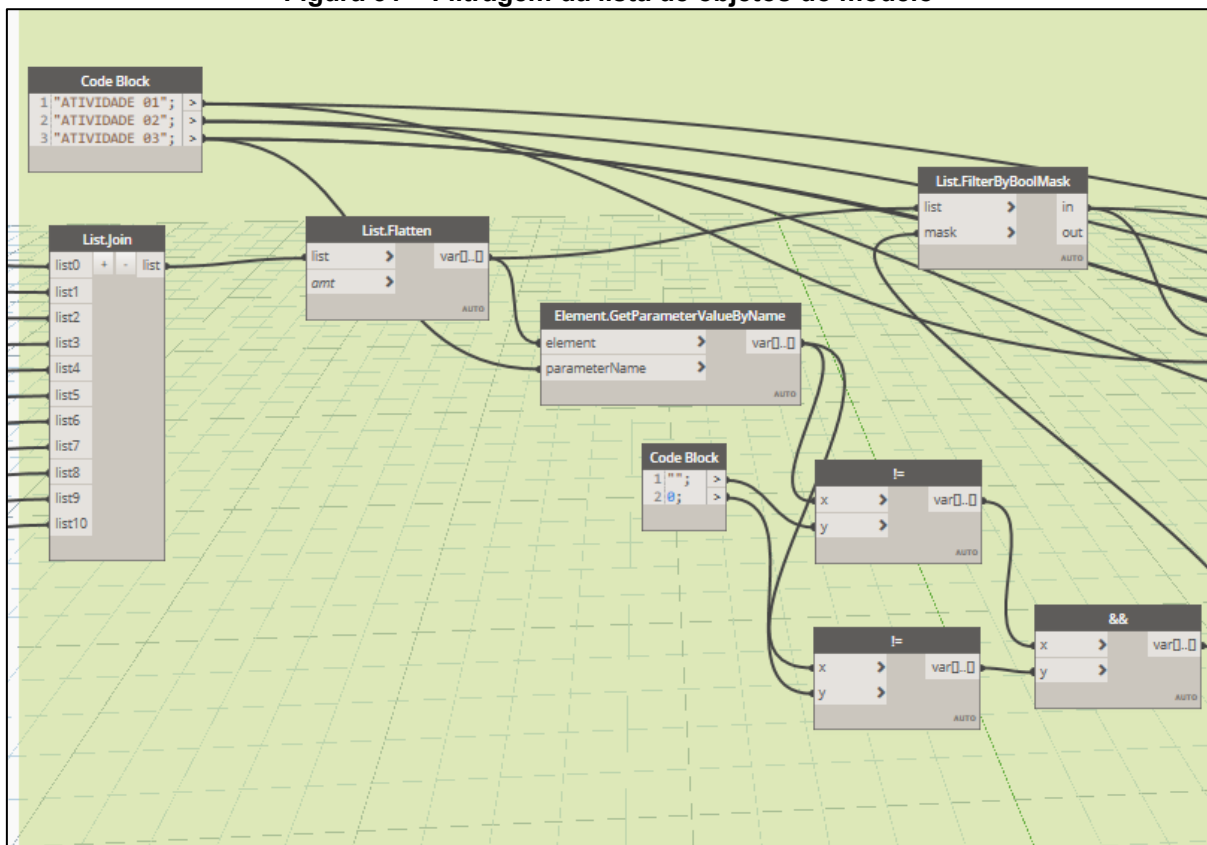


Fonte: Autoria própria a partir de Autodesk (2022)

Partindo então de uma lista unificada, obtida com o nó *List.Join*, realizou-se a filtragem e ordenação desta, visando eliminar objetos que não estejam atrelados a

algum serviço, não devendo estes serem quantificados. Os nós utilizados na filtragem destes elementos estão apresentados na Figura 31.

Figura 31 – Filtragem da lista de objetos do modelo



Fonte: Autoria própria a partir de Autodesk (2022)

A função *List.FilterByBoolMask* foi utilizada para filtragem dos objetos de acordo com as condições descritas, ou seja, objetos que contenham algum valor válido de códigos de serviço, garantindo desde já que o *script* não contabilize elementos sem composição.

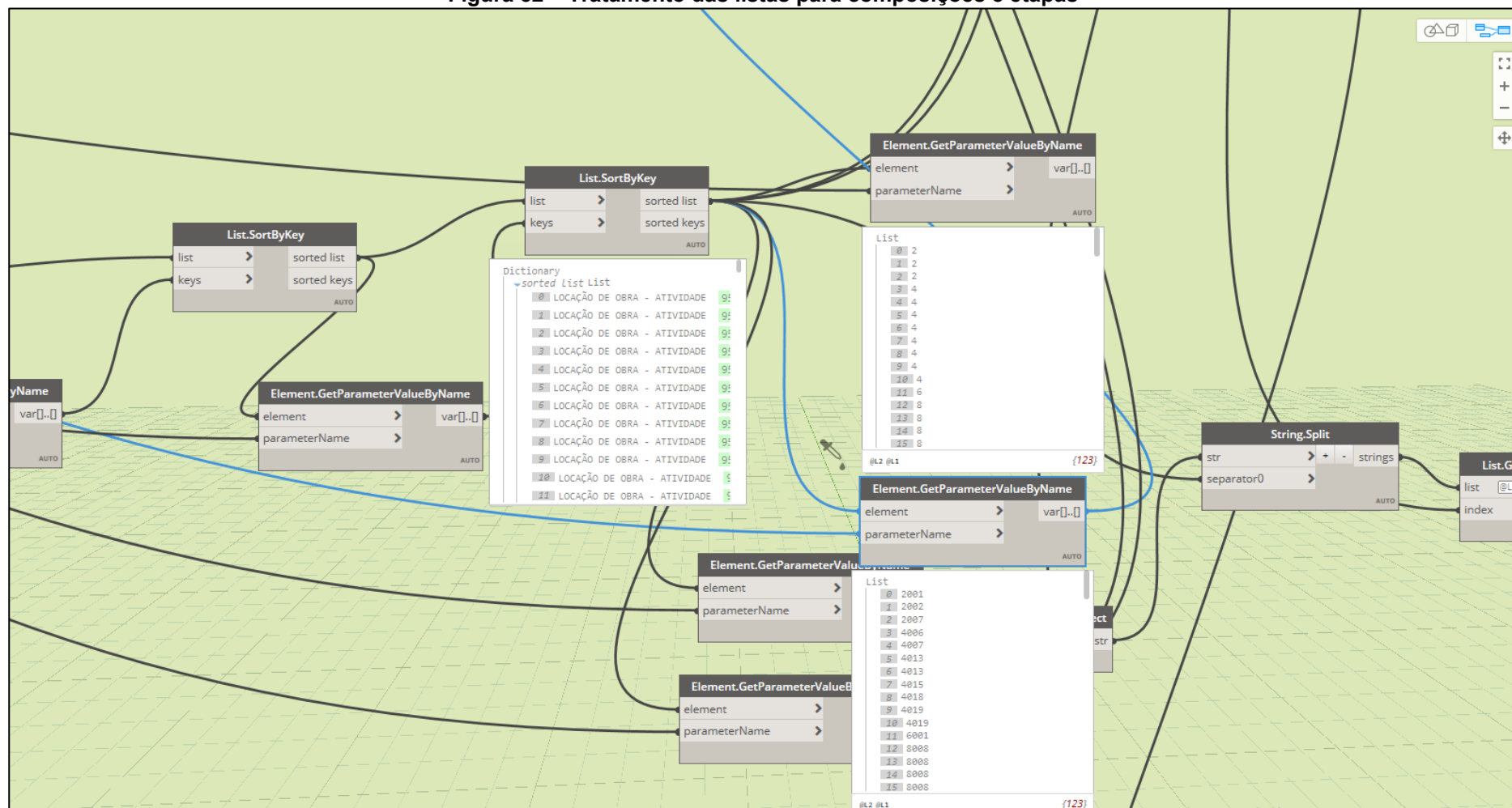
Registra-se que a função *FilterByBoolMask* é amplamente utilizada para filtragem de dados na programação visual, provando-se útil em diversas situações, uma vez que se obtém listas separadas para os objetos que atendem ou não os argumentos de filtragem.

