

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

Camila Kanashiro de Sousa

**Potencialidades da Modelagem Hidráulica com o *Software SewerCAD* para o Controle Operacional em Sistemas de Esgotamento Sanitário: Estudo de Caso no Bairro Pedra Branca, Palhoça - SC**

Florianópolis

2023

Camila Kanashiro de Sousa

**Potencialidades da Modelagem Hidráulica com o *Software SewerCAD* para o Controle Operacional em Sistemas de Esgotamento Sanitário:** Estudo de Caso no Bairro Pedra Branca, Palhoça - SC

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental.

Orientador(a): Prof. Pablo Heleno Sezerino, Dr.

Florianópolis

2023

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

de Sousa, Camila Kanashiro de  
Potencialidades da Modelagem Hidráulica com o Software  
SewerCAD para o Controle Operacional em Sistemas de  
Esgotamento Sanitário : Estudo de Caso no Bairro Pedra  
Branca, Palhoça - SC / Camila Kanashiro de de Sousa ;  
orientador, Pablo Heleno Sezerino, 2023.  
113 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -  
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico,  
Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental,  
Florianópolis, 2023.

Inclui referências.

1. Engenharia Sanitária e Ambiental. 2. Sistemas de  
Esgotamento Sanitário. 3. Controle Operacional. 4.  
Modelagem Hidráulica. 5. Gestão de Sistemas de Esgotamento  
Sanitário. I. Sezerino, Pablo Heleno. II. Universidade  
Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia  
Sanitária e Ambiental. III. Título.

Camila Kanashiro de Sousa

**Potencialidades da Modelagem Hidráulica com o *Software SewerCAD* para o Controle Operacional em Sistemas de Esgotamento Sanitário:** Estudo de Caso no Bairro Pedra Branca,  
Palhoça - SC

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de “Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental” e aprovado em sua forma final pelo Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental.

Florianópolis, 12 de dezembro de 2023.



Prof. Bruno Segalla Pizzolatti, Dr.  
Coordenador do Curso

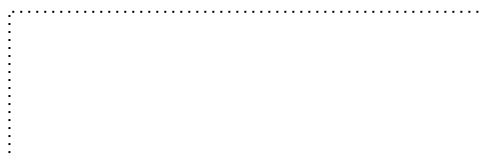
**Banca examinadora**



Prof. Pablo Heleno Sezerino, Dr.  
Orientador



Prof. Ramon Lucas Dalsasso, Dr.  
Universidade Federal de Santa Catarina



Eng. Fabrício Jacques Vieira, Me.  
Universidade Federal de Santa Catarina

Florianópolis, 2023.

Este trabalho é dedicado aos profissionais e entusiastas da área de esgotamento  
sanitário.

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar cabe a mim agradecer à minha família, sobretudo aos meus pais os responsáveis pela minha formação, agradeço por me proporcionarem a oportunidade de estudar em um outro Estado, me incentivando sempre a evoluir, tanto no campo pessoal como profissional. Para eles devo tudo, Rosendo e Célia, obrigada.

Quero também dedicar um agradecimento especial à minha avó Wilma, que é um exemplo de superação ao concluir três graduações em meio à criação de sua família, e ao meu saudoso avô Rosendo, que sempre esteve presente em todos os momentos importantes de minha vida e sei que estará olhando com carinho enquanto finalizo esta etapa. A ambos, minha profunda gratidão.

Quero expressar meu sincero agradecimento ao meu amigo Luiz Felipe, que esteve ao meu lado durante toda a graduação. Nos momentos bons e ruins, sua presença e incentivo foram essenciais para continuarmos progredindo juntos. Também não posso deixar de expressar minha gratidão à minha amiga Ana Júlia, uma amizade que começou no primeiro semestre como uma dupla de laboratório e que se transformou em algo muito especial para mim. A ambos, agradeço por compartilharmos essa jornada acadêmica e por tornarem esses anos especiais.

Agradeço ao meu orientador, professor Pablo, pelo auxílio na elaboração deste trabalho, e por me despertar interesse na área com suas aulas excelentes, tornando-se parte fundamental para encontrar o caminho profissional que desejo seguir.

Agradeço à equipe do SAE Pedra Branca pela atenção e fornecimento de materiais e dados, e à SANOVA por proporcionar um ambiente de aprendizado.

Por fim, agradeço aos professores do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental por me agregarem conhecimentos durante este período de minha formação acadêmica, e tenho imensa gratidão pela excelente formação pública, gratuita e de qualidade proporcionada pela Universidade Federal de Santa Catarina.

*“Com o tempo; adquiere a reflexão o seu império, e eu incluo no tempo a condição do estudo, sem o qual o espírito fica em perpétua infância.”*

*(Machado de Assis)*

## RESUMO

A gestão eficiente e sustentável dos sistemas de esgoto sanitário é uma preocupação fundamental no contexto do saneamento básico, sendo o controle operacional do sistema um ponto primordial para garantir o seu correto funcionamento. O objetivo deste trabalho consistiu em investigar as potencialidades do *software* de modelagem hidráulica *SewerCAD* para este fim, por meio de um estudo de caso realizado no bairro Pedra Branca, em Palhoça - SC. De maneira a desenvolver este estudo, foram realizados levantamentos das características do sistema de esgotamento sanitário no bairro e investigação das principais questões relacionadas ao controle operacional, e exploração das funcionalidades do *software SewerCAD* com a construção de um modelo hidráulico. A metodologia empregada incluiu a revisão bibliográfica, coleta de dados do sistema de esgotamento sanitário, análise documental, troca de informações com os profissionais responsáveis pelo sistema, estudo do *software SewerCAD* e execução de simulações por meio do modelo hidráulico construído. Os resultados revelaram que o *software SewerCAD* apresentou-se como uma ferramenta eficaz para o controle operacional em sistemas de esgotamento sanitário, permitindo a análise e simulação de diferentes cenários. Identificaram-se melhorias potenciais para o sistema no bairro Pedra Branca, como a otimização da rede de esgoto e identificação de pontos críticos de operação. Diante disso, conclui-se que o uso do *software SewerCAD* pode contribuir significativamente para aprimorar o controle operacional em sistemas de esgotamento sanitário, e recomenda-se a adoção da modelagem hidráulica como uma ferramenta auxiliar na gestão e operação de sistemas similares, visando obter melhores resultados para reduzir os problemas operacionais.

**Palavras-chave:** Modelagem Hidráulica; Sistemas de Esgotamento Sanitário; *Software SewerCAD*; Controle Operacional; Gestão de Sistemas de Esgotamento Sanitário.



## ABSTRACT

Efficient and sustainable management of sanitary sewer systems is a fundamental concern in the context of basic sanitation, with operational control being a crucial point to ensure their proper functioning. The aim of this study was to investigate the capabilities of the hydraulic modeling software SewerCAD for this purpose, through a case study conducted in the Pedra Branca neighborhood in Palhoça, SC. To develop this study, surveys of the characteristics of the sanitary sewer system in the neighborhood were conducted, along with an investigation of key issues related to operational control. The functionalities of the SewerCAD software were explored through the construction of a hydraulic model. The methodology included literature review, data collection from the sanitary sewer system, document analysis, information exchange with professionals responsible for the system, a study of the SewerCAD software, and simulation execution. The results revealed that SewerCAD proved to be an effective tool for operational control in sanitary sewer systems, enabling the analysis and simulation of different scenarios. Potential improvements for the system in Pedra Branca were identified, such as the optimization of the sewer network and the identification of critical operational points. Consequently, it is concluded that the use of SewerCAD software can significantly contribute to enhancing operational control in sanitary sewer systems. The adoption of hydraulic modeling is recommended as an auxiliary tool in the management and operation of these systems, aiming to achieve better outcomes and reduce operational issues.

**Keywords:** Hydraulic Modeling; Sanitary Sewer System; SewerCAD Software; Operational Control; Sanitary Sewer System Management.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Rede coletora de esgoto convencional. ....	23
Figura 2 – Inspeção por vídeo da rede coletora de esgoto. ....	27
Figura 3 – Processo da manutenção no sistema SES. ....	34
Figura 4 – Fluxograma do processo de modelagem hidráulica. ....	39
Figura 5 – Tela de início do <i>software SewerCAD</i> . ....	41
Figura 6 – Ferramentas para importação de dados externos e formatos compatíveis. .....	42
Figura 7 – Processo de criação de cenários e alternativas. ....	44
Figura 8 – Perfil hidráulico gerado de trecho de rede. ....	45
Figura 9 – Fluxograma das etapas metodológicas. ....	46
Figura 10 – Mapa de localização do bairro Pedra Branca, Palhoça-SC. ....	49
Figura 11 – Mapa de altimetria da área de estudo. ....	50
Figura 12 – Mapa de bacias de contribuição de esgoto. ....	53
Figura 13 – Mapa de calor de consumo de água no sistema do SAE Pedra Branca. .	54
Figura 14 – Mapa de cadastro de redes da área de estudo. ....	56
Figura 15 – Mapa de estações elevatórias de esgoto da área de estudo. ....	57
Figura 16 – EEE Atobás. ....	58
Figura 17 – EEE Figueiras. ....	58
Figura 18 – EEE Jacob Knabben. ....	59
Figura 19 – EEE Curiós. ....	60
Figura 20 – EEE Parque da Pedra. ....	61
Figura 21 – Tela inicial das elevatórias de esgoto no sistema de telemetria. ....	62
Figura 22 – Sistema de telemetria com os dados de nível da EEE Atobás. ....	62
Figura 23 – Esquema do funcionamento da ETE do SAE Pedra Branca. ....	63
Figura 24 – Reator UASB – ETE SAE Pedra Branca. ....	63
Figura 25 – Tanque eletroquímico – ETE SAE Pedra Branca. ....	64
Figura 26 – CEPT – ETE SAE Pedra Branca. ....	64
Figura 27 – Tratamento do lodo – ETE SAE Pedra Branca. ....	65
Figura 28 – Sistema de telemetria – ETE SAE Pedra Branca. ....	65
Figura 29 – Caminhão hidrojetado de empresa terceirizada. ....	70
Figura 30 – Execução de serviços de desentupimento de rede de esgoto. ....	70
Figura 31 – Limpeza EEE Parque da Pedra com caminhão hidrojetado. ....	71

Figura 32 – Limpeza da caixa e cestos na EEE Atobás. ....	71
Figura 33 – Limpeza de cesto da EEE Atobás. ....	72
Figura 34 – Ampliação de rede de esgoto. ....	72
Figura 35 – Ferramenta <i>Google My Maps</i> para georreferenciamento de pontos. ....	73
Figura 36 – Mapa de ocorrências de OS para o serviço de desentupimento de rede. ....	74
Figura 37 – Preenchimento das informações no novo modelo hidráulico. ....	78
Figura 38 – Configuração das opções do modelo hidráulico. ....	78
Figura 39 – Adição de camadas de plano de fundo no modelo hidráulico. ....	79
Figura 40 – Tabela de atributos da camada de redes de esgoto no <i>QGIS</i> . ....	80
Figura 41 – Ferramenta <i>ModelBuilder</i> para importação de dados no modelo hidráulico. .....	81
Figura 42 – Resultados da importação de dados no modelo hidráulico. ....	82
Figura 43 – Ferramenta <i>Terrain Models</i> para inserção da elevação do terreno. ....	83
Figura 44 – Ferramenta Consultas e painel Navegador de rede. ....	84
Figura 45 – Ferramenta Definições de Bomba. ....	85
Figura 46 – Curva da bomba em estado estático. ....	86
Figura 47 – Ferramenta <i>LoadBuilder</i> . ....	87
Figura 48 – Resumo de cálculo - <i>LoadBuilder</i> . ....	88
Figura 49 – <i>FlexTables</i> Poços de Visita. ....	88
Figura 50 – <i>FlexTable</i> Condutos para inserir a taxa de infiltração. ....	89
Figura 51 – Ferramenta Opções de Cálculo. ....	90
Figura 52 – Nova alternativa de cálculo. ....	91
Figura 53 – Catálogo de condutos. ....	92
Figura 54 – Definição de restrições de projeto para o dimensionamento automático. .....	93
Figura 55 – Criação de novo cenário para o dimensionamento automático. ....	93
Figura 56 – Configuração dos controles de bombas. ....	94
Figura 57 – Configuração do padrão de variação horária da carga sanitária. ....	95
Figura 58 – Assimilação do padrão nos poços de visita. ....	96
Figura 59 – Criação de nova opção de cálculo e cenário em EPS. ....	96
Figura 60 – Propriedades da codificação de cores. ....	97
Figura 61 – Resultados hidráulicos do estado estático: Velocidade. ....	98
Figura 62 – Resultados hidráulicos do estado estático: Tensão trativa. ....	98
Figura 63 – Resultados hidráulicos do estado estático: Lâmina da água. ....	99

Figura 64 – Resultados hidráulicos do estado estático: Vazão. ....	100
Figura 65 – Resultados hidráulicos em EPS: Vazão de entrada do poço da EEE....	101
Figura 66 – Resultados hidráulicos em EPS: Linha piezométrica do poço da EEE.	101
Figura 67 – Resultados hidráulicos em EPS: Perfil hidráulico. ....	102
Figura 68 – Resultados hidráulicos em EPS: Curva da bomba. ....	102
Figura 69 – Resultados hidráulicos em EPS: Lâmina da água e poços de visita com transbordamento. ....	103
Figura 70 – Resultados hidráulicos em cenário de aumento das cargas sanitárias: Lâmina da água e poços de visita com transbordamento. ....	104

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Indicadores operacionais - esgoto. ....	36
Quadro 2 – Representação dos elementos no software. ....	43
Quadro 3 – Estrutura organizacional do SAE Pedra Branca. ....	66
Quadro 4 – Relação de serviços por setor de execução. ....	67
Quadro 5 – Ordens de serviço executadas por setor. ....	67
Quadro 6 – Ordens de serviço executadas por descrição do serviço. ....	69
Quadro 7 – Indicadores de desempenho geral do sistema de esgotamento sanitário SAE-PB. ....	75
Quadro 8 – Resultados dos indicadores de desempenho avaliados em julho/23. ....	75

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Principais dados do sistema de esgotamento sanitário do SAE Pedra Branca. .....	52
Tabela 2 – Comprimento de rede por diâmetro.....	55

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ARIS	Agência Reguladora Intermunicipal de Saneamento
ASTM	American Society for Testing and Materials
CEPT	Chemically Enhanced Primary Treatment
EEE	Estação Elevatória de Esgoto
EPS	Extended Period Simulation
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
NBR	Normativa Brasileira
PMSB	Plano Municipal de Saneamento Básico
SAE	Sistema de Água e Esgoto
SAMAE	Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
UASB	Upflow Anaerobic Sludge Blanket

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>19</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>21</b>
2.1	OBJETIVO GERAL.....	21
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	21
<b>3</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>22</b>
3.1	CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO .....	22
3.2	CONTROLE OPERACIONAL EM SISTEMAS DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO.....	24
<b>3.2.1</b>	<b>Principais atividades de operação e manutenção do sistema .....</b>	<b>25</b>
3.2.1.1	<i>Inspeção da rede coletora .....</i>	26
3.2.1.2	<i>Corte de ligações clandestinas .....</i>	27
3.2.1.3	<i>Reposição de tampões de poços de visita.....</i>	28
3.2.1.4	<i>Fiscalização de contribuições especiais.....</i>	28
3.2.1.5	<i>Desobstrução e limpeza de coletores e singularidades.....</i>	28
3.2.1.6	<i>Operação e manutenção de estação elevatória de esgoto .....</i>	29
3.2.1.7	<i>Operação e manutenção da estação de tratamento de esgoto .....</i>	30
3.2.1.8	<i>Registro para controle de informações .....</i>	31
3.2.1.9	<i>Atualização do cadastro técnico.....</i>	32
<b>3.2.2</b>	<b>Classificação de níveis de manutenção .....</b>	<b>33</b>
<b>3.2.3</b>	<b>Indicadores operacionais .....</b>	<b>34</b>
3.3	MODELAGEM HIDRÁULICA E SIMULAÇÃO .....	38
<b>3.3.1</b>	<b>Uso de <i>softwares</i> de modelagem hidráulica associados a um software de geoprocessamento .....</b>	<b>40</b>
<b>3.3.2</b>	<b>Software SewerCAD.....</b>	<b>40</b>
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>46</b>
4.1	ETAPA 1 – COLETA DE DADOS E ANÁLISE DAS CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA .....	46
<b>4.1.1</b>	<b>Localização e características da área de estudo.....</b>	<b>48</b>
4.2	ETAPA 2 – COLETA DE DADOS HIDRÁULICOS E CONSTRUÇÃO DO MODELO HIDRÁULICO .....	50
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>52</b>



5.1	ETAPA 1 – COLETA DE DADOS E ANÁLISE DAS CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA.....	52
<b>5.1.1</b>	<b>Sistema de esgotamento sanitário .....</b>	<b>52</b>
5.1.1.1	<i>Estrutura de consumo do sistema.....</i>	53
5.1.1.2	<i>Redes coletoras de esgoto.....</i>	55
5.1.1.3	<i>Estações elevatórias de esgoto .....</i>	56
5.1.1.4	<i>Estação de tratamento de esgoto.....</i>	62
<b>5.1.2</b>	<b>Controle operacional do sistema SAE Pedra Branca.....</b>	<b>66</b>
5.1.2.1	<i>Corpo técnico .....</i>	66
5.1.2.2	<i>Ordens de serviços recebidas.....</i>	67
5.1.2.3	<i>Principais serviços de manutenção e operação realizados.....</i>	68
	5.1.2.3.1 <i>Desentupimento de rede de esgoto .....</i>	73
5.1.2.4	<i>Indicadores de desempenho.....</i>	74
<b>5.1.3</b>	<b>Principais desafios identificados.....</b>	<b>75</b>
5.2	ETAPA 2 – COLETA DE DADOS HIDRÁULICOS E CONSTRUÇÃO DO MODELO HIDRÁULICO .....	76
<b>5.2.1</b>	<b>Preparações iniciais do modelo hidráulico.....</b>	<b>77</b>
5.2.1.1	<i>Camadas do plano de fundo .....</i>	79
<b>5.2.2</b>	<b>Dados de entrada .....</b>	<b>79</b>
5.2.2.1	<i>Dados cadastrais.....</i>	79
5.2.2.2	<i>Dados de topografia.....</i>	82
5.2.2.3	<i>Problemas de conectividade.....</i>	83
5.2.2.4	<i>Dados operacionais.....</i>	84
5.2.2.5	<i>Inserção de cargas sanitárias aos nós .....</i>	86
<b>5.2.3</b>	<b>Verificação de erros e validação do modelo hidráulico.....</b>	<b>89</b>
5.2.3.1	<i>Projeto automatizado .....</i>	90
<b>5.2.4</b>	<b>Simulação em período estendido (EPS) .....</b>	<b>94</b>
<b>5.2.5</b>	<b>Resultados hidráulicos .....</b>	<b>97</b>
5.2.5.1	<i>Estado estático.....</i>	97
5.2.5.2	<i>Estado em período estendido (EPS).....</i>	100
<b>5.2.6</b>	<b>Criação de cenário com variação das cargas sanitárias.....</b>	<b>103</b>
5.3	MELHORIAS PROPOSTAS PARA O SISTEMA.....	104
<b>5.3.1</b>	<b>Instalação de misturador compacto na elevatória.....</b>	<b>104</b>
<b>5.3.2</b>	<b>Adoção de manutenções preventivas em pontos críticos .....</b>	<b>105</b>

<b>5.3.3</b>	<b>Atualização cadastral e aprimoramento do gerenciamento .....</b>	<b>106</b>
<b>5.3.4</b>	<b>Aprimoramento do sistema de telemetria .....</b>	<b>107</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>108</b>
6.1	RECOMENDAÇÕES.....	109
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>110</b>
	<b>APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO SISTEMA OPERACIONAL DO SAE</b>	
	<b>PEDRA BRANCA .....</b>	<b>113</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O sistema de esgotamento sanitário desempenha um papel fundamental na preservação do meio ambiente e na promoção da saúde pública. A eficiência e o controle operacional adequado desses sistemas são essenciais para garantir o tratamento adequado dos efluentes gerados e evitar impactos negativos no meio ambiente e na qualidade de vida das comunidades. Segundo o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS (2021), o índice médio de atendimento total de esgoto por meio de rede coletora no Brasil é de 55,8%, sendo o índice para a região Sul do país de 48,4%.

Com a atualização do marco legal do saneamento básico, pelo estabelecimento da Lei nº 14.026/2020, tem-se no Art. 11-B a redação que designa o dever de definir metas para atingir em 2033 a universalização do atendimento de 90% da população com coleta e tratamento de esgotos, por parte das contratações de prestação dos serviços públicos de saneamento básico. Essa determinação representa um passo significativo em direção à melhoria dos serviços de saneamento básico no país, visando atender as necessidades essenciais da população.

Apesar das evoluções técnicas na área do saneamento, observa-se ainda precariedade ao se referir à cobertura de atendimento com rede de esgoto no Brasil. A crescente demanda de comunidades por sistemas de esgotamento sanitário requer planejamento das ações por parte dos gestores públicos, englobando a elaboração de projetos, obtenção de financiamentos para implantação e operação do sistema. Tendo isso em vista, é relevante que os profissionais envolvidos entendam o sistema de esgoto sanitário como componente integrante da infraestrutura urbana, que justifica o elevado investimento a ser empreendido (Pereira; Soares, 2006).

As empresas e companhias operadoras de sistemas de esgoto dedicam investimentos significativos na melhoria da gestão operacional, visando a redução de custos e, conseqüentemente, aprimoramento na eficiência de suas operações. Assim, torna-se cada vez mais imperativo para essas organizações contar com ferramentas que auxiliem em tomada de decisões embasadas, possibilitando uma alocação eficaz e estratégica dos recursos financeiros disponíveis (Spakovskis; Gomes, 2019).

No âmbito da gestão de sistemas de esgoto, é essencial buscar soluções que permitam a implantação de redes adequadas às características locais, garantindo um desempenho otimizado e reduzindo problemas operacionais. Nesse contexto, o uso de programas computacionais, como a modelagem hidráulica, podem ser ferramentas de solução rápida,

eficaz e prática, respeitando os parâmetros técnicos estabelecidos pelas normativas (Rivadeneira; Ullauri; Barzola-Monteses, 2018).

A modelagem hidráulica tem se mostrado uma ferramenta poderosa para o dimensionamento, análise e controle operacional de redes de esgoto, oferecendo a possibilidade de simular diferentes cenários, permitindo a identificação de condições ideais e a implementação de melhorias no sistema, além de fornecer meios de gestão preventiva por meio da automação e modernização dos planos de controle de sistemas de saneamento (Saboia, 2022).

Neste contexto, o presente estudo tem como objetivo explorar as potencialidades da modelagem hidráulica aplicada a sistemas de esgotamento sanitário utilizando o software *SewerCAD*, que possui diversas funcionalidades. Por meio da análise de um estudo de caso, busca-se explorar as ferramentas e resultados obtidos pela modelagem hidráulica, e espera-se que este estudo contribua para o conhecimento sobre as potencialidades de se utilizar esta ferramenta auxiliar aliada ao aprimoramento da gestão dos sistemas de esgotamento sanitário, fornecendo subsídios para a tomada de decisões mais eficientes e sustentáveis.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Inferir à aplicação do *software SewerCAD* como ferramenta de modelagem hidráulica para o controle operacional em sistemas de esgotamento sanitário, por meio de um estudo de caso no bairro Pedra Branca, Palhoça - SC.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar um levantamento das características do sistema de esgotamento sanitário no bairro Pedra Branca, investigando as principais questões relacionadas ao controle operacional;
- Explorar as funcionalidades e recursos do *software SewerCAD* a partir da construção de um modelo hidráulico do local de estudo e realizar simulações.

### 3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### 3.1 CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO

O sistema de esgotamento sanitário é uma infraestrutura essencial para a preservação do meio ambiente e a promoção da saúde pública. Composto por uma série de elementos interconectados, seu correto funcionamento é crucial para assegurar o tratamento adequado dos efluentes e prevenir impactos adversos no ecossistema e na qualidade de vida das populações.

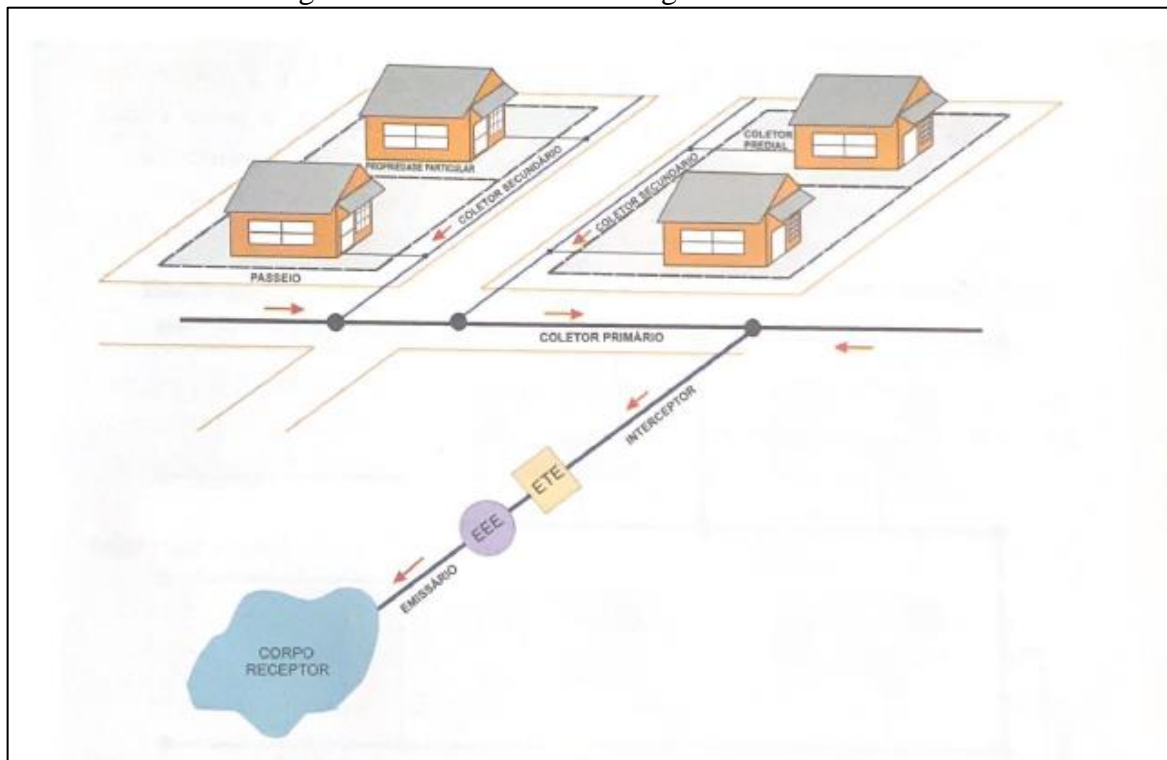
Existem duas principais classificações para os sistemas de redes coletoras de esgoto: o sistema unitário, que combina o escoamento de águas pluviais e esgoto em uma única rede, e que atualmente encontra-se em desuso; e o sistema separador absoluto, que mantém esses fluxos em redes distintas, permitindo maior controle do comportamento das redes (Crespo, 1997).

Conforme exposto por Tsutiya e Alem Sobrinho (1999), os componentes fundamentais desse sistema incluem:

- Rede Coletora: conjunto de canalizações destinadas a receber e conduzir os esgotos dos edifícios. Dentre os coletores, tem-se o coletor predial, o coletor secundário que recebe as contribuições, e o coletor tronco, sendo este o principal que recebe dos coletores secundários.
- Interceptor: canalizações que recebem coletores ao longo de seu comprimento, não recebendo contribuições prediais diretas. Transporta o efluente da bacia de esgotamento até a estação elevatória ou de tratamento.
- Estação Elevatória de Esgoto (EEE): conjunto de instalações destinadas a transferir os esgotos de uma cota mais baixa para outra cota mais alta.
- Estação de Tratamento de Esgotos (ETE): conjunto de instalações destinadas ao tratamento para redução da carga orgânica e demais poluentes dos esgotos, antes de seu lançamento no corpo receptor.
- Emissário: canalizações destinadas a conduzir os esgotos até o destino final, ou seja, o corpo receptor.

De maneira a ilustrar os principais componentes do sistema de esgoto, na Figura 1 tem-se a configuração de uma rede coletora convencional.

Figura 1 – Rede coletora de esgoto convencional.



Fonte: Pereira e Soares (2006).

Além dos componentes citados, conforme descrito na ABNT NBR nº 9.649/1986, é essencial a utilização de órgãos acessórios no início e final de cada trecho do coletor, caracterizados por dispositivos fixos desprovidos de equipamentos mecânicos. Dentre estes, tem-se:

- Poço de visita (PV): câmara visitável através de abertura existente em sua parte superior, o que permite o acesso para realização de atividades de inspeção, desobstrução e limpeza do coletor.
- Tubo de limpeza e inspeção (TIL): dispositivo não visitável, destinado à inspeção visual e à introdução de equipamentos de desobstrução e limpeza dos coletores.
- Tubo de limpeza (TL): dispositivo não visitável, destinado à introdução de equipamentos de desobstrução e limpeza dos coletores.
- Caixa de passagem (CP): câmara sem acesso que não permite a inspeção. Pode ser localizado no meio do trecho do coletor em caso de necessidade construtiva ou econômica.
- Caixa de inspeção (CI): dispositivo que permite a inspeção e desobstrução do coletor, utilizada em coletores assentados em pequenas profundidades para conexão de ligação predial.

A elaboração de um projeto de concepção de redes coletoras de esgoto em conformidade com as normativas estabelecidas para os componentes do sistema é de suma importância. Esse planejamento meticuloso não apenas assegura a eficiência e funcionalidade do sistema, mas também facilita sobremaneira os serviços de operação e manutenção a serem realizados no futuro.

### 3.2 CONTROLE OPERACIONAL EM SISTEMAS DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO

O controle operacional em sistemas de esgotamento sanitário envolve uma série de atividades que visam monitorar, regular e otimizar o fluxo de esgoto desde a coleta inicial até o tratamento final. Isso inclui o gerenciamento de coletores, interceptores, estações de bombeamento e estações de tratamento de esgoto (ETEs), bem como a manutenção de equipamentos e a gestão de resíduos resultantes do tratamento (Costa; Baggio, 2018).

A Norma ABNT NBR ISO 24.510/2012 refere-se a atividades relacionadas aos serviços de água potável e de esgoto, definindo diretrizes para a avaliação e melhoria dos serviços prestados aos usuários. Na norma são expostos os principais objetivos para prestadores de serviços de esgoto, os critérios para avaliação dos serviços relacionados a esses objetivos, além de ações para atingi-los. Muitos problemas nos sistemas de esgotamento sanitário são identificados durante as atividades de manutenção ou por meio de reclamações dos clientes.

Para Costa e Baggio (2018), os seguintes aspectos encontram-se entre as responsabilidades do prestador de serviços de esgoto:

- Operação;
- Controles da eficiência operacional;
- Manutenção (inspeção, reabilitação, reparo);
- Monitoramento da qualidade e quantidade do esgoto e resíduo;
- Comissionamento (interrupção, reinicialização e descomissionamento);
- Solução de problemas;
- Documentação;
- Respostas às emergências.



### 3.2.1 Principais atividades de operação e manutenção do sistema

Segundo a ABNT NBR 5462/1994, define-se o termo “manutenção” como a integração de todas as atividades técnicas e administrativas, incluindo supervisão, com o propósito de preservar ou restaurar um item a um estado no qual seja capaz de desempenhar a função exigida. Já o termo “operação” é definido como um conjunto de atividades técnicas e administrativas que visam viabilizar que um objeto desempenhe a função exigida. Isso leva em conta a necessidade de ajustes diante de alterações nas condições externas, como variações na demanda do serviço e nas condições ambientais.

Assim, as concessionárias responsáveis por administrar um sistema de esgotamento sanitário devem contar com equipes tecnicamente aptas para executar operações e manutenções na rede coletora de esgoto de forma eficaz e segura. Estas equipes, compreendendo técnicos especializados e pessoal de apoio, devem ter à disposição os equipamentos e materiais necessários para atender prontamente as demandas do dia a dia (Marsalek *et al*, 1998).

Para Pereira e Soares (2006), dentre as principais atividades de operação e manutenção do sistema de rede coletora de esgoto sanitário, encontram-se:

- Inspeção da rede coletora;
- Corte de ligações clandestinas;
- Reposição de tampões de poços de visita;
- Fiscalização de contribuições especiais;
- Desobstrução e limpeza de coletores e singularidades;
- Monitoramento da vazão coletada;
- Operação e manutenção da estação elevatória de esgoto;
- Operação e manutenção da estação de tratamento de esgoto;
- Registro para controle de informações;
- Controle de consumo de energia elétrica;
- Atualização do cadastro técnico.

