

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

Francine Altevogt

**AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA: ESTUDO DE CASO
EM SANTA CRUZ DO SUL/RS**

Santa Cruz do Sul
2020

Francine Altevogt

**AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA: ESTUDO DE CASO
EM SANTA CRUZ DO SUL/RS**

Trabalho de conclusão apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade de Santa Cruz do Sul para obtenção de título de Bacharela em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Me. Eng. Adilson Moacir Becker Júnior

Santa Cruz do Sul

2020

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer à minha família, meus pais Jair e Noêmia, meu irmão Pedro, minha avó Irani e minha bisavó Norma, que nunca mediram esforços para permitir que eu fosse em busca dos meus sonhos e sempre acreditaram no meu potencial. Cabe um agradecimento especial ao meu namorado Edu, por todo incentivo e paciência.

A graduação me proporcionou conhecer pessoas maravilhosas, como a Andressa e a Luísa, que foram essenciais nessa jornada, tornando-a mais leve e divertida, sempre me apoiando e incentivando.

Agradeço ao meu orientador Adilson Moacir Becker Júnior por todo conhecimento transmitido, pelas orientações e atenção que foram fundamentais para realização deste trabalho. Além disso, agradeço à toda equipe da CORSAN de Santa Cruz do Sul que se mostrou muito atenciosa e disponibilizou os dados necessários para este trabalho.

Por fim, agradeço a Deus por ter me dado a oportunidade de vivenciar tudo isso.

RESUMO

Um dos maiores desafios das companhias de abastecimento de água na atualidade é garantir a boa gestão desse recurso, minimizando os desperdícios. Os índices de perdas de água no mundo são muito elevados, e no município de Santa Cruz do Sul o cenário não é diferente. Existem diversos fatores que influenciam nessas perdas, como a qualidade do material das tubulações, a rapidez dos reparos, a setorização e, especialmente, a pressão. Visto isso, fez-se um estudo de caso no Sistema Margarida a partir de dados levantados junto à Companhia Riograndense de Saneamento e simulações através do *software* Epanet 2.0. Foram simulados três cenários diferentes: o sistema sem válvulas redutoras de pressão, o sistema atual e o sistema com a proposta de melhoria. A análise considerou os resultados de vazão, velocidade e, principalmente, pressão, comparando-os com os dados da CORSAN. Os resultados obtidos mostraram-se coerentes com a realidade, evidenciando a eficiência e importância das válvulas redutoras de pressão. Podendo-se perceber a dificuldade de manter todos os pontos da rede de distribuição dentro dos parâmetros estabelecidos pela norma técnica e a complexidade de um sistema de abastecimento de água.

Palavras-chave: Epanet 2.0. Sistema de Abastecimento de Água. Pressão. Válvula Redutora de Pressão. Simulação Estática.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Modelo de um SAA	15
Figura 2 - Tipos de vazamentos	26
Figura 3 - Haste de escuta mecânica	29
Figura 4 - Geofone eletrônico	30
Figura 5 - Correlacionador de ruídos	30
Figura 6 - Centro de controle operacional de Santa Cruz do Sul/RS	32
Figura 7 - Setorização em sistemas distribuidores de água	34
Figura 8 - VRP de ação direta	35
Figura 9 - VRP tipo piloto	36
Figura 10 - Esquema geral de DMC	37
Figura 11 – Histórico do índice de perdas Sabesp	40
Figura 12 - Localização Santa Cruz do Sul	41
Figura 13 - Setorização do sistema	43
Figura 14 - Delimitação Sistema Margarida	46
Figura 15 - Pontos de ligação e delimitação do setor	47
Figura 16 - Mapa Sistema Margarida	49
Figura 17 - VRP 34 México	51
Figura 18 - VRP 25 André Beck	52
Figura 19 - Sistema Margarida no <i>software</i> Epanet 2.0	54
Figura 20 - Visão geral das vazões nos trechos do Sistema Margarida	60
Figura 21 - Mapa de velocidades	61
Figura 22 - Sistema Margarida sem VRPs	63
Figura 23 - Mapa de pressões situação atual	64
Figura 24 - Comportamento das pressões na Região 1	65
Figura 25 - Comportamento das pressões na Região 2	66
Figura 26 - Comportamento das pressão na Região 3	67
Figura 27 - Proposta de melhoria	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Pressões médias por setor.....	44
Tabela 2 - Média mensal de pressão no recalque e capacidade do reservatório	50
Tabela 3 - Pressão média no PMP 04.....	52
Tabela 4 - Relação de volume e altura de água do R10	58
Tabela 5 - Comparação entre a pressão nos pontos monitorados pela CORSAN e resultados obtidos no Epanet 2.0	68
Tabela 6 - Comparativo de pressões do sistema atual e da proposta de melhoria ...	71
Tabela 7 - Comparativo de pressões do sistema atual e da proposta de melhoria ...	72

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Balanço hídrico.....	22
Quadro 2 - Relação de logradouros e economias do Sistema Margarida	48
Quadro 3 - Parâmetros gerais para o <i>software</i> Epanet 2.0	55
Quadro 4 - Propriedades dos nós	55
Quadro 5 - Propriedades das tubulações	56
Quadro 6 - Propriedades relativas à bomba.....	57
Quadro 7 - Propriedade do Reservatório de Nível Fixo.....	57
Quadro 8 - Propriedades do Reservatório de Nível Variado	58

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	Área de limitação do tema	11
1.2	Objetivos.....	12
1.2.1	Objetivo geral	12
1.2.2	Objetivos específicos.....	12
1.3	Justificativa	12
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
1.4	Sistemas de Abastecimento de Água (SAA)	14
1.5	Componentes do sistema de abastecimento de água.....	15
1.5.1	Manancial	15
1.5.2	Captação	16
1.5.3	Estações elevatórias.....	16
1.5.4	Aduadoras	17
1.5.5	Estação de tratamento de água.....	18
1.5.6	Reservatório	19
1.5.7	Redes de distribuição	19
1.6	Perdas em sistemas de abastecimento de água	20
1.6.1	Avaliação das perdas	21
1.6.1.1	Balanço hídrico	21
1.6.1.2	Método das Vazões Mínimas Noturnas	23
1.6.2	Indicadores de perdas	24
1.6.3	Perdas Aparentes	25
1.6.4	Perdas Reais	25
1.6.4.1	Vazamentos.....	26
1.6.4.2	Extravasamentos	27

1.7	Ações de combate às perdas de água	28
1.7.1	Gerenciamento da infraestrutura e melhoria da qualidade dos materiais	28
1.7.2	Controle ativo dos vazamentos	29
1.7.3	Rapidez e qualidade nos reparos	31
1.7.4	Controle de pressão	32
1.7.4.1	Setorização da rede.....	33
1.7.4.2	Válvulas redutoras de pressão (VRP).....	34
1.7.4.3	Boosters	36
1.7.4.4	Distrito de Medição e Controle (DMC)	36
1.8	Sistemas de simulação hidráulica.....	37
1.9	EPANET 2.0	39
1.10	Exemplos de casos de sucesso no combate às perdas de água	39
1.11	Caracterização do Sistema de Abastecimento de Água do Município de Santa Cruz do Sul	41
1.11.1	Setorização do SAA de Santa Cruz do Sul/RS.....	43
3	METODOLOGIA.....	46
1.12	Caracterização do Sistema Margarida.....	46
1.12.1	Recalque Sistema Margarida e Reservatório R10.....	49
1.12.2	VRP 34 – México	50
1.12.3	VRP 25 – André Beck.....	51
1.12.4	Ponto crítico Luiza Geiss (PMP 04).....	52
1.13	EPANET 2.0	53
1.13.1	Parâmetros de entrada	53
1.13.1.1	Nós	55
1.13.1.2	Tubulações	56
1.13.1.3	Recalque EBA06 e Reservatório de Nível Fixo (RNF).....	57
1.13.1.4	Reservatório de Nível Variado (RNF)	58

4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	59
1.14	Resultados obtidos através do <i>software</i> Epanet 2.0.....	59
1.14.1	Vazões e velocidades.....	59
1.14.2	Pressões.....	62
1.14.2.1	Simulação Sistema Margarida sem VRPs	62
1.14.2.2	Simulação Sistema Margarida situação atual	64
1.14.2.3	Simulação Sistema Margarida com proposta de melhoria	69
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	74
	REFERÊNCIAS.....	76
	APÊNDICES	80
	APÊNDICE A – Consumo base por nó	80
	APÊNDICE B – Consumo resultante em cada nó.....	82
	APÊNDICE C – Resultados de vazão e velocidade	83
	APÊNDICE D – Resultado das pressões simulação sem VRPs	87
	APÊNDICE E – Resultado das pressões na situação atual	91
	APÊNDICE F – Resultado das pressões na simulação com proposta de melhoria ..	95
	ANEXOS	99
	ANEXO A – Curva característica da bomba.....	99

1 INTRODUÇÃO

A água é essencial para a existência da vida no planeta e a preocupação com a disponibilidade deste recurso para o consumo humano é evidente. Reduzir as perdas nos sistemas de abastecimento de água é um dos principais desafios das empresas de saneamento. Além da consciência ambiental que é de suma importância para a saúde do planeta, as perdas de água também significam desperdício de recursos financeiros. Neste sentido, as companhias de abastecimento de água buscam a racionalidade.

De acordo com o relatório da Organização Mundial da Saúde (OMS) e do Fundo das Nações Unidas para a Infância (UNICEF), divulgado no dia 13 de julho de 2017, em todo o mundo, aproximadamente três em cada dez pessoas não têm acesso à água potável em casa, em um total de 2,1 bilhões de indivíduos, além disso, seis em cada 10 carecem de saneamento seguro, em um total de 4,5 bilhões. De acordo com o Diagnósticos dos Serviços de Água e Esgoto realizado em 2018, o índice de perdas nacional é de 38,5%, ou seja, 38,5% da água disponibilizada não chega ao consumidor, seja por vazamentos, fraudes ou falhas no sistema.

As perdas de água no sistema de abastecimento são caracterizadas pela diferença entre o volume de água tratada e o volume medido nos hidrômetros. Estas perdas podem ser “reais” ou “aparentes”. Ao longo do presente trabalho serão abordadas diferentes formas de combater as perdas de água, sendo o foco principal da pesquisa o controle da pressão no combate as perdas reais.

Neste sentido, o presente trabalho visa o acompanhamento e modelagem de um sistema de abastecimento em Santa Cruz do Sul/RS, a partir de monitoramento de dados reais e conhecimento *a priori* de situações críticas apresentadas. Foi utilizado o *software* Epanet 2.0 para fazer a simulação hidráulica da situação real do Sistema Margarida, identificar seus problemas e propor melhorias ao sistema para atenuar sua situação atual.

1.1 Área de limitação do tema

A área de estudo deste trabalho de conclusão é o Sistema Margarida, um dos 16 setores do sistema de abastecimento de água de Santa Cruz do Sul/RS, limitando-

se a análise das pressões, vazões e velocidades da água nas tubulações através do *software* Epanet 2.0, a fim de propor possíveis soluções de melhoria.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo geral do estudo foi analisar o sistema de abastecimento de água do Município de Santa Cruz do Sul/RS, especificamente o Sistema Margarida.

1.2.2 Objetivos específicos

- Identificar os tipos de perdas de água e diagnosticar suas possíveis causas;
- Levantar dados do Sistema Margarida junto à concessionária;
- Simular no *software* Epanet 2.0 a situação atual da área de estudo e compará-lo com o sistema sem quaisquer dispositivos para melhor gestão das águas;
- Avaliar as pressões, vazões e velocidades, a fim de propor melhorias;
- Simular no *software* Epanet 2.0 o sistema após as melhorias propostas e verificar quais ajustes são factíveis de aplicação;

1.3 Justificativa

Sustentabilidade é um tema recorrente nos últimos anos, sendo utilizado para definir ações e atitudes humanas que buscam suprir as necessidades atuais do ser humano, sem prejudicar as gerações futuras. Ou seja, utilizar os recursos naturais de forma inteligente e racional. A água é uma das problemáticas mais discutidas e com o aumento da demanda e a crise hídrica em muitos países, a gestão de perdas em sistemas de abastecimento de água mostra-se relevante em todos os serviços de água.

O município de Santa Cruz do Sul/RS apresenta um sistema de abastecimento de água complexo. Por estar situado em uma região de relevo com grandes diferenças, são necessárias muitas elevatórias para impulsionar a água até os pontos mais altos, conseqüentemente, gerando pontos de pressão elevada. No que se refere

às perdas reais de água, a pressão elevada nos sistemas está diretamente relacionada com a quantidade e intensidade dos vazamentos, sendo assim, necessita-se de maior controle para minimizar o problema.

Conforme balanço hídrico realizado pela empresa HydroBrasil e pela CORSAN em 2018, o índice de perdas atual é de $56,22 \pm 2\%$. Sabe-se que a companhia responsável pelo abastecimento na cidade está constantemente fazendo melhorias no sistema, como a substituição de tubulações antigas, implantação de equipamentos para controlar a pressão, entre outros. O presente trabalho mostra-se relevante pois objetiva controlar as pressões na rede de distribuição afim de reduzir as perdas físicas de água.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A pesquisa realizada nesta revisão bibliográfica objetiva esclarecer os principais tópicos referentes a sistemas de abastecimento de água, expondo temas relevantes aos objetivos propostos, para proporcionar embasamento à pesquisa. Serão expostos os componentes de um sistema de abastecimento, os tipos de perdas de águas e as ações de combate, assim como o programa de simulação hidráulica Epanet 2.0, que será utilizado para cumprir o objetivo do trabalho, e a caracterização do sistema de abastecimento de água de Santa Cruz do Sul/RS.

1.4 Sistemas de Abastecimento de Água (SAA)

Conforme o Manual de Saneamento da Fundação Nacional de Saúde (FUNASA), um sistema de abastecimento de água é caracterizado, simplificadamente, pela retirada da água da natureza, adequação de sua qualidade, transporte e distribuição à comunidade. O SAA é o conjunto de obras, instalações e serviços, que objetiva produzir água de qualidade e distribuir em quantidade suficiente para atender as necessidades da população, tanto para consumo doméstico, serviços públicos, industriais, entre outros usos (BRASIL, 2015).

A Portaria de Consolidação nº 05/2017 define sistema de abastecimento de água para consumo humano como uma instalação composta por um conjunto de obras civis, materiais e equipamentos, desde a zona de captação até as ligações prediais, destinada à produção e ao fornecimento coletivo de água potável, por meio de rede de distribuição.

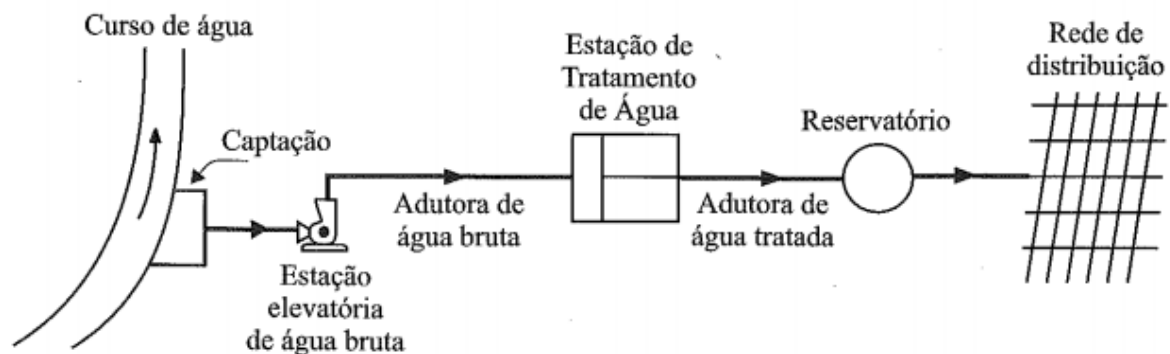
Entende-se por concepção de sistema de abastecimento de água, o conjunto de estudos e conclusões referentes ao abastecimento de todas as diretrizes, parâmetros e definições necessárias e suficientes para a caracterização do sistema a projetar (TSUTIYA, 2014, p. 09).

De acordo com Heller e Pádua (2016), a concepção de um sistema de abastecimento depende de diversos fatores como o porte da localidade, a densidade demográfica, o tipo do manancial, as características topográficas, geológicas e geotécnicas da região, as instalações já existentes de abastecimento de água, a

disponibilidade de energia elétrica, recursos humanos, condições técnico-financeiras e a projeção de alcance do projeto.

Um sistema de abastecimento de água é formado por: manancial, captação, estações elevatórias, adutoras, estação de tratamento de água, reservatório e rede de distribuição, conforme ilustrado na Figura 1.

Figura 1 - Modelo de um SAA



Fonte: Tsutiya, 2014.

1.5 Componentes do sistema de abastecimento de água

Um sistema de abastecimento consiste, basicamente, na captação de água do manancial através de bombas de uma estação elevatória, sendo conduzida por uma adutora de água bruta até a estação de tratamento. Após, essa água é conduzida por uma adutora de água tratada até os reservatórios e, em seguida, distribuída para os consumidores através da rede de distribuição. Os componentes do sistema serão detalhados a seguir.

1.5.1 Manancial

De acordo com Tsutiya (2014), manancial é o corpo de água superficial ou subterrâneo, de onde a água é retirada. Deve ter vazão suficiente para atender às necessidades no período de projeto e possuir qualidade adequada sob o ponto de vista sanitário. Para captar água de um manancial devem ser considerados aspectos relacionados à quantidade de água, à facilidade de adução e à proteção do manancial (BRASIL, 2014).

Conforme a FUNASA, manancial superficial é toda parte de um manancial que escoar na superfície terrestre, como os córregos, ribeirões, rios, lagos e reservatórios artificiais. Já o manancial subterrâneo se encontra totalmente abaixo da superfície terrestre, como os lençóis freático e profundo, tendo sua captação feita através de poços rasos ou profundos, galerias de infiltração ou pelo aproveitamento das nascentes (BRASIL, 2014).

1.5.2 Captação

Consiste na estrutura que faz a extração de água do manancial, a fim de lançá-la no sistema de abastecimento. A captação pode ser de diversas formas, dependendo do tipo de manancial. Considerando um manancial de superfície, devem-se considerar atentamente as características físicas do curso d'água e de suas margens, assim como as variações sazonais de vazão, uma vez que se trata de uma unidade essencial para o sistema e por se localizar no curso d'água, fica sujeita à ação das intempéries (HELLER e PÁDUA, 2016).

Segundo a FUNASA (BRASIL, 2014), o tipo de manancial a ser utilizado define a forma de captação, que podem ser as seguintes formas:

- Superfície de coleta: fonte água de chuva;
- Caixa de tomada: fonte nascente de encosta;
- Galeria filtrante: fonte sendo o fundo de vales;
- Poço escavado: fonte lençol freático;
- Poço tubular profundo: fonte lençol subterrâneo;
- Tomada direta de rios, lagos e açudes: mananciais de superfície.

1.5.3 Estações elevatórias

De acordo com Tsutiya (2014), as estações elevatórias são componentes essenciais dos SAA, pois são utilizadas na captação, adução, tratamento e distribuição. Nem todos os sistemas de abastecimento de água necessitam de estações elevatórias, da mesma forma que existem sistemas com dezenas, até centenas, delas. Seu emprego é em função, principalmente, do relevo, podendo se mostrar necessárias quando a água necessita vencer desníveis geométricos.