Uma vez filtrados, estes passam por uma sucessiva ordenação, organizando-os em ordem crescente de numeração dos serviços, atividades e etapas, respectivamente. A função utilizada para ordenação foi *List.SortByKey*. Esta função permite a ordenação dos elementos de acordo com entradas que determinem a posição de cada elemento na nova lista.

A Figura 32 apresenta os processos de ordenação supracitados, sendo possível observar os objetos já corretamente ordenados na saída do nó *List.SortByKey*, uma vez que, ao lermos os valores dos códigos de etapa e atividades armazenados, é possível observar que já estão em ordem crescente de numeração.



Figura 32 – Tratamento das listas para composições e etapas



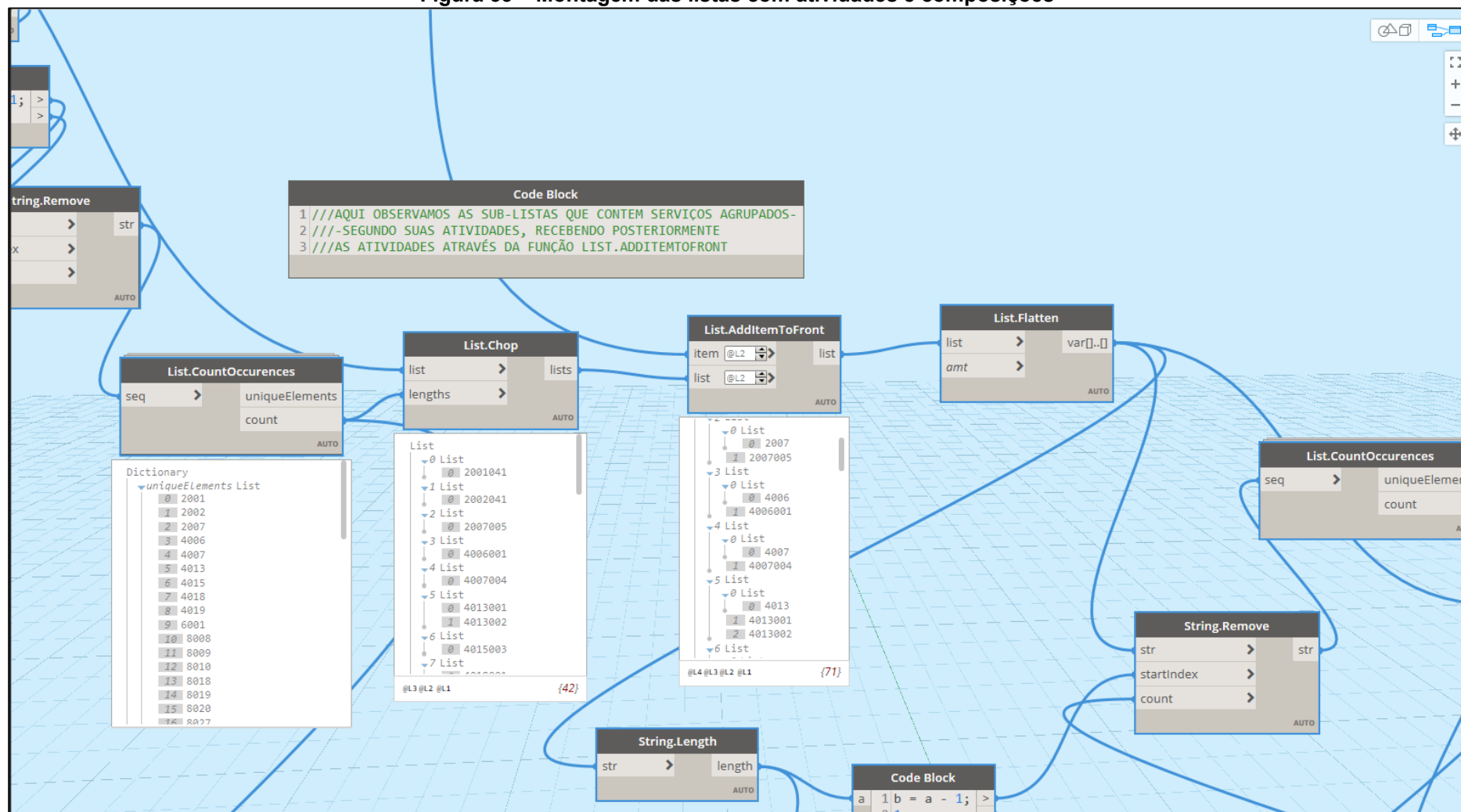
Fonte: Autoria própria a partir de Autodesk (2022)

Para montagem do relatório proposto, é necessário saber quantos serviços pertencem a cada atividade, e quantas atividades pertencem a cada etapa, afim de que se possa unir corretamente as listas contendo cada um dos níveis do orçamento.

A partir da contagem do número de serviços que possuem os mesmos caracteres iniciais, através da função *List.CountOccurrences*, é possível utilizar a função *List.Chop* para dividir a lista de serviços em sublistas, sendo que cada sublista agrupa agora os serviços de uma mesma atividade.

Uma vez que as sublistas estão corretamente criadas, utiliza-se a função *List.AddItemToFront* para adicionar as atividades aos seus serviços. A Figura 33 apresenta com detalhes o processo descrito.