Nos itens a seguir tem-se maiores detalhamentos sobre os principais serviços citados que são comumente realizados em uma companhia de esgoto.

### 3.2.1.1 Inspeção da rede coletora

Muitas falhas nos elementos do sistema de esgoto não são incidentes repentinos, mas representam uma mudança qualitativa precedida por uma acumulação gradual de condições que levam ao problema. Por exemplo, o entupimento de esgotos geralmente resulta de uma acumulação gradual de sedimentos, ou de falhas estruturais que normalmente são precedidas pelo aparecimento de rachaduras nas tubulações. Indicações da condição deteriorada do sistema podem ser detectadas por meio de inspeções, que se beneficiam da tecnologia moderna (Marsalek *et al*, 1998).

A concessionária deve contar com um plano de inspeção destinado a detectar eventuais problemas ou irregularidades no coletor. Para isso, é importante estabelecer uma rotina de inspeção que defina a equipe responsável, a frequência e a área de atuação na bacia de esgotamento. A inspeção ocorre por trecho, envolvendo a abertura dos pontos de visita a montante e a jusante. Essa ação visa identificar possíveis alterações no fluxo ou na aparência do líquido, podendo ser feita por meio de observação visual ou registro em vídeo, com transmissão das imagens para um dispositivo portátil (Pereira; Soares, 2006).

Geralmente, essa abordagem tem um custo menor, sendo conduzida por funcionários experientes que utilizam ferramentas simples, como espelhos acoplados a hastes longas, além de iluminação adequada. Em coletores de grande porte, pode ser necessário que um funcionário desça até o fundo do poço de visita, desde que esteja devidamente equipado com equipamento de proteção individual (EPI) e assegurando que não haja risco para sua integridade física (Pereira; Soares, 2006).

Na Figura 2 pode-se visualizar uma inspeção de rede coletora de esgoto realizada com o auxílio de um dispositivo de vídeo, ação executada no município de São Sebastião-SP.

Figura 2 – Inspeção por vídeo da rede coletora de esgoto.



Fonte: Prefeitura Municipal de São Sebastião (2023).

### 3.2.1.2 Corte de ligações clandestinas

Conforme mencionado por Pereira e Soares (2006), o corte de ligações clandestinas envolve a interrupção de conexões não autorizadas de água pluvial ou esgoto sanitário. Essas ligações clandestinas frequentemente resultam em danos à rede de coleta. A partir dos pontos danificados, pode ocorrer vazamento de esgoto para o solo ou entrada de água subterrânea no coletor. Esse vazamento de esgoto causa contaminação do solo, levando à disseminação de microrganismos e compostos químicos no lençol freático, o que representa um sério risco para a saúde pública em áreas próximas e mesmo distantes.

Além disso, a inclusão de ligações clandestinas altera a vazão planejada para a rede coletora, resultando em diversos problemas operacionais e financeiros para a concessionária, como obstruções mais frequentes, aumento nos custos de energia e dificuldades no tratamento do esgoto. Para mitigar esses impactos, é importante que a concessionária do sistema de esgoto realize uma fiscalização constante em sua área de atuação e seja ágil na identificação e interrupção dessas ligações clandestinas, bem como na recuperação dos coletores danificados. Isso não apenas desencoraja novas ações dessa natureza, mas também preserva a reputação da empresa na comunidade (Pereira; Soares, 2006).

### *3.2.1.3 Reposição de tampões de poços de visita*

Outro ponto levantado por Pereira e Soares (2006), é a frequência com que tampões de poços de visita, compostos por ferro fundido, são alvo de furto por terceiros visando a sua revenda. Quando os poços de visita estão desprotegidos, isso representa um perigo para veículos e pedestres, além de propiciar o acúmulo de resíduos sólidos. Esses fatores podem contribuir para a formação de obstruções no coletor de esgoto sanitário.

Para evitar essa situação, é imperativo que a equipe da concessionária reponha os tampões de ferro o mais rápido possível. Quaisquer danos a terceiros resultam em prejuízos para a imagem da empresa e, em alguns casos, podem acarretar em custos de indenização. Por isso, é essencial que a concessionária mantenha um estoque adequado e tenha agilidade para atender à demanda de reposição de tampões de poços de visita.

### *3.2.1.4 Fiscalização de contribuições especiais*

A verificação de contribuições especiais necessita de supervisão regular por parte da equipe de operação. Isso inclui a fiscalização das quantidades e propriedades dos efluentes considerados especiais, como os provenientes de edifícios com piscinas, instalações hospitalares e unidades industriais. Esses efluentes devem estar em conformidade com os limites de vazão e composição estabelecidos pela concessionária antes de serem descarregados na rede de coleta. Para realizar esse acompanhamento, são essenciais inspeções in loco e a coleta de amostras para análise em laboratório (Pereira; Soares, 2006).

### *3.2.1.5 Desobstrução e limpeza de coletores e singularidades*

No cotidiano das equipes de manutenção, é crucial programar inspeções e procedimentos de limpeza em pontos específicos para evitar obstruções nos coletores causadas por depósitos de resíduos sólidos e acúmulo de partículas minerais e orgânicas presentes no esgoto. O processo de desobstrução inicia-se com a abertura dos poços de visita no trecho. Para a intervenção na rede coletora, é comum a utilização de peças de madeira ou balões infláveis de ar comprimido para isolar os pontos de visita no trecho do coletor (Silva, 2015).

A limpeza e desobstrução dependerão do estado do coletor, sendo usual o uso de varetas flexíveis com ponteira de aço ou outro material resistente, bem como equipamentos de

hidrojateamento em casos de complexidade média, como na remoção de areia, gordura e outros detritos. Em situações mais desafiadoras, podem ser empregadas máquinas pesadas ou caminhões com sistemas de vácuo ou pressão. Quando o coletor apresenta danos antes ou durante a manutenção, pode ser necessário substituir parte ou a totalidade do trecho, acarretando em custos adicionais e inconveniências significativas para a população atendida pelo sistema de esgoto. Uma das técnicas de recuperação de coletores é o revestimento interno do conduto com resina epóxi impregnada de poliéster (Pereira; Soares, 2006).

#### *3.2.1.6 Operação e manutenção de estação elevatória de esgoto*

As unidades componentes de uma estação elevatória de esgoto envolvem, usualmente, o gradeamento, o poço de sucção e os conjuntos motobomba. O bombeamento é, normalmente, controlado de forma automática baseado na variação de nível do líquido no poço de sucção. O tempo de ciclo é ajustado de modo a equalizar o bombeamento, evitando a decantação no poço de sucção e garantindo o descanso do motor elétrico, conforme recomendado pelos fabricantes. À medida que a vazão aumenta ao longo dos anos, novas bombas podem ser necessárias para auxiliar no bombeamento (ReCESA, 2008).

No dia a dia da equipe operacional, é fundamental prever limpezas periódicas das grades e cestos para prevenir a acumulação de materiais volumosos na entrada da estação. Da mesma forma, é necessário retirar a areia tanto da unidade de desarenação quanto do poço úmido. Conforme mencionado por Machado Sobrinho (1987, apud Pereira e Soares, 2006), é importante destacar que a inexistência de grades de barras nas estações elevatórias compromete o desempenho das bombas. Além disso, a presença de areia nos coletores pode ocasionar danos à vedação do motor elétrico acoplado às bombas submersíveis, resultando em problemas que variam desde curtos-circuitos até a falha completa do motor. Fica claro como a ausência de manutenção regular e frequente leva à acumulação de problemas e à deterioração gradual dos equipamentos.

Pereira e Soares (2006) ressaltam ações pertinentes para registro diário pelos operadores:

- Altura da lâmina líquida na entrada da estação para cálculo da vazão;
- Amperagem para avaliar o funcionamento dos conjuntos motobomba, pois valores acima do normal podem indicar travamento do rotor, e valores abaixo podem estar

relacionados ao desgaste do equipamento. Em caso de necessidade, a manutenção deve ser acionada;

- Tempo de operação dos conjuntos motobomba para verificar a contribuição de esgoto, pois valores acima do normal podem indicar novas contribuições, entrada de água pluvial ou ligações clandestinas, enquanto valores abaixo do normal podem estar relacionados à obstrução na rede coletora de esgoto;
- Consumo de energia elétrica para possibilitar o acompanhamento e avaliação da tarifa emitida pela concessionária de energia elétrica.

Relatado por Silva (2009), a manutenção preventiva nas estações elevatórias de esgoto é relativamente simples e envolve inspeções de rotina, como reaperto de parafusos, inspeção da hélice e do dispositivo de elevação, substituição de componentes e troca de óleo. Regularmente, devem ser realizadas as seguintes atividades de manutenção nas estações elevatórias de esgoto:

- Teste de vibração nos conjuntos moto bombas instalados no poço seco ou na tubulação de recalque de conjunto moto bomba submersos no poço úmido;
- Reaperto de conectores e parafusos, troca de óleo e substituição do selo mecânico dos conjuntos moto bomba;
- Limpeza e verificação da válvula de retenção para evitar o retorno do líquido.

### *3.2.1.7 Operação e manutenção da estação de tratamento de esgoto*

Para um adequado funcionamento da ETE, Kuehn (2015) recomenda algumas ações a serem seguidas:

- Manter registros de ocorrências e paralisações das unidades;
- Possuir procedimentos definidos e meios de comunicação em casos de situações emergenciais;
- Fazer uso rigoroso de EPI;
- Atualizar a vacinação dos funcionários, mantendo arquivadas essas informações;
- Higienizar diariamente as unidades e ferramentas utilizadas.

As unidades do tratamento preliminar requerem inspeção diária para continuidade na eficiência do tratamento. A operação das grades, tanto manuais quanto mecanizadas, implica em atividades específicas realizadas pelos operadores. No caso das grades manuais, a limpeza diária é feita manualmente, removendo os resíduos retidos com rastelos e garantindo a

disposição adequada desses materiais em caçambas para transporte ao aterro sanitário (Kuehn, 2015).

Já para as grades mecanizadas, a rotina inclui a verificação diária do mecanismo de limpeza, a inspeção das barras, a observação das peças móveis quanto a ruídos ou desgastes, e a confirmação do adequado posicionamento da caçamba estacionária para receber automaticamente os resíduos. Em caso de qualquer anormalidade, o operador deve comunicar ao técnico responsável, desviando o fluxo para manutenção da grade mecanizada sem comprometer as demais unidades (Kuehn, 2015).

A operação dos desarenadores envolve diversas fases: medição periódica da camada de areia, isolamento da caixa de areia quando atinge a quantidade estabelecida para remoção, drenagem do esgoto retido, remoção da areia sem líquido, transporte para destinos adequados, lavagem da câmara, análise de amostras de areia, medidas corretivas se necessário, verificação da presença de areia em unidades subsequentes e remoção, se aplicável (Jordão; Pessoa, 2009).

Dentre os diversos critérios essenciais a serem examinados durante a fase operacional do sistema, Chernicharo et al. (1999 apud Kuehn, 2015) menciona:

- Vazões afluentes ao sistema;
- Características físico-químicas e microbiológicas do esgoto afluente;
- Eficiência do sistema e possíveis problemas nas unidades de tratamento preliminar;
- Quantidade e características dos materiais retidos nas grades e na caixa de areia;
- Eficiência e possíveis problemas no reator anaeróbio;
- Quantidade e características do lodo produzido no reator anaeróbio.

Ressalta-se que para cada tipo de tratamento existem recomendações específicas para a operação e manutenção do sistema. Outro procedimento essencial de ser realizado durante a operação da ETE, são análises laboratoriais periódicas do efluente em diferentes unidades de tratamento, para verificação da eficiência, e principalmente no efluente final que será lançado no corpo receptor e deverá atender os padrões de lançamento conforme legislação vigente.

#### *3.2.1.8 Registro para controle de informações*

O registro diário das reclamações referentes aos serviços realizados e não realizados é importante para que o gestor tenha pleno conhecimento das atividades executadas pelas equipes, sejam elas da concessionária ou terceirizadas. Dependendo do formato de controle, é viável gerar relatórios diários, semanais e mensais das atividades realizadas. Além disso, é

recomendável que a avaliação desses relatórios também ocorra no setor de planejamento da empresa (Costa; Baggio, 2018).

Dentre as informações diárias essenciais, incluem-se aquelas relacionadas ao desempenho das equipes envolvidas na rede coletora, como a instalação de ligações prediais, a desobstrução de coletores e o corte de ligações clandestinas. O desempenho dessas equipes possui um impacto direto na imagem da concessionária e influencia na relação entre arrecadação e faturamento com esgoto. No caso das estações elevatórias de esgoto, Pereira e Soares (2006) relatam que é de grande relevância ter conhecimento de informações como:

- O volume acumulado de material grosseiro e areia ao longo do tempo e por metro cúbico de esgoto sanitário;
- O tempo de funcionamento do conjunto moto bomba por metro cúbico de esgoto recalcado;
- O consumo de quilowatt-hora por metro cúbico de esgoto recalcado;
- O valor em reais por metro cúbico de esgoto recalcado.

Dado o expressivo impacto na relação entre despesa e faturamento, é de suma importância destacar o controle do consumo de energia elétrica nas estações elevatórias de esgoto nos relatórios gerenciais.

O bom registro é essencial para o desenvolvimento de programas eficazes de manutenção de esgoto. Isso é feito em bancos de dados informatizados (baseados em Sistema de Informação Geográfica - SIG) que são usados para armazenamento de dados e documentação de problemas. Usando essas informações, resumos mensais são preparados e usados para emitir ordens de serviço. Reclamações relacionadas ao esgoto, apontam para problemas de obstrução do esgoto e a necessidade de limpeza (Marsalek *et al*, 1998).

### 3.2.1.9 Atualização do cadastro técnico

Da mesma forma, Pereira e Soares (2006) ressaltam a importância da atualização do cadastro técnico, sendo fundamental para agilizar os serviços na unidade de coleta. A confiabilidade desses dados exerce um impacto direto no desempenho operacional e comercial da concessionária. Recomenda-se, preferencialmente, a informatização do cadastro, organizado por bacia de esgotamento.

O propósito do cadastro técnico da rede coletora é identificar, quantificar e caracterizar informações pertinentes à rede de esgoto implantada, tais como:



- Localização de coletores, poços de visita, entre outros elementos;
- Informações das singularidades de entrada e saída do trecho;
- Material e diâmetro dos coletores em cada trecho;
- Cota e profundidade dos coletores em diferentes trechos.

O cadastro das estações elevatórias inseridas na rede coletora também requer atualização constante, incluindo informações como:

- Localização da unidade e de seus componentes;
- Especificações, dimensões e posição dos equipamentos eletromecânicos;
- Características operacionais, como os níveis de esgoto no poço úmido e a capacidade de bombeamento.

### **3.2.2 Classificação de níveis de manutenção**

Dentre as manutenções concernentes a uma companhia de esgoto, pode-se classificá-las de acordo com o nível de intervenção a ser realizado e o tempo da ação a ser executada. Assim, segundo a classificação da ABNT NBR 5462/1994, definem-se as principais:

- **Manutenção preventiva:** Manutenção realizada em momentos pré-definidos ou seguindo critérios estabelecidos, com o propósito de minimizar a possibilidade de falha ou deterioração no desempenho de um item.
- **Manutenção corretiva:** A manutenção realizada após a ocorrência de uma pane, visando restaurar um item para que possa desempenhar a função exigida.
- **Manutenção controlada/preditiva:** é aquela que assegura a entrega de um serviço de alta qualidade conforme as expectativas. Isso é alcançado através da aplicação sistemática de técnicas analíticas, fazendo uso de sistemas de supervisão centralizada ou métodos de amostragem. O objetivo é minimizar a necessidade de manutenções preventivas e reduzir ao máximo as manutenções corretivas.

Na Figura 3 apresenta-se a visualização do processo das atividades de manutenção, onde envolvem as etapas de planejamento, execução, e avaliação desta a fim de corrigir desvios.

Figura 3 – Processo da manutenção no sistema SES.



Fonte: Costa e Baggio (2018).

É importante que a entidade responsável pelos serviços de esgoto elabore um plano estratégico para a operação e manutenção que englobe tanto as ações preventivas quanto as corretivas. A manutenção preventiva deve ser conduzida de forma programada, baseada em condições específicas ou em intervalos preestabelecidos. Seu propósito é evitar, minimizar ou postergar falhas ou interrupções que possam resultar em intervenções de manutenção não programadas, garantindo assim a contínua operação eficaz dos ativos e prolongando sua vida útil (Costa; Baggio, 2018).

### 3.2.3 Indicadores operacionais

Através da Lei nº 11.445/2007 estabeleceu-se a necessidade de sistematizar as bases de informações e estruturas de indicadores por setor para fins de regulação e controle para os serviços de saneamento básico. Com o estabelecimento de bases regulatórias, vê-se a obrigatoriedade de estados e municípios desenvolverem e detalharem os referenciais de desempenho mais adequados à necessidade de cada local, compatibilizando com informações e indicadores de abrangência nacional (Silva, 2008).

No âmbito da sistematização de bases de dados e referenciais de desempenho dos serviços de saneamento no Brasil, destaca-se a criação do SNIS, que possui banco de dados compostos a partir de informações fornecidas pelos prestadores de serviços, de caráter operacional, financeiro e gerencial. Os indicadores apresentados envolvem aspectos de eficácia final dos serviços (Silva, 2008).

De acordo com o apresentado no Glossário de Indicadores do SNIS (2021), a estrutura atual apresenta 84 indicadores, que se organiza em cinco grandes grupos, conforme segue.

- Indicadores econômico-financeiros e administrativos (32);
- Indicadores operacionais – água (22);
- Indicadores operacionais – esgoto (08);
- Indicadores de balanço (09);
- Indicadores sobre qualidade (13).

No Quadro 1 apresentam-se os principais indicadores operacionais referentes ao serviço de esgotamento sanitário, apresentados pelo SNIS.

Quadro 1 – Indicadores operacionais - esgoto.

(continua)

Referência	Descrição do Indicador	Cálculo	Unidade
IN015	Índice de coleta de esgoto	$\frac{ES005}{AG010 - AG019} \times 100$ AG010: Volume de água consumido AG019: Volume de água tratada exportada ES005: Volume de esgotos coletado	Percentual
IN016	Índice de tratamento de esgoto	$\frac{ES006 + ES014 + ES015}{ES005 - ES013} \times 100$ ES005: Volume de esgotos coletado ES006: Volume de esgotos tratado ES013: Volume de esgotos bruto importado ES014: Volume de esgoto importado tratado nas instalações do importador ES015: Volume de esgoto bruto exportado tratado nas instalações do importador	Percentual
IN021	Extensão da rede de esgoto por ligação	$\frac{ES004}{ES009} \times 1.000$ ES004: Extensão da rede de esgotos ES009: Quantidade de ligações totais de esgoto <sup>1</sup>	m/lig.
IN024	Índice de atendimento urbano de esgoto referido aos municípios atendidos com água	$\frac{ES026}{GE06a} \times 100$ ES026: População urbana atendida com esgotamento sanitário GE06a: População urbana residente do(s) município(s) com abastecimento de água	Percentual

<sup>1</sup> Para ES004 e ES009 utiliza-se a média aritmética dos valores do ano de referência e do ano anterior ao mesmo.

Quadro 1 – Indicadores operacionais - esgoto.

(conclusão)

Referência	Descrição do Indicador	Cálculo	Unidade
IN046	Índice de esgoto tratado referido à água consumida <sup>2</sup>	$\frac{ES006 + ES015}{AG010 - AG019} \times 100$ AG010: Volume de água consumida AG019: Volume de água tratada exportada ES006: Volume de esgotos tratado ES015: Volume de esgoto bruto exportado tratado nas instalações do importador	Percentual
IN047	Índice de atendimento urbano de esgoto referido aos municípios atendidos com esgoto	$\frac{ES026}{GE06b} \times 100$ ES026: População urbana atendida com esgotamento sanitário GE06b: População urbana residente do(s) município(s) com esgotamento sanitário	Percentual
IN056	Índice de atendimento total de esgoto referido aos municípios atendidos com água	$\frac{ES001}{GE12a} \times 100$ ES001: População total atendida com esgotamento sanitário GE12a: População total residente do(s) município(s) com abastecimento de água, segundo o IBGE	Percentual
IN059	Índice de consumo de energia elétrica em sistemas de esgotamento sanitário	$\frac{ES028}{ES005}$ ES005: Volume de esgotos coletado ES028: Consumo total de energia elétrica nos sistemas de esgotos	kWh/m <sup>3</sup>

Fonte: Adaptado de SNIS (2021).

---

<sup>2</sup> Indicador calculado para prestadores com tipo de serviço água e esgoto.

### 3.3 MODELAGEM HIDRÁULICA E SIMULAÇÃO

A utilização da modelagem hidráulica em sistemas de esgotamento sanitário é amplamente empregada, principalmente devido à praticidade e rapidez nos cálculos proporcionados por *softwares* especializados. Essas ferramentas são utilizadas tanto nas fases de planejamento e projeto quanto nas etapas de operação e manutenção, permitindo a otimização do gerenciamento (Tsutiya; Alem Sobrinho, 1999).

Atualmente encontram-se diversos *softwares* disponíveis no mercado, sendo estes gratuitos ou licenciáveis. Esses *softwares* lidam eficientemente com grandes volumes de dados, possibilitando a simulação do comportamento hidráulico de redes extensas. Dentre as possibilidades que estes *softwares* apresentam, pode-se citar a modelagem de condições específicas, como sistemas mistos com trechos em escoamento livre e forçado, com diferentes seções transversais, além de associação entre os períodos de chuva e o escoamento de águas pluviais nos sistemas de esgoto (Tsutiya; Alem Sobrinho, 1999).

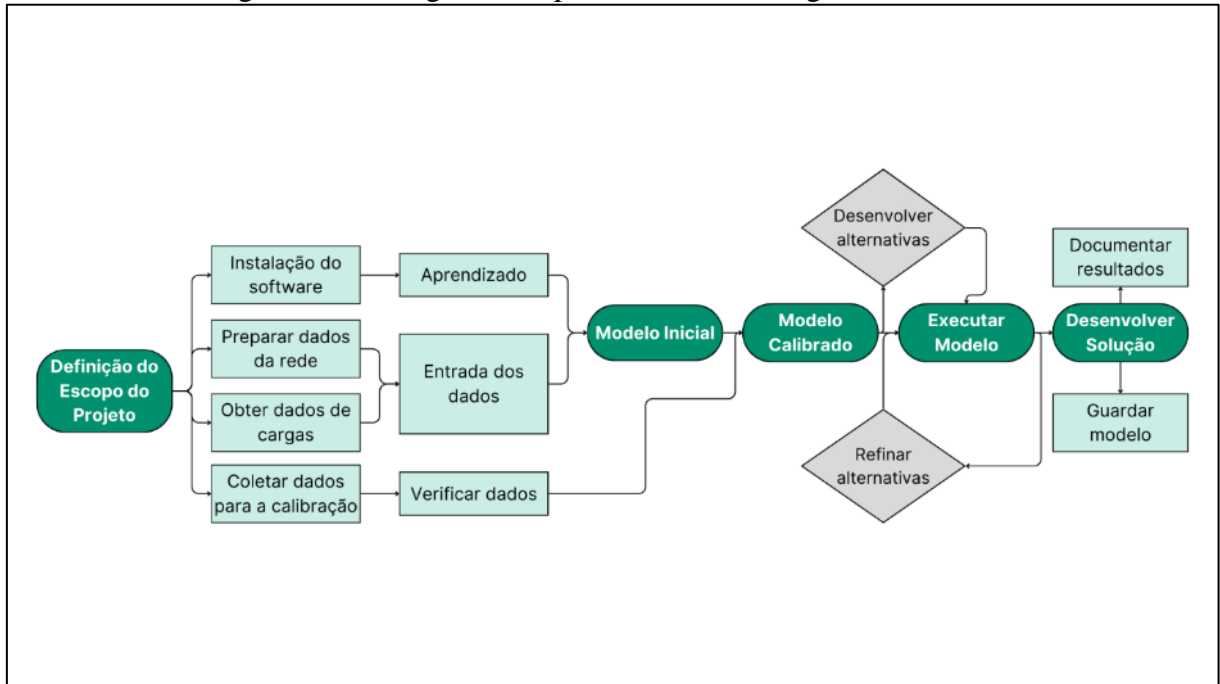
Dentre as principais vantagens da utilização da modelagem hidráulica mencionadas também por Tsutiya e Alem Sobrinho (1999), têm-se:

- Operação simples e intuitiva;
- Habilidade para trabalhar eficazmente com grandes volumes de informações;
- Arquivamento e *backup* de todas as versões criadas, de maneira a permitir alterações e preservando a integridade dos dados originais;
- Capacidade de análise e utilização de “*queries*” (consultas complexas);
- Gerenciamento do projeto por múltiplos usuários;
- Possibilidade de transferência de dados para aplicativos terceiros;
- Possibilidade de exportação dos dados editados e simplificação do sistema de rede de esgoto para a simulação.

Os resultados da simulação são apresentados em tabelas customizáveis onde os dados a serem visualizados podem ser definidos pelo usuário, e graficamente é possível acompanhar dinamicamente a variação do nível do efluente e outras características hidráulicas durante o período da simulação, dados como o nível máximo de esgoto em cada nó, lâmina máxima nos tubos ou a variação do nível de esgoto dentro dos poços de visita podem ser visualizados.

Na Figura 4 ilustra-se o processo para a aplicação da modelagem hidráulica, desde a definição do escopo do projeto, até a execução do modelo com todos os dados requisitados.

Figura 4 – Fluxograma do processo de modelagem hidráulica.



Fonte: Elaboração própria a partir de dados da Bentley (2023).

Conforme exposto pelo fluxograma, a etapa de obtenção e preparação dos dados é imprescindível para iniciar a construção de um modelo hidráulico, e pode se tornar o empecilho para continuidade das etapas. Isso também é reiterado por Tsutiya e Alem Sobrinho (1999), que expõem esta ser uma das grandes dificuldades da utilização dos *softwares*. Em companhias de saneamento básico, é comum encontrar informações sobre o sistema distribuídos em diferentes arquivos, e por muitas vezes, com dados desatualizados.

Dados errôneos, além de dificultar a etapa inicial de construção do modelo, influencia diretamente na etapa de calibração do modelo hidráulico, visto que se deseja obter resultados do *software* espelhados com os dados reais do sistema.

A etapa de calibração em um modelo hidráulico é essencial para assegurar a precisão e confiabilidade das simulações. Durante esse processo, os parâmetros do modelo são ajustados para melhor corresponderem aos dados reais medidos em campo. Isso não apenas valida a representação do sistema no *software*, mas também aprimora a capacidade do modelo em prever o comportamento hidráulico em diversas condições. Uma calibração bem-sucedida é essencial para garantir que as decisões baseadas nas simulações sejam confiáveis e contribuam efetivamente para o planejamento e gestão de sistemas hidráulicos.

### 3.3.1 Uso de *softwares* de modelagem hidráulica associados a um software de geoprocessamento

O desenvolvimento de um SIG contendo informações atualizadas do sistema de esgotamento sanitário, tem auxiliado na eficiência e rapidez na criação de modelos hidráulicos. Além de ser uma ferramenta comumente utilizada para produzir mapas customizados de alta qualidade para diferentes usos, a associação de utilizar um SIG como ferramenta auxiliar do processo de modelagem hidráulica apresenta diversas vantagens, dentre elas apontam-se as mencionadas por Tsutiya e Alem Sobrinho (1999):

- Rapidez na compilação dos dados de entrada necessários à simulação, destacando a indexação espacial dos mesmos (georreferenciamento);
- Rapidez e confiabilidade do nível de atualização dos dados;
- Utilização dos dados do sistema de cadastro dos consumidores (consumo micromedido pelos hidrômetros), de maneira a permitir a espacialização dos mesmos e facilitar a associação aos respectivos trechos de tubulação da rede para cálculo das vazões, dados utilizados no modelo;
- Disponibilização dos resultados da simulação hidráulica em ambiente SIG, que pode ser compartilhado para outras áreas da empresa, com atualizações de cadastro técnico, manutenções realizadas, etc.

### 3.3.2 Software SewerCAD

Dentre os *softwares* existentes para modelagem hidráulica de sistemas de esgotamento sanitário, o *SewerCAD* destaca-se como uma plataforma robusta e amplamente utilizada para a modelagem hidráulica de redes de esgoto. Desenvolvido pela *Bentley Systems*, ele oferece uma gama de funcionalidades avançadas que possibilitam a representação precisa e dinâmica do sistema, considerando variáveis como diâmetro das tubulações, declividade do terreno e demanda de esgoto. Além disso, o *SewerCAD* incorpora algoritmos sofisticados para simulação de cenários diversos, auxiliando na tomada de decisões informadas. O software oferece ferramentas avançadas de engenharia para projetar, planejar, manter e operar sistemas de esgoto sanitário.

A *Bentley Systems* comercializa os vários *softwares* desenvolvidos por eles com opções de assinatura por um certo período ou licenciamento vitalício, oferecendo também



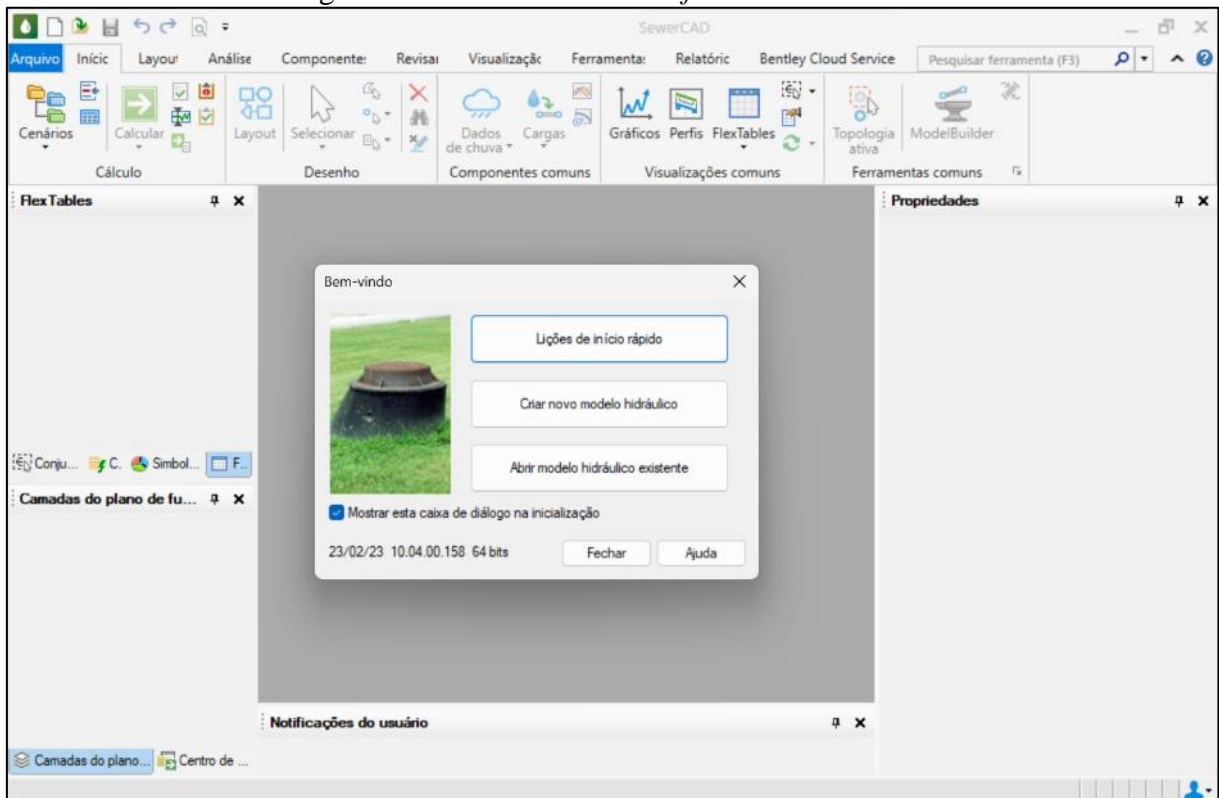
treinamento e suporte técnico. A modalidade *Bentley Education* possibilita o acesso gratuito de estudantes e educadores para *download* e utilização de todos os *softwares*.

Para embasar as decisões de dimensionamento, o *software SewerCAD* se apoia em normas e regulamentações específicas do setor. Normativas reconhecidas internacionalmente, como as da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) e da ASTM (*American Society for Testing and Materials*), são frequentemente utilizadas como referência. Essas diretrizes fornecem critérios técnicos precisos para garantir a segurança, eficiência e conformidade ambiental dos sistemas de esgoto (Bentley, 2014).

Com ferramentas avançadas como *LoadBuilder*, *Modelbuilder* e opção de rastreamento para alterações feitas durante o design da rede, o *SewerCAD* permite que os usuários acompanhem e insiram facilmente os dados primários necessários. O software converte esses dados automaticamente para auxiliar no design e análise da rede de esgoto.