Denominam-se elevatórias de água bruta quando destinadas a transportar águas não tratadas e normalmente fazem parte da captação. Quando transportam água tratada denominam-se elevatórias de água tratada e comumente são instaladas após as estações de tratamento de água para bombear o líquido até os reservatórios. Podem também ser conhecidas como *boosters* quando instaladas entre reservatórios ou em algum trecho da rede de distribuição (HELLEN e PÁDUA, 2016).

1.5.4 Adutoras

De acordo com Tsutiya (2014), as adutoras são canalizações que interligam a captação, estação de tratamento e reservatórios, não distribuindo a água para os consumidores. Existem casos em que partem ramificações da adutora principal, denominadas subadutoras, para levar água para outros pontos do sistema.

O meio mais seguro e econômico de se transportar água é a adução por gravidade, porém nem sempre existe um desnível suficiente que garanta a vazão necessária entre os pontos a serem interligados. Quando não é possível transportar a água por gravidade, são utilizadas bombas elevatórias e as adutoras a elas interligadas são classificadas como adutoras por recalque. Outra classificação adotada está relacionada com o tipo de água a ser transportada. Quando antecedem a estação de tratamento, são denominadas de adutoras de água bruta, e depois de receber o tratamento, por adutora de água tratada (HELLER e PÁDUA, 2016).

Além disso, as adutoras podem ser classificadas conforme o modo de escoamento: adutora em conduto livre, quando mantém a superfície sob o efeito da pressão atmosférica, podendo os condutos serem abertos ou fechados, e a água ocupa apenas parte da seção; ou adutora em conduto forçado, quando a água ocupa toda a seção de escoamento, mantendo a pressão interna superior à pressão atmosférica, o que permite à água movimentar-se em qualquer sentido, descendente ou ascendente, graças à existência de uma carga hidráulica. Ou ainda, classificadas pela vazão de dimensionamento como adução contínua ou intermitente (BRASIL, 2014).

1.5.5 Estação de tratamento de água

A NBR 12.216 (ABNT, 1992) define uma estação de tratamento de água como um “conjunto de unidades destinado a adequar as características da água aos padrões de potabilidade”. Pois, de acordo com a Portaria de Consolidação nº 05/2017, toda água destinada ao consumo humano, distribuída coletivamente por meio de sistema ou solução coletiva de abastecimento de água, deve ser objeto de controle e vigilância para garantir que a água ofertada atenda os padrões de potabilidade.

É na estação de tratamento que a água captada no manancial é tratada, passando por diversos processos físicos e químicos até tornar-se potável para ser distribuída para a população. Os sistemas de abastecimento de água objetivam disponibilizar água potável, em quantidade e pressão suficientes para atender as necessidades dos usuários (HELLER e PÁDUA, 2016).

A NBR 12.216 (ABNT, 1992) classifica a água em quatro classes, pois de acordo com sua origem e qualidade exigem diferentes tipos de tratamento para a tornar potável, conforme a seguir:

- Tipo A: águas subterrâneas ou superficiais protegidas;
- Tipo B: águas subterrâneas ou superficiais não-protegidas, que não exijam coagulação em seu processo de tratamento para se tornarem potáveis;
- Tipo C: águas superficiais não-protegidas, que exijam coagulação no seu tratamento para se tornarem potáveis;
- Tipo D: águas superficiais sujeitas a fontes de poluição, mas que com processos especiais de tratamento podem se tornar potáveis.

De acordo com Heller e Pádua (2016), no Brasil, a maioria dos tratamentos de água incluem as seguintes etapas:

- Clarificação: ocorre em decantadores, flotores e filtros, a fim de remover sólidos presentes na água;
- Desinfecção: destinada a inativar microrganismos patogênicos;
- Fluoretação: para prevenção de cárie dentária;
- Estabilização química: objetiva evitar corrosões e incrustações da água nas tubulações.

1.5.6 Reservatório

A NBR 12.217 (ABNT, 1994), define reservatório de distribuição como o componente do sistema de abastecimento de água responsável por regularizar as variações de vazões e condicionar as pressões na rede de distribuição. Segundo Tsutiya (2014), as principais finalidades dos reservatórios de distribuição são:

- Regularizar a vazão: receber uma vazão constante, igual à demanda média do dia de maior consumo, acumular a água durante o período em que a demanda é inferior à média e fornecer as vazões complementares quando a vazão demandada pela população for maior que à média;
- Segurança ao abastecimento: manter uma reserva para fornecer água quando ocorrer alguma interrupção no funcionamento normal da adução;
- Reservar água para incêndio;
- Regularizar as pressões: a localização dos reservatórios é capaz de reduzir as variações de pressões de adução e distribuição.

Os reservatórios de distribuição podem ser classificados quanto a sua localização no sistema em: reservatório de montante, de jusante ou intermediário. Os de montante localizam-se antes da rede, responsáveis por fornecer água à rede de distribuição. Reservatórios de jusante ou de sobras, situam-se depois da rede de distribuição e recebem a água durante as horas de menor consumo e auxiliam no abastecimento durante as horas de maior consumo. Já os reservatórios intermediários têm a função de servir de volante de regularização das transições entre bombeamento ou adução por gravidade (PELEGRINO, 2017).

Em função de sua posição no terreno, os reservatórios podem ser do tipo apoiado, elevado, semienterrado ou enterrado. Dependendo de sua posição em relação à rede de distribuição, os reservatórios podem ser classificados como de montante ou de jusante (HELLER e PÁDUA, 2016).

1.5.7 Redes de distribuição

A rede de distribuição é o componente do sistema de abastecimento responsável por distribuir a água para os consumidores. É constituída por tubulações e acessórios instalados nos logradouros, a fim de fornecer água potável em quantidade, qualidade e pressão adequada a todos consumidores (HELLER e PÁDUA, 2016).

Constitui um elemento de grande importância no SAA, pois tem a função de garantir que a água produzida nas unidades anteriores do sistema chegue até seus consumidores sem a deterioração de sua qualidade e em quantidade e pressão adequadas. Além disso, representa a unidade mais extensa do sistema, podendo representar mais de 50% do seu custo de implantação (HELLER e PÁDUA, 2016).

Uma rede de distribuição normalmente é dividida em: principal, também denominada de conduto tronco ou canalização mestra, com tubulações de diâmetros maiores a fim de abastecer as canalizações secundárias, e a secundária, com tubulações de diâmetros menores com a função de abastecer diretamente os pontos de consumo do SAA. Conforme a disposição das canalizações principais e o sentido de escoamento nas tubulações secundárias pode-se classificar as redes em: ramificada, quando o abastecimento se faz a partir de uma tubulação principal e a distribuição é feita diretamente pelos condutos secundários, com o sentido da vazão conhecido em qualquer trecho; malhada: formada por tubulações principais que formam anéis ou blocos, podendo abastecer qualquer ponto do sistema por mais de um caminho; e mista (TSUTIYA, 2014).

1.6 Perdas em sistemas de abastecimento de água

Segundo o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), no Brasil, em 2018, o índice de perdas foi de 38,5%, sendo que o índice nacional de perdas na distribuição da prestadora de serviços CORSAN foi de 44,5%. Destaca-se que cidades com padrão de excelência em perdas apresentam índices inferiores a 15% (BRASIL, 2017).

De acordo com Heller e Pádua (2016), as perdas de água em sistemas de abastecimento correspondem aos volumes não utilizados, chamados de perdas reais, e aos volumes não contabilizados, chamados de perdas aparentes. A distinção dessas perdas é fundamental para definição e hierarquização das ações de combate ao problema, e também para construção de indicadores de desempenho do sistema.

As perdas reais correspondem ao volume de água produzido que não chega até o consumidor final devido aos vazamentos nas adutoras, redes de distribuição e reservatórios, ou ainda extravasamentos em reservatórios setoriais. Já as perdas aparentes, não-físicas, são volumes de água consumidos, mas não contabilizados

pela companhia de saneamento, decorrentes de ligações clandestinas, fraudes, erros de medição de hidrômetros e falhas no cadastro comercial (TSUTIYA, 2014).

Ainda de acordo com Tsutiya (2014), existem dois pontos de grande importância relacionados às perdas reais: um relacionado à conservação de recursos naturais, pois quanto menor o volume de perdas, menor é a necessidade de explorar e ampliar a captação de água, reduzindo o impacto ambiental; outro se refere à saúde pública, uma vez que a existência de vazamentos na rede pode acarretar na contaminação da água.

Além dos aspectos operacionais, vale lembrar que qualquer tipo de perda, seja real ou aparente, gera um impacto financeiro sobre os serviços de saneamento. As perdas decorrentes de vazamentos, extravasamentos e consumos operacionais excessivos provocam aumento das despesas. Já as perdas por erros de micromedição, consumos clandestinos, entre outras perdas aparentes, causam redução da receita (HELLER e PÁDUA, 2016).

1.6.1 Avaliação das perdas

1.6.1.1 Balanço hídrico

O balanço hídrico é uma forma estruturada de analisar os fluxos e usos da água e seus valores absolutos e relativos. É uma importante ferramenta de gestão, pois revela diversos indicadores de desempenho dos serviços de abastecimento de água. A fim de uniformizar uma estrutura básica para o Balanço Hídrico, a IWA (International Water Association) propôs uma matriz onde são apresentadas as variáveis mais significativas para a composição dos fluxos de água, representando o SAA a partir da “água que entra no sistema”, como pode ser visto na Quadro 1 (TSUTIYA, 2014).

Quadro 1 - Balanço hídrico

Água que entra no sistema (inclui água importada)	Consumo autorizado	Consumo autorizado faturado	Consumo faturado medido (inclui água exportada)	Água faturada	
			Consumo faturado não medido (estimado)		
		Consumo autorizado não-faturado		Consumo não-faturado medido (usos próprios, caminhão-pipa, etc.)	Água não faturada
				Consumo não-faturado não-medido (combate a incêndios, favelas, etc.)	
	Perdas de água	Perdas aparentes		Uso não-autorizado	
				Erros de medição (macro e micromedição)	
		Perdas reais		Perdas reais nas tubulações de água bruta e no tratamento	
				Vazamentos nas adutoras e/ou redes de distribuição	
			Vazamentos e extravasamentos nos reservatórios de adução e/ou distribuição		
			Vazamentos nos ramais (a montante do ponto de medição)		

Fonte: adaptado de Tsutiya, 2014.

A seguir, as definições dos componentes que compõem a matriz de balanço hídrico, de acordo com Tsutiya (2014):

- Água que entra no sistema: volume anual de água que é introduzido no sistema de abastecimento, incluindo água importada;
- Consumo autorizado: volume anual medido e/ou não-medido fornecido aos consumidores cadastrados, à companhia de saneamento e a outros fins autorizados;
- Perdas de água: volume correspondente a diferença entre a água que entra no SAA e o consumo autorizado;
- Consumo autorizado faturado: correspondente aos volumes constantes nas contas emitidas aos usuários, isto é, gerando receita para a companhia de saneamento. Compõe-se dos volumes medidos nos hidrômetros e dos volumes estimados nos locais onde não há hidrômetros;
- Consumo autorizado não-faturado: provindo de usos legítimos de água no sistema de distribuição, sendo um volume que não gera receita para a

companhia de SAA. É composto pelos volumes medidos e volumes não-medidos;

- Perdas aparentes: são os volumes consumidos, todavia não contabilizados;
- Perdas reais: correspondem aos volumes perdidos em vazamentos e extravasamentos;
- Águas faturadas: representam a água comercializada;
- Águas não-faturadas: correspondem a diferença entre a água que entra no sistema e o consumo autorizado, incluindo perdas reais, aparentes e consumo autorizado não-faturado.

Vale lembrar que o cálculo do Balanço Hídrico requer medições ou estimativas criteriosas em cada ponto de controle. Normalmente o período de avaliação das grandezas é de 12 meses, representando uma média anual, absorvendo as sazonalidades.

O cálculo completo deste método sem qualquer nível de erro pode ser muito difícil, podendo haver um alto índice de incerteza. Normalmente os erros ocorrem na determinação das perdas aparentes, pois em cenários como o Brasil, sequer os volumes consumidos são medidos, grande parte é estimado (HELLER E PÁDUA, 2016).

1.6.1.2 Método das Vazões Mínimas Noturnas

O método das vazões mínimas noturnas baseia-se na variação de consumo de água ao longo do dia. Normalmente o pico de consumo ocorre no intervalo das 11:00 às 14:00 horas, já o mínimo consumo ocorre entre 03:00 e 04:00 horas. Denomina-se “Vazão Mínima Noturna” a vazão correspondente a esse consumo mínimo, que pode ser medida através de equipamentos de medição de vazão e pressão, desde que sejam adotados procedimentos corretos de fechamento de registros adjacentes do subsetor de análise (TSUTIYA, 2014).

A vazão mínima noturna é o principal indicador de perdas reais em um sistema de abastecimento de água, pois no momento de sua ocorrência há pouco consumo e as vazões são estáveis, sendo assim, uma parcela considerável refere-se às vazões dos vazamentos (TSUTIYA, 2014).

Para se chegar à vazão dos vazamentos é necessário estimar praticamente todos os componentes dos consumos noturnos, a menos dos grandes

consumidores, onde é possível medir os seus consumos individuais observados durante os ensaios. Para os consumidores residenciais, costuma-se assumir hipóteses baseadas em medições específicas de consumo e extrapoladas para o conjunto de consumidores da área envolvida, ou utilizar dados de literatura (TSUTIYA, 2014, p.474).

As vazões de vazamentos determinadas retratam os valores observados naquela hora do ensaio, em que as pressões do sistema atingem seu valor máximo. Como a vazão dos vazamentos está diretamente relacionada com a pressão do sistema, o valor observado na hora da mínima noturna representa a vazão máxima diária de vazamentos. No entanto, este resultado não pode ser multiplicado por 24 horas pois estaria supervalorizando os volumes diários perdidos. Para corrigir o problema, do volume perdido deve ser multiplicado pelo Fator Noite/Dia, dado em horas por dia, para obter-se o volume médio diário dos vazamentos (TSUTIYA, 2014).

1.6.2 Indicadores de perdas

Os indicadores não possuem apenas o objetivo de comparação de desempenho. Muitos contêm a função gerencial, para planejamento, elaboração de linhas de ação para combate às perdas e controle de metas, ou operacional, para contribuir no gerenciamento da demanda ou, por exemplo, na detecção de fugas e usos operacionais excessivos (HELLER e PÁDUA, 2016).

Ainda de acordo com Heller e Pádua (2016), em função das dificuldades de obtenção de dados e dos objetivos da avaliação que se pretende fazer, recomenda-se a utilização de indicadores segundo três níveis:

- Básico: composto por indicadores derivados de informações técnicas mínimas, exigíveis de todos os sistemas indistintamente, e fornece uma síntese da eficiência e da eficácia do operador;
- Intermediário: composto por indicadores derivados de informações técnicas específicas, e permite um conhecimento mais minucioso, para uma análise mais profunda;
- Avançado: composto por indicadores derivados de informações técnicas, que além dos atributos dos níveis anteriores, envolvem um grande esforço de monitoramento e controle operacional, utilizando técnicas e equipamentos mais sofisticados, sendo assim, são indicadores com maior detalhamento, relevantes para a gestão do operador.

1.6.3 Perdas Aparentes

Também denominadas de perdas comerciais, as perdas aparentes correspondem aos volumes de água consumidos, mas não autorizados e nem faturados (TRATA BRASIL, 2018). De acordo com Azevedo Netto (2015), o consumo não faturado não se trata de uma perda, pois a água atinge seu fim social. Este tipo de “perda” gera desperdício, pois o usuário acaba utilizando mais água que o necessário.

As perdas aparentes não geram efeitos relevantes ao meio ambiente nem à saúde pública. Além disso, do ponto de vista do consumidor não é uma preocupação imediata, porém, para a concessionária responsável pelo abastecimento, implica na elevada perda de receita (TSUTIYA, 2014).

De acordo com Azevedo Netto (2015), os tipos de ocorrência mais comuns são: ligações clandestinas, consumidores privilegiados ou do próprio poder concedente, erro dos medidores, consumo de incêndio, que frequentemente não é contabilizado, e consumos de uso comum público ou equipamento urbano, que normalmente não é medido e computado. Para solucionar ou minimizar essas perdas, Azevedo Netto (2015) recomenda melhorias na gestão comercial, com atualização de cadastros, verificação de ligações inativas, melhoria da leitura dos hidrômetros e regularização de áreas invadidas e favelas. Além disso, implantação e melhoria no sistema de micro e macromedidores, e detecção e combate às fraudes.

1.6.4 Perdas Reais

As perdas reais ou perdas físicas de água, são aquelas decorrentes de vazamentos na rede ou extravasamentos em reservatórios (BRASIL, 2014). De acordo com a Yoshimoto (2006), este tipo de perda impacta a disponibilidade de recursos hídricos superficiais e os custos de produção de água tratada.

Reduzir as perdas físicas de um sistema permite diminuir os custos de produção, pois há redução no consumo de energia, produtos químicos, entre outros, e as instalações existentes podem ser utilizadas para aumentar a oferta, sem necessidade de expansão do sistema (SILVA; CONEJO, 2003). De acordo com Tsutiya (2014), perdas reais no sistema implicam em desperdício de recursos naturais e maiores

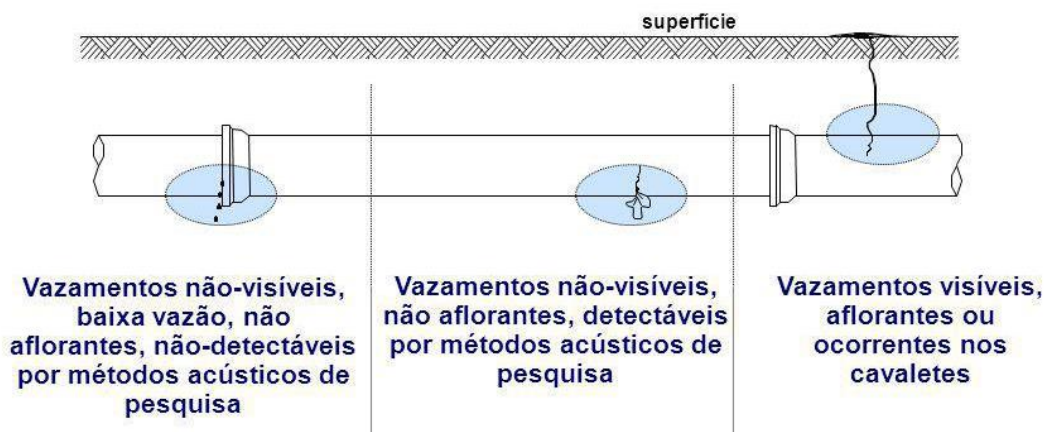
impactos ambientais devido à necessidade de ampliar a exploração de mananciais. Quanto à saúde pública, existem riscos de contaminação da água.

As partes do SAA onde ocorrem o maior número de vazamentos e o maior volume de água perdido são as redes de distribuição e os ramais prediais, decorrentes da sua extensão e condições de implantação (TSUTIYA, 2014). As perdas físicas geram uma imagem negativa da concessionária de abastecimento de água, associada ao desperdício e ineficiência, além de refletirem no aumento de custo da conta de água no consumidor.

1.6.4.1 Vazamentos

De modo geral, considerando vazamentos em bombas, reservatórios e tubulações, as principais causas do surgimento das perdas estão relacionadas ao desgaste de equipamentos, ajustes inadequados nos registros, válvulas e juntas, má qualidade dos materiais e envelhecimento dos mesmos, má execução da obra, corrosão, pressões elevadas, projeto inadequado, além de algumas interferências do ambiente e desastres naturais (TSUTIYA, 2014). Na Figura 2 observa-se os tipos de vazamentos.