Figura 33 – Montagem das listas com atividades e composições

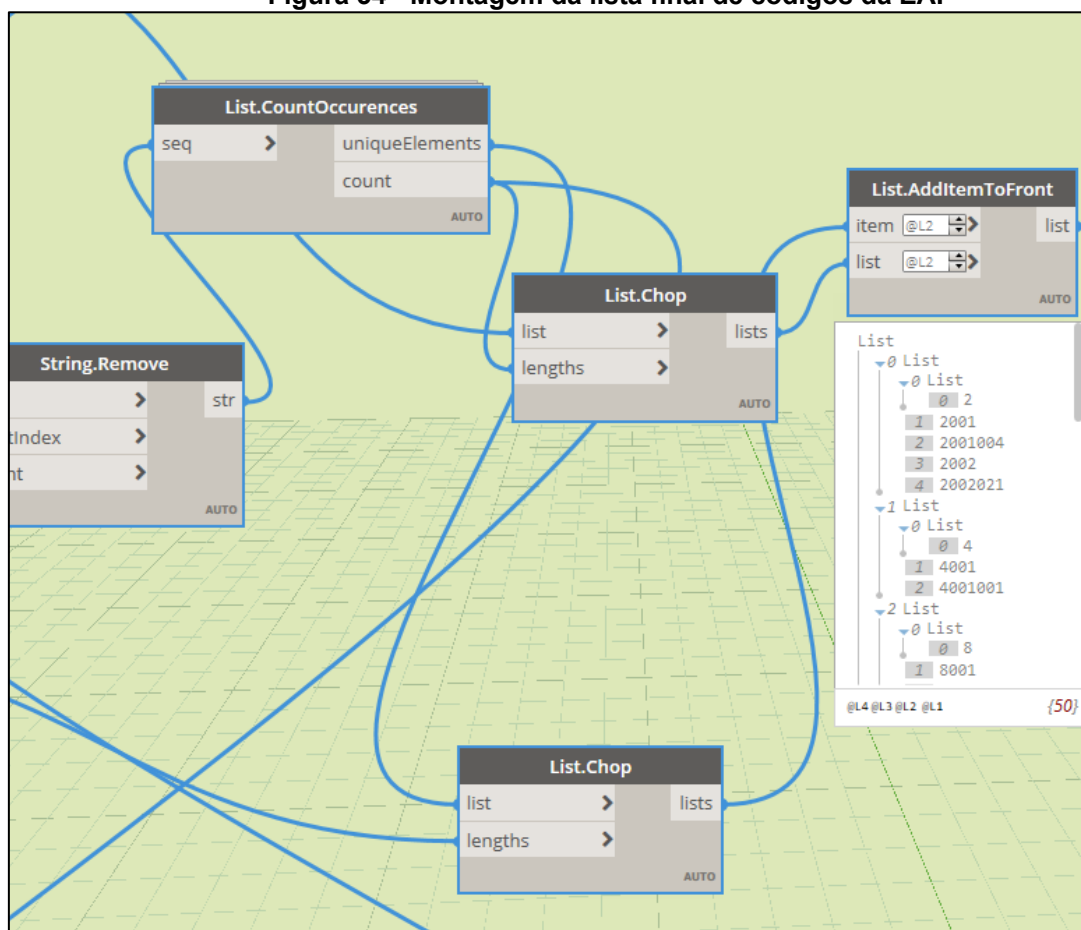


Fonte: Autoria própria a partir de Autodesk (2022)

Processo análogo é realizado para adicionar as sublistas contendo agora atividades e serviços as suas respectivas etapas. A Figura 34 apresenta a lista de códigos, agora completa, na saída do nó *List.AddItemToFront*.

Uma vez de posse da lista completa contendo etapas, atividades e serviços, pode-se buscar nas composições importadas no Dynamo as variáveis de interesse referentes a estes códigos, obtendo as respectivas descrições, custos unitários e unidades de medida.

**Figura 34 - Montagem da lista final de códigos da EAP**



Fonte: Autoria própria a partir de Autodesk (2022)

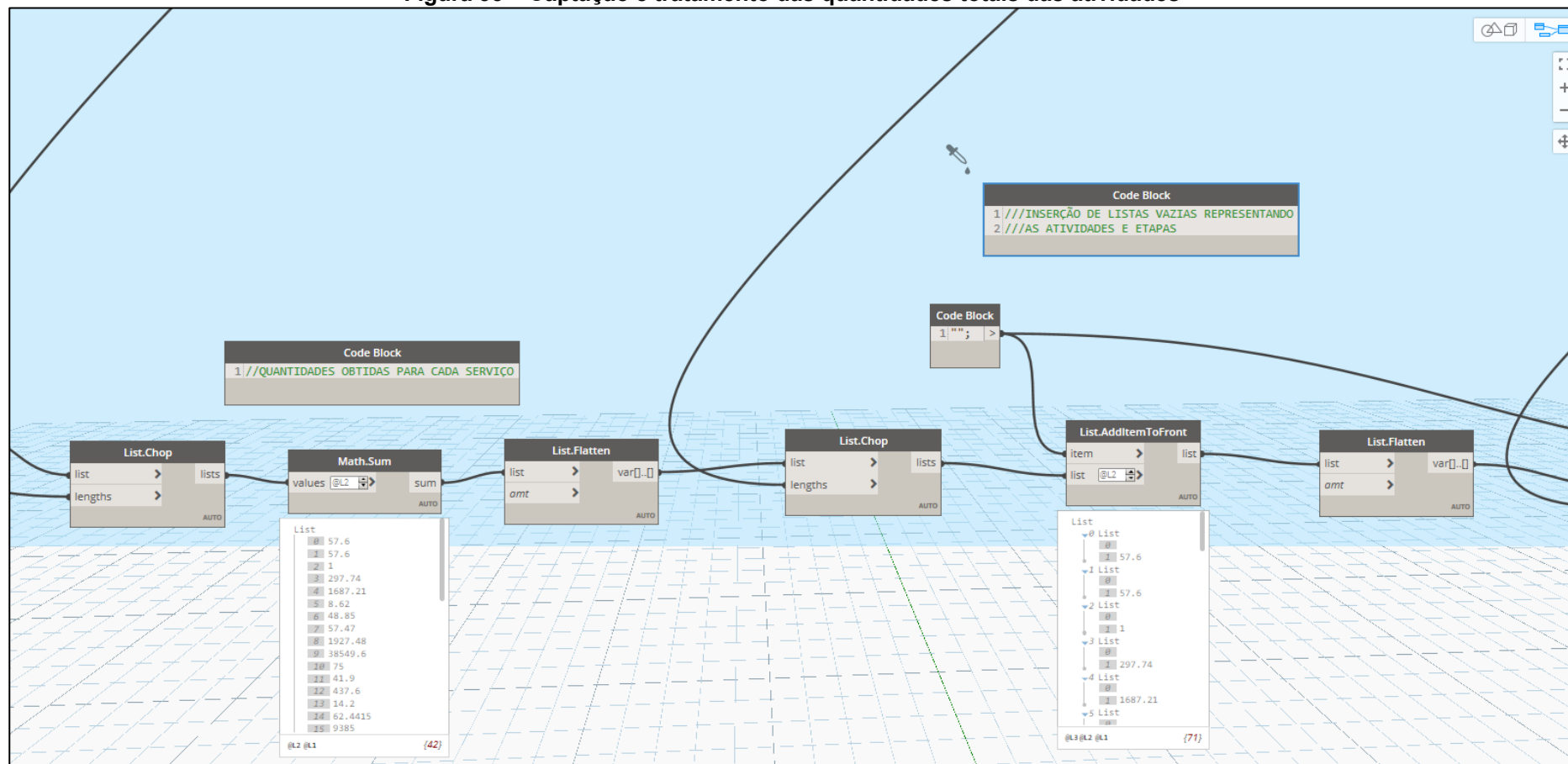
A próxima etapa de programação consiste na obtenção das quantidades fornecidas pelo modelo para cada serviço, e sua associação com os custos unitários obtidos, chegando aos custos de mão de obra e material para cada serviço, lista esta que será exportada no relatório.

O processo para obtenção das quantidades é apresentado na Figura 35. Observa-se as quantidades calculadas já na saída do nó *Math.Sum*, função utilizada

para o somatório de valores. Nesta etapa, adicionam-se listas vazias a lista de quantidades dos serviços, de forma a manter correta indexação entre os diferentes dados trabalhados até aqui.