Na Figura 5 apresenta-se a tela de início do *software SewerCAD*.

Figura 5 – Tela de início do *software SewerCAD*.



Fonte: De autoria própria (2023).

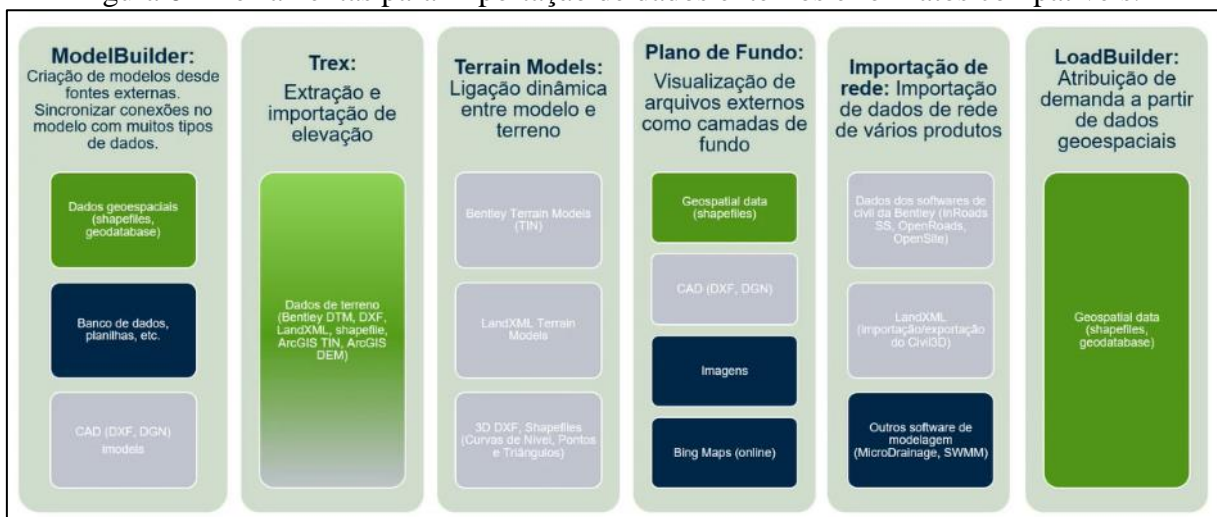
Entre as vantagens apresentadas pelo *software*, se destaca a possibilidade de integração com outros *softwares*, reconhecendo arquivos dos formatos utilizados no *AutoCAD*, de plataformas SIG e planilhas.

De maneira a iniciar uma simulação hidráulica, tem-se como dados de entrada requeridos:

- Traçado da rede (topologia do sistema);
- Modelos Digitais de Elevação (altimetria);
- Propriedades hidráulicas dos elementos;
- Vazões sanitárias – padrões (tempo seco);
- Índices pluviais influentes e infiltração (tempo chuvoso);
- Dados operacionais;
- Medições de campo para dados de calibração.

A criação do modelo pode ser feita de forma manual, sendo ele esquemático ou com base em um mapa de fundo, ou através da importação de dados automática pela ferramenta chamada *ModelBuilder*. Existem ferramentas específicas para inserção de dados de altimetria no local, a partir de dados de entrada. E também, ferramenta para atribuição das cargas sanitárias a partir de dados geoespaciais. Na Figura 6 apresentam-se as principais ferramentas para importação de dados externos e os respectivos formatos de dados compatíveis.

Figura 6 – Ferramentas para importação de dados externos e formatos compatíveis.













Fonte: Bentley (2021).

No Quadro 2 tem-se a representação dos principais elementos adicionados ao modelo hidráulico.

No processo de dimensionamento dos elementos do sistema, o *software* emprega métodos baseados em cálculos hidráulicos, levando em conta fatores como vazão, velocidade e pressão. Esses critérios são essenciais para garantir que os coletores, interceptores e outros

componentes da rede possuem capacidade adequada para a demanda estimada, evitando congestionamentos ou subutilização. Existe a possibilidade de simulações com diferentes opções de cálculo, em estado estático ou estado não estático – EPS (período estendido) (Bentley, 2014).

Quadro 2 – Representação dos elementos no software.

<b>Símbolo</b>	<b>Elemento</b>
	Conduto por gravidade
	Rede pressurizada
	Ramal
	Singularidade (PV, TIL, TL)
	Transição de gravidade para pressurizada
	Saída de rede (emissário)
	Junta de pressão (nó para redes pressurizadas)
	Poço úmido
	Estação elevatória de esgoto
	Conexão de propriedade (ligação)

Fonte: Elaboração própria.

O tipo de simulação do tipo estado estático é usado geralmente para criação de projeto, onde normalmente é analisado condições extremas e representa o sistema em um instante de tempo. Já o tipo EPS, de fluxo não permanente, é usado geralmente quando existe um

bombeamento cíclico, e são modelos dinâmicos com equações hidrodinâmicas de maior complexidade (Bentley, 2014).

Uma particularidade do *software* é a possibilidade de criação de diferentes cenários, sem alteração do sistema existente. Um novo cenário, representa uma nova simulação do modelo. Além disso, há a criação de novas alternativas, que são novas informações para simulação do novo cenário, como por exemplo, a aplicação de um aumento da demanda no sistema, com esta nova alternativa considerada apenas no novo cenário. O *SewerCAD* oferece a comparação de cenários para analisar diferentes padrões de fluxo e condições de carga sanitária.

Na Figura 7 apresenta-se a explicação de forma esquemática do processo de criação de cenários e alternativas.

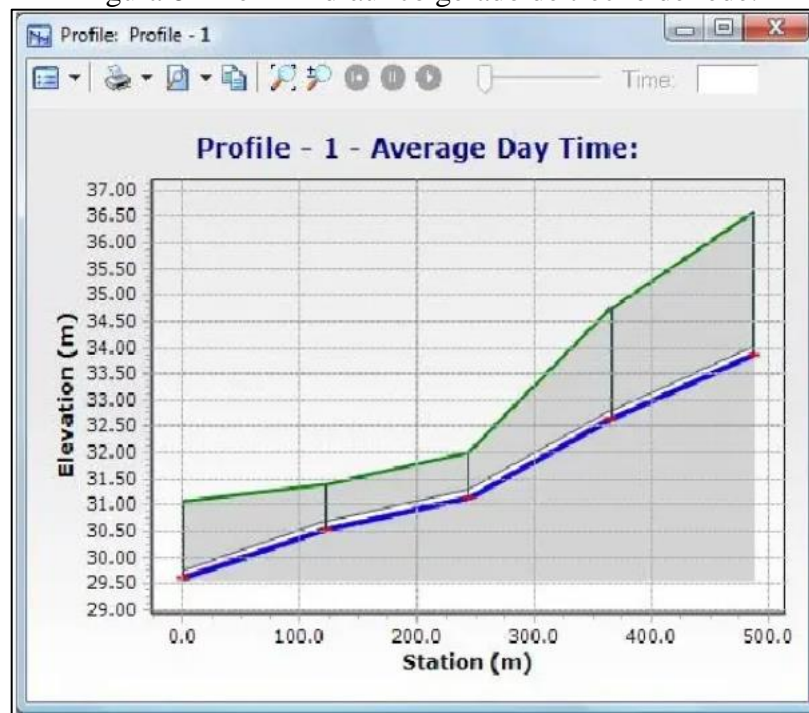
Figura 7 – Processo de criação de cenários e alternativas.



Fonte: Bentley (2021).

Os resultados gerados podem ser visualizados através da janela de propriedades, tabelas customizáveis (*FlexTables*), gráficos, codificação por cores, rótulos, e perfis hidráulicos. Na Figura 8 tem-se um exemplo de perfil gerado de um trecho de rede, onde é ilustrado as cotas e profundidades dos coletores.

Figura 8 – Perfil hidráulico gerado de trecho de rede.



Fonte: Bentley (2021).

O uso do *software SewerCAD* representa uma significativa inovação tecnológica no contexto de sistemas de esgotamento sanitário. Ele agrega eficiência operacional ao oferecer capacidade de modelagem detalhada, análises precisas e otimização de cenários. Através da simulação virtual, é possível antecipar potenciais desafios operacionais e implementar estratégias de mitigação antes mesmo da implementação física. Isso resulta em economia de tempo e recursos, e na promoção de um sistema de esgotamento sanitário de maior eficiência.

## 4 METODOLOGIA

De maneira a desenvolver o presente trabalho, a estratégia metodológica divide-se em duas etapas, conduzidas a fim de atingir os objetivos propostos. A metodologia envolveu uma revisão bibliográfica abrangente, a coleta e análise de dados do Sistema de Água e Esgoto – SAE no Bairro Pedra Branca, Palhoça - SC, incluindo interações com profissionais envolvidos. O estudo aprofundado do *software SewerCAD* seguiu-se através da construção de um modelo hidráulico e simulação de diferentes cenários operacionais, oferecendo uma visualização abrangente dos resultados fornecidos pelo *software*. Com isso, pode-se realizar uma análise a fim de identificar os principais problemas operacionais, como também propor melhorias para aprimoramento do sistema.

Na Figura 9 tem-se ilustrado as etapas metodológicas traçadas para o presente trabalho, assim como os resultados pretendidos de serem atingidos.

Figura 9 – Fluxograma das etapas metodológicas.



Fonte: Elaboração própria (2023).

### 4.1 ETAPA 1 – COLETA DE DADOS E ANÁLISE DAS CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA

A metodologia utilizada para a etapa 1 consistiu em uma abordagem quali-quantitativa e documental, envolvendo a coleta e análise de dados detalhados para compreender as

características do sistema de esgotamento sanitário no bairro Pedra Branca, Palhoça – SC, gerido pelo Sistema de Água e Esgoto da Pedra Branca (SAE-PB).

De maneira inicial, utilizou-se de dados referentes à última análise de desempenho realizada no mês de julho de 2023 para o sistema de esgotamento sanitário do SAE-PB, a fim de obter os principais dados de caracterização do sistema, como população atendida e ligações ativas. Em seguida, foi realizada uma coleta de dados que envolveu a obtenção de mapas, documentos técnicos e informações sobre redes de esgoto, topografia e capacidades de tratamento existentes.

A fim de proporcionar uma visualização das características do sistema, foram elaborados mapas da área de estudo, através do *software* livre de geoprocessamento *QGIS*, ilustrando os diâmetros das redes existentes, as localizações geográficas das estações elevatórias de esgoto e as bacias de contribuição de esgoto. Além disso, foram utilizados registros fotográficos da base de dados SANSYS, sistema utilizado pelo SAE-PB, para apresentar as elevatórias de esgoto existentes e operantes no sistema.

Para avaliar a estrutura de consumo do sistema analisou-se dados de consumo de água do mês de referência setembro de 2023, sendo o relatório mais atual no momento do desenvolvimento do trabalho. O volume de contribuição de esgoto produzido foi estimado com base no histórico de consumo dos hidrômetros.

De forma a elaborar um mapa de calor para representar as regiões com maiores demandas de água, e conseqüentemente com maior volume estimado de contribuição de esgoto, utilizou-se ferramentas como planilhas do *Microsoft Excel* para organização de dados, e *software QGIS* para elaboração do mapa.

Ao compilar os dados de vazão dos últimos 12 meses, realizou-se uma média, e assim, foram identificados os principais consumidores no sistema e sua respectiva categoria, podendo ser residencial, comercial, industrial ou pública.

Também realizou-se uma visita no dia 24/10/23 para conhecer as instalações da estação de tratamento de esgoto do sistema, assim foram feitos registros fotográficos e relatado de forma resumida o funcionamento da estação.

Para o melhor entendimento das questões relacionadas à gestão do sistema de esgotamento sanitário do SAE-PB, com acesso ao sistema SANSYS, plataforma do SAE Pedra Branca para registros de dados, coletou-se dados referentes ao histórico de ordens de serviço recebidas por tipo de serviço executado. Dessa forma, inicialmente foi identificado a relação de serviços realizados pelos setores de manutenção e operação do sistema, e assim, realizou-se uma análise inicial com uma síntese anual de ordens de serviço, considerando o período de

2014 a 2023 (até outubro). Outra análise efetuada, deu-se pela distinção dos principais serviços realizados e registrados nas ordens de serviço para o período de 01/11/22 a 01/11/23, de forma a identificar o serviço executado com maior recorrência.

A partir da identificação do serviço mais recorrente, utilizou-se do *Excel* para compilação dos dados, filtrando apenas este serviço de interesse e o respectivo logradouro em que foi realizado o serviço. Com o auxílio da ferramenta *Google My Maps* pode-se georreferenciar os pontos para ter a distribuição geográfica dos locais onde ocorreu a execução. E com o *QGIS* elaborou-se um mapa para se ter uma análise de locais de maiores ocorrências.

Além disso, de maneira a obter uma perspectiva interna sobre o funcionamento do sistema, um questionário foi elaborado sobre questões operacionais (APÊNDICE A), e uma entrevista foi conduzida com os funcionários da equipe de gestão comercial do SAE Pedra Branca.

A partir desta abordagem buscou-se compreender as características e elementos do sistema de forma aprofundada, identificando os principais problemas enfrentados atualmente pelo sistema de esgotamento sanitário da área de estudo e possibilitando a proposição de melhorias. Esta etapa também permitiu a construção de uma base sólida para a etapa subsequente da pesquisa.

#### **4.1.1 Localização e características da área de estudo**

Conforme exposto no Plano Municipal de Saneamento Básico – PMSB da Palhoça-SC (2015), cabe ao Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto de Palhoça (SAMAE) realizar o planejamento, a coordenação e a execução das obras relacionadas ao abastecimento de água e esgotamento sanitário, bem como a instalação, operação e manutenção dos sistemas. Atualmente o sistema coletivo de coleta, transporte, tratamento e disposição final adequados de esgotamento sanitário é inexistente no município, na qual a maioria do tratamento e destinação dos esgotos domiciliares é feita de maneira individual, por meio do sistema fossa, filtro e sumidouro.

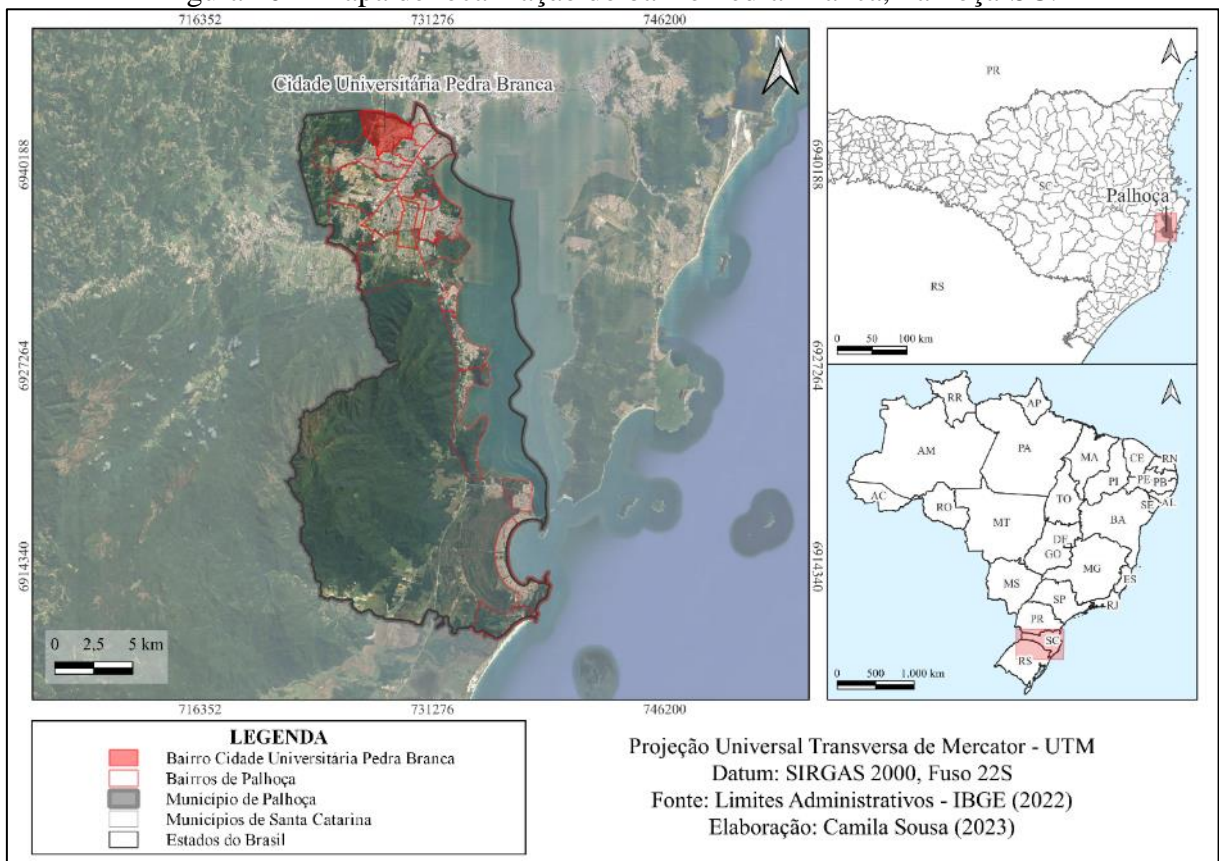
Pelo estabelecimento da Lei Municipal nº 2.637/2007, que institui o código de obras e edificações para o município de Palhoça, os novos empreendimentos com mais de 60 (sessenta) bacias sanitárias devem dispor de uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) compacta, em caso de não haver rede de estação coletiva de tratamento de esgoto na área de implantação do loteamento. Após um dado período da operação do sistema de esgotamento sanitário pelo



proprietário do loteamento, deve haver o repasse da gestão para a gerência do SAMAE da Palhoça.

O bairro Pedra Branca localiza-se em Palhoça-SC, e desenvolveu-se no início dos anos 2000 a partir de um projeto urbanístico, visando a integração entre moradia, trabalho, educação e lazer. Além de ser um bairro residencial, abriga complexos comerciais, serviços industriais, além de ter a presença da instituição de ensino Unisul. Com a consolidação do bairro, o SAE-PB iniciou seus serviços em março de 2010, onde obteve o direito de gestão através do Decreto Municipal nº 1.063/2010 para prestação dos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário no âmbito do empreendimento imobiliário Pedra Branca, sendo um sistema autônomo e independente do SAMAE Palhoça. Na Figura 10 tem-se o mapa de localização do bairro Pedra Branca em Palhoça-SC.

Figura 10 – Mapa de localização do bairro Pedra Branca, Palhoça-SC.

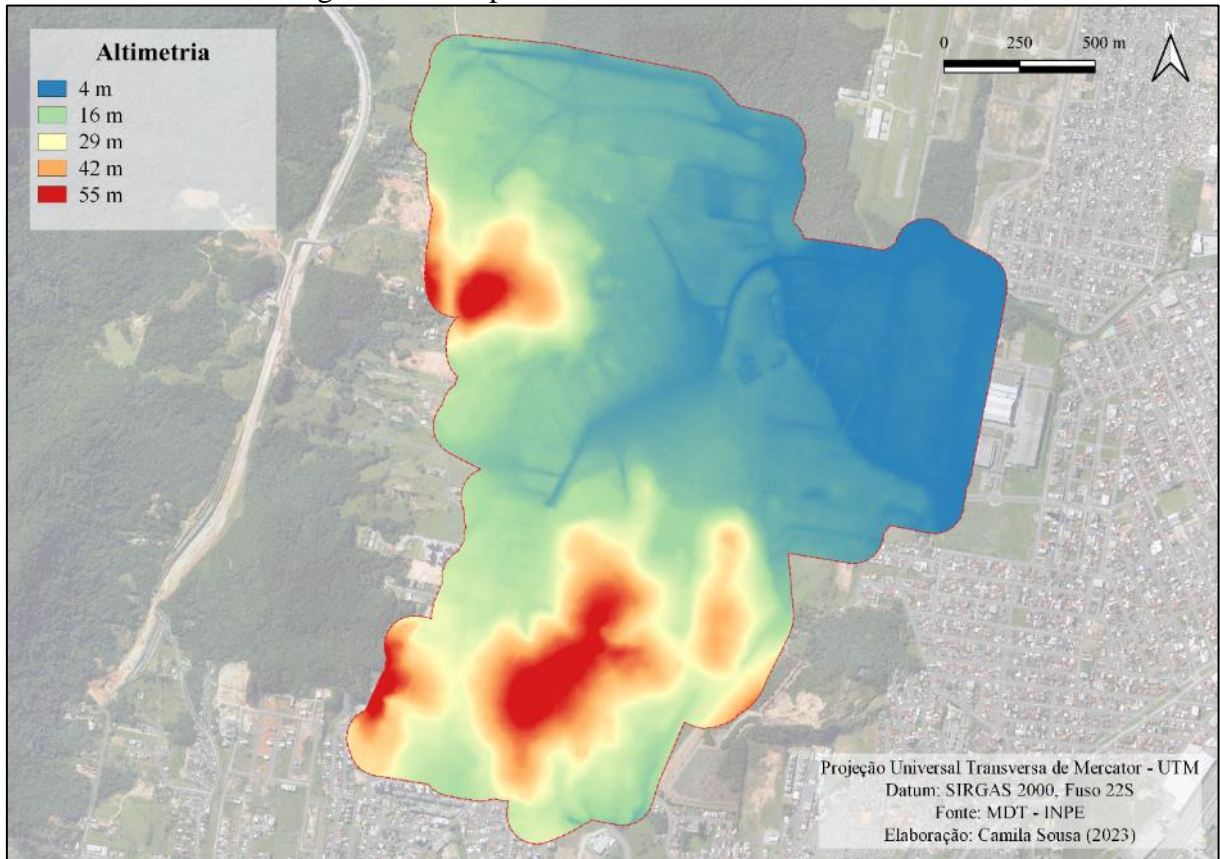


Fonte: Elaboração própria (2023).

A área de abrangência do sistema de esgotamento sanitário possui um relevo bastante variado, apresentando uma topografia caracterizada por variações na elevação e uma mescla de áreas planas e aclives suaves a íngremes. Essa característica influencia diretamente na configuração da rede coletora de esgoto e localização das elevatórias de esgoto. Na Figura 11

tem-se o mapa da altimetria da área de estudo, gerado a partir do Modelo Digital de Terreno obtido pelo INPE. Com isso, pode-se observar a presença de grande variação na altimetria do local, com cotas entre 4 e 55 metros.

Figura 11 – Mapa de altimetria da área de estudo.



Fonte: Elaboração própria (2023).

#### 4.2 ETAPA 2 – COLETA DE DADOS HIDRÁULICOS E CONSTRUÇÃO DO MODELO HIDRÁULICO

Para a etapa 2, a metodologia empregada fora predominantemente quantitativa e experimental, envolvendo a coleta de dados vetoriais do sistema de esgotamento sanitário do SAE-PB. Dados referentes ao cadastro técnico foram retirados do sistema SANSYS, como também de arquivo do *software AutoCAD*.

Estes dados foram tratados e organizados através do *QGIS*, também para garantir o seu georreferenciamento, que foram essenciais para alimentar o modelo hidráulico. Utilizando o *software SewerCAD*, o modelo hidráulico do sistema de esgotamento sanitário do Bairro Pedra Branca foi construído relatando cada etapa desenvolvida durante o processo, levando em consideração os elementos da rede e as características identificadas durante a coleta de dados.

Durante a importação dos dados ao modelo hidráulico, observou-se a necessidade de realizar ajustes em algumas inconsistências de dados observadas, como cotas de fundo dos poços de visita com valores incoerentes, e dados faltantes de componentes integrantes do sistema, como os dados operacionais das bombas. Uma vez que o modelo hidráulico não pode ser “calibrado”, devido à dados cadastrais faltantes não fornecidos pelo SAE Pedra Branca, e falta de dados de medição em campo que possibilitam os ajustes de calibração no modelo hidráulico, não foi possível prever cenários que trarão assertividade na gestão operacional do processo, analisando as condições atuais e futuras.

Porém, a fim de contornar esse empecilho, a partir do modelo construído, realizou-se a comparação do sistema existente e de um novo cenário operacional definido para uma nova simulação hidráulica, considerando a variação de carga devido a expansão de novos empreendimentos para contribuição ao sistema. Esse cenário foi simulado e, assim, realizada a análise e comparação dos resultados.

Com isso, pode-se explorar o funcionamento do *software* e as formas de visualização dos resultados hidráulicos fornecidos pelo *SewerCAD*. Apesar da falta de calibração do modelo e inconfiabilidade nos dados cadastrais, pode-se ter uma perspectiva abrangente sobre as principais funcionalidades e as potencialidades de se utilizar a modelagem hidráulica como ferramenta auxiliar na gestão de sistemas de esgotamento sanitário, que possibilita prever diferentes cenários operacionais.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Através dos resultados obtidos em cada etapa metodológica, pode-se ter uma perspectiva de como a utilização da ferramenta da modelagem hidráulica pode auxiliar para a gestão operacional de um sistema existente de esgotamento sanitário, embasando a tomada de decisão para investimentos em aprimoramento do sistema. Nos tópicos seguintes, encontram-se descritos os resultados das etapas.

### 5.1 ETAPA 1 – COLETA DE DADOS E ANÁLISE DAS CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA

#### 5.1.1 Sistema de esgotamento sanitário

Dentre as premissas estabelecidas pelo SAE Pedra Branca, tem-se estabelecido a coleta e tratamento de esgotos sanitários, com qualidade, regularidade e universalidade. Além disso, o sistema visa garantir que esses serviços permaneçam eficientes no atendimento ao bairro, mesmo com o crescimento populacional ao longo dos anos. No início de qualquer construção, os moradores devem entrar em contato com o SAE-PB para solicitar a ligação de esgoto, além de receber as instruções necessárias.

Na Tabela 1 apresentam-se os principais dados referentes ao sistema de esgotamento sanitário do SAE, dados referentes ao mês de julho de 2023.

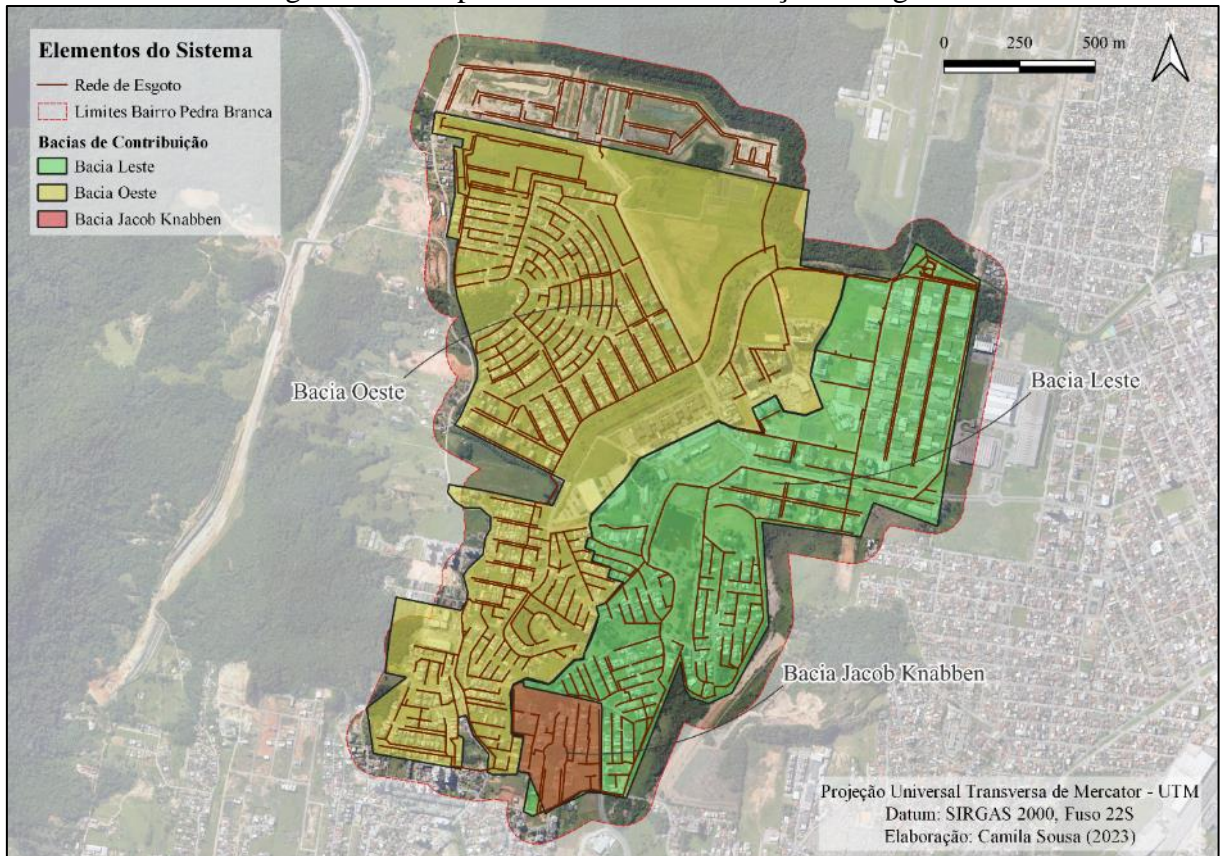
Tabela 1 – Principais dados do sistema de esgotamento sanitário do SAE Pedra Branca.

<b>Principais dados</b>	<b>Valores</b>	<b>Unidade</b>
População atendida com esgotamento sanitário	7.379	Habitantes
Ligações ativas de esgoto	1.553	Ligações
Extensão de redes de esgoto	57	km
Número de elevatórias de esgoto em operação	5	unidades
Volume de esgotos coletado e tratado	43.132	m <sup>3</sup> /mês
Quantidade de extravasamentos registrados	28	Extravasamentos/mês

Fonte: Elaboração própria a partir de dados do SAE Pedra Branca (julho de 2023).

O sistema do bairro opera através do funcionamento de cinco elevatórias de esgoto, que se situam em pontos de cotas mais baixas em cada bacia de contribuição. Quatro destas elevatórias recalcam o efluente até a EEE principal, localizada próxima à estação de tratamento de esgoto, onde se concentra todo o esgoto coletado para posterior tratamento. Na Figura 12 tem-se representadas as delimitações das bacias de contribuição.

Figura 12 – Mapa de bacias de contribuição de esgoto.



Fonte: Elaboração própria (2023).

#### 5.1.1.1 Estrutura de consumo do sistema

O sistema do SAE Pedra Branca possui um total de 1.562 ligações ativas de água e esgoto, para o mês de referência em setembro de 2023. Dentre essas, encontram-se categorizadas por 1.328 residenciais, 132 industriais, 98 comerciais e 4 públicas.

Segundo Tsutiya e Alem Sobrinho (1999), os sistemas de esgotos são projetados considerando o conjunto de efluentes denominado de esgoto sanitário, que envolvem as parcelas de esgoto doméstico, águas de infiltração e efluentes líquidos industriais.

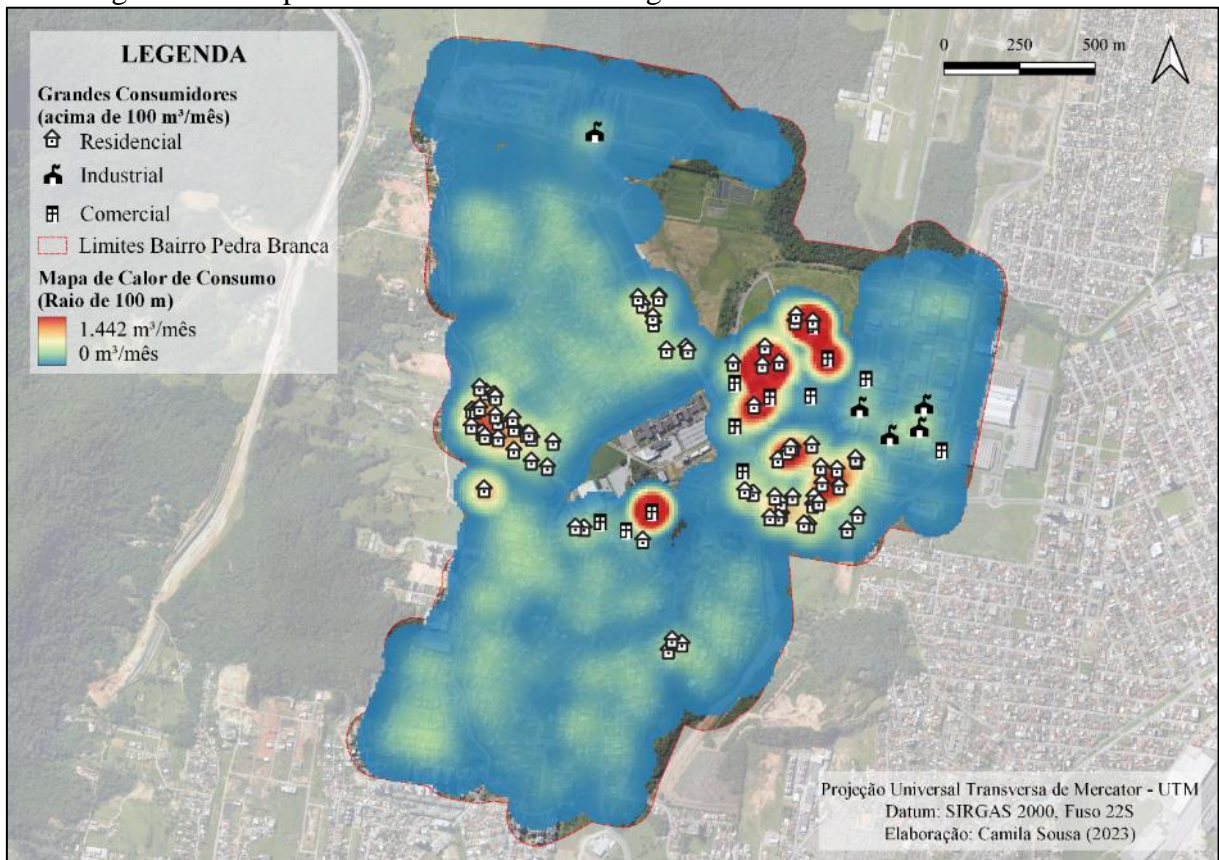
Para estimativa do volume de contribuição de esgoto produzido, considera-se a contribuição per capita da área de estudo, o coeficiente de retorno de esgoto/água, e os

coeficientes de variação de vazão. Para isto, utiliza-se a definição da norma brasileira da ABNT NBR 9.646/1986: Projeto de redes coletoras de esgoto sanitário, que define o valor para o coeficiente de retorno “C” como 0,80, ou seja, 80% da água consumida pela população retornam como contribuição de esgoto sanitário.