Figura 2 - Tipos de vazamentos



Fonte: <<https://slideplayer.com.br/slide/1841019/>> Acesso em: 17 set. 2019.

De acordo com Lambert (2000), os vazamentos podem ser classificados como:

- Inerentes: que não são visíveis, não são detectáveis, apresentam baixas vazões e longa duração;

- Não-visíveis: não aflorantes à superfície, detectáveis por métodos acústicos de pesquisa, com vazões moderadas, duração dependente da frequência da pesquisa de vazamentos;
- Visíveis: aflorantes, com altas vazões e curta duração.

O tempo de duração dos vazamentos corresponde ao intervalo transcorrido entre o instante em que o vazamento surge até o momento em que é estancado. De acordo com Tsutiya (2014), a duração média do vazamento resulta da soma de três fases: conhecimento, localização e reparo. A fase de conhecimento corresponde ao tempo médio entre o início do vazamento até o momento em que a companhia de saneamento descobre sua existência. A fase de localização consiste no tempo médio entre o instante em que a companhia responsável pelo abastecimento de água tomar ciência do vazamento até o momento em que localiza o ponto exato do problema. Já a fase de reparo caracteriza-se pelo tempo médio entre a localização e o instante em que é reparado o vazamento. No entanto, essa sequência não necessariamente ocorre de forma completa, dependendo de o vazamento ser visível ou não-visível.

1.6.4.2 Extravasamentos

Os reservatórios setoriais têm a função de regularizar as vazões de consumo horárias de um setor de abastecimento de água. Para desenvolver esta função, ao longo do dia o nível d'água do reservatório sofre alterações, chegando aos seus níveis mais baixos nas primeiras horas da noite e a partir disso iniciar o processo de carregamento, para que no início da manhã esteja com sua capacidade máxima (TSUTIYA, 2014).

Segundo Tsutiya (2014), os extravasamentos em reservatórios costumam ocorrer à noite no período de carregamento. As causas mais comuns dos extravasamentos estão relacionadas à deficiência ou inexistência de automação nas unidades de bombeamento e controle do nível dos reservatórios, às falhas estruturais, controle operacional ineficiente, equipamento inadequado de controle de nível, defeitos em registros de descarga, falta de definição de níveis operacionais, divergências entre cotas de extravasamento e também entre a graduação dos dispositivos de leitura e controle de nível com a cota de extravasamento (COPASA, 2003).

1.7 Ações de combate às perdas de água

De acordo com Werdine (2002), a ação voltada à conservação e às perdas de água estão simultaneamente ligadas ao planejamento, à construção, à operação e à manutenção dos sistemas de abastecimento de água. Nas companhias de saneamento, o combate às perdas é estruturado na forma de um programa, composto por ações estruturais e operacionais. Devem ser feitas análises específicas ou diagnósticos para definir as ações de combate e os locais a serem aplicados, para assim proporcionais os melhores resultados na redução das perdas ao longo dos anos (TARDELLI, 2015).

Nos próximos itens serão apresentadas algumas das principais ações de combate às perdas de água.

1.7.1 Gerenciamento da infraestrutura e melhoria da qualidade dos materiais

Um dos fatores fundamentais para o combate às perdas é o cadastramento preciso e atualizado das tubulações, permitindo o conhecimento das características da rede, como a localização de válvulas, tipos de materiais empregados, tempo de uso da tubulação e diâmetro. Toda tubulação tem uma vida útil, em torno de 50 anos, que depende da qualidade do material utilizado, das condições do solo, da mão de obra que executou os serviços e da proteção contra corrosão, quando utilizadas tubulações metálicas (TSUTIYA, 2014).

De acordo com Tardelli (2015), o gerenciamento da infraestrutura deve, no mínimo, garantir a qualidade dos materiais, ferramentas e equipamentos, assim como garantir mão de obra qualificada e uma implantação da infraestrutura de qualidade. Além disso, analisar o histórico de problemas e renovar a tubulação nos pontos críticos.

A escolha dos materiais é uma ação básica, porém de suma importância, pois quando negligenciada, é a origem de problemas permanentes na operação do SAA. As complicações que envolvem materiais estão relacionadas, principalmente, aos tubos e acessórios da rede de distribuição e reservatórios. São decorrentes da má qualidade dos materiais, da má especificação, sendo utilizados de forma inadequada para determinada condição operacional, ou ainda relacionados a problemas de manuseio, transporte e armazenamento (TSUTIYA, 2014).

Tsutiya (2014) também destaca que o processo de qualificação dos materiais ultrapassa o âmbito exclusivo da companhia de saneamento, estendendo-se principalmente ao setor produtivo e as entidades normativas. Tratam-se de medidas de carácter preventivo em prol da redução das perdas reais de água.

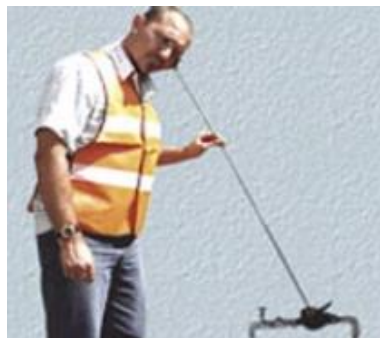
1.7.2 Controle ativo dos vazamentos

Alguns tipos de vazamentos são facilmente identificados pois afloram na superfície, porém existem aqueles não-visíveis, que necessitam de técnicas mais aprimoradas para detecção. O controle ativo dos vazamentos consiste em localizar os vazamentos não-visíveis existentes através de métodos acústicos de pesquisa (TSUTIYA, 2014). A companhia deve possuir uma equipe capacitada e engajada para a realização do serviço, fazer um estudo criterioso para a priorização de áreas com utilização de mapas temáticos e vazão mínima noturna, assim como possuir tecnologias de pesquisa de vazamentos adequadas para a identificação dos vazamentos (TARDELLI, 2015).

Segundo Tsutiya (2014), os tipos de equipamentos utilizados são:

- a) Haste de Escuta: composto de um amplificador mecânico ou eletrônico, acoplado a uma barra metálica, a fim de detectar ruídos de vazamento de água em acessórios da rede. Este equipamento não localiza o vazamento, apenas indica sua existência nas proximidades. Na Figura 3 observa-se o equipamento.

Figura 3 - Haste de escuta mecânica



Fonte: Gonçalves e Alvim, 2007.

- b) Geofone: é um detector acústico composto de sensor, fones de ouvido, amplificador e filtros de ruído, com o objetivo de identificar o ruído do vazamento a partir da superfície do solo. O ponto de maior intensidade do ruído indica que

o vazamento encontra-se logo abaixo. Na Figura 4 observa-se um geofone eletrônico.

Figura 4 - Geofone eletrônico



Fonte: Gonçalves e Alvim, 2007.

- c) Correlacionador de ruídos: equipamento acústico, composto por processador, pré-amplificadores e sensores, que indica a posição do vazamento entre dois pontos de uma tubulação, conforme Figura 5. Normalmente utilizado em locais onde o uso do geofone é difícil ou para confirmar algum apontamento.

Figura 5 - Correlacionador de ruídos



Fonte: Gonçalves e Alvim, 2007.

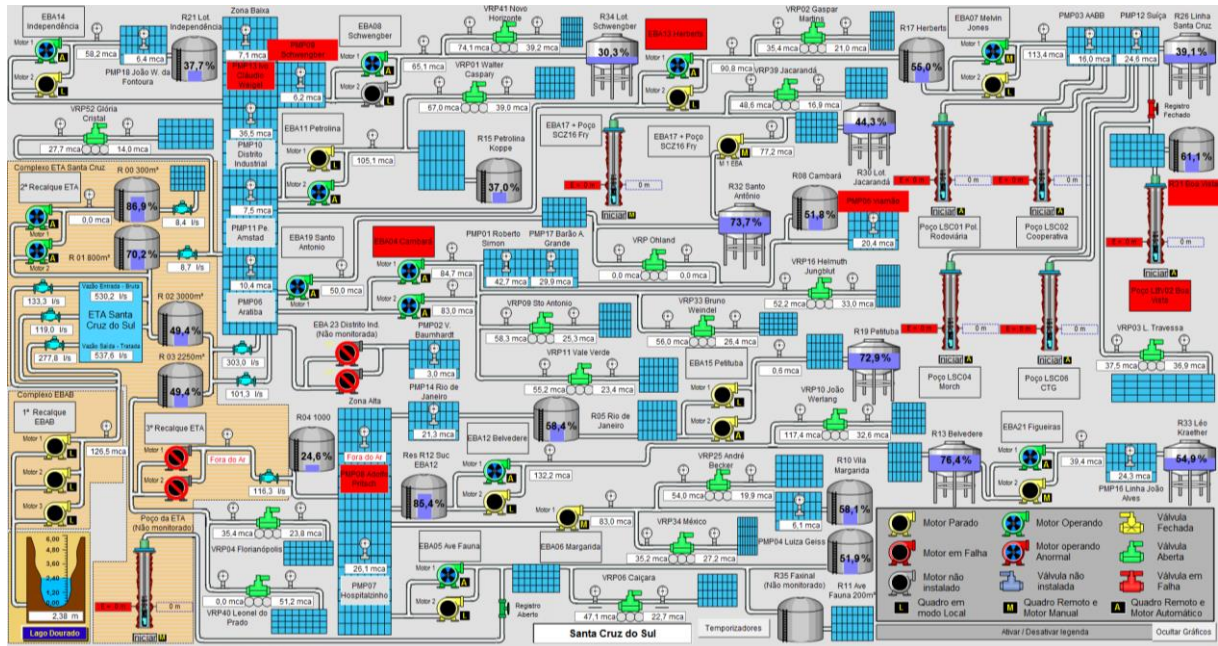
A ação de controle ativo exige um planejamento de pesquisa, normalmente são priorizadas áreas com registros históricos de vazamentos, pressões elevadas ou idade das redes. Outro método utilizado é a análise das vazões médias e mínimas

noturnas, que são um forte indicador de vazamentos. Assim, após a definição da área de pesquisa verifica-se a pressurização da rede, que não deve ser superior a 15 mca. Inicialmente utiliza-se a haste de escuta para a identificação de pontos suspeitos, após utiliza-se o geofone para identificar onde o ruído torna-se mais intenso, e a determinação exata do ponto pode ser feita com o correlacionador de ruídos. A confirmação final é feita com uma barra de perfuração, onde é possível constatar a fuga de água (TSUTIYA, 2014).

1.7.3 Rapidez e qualidade nos reparos

A qualidade da mão de obra responsável por executar os reparos no sistema de distribuição é fundamental para o controle das perdas de água. É imprescindível que o tempo entre o conhecimento do vazamento e a execução do reparo seja o menos possível. Tardelli (2015) prevê como medidas mínimas de combate às perdas de água que a companhia de saneamento possua um canal de atendimento telefônico para reclamações e comunicação de vazamentos, que o prazo para o reparo do vazamento seja compatível com a realidade da empresa e que a forma de atuação seja diferenciada por modalidade, como ramal e rede. No entanto, o desejável seria que a companhia responsável pelo abastecimento tivesse sistemas informatizados e integrados para acatamento, programação e controle da execução dos vazamentos, controle tecnológico dos serviços executados e exigisse certificação profissional para execução dos serviços. O monitoramento do sistema é feito no centro de controle operacional (CCO), conforme visto na Figura 6.

Figura 6 - Centro de controle operacional de Santa Cruz do Sul/RS



Fonte: autora, 2020.

Segundo Tsutiya (2014), além de um projeto bem elaborado, bons materiais e equipamentos, a mão de obra qualificada é de extrema importância. Assim sendo, para a adequada qualificação dos profissionais, são necessários o treinamento da mão-de-obra e a certificação profissional. O treinamento pode ser feito na própria companhia de saneamento ou em outro local, onde os profissionais são treinados para executar os serviços específicos, contemplando os passos do procedimento, operação de equipamentos, utilização de ferramentas e código de postura profissional. Já para a certificação profissional exige-se a aprovação em exames teóricos e práticos promovidos por entidades vinculadas a um sistema nacional de certificação.

1.7.4 Controle de pressão

Cada sistema de abastecimento possui características próprias e deve ser analisado individualmente, por isso não existe solução padrão quando se trata da gestão da pressão. Cabe à companhia de abastecimento garantir a adequação das pressões da rede em valores compatíveis com a boa operação do sistema de distribuição, sem potencializar a ocorrência e as vazões dos vazamentos.

A pressão de serviço na rede de distribuição de água é o parâmetro operacional mais importante na vazão dos vazamentos e na frequência de sua ocorrência. A elevação da pressão de serviço nas redes de distribuição tem efeito duplo na quantificação dos volumes perdidos, pois além de aumentar a frequência de arrebentamentos, aumenta a vazão dos vazamentos (TSUTIYA, 2014, p. 471).

No Brasil a NBR 12.218 (ABNT, 2017) estabelece que a pressão estática máxima nas tubulações deve ser de 500 kPa e a pressão dinâmica mínima de 100 kPa, sendo assim, os sistemas devem operar acima dos níveis mínimos para garantir o fornecimento aos consumidores, porém os níveis máximos não devem ser excedidos, pois a pressão excessiva aumenta o volume de água perdido, assim como influencia no aumento do número de vazamentos (SOUSA, 2017). O gerenciamento das pressões pode ser feito através de válvulas redutoras de pressão, *boosters* e setorização.

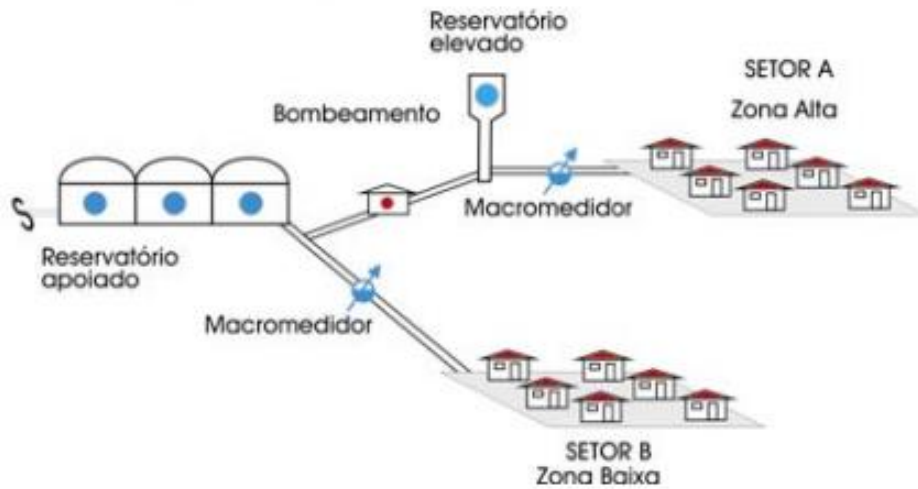
1.7.4.1 Setorização da rede

Devido à grande extensão dos sistemas de abastecimento de água, necessita-se fazer a compartimentação da rede de distribuição, através da instalação e manuseio de registros, a fim de delimitar uma área onde procura-se ter um perfeito controle de todas as variáveis, como: volumes disponibilizados à distribuição, vazões mínimas noturnas, plano piezométrico ao longo do dia, qualidade da água distribuída, volumes consumidos pelos clientes e consumos sociais (TSUTIYA, 2014).

De acordo com Tsutiya (2014), essa compartimentação denomina-se “setorização”, onde cada setor possui características próprias que serão monitoradas, avaliadas e mantidas ou ajustadas. Segundo Fontana, M. E. et al. (2013), a setorização facilita qualquer atividade de manutenção necessária na rede, além de atingir um número menor de unidades de consumo. Quanto menor o setor, menores são as chances da ocorrência de interrupções no abastecimento de água.

A concepção de setores de abastecimento leva em consideração as zonas de influência das principais unidades que atendem o setor, como reservatórios, elevatórias, *boosters*, entre outros. Além disso, leva-se em conta, principalmente, as condições topográficas e o perfil dos consumidores (MOTTA, 2010). Na Figura 7 está representado um esquema de setorização em sistemas de distribuição de água.

Figura 7 - Setorização em sistemas distribuidores de água



Fonte: Gonçalves e Alvim, 2007.

“O setor de abastecimento clássico pode ser definido a partir de um ponto de entrega de volumes de água, que pode ser um reservatório de regularização ou uma derivação de adutora (TSUTIYA, 2014, p. 488)”. Já o segundo nível da setorização é definido pelo Zoneamento Piezométrico, em geral divide-se em “zona alta” e “zona baixa” e o terceiro nível é representado pelos *boosters* e pelas válvulas redutoras de pressão (TSUTIYA, 2014).

1.7.4.2 Válvulas redutoras de pressão (VRP)

A Norma Técnica Interna da SABESP, NTS 299 (2016) define válvula redutora de pressão como:

Equipamento mecânico, auto - operado hidráulicamente com circuito de comando hidráulico, com a função de regular a pressão a jusante em área definida de um setor de distribuição de água, com vistas a reduzir a magnitude e o surgimento de vazamentos, bem como manter a integridade das tubulações, atendendo necessidades de pressão e vazão adequadas ao abastecimento (NTS 299:2016).

As válvulas redutoras de pressão são equipamentos responsáveis por reduzir a pressão nas tubulações, ajustando-a a valores preestabelecidos. Na Figura 8 observa-se uma VRP de ação direta, ou seja, a pressão da água antes do ponto de instalação é reduzido para um valor desejado após ele. Isso ocorre independente da vazão, sendo assim, a pressão a jusante da válvula será constante conforme definido. Já na Figura 9 está representada uma VRP do tipo piloto, que reduz a pressão de entrada a

uma pressão de saída constante, independente das variações normais de vazão e pressão do sistema.

Normalmente o controle da pressão é feita por meio de reservatórios ou por caixas de quebra-pressão, porém, existem locais que estes tipos de soluções não são viáveis, então, utilizam-se válvulas redutoras. Estes equipamentos podem ser instalados na própria via pública e normalmente são utilizados em regiões topograficamente muito acidentadas (HELLER E PÁDUA, 2016).

A utilização de VRP no setor pressupõe a criação de um subsetor perfeitamente definido pelo fechamento de registros limítrofes, em condições de operação que assegurem a estanqueidade da área (TSUTIYA, 2014, p. 499).

Figura 8 - VRP de ação direta



Fonte: <<https://thorusengenharia.com.br/blog/valvula-redutora-de-pressao-o-que-e-como-funciona-aonde-usar-como-escolher-como-dimensionar-exemplos/>>.

Figura 9 - VRP tipo piloto



Fonte: <<https://thorusengenharia.com.br/blog/valvula-reduzora-de-pressao-o-que-e-como-funciona-aonde-usar-como-escolher-como-dimensionar-exemplos/>>.

1.7.4.3 Boosters

Normalmente os *boosters* são utilizados para solucionar problemas a curto prazo. Quando associados com VRP, é possível otimizar o zoneamento piezométrico, utilizando ao máximo o poder de redução de pressão de uma válvula redutora de pressão, além disso, reforçando os pontos mais altos que poderiam apresentar pressões muito baixas ou totalmente despressurizados. No entanto, a utilização de *boosters* aumenta a necessidade de gerenciamento e controle. (TSUTIYA, 2014).