Uma vez calculados, esses valores são também armazenados nos objetos do modelo, podendo ser consultados nas barras de propriedades de cada objeto, usados também para análise e montagem de relatórios internos

Figura 35 – Captação e tratamento das quantidades totais das atividades

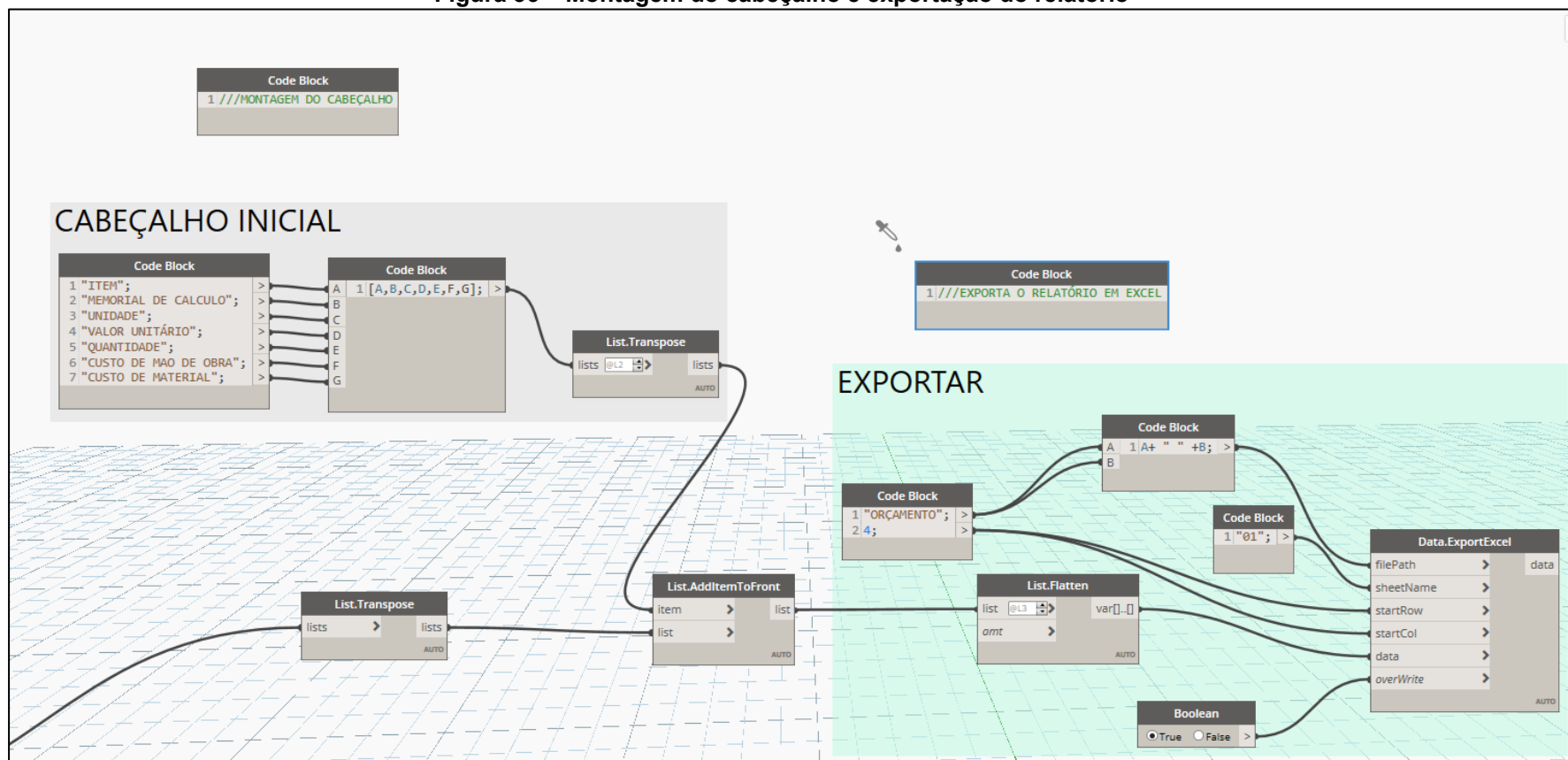


Fonte: Autoria própria a partir de Autodesk (2022)

Uma vez que todos os dados necessários já estão disponíveis, programa-se o cabeçalho do relatório.

A criação do cabeçalho consiste na criação de uma lista que contenha, em cada um de seus itens, a legenda referente a cada coluna do relatório final. Estes dados, transpostos, podem ser adicionados aos dados obtidos anteriormente. A Figura 36 apresenta a união do cabeçalho ao corpo do relatório, seguindo da chamada das funções necessárias a exportação em Excel.

Figura 36 – Montagem do cabeçalho e exportação do relatório



Fonte: Autoria própria a partir de Autodesk (2022)



A Tabela 3 apresenta o relatório gerado pela execução do algoritmo finalizado. Observa-se um relatório organizado de forma racional, atualizado a cada nova execução do programa após alterações nos objetos do modelo. O relatório gerado por metodologia tradicional pode ser visto no Anexo A.

Nesta etapa os dados inseridos previamente no modelo foram lidos e trabalhados de forma a gerar o relatório, obtendo-se, neste ponto, um executável capaz de exportá-lo em planilha Excel. Em paralelo, o algoritmo também armazena nos elementos do modelo seus custos de material e mão de obra calculados.

**Tabela 3 – Relatório orçamentário obtido a partir do script 03 - continua**

ITEM	MEMORIAL DE CALCULO	UNID ADE	VALOR UNITÁRIO	QUANTI DADE	CUSTO DE MAO DE OBRA	CUSTO DE MATERIAL
<b>2</b>	<b>SERVIÇOS TÉCNICOS</b>					
2001	TOPOGRAFIA E GEODÉSIA - SERVIÇOS					
2001 041	Locação da obra com auxílio de equipamento topográfico	m <sup>2</sup>	2,47	57,6	107,136	35,136
2002	TOPOGRAFIA E GEODÉSIA - ESTADIA DA EQUIPE					
2002 041	Locação da obra com auxílio de equipamento topográfico	m <sup>2</sup>	0,5	57,6	28,8	0
2007	CADASTRO DE OBRAS					
2007 005	Cadastro de obra localizada "as built"	ud	114,97	1	114,97	0
<b>4</b>	<b>MOVIMENTO DE SOLOS</b>					
4006	ESCAVAÇÃO MANUAL, NÃO EM VALAS, EM QUALQUER TIPO DE SOLO, EXCETO ROCHA					
4006 001	Profundidade 0 m < h <= 1 m	m <sup>3</sup>	37,65	297,74	11212,8884	0
4007	ESCAVAÇÃO MECÂNICA, NÃO EM VALAS, EM QUALQUER TIPO DE SOLO, EXCETO ROCHA					
4007 004	Profundidade 0 m < h <= 8 m	m <sup>3</sup>	11,05	1687,21	18660,5426	0
4013	ATERRO/REATERRO EM VALAS E CAVAS					
4013 001	Manual	m <sup>3</sup>	8,91	8,62	76,8904	0
4013 002	Mecânico	m <sup>3</sup>	1,59	48,85	77,6715	0
4015	COMPACTAÇÃO NÃO EM VALAS					
4015 003	Com controle do GC - 100% PN	m <sup>3</sup>	7,93	57,47	455,7371	0
4018	CARGA E DESCARGA DE SOLOS					
4018 001	Qualquer tipo de solo exceto rocha	m <sup>3</sup>	2,27	1927,48	4394,6544	0
4019	TRANSPORTE DE SOLOS					