Para a população atendida pelo SAE Pedra Branca, o consumo médio per capita de água para os últimos 12 meses, para o período de agosto/2022 a julho/2023, resultou em 202,7 l/hab./dia, portanto estima-se que a produção de esgoto por habitante seja de 162,2 l/hab./dia, representando 80% do consumo médio de água.

De maneira a proporcionar uma visualização clara da localização dos grandes consumidores do sistema, utilizou-se o mapa de calor para identificar regiões com maiores demandas de água e, conseqüentemente, de maior contribuição para a rede coletora de esgoto. Na Figura 13 apresenta-se um mapa de calor gerado das ligações que se encontram ativas, com diferenciação de acordo com a categoria do consumidor.

Figura 13 – Mapa de calor de consumo de água no sistema do SAE Pedra Branca.



Fonte: Elaboração própria (2023).

Considerando a média mensal dos últimos 12 meses de consumo das ligações, filtrou-se os maiores consumidores com valores de consumos acima de 100 m<sup>3</sup>/mês, visto que o

consumo médio para uma ligação residencial em que habitam 3 habitantes é de cerca de 15 m<sup>3</sup>/mês. Com esse valor de referência, foram identificados 90 grandes consumidores.

A partir da Figura 13 apresentada, percebe-se os maiores consumidores na porção leste do bairro, onde encontram-se ligações residenciais com grande número de economias, como também, ligações comerciais e industriais. Em síntese, os grandes consumidores dividem-se em 73 ligações residenciais, 12 comerciais e 5 industriais.

#### 5.1.1.2 Redes coletoras de esgoto

Atualmente, o empreendimento Pedra Branca possui uma extensa rede de esgoto, totalizando cerca de 57 quilômetros, assentadas sob o passeio, e todas são compostas pelo material policloreto de vinila (PVC). Na Tabela 2 tem-se listado os comprimentos de rede por diâmetro, onde observam-se variação de diâmetros entre 75 a 200 mm para as linhas de recalque das elevatórias, e entre 100 e 400 mm para as redes coletoras. Na Figura 14 tem-se a representação do cadastro de redes e localização dos poços de visita.

Tabela 2 – Comprimento de rede por diâmetro.

<b>Rede Coletora</b>	
<b>Diâmetro (mm)</b>	<b>Extensão de Rede (m)</b>
100	32.282
150	19.112
200	474
250	1.502
300	228
350	1.317
400	1.187
<b>Total Rede Coletora</b>	<b>56.102</b>
<b>Rede de Recalque</b>	
75	345
85	396
200	179
<b>Total Rede de Recalque</b>	<b>920</b>
<b>TOTAL</b>	<b>57.022</b>

Fonte: Elaboração própria.

Figura 14 – Mapa de cadastro de redes da área de estudo.



Fonte: Elaboração própria (2023).

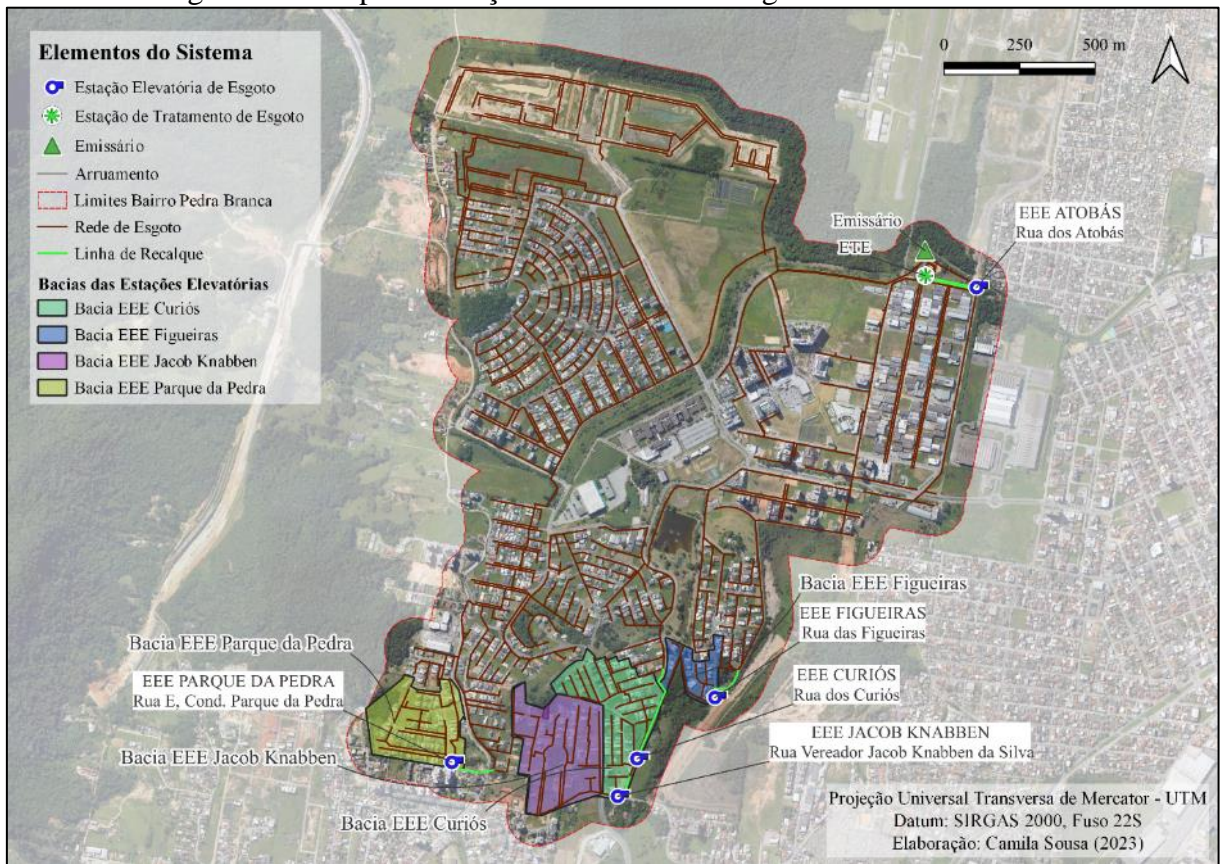
### 5.1.1.3 Estações elevatórias de esgoto

O sistema de coleta de esgoto é composto por 5 Estações Elevatórias de Esgoto (EEE), sendo a estação elevatória principal a EEE Atobás que é responsável por receber o esgoto sanitário final de toda a rede de coleta. As demais elevatórias possuem suas próprias bacias de esgoto, que ao atingir seus níveis máximos nos poços de sucção bombeiam o esgoto para a EEE Atobás.

Na Figura 15 apresenta-se a localização geográfica das elevatórias de esgoto, suas respectivas bacias de contribuição e linhas de recalque. Também se encontra representado a estação de tratamento de esgoto, e o ponto do emissário.



Figura 15 – Mapa de estações elevatórias de esgoto da área de estudo.



Fonte: Elaboração própria (2023).

As elevatórias em operação são todas convencionais de poço úmido, com conjunto motobomba submerso. São utilizadas bombas centrífugas do tipo submersível afogada. As estruturas são totalmente enterradas, sem superestrutura. As próximas figuras apresentam as elevatórias de esgoto em operação no sistema do SAE-PB.

A EEE Atobás, que recebe todo o efluente coletado do sistema, possui seu funcionamento através de cinco conjuntos motobomba com inversor de frequência, que operam de forma alternada, de acordo com o nível do poço que indica a necessidade de acionamento das bombas. Atualmente está previsto a compra de um novo conjunto motobomba, em processo de compra e instalação, a fim de atender o crescente crescimento da região. Na Figura 16 apresenta-se a estrutura da EEE Atobás.

Figura 16 – EEE Atobás.



Fonte: SAE Pedra Branca (2023).

A EEE Figueiras recebe os efluentes apenas de sua bacia de contribuição, em torno de 23 ligações ativas, e o funcionamento ocorre através de dois conjuntos motobombas, sendo um em operação e outro em reserva. A linha de recalque da EEE Figueiras possui aproximadamente 135 metros, com transição para conduto livre, até chegada na EEE Atobás. Na Figura 17 apresenta-se a estrutura da EEE Figueiras.

Figura 17 – EEE Figueiras.

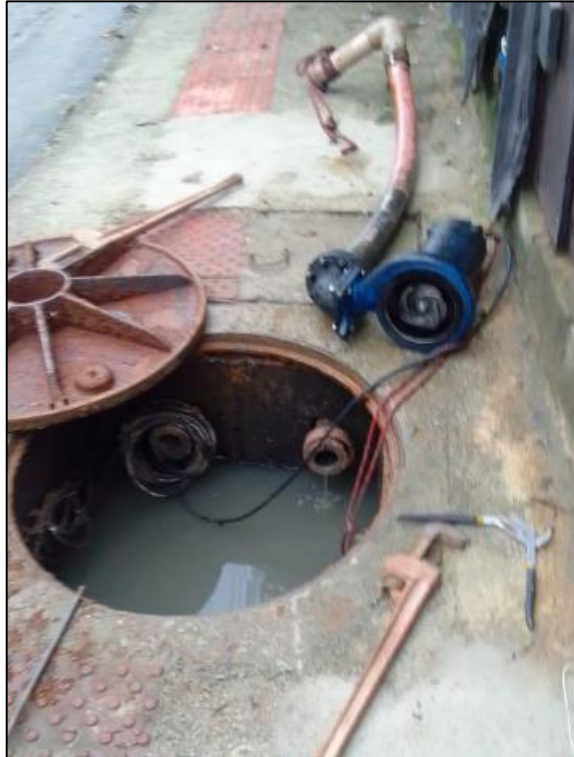


Fonte: SAE Pedra Branca (2023).

A EEE Jacob Knabben recebe os efluentes apenas de sua bacia de contribuição, em torno de 74 ligações ativas, e o funcionamento ocorre através de um conjunto motobomba. A linha de recalque da EEE Jacob Knabben possui aproximadamente 100 metros, com transição

para conduto livre, até chegada na EEE Curiós. Na Figura 18 apresenta-se a estrutura da EEE Jacob Knabben.

Figura 18 – EEE Jacob Knabben.



Fonte: SAE Pedra Branca (2023).

A EEE Curiós recebe os efluentes apenas de sua bacia de contribuição, em torno de 94 ligações ativas, e também do efluente recalcado pela EEE Jacob Knabben. Seu funcionamento ocorre através de dois conjuntos motobomba, sendo um em operação e outro em reserva. A linha de recalque da EEE Curiós possui aproximadamente 350 metros, com transição para conduto livre, até chegada na EEE Atobás. Na Figura 19 apresenta-se a estrutura da EEE Curiós.

Figura 19 – EEE Curiós.



Fonte: SAE Pedra Branca (2023).

A EEE Parque da Pedra recebe os efluentes apenas de sua bacia de contribuição, em torno de 78 ligações ativas localizadas no condomínio Parque da Pedra. Seu funcionamento ocorre através de dois conjuntos motobomba, sendo um em operação e outro em reserva. A linha de recalque da EEE Parque da Pedra possui aproximadamente 170 metros, com transição para conduto livre, até chegada na EEE Atobás. Na Figura 20 apresenta-se a estrutura da EEE Parque da Pedra.

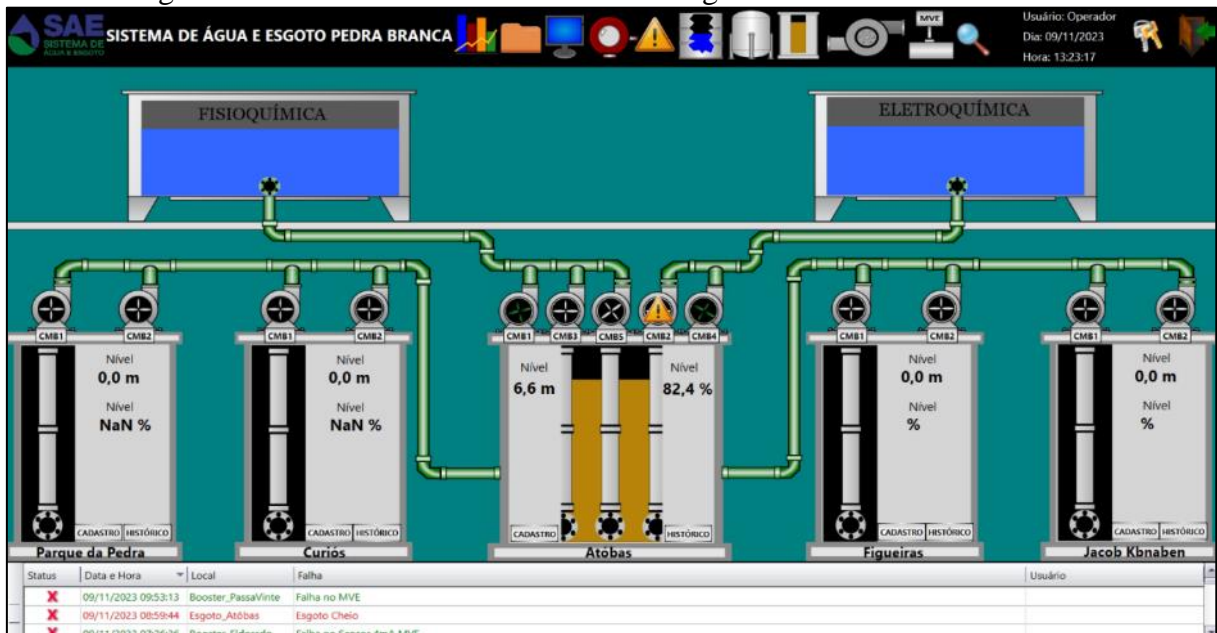
Figura 20 – EEE Parque da Pedra.



Fonte: SAE Pedra Branca (2023).

Os níveis das elevatórias são controlados através de um sistema de telemetria, onde obtém-se dados em tempo real de nível e funcionamento das bombas que ficam armazenados para controle operacional. O bombeamento das estações elevatórias possui automatização para o acionamento das bombas por nível de esgoto. Atualmente, somente a elevatória Atobás está com o funcionamento adequado para transmissão dos dados por telemetria, conforme observa-se na Figura 21, onde há a informação de nível e alertas vinculados ao funcionamento da EEE. Já as demais EEE não há recebimento de dados por telemetria. Já na Figura 22 apresenta-se o acesso ao histórico de níveis do poço da EEE Atobás e o *status* de operação das bombas.

Figura 21 – Tela inicial das elevatórias de esgoto no sistema de telemetria.



Fonte: De autoria própria (2023).

Figura 22 – Sistema de telemetria com os dados de nível da EEE Atobás.



Fonte: De autoria própria (2023).

#### 5.1.1.4 Estação de tratamento de esgoto

De maneira a ter um maior entendimento de como é o funcionamento da estação de tratamento de esgoto (ETE) do SAE Pedra Branca, foi realizada uma visita em campo no dia 24/10/2023, a fim de entender a configuração atual do tratamento realizado.

A ETE é responsável por tratar todo o efluente gerado pelo bairro, compreendendo uma vazão de cerca de 170 a 200 m<sup>3</sup>/h, sendo esta vazão atualmente próxima da nominal do projeto da estação. As instalações da ETE compreendem um tratamento preliminar composto de gradeamento e desarenador, um reator anaeróbio de fluxo ascendente – UASB, um tanque

eletroquímico, tanques para tratamento primário quimicamente assistido – CEPT, e tanques para tratamento do lodo por *Wetlands* Construídos.

Com o bombeamento da EEE Atobás, o funcionamento da ETE ocorre por dois subsistemas, sendo uma parcela encaminhada para o reator UASB, e outra fração desviada para o tanque Eletroquímico. Após a passagem pelo UASB, o efluente segue para o tratamento CEPT. Com isso, o efluente tratado é lançado no corpo receptor, o Córrego dos Pombos. Na Figura 23 tem-se o esquema do funcionamento do sistema apresentado.

Figura 23 – Esquema do funcionamento da ETE do SAE Pedra Branca.



Fonte: Vasconcelos (2018).

Na Figura 24 apresenta-se a estrutura do reator UASB, e na Figura 25 tem-se o tanque eletroquímico. Ressalta-se que, no momento da visita o tanque eletroquímico encontrava-se em manutenção, sendo todo o efluente desviado para o reator UASB.

Figura 24 – Reator UASB – ETE SAE Pedra Branca.



Fonte: De autoria própria (2023).

Figura 25 – Tanque eletroquímico – ETE SAE Pedra Branca.



Fonte: De autoria própria (2023).

Após a passagem pelo reator UASB o efluente é encaminhado para o tratamento CEPT, na Figura 26 pode-se observar o tanque de entrada do efluente, seguido dos tanques de floculação, decantação e filtro.

Figura 26 – CEPT – ETE SAE Pedra Branca.



Fonte: De autoria própria (2023).

De maneira a reduzir os custos com o encaminhamento do lodo gerado pela estação, os tanques para o gerenciamento do lodo por *Wetlands* foram implantados. A estrutura da unidade pode ser observada na Figura 27.



Figura 27 – Tratamento do lodo – ETE SAE Pedra Branca.



Fonte: De autoria própria (2023).

Da mesma forma que a ETE Atobás, a ETE também está conectada ao sistema de telemetria, possibilitando o controle da estação. Na Figura 28 tem-se o painel da telemetria localizado na estação.

Figura 28 – Sistema de telemetria – ETE SAE Pedra Branca.



Fonte: De autoria própria (2023).

Devido à contínua expansão e ocupação do bairro, já se encontra em andamento um projeto para a ampliação da ETE, visto que atualmente a operação ocorre com vazão próxima à nominal.

### 5.1.2 Controle operacional do sistema SAE Pedra Branca

De maneira a elucidar questões relacionadas à gestão do sistema de esgotamento sanitário do SAE Pedra Branca, os tópicos seguintes expõem as análises feitas dos serviços realizados de forma recorrente de operação e manutenção do sistema, além de identificar as avaliações de desempenho realizadas com a aplicação de indicadores para a análise do sistema.

#### 5.1.2.1 Corpo técnico

Conforme informado pelo SAE Pedra Branca, o órgão conta com cerca de 15 funcionários, com variação do número de prestadores de serviços das empresas terceirizadas que atuam na gestão e manutenção do sistema. No Quadro 3 apresenta-se a estrutura organizacional atual.

Quadro 3 – Estrutura organizacional do SAE Pedra Branca.

SAE Pedra Branca	Estrutura	Setor		Empresa
	SAE Pedra Branca	Nível 1	Direção	Engenheiro
Atividades Acessórias			Contabilidade	Interno
			Administrativo	
Nível 2		Gestão Comercial	Jurídico	SANOVA
			Gestor	
			Apoio Técnico	
			Atendente	
		Gestão de Manutenção	Leiturista	TERRAPLEIN
			Serviços de manutenção e consertos	
		Gestão Operacional	Operação das EEE	TERRAPLEIN
Operação dos poços e ETE	MÓDULO VERDE			
Telemetria	EASYSAFE			
Serviços	Caminhão hidrojetado		Empresas terceirizadas	
	Retroescavadeira			

Fonte: Elaboração própria através de dados do SAE Pedra Branca (2023).

### 5.1.2.2 Ordens de serviços recebidas

Com o objetivo de analisar as demandas solicitadas pelos consumidores da área de abrangência do sistema de esgotamento sanitário da Pedra Branca, foram analisadas as ordens de serviços (OS) executadas e registradas pela plataforma SANSYS durante o período de 2014 a 2023. A relação dos serviços relacionados ao sistema de esgoto apresenta-se no Quadro 4, com categorização conforme a utilizada pelo SAE-PB.

Quadro 4 – Relação de serviços por setor de execução.

Setor de Execução	Descrição do Serviço
Manutenção	Coleta de lodo - Caminhão Hidrojato
	Verificação do sistema de telemetria
	Vazamento de esgoto
	Conserto de rede de esgoto
	Limpeza de bomba de esgoto
	Reparo de bomba de esgoto
	Limpeza de elevatória de esgoto
	Extravasamento de esgoto
Operação	Desentupimento de rede de esgoto – Caminhão Hidrojato
	Ausência de ponto de espera de esgoto
	Utilização de caminhão limpa fossa
	Ampliação de rede de esgoto

Fonte: Elaboração própria através de dados do SAE Pedra Branca (2023).

A partir dos serviços descritos, obteve-se a síntese anual de ordens de serviços executadas por setor, considerando o período de 2014 a 2023 (até outubro), apresentado no Quadro 5.

Quadro 5 – Ordens de serviço executadas por setor.

Setor de Execução	Número de Ordens de Serviço por Ano de Execução									
	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023 (até out.)
<b>Manutenção</b>	120	161	130	185	194	225	222	294	325	285
<b>Operação</b>	0	0	61	43	95	73	53	59	83	77
<b>TOTAL</b>	<b>120</b>	<b>161</b>	<b>191</b>	<b>228</b>	<b>289</b>	<b>298</b>	<b>275</b>	<b>353</b>	<b>408</b>	<b>362</b>

Fonte: Elaboração própria através de dados do SAE Pedra Branca (2023).

A partir disso, torna-se evidente o crescimento da necessidade de execução de serviços de manutenção e operação no sistema, tornando-se cada vez mais recorrente.

### *5.1.2.3 Principais serviços de manutenção e operação realizados*

Para distinguir os principais serviços operacionais realizados, analisou-se as ordens de serviços recebidas pelo órgão para o período de 01/11/2022 a 01/11/2023, compreendendo um total de 365 dias. Ao analisar os últimos 12 meses de funcionamento do sistema, pode-se obter resultados mais fundamentados para o entendimento de pontos críticos da rede com seu desempenho atual, além de correlacionar possíveis variações sazonais de acordo com as interferências climáticas.

No Quadro 6 tem-se a distribuição mensal do número de ordens de serviço executadas para o período, de acordo com a descrição do serviço.

Quadro 6 – Ordens de serviço executadas por descrição do serviço.

Descrição do Serviço	Número de Ordens de Serviço por Mês de Execução												
	Nov/22	Dez/22	Jan/23	Fev/23	Mar/23	Abr/23	Mai/23	Jun/23	Jul/23	Ago/23	Set/23	Out/23	TOTAL
Desentupimento de rede de esgoto – Caminhão Hidrojato	23	26	24	28	21	28	20	24	22	19	16	29	<b>280</b>
Limpeza de elevatória de esgoto	08	04	06	08	13	08	05	10	10	06	05	11	<b>94</b>
Coleta de lodo – Caminhão Hidrojato	01	06	03	04	03	06	04	02	05	04	05	01	<b>44</b>
Conserto de rede de esgoto	02	03	04	01	01	04	03	-	-	01	-	03	<b>22</b>
Vazamento de esgoto	-	02	-	05	-	-	04	-	-	02	02	-	<b>15</b>
Ampliação de rede de esgoto	01	04	-	01	02	-	01	-	-	03	-	-	<b>12</b>
Extravasamento de esgoto	-	-	-	-	-	-	-	01	-	-	-	-	<b>01</b>
<b>TOTAL</b>	<b>35</b>	<b>45</b>	<b>37</b>	<b>47</b>	<b>40</b>	<b>46</b>	<b>37</b>	<b>37</b>	<b>37</b>	<b>35</b>	<b>28</b>	<b>44</b>	<b>468</b>

Fonte: Elaboração própria através de dados do SAE Pedra Branca (2023).

As figuras a seguir apresentam registros dos serviços executados no sistema de esgotamento sanitário do SAE-PB. Na Figura 29 tem-se o caminhão hidrojato utilizado para realização de serviços de desentupimento de rede, ilustrado na Figura 30, executado por empresa terceirizada.

Figura 29 – Caminhão hidrojato de empresa terceirizada.



Fonte: SAE Pedra Branca (2023).

Figura 30 – Execução de serviços de desentupimento de rede de esgoto.



Fonte: SAE Pedra Branca (2023).

Na Figura 31 e Figura 32 tem-se o caminhão hidrojato utilizado para realização de serviços de limpeza de elevatória de esgoto, executados na EEE Parque da Pedra e EEE Atobás, respectivamente. A Figura 33 ilustra a limpeza de cestos da EEE Atobás, que deve ser realizado frequentemente.

Figura 31 – Limpeza EEE Parque da Pedra com caminhão hidrojato.



Fonte: SAE Pedra Branca (2023).

Figura 32 – Limpeza da caixa e cestos na EEE Atobás.



Fonte: SAE Pedra Branca (2023).

Figura 33 – Limpeza de cesto da EEE Atobás.



Fonte: SAE Pedra Branca (2023).

Já na Figura 34 tem-se representado a execução do serviço de ampliação de rede de esgoto, com a utilização de retroscavadeira para abertura de valas.

Figura 34 – Ampliação de rede de esgoto.



Fonte: SAE Pedra Branca (2023).

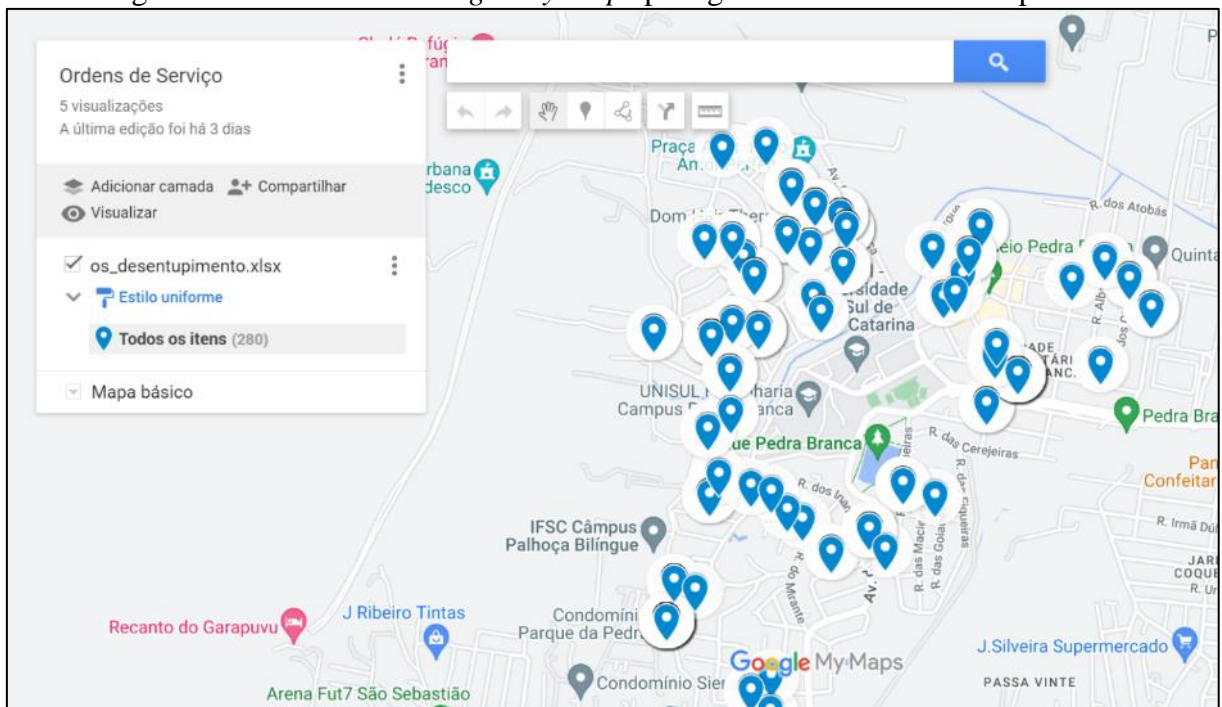


### 5.1.2.3.1 Desentupimento de rede de esgoto

Ao analisar o Quadro 6 fica evidente que o serviço mais requerido e recorrente pelo sistema de esgotamento sanitário é o de desentupimento de rede de esgoto. Assim, de forma a investigar detalhadamente quais trechos de rede ficam obstruídos com maior frequência, chamados de pontos críticos, foram filtradas as ordens de serviços recebidas para este tipo de serviço, com os respectivos logradouros de execução.

A partir disso, utilizou-se a ferramenta *Google My Maps* com a utilização de uma planilha com os endereços, a fim de georreferenciar estes pontos (Figura 35).

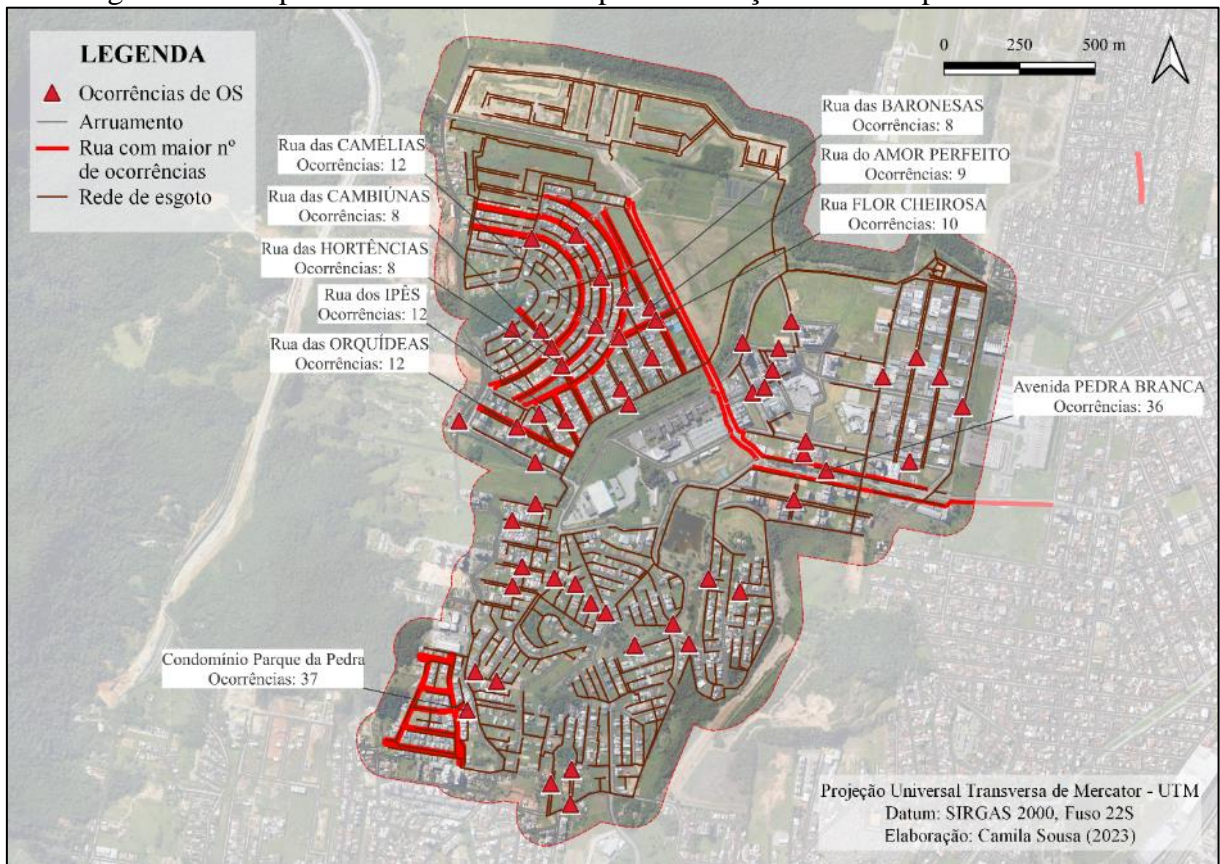
Figura 35 – Ferramenta *Google My Maps* para georreferenciamento de pontos.