Atualmente os *boosters* contam com variadores de velocidades (hidrocinético ou inversor de frequência) que mantêm estável a pressão de saída, para qualquer vazão a jusante e pressão a montante. A regulagem da pressão de saída é fator importante na operação desses equipamentos, pois excessos de pressão acarretarão maiores perdas reais (TSUTIYA, 2014, p. 502).

1.7.4.4 Distrito de Medição e Controle (DMC)

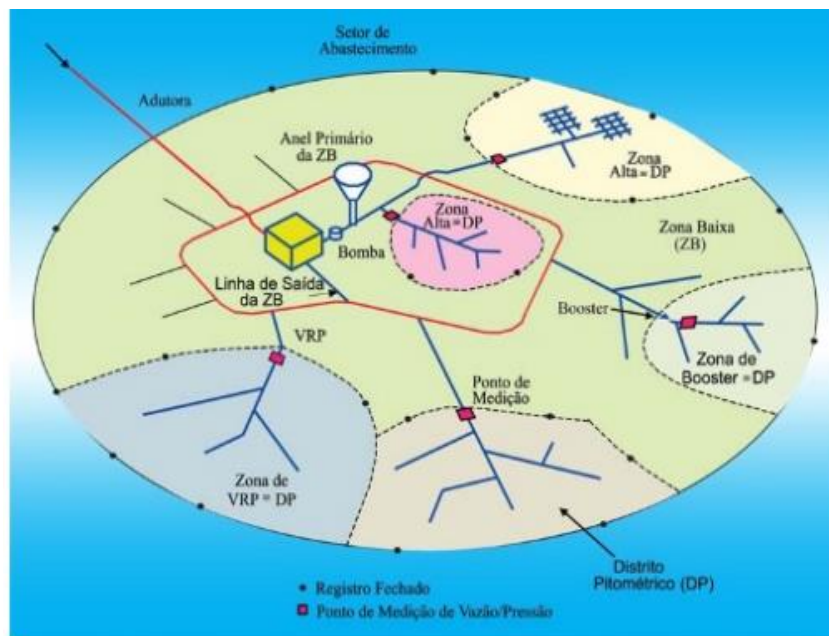
A NBR 12.218 (ABNT, 2017) define setor de manobra como “menor subdivisão da rede de distribuição, cujo abastecimento pode ser isolado, sem afetar o abastecimento do restante da rede”. Além disso, a norma técnica define que setor de medição é uma parte da rede de distribuição delimitada e isolável, com o intuito de acompanhar a evolução do consumo e avaliar as perdas de água.

De acordo com Motta (2010), os critérios da NBR 12.218 (ABNT, 2017) são insuficientes quando o foco é o controle das perdas. Para o autor, os DMCs são áreas

de medição e controle perfeitamente delimitadas e isoladas. Um setor de abastecimento pode ser fragmentado em diversos distritos desde que as condições da rede de distribuição permitam, sem prejudicar o abastecimento.

No livro “*Abastecimento de Água*” de Tsutiya (2014), o autor refere-se aos distritos pitométricos, que são áreas de medição e controle. O tamanho médio da área deve corresponder de 1.000 a 5.000 ligações, ser estanque e possuir um ponto para medição de vazão e pressão na entrada (TSUTIYA, 2014). Na Figura 10 observa-se o esquema geral das áreas de controle de perdas.

Figura 10 - Esquema geral de DMC



Fonte: Tsutiya, 2014.

Segundo Tardelli Filho (2006), áreas controladas por VRP ou *boosters* já caracterizam um distrito de medição e controle, pois são áreas estanques e com uma entrada associada a um medidor de vazão e pressão.

1.8 Sistemas de simulação hidráulica

O funcionamento de um sistema de abastecimento de água pode ser compreendido pela análise de fatores físicos e hidráulicos. Em relação aos fatores físicos, seu funcionamento pode ser avaliado por meio da ocorrência de vazamentos, rompimentos e entupimentos. Tratando-se dos fatores hidráulicos, seu desempenho

é avaliado em relação a distribuição das vazões e pressões, ou seja, se é capaz de fornecer pressão suficiente para atender a demanda dos consumidores, ou que não apresente pressões excessivamente elevadas, causando possíveis danos às tubulações e causando desperdícios. Por se tratarem de grandezas que variam muito em função da demanda de água, as pressões e vazões são difíceis de serem quantificadas. Assim sendo, os modelos de simulação hidráulica são utilizados para simular o comportamento de uma rede de abastecimento de água (BEREGULA, 2018).

De acordo com Coelho et al. (2006), de maneira geral as deficiências de um sistema de abastecimento não são perceptíveis de forma direta, normalmente a companhia responsável observa sintomas como falta de água, falta de pressão, elevado volume de perdas, surgimento de água na superfície do solo ou alterações da coloração da água. Sendo assim, torna-se difícil o diagnóstico através da inspeção direta, sendo necessários instrumentos de modelação e análise.

O modelo de simulação hidráulica é composto por um conjunto de dados das características físicas e operacionais e das solicitações de consumo, um conjunto de equações matemáticas que reproduzem o comportamento hidráulico do sistema e algoritmos numéricos para a resolução do conjunto de equações (COELHO et al., 2006). Os resultados obtidos nem sempre representam o real comportamento do sistema, pois ainda que projetados com cuidado, é impossível incorporar todas as variáveis que influenciam no comportamento hidráulico. Para minimizar estes problemas, são utilizados modelos empíricos para calibrá-los, ou seja, reduzir o erro do valor estimado e o valor experimental medido em campo por meio de equipamentos (BEREGULA, 2018).

Sistemas de abastecimento de água sempre envolvem altos valores de investimento, dessa forma, os simuladores mostram-se extremamente importantes tanto na parte de projeto quanto do diagnóstico de funcionamento, pois permite antecipar os problemas e as soluções podem ser avaliadas antes de os investimentos serem feitos (COELHO et al., 2006). Dentre os principais modelos de simulação podemos citar o Hidrocad, Epanet, Watercad e Strumap. Para elaboração do presente trabalho será utilizado o programa Epanet 2.0, por se tratar do programa de modelagem hidráulica e de qualidade de água mais empregado no mundo, apresentar dados confiáveis e ser disponível gratuitamente.

1.9 EPANET 2.0

Desenvolvido pela U.S. Environmental Protection Agency (EPA), o software Epanet 2.2 é um simulador hidráulico e de qualidade da água, que permite ao usuário fazer simulações estáticas e dinâmicas em redes de distribuição pressurizadas. A versão do programa em português, é uma iniciativa do Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento (LENHS), do centro de tecnologia da Universidade Federal da Paraíba (UFPB). Esta elaboração da versão brasileira só foi possível pois o programa é disponibilizado livremente (ROSSMAN, 2000).

De acordo com o Manual Online Epanet 2.0 disponibilizado pela EPA, o software possui um conjunto de ferramentas de cálculo para a simulação hidráulica, como:

- Tamanho ilimitado da rede a ser analisada;
- O cálculo da perda de água utiliza das fórmulas de Hazen-Williams, Darcy-Weisbach ou Chezy-Manning;
- Considera as perdas de carga singulares nas curvas, alargamentos, estreitamentos, entre outros equipamentos;
- Modelagem de bombas de velocidade constante ou variável;
- Cálculo da energia e custo de bombeamento;
- Modelagem dos principais tipos de válvulas;
- Modelagem de reservatórios;
- Múltiplas categorias de demanda nos nós, cada uma com um padrão próprio de variação no tempo;
- Modelagem da demanda orientada por pressão nos nós;

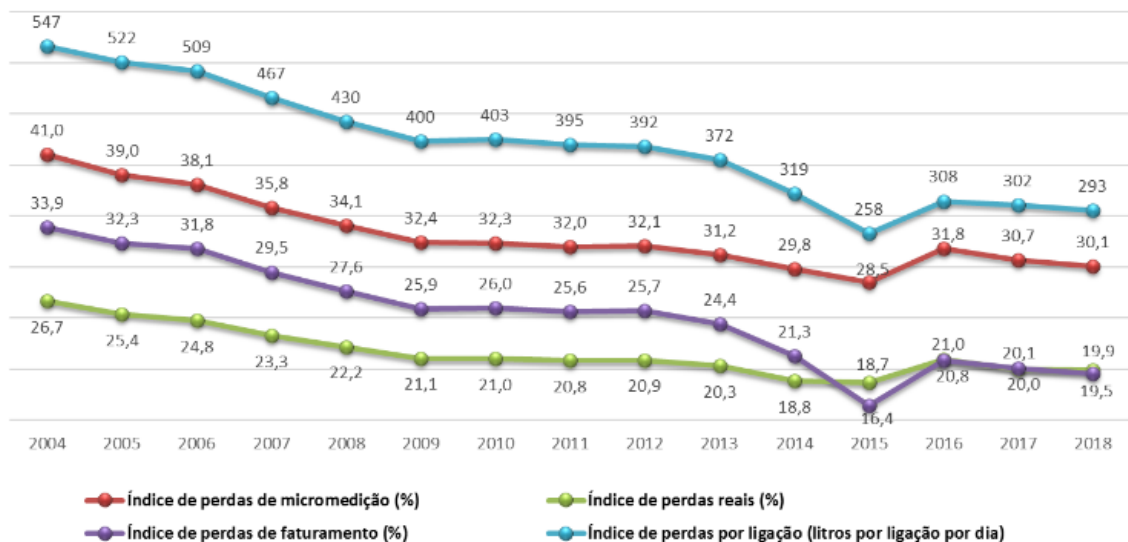
1.10 Exemplos de casos de sucesso no combate às perdas de água

A Sabesp, considerada uma das maiores empresas de saneamento do mundo em população atendida, é responsável pelo fornecimento de água, coleta e tratamento de esgotos em 371 municípios do Estado de São Paulo. De acordo com o Portal do Governo de SP, em 2007 a Sabesp reduziu a produção de água em 800 litros por segundos nas estações de tratamento de água, sem racionamento nem rodízio (SABESP, 2019).

Essa redução foi possível pois algumas ações de combate às perdas foram adotadas, como: gerenciamento de pressões a partir da setorização dos sistemas de distribuição de água, incluindo a instalação de VRPs em áreas com pressões elevadas, varreduras para localização de vazamentos não visíveis, reparo dos vazamentos, renovação da infraestrutura, obras de adequação dos setores de abastecimento, de modo a otimizar a operação e manutenção, substituição de hidrômetros e caça-fraude. Em 2009 a Companhia implantou um programa de longo prazo, com horizonte até 2021, a fim de intensificar os esforços para alcançar a maior eficiência operacional. O investimento total neste Programa está previsto para R\$ 7 bilhões (SABESP, 2019).

Sabe-se que a pressão está diretamente relacionada com a quantidade e intensidade dos vazamentos em um sistema de abastecimento de água, sendo assim, a redução da pressão é de suma importância para reduzir as perdas no SAA, como é possível observar no Figura 11, que apresenta o histórico das perdas da Sabesp entre 2004 e 2018 (SABESP, 2019).

Figura 11 – Histórico do índice de perdas Sabesp



Fonte: Sabesp, 2019.

Nota-se que entre 2004 e 2018 houve diferença de 6,8% no índice de perdas reais e 10,9% no índice de perdas de água na micromedição. O Programa objetiva atingir, até 2020, um indicador relativo à micromedição de 29,3%, que corresponde a um nível de perdas reais em torno de 18,9% (SABESP, 2019).

Outro exemplo de sucesso no combate às perdas é a Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (Caesb), que implantou o Programa de Controle e Redução de Perdas, que consiste na substituição de hidrômetros e redes antigas de água, setorização da distribuição, controle ativo de vazamentos, além da instalação de válvulas redutoras de pressão, investimento no valor de R\$ 170 milhões. No início do programa, em janeiro de 2015, o índice de perdas, que em média era de 391 litros por ramal/dia, reduziu para 370 litros por ramal/dia, em abril de 2017, ou seja, uma redução de 21 litros por ramal/dia, sendo que cada ramal corresponde a uma ligação de imóvel (BRASÍLIA, 2017).

1.11 Caracterização do Sistema de Abastecimento de Água do Município de Santa Cruz do Sul

O município de Santa Cruz do Sul localiza-se no Vale do Rio Pardo, na encosta inferior do nordeste do Estado do Rio Grande do Sul, conforme visto na Figura 12. Segundo o último levantamento do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2017), o município conta com 118.374 habitantes. De acordo com o Diagnóstico do Sistema de Abastecimento Água e Esgoto do Município de Santa Cruz do Sul, publicado em 2018, a cidade possui 40.540 domicílios registrados, sendo que 91,37% possuem abastecimento de água.

Figura 12 - Localização Santa Cruz do Sul



Fonte: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Santa_Cruz_do_Sul>.

O serviço de abastecimento de água de Santa Cruz do Sul é prestado pela Companhia Riograndense de Saneamento - CORSAN, desde meados de 1952. A região urbana é administrada pela CORSAN e a região rural pelo Departamento de Recursos Hídricos Municipais (DEMURH), porém existe uma pequena parcela da população que é atendida por Soluções de Abastecimento Individuais (SAI), que é feito através de poços, nascentes e água da chuva.

O município está inserido na sub-bacia hidrográfica do Rio Pardo, pertencente a bacia hidrográfica do Rio Jacuí, integrante da região hidrográfica do Guaíba. O abastecimento de água urbano utiliza captação superficial no Rio Pardinho e captação subterrânea através de poços profundos. A captação de água superficial é realizada a montante do município e aduzida para a barragem de acumulação, chamada de Lago Dourado, que ocupa uma área de 90 hectares. A estação elevatória de água bruta é formada por três conjuntos motor bomba, sendo dois conjuntos em paralelo para a vazão máxima de operação e um conjunto para situações de baixa vazão. A CORSAN possui uma estação de tratamento de água do tipo convencional com capacidade máxima de 540 l/s, localizada na Rua Pedreira, nº 17, Bairro Pedreira (HYDROBRASIL, 2018).

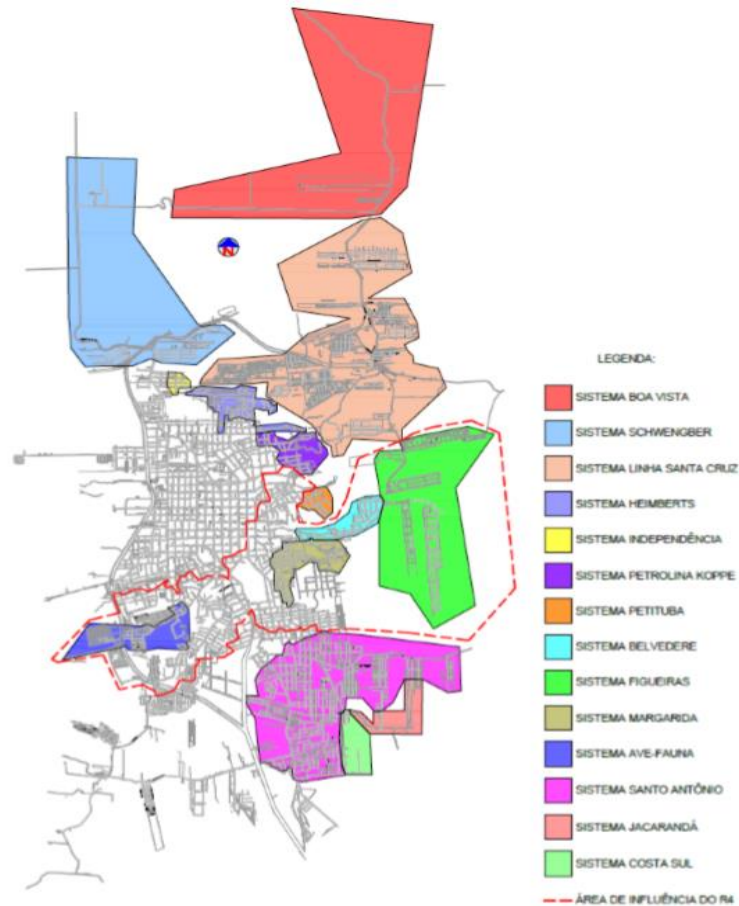
De acordo com o diagnóstico operacional da ETA apresentado na *Etapa III – Etapa final do plano de saneamento básico de Santa Cruz do Sul* (2018), nas condições atuais de perdas de água, a Estação de Tratamento está trabalhando no limite da capacidade, o que pode comprometer a quantidade e qualidade da água produzida. Além disso, a ETA opera 24 horas por dia, o que pode gerar prejuízos ao abastecimento, tendo em vista que a limpeza de filtros, alterações de tratamento, entre outras variáveis são necessárias para o seu funcionamento (SANTA CRUZ DO SUL, 2018).

A Companhia conta com 29 reservatórios, sendo 17 de médio e grande porte, 2 desativados e 10 de pequeno porte. Atualmente, o volume total de reservação é de 11.229m³ e a rede de distribuição possui 665.783 metros de tubulação. Segundo o *Diagnóstico do Sistema de Abastecimento Água e Esgoto* (2018), cerca de 83,14% das redes de distribuição são de PVC com diâmetro variando de 32 mm até 250 mm, sendo a maior parte de 50 mm (HYDROBRASIL, 2018).

1.11.1 Setorização do SAA de Santa Cruz do Sul/RS

Para melhor controle do sistema, a cidade está dividida em 15 setores mais a área central, conforme Figura 13.

Figura 13 - Setorização do sistema



Fonte: HydroBrasil, 2018.

A área central, chamada de zona baixa, é abastecida por gravidade a partir dos reservatórios da ETA. Já as regiões mais altas formam os setores representados na Figura 13, necessitando de recalque com elevatórias de distribuição em marcha e apoio de reservatórios de jusante. Dentro dos setores existem diferentes zonas de pressão formadas pela subsetorização feita com VRPs. Além disso, os setores possuem estanqueidade entre si, havendo opção de manobras entre setores adjacentes, caso ocorra algum problema operacional (SANTA CRUZ DO SUL, 2018).

O SAA conta com um Centro de Controle Operacional (CCO) que permite monitorar os principais reservatórios e elevatórias, assim como controlar o

acionamento das bombas. De acordo com o *Diagnóstico do Sistema de Abastecimento Água e Esgoto*, atualmente no CCO é possível fazer o controle de nível de 21 reservatórios, controle ativo de 17 elevatórias e 7 poços, assim como, monitoramento passivo de 16 pontos de pressão na rede e 21 válvulas redutoras de pressão (HYDROBRASIL, 2018).

Como já mencionado, a cidade de Santa Cruz do Sul está inserida em uma região de relevo com grandes diferenças de nível, necessitando fazer uso de diversas elevatórias. O uso de elevatórias produz pressões muito elevadas nas regiões mais baixas para que a água atinja os pontos mais altos. Na Tabela 1 é possível observar o número de ligações, a pressão média e a pressão no ponto crítico de cada setor, entre dezembro de 2017 e março de 2018.

Tabela 1 - Pressões médias por setor

Setor	Ligações	Pressão média ponto crítico (mca)	Pressão média (mca)
Zona Baixa - Centro	20.432	17	27
Zona Média - R4	7.800	22	53
Cambará (Costa Sul)	156	16	33
Ave Fauna	484	32	44
Margarida	916	16,7	65
Linha Santa Cruz	1.232	21	35
Schwengber	553	25	44
Petrolina	414	29	63
Belvedere	320	26	70
Herberts	567	19	35
Independência	216	12	58
Petituba	52	25	53
Jacarandá	262	20	54
Santo Antônio	4.797	35	50
Figueiras	220	20	38
Dist. Industrial	260	16	38
Boa Vista	120	23	38
Total ligações	38.801		
Pressão média no sistema		20,91	38,12

Fonte: adaptado de HydroBrasil, 2018.