Continuação da Tabela 3

4019001	Qualquer tipo de solo, exceto rocha, em rodovia ou rua	m <sup>3</sup> xk m	1,04	38549, 6	40477,08	0
<b>6</b>	<b>ESGOTAMENTO</b>					
6001	ESGOTAMENTO COM BOMBAS					
6001001	Moto bomba	h	7,46	75	559,5	0
<b>8</b>	<b>FUNDAÇÕES E ESTRUTURAS</b>					
8008	FÔRMA PARA LAJE					
8008001	Chapa resinada e= 12 mm	m <sup>2</sup>	64,08	41,9	2153,241	531,711
8009	FÔRMA PARA VIGA, PILAR E PAREDE					
8009006	Plana em chapa resinada e= 12 mm	m <sup>2</sup>	81,59	437,6	22488,264	13215,52
8010	FÔRMA PARA FUNDAÇÃO E BALDRAME					
8010004	Plana em chapa resinada e= 12 mm	m <sup>2</sup>	59,18	14,2	663,424	176,932
8018	CIMBRAMENTO					
8018001	De madeira	m <sup>3</sup>	59,15	62,441 5	1356,85379 5	2337,18534 5
8019	ARMADURA					
8019001	Em aço CA-50	kg	14,25	9385	43827,95	90002,15
8020	COBRIMENTO DE ARMADURA					
8020006	Pastilhas de concreto e= 5,0 cm	ud	0,79	1098	0	867,42
8027	CURA DO CONCRETO					
8027001	Lâmina de água	m <sup>2</sup>	1,05	61,43	64,5015	0
8027002	Gotejamento contínuo	m	5,58	66,21	329,7258	39,726
8028	GRAUTEAMENTO					
8028001	Argamassa de grauteamento	m <sup>3</sup>	2648,6 4	0,25	79,41	582,75
8030	PROTEÇÃO E IMPERMEABILIZAÇÃO DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO					
8030004	Impermeabilização com manta asfáltica	m <sup>2</sup>	89,51	94,8	1576,524	6909,972
<b>14</b>	<b>INSTALAÇÕES DE PRODUÇÃO</b>					
14001	INSTALAÇÃO DE CONJUNTO MOTOBOMBA					
1400101 0	Cj horizontal até 10 CV	ud	677,8	2	1355,6	0
1400102 2	Cj submersível até 10 CV	ud	254,5	1	254,5	0
1400102 3	Cj submersível 11 CV a 25 CV	ud	407,2	2	814,4	0
14003	INSTALAÇÃO DE EQUIPAMENTOS EM CANALIZAÇÕES					
1400300 4	Válvula de retenção de portinhola simples até DN 100	ud	121,74	2	243,48	0
1400300 5	Válvula de retenção de portinhola simples DN 150 a DN 300	ud	571,82	2	1143,66	0
1400301 0	Ventosa duplo efeito DN 50	ud	79,22	2	158,46	0
14004	INSTALAÇÃO DE VÁLVULA OU REGISTRO					
1400401 4	Junta flangeada DN 50	ud	79,22	2	158,46	0
1400401 6	Junta flangeada DN 80	ud	152,18	5	760,9	0

Continuação da Tabela 3

14004018	Junta flangeada DN 150	ud	182,61	3	547,86	0
14004039	Junta rosqueada FG / Bronze 1.1/4" a 2"	ud	60,68	2	119,6	1,76
14005	INSTALAÇÃO DE JUNTA DIFERENCIADA					
14005018	Junta mecânica de conexão de FD DN 100	ud	121,74	3	365,22	0
14005019	Junta mecânica de conexão de FD DN 150	ud	146,09	11	1606,99	0
14005020	Junta mecânica de conexão de FD DN 200	ud	170,44	2	340,88	0
14005031	Junta mecânica de conexão de FD DN 80	ud	97,39	19	1850,6	0
14007	INSTALAÇÃO DE APARELHO DE MEDIÇÃO E INSTRUMENTAÇÃO					
14007001	Medidor de vazão até DN 150	ud	182,61	2	365,24	0
14007008	Medidor de pressão de 1/2" e 1/4"	ud	34,03	2	67,74	0,34
14013	INSTALAÇÃO DE GUINDASTE GIRATÓRIO					
14013001	Até 500 kgf	ud	1821,2	1	1821,2	0
<b>16</b>	<b>SERVIÇOS DIVERSOS</b>					
16005	ESCADA					
16005002	Escada interna em fibra de vidro	m	1044,2	2,8	133	2790,788
16006	GUARDA CORPO					
16006002	Guarda corpo em fibra de vidro	m	702,56	37,70212152	880,7215587	25607,28094
16007	TAMPA					
16007002	Tampa articulada em fibra de vidro	m <sup>2</sup>	2640,44	4,8	448,512	12225,6
16008	GRELHA					
16008001	Grelha em fibra de vidro	m <sup>2</sup>	1193,45	4,44	373,404	4925,5584
TOTAIS					162516	160250

Fonte: Autoria própria a partir do Excel (2022)

#### 4.3.6 Relatório de validação dos resultados

Como etapa final do fluxo de trabalho deste estudo, e, também como forma de validar e discutir os resultados obtidos pelas três rotinas apresentadas até aqui, o *script* 04 produz relatório comparativo entre o orçamento automatizado e orçamento gerado por metodologia tradicional.

Em suma, este algoritmo compara ambos orçamentos, cruzando seus dados afim de demonstrar as falhas ou omissões em cada um dos documentos.

Desta forma, visualiza-se quais composições constam em cada um dos documentos, obtendo os erros percentuais entre os serviços que estão listados em ambos relatórios. Nesta etapa do trabalho, o desenvolvimento do algoritmo fez o uso apenas de funções já apresentadas neste estudo.

Apontando ao Dynamo o endereço da planilha do orçamento produzido tradicionalmente, a rotina logo exporta ao Excel o relatório comparativo. Enfatiza-se

que sua lógica e também os processos de tratamento de dados necessários utilizam as mesmas funções apresentadas anteriormente.

Uma vez que os algoritmos processaram não apenas dados e quantidades advindas de objetos modelados para o empreendimento em si, mas também de objetos representativos, fica evidente a importância da sinergia na inserção da informação, de forma a evitar conflitos entre os dados inseridos por diferentes profissionais.

A Figura 37 apresenta parte do relatório programado nesta seção, demonstrando as quantidades obtidas em cada metodologia e o erro percentual entre elas. As atividades também estão identificadas quanto a sua presença em cada uma das metodologias. O relatório completo de validação dos resultados pode ser visto no Apêndice A deste trabalho.

**Figura 37 – Relatório de validação de resultados**

ATIVIDADES UNICAS	ATIVIDADES NO MÉTODO BIM	ATIVIDADES NO MÉTODO TRADICIONAL	QUANTIDADES MODELO	QUANTIDADES MANUAL	ERRO PERCENTUAL
SERVIÇOS TÉCNICOS	X	X			-
TOPOGRAFIA E GEODÉSIA - SERVIÇOS	X	X			-
Locação da obra com auxílio de equipamento topográfico	X	X	57,6	57,6	0
TOPOGRAFIA E GEODÉSIA - ESTADIA DA EQUIPE	X	X			-
CADASTRO DE OBRAS	X	X			-
Cadastro de obra localizada "as built"	X	X	1	1	0
MOVIMENTO DE SOLOS	X	X			-
ESCAVAÇÃO MANUAL, NÃO EM VALAS, EM QUALQUER TIPO DE SOLO, EXCETO ROCHA	X	X			-
Profundidade 0 m < h <= 1 m	X	X	297,74	297,7425	0,000839652
ESCAVAÇÃO MECÂNICA, NÃO EM VALAS, EM QUALQUER TIPO DE SOLO, EXCETO ROCHA	X	X			-
Profundidade 0 m < h <= 8 m	X	X	1687,21	1687,2075	0,000148174
ATERRO/REATERRO EM VALAS E CAVAS	X	X			-
Manual	X	X	8,62	8,6205	0,005800128
Mecânico	X	X	48,85	48,8495	0,001023552
COMPACTAÇÃO NÃO EM VALAS	X	X			-
Com controle do GC - 100% PN	X	X	57,47	57,47	0
CARGA E DESCARGA DE SOLOS	X	X			-
Qualquer tipo de solo exceto rocha	X	X	1927,48	1927,48	0
TRANSPORTE DE SOLOS	X	X			-
Qualquer tipo de solo, exceto rocha, em rodovia ou rua	X	X	38549,6	19274,8	100
ESGOTAMENTO	X	X			-
ESGOTAMENTO COM BOMBAS	X	X			-
Moto bomba	X	X	75	75	0
FUNDAÇÕES E ESTRUTURAS	X	X			-
FÔRMA PARA LAJE	X	X			-
Chapa resinada e= 12 mm	X	X	41,9	9,34	348,608137
FÔRMA PARA VIGA, PILAR E PAREDE	X	X			-
Plana em chapa resinada e= 12 mm	X	X	437,6	460,14	4,898509149

Fonte: Autoria própria a partir do Excel (2022)

Objetos quantificados diretamente do modelo e que também tiveram suas quantidades calculadas manualmente apresentam divergências na faixa de 1 a 5 %, atribuídas a arredondamentos e aproximações, sabendo que as quantidades geradas pelo programa são calculadas desconsiderando aproximações ou eventuais perdas.