Fonte: De autoria própria (2023).

A partir do arquivo de saída gerado, no formato *kmz*, utilizou-se o *software QGIS* para representação dos logradouros onde houveram maior incidência de ocorrências de obstrução de redes, para o período em análise (Figura 36).

Figura 36 – Mapa de ocorrências de OS para o serviço de desentupimento de rede.



Fonte: Elaboração própria (2023).

Por meio da análise dos locais de maior ocorrência de serviços executados de desentupimento de rede, pode-se visualizar pontos críticos da rede, onde foram realizados com maior recorrência este tipo de serviço para o período analisado. Assim, pode-se observar que as redes localizadas no condomínio Parque da Pedra são uma problemática, da mesma forma para as redes localizadas na Avenida Pedra Branca, visto que há necessidade recorrente de desobstrução da rede nestes locais.

#### 5.1.2.4 Indicadores de desempenho

De forma a obter uma análise geral de desempenho do sistema do SAE-PB são utilizados indicadores para monitoramento mensal. No Quadro 7 apresenta-se os indicadores utilizados para avaliar o sistema de esgotamento sanitário.


Quadro 7 – Indicadores de desempenho geral do sistema de esgotamento sanitário SAE-PB.

Indicador	Cálculo	Referência
Índice de Tratamento de Esgoto	$\frac{\text{Volume de Esgoto Tratado} + \text{ES014} + \text{ES015}}{\text{Volume de Esgoto Coletado} + \text{Volume de Esgoto bruto importado}}$	SNIS
Índice de Atendimento Urbano de Esgoto em Relação ao Atendimento com Abastecimento de Água	$\frac{\text{População Urbana Atendida com Esgotamento Sanitário}}{\text{População urbana residente}}$	SNIS
Extravasamentos de Esgotos por Extensão de Rede	$\frac{\text{Quantidades de Extravasamentos de Esgotos Registrados}}{\text{Extensão da rede de Esgotos}}$	SNIS

Fonte: Elaboração própria através de dados do SAE Pedra Branca (2023).

Assim, no Quadro 8 são apresentados os resultados dos indicadores avaliados para o mês de referência julho de 2023.

Quadro 8 – Resultados dos indicadores de desempenho avaliados em julho/23.

Indicador	Resultado	Avaliação <sup>3</sup>	Gráfico do histórico
Índice de Tratamento de Esgoto	100,0%	Ideal (=100)	-
Índice de Atendimento Urbano de Esgoto em Relação ao Atendimento com Abastecimento de Água	99,6%	Ideal ( $\geq 98$ )	-
Extravasamentos de Esgotos por Extensão de Rede	0,56 extravasamento/km	Satisfatório ( $\geq 0,5$ e $< 5,0$ )	

Fonte: Elaboração própria através de dados do SAE Pedra Branca (2023).

### 5.1.3 Principais desafios identificados

Para obter um panorama geral sobre o funcionamento do sistema de esgotamento sanitário, foi realizada uma entrevista com os funcionários do setor comercial do SAE-PB. O questionário utilizado para realizar a entrevista encontra-se no APÊNDICE A.

Ao questionar sobre os principais desafios operacionais enfrentados atualmente, foi apontado como um dos principais problemas a questão da comunicação entre as empresas terceirizadas, o que pode levar a desafios de coordenação e execução ineficiente de operações

<sup>3</sup> Valor de referência com base na Agência Reguladora Intermunicipal de Saneamento – ARIS (2015).

de manutenção. Além disso, a ocorrência de extravasamento de esgoto em poços de visita apresenta um problema recorrente, principalmente devido à localização dos pontos estarem localizados dentro dos lotes e de acesso difícil. Foi relatado um caso mais crítico de entupimento que ocorreu na residência de um morador, levando ao extravasamento da rede. A situação é evidenciada pelo considerável volume de ordens de serviço recebidas, relativas a extravasamento de esgoto, indicando a necessidade de priorizar ações de melhorias no sistema para reduzir a ocorrência deste problema.

A companhia não possui um programa de controle operacional para manutenções periódicas, como manutenção preventiva. Os serviços são realizados com base em ordens de serviço, e a frequência de limpeza é determinada de acordo com a necessidade identificada. Quando uma ordem de serviço de um cliente é registrada para resolver um problema operacional, a companhia se compromete a executar a operação no prazo máximo de 6 horas. Caso esse prazo não seja cumprido, há penalizações previstas no contrato.

A companhia monitora a integridade estrutural das tubulações de esgoto, como corrosão ou desgaste, principalmente em três situações: quando ocorre um extravasamento que pode danificar a tubulação, em trechos com histórico de problemas conhecidos e durante a troca de diâmetro da tubulação, que pode ser ampliada para 150 mm.

Com relação à operação das estações elevatórias de esgoto foi relatado alguns desafios significativos, como problemas críticos de transbordamento do poço de sucção e os problemas frequentes de funcionamento da telemetria. Vê-se a necessidade de melhorar o sistema de telemetria, visando aprimorar o monitoramento da rede de esgoto. Essa iniciativa inclui a implementação de alertas que permitem uma resposta mais rápida e eficiente diante de situações operacionais desafiadoras.

Ao questionar as estratégias para intervenções futuras que devem ser feitas para garantir o atendimento eficiente no sistema, foi exposto que existe um plano estratégico, conhecido como *Masterplan*, para lidar com novos empreendimentos no bairro. Esse plano prevê a expansão das redes e a ampliação da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) para garantir o atendimento adequado.

## 5.2 ETAPA 2 – COLETA DE DADOS HIDRÁULICOS E CONSTRUÇÃO DO MODELO HIDRÁULICO

Após a caracterização do sistema realizado na etapa anterior, pode-se obter um entendimento geral sobre a área de estudo a ser utilizada para construção do modelo hidráulico,

considerando os elementos presentes no sistema e características das contribuições de cargas sanitárias da região. Com a ciência dos principais problemas relatados pela equipe do SAE-PB, pode-se explorar com maior enfoque os resultados que a modelagem hidráulica permite alcançar.

Para os procedimentos desempenhados nesta etapa, utilizou-se o *software SewerCAD* da *Bentley Systems*, versão estudantil. Para a construção do modelo hidráulico foram utilizados dados geoespacializados, e foram relatadas as etapas realizadas no modelo para obter os resultados hidráulicos das simulações.

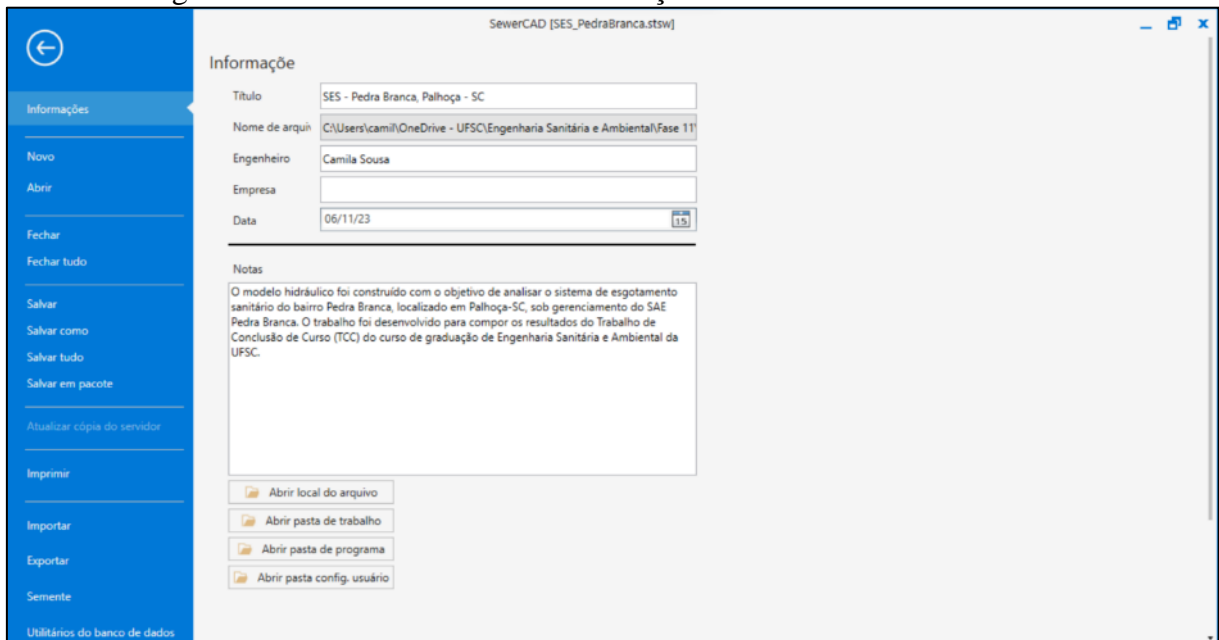
Ressalta-se que, de forma a se ter resultados mais efetivos ao utilizar a ferramenta da modelagem hidráulica, deve-se ter um bom entendimento sobre o *software*, compreendendo o *layout* e aplicações oferecidas, para então conseguir interpretar os resultados obtidos com maior confiabilidade.

### **5.2.1 Preparações iniciais do modelo hidráulico**

Conforme ilustrado na Figura 5, que apresenta a tela inicial do programa, ao executar o *software SewerCAD* deve-se escolher a opção de criar um novo modelo hidráulico, além de salvar o arquivo de extensão. *stsw*. Ao longo do trabalho realizado no modelo, são criados diversos tipos de extensões de arquivos que se tornam parte componente para a execução do mesmo.

Para controle cadastral das versões elaboradas, pode-se preencher as informações do responsável, além de registrar notas relevantes do trabalho executado para posterior consulta, conforme Figura 37.

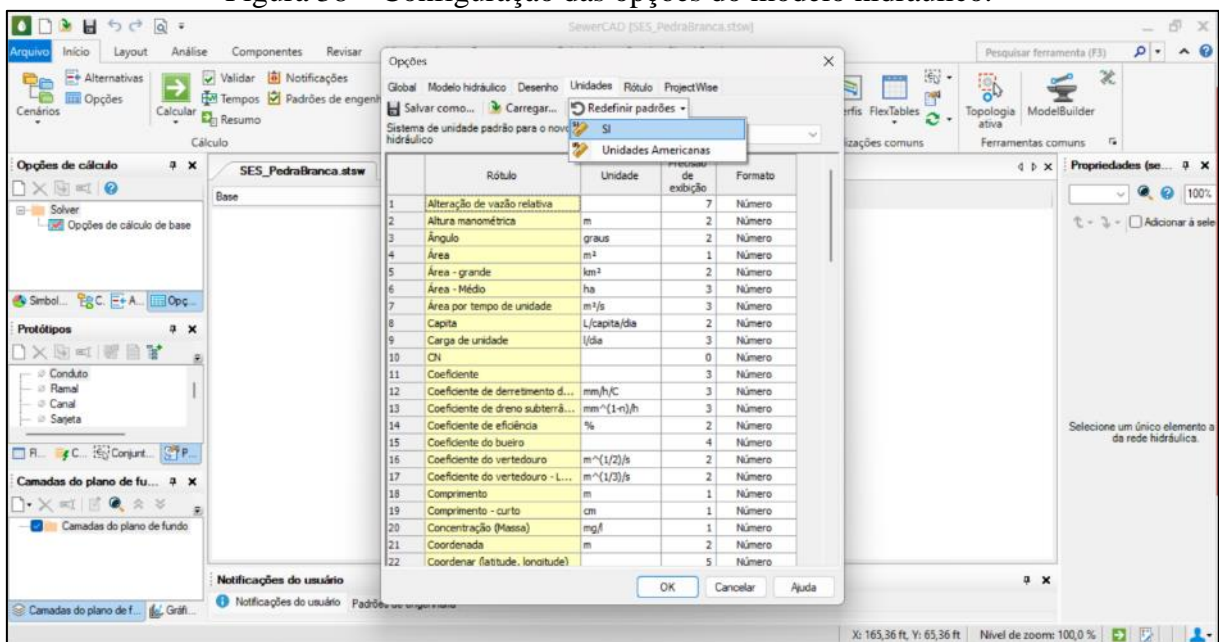
Figura 37 – Preenchimento das informações no novo modelo hidráulico.



Fonte: De autoria própria (2023).

Na ferramenta “Opções” (Figura 38) tem-se a aba de configurações para alterar propriedades importantes do modelo hidráulico, como a redefinição de padrões das unidades para o sistema SI, cor de plano de fundo e demais opções.

Figura 38 – Configuração das opções do modelo hidráulico.

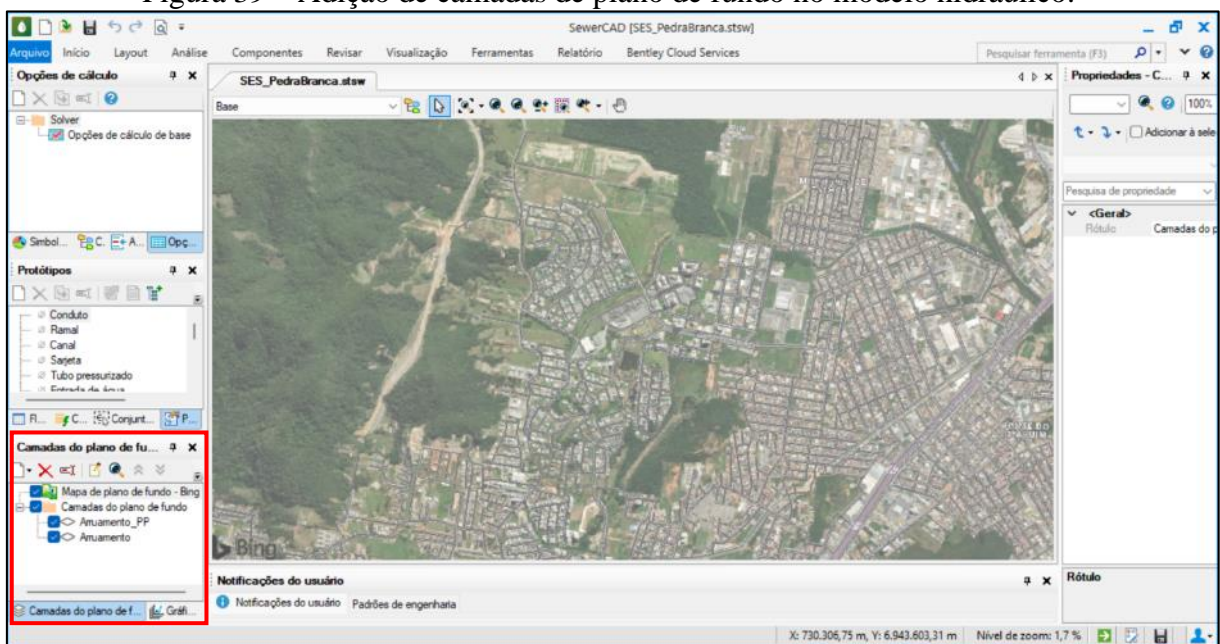


Fonte: De autoria própria (2023).

### 5.2.1.1 Camadas do plano de fundo

Para melhor trabalhar com os dados a serem importados, o *SewerCAD* permite a utilização de camadas como plano de fundo para visualização de arquivos externos. Assim, adiciona-se o arruamento do município de Palhoça-SC, obtido pelo IBGE em formato *shapefile*. Também se utiliza a ferramenta online *Bing Maps*, disponível pelo *software*, para utilizar a imagem de satélite. Na Figura 39 tem-se os planos de fundo adicionados no modelo.

Figura 39 – Adição de camadas de plano de fundo no modelo hidráulico.



Fonte: De autoria própria (2023).

## 5.2.2 Dados de entrada

### 5.2.2.1 Dados cadastrais

De primeira maneira, fez-se uma organização dos dados disponíveis com o auxílio do *software* de geoprocessamento *QGIS*. Os dados cadastrais de redes, elevatórias e linhas de recalque, poços de visita e a ETE foram retirados de um projeto do *software* *AutoCAD*, e pela plataforma *SANSYS* utilizada pelo SAE-PB.

A criação do modelo hidráulico pode ser feita manualmente, de maneira esquemática ou com utilização de um plano de fundo para o traçado da rede, como também de forma automática. A importação automática dos dados é uma solução que torna a construção do

modelo hidráulico algo mais ágil, porém para que os dados sejam importados corretamente estes foram organizados previamente no *QGIS*. Na Figura 40 apresenta-se a tabela de atributos do *QGIS*, com a organização da camada de cadastro de redes, para que os dados requeridos, como o diâmetro e material, sejam atribuídos também no modelo.

Figura 40 – Tabela de atributos da camada de redes de esgoto no *QGIS*.

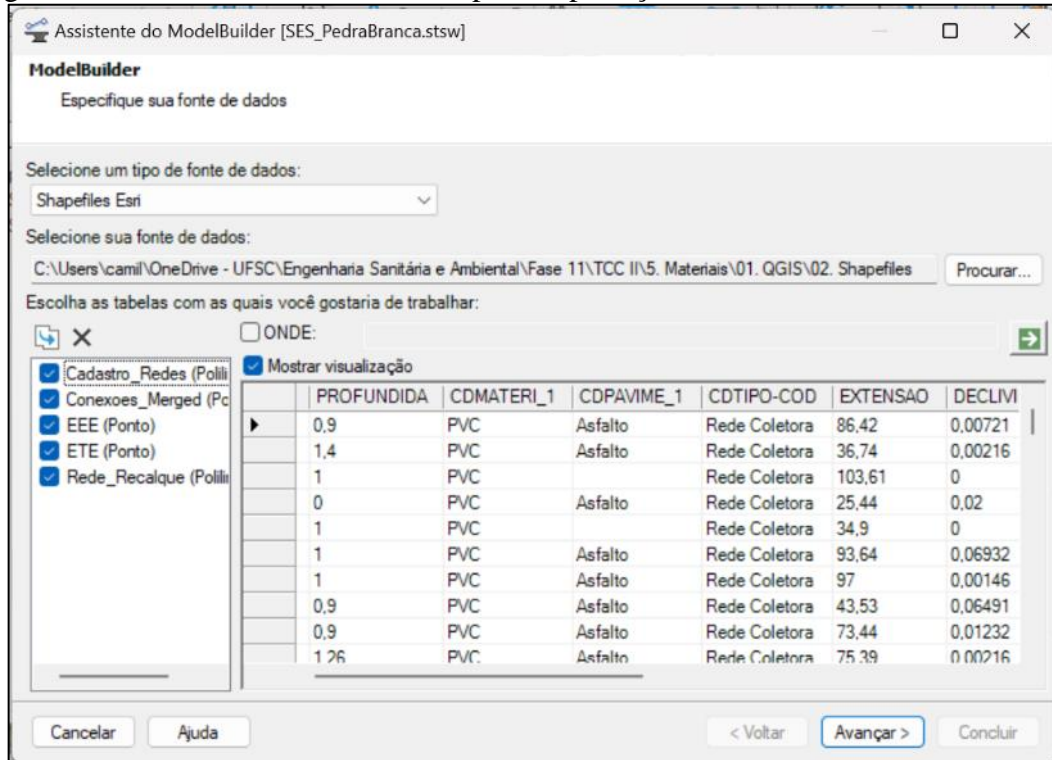
	D	Código	Material	Extensão	Prof.	Pavimentac	Tipo	Decliv.	Data	Estado	Situação
1	150,000	TRE413	PVC	32,2999999999...	0,9	Asfalto	Rede Coletora	0,076	15/09/2019	Ativo	Em operação
2	150,000	TR 1002	PVC	10,2600000000...	1,0000000000...	NULL	Rede Coletora	NULL	15/09/2019	Ativo	Em operação
3	150,000	TR 1001	PVC	12,0000000000...	1,0000000000...	NULL	Rede Coletora	NULL	15/09/2019	Ativo	Em operação
4	150,000	TR 10002	PVC	14,6000000000...	1,0000000000...	NULL	Rede Coletora	NULL	15/09/2019	Ativo	Em operação
5	150,000	TR 400001	PVC	8,0399999999...	1,0000000000...	NULL	Rede Coletora	NULL	19/12/2018	Ativo	Em operação
6	100,000	TR 30002-2	PVC	126,379999999...	0	NULL	Rede Coletora	NULL	12/12/2018	Ativo	Em operação
7	100,000	TR 30009	PVC	52,8200000000...	0,8	NULL	Rede Coletora	NULL	12/12/2018	Ativo	Projeto
8	100,000	TR 30006	PVC	209,439999999...	0,8	NULL	Rede Coletora	NULL	12/12/2018	Ativo	Projeto
9	100,000	TR 30008	PVC	16,1700000000...	0,8	NULL	Rede Coletora	NULL	12/12/2018	Ativo	Projeto
10	100,000	TR 30002-1	PVC	2,0600000000...	0,8	NULL	Rede Coletora	NULL	12/12/2018	Ativo	Em operação
11	100,000	TR30000	PVC	143,099999999...	0,6	NULL	Rede Coletora	NULL	01/12/2018	Ativo	Em operação
12	100,000	TR 30001	PVC	113,349999999...	0,8	NULL	Rede Coletora	NULL	01/12/2018	Ativo	Em operação
13	150,000	TR 10003	PVC	15,1600000000...	1,0000000000...	NULL	Rede Coletora	NULL	30/08/2018	Ativo	Em operação
14	250,000	TE-00556	PVC	64,1800000000...	1,0000000000...	NULL	Rede Coletora	NULL	14/02/2017	Ativo	Em operação
15	100,000	TRE516	PVC	86,4200000000...	0,9	Asfalto	Rede Coletora	0,00721	NULL	Ativo	Em operação
16	250,000	TRE509	PVC	36,7400000000...	1,4000000000...	Asfalto	Rede Coletora	0,00216	NULL	Ativo	Em operação
17	150,000	TR 100	PVC	103,609999999...	1,0000000000...	NULL	Rede Coletora	NULL	NULL	Ativo	Em operação
18	150,000	TRE168-2	PVC	25,4400000000...	0	Asfalto	Rede Coletora	0,02	NULL	Ativo	Em operação
19	400,000	TRE 001	PVC	34,8999999999...	1,0000000000...	NULL	Rede Coletora	NULL	NULL	Ativo	Em operação

Fonte: De autoria própria (2023).

Com o uso de dados geoespacializados, a construção do modelo se dá automaticamente através da importação de dados com a ferramenta “*ModelBuilder*” (Figura 41), a partir dos dados vetoriais em formato *shapefile*.



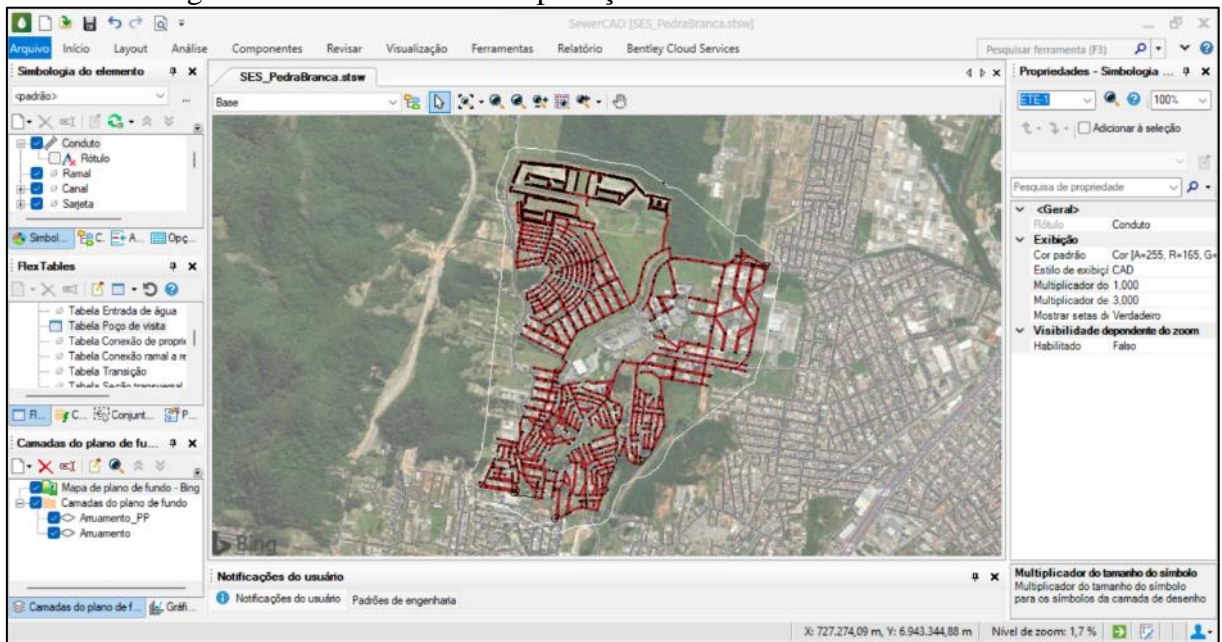
Figura 41 – Ferramenta *ModelBuilder* para importação de dados no modelo hidráulico.



Fonte: De autoria própria (2023).

Com os dados cadastrais do sistema de esgotamento sanitário do SAE-PB, foram importados os dados das redes, com os respectivos diâmetros e tipo de material, localização das elevatórias e linhas de recalque, localização dos poços de visita e terminais de limpeza, e a localização da ETE como estrutura de saída de rede do sistema. A Figura 42 apresenta o *layout* obtido com os dados importados.

Figura 42 – Resultados da importação de dados no modelo hidráulico.



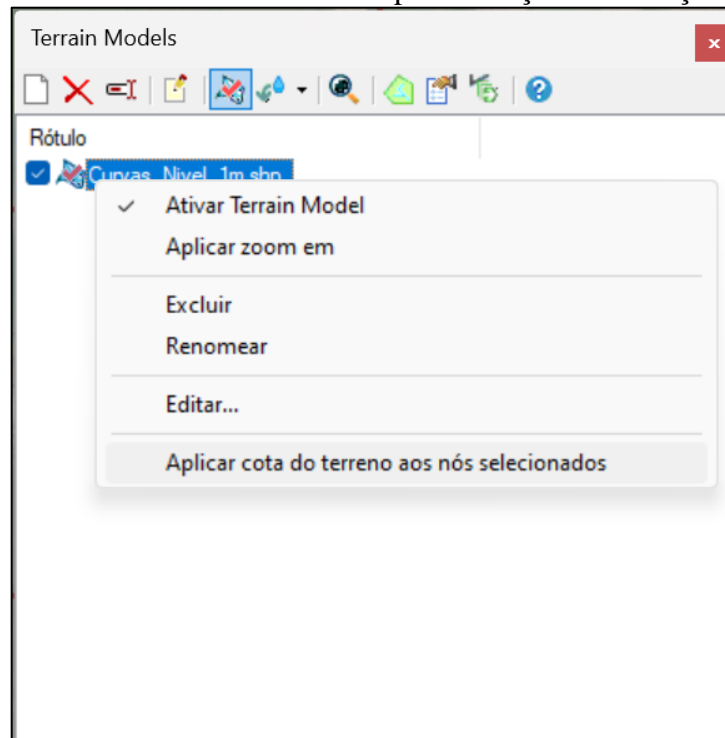
Fonte: De autoria própria (2023).

Assim, vê-se a dependência de se ter um cadastro técnico completo e atualizado para haver confiabilidade nos dados. O desafio encontrado nesta etapa deu-se pela falta de dados de cota de fundo nos poços de visita e terminais de limpeza, que não se encontravam georreferenciados e com dados faltantes. Assim, a inserção dos dados disponíveis de cotas de fundo foi realizada manualmente no modelo.

#### 5.2.2.2 Dados de topografia

A elevação do terreno é adicionada por meio das curvas de nível com distância de 1 em 1 metro extraídas do MDT, pela ferramenta “*Terrain Models*”. De forma a inserir os dados de elevação nos elementos adicionados, deve-se selecioná-los na tela inicial, para então realizar a aplicação das cotas, conforme pode ser visto na Figura 43.

Figura 43 – Ferramenta *Terrain Models* para inserção da elevação do terreno.



Fonte: De autoria própria (2023).

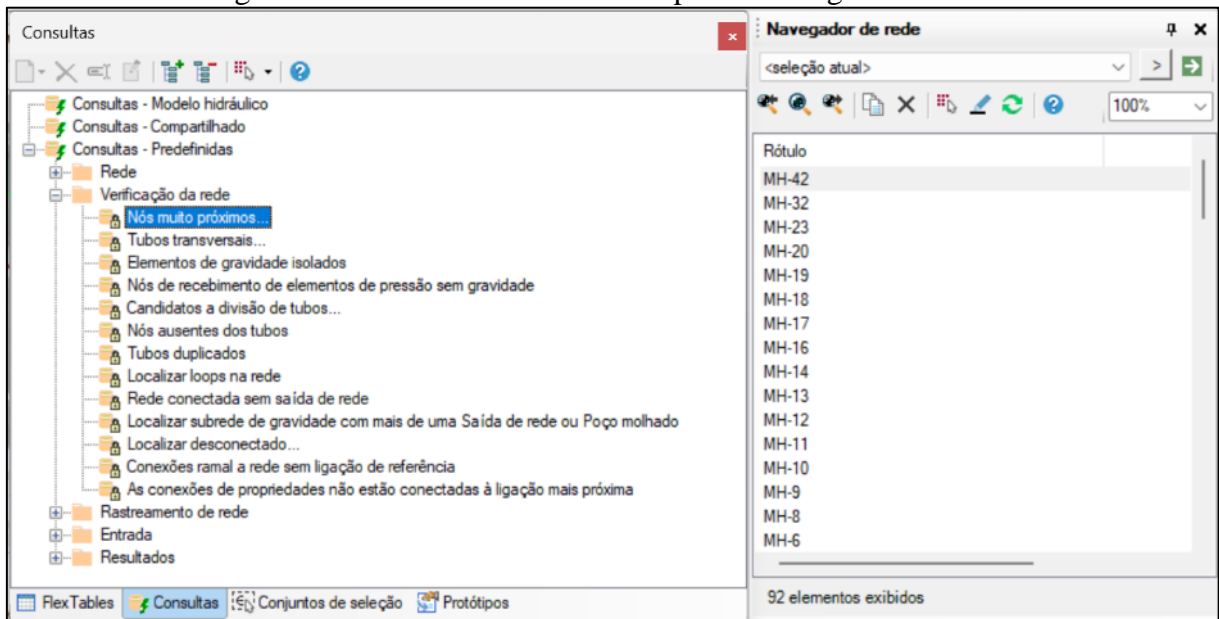
### 5.2.2.3 Problemas de conectividade

Como a construção do modelo hidráulico foi feita a partir de dados geoespaciais, com a ferramenta para entrada automática de dados *ModelBuilder*, podem ocorrer problemas de conectividade entre os dados importados.

As singularidades do sistema de esgotamento sanitário são reconhecidas como nós no modelo hidráulico, sendo necessário a presença destes para conexão entre os tubos. Portanto, ao executar a ferramenta *ModelBuilder* é colocada tolerância de distância entre os elementos para obter uma conexão automática, porém ocorrem casos de tubos que não se conectam, mas deveriam, ou o caso contrário.

Para identificação mais rápida dessas situações são utilizadas as consultas complexas “*Querries*” para localizar possíveis correções a serem feitas, que podem ser visualizadas pelo painel “Navegador de rede” (Figura 44).

Figura 44 – Ferramenta Consultas e painel Navegador de rede.



Fonte: De autoria própria (2023).