No diagnóstico realizado, nota-se que a pressão nos pontos críticos, ou seja, nos pontos mais altos de cada setor, não ultrapassa 50 mca, conforme recomendado pela NBR 12.218 (ABNT, 2017), no entanto na pressão média é extrapolada em diversos

setores, como: Zona Média – R4, Margarida, Petrolina, Belvedere, Independência, Petituba e Jacarandá. Nesses pontos faz-se necessária a instalação de dispositivos que controlem a pressão (HYDROBRASIL, 2018).

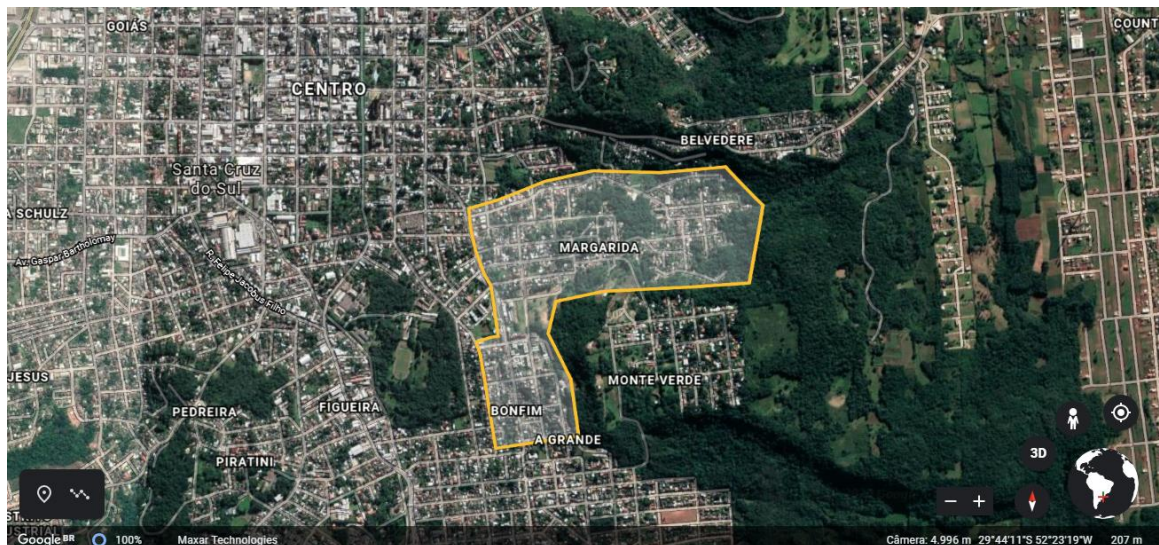
3 METODOLOGIA

Com base na revisão bibliográfica, a metodologia proposta para o respectivo estudo teve a finalidade de identificar um setor crítico do sistema de abastecimento de água do Município de Santa Cruz do Sul, avaliar a rede de distribuição e o atual comportamento das pressões, vazões e velocidades através de simulação com o *software* Epanet 2.0. Tendo por finalidade comparar os resultados obtidos no programa com os dados do Centro de Controle Operacional da CORSAN e também do o *Diagnóstico do Sistema de Abastecimento Água e Esgoto* realizado pela HydroBrasil em 2018, com o intuito de propor melhorias ao sistema.

1.12 Caracterização do Sistema Margarida

A partir da análise bibliográfica e do auxílio da companhia de abastecimento de água de Santa Cruz do Sul, definiu-se o Sistema Margarida como objeto de estudo de caso, por se tratar de um setor com pressões elevadas na rede de distribuição e também por existirem pontos de monitoramento, o que permite confrontar os dados existentes com a simulação no *software* Epanet 2.0. O sistema em estudo localiza-se na zona urbana do Município de Santa Cruz do Sul/RS e engloba os bairros Margarida e Bonfim, como ilustra a Figura 14.

Figura 14 - Delimitação Sistema Margarida

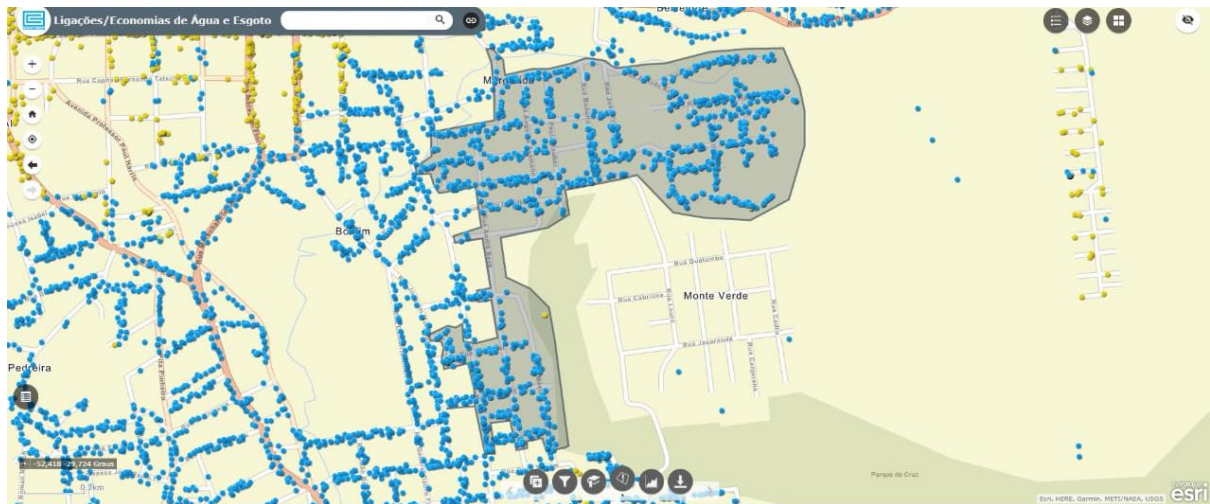


Fonte: adaptado Google Earth, 2020.

O sistema conta com um motor-bomba de recalque, duas válvulas redutoras de pressão e um reservatório jusante. Além disso, existe um ponto crítico, localizado na Rua Luiza Geiss, que é monitorado pelo Centro de Controle Operacional. A rede de distribuição do Sistema Margarida é formada por tubos de PVC, variando seus diâmetros de 32 a 100 mm, totalizando 13.239,95 metros de tubulação.

Na Figura 15 é possível visualizar a delimitação do Sistema Margarida a partir do programa georreferenciado da CORSAN, em que cada ponto em azul representa uma ligação de água. A partir desse recurso é possível reconhecer o número de economias de cada ligação, características do ramal, como o seu diâmetro e consumo de água, assim como o material e o diâmetro da rede.

Figura 15 - Pontos de ligação e delimitação do setor



Fonte: CORSAN, 2020.

De acordo com os dados disponibilizados pela CORSAN, a área de estudos é composta por 32 logradouros, totalizando 1.386 economias abastecidas, relacionadas no Quadro 2.

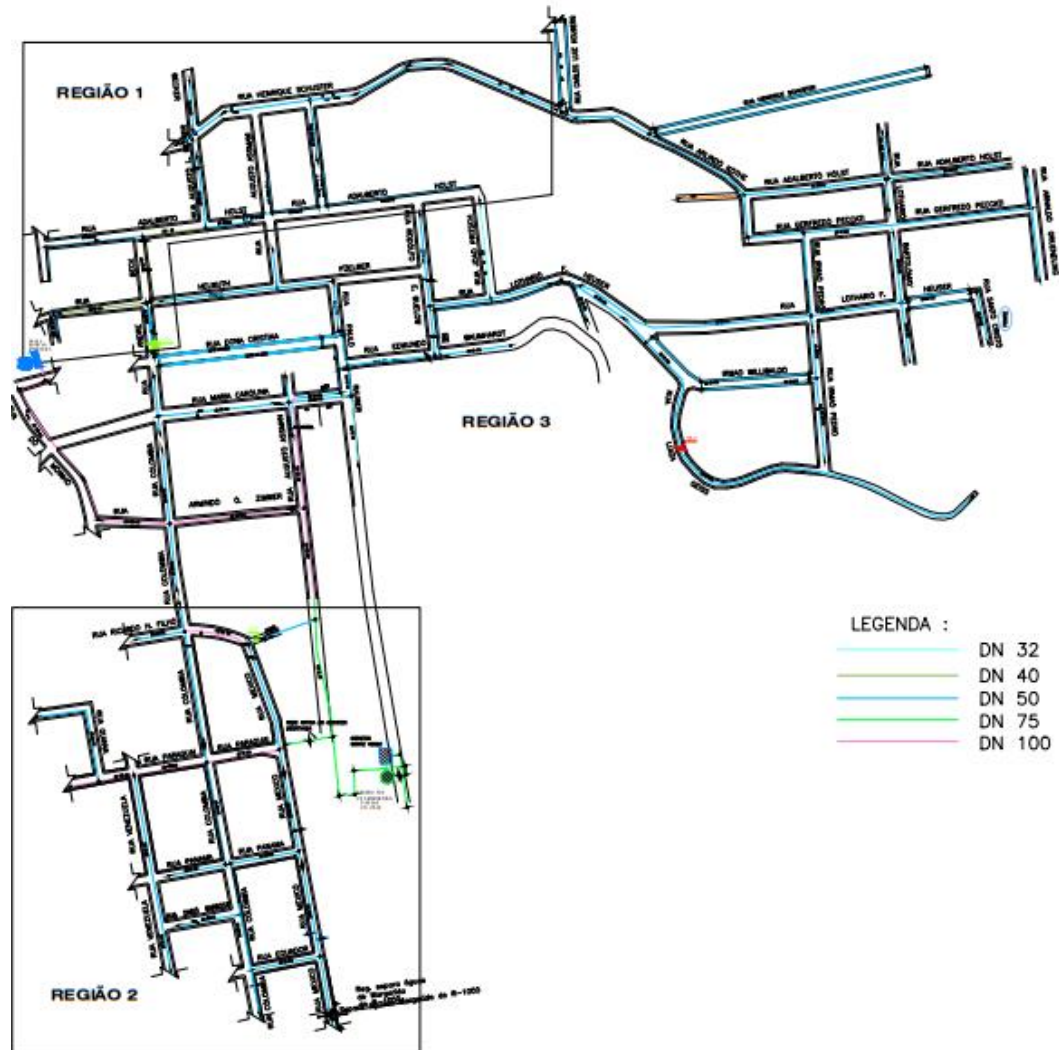
Quadro 2 - Relação de logradouros e economias do Sistema Margarida

Logradouro	Economias	Observação
Adalberto F. Holst	112	Toda a rua
André Beck	19	Toda a rua
Arlindo Gruending	11	Toda a rua
Arlindo Kothe	14	Toda a rua
Armindo Zimmer	47	Toda a rua
Augusto Assmann	18	Toda a rua
Augusto L. Becker	15	Toda a rua
Colômbia	234	A partir do nº 56
Dario Barbosa	10	Toda a rua
Dona Cristina	58	A partir do nº 76
Edmundo Baumhardt	28	Toda a rua
Equador	12	A partir do nº 240
Gerfredo Peccati	29	Toda a rua
Guiana	11	Toda a rua
Helmuth Fuelber	52	Toda a rua
Henrique Schuster	106	A partir do nº 372
Irmão Pedro	36	Toda a rua
Irmão Willibaldo	33	Toda a rua
João Pritsch	14	Toda a rua
Lothário Bartholomay	31	Toda a rua
Lothário F. Heuser	57	Toda a rua
Luiza Geiss	72	Toda a rua
Maria Carolina	24	Até o nº 200
México	46	A partir do nº 40
Panamá	19	A partir do nº 136
Paraguai	37	A partir do nº 35
Paulo Rauber	28	Toda a rua
Ricardo Hoffmann Filho	58	A partir do nº 155
Rodolfo E. Buelow	31	Toda a rua
Santo Cristo	7	Toda a rua
Venezuela	105	Nº 160 ao nº 647
Carlos Luiz Kolberg	12	Toda a rua
Total de economias		1.386

Fonte: autora, 2020.

Na Figura 16 pode-se observar o mapa do Sistema Margarida com a delimitação de três regiões, para facilitar a análise da rede de distribuição.

Figura 16 - Mapa Sistema Margarida



Fonte: autora, 2020.

1.12.1 Recalque Sistema Margarida e Reservatório R10

O recalque do Sistema Margarida está localizado na Rua Dona Cristina, nº 64, Bairro Margarida, com coordenadas de latitude $29^{\circ}43'33,37''S$ e longitude de $52^{\circ}25'15,72''O$. Denominado de EBA06, atualmente o recalque opera usando bombas submersas modelo BHS 517-11, da marca EBARA, de 40 CV de potência e com sistema de partida do tipo conversor de frequência, o que permite a variação da velocidade e vazão do grupo motor-bomba. O recalque opera variando a sua pressão de acordo com o consumo horário, sendo a vazão máxima de $50 \text{ m}^3/\text{h}$, para manter as condições de nível de reservação estabelecidas pelo Centro de Controle Operacional para atender o reservatório a jusante.

Denominado R10, o reservatório jusante do Sistema Margarida está situado na Rua Tarumã, nº 10, Bairro Monte Verde, coordenadas de latitude 29°43'52,21"S e longitude 52°24'56,93"O. O reservatório é do tipo apoiado, de concreto, com capacidade para armazenar 300 m³ de água.

A operação do motor-bomba está relacionada com o volume do reservatório. Quando este atinge 50% de sua capacidade, o motor opera com pressão aproximada de 136 mca e quando o reservatório atinge 85% da capacidade de reservação, o motor reduz a pressão para aproximadamente 118 mca. Assim, o recalque do Sistema Margarida opera 24 horas por dia, sendo desligado apenas para manutenção. Na Tabela 2 está representada a média mensal da pressão do recalque, em mca, e da reservação, em porcentagem. Destaca-se que esses valores médios foram obtidos a partir dos relatórios emitidos no Centro de Controle Operacional da CORSAN.

Tabela 2 - Média mensal de pressão no recalque e capacidade do reservatório

Mês	Pressão recalque (mca)	R10 (%)
Maio/19	119,5	56,8
Junho/19	122,3	60,3
Julho/19	120,8	59,9
Agosto/19	125,9	79,5
Setembro/19	125,1	76,8
Outubro/19	122,8	66,3
Novembro/19	128,3	73,9
Dezembro/19	128,2	64,88
Janeiro/20	127,7	70,0
Fevereiro/20	123,1	53,7
Março/20	124,3	71,5
Abril/20	125,5	56,8
Médias	124,46	65,87

Fonte: autora, 2020.

1.12.2 VRP 34 – México

Na Rua México, Bairro Bonfim, está localizada a válvula redutora de pressão, denominada VRP 34 – México. Trata-se de uma válvula redutora de pressão pilotada de 3 polegadas, ou seja, a pressão de entrada é reduzida a uma pressão de saída constante, independentemente das variações de vazão e pressão do sistema (THORUS ENGENHARIA, 2020). A VRP 34 –México conta com a tecnologia de ser

ajustada por *smartphone*. De acordo com a média do mês de abril de 2020, a pressão de entrada na válvula foi de 44,7 mca e a pressão de saída 25,1 mca, conforme relatório fornecido pelo CCO da CORSAN. Na Figura 17 pode ser observada a VRP 34 –México.

Figura 17 - VRP 34 México



Fonte: CORSAN, 2020.

1.12.3 VRP 25 – André Beck

Na Rua André Beck, próximo à esquina com a Rua Dona Cristina, Bairro Margarida, está instalada a válvula redutora de pressão, denominada VRP 25 – André Beck. Trata-se de uma válvula de 2 polegadas, de ação direta, isto é, a pressão da água antes do ponto de instalação é reduzida para um valor desejado, independente da vazão, logo, a pressão após a válvula será constante conforme determinado (THORUS ENGENHARIA, 2020). De acordo com os relatórios fornecidos pelo Centro de Controle Operacional no mês de abril de 2020, a pressão média a montante da VRP 25 foi de 68,4 mca e a vazão média jusante de 27,0 mca. Na Figura 18 pode-se observar a VRP 25 – André Beck.

Figura 18 - VRP 25 André Beck

Fonte: CORSAN, 2020.

1.12.4 Ponto crítico Luiza Geiss (PMP 04)

Como já mencionado no referencial teórico, a CORSAN através do Centro de Controle Operacional monitora o ponto mais alto de cada setor, melhor dizendo, o ponto crítico. Sendo assim, no Sistema Margarida, o ponto crítico denominado PMP 04 está localizado na Rua Luiza Geiss, Bairro Margarida. Na Tabela 3 é possível observar a média mensal da pressão nesse ponto, no período de maio de 2019 a abril de 2020. Cabe ressaltar que os dados foram obtidos a partir dos relatórios disponibilizados pela CORSAN.

Tabela 3 - Pressão média no PMP 04

(continua)

Mês	Pressão média (mca)
Maio/19	13,913
Junho/19	12,613
Julho/19	11,890
Agosto/19	12,579
Setembro/19	13,941
Outubro/19	12,116
Novembro/19	10,865
Dezembro/19	8,1146

Tabela 3 – Pressão média no PMP 04
(conclusão)

Mês	Pressão média (mca)
Janeiro/20	8,6051
Fevereiro/20	10,533
Março/20	12,767
Abril/20	12,076
Pressão média	11,591

Fonte: autora, 2020.

1.13 EPANET 2.0

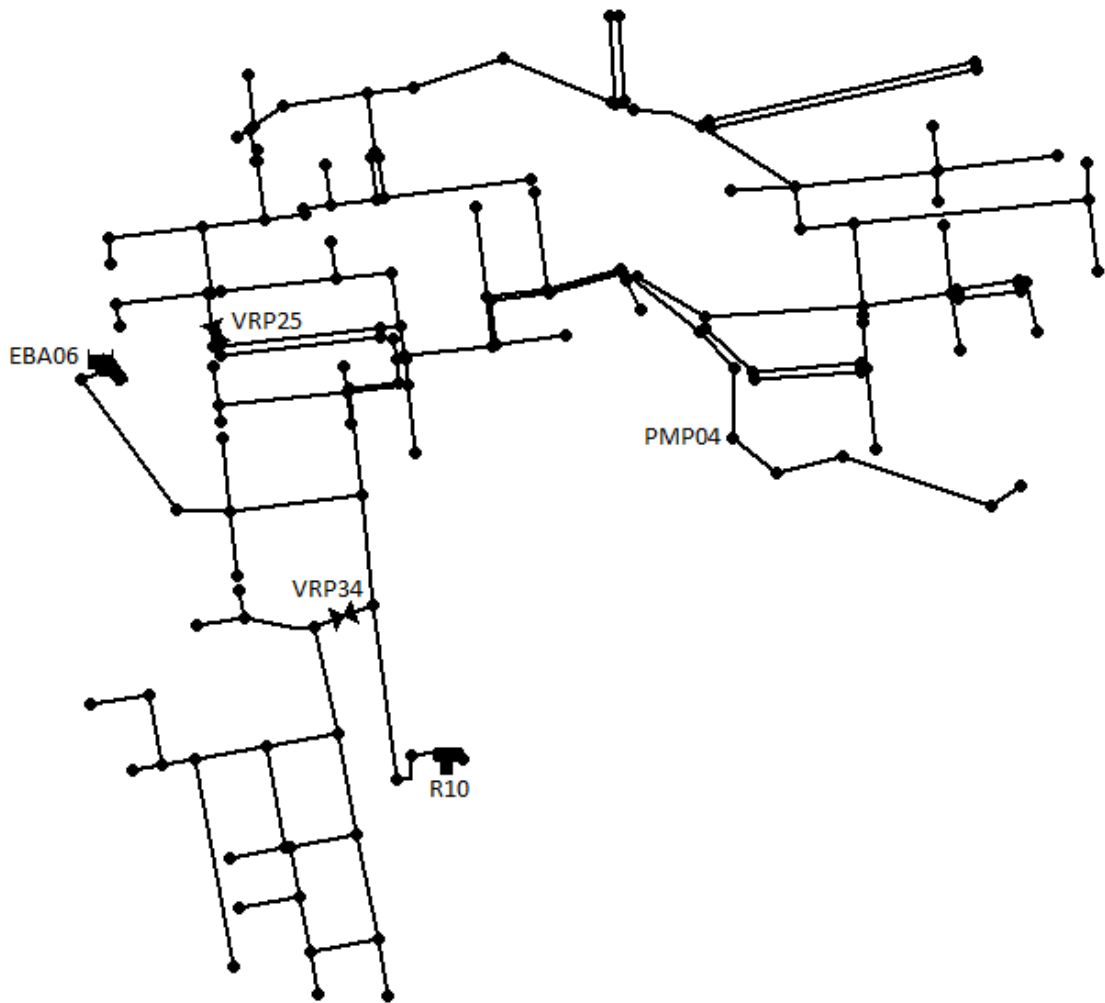
A simulação no *software* Epanet 2.0 é do tipo estática, ou seja, instantânea, prevendo o comportamento do sistema durante uma condição hipotética, que utilizará os valores médios obtidos a partir do levantamento de dados junto à Companhia Riograndense de Saneamento, para simular a situação atual do Sistema Margarida.