Vale observar que muitas das quantidades utilizadas na metodologia tradicional de orçamentação foram retiradas do modelo, o que, de certa forma, justifica a grande convergência obtida nos resultados.

Os valores infinitesimais de erro percentual obtidos para atividades que foram inseridas através do *script* 01 são decorrentes de truncamentos e aproximações computacionais, demonstrando, porém, que a programação visual é uma alternativa viável ao gerenciamento e inserção de dados de custo externos ao modelo.

Salvo decisões pessoais dos profissionais quanto a serviços específicos adotados para determinadas categorias, os resultados obtidos convergem com o esperado segundo o referencial teórico: obtém-se economia de materiais, confiabilidade e precisão superior nos levantamentos do empreendimento.

No entanto, estes orçamentos não foram validados com o custo real do empreendimento, uma vez que este não foi executado até a publicação deste trabalho. Através da validação com os custos reais da obra, é possível refinar progressivamente as composições e os custos unitários cadastrados, buscando-se simulações que reproduzam mais fielmente a realidade, o que pode ser tomado como uma extensão deste estudo.

## 5. CONCLUSÃO

A orçamentação através da metodologia BIM, como todo processo de extração computacional de dados, carrega consigo exigências reais a serem supridas pelos usuários que buscam alto nível de especificação de dados e se aventuram em mercados pouco explorados em aplicações tecnológicas.

Este estudo cumpre seu objetivo, uma vez que os algoritmos são capazes de automatizar o preenchimento dos dados necessários e processá-los corretamente, gerando relatório que reproduza os dados inseridos no modelo, atualizando-se segundo as alterações de projeto.

O método, embora demande certo tempo para seu desenvolvimento, apresenta-se como ferramenta viável para análise de custos nas obras de infraestrutura de saneamento, uma vez que permite o acompanhamento das estimativas de forma rápida durante as diferentes etapas dos projetos, entregando à equipe material para diversas análises financeiras.

Melhorias podem ser desenvolvidas continuamente para o *script* 02 de forma a torná-lo mais abrangente a diversas situações particulares de projeto. De fato, é necessário que o usuário tenha pleno conhecimento dos mecanismos de funcionamento dos *scripts* desenvolvidos para que se extraiam deles bons resultados.

A inserção de modelos anexados permite a análise do impacto financeiro gerado por cada disciplina de projeto, tornando mais claras as necessidades e possibilidades de intervenção.

A programação visual se mostra, portanto, uma alternativa viável não só ao ganho de produtividade, mas também ao desenvolvimento de novas funcionalidades nos *softwares* de modelagem e quebra de limitações nativas.

Ficam registradas também sugestões de trabalhos futuros relacionados a automação de processos ligadas a simulações em ambiente BIM aplicadas a diversos setores da construção civil.

- Rotina para automação da estimativa de consumo de tempo para as atividades através dados de produtividade.
- Fluxo de trabalho para automatizar a inserção do modelo e seus custos em um *software* de gerenciamento.
- Rotina para elaboração automatizada do cronograma de obra

- Rotina para automação da geração dos desenhos e detalhamentos necessários a cada disciplina de projeto dos empreendimentos.

## REFERÊNCIAS

AGOSTINHO, M.S.P; DRUSZCZ, M.T; SCUISSATO, C. BIM e o Saneamento: Estudo de caso desenvolvendo modelagem BIM em um sistema de abastecimento de água na região metropolitana de Curitiba. **CONGRESSO ABES**, 2017

AUTODESK. **The Dynamo Primer**. Disponível em: <https://primer.dynamobim.org>  
Acesso em: 28 de novembro de 2021.

BRASIL. **Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020**. Atualiza o marco legal do saneamento básico. Brasília, 2022. Disponível em:  
[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2019-2022/2020/lei/l14026.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/l14026.htm). Acesso em: 18 jun. 2022

BRASIL. Ministério da Indústria, Comércio exterior e Serviços. **Estratégia BIM BR: Estratégia Nacional de Disseminação do Building Information Modelling - BIM**. 2017. Disponível em: <https://www.gov.br/produtividade-e-comercio-exterior/pt-br/images/REPOSITORIO/sdci/CGMO/26-11-2018-estrategia-BIM-BR-2.pdf>. Acesso em: 12 jun. 2022.

CARDOSO, A. **BIM: o que é?** Orientador: Sérgio Pereira. 2012. Trabalho (Mestrado Integrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia, Universidade de Porto, [S. l.], 2012.

CBIC – Câmara Brasileira da indústria da Construção. **BIM é a inovação aplicada à construção civil**: Plataforma tem provocado uma revolução no setor por reduzir custos, aumentar a eficiência e aperfeiçoar o gerenciamento de todas as etapas da construção., 29 jul. 2016. Disponível em: <https://cbic.org.br/bim-e-a-inovacao-aplicada-a-construcao-civil/>. Acesso em: 18 abr. 2022.

CNN BRASIL. **Novo Marco Legal do Saneamento já gerou mais de R\$ 70 bilhões em investimentos**: Sancionada em 2020, legislação permitiu a atração de recursos para o setor com a realização de nove leilões de concessão durante o período. 1 abr. 2022. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/business/novo-marco-legal-do-saneamento-ja-gerou-mais-de-r-70-bilhoes-em-investimentos/>. Acesso em: 12 jun. 2022.

CURT – Construction Users Roundtable. **Collaboration, integrated information and the project lifecycle in building design, construction and operation**. Disponível em: <https://kcuc.org/wp-content/uploads/2013/11/Collaboration-Integrated-Information-and-the-Project-Lifecycle.pdf>. Acesso em: 26 jun. 2022

EASTMAN, C.; TEICHOLZ, P.; SACKS, R.; LISTON, K. **Manual de BIM**: Um guia de modelagem da informação da construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e incorporadores. 1ª edição. ed. 2008.

FABRÍCIO, M. M. & MELHADO, S. B. **Desafios para integração do processo de projeto na construção de edifícios**. In: WORKSHOP NACIONAL GESTÃO DO PROCESSO NA CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS, 2001, São Carlos. Anais... São



FERREIRA, B.M.L. **Desenvolvimento de metodologias BIM de apoio aos trabalhos construtivos de medição e orçamentação** – Dissertação (Mestrado integrado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Porto, 2015. Disponível em: <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/78358/2/34303.pdf>. Acesso em: 26 jun. 2022.

INSTITUTO TRATA BRASIL. **Instituto Trata Brasil divulga o ranking do saneamento 2022 no dia mundial da água**: Na 14ª edição, o Ranking realiza uma análise dos indicadores do SNIS, ano base 2020, com foco nas 100 maiores cidades brasileiras. 2022. Disponível em: <https://tratabrasil.org.br/pt/estudo-blog/estudos-itb/instituto-trata-brasil-divulga-o-ranking-do-saneamento-2022-no-dia-mundial-da-agua#:~:text=Nas%20primeiras%20posi%C3%A7%C3%B5es%20figuram%20munic%C3%ADpios,Nordeste%20e%20Rio%20de%20Janeiro>. Acesso em: 12 jun. 2022.

MEGA SISTEMAS. **O que é BIM?** 2022. Disponível em: <https://www.rubk.com.br/o-que-e-bim/>? Acesso em: 12 jun. 2022.