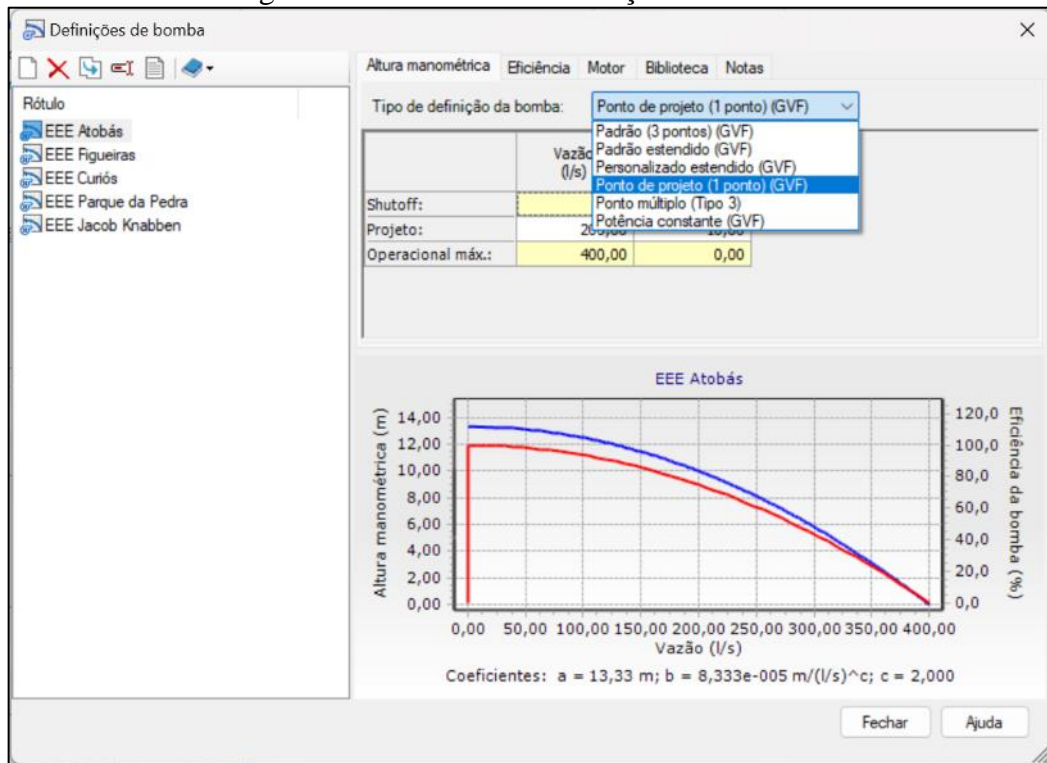
Através dessas consultas e ajustes do cadastro, evitam-se erros ao executar a simulação no modelo hidráulico.

#### 5.2.2.4 Dados operacionais

Os dados operacionais como dados das bombas e dimensões do poço de sucção das elevatórias não foram fornecidos, não havendo registros destes na base de dados do SAE-PB. Dessa forma, foram adotadas dimensões padrões para os poços de sucção de acordo com o porte de cada elevatória. Da mesma forma, adotou-se valores iniciais para a configuração das bombas, sendo ajustado conforme a execução do modelo hidráulico.

Para a entrada com os dados das curvas das bombas das elevatórias utiliza-se a ferramenta “Definições de Bomba” (Figura 45), para cada elevatória foi criada uma definição diferente para configurar ponto de projeto para a vazão e altura manométrica da bomba. Através do ponto de projeto adicionado, é gerada uma curva automaticamente.

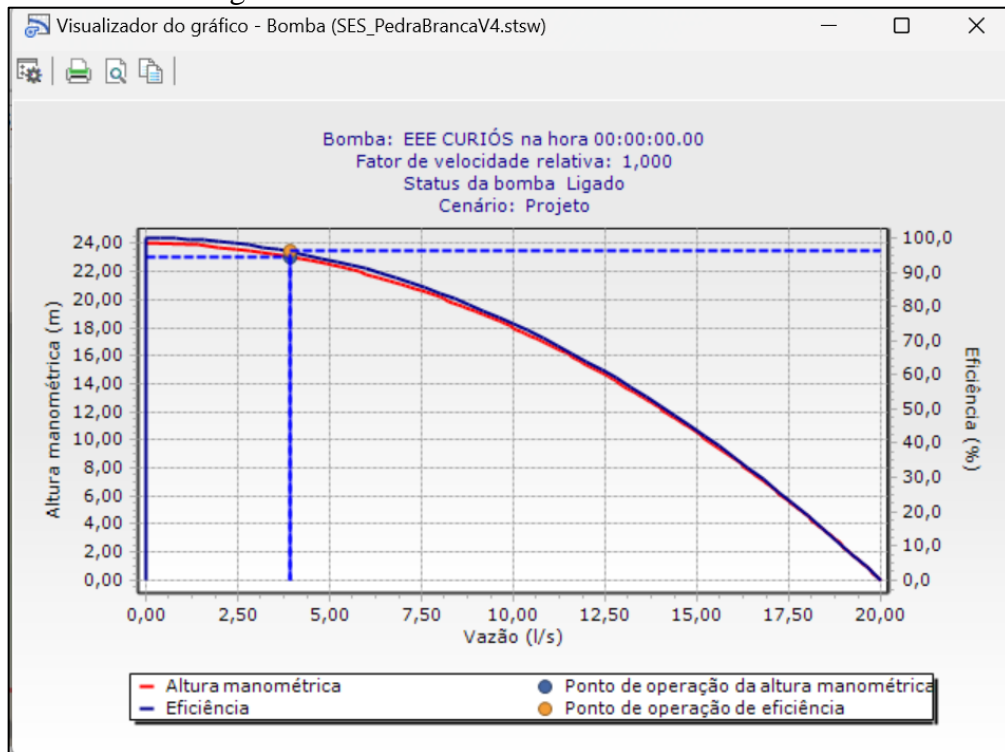
Figura 45 – Ferramenta Definições de Bomba.



Fonte: De autoria própria (2023).

Para configurar cada elevatória com sua respectiva definição de bomba, deve-se acessar as propriedades físicas de cada bomba e alterar a configuração. Para visualizar resultados extras do funcionamento do bombeamento, pode-se clicar com o botão direito na bomba e selecionar “Curva da Bomba” onde é possível especificar as informações para serem visualizadas na curva (Figura 46). Para simulações em período estendido (EPS), para um período de 24 horas, pode-se escolher a hora do dia para verificar o ciclo de bombeamento.

Figura 46 – Curva da bomba em estado estático.



Fonte: De autoria própria (2023).

#### 5.2.2.5 Inserção de cargas sanitárias aos nós

Dentre as fontes de águas residuais contribuintes ao sistema de esgotamento sanitário, temos: as fontes domésticas, comerciais e industriais; vazões decorrentes de contribuição pluvial; infiltrações de águas subterrâneas devido a defeitos na rede, como fissuras e desconexões; e conexões ilegais.

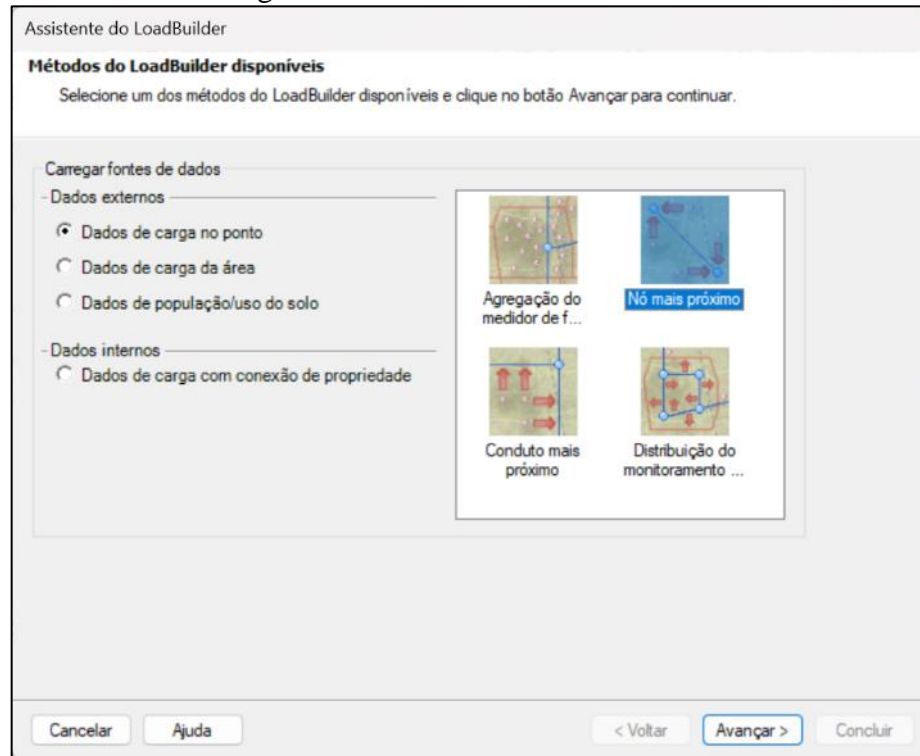
Para importar os dados de histórico de vazões dos hidrômetros individuais, utilizou-se as vazões de consumo de água medidas nas ligações ativas do sistema, considerando-se uma contribuição de aproximadamente 80% do consumo de água convertendo-se em água residual.

Para a importação automática dos dados utilizou-se a ferramenta “*LoadBuilder*” para aplicar vazões à elementos. Outra opção para aplicação de cargas é a ferramenta “Centro de controle de cargas sanitárias”, porém através do *LoadBuilder* pode-se utilizar dados customizados de micromedição e polígonos com dados populacionais ou de uso e ocupação do solo para aplicação aos elementos.

Para aplicação das cargas definiu-se o método de dados de carga no ponto considerando o nó mais próximo, representando um poço de visita, conforme apresentado na Figura 47. Na aba seguinte deve ser selecionado o arquivo *shapefile* com as ligações

georreferenciadas e as respectivas vazões médias. Os elementos a serem atribuídas as cargas são os poços de visita.

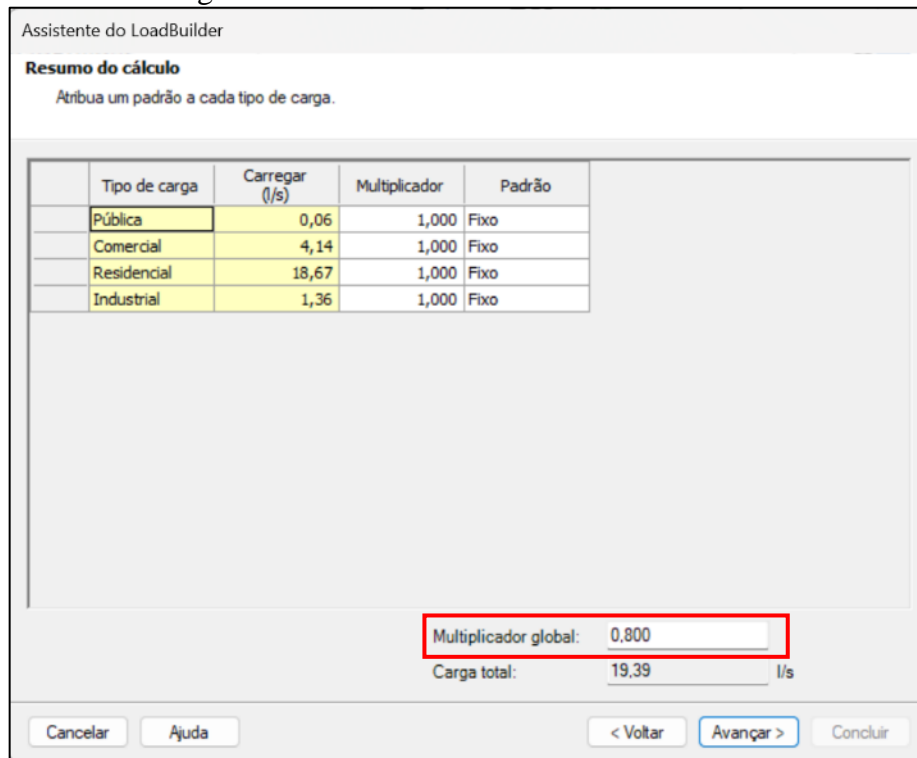
Figura 47 – Ferramenta *LoadBuilder*.



Fonte: De autoria própria (2023).

Com a categorização prévia dos consumidores na fonte de dados, tem-se o tipo de carga com a respectiva vazão, possibilitando atribuir diferentes pesos para cada tipo de consumidor, conforme pode ser visto na Figura 48. Neste caso, optou-se por atribuir um multiplicador global de 80% de cada tipo de categoria.

Figura 48 – Resumo de cálculo - *LoadBuilder*.



Fonte: De autoria própria (2023).

Para finalizar o processo de importação, deve-se escolher a alternativa em que serão utilizados os dados de cargas. Os resultados podem ser visualizados através das *FlexTables* de poços de visita, onde tem-se a vazão de chegada em cada singularidade (Figura 49).

Figura 49 – *FlexTables* Poços de Visita.

	Profundidade	Flow (Total In) (l/s)	Flow (Total Out) (l/s)	Tipo de Conexão	Depth (Out) (m)	Hydraulic Grade Line (Out) (m)	Está sobrecarregado?	Carregamento de base (sentinela local) (l/s)	Headloss Method	Hydraulic Grade Line (In) (m)	Is Ever Overflowing?	Is Overflowing?	Sanitary Loads	Notes
5793: Conexões		18,76	18,77	PV	2,80	-3,60	<input checked="" type="checkbox"/>	12,58	absoluto	-3,60	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<Coleção: 1	
5094: Conexões		18,76	18,76	PV	0,41	-2,77	<input checked="" type="checkbox"/>	12,57	absoluto	-2,77	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<Coleção: 0	
5198: Conexões		18,76	18,76	PV	0,12	-1,85	<input type="checkbox"/>	12,57	absoluto	-1,85	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<Coleção: 0	
5237: Conexões		18,76	18,76	PV	0,12	-1,03	<input type="checkbox"/>	12,57	absoluto	-1,03	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<Coleção: 0	Ligação "Cac
5278: Conexões		18,76	18,76	PV	0,12	-2,62	<input type="checkbox"/>	12,57	absoluto	-2,62	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<Coleção: 0	
5447: Conexões		18,76	18,76	PV	0,12	-1,22	<input type="checkbox"/>	12,57	absoluto	-1,22	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<Coleção: 0	
5458: Conexões		18,76	18,76	PV	0,12	-0,95	<input type="checkbox"/>	12,57	absoluto	-0,95	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<Coleção: 0	
5794: Conexões		18,76	18,76	PV	1,29	-3,08	<input checked="" type="checkbox"/>	12,57	absoluto	-3,08	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<Coleção: 0	
5787: Conexões		18,76	18,76	PV	1,75	-3,24	<input checked="" type="checkbox"/>	12,57	absoluto	-3,24	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<Coleção: 0	
5788: Conexões		18,76	18,76	PV	2,04	-3,34	<input checked="" type="checkbox"/>	12,57	absoluto	-3,34	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<Coleção: 0	
5790: Conexões		18,76	18,76	PV	2,38	-3,45	<input checked="" type="checkbox"/>	12,57	absoluto	-3,45	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<Coleção: 0	
5791: Conexões		18,76	18,76	PV	1,56	-3,17	<input checked="" type="checkbox"/>	12,57	absoluto	-3,17	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<Coleção: 0	
5792: Conexões		18,76	18,76	PV	0,88	-2,93	<input checked="" type="checkbox"/>	12,57	absoluto	-2,93	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<Coleção: 0	
5620: Conexões		19,53	19,55	PV	0,12	-3,52	<input type="checkbox"/>	9,80	absoluto	-3,52	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<Coleção: 2	
5159: Conexões		19,18	19,18	PV	0,12	-2,85	<input type="checkbox"/>	9,43	absoluto	-2,85	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<Coleção: 0	
5588: Conexões		19,03	19,05	PV	0,12	-2,78	<input type="checkbox"/>	9,29	absoluto	-2,78	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<Coleção: 2	
5591: Conexões		18,74	18,77	PV	0,12	-2,10	<input type="checkbox"/>	9,01	absoluto	-2,10	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<Coleção: 3	
5804: Conexões		15,06	15,06	PV	0,11	-0,37	<input type="checkbox"/>	8,86	absoluto	-0,37	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<Coleção: 0	
7195: MH-65		15,06	15,06		0,11	-0,26	<input type="checkbox"/>	8,86	absoluto	-0,26	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<Coleção: 0	
8268: Pvs_novo		15,06	15,06	PV	0,11	-0,11	<input type="checkbox"/>	8,86	absoluto	-0,11	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<Coleção: 0	
5081: Conexões		18,60	18,61	PV	0,12	-2,04	<input type="checkbox"/>	8,86	absoluto	-2,04	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<Coleção: 2	
5541: Conexões		18,39	18,42	PV	0,12	-1,22	<input type="checkbox"/>	8,66	absoluto	-1,22	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<Coleção: 2	
5783: Conexões		18,42	18,42	PV	0,12	-1,67	<input type="checkbox"/>	8,66	absoluto	-1,67	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<Coleção: 0	
5389: Conexões		18,37	18,39	PV	0,12	-0,65	<input type="checkbox"/>	8,64	absoluto	-0,65	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<Coleção: 2	
5108: Conexões		18,35	18,37	PV	0,12	-0,19	<input type="checkbox"/>	8,61	absoluto	-0,19	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<Coleção: 2	Ligação "Cac
4317: Conexões		18,34	18,35	PV	0,12	0,72	<input type="checkbox"/>	8,60	absoluto	0,72	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<Coleção: 2	
5072: Conexões		14,76	14,77	PV	0,11	3,23	<input type="checkbox"/>	8,58	absoluto	3,23	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<Coleção: 1	
5123: Conexões		14,77	14,77	PV	0,11	0,38	<input type="checkbox"/>	8,58	absoluto	0,38	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<Coleção: 0	

1175 de 1175 elementos exibidos

Fonte: De autoria própria (2023).



Para inserir a taxa de contribuição de infiltração utiliza-se a *FlexTable* de condutos, para adicionar com uma edição global os valores na coluna de taxa de infiltração por unidade de carregamento, conforme apresentado na Figura 50.

Figura 50 – *FlexTable* Condutos para inserir a taxa de infiltração.

	Dímetro (mm)	Manning's n	Vazão (l/dia)	Hazen-Williams C	Velocidade (m/s)	Lâmina de água (m)	Capacidade (vazão total) (l/dia)	Vazão / capacidade (projeto) (%)	Lâmina de água/dimensão vertical (%)	Notas	Tipo de carga de infiltração	Unidade de carregamento de infiltração	Taxa de infiltração por unidade de carregamento (l/dia)
6464: Cadastro	150,0	0,010	653.294,77338	130,0	0,43	0,15	1.147.484,1...	56,9	100,0		Elevação-comprimento do tubo	mm-km	1,89300
6076: CO-3	150,0	0,010	689.810,13932	130,0	0,45	0,15	12.000.065,...	5,7	100,0		Elevação-comprimento do tubo	mm-km	1,89300
6047: Cadastro	100,0	0,010	15.164,90883	130,0	0,02	0,10	736.276,51136	2,1	100,0		Elevação-comprimento do tubo	mm-km	1,89300
6057: Cadastro	100,0	0,010	34.329,94613	130,0	0,05	0,10	594.508,95295	5,8	100,0		Elevação-comprimento do tubo	mm-km	1,89300
6168: Cadastro	100,0	0,010	21.690,69148	130,0	0,03	0,10	1.167.449,9...	1,9	100,0		Elevação-comprimento do tubo	mm-km	1,89300
6327: Cadastro	100,0	0,010	22.142,61701	130,0	0,03	0,10	446.555,53103	5,0	100,0		Elevação-comprimento do tubo	mm-km	1,89300
6513: Cadastro	100,0	0,010	2.508,98259	130,0	0,00	0,10	589.133,83844	0,4	100,0		Elevação-comprimento do tubo	mm-km	1,89300
6705: Cadastro	100,0	0,010	310,04002	130,0	0,00	0,10	2.630.910,6...	0,0	100,0		Elevação-comprimento do tubo	mm-km	1,89300
6804: Cadastro	100,0	0,010	12.514,91982	130,0	0,02	0,10	2.023.839,1...	0,6	100,0		Elevação-comprimento do tubo	mm-km	1,89300
6868: Cadastro	100,0	0,010	7.114,30048	130,0	0,01	0,10	927.239,66133	0,8	100,0		Elevação-comprimento do tubo	mm-km	1,89300
6915: Cadastro	100,0	0,010	1.964,38668	130,0	0,00	0,10	2.094.386,6...	0,1	100,0		Elevação-comprimento do tubo	mm-km	1,89300
6950: Cadastro	100,0	0,010	22.121,82295	130,0	0,03	0,10	539.821,01059	4,1	100,0		Elevação-comprimento do tubo	mm-km	1,89300
6973: Cadastro	100,0	0,010	371,29352	130,0	0,00	0,10	2.388.573,1...	0,0	100,0		Elevação-comprimento do tubo	mm-km	1,89300
7218: Cadastro	100,0	0,010	35.658,24568	130,0	0,05	0,10	277.646,74465	12,8	100,0		Elevação-comprimento do tubo	mm-km	1,89300
7227: Cadastro	100,0	0,010	365,93519	130,0	0,00	0,10	2.404.178,0...	0,0	100,0		Elevação-comprimento do tubo	mm-km	1,89300
7338: Cadastro	100,0	0,010	22.018,51345	130,0	0,03	0,10	571.785,50169	3,9	100,0		Elevação-comprimento do tubo	mm-km	1,89300
7348: Cadastro	100,0	0,010	19.374,99552	130,0	0,03	0,10	243.939,39788	7,9	100,0		Elevação-comprimento do tubo	mm-km	1,89300
7350: Cadastro	100,0	0,010	5.680,81162	130,0	0,01	0,10	5.801,81331	97,9	100,0		Elevação-comprimento do tubo	mm-km	1,89300
7358: Cadastro	100,0	0,010	10.016,68914	130,0	0,01	0,10	5.801,81331	172,6	100,0		Elevação-comprimento do tubo	mm-km	1,89300
7480: Cadastro	100,0	0,010	12.607,01999	130,0	0,02	0,10	471.341,13135	2,7	100,0		Elevação-comprimento do tubo	mm-km	1,89300
7482: Cadastro	100,0	0,010	11.209,36705	130,0	0,02	0,10	1.302.542,2...	0,9	100,0		Elevação-comprimento do tubo	mm-km	1,89300
7515: Cadastro	100,0	0,010	291,93390	130,0	0,00	0,10	2.833.794,7...	0,0	100,0		Elevação-comprimento do tubo	mm-km	1,89300
7750: Cadastro	100,0	0,010	7.904,50710	130,0	0,01	0,10	893.946,11245	0,9	100,0		Elevação-comprimento do tubo	mm-km	1,89300
9869: CO-2	100,0	0,010	42.235,39484	100,0	0,06	0,10	3.641.325,9...	1,2	100,0		Elevação-comprimento do tubo	mm-km	1,89300
9880: Cadastro	100,0	0,010	35.938,68062	130,0	0,05	0,10	1.605.008,7...	2,2	100,0		Elevação-comprimento do tubo	mm-km	1,89300
9888: Cadastro	100,0	0,010	5.729,61477	130,0	0,01	0,10	984.495,50001	0,6	100,0		Elevação-comprimento do tubo	mm-km	1,89300
9889: Cadastro	100,0	0,010	6.772,55884	130,0	0,01	0,10	934.893,22091	0,7	100,0		Elevação-comprimento do tubo	mm-km	1,89300
9128: Cadastro	100,0	0,010	12.973,34606	130,0	0,02	0,10	3.743.107,2...	0,3	100,0		Elevação-comprimento do tubo	mm-km	1,89300

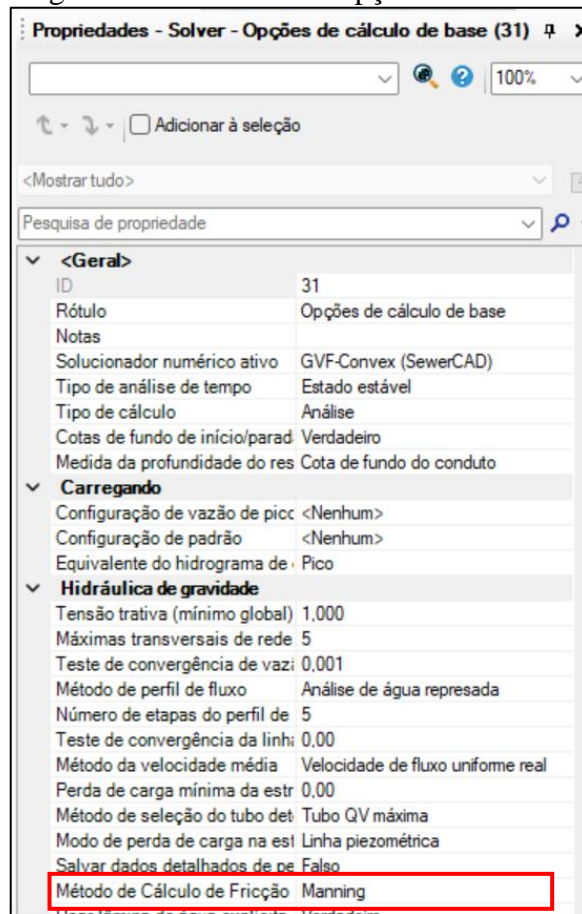
Fonte: De autoria própria (2023).

### 5.2.3 Verificação de erros e validação do modelo hidráulico

Após a importação dos dados de entrada, é necessário realizar validação do modelo hidráulico para identificar erros que impedem a simulação, o modelo deve ser executado sem erros. O tipo de simulação realizado inicialmente é em estado estático, que apresenta resultados instantâneos do sistema. Esta simulação permite analisar condições extremas com a criação de novos cenários.

Através da ferramenta “Opções de Cálculo” (Figura 51) tem-se as configurações utilizadas para a execução da simulação. Alterações como a equação utilizada para o dimensionamento das tubulações podem ser definidas nas propriedades.

Figura 51 – Ferramenta Opções de Cálculo.



Fonte: De autoria própria (2023).

Ao executar o modelo hidráulico e verificar as mensagens de erros, observou-se grande quantidade de erros devido às cotas de fundo adicionadas aos poços de visita, informações que tiveram de ser inseridas manualmente devido aos dados cadastrais insuficientes. Assim, decidiu-se por utilizar o tipo de cálculo de projeto do modelo para realizar um dimensionamento automático dos condutos, mais em conformidade com o sistema existente.

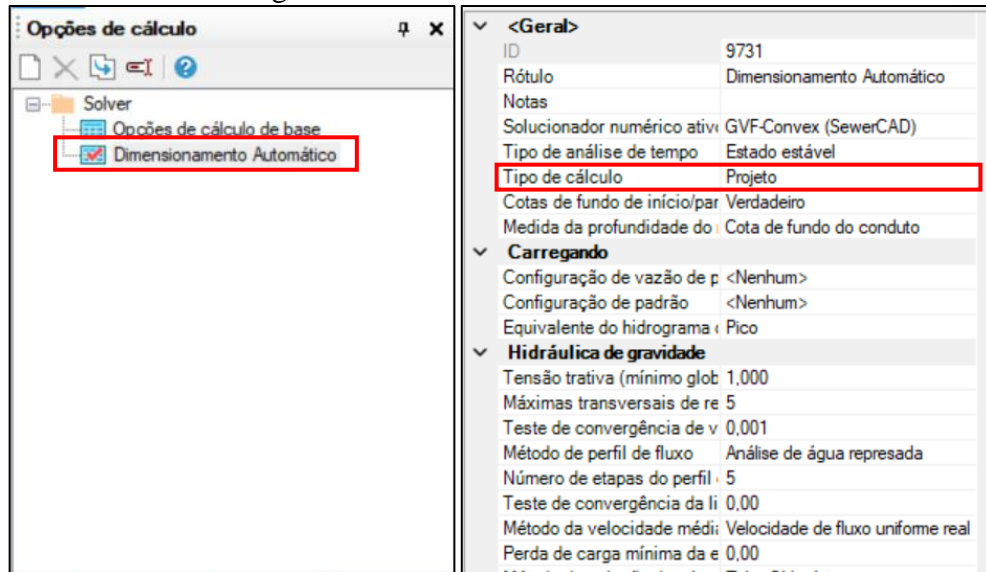
### 5.2.3.1 Projeto automatizado

O dimensionamento automatizado do modelo hidráulico é feito através de restrições definidas pelo usuário, com limites de mínimo e máximo para velocidade, declividade, e demais parâmetros, como o recobrimento mínimo e tensão trativa. A partir da inserção de dados, a simulação é realizada e são determinadas as declividades dos trechos, os diâmetros das tubulações, as profundidades de assentamento e demais parâmetros calculados. E com a verificação dos resultados hidráulicos, deve ser feita uma análise pelo usuário com relação à viabilidade da configuração da rede, evitando custos elevados com escavação, e repetindo os

cálculos hidráulicos até que se chegue a um resultado compatível com o desejável para o projeto.

Assim, para o modelo hidráulico já construído configurou-se uma nova opção de cálculo, intitulada de “Dimensionamento Automático” e alterou-se nas propriedades o tipo de cálculo para “Projeto”, conforme pode ser visualizado na Figura 52.

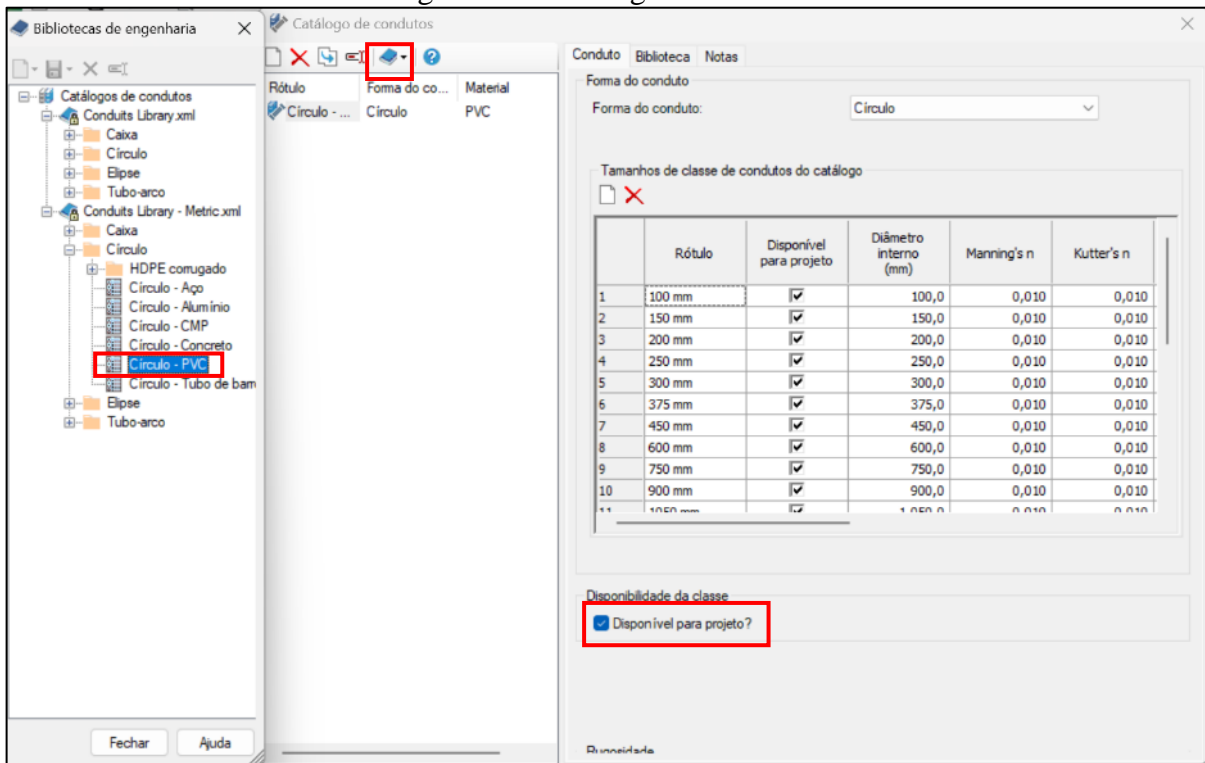
Figura 52 – Nova alternativa de cálculo.



Fonte: De autoria própria (2023).

Para que sejam atribuídos os diâmetros das tubulações no dimensionamento, é necessário configurar o material de condutos a serem utilizados através da ferramenta “Catálogo de Condutos”, importando das bibliotecas disponíveis as opções para o material PVC (Figura 53), e selecionando a opção de tornar a biblioteca disponível para projeto.

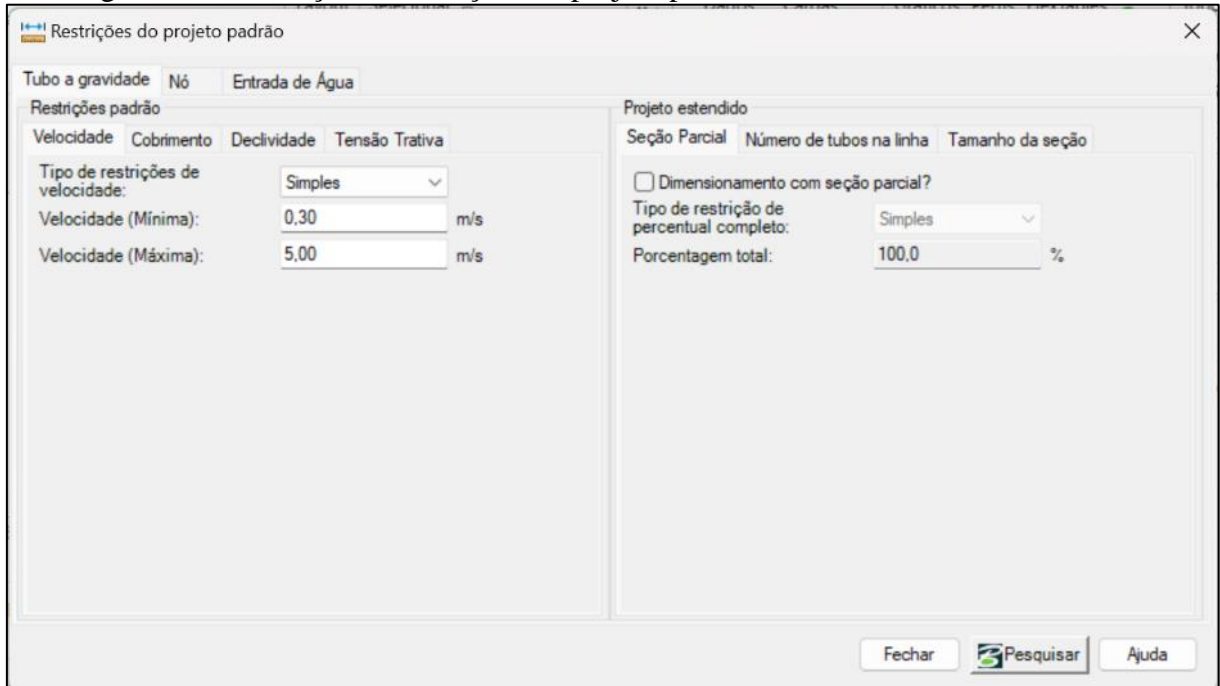
Figura 53 – Catálogo de condutos.