O *software* Epanet 2.0 modela o sistema de abastecimento de água a partir de um conjunto de trechos ligados a nós. Os nós simbolizam as conexões e reservatórios, já os trechos representam as tubulações, bombas e válvulas. Associados aos componentes físicos estão os componentes não-físicos, que permitem determinar o comportamento e os aspectos operacionais do sistema, como as curvas, padrões e controles (ROSSMANN, 2000). Cada componente utilizado para a modelagem do Sistema Margarida será apresentado de forma detalhada no decorrer do trabalho.

1.13.1 Parâmetros de entrada

A partir do mapa fornecido pela CORSAN, onde está representado todo o sistema de abastecimento de água de Santa Cruz do Sul, com a identificação dos diâmetros e materiais das tubulações, comprimentos, acessórios, válvulas, reservatórios, recalques e curvas de nível, pôde-se fazer o traçado do Sistema Margarida no *software* Epanet 2.0, conforme Figura 19.

Figura 19 - Sistema Margarida no software Epanet 2.0



Fonte: autora, 2020.

Como a área de estudos refere-se ao Sistema Margarida, isolou-se o mesmo do restante da rede de distribuição da cidade para fazer a simulação. Deste modo, entende-se como ponto inicial o recalque EBA06 e o ponto final o reservatório R10. Para iniciar a modelagem hidráulica é necessário definir algumas configurações pré-definidas, como a fórmula de Hazen-Williams para o cálculo da perda de carga e as unidades de medidas a serem adotadas, que podem ser observadas no Quadro 3.

Quadro 3 - Parâmetros gerais para o software Epanet 2.0

Parâmetro	Unidade
Carga hidráulica	m
Comprimento tubulação	m
Consumo	l/s
Cota	m
Diâmetro reservatório	m
Diâmetro tubulação	mm
Potência	kW
Pressão (Altura piezométrica)	mca
Velocidade	m/s

Fonte: autora, 2020.

1.13.1.1 Nós

Os nós representam o ponto de união entre os trechos, onde a água entra e sai da rede. No Quadro 4 estão indicadas as propriedades dos nós que foram utilizadas para modelagem do Sistema Margarida.

Quadro 4 - Propriedades dos nós

Propriedade	Descrição
Identificação do nó	Identificação conforme convenção da autora
Cota	Cota do terreno
Consumo-base	Calculado com base no consumo médio real por economia

Fonte: autora, 2020.

Conforme observado no Quadro 4, a cota dos nós foi determinada com base na cota do terreno, disponível no mapa fornecido pela CORSAN. Sabe-se que o sistema de abastecimento fornece água aos consumidores através dos ramais, no entanto, para representar essa vazão no modelo hidráulico, fez-se uma simplificação, associando o consumo de uma região a um nó. A partir do programa georreferenciado da companhia, fez-se a média de consumo real, por quatro meses, de todas ligações e economias do setor. A partir desse levantamento obteve-se o valor de $3,375 \times 10^{-3}$ l/s por economia.

As regiões foram determinadas de forma hipotética, uma vez que o número de economias por logradouro era conhecido, dividiu-se este número pela quantidade de trechos de cada logradouro, sendo assim, alguns nós recebem a influência de mais de uma região. A distribuição do consumo-base por nó pode ser verificada nos APÊNDICES A e B. Como consequência, o Epanet 2.0 fornece a carga hidráulica total e a pressão de cada nó, dentre outros resultados que não são pertinentes para a presente modelagem.

1.13.1.2 Tubulações

As tubulações têm a função de transportar a água dentro do sistema e esse escoamento ocorre sob pressão. Os dados convenientes foram obtidos através do mapa da rede disponibilizado pela CORSAN. No Quadro 5 observa-se as propriedades referentes às tubulações.

Quadro 5 - Propriedades das tubulações

Propriedade	Descrição
Identificados do trecho	Identificação conforme convenção adotada pela autora
Nó Inicial	Identificação do nó em que começa o trecho
Nó Final	Identificação do nó em que termina o trecho
Comprimento	Comprimento real da tubulação
Diâmetro	Diâmetro nominal
Rugosidade	Coeficiente de rugosidade, de acordo com o material utilizado

Fonte: autora, 2020.

Conforme o Manual do Epanet 2.0 (ROSSMAN, 2000), o diâmetro da tubulação a ser utilizado é o interno, no entanto, por falta de informações, adotou-se o diâmetro nominal em toda a rede de distribuição. Considerando que toda tubulação do Sistema Margarida é de PVC, e que o cálculo da perda de carga baseia-se na fórmula de Hazen-Williams, conforme Equação 1, adotou-se o coeficiente de rugosidade de 135 para toda tubulação, conforme (GIROL, 2019).

$$hf = 10,65 \times Q^{1,85} \times C^{-1,85} \times D^{-4,87} \quad \text{Eq. 1}$$

Como resultado da simulação, o Epanet 2.0 fornece os valores de vazão, velocidade, perda de carga por 1000 metros de tubulação, dentre outros itens que não serão abordados na pesquisa.

1.13.1.3 Recalque EBA06 e Reservatório de Nível Fixo (RNF)

Como já dito, o recalque EBA06 é considerado o ponto inicial do Sistema Margarida. De acordo com Rossman (2000), a bomba é o trecho que transfere energia para o escoamento através do aumento da altura manométrica. Os dados essenciais a serem inseridos no *software*, relativos ao motor-bomba, estão descritos no Quadro 6.

Quadro 6 - Propriedades relativas à bomba

Propriedade	Descrição
Identificador da bomba	Identificação conforme estabelecido pela CORSAN
Nó Inicial	Identificação do nó inicial do trecho em que a bomba está instalada
Nó final	Identificação do nó final do trecho em que a bomba está instalada
Curva da bomba	Combinação de valores de altura manométrica e vazão
Potência	Característica da bomba

Fonte: autora, 2020.

Conforme já mencionado, o recalque é feito através de bombas submersas modelo BHS 517-11, da marca EBARA, de 40 CV de potência, conforme curva característica no ANEXO A. Como a área de estudo é apenas uma fração de um sistema de abastecimento, para a correta modelagem hidráulica, é necessário utilizar um reservatório de nível fixo associado a bomba. Segundo Rossman (2000), os RNF são nós especiais utilizados para simular lagos, rios, estações de tratamento ou ligações a outros sistemas, como é o caso do Sistema Margarida, pois representam um volume de armazenamento de água de capacidade ilimitada e carga hidráulica constante. As propriedades a serem consideradas para representação de um RNF estão descritas no Quadro 7.

Quadro 7 - Propriedade do Reservatório de Nível Fixo

Propriedade	Descrição
Identificador do reservatório	Identificação conforme convenção da autora
Nível de água	Corresponde a linha piezométrica

Fonte: autora, 2020.

1.13.1.4 Reservatório de Nível Variado (RNF)

Diferente dos reservatórios de nível fixo, os de nível variado apresentam capacidade de armazenamento limitada e podem variar o volume de água ao longo da simulação. Os principais dados a serem inseridos estão descritos no Quadro 8.

Quadro 8 - Propriedades do Reservatório de Nível Variado

Propriedade	Descrição
Identificador do RNF	Identificação conforme determinação da CORSAN
Cota	Cota de fundo do RNF
Altura de água inicial	Altura de água considerada no momento da simulação
Altura de água mínima	Altura de água quando o reservatório está vazio
Altura de água máxima	Altura de água quando o reservatório está cheio
Diâmetro	Diâmetro interno

Fonte: autora, 2020.

De acordo com os dados obtidos junto à CORSAN, a cota de fundo do R10 é de 175 metros, podendo armazenar 300m³ de água e seu diâmetro interno é de 12 metros. Além disso, a partir dos relatórios observou-se que, em média, o reservatório R10 opera com 65,87% de sua capacidade de reservação. Considerando tratar-se de uma simulação estática, o RNF não sofrerá variações de armazenamento, sendo assim, considerou-se a altura de água inicial igual a altura relativa a reservação média do reservatório, conforme pode ser analisado na Tabela 4.

Tabela 4 - Relação de volume e altura de água do R10

Volume (m ³)	Capacidade (%)	Altura de água (m)
300	100	2,65
197,61	65,87	1,75

Fonte: autora, 2020.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção serão apresentados os resultados encontrados a partir do *software* Epanet 2.0, a fim de compará-los com os dados fornecidos pela concessionária e também no *Diagnóstico do Sistema de Abastecimento Água e Esgoto* realizado pela HydroBrasil em 2018. Destarte, propor sugestões que melhorem o funcionamento do Sistema Margarida.

1.14 Resultados obtidos através do *software* Epanet 2.0

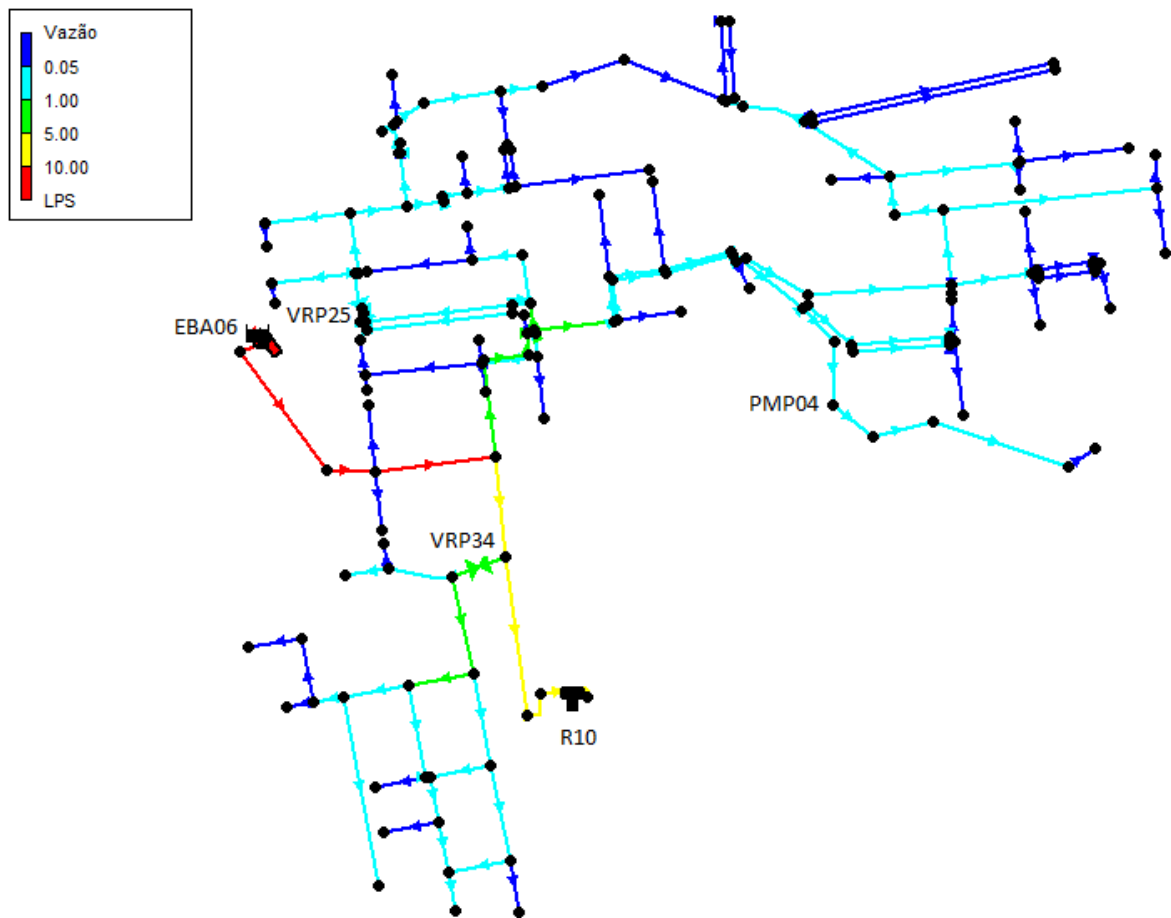
O Sistema Margarida é constituído por aproximadamente 13.239,95 metros de tubulação de PVC, com diâmetros de 32, 40, 50, 75 e 100 milímetros, sendo a maior parte de 50 milímetros. Como já mencionado no decorrer do trabalho, o sistema de distribuição de água de Santa Cruz do Sul apresenta grandes desafios em decorrência do relevo acidentado, na pequena fração objeto do estudo pôde-se evidenciar isso. Em apenas 13,2 km de rede nota-se uma diferença de nível de aproximadamente 95 metros. O ponto mais elevado do Sistema Margarida encontra-se na Rua Luiza Geiss e possui cota 163 metros, já o ponto mais baixo encontra-se no final da Rua Adalberto Holst: 68 metros. Nos próximos itens serão apresentados e analisados os resultados de velocidade, vazão e pressão encontrados através do *software*.

1.14.1 Vazões e velocidades

A ligação entre os nós é feita pelos trechos e, a partir das informações inseridas no *software*, obtém-se os resultados de vazão, velocidade, perda de carga e fator de atrito, conforme pode ser observado no APÊNDICE C.

Na Figura 20 observa-se o mapa da vazão nos trechos da rede de distribuição do Sistema Margarida.

Figura 20 - Visão geral das vazões nos trechos do Sistema Margarida



Fonte: autora, 2020.

As vazões variam de 0,01 l/s a 10,66 l/s. De acordo com a legenda contida na figura, percebe-se que as menores vazões ocorrem nos trechos de final de rede, ou seja, onde existe menor consumo. Nota-se que a maior parte do sistema apresenta vazões inferiores a 1,00 l/s, apenas nos trechos principais da rede de distribuição a vazão é superior.

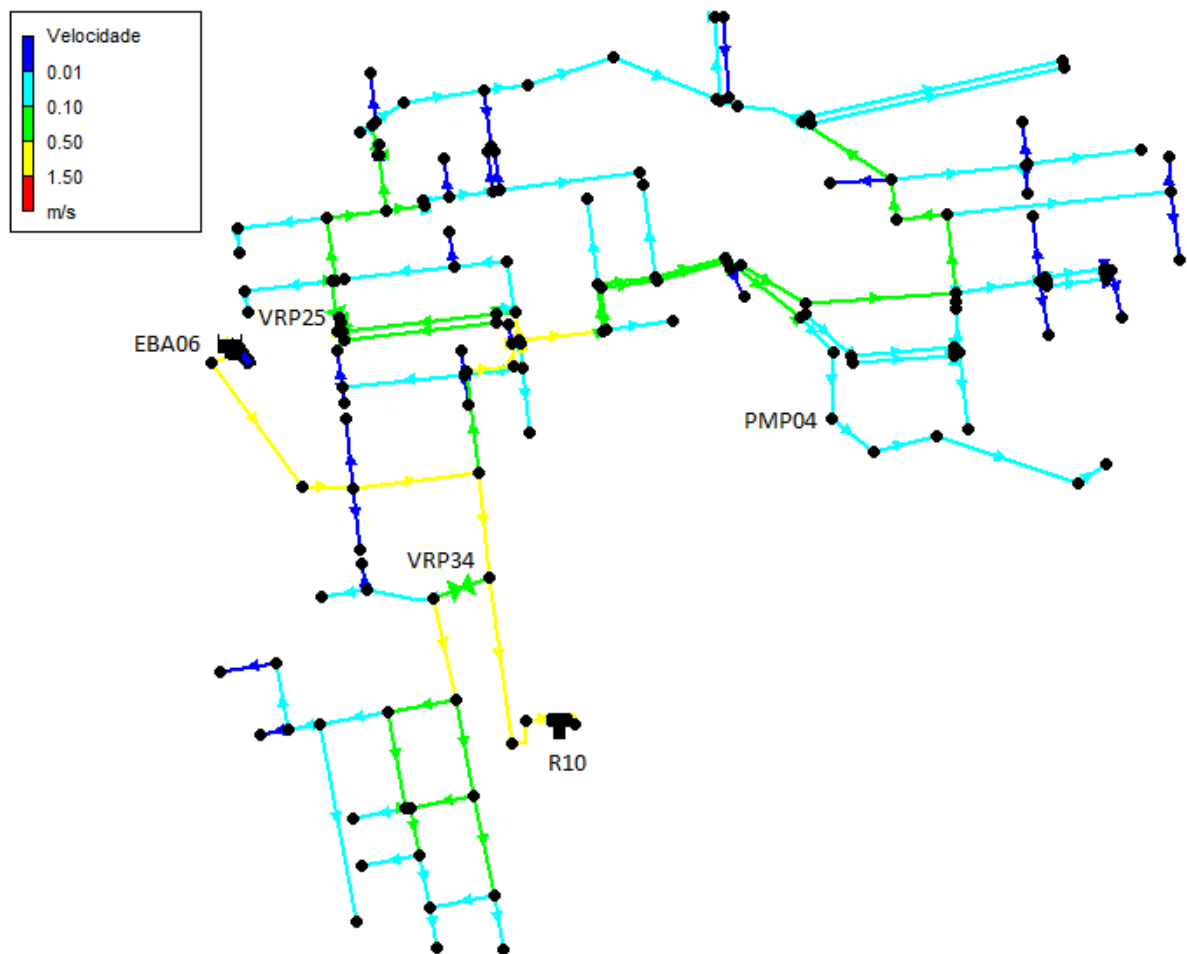
Conforme a distribuição das vazões, disponível no Anexo A, destaca-se que o somatório de consumo médio das economias do Sistema Margarida resultou em 4,73 l/s. Desse modo, de acordo com os parâmetros inseridos no R10, o mesmo recebe uma vazão de 5,93 l/s. Como a distribuição das vazões ocorre de forma acumulativa, do final da rede até a fonte de água, a vazão no início do sistema é de 10,66 l/s.