MEDEIROS, G.R.L. **Projeto de sistemas prediais hidráulicos em BIM: Adequação dos métodos de cálculo às normas brasileiras através da programação visual**. Trabalho (Bacharelado em Engenharia Civil) – Departamento de Integração Acadêmica e Tecnologia, DIATEC, Universidade Federal do Ceará, 2017.

NEGRI, P. **O que é automação e quais os benefícios para as empresas?** Entenda por que automatizar processos ajuda a empresa: mais acesso à informação e redução de custos são dois benefícios. 16/08/2018. Disponível em: <https://www.iugu.com/blog/o-que-e-automacao>. Acesso em: 25. jun. 2022

PINA, H.R.M. **Metodologia BIM na Gestão da Manutenção de uma Estação Elevatória**. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Aveiro, 2015. Disponível em: <https://ria.ua.pt/handle/10773/14955>. Acesso em: 29 nov. 2021.

REVISTA MEIOAMBIENTE. **Indústria da construção gera mais de 50% dos resíduos sólidos**. 19 out. 2017. Disponível em: <https://rmai.com.br/industria-da-construcao-gera-mais-de-50-dos-residuos-solidos/>. Acesso em: 9 jun.

SANEPAR – Companhia de Saneamento do Paraná. **Simulação da tabela de preços**. 2021. Disponível em: [https://site.sanepar.com.br/sites/site.sanepar.com.br/files/informacoes-tecnicas/tabelas-de-precos/dezembro\\_2021\\_-\\_sem\\_bdi\\_-\\_obras\\_civis\\_mos.pdf](https://site.sanepar.com.br/sites/site.sanepar.com.br/files/informacoes-tecnicas/tabelas-de-precos/dezembro_2021_-_sem_bdi_-_obras_civis_mos.pdf). Acesso em: 18 jun. 2022

SANEPAR – Companhia de Saneamento do Paraná. **Códigos de Material – Projetos de Saneamento e Instalações Mecânicas**. 2022. Disponível em: <https://site.sanepar.com.br/categoria/informacoes-tecnicas/codigos-de-material>. Acesso em: 18 jun. 2022

TAKE BLIP BLOG. **API: conceito, exemplos de uso e importância da integração para desenvolvedores.** 8 maio 2019. Disponível em: <https://www.take.net/blog/tecnologia/api-conceito-e-exemplos/>”. Acesso em: 9 jun. 2022.

YORI, R.; KIM, M.; KIRBY, L. **Mastering Autodesk Revit 2020.** 1ª edição. ed. 2020.

## ANEXO A – Orçamento produzido tradicionalmente

<b>2</b>	<b>SERVIÇOS TÉCNICOS</b>		
201	TOPOGRAFIA E GEODÉSIA - SERVIÇOS		
20141	Locação de obra com auxílio de equipamento topográfico	m <sup>2</sup>	57,6
202	TOPOGRAFIA E GEODÉSIA - ESTADIA DA EQUIPE		
20241	Locação da obra com auxílio de equipamento topográfico	m <sup>2</sup>	57,6
207	CADASTRO DE OBRAS		
20705	Cadastro de obra localizada "as built"	ud	1
<b>4</b>	<b>MOVIMENTO DE SOLOS</b>		
406	ESCAVAÇÃO MANUAL, NÃO EM VALAS, EM QUALQUER TIPO DE SOLO, EXCETO ROCHA		
40601	Profundidade 0 m < h <= 1 m	m <sup>3</sup>	297,7425
407	ESCAVAÇÃO MECÂNICA, NÃO EM VALAS, EM QUALQUER TIPO DE SOLO, EXCETO ROCHA		
40704	Profundidade 0 m < h <= 8 m	m <sup>3</sup>	1687,2075
413	ATERRO/REATERRO EM VALAS E CAVAS		
41301	Manual	m <sup>3</sup>	8,6205
41302	Mecânico	m <sup>3</sup>	48,8495
415	COMPACTAÇÃO NÃO EM VALAS		
41503	Com controle do GC - 100% PN	m <sup>3</sup>	57,47
418	CARGA E DESCARGA DE SOLOS		
41801	Qualquer tipo de solo exceto rocha	m <sup>3</sup>	1927,48
419	TRANSPORTE DE SOLOS		
41901	Qualquer tipo de solo, exceto rocha, em rodovia ou rua	m <sup>3</sup> .Km	19274,8
<b>6</b>	<b>ESGOTAMENTO</b>		
601	ESGOTAMENTO COM BOMBAS		
60101	Moto bomba	h	75
<b>8</b>	<b>FUNDAÇÕES E ESTRUTURAS</b>		
808	FÔRMA PARA LAJE		
80801	Chapa resinada e= 12 mm	m <sup>2</sup>	9,34
809	FÔRMA PARA VIGA, PILAR E PAREDE		
80906	Plana em chapa resinada e= 12 mm	m <sup>2</sup>	460,14
818	CIMBRAMENTO		
81801	De madeira	m <sup>3</sup>	62,4415
819	ARMADURA		
81901	Em aço CA-50	kg	9385
820	COBRIMENTO DE ARMADURA		
82006	Pastilhas de concreto e= 5,0 cm	ud	1098
821	CONCRETO CONVENCIONAL		
82101	Não estrutural	m <sup>3</sup>	5,846
822	CONCRETO USINADO		
82221	fck = 40,0 MPa - slump 12	m <sup>3</sup>	73,2
823	BOMBEAMENTO DE CONCRETO		
82301	Bombeamento de concreto usinado	m <sup>3</sup>	73,2

**Continuação do Anexo A – Orçamento produzido tradicionalmente**

827	CURA DO CONCRETO		
82701	Lâmina de água	m <sup>3</sup>	61,427
82702	Gotejamento contínuo	m	66,205
828	GRAUTEAMENTO		
82801	Argamassa de grauteamento	m <sup>3</sup>	0,25
830	PROTEÇÃO E IMPERMEABILIZAÇÃO DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO		
83001	Impermeabilização flexível com poliuretano ou poliuréia	m <sup>2</sup>	94,8
<b>14</b>	<b>INSTALAÇÕES DE PRODUÇÃO</b>		
1401	INSTALAÇÃO DE CONJUNTO MOTOBOMBA		
140110	Cj horizontal até 10 CV	ud	2
140122	Cj submersível até 10 CV	ud	1
140123	Cj submersível 11 CV a 25 CV	ud	2
1403	INSTALAÇÃO DE EQUIPAMENTOS EM CANALIZAÇÕES		
140304	Válvula de retenção de portinhola simples até DN 100	ud	2
140305	Válvula de retenção de portinhola simples DN 150 a DN 300	ud	2
140310	Ventosa duplo efeito DN 50	ud	2
1404	INSTALAÇÃO DE VÁLVULA OU REGISTRO		
140414	Junta flangeada DN 50	ud	2
140416	Junta flangeada DN 80	ud	5
140418	Junta flangeada DN 150	ud	3
1405	INSTALAÇÃO DE JUNTA DIFERENCIADA		
140517	Junta mecânica de conexão de FD DN 80	ud	4
140518	Junta mecânica de conexão de FD DN 100	ud	1
140519	Junta mecânica de conexão de FD DN 150	ud	2
1407	INSTALAÇÃO DE APARELHO DE MEDIÇÃO E INSTRUMENTAÇÃO		
140701	Medidor de vazão até DN 150	ud	2
140708	Medidor de pressão de 1/2" e 1/4"	ud	2
140710	Medidor de nível	ud	2
1413	INSTALAÇÃO DE GUINDASTE GIRATÓRIO		
141301	Até 500 kgf	ud	1
1436	MONTAGEM DE TUBULAÇÃO		
143602	Tubo e conexão FD JE/JE2GS DN 80	ud	2
143620	Tubo e conexão FD JF DN 80	ud	20
143621	Tubo e conexão FD JF DN 100	ud	2
143622	Tubo e conexão FD JF DN 150	ud	10
143623	Tubo e conexão FD JF DN 200	ud	2
143689	Tubo e conexão de PEAD/PP JS - DE 60 a DE 125	ud	5
<b>16</b>	<b>SERVIÇOS DIVERSOS</b>		
1605	ESCADA		
160502	Escada interna em fibra de vidro	m	2,8
1606	GUARDA CORPO		
160601	Guarda corpo em fibra de vidro	m	39