Fonte: De autoria própria (2023).

Para prosseguir com o dimensionamento automático é necessário definir as restrições de projeto, para isso, deve-se configurar os parâmetros na ferramenta “Restrições do projeto padrão”, conforme a Figura 54. Assim, foram definidos intervalos para a velocidade, entre 0,3 e 5,0 m/s, cobertura mínima de 0,65 m e máximo de 5,0 m, declividade mínima de 0,005, e tensão trativa mínima de 1,0 Pa.

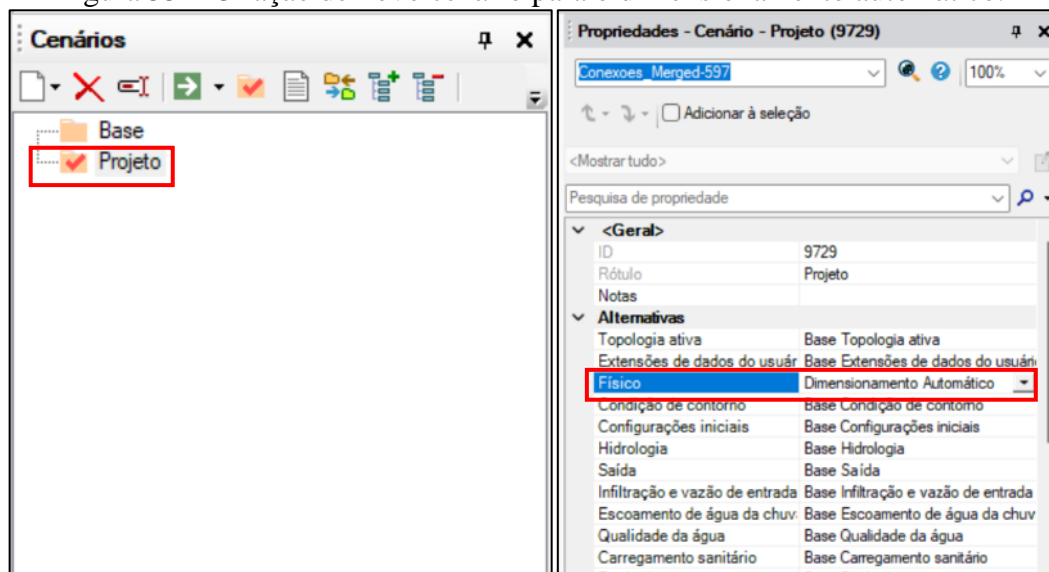
Figura 54 – Definição de restrições de projeto para o dimensionamento automático.



Fonte: De autoria própria (2023).

Com as restrições definidas, deve-se criar um novo cenário para a simulação com essas novas configurações, assim, criou-se um novo intitulado “Projeto” e selecionou-o como o atual para simulação. O dimensionamento automático irá alterar as propriedades físicas dos condutos, sendo necessário criar uma nova alternativa física para este cenário, conforme pode-se visualizar na Figura 55.

Figura 55 – Criação de novo cenário para o dimensionamento automático.



Fonte: De autoria própria (2023).

Com essas configurações pode-se executar o modelo com o novo cenário para dimensionamento automático das redes, sem alteração do cenário base.

## 5.2.4 Simulação em período estendido (EPS)

A simulação em período estendido permite o entendimento do sistema no tempo e leva em consideração as flutuações que envolvem o sistema de coleta, representando um conjunto de simulações estáticas. A partir do EPS pode-se modelar os poços úmidos cheios e vazios, o ciclo de bombeamento das EEE, as pressões, linhas piezométricas e mudanças de vazão nas redes, além de ser possível prever efeitos de variações diurnas e eventos de chuvas.

De maneira inicial, para que se tenha o funcionamento real das EEE presentes no sistema, deve-se inserir os controles operacionais nas bombas utilizando a ferramenta “Controles”. O controle é configurado condicionalmente através do nível do poço úmido para obter o ciclo de bombeamento. Na Figura 56 tem-se a configuração de controle de bomba realizada para a EEE Parque da Pedra, configurando o status da bomba de acordo com o nível do poço.

Figura 56 – Configuração dos controles de bombas.

ID	Tipo de c...	Prioridade	Descrição
LC9749	Lógica	<default>	SE Poço EEE Parque da Pedra Nível < 0.50 m ENTÃO EEE PARQUE DA PEDRA Status ...
LC9752	Lógica	<default>	SE Poço EEE Parque da Pedra Nível > 1.50 m ENTÃO EEE PARQUE DA PEDRA Status ...

Controle Descrição

Avaliar como controle "simples"  Prioridade: <default>  Tem senão?

SE: Poço EEE Parque da Pedra Ni

Elemento

Poço EEE Parque da Pedra

Nível

<

0.50 m

ENTÃO

EEE PARQUE DA PEDRA

EEE PARQUE DA PEDRA

Status da bomba

=

Desligado

SENAO

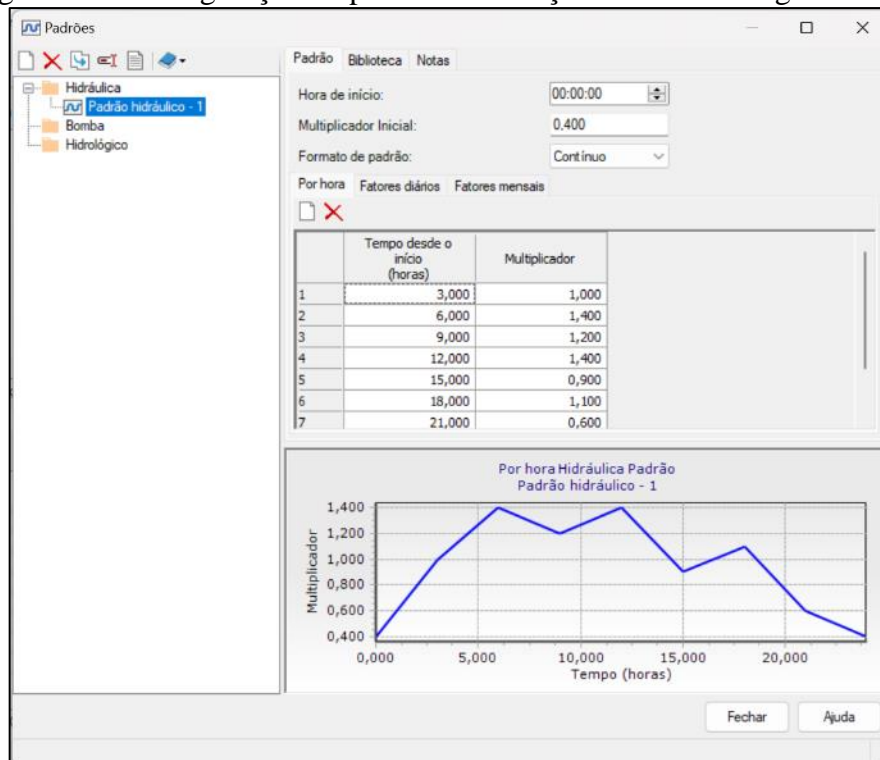
<Nenhum>

Fonte: De autoria própria (2023).

Outro dado essencial de ser inserido no modelo para simulação em EPS é a configuração de um padrão de variação temporal da carga sanitária, através da ferramenta “Padrões”. Para esta simulação, considerou-se que todas as cargas obedecerão a um padrão de curva único, porém podem ser criados diferentes padrões para cada categoria de consumidor, assim como adotar padrões diários ou mensais. Dessa forma, foram adotados multiplicadores para cada período horário, com a simulação iniciando-se à meia noite e considerando-se um período de 24 horas, conforme pode ser visto na Figura 57.

De maneira similar ao padrão criado para variação temporal de cargas sanitárias, o *software* também permite a adoção de um padrão de hidrograma local com índices pluviométricos, a fim de simular cenários em tempo molhado.

Figura 57 – Configuração do padrão de variação horária da carga sanitária.



Fonte: De autoria própria (2023).

Para assimilar este padrão estabelecido aos poços de visita, utiliza-se a ferramenta “Centro de controle de carga sanitária”, com uma edição global na coluna de padrão (Figura 58).

Figura 58 – Assimilação do padrão nos poços de visita.

ID	Rótulo	Definição da carga	Padrão	Vazão de base (m³/dia)	Carga sanitária da unidade	Contagem de unidades de carregamento	Curva do hidrograma
1	5789	Conexoes_M...	Padrão de carga sanitário	Padrão hidráulico - 1	3,87072	Cargas de unidade	3,000 <Coleção: 0 itens >
2	5786	Conexoes_M...	Padrão de carga sanitário	Padrão hidráulico - 1	0,62208	Cargas de unidade	3,000 <Coleção: 0 itens >
3	5785	Conexoes_M...	Padrão de carga sanitário	Padrão hidráulico - 1	2,48832	Cargas de unidade	3,000 <Coleção: 0 itens >
4	5782	Conexoes_M...	Padrão de carga sanitário	Padrão hidráulico - 1	1,45152	Cargas de unidade	3,000 <Coleção: 0 itens >
5	5781	Conexoes_M...	Padrão de carga sanitário	Padrão hidráulico - 1	0,62208	Cargas de unidade	3,000 <Coleção: 0 itens >
6	5779	Conexoes_M...	Padrão de carga sanitário	Padrão hidráulico - 1	0,48384	Cargas de unidade	3,000 <Coleção: 0 itens >
7	5774	Conexoes_M...	Padrão de carga sanitário	Padrão hidráulico - 1	2,21184	Cargas de unidade	3,000 <Coleção: 0 itens >
8	5774	Conexoes_M...	Padrão de carga sanitário	Padrão hidráulico - 1	0,27648	Cargas de unidade	3,000 <Coleção: 0 itens >
9	5772	Conexoes_M...	Padrão de carga sanitário	Padrão hidráulico - 1	0,27648	Cargas de unidade	3,000 <Coleção: 0 itens >
10	5771	Conexoes_M...	Padrão de carga sanitário	Padrão hidráulico - 1	3,80160	Cargas de unidade	3,000 <Coleção: 0 itens >
11	5771	Conexoes_M...	Padrão de carga sanitário	Padrão hidráulico - 1	0,48384	Cargas de unidade	3,000 <Coleção: 0 itens >
12	5769	Conexoes_M...	Padrão de carga sanitário	Padrão hidráulico - 1	1,65888	Cargas de unidade	3,000 <Coleção: 0 itens >
13	5768	Conexoes_M...	Padrão de carga sanitário	Padrão hidráulico - 1	0,82944	Cargas de unidade	3,000 <Coleção: 0 itens >
14	5767	Conexoes_M...	Padrão de carga sanitário	Padrão hidráulico - 1	0,69120	Cargas de unidade	3,000 <Coleção: 0 itens >
15	5763	Conexoes_M...	Padrão de carga sanitário	Padrão hidráulico - 1	0,27648	Cargas de unidade	3,000 <Coleção: 0 itens >
16	5762	Conexoes_M...	Padrão de carga sanitário	Padrão hidráulico - 1	1,24416	Cargas de unidade	3,000 <Coleção: 0 itens >
17	5761	Conexoes_M...	Padrão de carga sanitário	Padrão hidráulico - 1	0,27648	Cargas de unidade	3,000 <Coleção: 0 itens >
18	5761	Conexoes_M...	Padrão de carga sanitário	Padrão hidráulico - 1	10,78272	Cargas de unidade	3,000 <Coleção: 0 itens >
19	5760	Conexoes_M...	Padrão de carga sanitário	Padrão hidráulico - 1	1,24416	Cargas de unidade	3,000 <Coleção: 0 itens >
20	5758	Conexoes_M...	Padrão de carga sanitário	Padrão hidráulico - 1	0,41472	Cargas de unidade	3,000 <Coleção: 0 itens >
21	5756	Conexoes_M...	Padrão de carga sanitário	Padrão hidráulico - 1	3,93984	Cargas de unidade	3,000 <Coleção: 0 itens >
22	5752	Conexoes_M...	Padrão de carga sanitário	Padrão hidráulico - 1	8,98560	Cargas de unidade	3,000 <Coleção: 0 itens >
23	5752	Conexoes_M...	Padrão de carga sanitário	Padrão hidráulico - 1	0,48384	Cargas de unidade	3,000 <Coleção: 0 itens >
24	5751	Conexoes_M...	Padrão de carga sanitário	Padrão hidráulico - 1	9,60768	Cargas de unidade	3,000 <Coleção: 0 itens >
25	5750	Conexoes_M...	Padrão de carga sanitário	Padrão hidráulico - 1	5,39136	Cargas de unidade	3,000 <Coleção: 0 itens >

Fonte: De autoria própria (2023).

Para execução da simulação, deve-se criar uma nova opção de cálculo para o período estendido, e criação de novo cenário para aplicar esta opção a ele. Na Figura 59 pode-se visualizar o novo cenário e opção de cálculo criados. Com isso, a simulação em EPS pode ser executada.

Figura 59 – Criação de nova opção de cálculo e cenário em EPS.

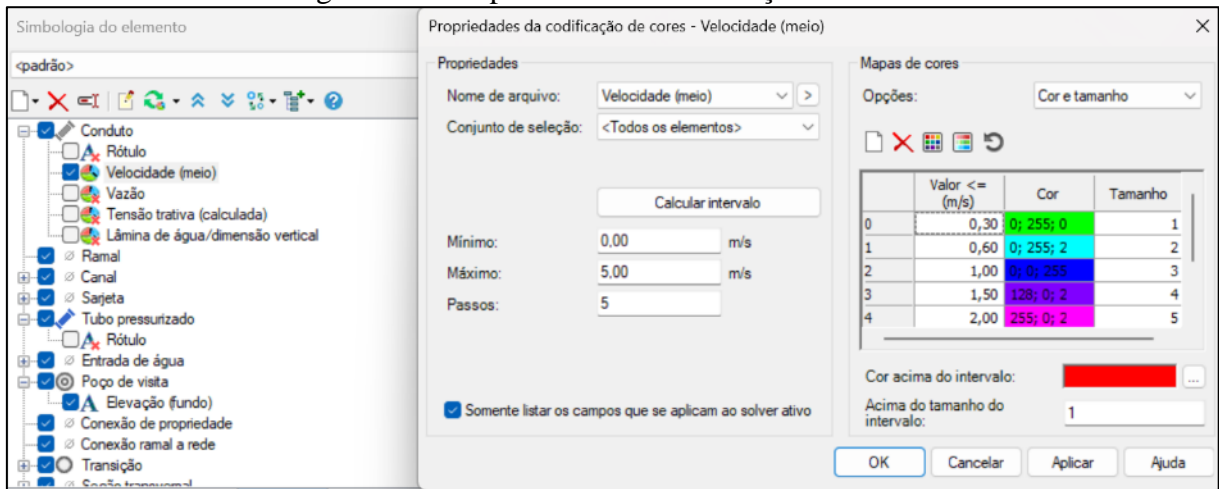
Fonte: De autoria própria (2023).



### 5.2.5 Resultados hidráulicos

De maneira a avaliar os resultados hidráulicos obtidos pelas simulações, utilizou-se de codificação por cores para os parâmetros hidráulicos calculados. Isso pode ser configurado diretamente na simbologia do elemento conduto, escolhendo o parâmetro que deseja classificar por cores e tamanhos, de acordo com a Figura 60.

Figura 60 – Propriedades da codificação de cores.



Fonte: De autoria própria (2023).

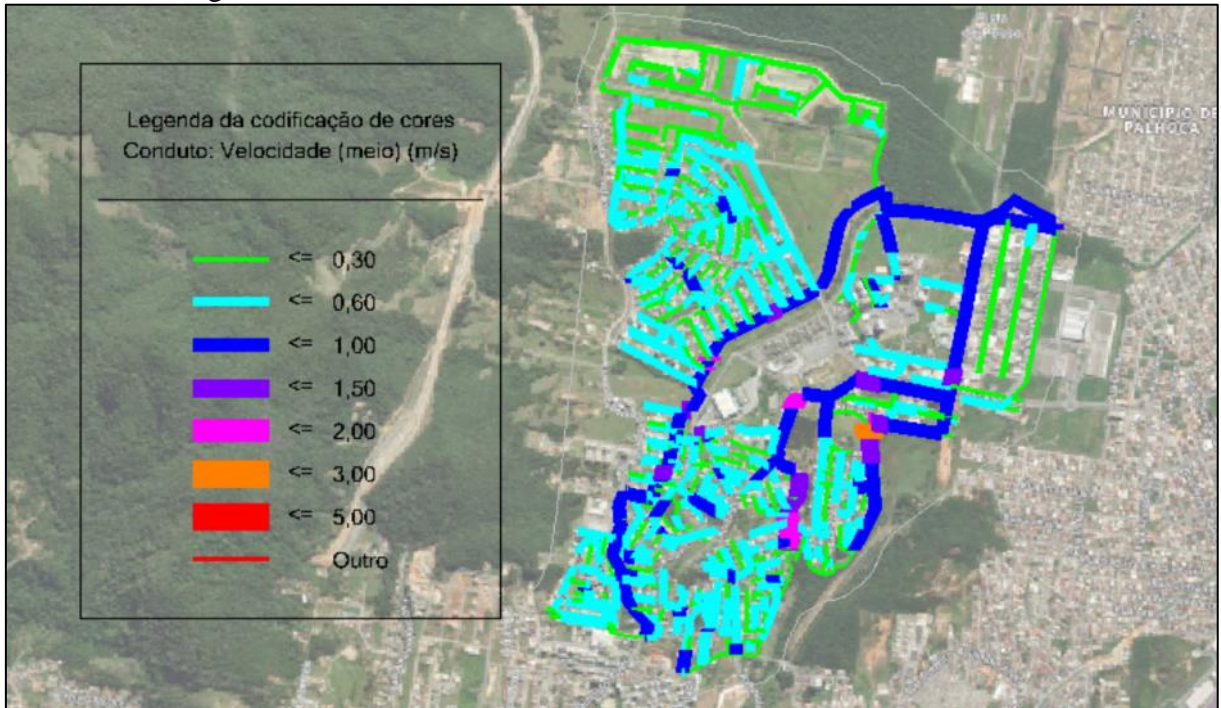
Além de codificação por cores, pode-se utilizar das *FlexTables* para observar os principais parâmetros hidráulicos em uma mesma tabela, além de perfis hidráulicos e gráficos.

#### 5.2.5.1 Estado estático

Nas figuras seguintes tem-se os resultados hidráulicos para a simulação em período estático, com os principais parâmetros a serem avaliados em um projeto de dimensionamento de rede coletora. Para a classificação dos valores limites utilizou-se das normas técnicas para embasamento.

Na Figura 61 apresentam-se os resultados para a velocidade nos condutos, sendo os valores obtidos todos abaixo do máximo recomendado de 5,0 m/s.

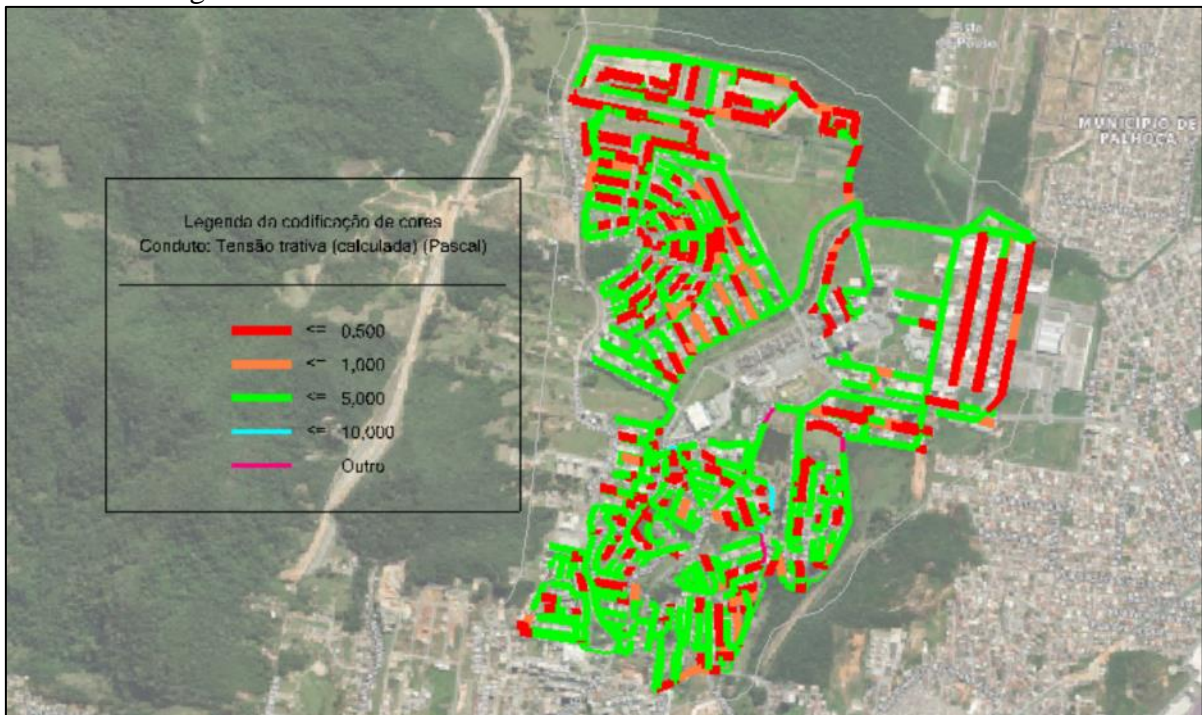
Figura 61 – Resultados hidráulicos do estado estático: Velocidade.



Fonte: De autoria própria (2023).

Já na Figura 62 observa-se resultados para a tensão trativa no sistema, onde recomenda-se valores acima de 1,0 Pa. Assim, evidencia-se a presença de diversos trechos com valores abaixo deste estabelecido em norma para que se tenha autolimpeza dos coletores.

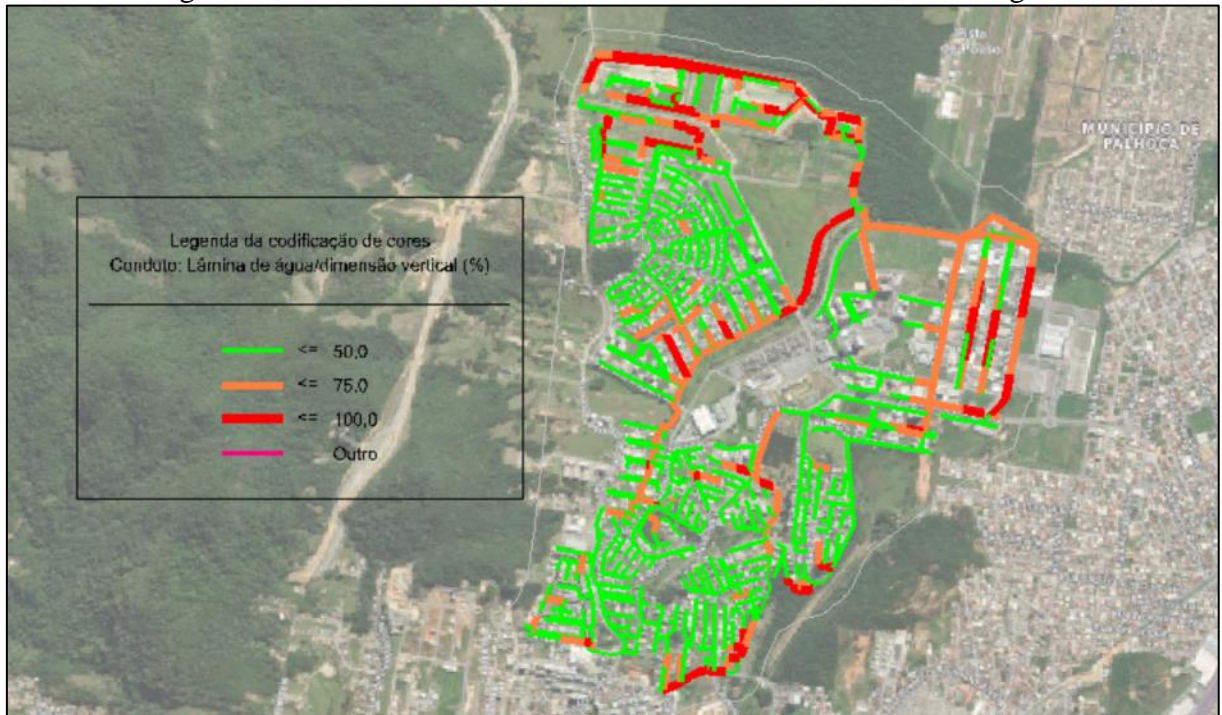
Figura 62 – Resultados hidráulicos do estado estático: Tensão trativa.



Fonte: De autoria própria (2023).

Na Figura 63 apresentam-se resultados para a lâmina da água nos coletores, sendo recomendável o valor permanecer abaixo de 75%. Os trechos acima deste valor podem representar forte indicação de subdimensionamento do sistema.

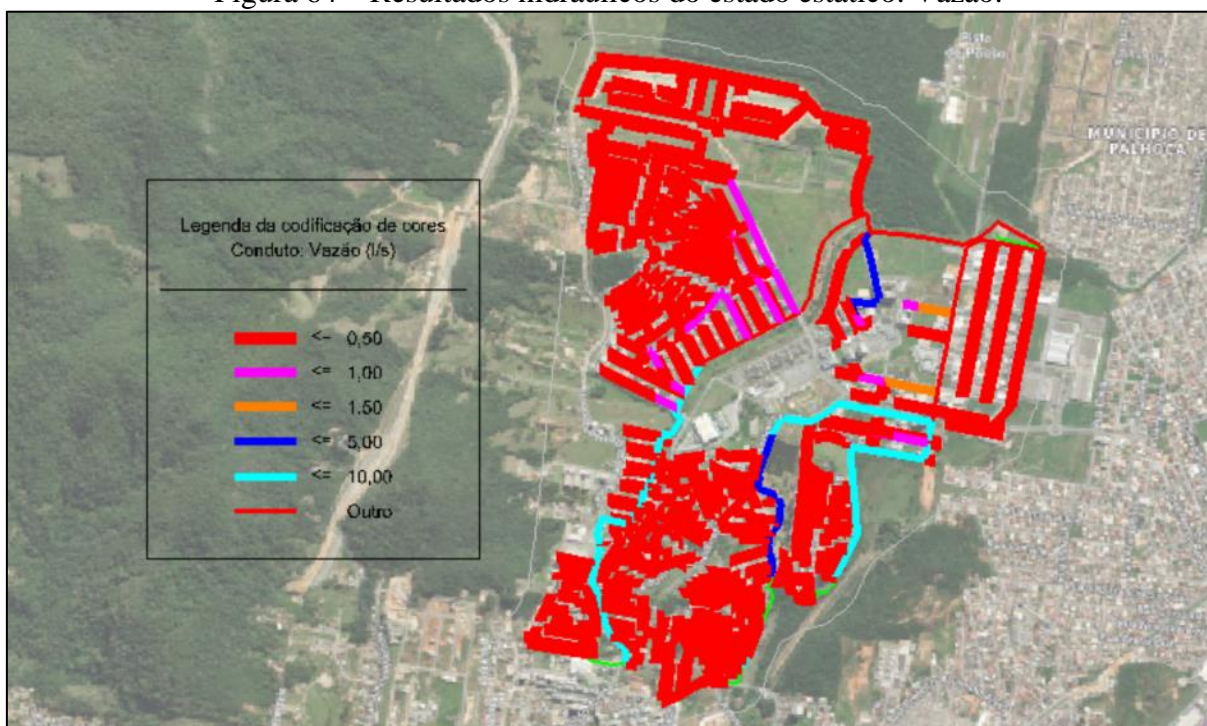
Figura 63 – Resultados hidráulicos do estado estático: Lâmina da água.



Fonte: De autoria própria (2023).

Já na Figura 64 apresentam-se resultados de vazão nos coletores, sendo recomendado a permanência de vazão em torno de 1,5 l/s. A grande maioria dos trechos do sistema apresentaram valores abaixo de 0,5 l/s, podendo indicar maiores riscos de acumulação de sólidos e entupimento de redes.

Figura 64 – Resultados hidráulicos do estado estático: Vazão.



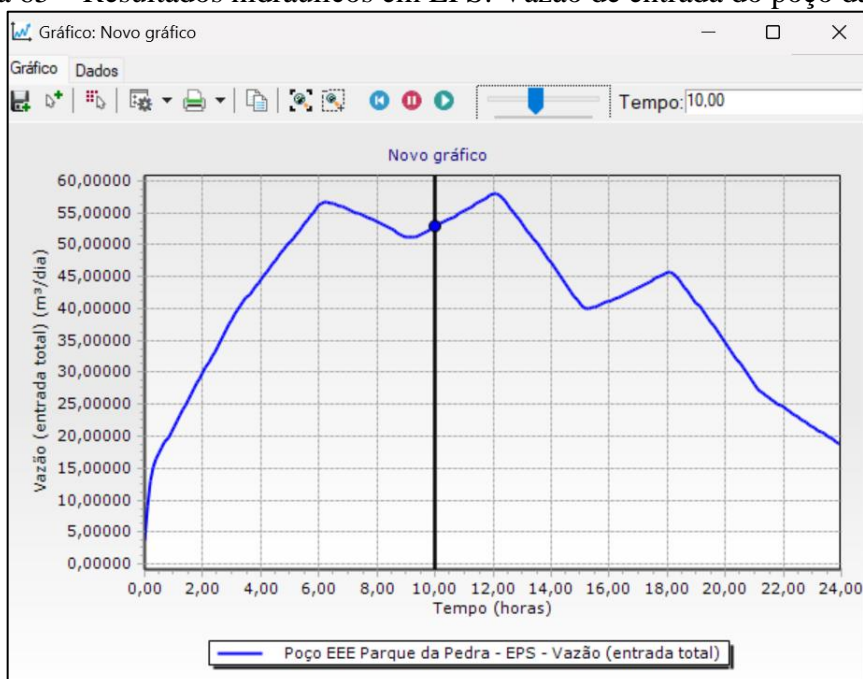
Fonte: De autoria própria (2023).

#### 5.2.5.2 Estado em período estendido (EPS)

Os resultados da simulação em período estendido permitem observar os dados em diferentes momentos do dia, em forma de gráficos para observar os ciclos de bombeamento e níveis dos poços úmidos, como também codificação de cores para visualizar a capacidade do sistema, como tubulações fluindo em seção plena ( $y/D = 100\%$ ) ou poços de visita com transbordamento em algum momento.

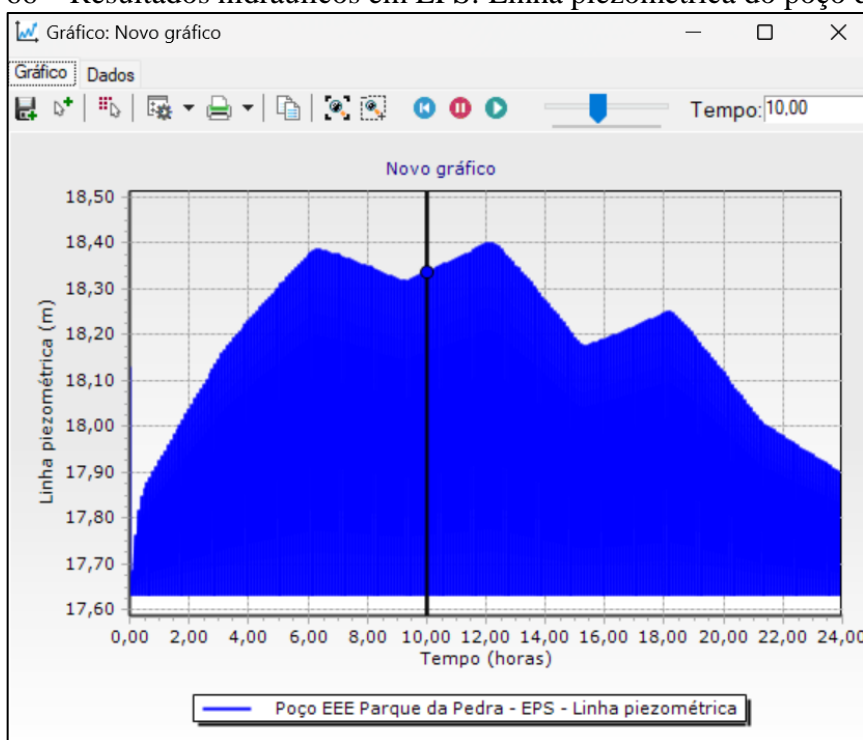
Na Figura 65 tem-se o gráfico gerado da vazão total de entrada no poço úmido da EEE Parque da Pedra, e na Figura 66 pode-se visualizar as variações da linha piezométrica no poço.