A vazão resultante encontrada na simulação hidráulica difere do valor determinado pela HydroBrasil no *Diagnóstico do Sistema de Abastecimento Água e Esgoto* realizado em 2018, que obteve 16,7 l/s como a vazão de entrada média do

Sistema Margarida. Essa diferença pode estar associada ao tipo de simulação que não considera as variações de consumo ao longo do dia, assim como as variações de reservação do R10, ou ainda, pode estar relacionado as perdas reais e aparentes que não foram consideradas.

Na Figura 21 é possível observar o mapa geral do sistema com a relação das velocidades em cada trecho a partir da simulação da situação atual. Conforme visto na legenda, a cor azul indica velocidades inferiores a 0,01m/s, a cor ciano inferiores a 0,10 m/s, a cor verde inferiores a 0,50 m/s e a cor vermelha representa os trechos com velocidade acima de 1,50 m/s, o que não ocorre no sistema.

Figura 21 - Mapa de velocidades no trechos do Sistema Margarida



Fonte: autora, 2020.

As velocidades variam de 0,01 m/s nas extremidades da rede e até 1,35 m/s nos trechos próximo ao recalque. Dessa maneira, a maior parte dos trechos apresentam velocidades inferiores a 0,5m/s, no entanto, de acordo com a NBR 12.218 (ABNT, 2017), a velocidade mínima recomendada é de 0,6m/s e a máxima de 3,5m/s, limites que se referem às demandas máximas diárias.

Velocidades inferiores às recomendadas na norma técnica acometem a movimentação da água, podendo prejudicar a qualidade da água tratada que é transportada ao consumidor e ao reservatório. Entretanto, vale lembrar que o presente trabalho simulou de forma estática o sistema, não considerando as variações de demanda diária, apenas adotando o valor médio consumido pelas economias. Ademais, a distribuição desses consumos por nó ocorreu de forma hipotética, como apresentado nos APÊNDICES A e B, o que também pode ter influenciado nos resultados baixos de velocidades em determinados trechos.

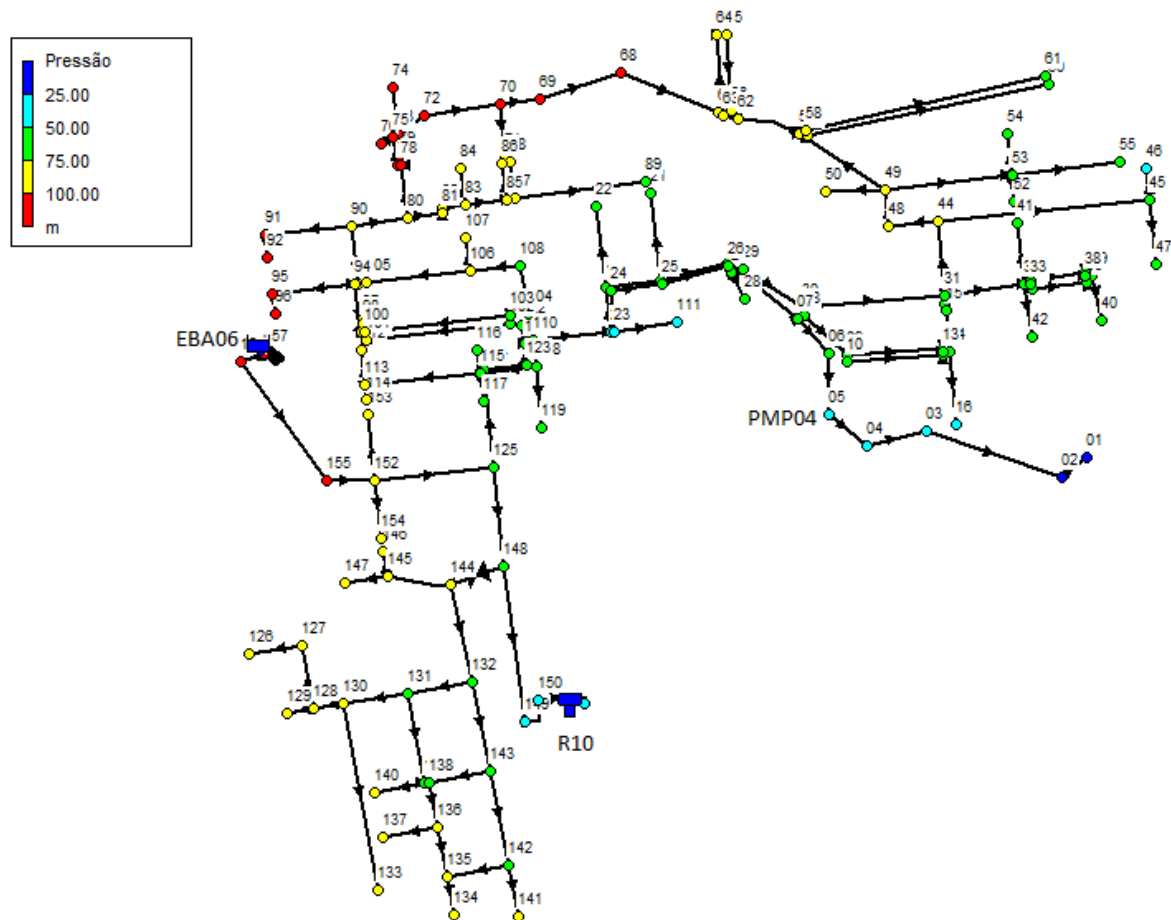
1.14.2 Pressões

Como já mencionado, o Sistema Margarida apresenta grandes variações de cota ao longo da rede de distribuição. Essas variações são o grande desafio do abastecimento de água, pois geram cenários extremos: nos pontos mais altos as pressões são mínimas e nos pontos mais baixos as pressões são máximas. Devendo a rede ser projetada para equilibrar essas situações. Nos próximos tópicos serão apresentadas três situações: o Sistema Margarida sem válvulas redutoras de pressão, o sistema atual e o sistema com a proposta de melhoria.

1.14.2.1 Simulação Sistema Margarida sem VRPs

Com a finalidade de avaliar os efeitos e eficiência das válvulas redutoras de pressão no Sistema Margarida, optou-se por fazer a simulação hipotética da rede de distribuição caso o sistema não possuísse nenhuma VRP. Na Figura 22 pode-se observar esse cenário e no APÊNDICE D estão os resultados obtidos através do *software*.

Figura 22 - Sistema Margarida sem VRPs



Fonte: autora, 2020.

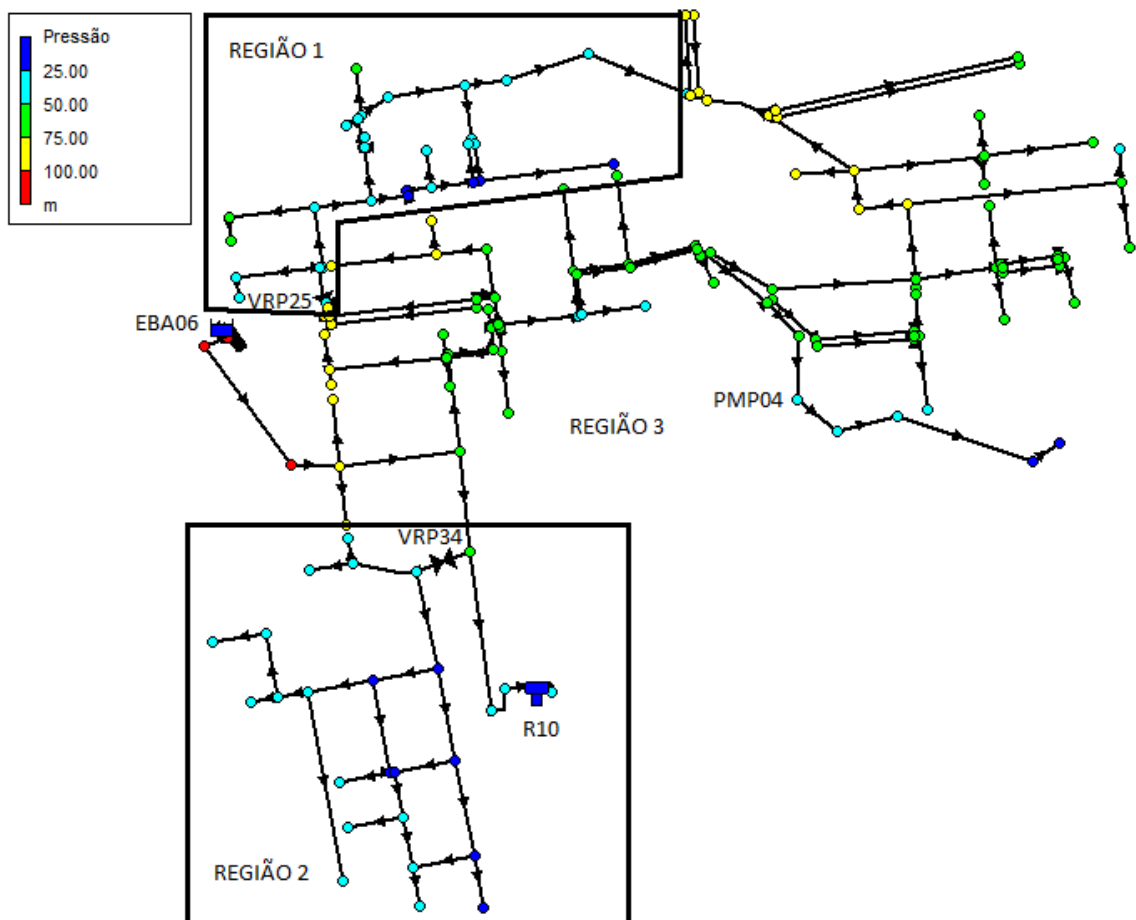
Conforme pode ser visto na Figura 22, se o Sistema Margarida não tivesse nenhuma válvula redutora de pressão, o cenário seria crítico. Nota-se a predominância de nós verdes, amarelos e vermelhos, que indicam pressões superiores a 50 mca, 75 mca e 100 mca, respectivamente. Sabe-se que a NBR 12.218 (ABNT, 2017) estabelece a pressão estática máxima nas tubulações de 50 mca, valores acima do recomendado podem prejudicar o funcionamento do sistema, provocando rompimentos na tubulação.

Sendo assim, é notório que sem a utilização de acessórios ou outras técnicas de controle de pressão, o Sistema Margarida não seria capaz de garantir o adequado abastecimento de água aos consumidores.

1.14.2.2 Simulação Sistema Margarida situação atual

O sistema atual conta com duas válvulas redutoras de pressão para auxiliar no controle. Os resultados detalhados obtidos através do *software* Epanet 2.0 podem ser analisados no APÊNDICE E e na Figura 23 está representado o mapa geral das pressões nos nós.

Figura 23 - Mapa de pressões situação atual



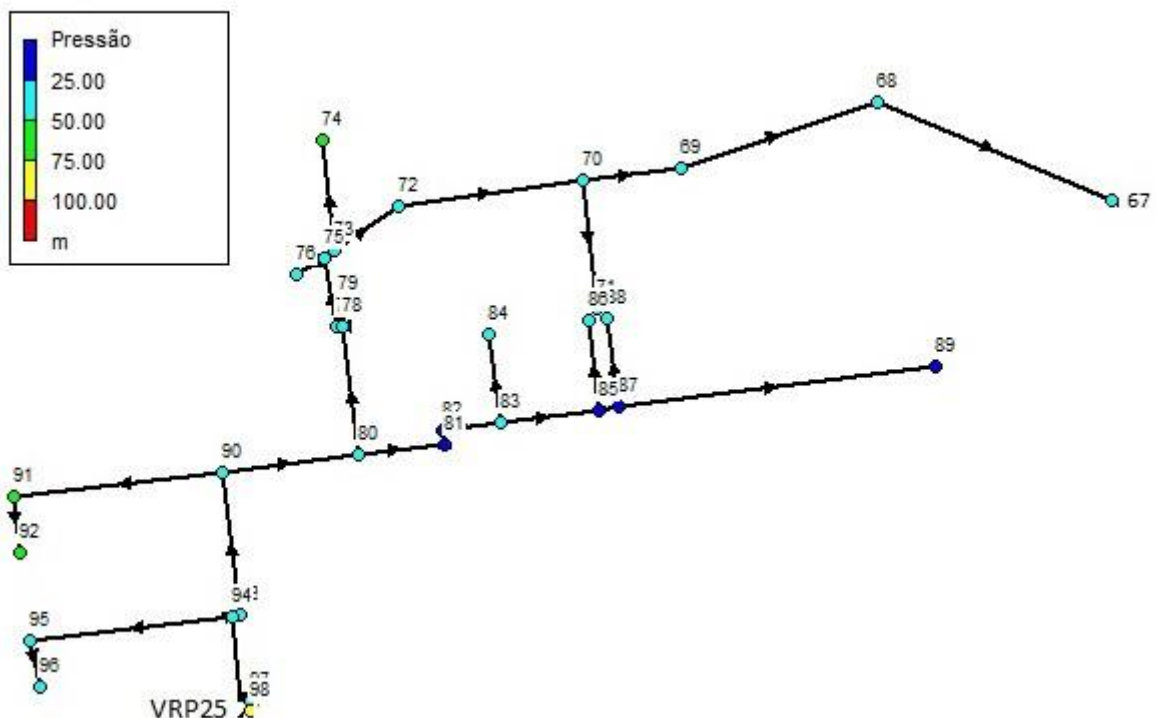
Fonte: autora, 2020.

Para verificar os resultados de forma mais detalhada, o Sistema Margarida foi analisado por regiões, denominadas de Região 1, Região 2 e Região 3, conforme influência das válvulas redutoras de pressão. Como visto na Figura 23, grande parte dos nós apresentam pressões elevadas, no entanto, se comparadas à simulação hipotética sem válvulas redutoras, esses valores apresentam-se significativamente menores nas Regiões 1 e 2.

De acordo com a NBR 12.218 (ABNT, 2017), a pressão dinâmica mínima nas tubulações deve ser de 100 kPa, ou 10 mca, e a pressão estática máxima de 500 kPa ou 50 mca. Valores muito elevadas prejudicam o desempenho das tubulações e a qualidade do serviço fornecido aos consumidores, pois pressões acima das recomendações da norma técnica favorecem rupturas, ocasionando perdas físicas de água tratada. Do contrário, quando a pressão é menor que a recomendada, ela pode ser insuficiente para atender a demanda do consumidor. Nota-se que a maior parte do sistema apresenta pressões acima de 25 mca e em diversos nós essa pressão ultrapassa os 50 mca recomendados pela norma técnica.

Na Figura 24 está representada a Região 1 que sofre interferência da VRP 25 André Beck.

Figura 24 - Comportamento das pressões na Região 1



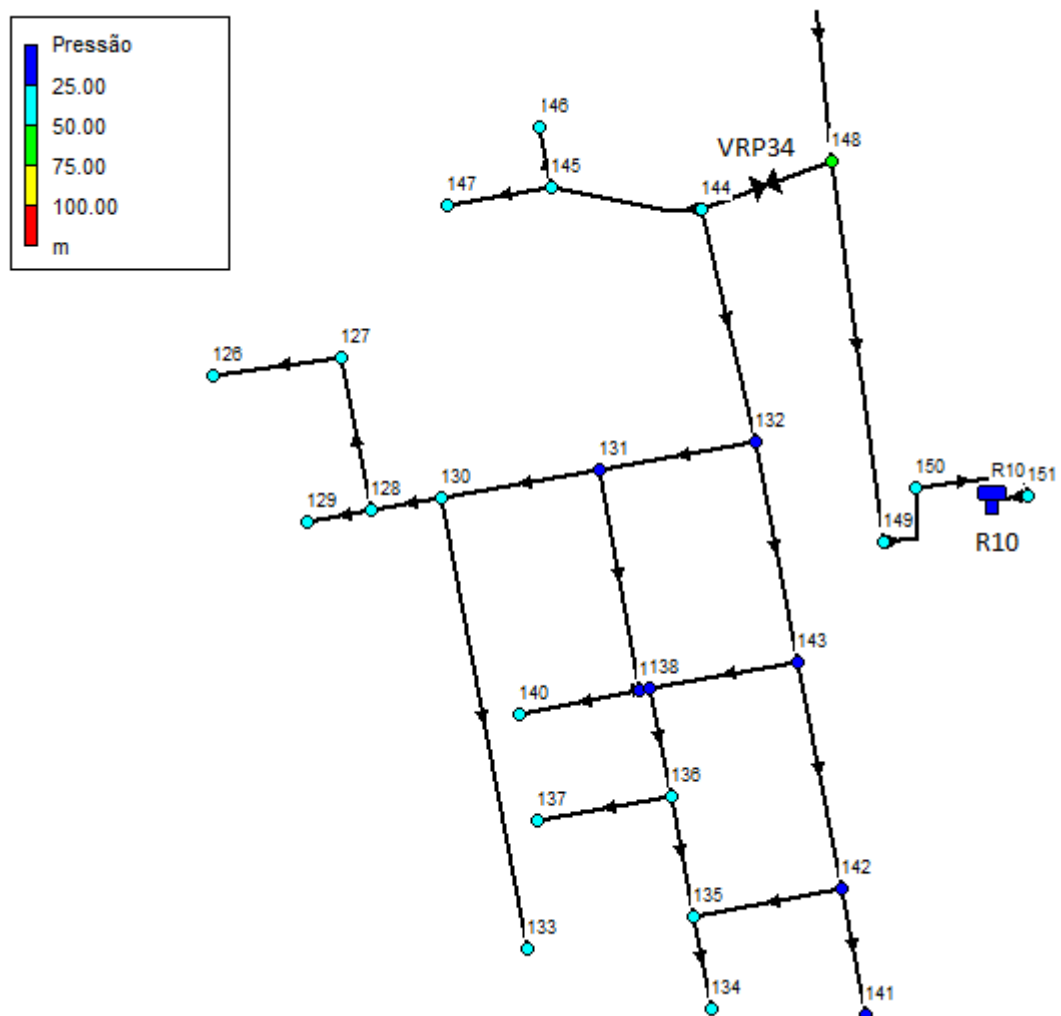
Fonte: autora, 2020.

Na Figura 24 observa-se a região de influência da VRP 25, que inicia na válvula, instalada entre os nós 97 e 98, e termina no nó 67. A montante da válvula a pressão é de 86,35 mca e a jusante de 27,00 mca, conforme parâmetro de controle determinado. A partir da análise nota-se que os efeitos da VRP 25 André Beck são

evidentes e muito positivos. De modo geral, os nós a jusante da válvula mostram-se de acordo com a norma técnica. Apenas os nós 74, na Rua Augusto Luiz Becker, e os nós 91 e 92, no final da Rua Adalberto Holst, com pressões de 50,53 mca, 54,07 mca e 52,07 mca, respectivamente, possuem valores ligeiramente acima de 50 mca. No outro extremo da Rua Adalberto Holst, no nó 89, verifica-se uma pressão de 6,05 mca, valor inferior ao recomendado pela NBR 12.218 (ABNT, 2017). Tecnicamente há disponibilidade de água em pontos de baixa pressão, porém, devido as variações de consumo ao longo do dia, podem haver momentos em que a pressão seja insuficiente para atender tal demanda.

Na Figura 25 está representada a Região 2 influenciada pela VRP 34 México.