**Continuação do Anexo A – Orçamento produzido tradicionalmente**

1607	TAMPA		
160702	Tampa articulada em fibra de vidro	m <sup>2</sup>	4,8

**Fonte: Consult Engenharia a partir do Excel (2021)**

## APÊNDICE A – Relatório de validação de resultados

ATIVIDADES UNICAS	ATIVIDADES NO MÉTODO BIM	ATIVIDADES NO MÉTODO TRADICIONAL	QUANTIDADES MODELO	QUANTIDADES MANUAL	ERRO PERCENTUAL
<b>SERVIÇOS TÉCNICOS</b>	X	X			-
TOPOGRAFIA E GEODÉSIA - SERVIÇOS	X	X			-
Locação da obra com auxílio de equipamento topográfico	X	X	57,6	57,6	0
TOPOGRAFIA E GEODÉSIA - ESTADIA DA EQUIPE	X	X			-
CADASTRO DE OBRAS	X	X			-
Cadastro de obra localizada "as built"	X	X	1	1	0
<b>MOVIMENTO DE SOLOS</b>	X	X			-
ESCAVAÇÃO MANUAL, NÃO EM VALAS, EM QUALQUER TIPO DE SOLO, EXCETO ROCHA	X	X			-
Profundidade 0 m < h <= 1 m	X	X	297,74	297,7425	0,000839652
ESCAVAÇÃO MECÂNICA, NÃO EM VALAS, EM QUALQUER TIPO DE SOLO, EXCETO ROCHA	X	X			-
Profundidade 0 m < h <= 8 m	X	X	1687,21	1687,2075	0,000148174
ATERRO/REATERRO EM VALAS E CAVAS	X	X			-
Manual	X	X	8,62	8,6205	0,005800128
Mecânico	X	X	48,85	48,8495	0,001023552
COMPACTAÇÃO NÃO EM VALAS	X	X			-
Com controle do GC - 100% PN	X	X	57,47	57,47	0
CARGA E DESCARGA DE SOLOS	X	X			-
Qualquer tipo de solo exceto rocha	X	X	1927,48	1927,48	0
TRANSPORTE DE SOLOS	X	X			-
Qualquer tipo de solo, exceto rocha, em rodovia ou rua	X	X	38549,6	19274,8	100
<b>ESGOTAMENTO</b>	X	X			-
ESGOTAMENTO COM BOMBAS	X	X			-
Moto bomba	X	X	75	75	0
<b>FUNDAÇÕES E ESTRUTURAS</b>	X	X			-
FÔRMA PARA LAJE	X	X			-
Chapa resinada e= 12 mm	X	X	41,9	9,34	348,608137
FÔRMA PARA VIGA, PILAR E PAREDE	X	X			-
Plana em chapa resinada e= 12 mm	X	X	437,6	460,14	4,898509149
FÔRMA PARA FUNDAÇÃO E BALDRAME	X				-
CIMBRAMENTO	X	X			-
De madeira	X	X	62,4415	62,4415	1,14E-14
ARMADURA	X	X			-
Em aço CA-50	X	X	9385	9385	0

**Continuação do Apêndice A – Relatório de validação de resultados**

COBRIMENTO DE ARMADURA	X	X			-
Pastilhas de concreto e= 5,0 cm	X	X	1098	1098	0
CURA DO CONCRETO	X	X			-
Lâmina de água	X	X	61,43	61,427	0,004883846
Gotejamento contínuo	X	X	66,21	66,205	0,0075523
GRAUTEAMENTO	X	X			-
Argamassa de grauteamento	X	X	0,25	0,25	0
PROTEÇÃO E IMPERMEABILIZAÇÃO DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO	X	X			-
Impermeabilização com manta asfáltica	X		94,8		-
<b>INSTALAÇÕES DE PRODUÇÃO</b>	X	X			-
INSTALAÇÃO DE CONJUNTO MOTOBOMBA	X	X			-
Cj horizontal até 10 CV	X	X	2	2	0
Cj submersível até 10 CV	X	X	1	1	0
Cj submersível 11 CV a 25 CV	X	X	2	2	0
INSTALAÇÃO DE EQUIPAMENTOS EM CANALIZAÇÕES	X	X			-
Válvula de retenção de portinhola simples até DN 100	X	X	2	2	0
Válvula de retenção de portinhola simples DN 150 a DN 300	X	X	2	2	0
Ventosa duplo efeito DN 50	X	X	2	2	0
INSTALAÇÃO DE VÁLVULA OU REGISTRO	X	X			-
Junta flangeada DN 50	X	X	2	2	0
Junta flangeada DN 80	X	X	5	5	0
Junta flangeada DN 150	X	X	3	3	0
Junta rosqueada FG / Bronze 1.1/4" a 2"	X		2		-
INSTALAÇÃO DE JUNTA DIFERENCIADA	X	X			-
Junta mecânica de conexão de FD DN 100	X	X	3	1	200
Junta mecânica de conexão de FD DN 150	X	X	11	2	450
Junta mecânica de conexão de FD DN 200	X		2		-
Junta mecânica de conexão de FD DN 80	X	X	19	4	375
INSTALAÇÃO DE APARELHO DE MEDIÇÃO E INSTRUMENTAÇÃO	X	X			-
Medidor de vazão até DN 150	X	X	2	2	0
Medidor de pressão de 1/2" e 1/4"	X	X	2	2	0
INSTALAÇÃO DE GUINDASTE GIRATÓRIO	X	X			-
Até 500 kgf	X	X	1	1	0
<b>SERVIÇOS DIVERSOS</b>	X	X			-
ESCADA	X	X			-
Escada interna em fibra de vidro	X	X	2,8	2,8	0
GUARDA CORPO	X	X			-
Guarda corpo em fibra de vidro	X	X	37,70212152	39	3,32789354
TAMPA	X	X			-

**Continuação do Apêndice A – Relatório de validação de resultados**

Tampa articulada em fibra de vidro	X	X	4,8	4,8	0
GRELHA	X				-
Grelha em fibra de vidro	X		4,44		-
Locação de obra com auxílio de equipamento topográfico		X		57,6	-
CONCRETO CONVENCIONAL		X			-
Não estrutural		X		5,846	-
CONCRETO USINADO		X			-
fck = 40,0 MPa - slump 12		X		73,2	-
BOMBEAMENTO DE CONCRETO		X			-
Bombeamento de concreto usinado		X		73,2	-
Impermeabilização flexível com poliuretano ou poliuréia		X		94,8	-
Medidor de nível		X		2	-
MONTAGEM DE TUBULAÇÃO		X			-
Tubo e conexão FD JE/JE2GS DN 80		X		2	-
Tubo e conexão FD JF DN 80		X		20	-
Tubo e conexão FD JF DN 100		X		2	-
Tubo e conexão FD JF DN 150		X		10	-
Tubo e conexão FD JF DN 200		X		2	-
Tubo e conexão de PEAD/PP JS - DE 60 a DE 125		X		5	-

**Fonte: Autoria própria a partir do Excel (2022)**