Figura 65 – Resultados hidráulicos em EPS: Vazão de entrada do poço da EEE.



Fonte: De autoria própria (2023).

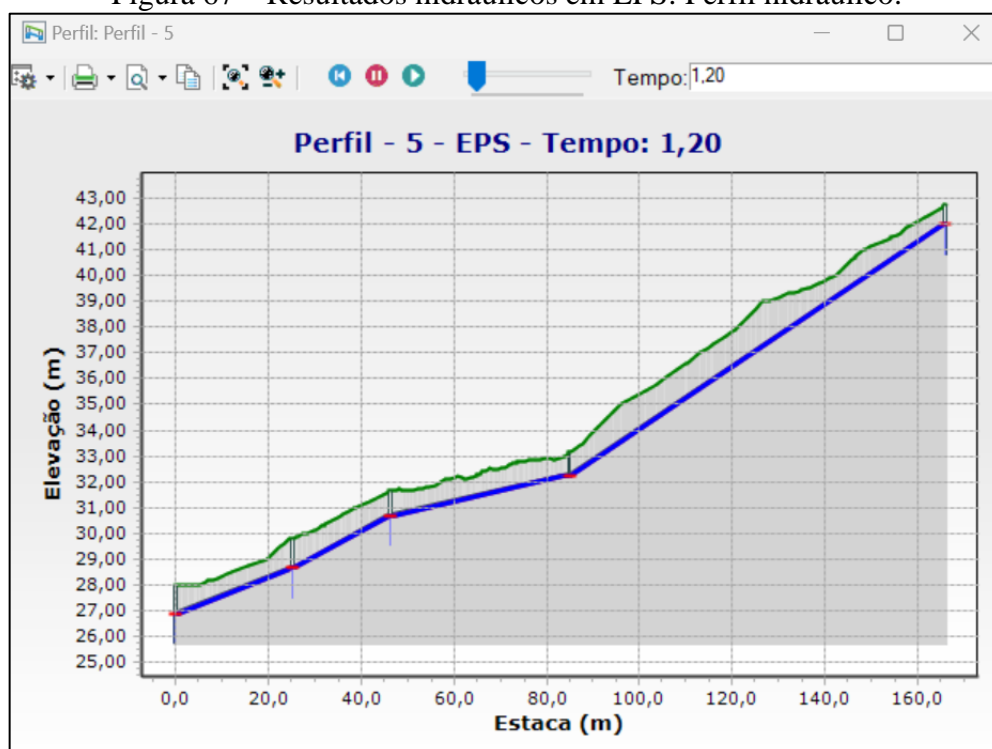
Figura 66 – Resultados hidráulicos em EPS: Linha piezométrica do poço da EEE.



Fonte: De autoria própria (2023).

Já na Figura 67 tem-se um exemplo de um perfil hidráulico gerado de um trecho de rede, onde pode-se visualizar o nível de água ao longo do tempo.

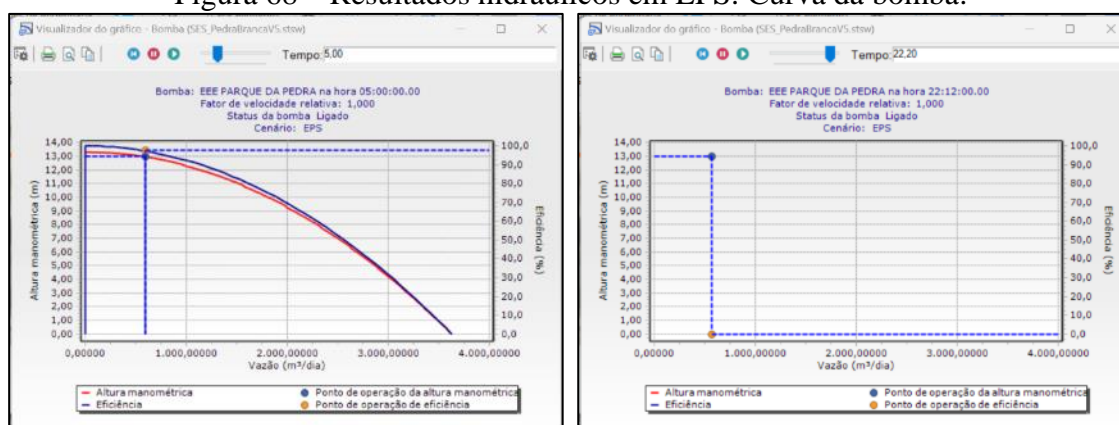
Figura 67 – Resultados hidráulicos em EPS: Perfil hidráulico.



Fonte: De autoria própria (2023).

Na Figura 68 apresentam-se um exemplo da curva da bomba da EEE Parque da Pedra, com o ciclo de bombeamento ao longo do tempo de acordo com o controle operacional adotado para a partida e desligamento da bomba.

Figura 68 – Resultados hidráulicos em EPS: Curva da bomba.

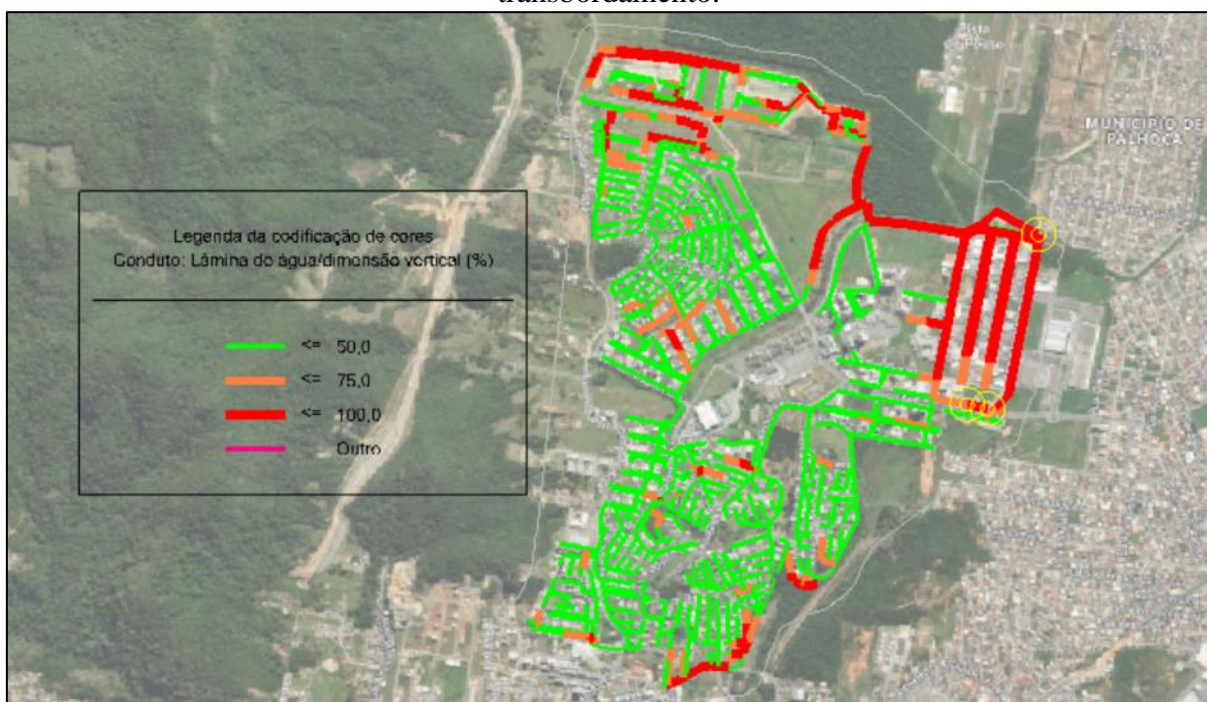


Fonte: De autoria própria (2023).

Da mesma forma que os resultados apresentados para o estado estático, pode-se utilizar as codificações de cores para classificar os valores dos parâmetros hidráulicos obtidos pela simulação. Exemplo disso é apresentado na Figura 69, onde pode-se observar trechos de rede

operando com seção plena, e poços de visita, representados em amarelo, que transbordam em algum momento.

Figura 69 – Resultados hidráulicos em EPS: Lâmina da água e poços de visita com transbordamento.



Fonte: De autoria própria (2023).

### 5.2.6 Criação de cenário com variação das cargas sanitárias

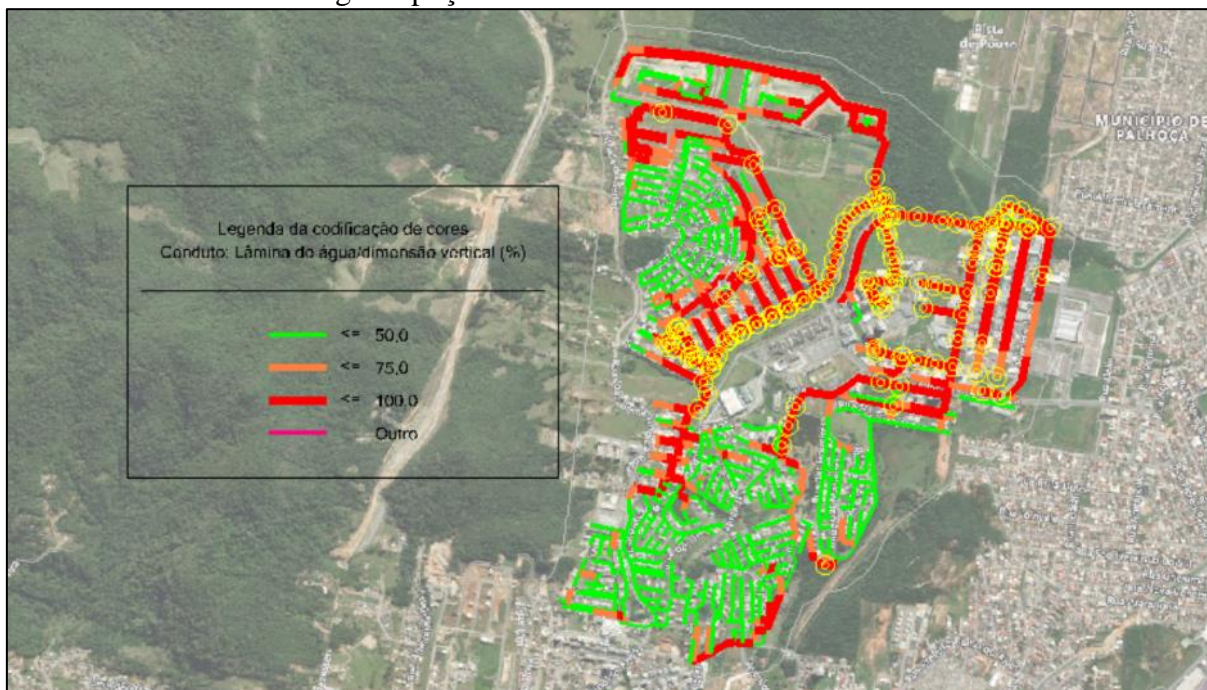
Após os procedimentos realizados, tem-se como resultado um cenário base, um projeto em que se obteve do dimensionamento automático do *software*, e um cenário filho do projeto com cálculo em período estendido, representando o funcionamento do sistema existente com flutuações diárias. Tendo isso em vista, pode-se construir diferentes alternativas e cenários a partir dos dados previamente entrados, sem a alteração do mesmo.

Assim, definiu-se uma simulação singular do modelo construído, com a criação de um cenário de aumento das contribuições de cargas sanitárias, ao aumentar a ocupação da área de estudo. Portanto, avaliou-se a variação da vazão a longo prazo, admitindo-se uma projeção populacional na região. O crescimento populacional projetado controla o dimensionamento das tubulações e localização de infraestruturas, sendo importante prever as influências que podem ocorrer no sistema de esgotamento sanitário.

Da mesma forma que apresentado na Figura 69, na Figura 70 apresentam-se resultados de trechos de rede operando com seção plena, e poços de visita, representados em amarelo, que

transbordam em algum momento. Ao comparar com a figura anterior, vê-se a influência de um aumento das cargas sanitárias ao sistema, e como isso pode ser visualizado com a modelagem.

Figura 70 – Resultados hidráulicos em cenário de aumento das cargas sanitárias: Lâmina da água e poços de visita com transbordamento.



Fonte: De autoria própria (2023).

### 5.3 MELHORIAS PROPOSTAS PARA O SISTEMA

Com o desenvolvimento do trabalho pode-se ter uma perspectiva abrangente do funcionamento do sistema e fatores que influenciam nos problemas operacionais que ocorrem recorrentemente. Dessa forma, propõe-se algumas medidas para aprimoramento do sistema, onde o investimento se justifica devido à redução de custos com manutenção e operação a longo prazo.

#### 5.3.1 Instalação de misturador compacto na elevatória

Visto que a elevatória principal EEE Atobás do sistema do SAE-PB recebe contribuição de todo o bairro, há necessidade de realizar o serviço de limpeza do poço de sucção com grande frequência para manter a operação adequada. De forma a minimizar os custos de manutenção, propõe-se a instalação de um acessório misturador compacto, com o intuito de



promover a suspensão dos sólidos proveniente dos efluentes, e evitar a acumulação no fundo do poço, que possibilita o entupimento do encanamento e da bomba.

A operação do misturador ocorre em conformidade com as bombas, assim, ao atingir o nível máximo de acionamento das bombas no poço de sucção, o misturador também é acionado. Da mesma forma, ao atingir o nível operacional mínimo para desligamento das bombas, o misturador também é desligado. Ao ser acionado, este promove a agitação da massa líquida, mantendo os sólidos em suspensão para serem bombeados até a ETE.

Conforme relatado por Silva (2010), foi realizado um estudo para aplicação de um projeto para instalação de um misturador em uma elevatória de maneira a analisar os resultados operacionais e econômicos obtidos a longo prazo. A pesquisa relatada obteve como conclusão que o investimento necessário para aquisição e operação do equipamento foi compensado pela redução de custos da execução de serviços de limpeza da elevatória e manutenção de bombas, sendo recomendado a incorporação do misturador compacto à elevatória existente e para projetos de elevatórias futuras.

### **5.3.2 Adoção de manutenções preventivas em pontos críticos**

Como resultado da etapa 1, evidenciou-se que dentre os principais serviços operacionais realizados, o desentupimento de rede é o mais recorrente. Também foi relatado a inexistência de plano de manutenção preventiva na gestão operacional do sistema. Visto isso, a partir da síntese e identificação de trechos de rede no sistema onde ocorrem continuamente obstruções, propõe-se a adoção de manutenções preventivas nestes pontos críticos.

De maneira similar à pesquisa relatada por Silva (2015), através do mapeamento dos pontos de maior incidência de entupimento da rede de esgoto, realizou-se ações preventivas a fim de reduzir os impactos gerados como consequência de constantes entupimentos e refluxos de esgoto em residências. A pesquisa concluiu que a execução de hidrojateamentos nas redes coletoras de esgoto é inversamente proporcional aos desentupimentos de esgotos, sendo que os serviços realizados preventivamente com o hidrojateamento contribuíram significativamente para manter o sistema em condições satisfatórias, e reduzindo o recebimento de ordens de serviços concernentes a serviços de desentupimento de redes.

Dentre as ações preventivas traçadas e implantadas, responsáveis pelo aumento da eficiência do sistema ao longo dos anos, Silva (2015) relata:

- Execução de vistorias e inspeções periódicas nos pontos cadastrados como maior incidência de entupimentos, sendo estes os pontos críticos;

- Atuação diária do caminhão de hidrojateamento preventivamente nos pontos críticos, visando o desentupimento e remoção de gorduras e sólidos;
- Análise técnica das condições hidráulicas de coletores que apresentam constantes entupimentos, considerando a possibilidade de subdimensionamento da rede e necessidade de troca do coletor por um diâmetro maior e compatível com a vazão e declividade do trecho;
- Limpeza constante dos gradeamentos das estações elevatórias de esgotos, gerando diminuição nas paradas das bombas e extravasamentos.

### **5.3.3 Atualização cadastral e aprimoramento do gerenciamento**

Com a coleta de dados realizado na etapa 1, pode-se perceber que os registros de informações diárias para o recebimento das ordens de serviço não possuem um padrão estabelecido, inclusive em alguns casos sem a separação dos serviços realizados para o sistema de abastecimento de água. Portanto, recomenda-se o estabelecimento de uma categorização padrão no registro de serviços executados relacionados com o sistema de esgotamento sanitário. Dessa forma, o processo de análise e geração de relatórios dos serviços executados concernentes ao sistema de esgotamento sanitário torna-se facilitado, possibilitando avaliações de desempenho.

Outra questão evidenciada é a falta de dados do cadastro técnico do sistema, que se apresentou desatualizado e com muitas informações relevantes que poderiam ser utilizadas para a modelagem hidráulica. Para que se tenha modelos calibrados e representando o funcionamento real do sistema existente, sobre os quais se possa fazer simulações e comparar cenários para projetos, operação e tomada de decisões, o modelo precisa ser alimentado com dados de cadastro também confiáveis.

Portanto, recomenda-se alimentar o cadastro técnico, com atualizações conforme ações e medições realizadas em campo, em um software de geoprocessamento, que possibilita apresentação rápida das informações em mapas, facilitando consultas, interpretação e análise dos dados. Um cadastro técnico atualizado é fundamental para agilizar intervenções futuras das equipes de operação e manutenção, principalmente em atividades de ampliação de redes devido à expansão populacional.

### **5.3.4 Aprimoramento do sistema de telemetria**

Ao realizar consultas ao sistema de telemetria utilizado para controle do sistema de esgotamento sanitário percebeu-se falhas no sistema, sendo as medições de nível aferidas apenas da elevatória de esgoto principal. A utilização de um sistema de telemetria é essencial para se ter maior controle operacional, principalmente através do recebimento de alertas em casos de mal funcionamento das bombas, aumento no nível dos poços úmidos, e para automatizar o procedimento de acionamento e desligamento de bombas.

Outro fator importante é ter o registro do histórico das vazões de chegada nas elevatórias, para que se possa analisar o cenário atual e prever melhorias a fim de reduzir custos energéticos, sendo esta uma das despesas mais relevantes em operações de sistemas de esgoto. Assim, ressalta-se a importância de aperfeiçoar o sistema de telemetria, para que se evitem acidentes como extravasamentos de elevatórias.

## 6 CONCLUSÃO

Considerando a urgência no avanço da universalização do saneamento, evidencia-se a necessidade de busca por novas tecnologias e ferramentas para planejamento, a fim de tornar o processo mais ágil e eficiente, embasando as tomadas de decisões para alocação de recursos, e justificando os investimentos prementes de serem realizados. Portanto, o presente estudo teve como objetivo principal demonstrar como a modelagem hidráulica, especialmente utilizando o software *SewerCAD* pode ser uma ferramenta valiosa para engenheiros e profissionais envolvidos na gestão de sistemas de esgotamento sanitário.

Com os resultados obtidos pela etapa 1, de caracterização e análise de questões operacionais do sistema do SAE-PB, foram identificados os serviços executados com maior recorrência e os pontos críticos da rede coletora. A análise identificou áreas específicas no sistema de esgotamento sanitário do bairro Pedra Branca que requerem atenção, sendo isto uma forte indicação que os coletores de esgoto que apresentam constantes entupimentos, apresentam condições hidráulicas e de escoamento inadequadas para a demanda atual da região. Destacase, também, a importância de realizar manutenções programadas e preventivas para garantir o funcionamento contínuo e eficiente do sistema ao longo do tempo.

Já na etapa 2, foi realizada a construção do modelo hidráulico utilizando-se dos dados de cadastro disponibilizados para o sistema existente da área de estudo. Em termos gerais, não foram realizadas medições reais que fossem as mais representativas e exatas, uma vez que o estudo atual não dispõe dos dados cadastrais e dados de vazão essenciais para calibração do modelo hidráulico. No entanto, as atividades frequentes de operação e manutenção são um indicativo de que o sistema requer alterações.

Ao relatar as etapas desenvolvidas durante a construção e execução do modelo hidráulico, tornou-se evidente que a utilização do programa *SewerCAD* oferece uma ampla gama de benefícios que permite determinar de forma prática e em curto tempo os possíveis problemas que podem ocorrer em eventos desfavoráveis.

Através de seus cálculos, é possível avaliar velocidades máximas e mínimas, propriedades de autolimpeza dos coletores, capacidade hidráulica, vazões mínimas e máximas, perfis de fluxo, entre outros parâmetros hidráulicos calculados. Isso possibilita a comparação com as normativas de projeto que garantem uma funcionalidade ótima de suas estruturas. Vale ressaltar que além das ferramentas utilizadas neste trabalho para construção e execução do modelo hidráulico, o *software* possui demais funcionalidades de projeto, como a análise de custos energéticos do cenário simulado.

Dentre os resultados apresentados, o correlacionamento entre as etapas evidenciam como os resultados da modelagem hidráulica podem auxiliar na resolução de problemas recorrentes na gestão operacional de um sistema existente, como o analisado neste estudo. Porém, ressalta-se a necessidade de se ter um modelo hidráulico calibrado e onde se têm confiabilidade nas simulações a serem executadas.

Ao alterar cenários operacionais, como implementação de uma nova bomba atuando em conjunto com a já existente, pode-se prever o comportamento hidráulico do sistema antes de realizar o investimento, e avaliar alternativas de melhor custo-benefício. Outro cenário potencial de ser avaliado para o planejamento a longo prazo é o impacto das expansões populacionais no sistema existente, considerando uma projeção populacional de fim de plano, onde haverá um aumento nas contribuições de cargas sanitárias.

Diante do exposto, pode-se concluir que o controle operacional é ferramenta indispensável para a avaliação do desempenho do sistema de esgotamento sanitário como um todo, devendo os responsáveis pela gestão incentivarem o aperfeiçoamento técnico no que tange a adoção de ferramentas tecnológicas auxiliares, e na capacitação de funcionários. A redução de custos operacionais e melhoria do serviço prestado para a comunidade se apoia em ações que objetivam o aprimoramento do sistema, que repercute de maneira positiva na imagem da empresa, nos indicadores de saúde pública e na preservação do meio ambiente.

## 6.1 RECOMENDAÇÕES

A partir do desenvolvimento deste trabalho foram identificadas questões que permitem a elaboração de outras pesquisas científicas com abordagens complementares a este estudo. Assim, recomenda-se:

- Utilização da modelagem hidráulica para um sistema de esgotamento sanitário existente, com dados consistentes que permitem a calibração do modelo, a fim de avaliar cenários de eventos climáticos extremos;
- Utilização da modelagem para realizar um dimensionamento de projeto de sistema de esgotamento sanitário, em um local onde é inexistente o sistema de coleta coletivo;
- Utilização da modelagem hidráulica para avaliar alternativas para redução de custos energéticos em um sistema de esgotamento sanitário existente.

## REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5462**: Confiabilidade e manutenibilidade. Rio de Janeiro, 1994.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9649**: Projeto de redes coletoras de esgoto sanitário. Rio de Janeiro: Moderna, 1986.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 24510**: Atividades relacionadas aos serviços de água potável e de esgoto: diretrizes para a avaliação e para a melhoria dos serviços prestados aos usuários. Rio de Janeiro, 2012.
- BENTLEY. **SewerCAD**: catálogo. 2014. Disponível em: <<https://br.bentley.com/>>. Acesso em: 24 jun. 2023.
- BENTLEY. **SewerGEMS Sanitary V8i/SewerCAD V8i, Sistemas de Esgoto Sanitário**. 2013.
- BRASIL. Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. Novo Marco Legal do Saneamento Básico. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 2020. Disponível em: <[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2019-2022/2020/lei/L14026.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/L14026.htm)>. Acesso em: 05 nov. 2023.
- BRASIL, MINISTÉRIO DAS CIDADES. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS. Esgotamento Sanitário – 2021. Disponível em: <<https://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snis>>. Acesso em: 04 nov. 2023.
- COSTA, H.G.; BAGGIO, M.A. **Operação de sistemas de esgotamento sanitário**. Guadalajara: H Editora, 2018. 213 p.
- CRESPO, P.G. **Sistema de esgotos**. Belo Horizonte: Editora Ufmg, 1997. 131 p.
- JORDÃO, E.P.; PESSÔA, C.A. **Tratamento de Esgotos Domésticos**. 5.ed. Rio de Janeiro, 2009.
- KUEHN, G. **Programa de operação e manutenção de estações de tratamento de esgotos sanitários**. 2015. 34 f. Monografia (Especialização) - Curso de Especialização em Gestão Ambiental em Municípios, Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2015.
- MARSALEK, Jiri et al (ed.). **Hydroinformatics tools for planning, design, operation and rehabilitation of sewer systems**. Harrachov: Springer-Science+Business Media, 1998. 44 v. (2).
- MEZINI, A. *et al.* **Aplicação da modelagem hidráulica para melhoria de desempenho da rede coletora de esgoto**. In: Encontro Técnico da AESABESP, 30., São Paulo, 2019. Anais. São Paulo: Associação dos Engenheiros da SABESP – AESABESP, 2019.
- PALHOÇA (Município). Decreto nº 1063, de 26 de fevereiro de 2010. Aprova o regulamento dos serviços de abastecimento de água e esgotamentos sanitários no âmbito do empreendimento

imobiliário Pedra Branca. Palhoça, SC, Disponível em: <<https://leismunicipais.com.br/>>. Acesso em: 05 nov. 2023.

PALHOÇA (Município). Lei nº 2637, de 03 de agosto de 2007. Código de obras. Altera redação do inciso X, da Lei nº 17, de 07 de abril de 1993. Palhoça, SC, Disponível em: <<https://leismunicipais.com.br/>>. Acesso em: 05 nov. 2023.

PALHOÇA. **Plano Municipal de Saneamento Básico PMSB de Palhoça – SC: Diagnóstico Técnico-Participativo**. Palhoça, 2015. 387 p.

PAWAR, A. *et al.* Design of sewer system for village using sewerGEMS. **IRJET - International Research Journal Of Engineering And Technology**. India, p. 756-760. 07 jul. 2021. Disponível em: <<https://www.irjet.net/>>. Acesso em: 24 jun. 2023.

PEREIRA, J.A.R; SOARES, J.M. **Rede coletora de esgoto sanitário: projeto, construção e operação**. Belém: NUMA, UFPA, EDUFPA, GPHS/CT, 2006. 296 p.

RECESA. Rede Nacional de Capacitação e Extensão Tecnológica em Saneamento Básico. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (Org.). **Esgotamento sanitário: operação e manutenção de redes coletoras de esgotos: guia do profissional em treinamento: nível 2**. Brasília: Ministério das Cidades, 2008. 88 p.

REIS, M.; SANTOS, A.A.S.; COSTA, F.S. **Benefícios da modelagem de esgotos para atualização cadastral e resposta rápida problemas operacionais**. In: Encontro Técnico da AESABESP, 32., São Paulo, 2021. Anais. São Paulo: Associação dos Engenheiros da SABESP – AESABESP, 2021.

RIVADENEIRA, J.N.; ULLAURI, A.; BARZOLA-MONTESES, J. Diagnóstico, modelación y determinación de la capacidad hidráulica de sistemas de alcantarillado. **Journal Of Science And Research: Revista Ciencia e Investigación**, Ecuador, v. 3, n. 2018, p. 88-101, 1 oct. 2018.

SABOIA, A.D.R. **Modelagem hidráulica do interceptor oeste da cidade de Fortaleza/CE**. 2022. 44 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal do Ceará, Crateús, 2022.

SAE PEDRA BRANCA. **Manual de prestação de serviços e atendimento ao usuário**. Palhoça, 2019. Disponível em: <<http://saepedrabrancia.com.br/>>. Acesso em: 10 set. 2023.

SILVA, A.D. **Manutenções de redes de esgotos sanitários**. In: Assembleia Nacional da ASSEMAE, 45., Poços de Caldas, 2015. Anais. Poços de Caldas: Associação Nacional dos Serviços Municipais de Saneamento – ASSEMAE, 2015.

SILVA, J.J.A. **Eficiência operacional: bombeamento de água e esgoto, tubulações de ferro fundido e aço, medidores de vazão e controle de perdas**. São Paulo: Madio Editorial, 2009. 584 p.

SILVA, R.T. Avaliação de desempenho em diferentes cenários de prestação e regulação dos serviços. In: GALVÃO JUNIOR, A.C., XIMENES, M.M.A.F. (Org.). **Regulação:**

normatização da prestação de serviços de água e esgoto. Fortaleza: Agência Reguladora de Serviços Públicos Delegados do Estado do Ceará – ARCE, 2008, p. 115-143.

SPAKOVSKIS, R.A.S.; GOMES, M. **Modelagem hidráulica em sistemas de coleta e afastamento de esgoto como ferramenta de gestão operacional**. In: Encontro Técnico da AESABESP, 30., São Paulo, 2019. Anais. São Paulo: Associação dos Engenheiros da SABESP – AESABESP, 2019.

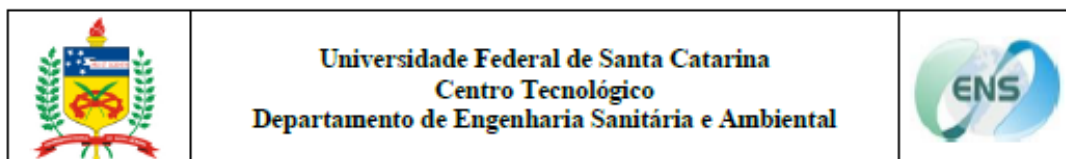
TCHNOBANOGLOUS, G. **Ingeniería sanitaria: Redes de alcantarillado y bombeo de aguas residuales**. Labor/Quinto Centenario, 1994.

TSUTIYA, M. T.; ALEM SOBRINHO, P. **Coleta e transporte de esgoto sanitário**, 1. Ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1999. 548 p.

VASCONCELOS, A.G.C. **O uso do SIG como ferramenta de estratégia e tomada de decisão em sistemas de água e esgoto**: Estudo de caso do SAE Pedra Branca - Palhoça/SC. 2018. 86 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018.



**APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO SISTEMA OPERACIONAL DO SAE  
PEDRA BRANCA**



**QUESTIONÁRIO – SISTEMA OPERACIONAL DO SAE**

**Questões sobre o controle operacional:**

1. Quais os principais serviços operacionais realizados? (novas ligações, consertos de vazamentos, desobstrução).
2. Quantos funcionários atuam na equipe operacional atualmente?
3. Quais são os principais indicadores de desempenho utilizados para monitorar a eficiência e a eficácia do sistema de esgoto?
4. Quais são os principais desafios operacionais que a concessionária de esgoto enfrenta atualmente em relação à rede de esgoto?
5. A companhia possui algum programa de controle operacional para manutenções periódicas? (manutenção preventiva e corretiva).
6. Ao ser registrada uma ordem de serviço de um cliente, relacionado a algum problema operacional, qual o tempo médio de atendimento para ser realizada a operação?
7. Como a concessionária monitora a integridade estrutural das tubulações de esgoto e quais tecnologias são usadas para identificar problemas potenciais, como corrosão ou desgaste?
8. Quais são os principais materiais usados nas tubulações da rede de esgoto (por exemplo, PVC, concreto, ferro fundido) e quais são suas vantagens e desvantagens na manutenção?
9. Como a concessionária lida com a manutenção e operação de estações elevatórias de esgoto e quais são os desafios associados a essas instalações?
10. Qual é o procedimento adotado para lidar com situações de emergência, como vazamentos graves ou rupturas nas tubulações?
11. Como a companhia lida com novos empreendimentos no bairro? Quais as estratégias para intervenções futuras que devem ser feitas para garantir o atendimento, como ampliação da rede e o correto dimensionamento?
12. Quais são os principais desafios em relação à conformidade com as regulamentações ambientais e de saneamento na operação da rede de esgoto?
13. Quais tecnologias ou práticas inovadoras a concessionária está considerando ou já implementou para enfrentar os desafios na operação e manutenção da rede de esgoto?