Figura 25 - Comportamento das pressões na Região 2



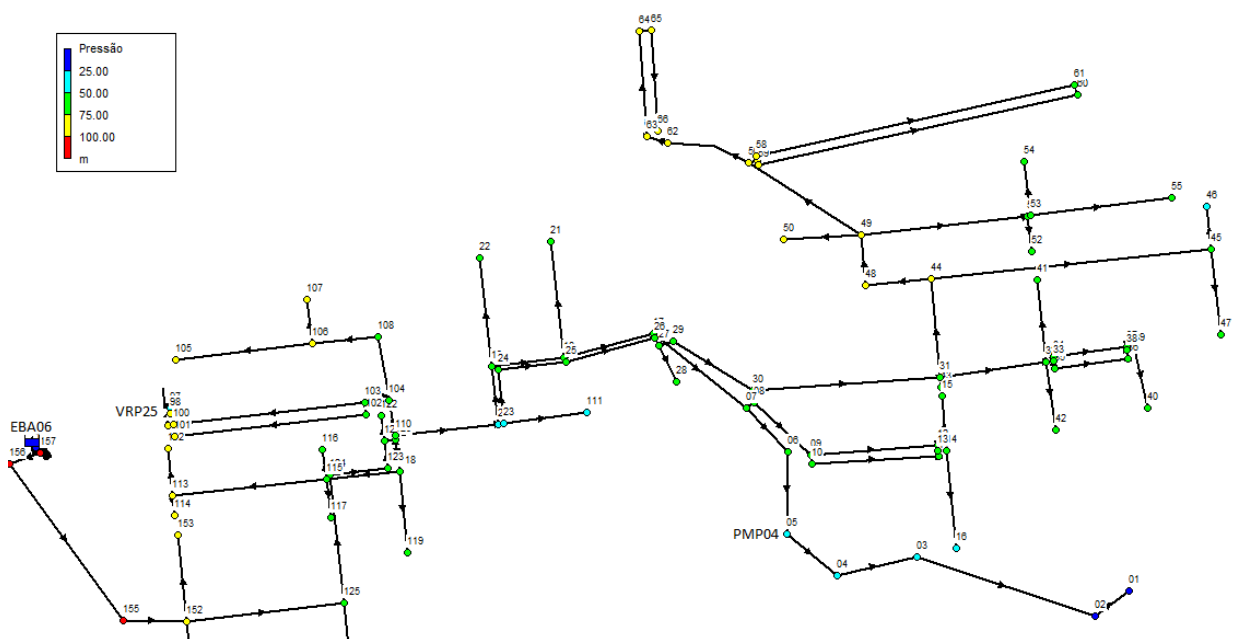
Fonte: autora, 2020.

Pode-se observar que a montante da válvula a pressão é de 52,24 mca e a jusante é de 25,10 mca, conforme o parâmetro de controle estabelecido. Todos os nós a jusante da VRP 34 México possuem pressões inferiores a 50 mca, conforme recomendado pela normativa, sendo o maior valor encontrado no nó 133, na Rua Venezuela, com 45,26 mca.

Entretanto, os nós 132 e 143, na Rua México, apontam pressões de 4,53 mca e 9,25 mca, nessa ordem, resultados inferiores aos estabelecidos pela NBR 12.218 (ABNT, 2017). Nesses nós pode haver uma insuficiência de pressão para atender a demanda de consumo, especialmente nos horários de pico. Por ser uma simulação estática, essas variações de consumo não podem ser analisadas. Contudo, vale lembrar que a pressão é determinada pela diferença entre a carga hidráulica total e a cota, portanto, quanto maior a cota menor será a pressão. Disto isto, para modelagem hidráulica do Sistema Margarida utilizou-se a cota do terreno, todavia, sabe-se que as tubulações estão enterradas, o que implica em cotas inferiores as utilizadas na modelagem. Sendo assim, se utilizada a cota real da tubulação, as pressões seriam maiores.

Além destas, a Região 3 não sofre nenhuma interferência das válvulas, conforme representa a Figura 26.

Figura 26 - Comportamento das pressão na Região 3



Fonte: autora, 2020.

O sistema inicia com pressão de 124,23 mca na saída do recalque e segue nos dois nós seguintes com pressões superiores a 100 mca, no entanto, nesses pontos não há consumo, o que não acarreta problemas. Contudo, nos demais nós a predominância das cores amarelo e verde é evidente, indicando pontos com pressões entre 50 mca e 100 mca, valores superiores às recomendações da NBR 12.218 (ABNT, 2017).

A Região 3 é a que apresenta maior variação entre a pressão máxima e a mínima encontrada. O ponto de menor pressão é o nó 2, que está situado na Rua Luiza Geiss, com 17,79 mca. Já o nó 63, na Rua Henrique Schuster, esquina com a Rua Carlos Luiz Kolberg, apresenta pressão de 97,98 mca, sendo a maior valor encontrado na Região 3, exceto a pressão do recalque.

A partir da análise detalhada do Sistema Margarida, torna-se evidente a ação das válvulas, uma vez que os maiores problemas relacionados a pressão estão na região em que não existem equipamentos de controle. O Centro de Controle Operacional da CORSAN faz o monitoramento de alguns pontos estratégicos como na saída do recalque, a montante e jusante das duas válvulas redutoras de pressão e no ponto crítico na Rua Luiza Geiss. O CCO recebe informações a cada 5 minutos, aproximadamente, da pressão em cada um desses pontos da rede.

Como já mencionado no decorrer desse trabalho, a partir dos relatórios fornecidos obtiveram-se as médias de pressões desses pontos, que foram utilizados como parâmetros de controle para a simulação no *software*. Na Tabela 5 pode-se observar o comparativo entre os valores médios da CORSAN e os resultados da simulação.

Tabela 5 - Comparação entre a pressão nos pontos monitorados pela CORSAN e resultados obtidos no Epanet 2.0

Pontos	EPANET	CORSAN	Varição
Saída da bomba	124,23 mca	124,46 mca	0,23 mca
VRP34 – Montante	52,24 mca	44,70 mca	7,54 mca
VRP34 – Jusante	25,10 mca	25,10 mca	0
VRP25 – Montante	86,35 mca	68,40 mca	17,95 mca
VRP25 – Jusante	27,00 mca	27,00 mca	0
PMP 04	49,82 mca	11,59 mca	38,23 mca

Fonte: autora, 2020.

Como pode-se verificar na Tabela 5 a pressão na saída da bomba é praticamente igual em ambas as situações. Isso ocorreu por que, conforme já mencionado, utilizou-se um reservatório fictício associado a bomba, como as características da bomba eram conhecidas, adaptou-se o reservatório para que a pressão de saída fosse igual a monitorada pelo CCO. As pressões a jusante das VRPs também apresentam valores iguais pois os valores médios encontrados nos relatórios foram utilizados de parâmetro de controle nas válvulas.

A pressão a montante da VRP 34 México apresentou variação de 7,54 mca, já na VRP 25 André Beck essa variação foi de 17,95 mca. Em ambos os pontos a pressão simulada através do Epanet foi superior ao valor informado pela CORSAN, o que se apresenta positivo. Além disso, as variações estão dentro do esperado, pois apesar da modelagem hidráulica ter sido feita com as características físicas reais da rede, existem muitos componentes não-físicos que não foram considerados, como as variações de consumo e também de reservação no R10, as perdas de carga singulares, a cota real da tubulação, perdas reais e aparentes, entre outros fatores que podem acarretar na interferência dos resultados.

O ponto crítico monitorado pelo CCO, denominado PMP 04, apresentou a maior variação em relação aos outros pontos. Essa diferença de 38,23 mca pode estar associada aos fatos já citados, todavia, acredita-se que possa haver alguma imprecisão na localização. A modelagem hidráulica utilizou como base o mapeamento em AutoCad fornecido pela CORSAN, no entanto a companhia não possui o registro da cota exata em que se encontra o ponto PMP 04. Contudo, conforme foi informado, o ponto crítico encontra-se no ponto alto da Rua Luiza Geiss. Acredita-se que esse ponto possa estar localizado no nó 2, que está na cota 163 metros, ou seja, o ponto mais elevado, conseqüentemente com menor pressão.

1.14.2.3 Simulação Sistema Margarida com proposta de melhoria

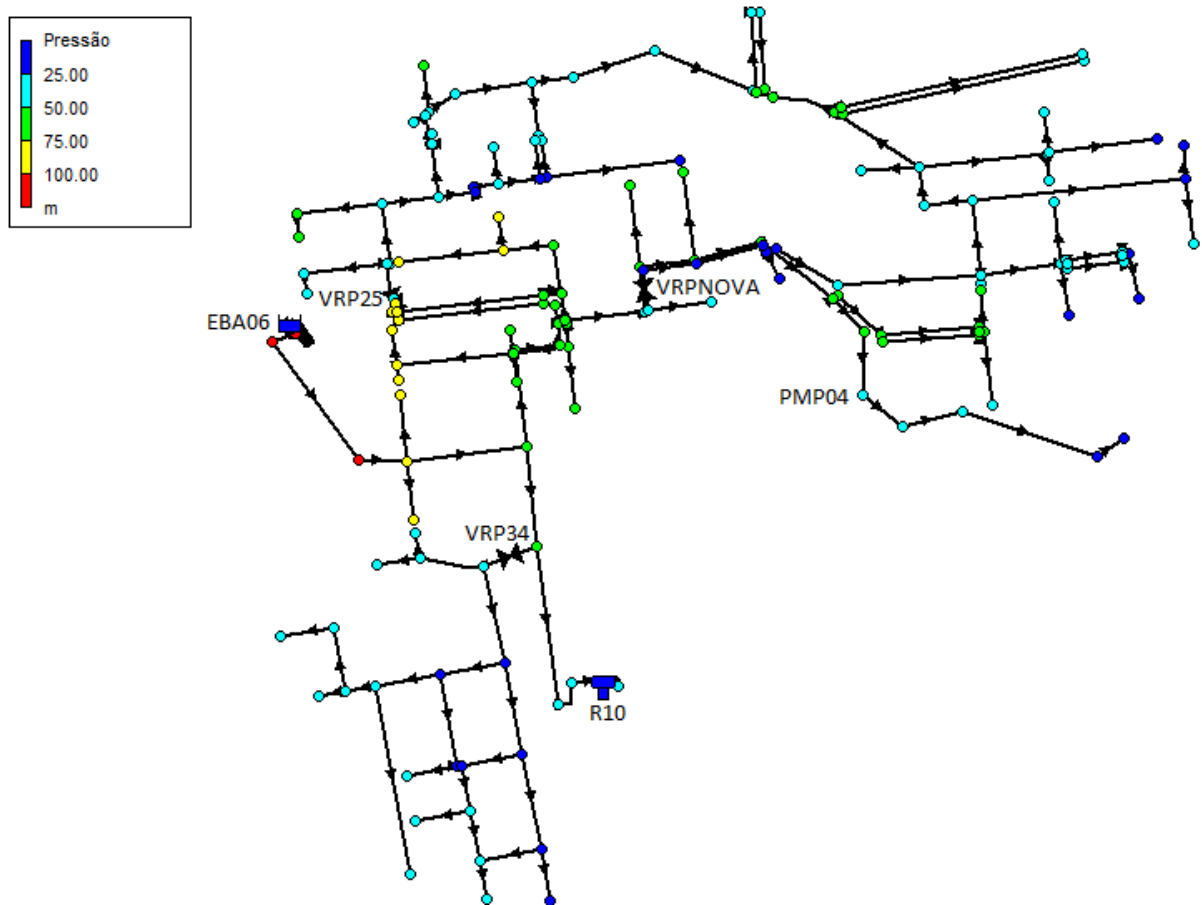
Através das análises anteriores pode-se verificar a eficácia das válvulas redutoras de pressão na Região 1 e 2 do Sistema Margarida, mas, a Região 3 encontra-se desprotegida, resultando em pressões que ultrapassam o limite recomendando pela NBR 12.218 (ABNT, 2017).

Não existe solução padrão quando se trata de sistemas de abastecimento de água, visto que cada um possui suas particularidades e deve ser estudado

individualmente, a fim de encontrar uma solução técnica e economicamente viável, considerando os aspectos sociais e ambientais. Sabe-se que o sistema de abastecimento de Santa Cruz do Sul sofre com elevados índices de perdas de água e combatê-las é um desafio. Como observado nas simulações realizadas com o *software* Epanet 2.0, o principal problema encontrado no Sistema Margarida são as elevadas pressões, que estão diretamente relacionadas com a quantidade de rompimentos e o volume de água perdido. Considerando que se trata de um sistema consolidado, muitas técnicas acabam sendo eliminadas em decorrência da inviabilidade, no entanto, como as válvulas redutoras de pressão mostraram-se eficientes no controle das pressões em outros pontos da rede, recomenda-se a instalação de uma VRP na Região 3.

Os únicos pontos com pressões baixas da Região 3 encontrados através do *software* e também de acordo com informações da CORSAN, encontram-se na Rua Luiza Geiss, desse modo, a nova válvula foi instalada no ponto em que abrange a maior parte da Região 3, sem interferir na região de baixas pressões. Optou-se por implantar uma VRP de 2 polegadas, igual a VRP 25 André Beck, com parâmetro de controle de 15 mca. A nova válvula foi denominada de VRPNOVA e a partir dessas definições pode-se observar os resultados na Figura 27 e mais detalhadamente no APÊNDICE F.

Figura 27 - Proposta de melhoria



Fonte: autora, 2020.

Comparando os resultados da Figura 27 com as simulações anteriores, nota-se uma significativa redução de nós amarelos na Região 3. Na Rua Henrique Schuster, alguns nós excederam 50 mca, apresentando valores de 57,63 mca, 59,62 mca, 60,42 mca e 62,62 mca, representados na cor verde. Já o ponto de menor pressão localiza-se na Rua Arnaldo Gruedling, com 12,90 mca. Na Tabela 6 pode-se verificar as variações decorrentes da instalação da VRP.

Tabela 6 - Comparativo de pressões do sistema atual e da proposta de melhoria

(continua)

Nó	Sistema Atual	Prop. Melhoria
23	46,3	46,3
24	50,36	15
25	51,74	16,38
26	59,31	23,95
27	58,66	23,3
28	52,16	16,8

Tabela 7 - Comparativo de pressões do sistema atual e da proposta de melhoria

(conclusão)

Nó	Sistema Atual	Prop. Melhoria
29	59,07	23,72
30	67,57	32,21
31	70,59	35,23
32	68,57	33,21
33	68,57	33,21
34	68,57	33,21
35	68,57	33,21
36	60,57	25,21
37	60,57	25,21
38	60,57	25,21
39	59,57	24,21
40	51,57	16,21
41	74,57	39,21
42	52,57	17,21
43	65,59	30,23
44	79,28	43,92
45	56,26	20,9
46	48,26	12,9
47	62,26	26,9
48	78,14	42,78
49	80,05	44,7
50	80,05	44,7
51	65,52	30,16
52	61,02	25,66
53	65,52	30,16
54	73,52	38,16
55	54,02	18,66
56	92,98	57,63
57	92,98	57,63
58	92,98	57,63
59	92,98	57,63
60	68,48	33,12
61	68,48	33,12
62	95,78	60,42
63	97,98	62,62
64	77,98	42,62
65	77,98	42,62
66	94,98	59,62

Fonte: autora, 2020.

A válvula instalada influencia na pressão de 44 nós, causando uma redução de 35,36 mca em cada, decorrente da perda de carga do dispositivo implantado. Torna-se inviável implantar acessórios de modo que absolutamente todos pontos apresentem pressões dentro das recomendações da norma técnica quando se trata de uma rede de distribuição já consolidada. Conforme observado, ainda existem nós com resultados elevados, no entanto, em menor quantidade e as máximas menos expressivas. Deve-se buscar o equilíbrio do sistema, evitando pressões muito baixas que sejam insuficientes para atender a demanda dos consumidores e muito altas que provoquem rompimentos e perdas de água.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A concepção de um sistema de abastecimento de água é primordial para garantir a qualidade da água e a racionalidade do sistema. Existem diversos desafios nessa área, desde a escolha do manancial, o tratamento e a distribuição. Nesta pesquisa buscou-se caracterizar o sistema de abastecimento de água de Santa Cruz do Sul e fazer o diagnóstico da rede de distribuição do Sistema Margarida, a fim de identificar seus problemas e propor melhorias a partir da comparação de simulações através do *software* Epanet 2.0.

A partir da análise do Sistema Margarida, notou-se a complexidade de uma rede de distribuição de água e a importância do planejamento. Um dos maiores desafios está relacionado a topografia do terreno, pois na área do estudo de caso ocorre uma diferença de nível de 95 metros. Essas variações de altitude implicam diretamente nas pressões da água nas tubulações, pois para atingir os pontos mais elevados necessita-se de maiores pressões, contudo, nas regiões mais baixas esse valor acaba sendo excessivo, causando problemas operacionais. Esses desequilíbrios de pressão geram dificuldades para abastecer todos consumidores, visto que nos pontos mais elevados muitas vezes a pressão pode ser insuficiente para atender a demanda de consumo. O bom planejamento de uma rede é extremamente importante para garantir o adequado funcionamento do sistema, pois depois de consolidado torna-se mais difícil fazer adaptações.

Com base nas simulações hidráulicas realizadas para cumprir os objetivos da presente pesquisa, notou-se a importância das válvulas redutoras de pressão. Verificou-se um melhoramento significativo nas pressões a medida que as válvulas foram implantadas na modelagem. Conforme visto anteriormente, o modelo hipotético sem VRPs apresentou um cenário extremo, impossibilitando o adequado funcionamento do sistema, com a maioria dos nós apresentando valores acima de 50 mca. Já na simulação do sistema atual, com a VRP 25 André Beck e a VRP 34 México, observou-se uma redução significativa das pressões, mantendo praticamente todos os nós das Regiões 1 e 2 dentro dos valores estabelecidos pela NBR 12.218 (ABNT, 2017). No entanto, para adequar a Região 3 e garantir a boa gestão do Sistema Margarida, propôs-se a implantação de uma nova VRP, que também se mostrou muito eficiente, reduzindo expressivamente o número de nós que não atendiam as recomendações da norma técnica.

As simulações realizadas através do *software* apresentaram resultados de pressão superiores aos fornecidos pela concessionária, o que é coerente, pois como as simulações foram estáticas e simplificadas, os valores mostraram-se superiores aos reais. Além dos problemas relacionados a pressão, o Sistema Margarida também apresentou diversos trechos com valores de vazão e velocidade inferiores às recomendações da normativa, todavia, são fatores de menor importância, que não acarretarão problemas tão severos à rede.

Em conclusão, deve-se buscar o equilíbrio em um sistema de abastecimento de água, considerando os aspectos técnicos e econômicos, uma vez que nem sempre é possível atender todos parâmetros estabelecidos pela norma técnica, ainda mais se tratando de um sistema já consolidado. Por fim, existe uma série de temas a serem estudados no que diz respeito a sistemas de abastecimento de água. Para trabalhos futuros, sugiro a simulação hidráulica dinâmica do Sistema Margarida e a análise de outras alternativas de melhoria, o que possibilitaria a comparação com os resultados obtidos neste trabalho. Ademais, vale o estudo da setorização do sistema de abastecimento de água de Santa Cruz do Sul e análise das perdas reais.

REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 12218: Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público*. Rio de Janeiro, 2017.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 12216: Projeto de estação de abastecimento de água para abastecimento público*. Rio de Janeiro, 1992.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 12217: Projeto de reservatório de distribuição de água para abastecimento público*. Rio de Janeiro, 1994.

AZEVEDO NETTO, M. F. Y. F. . *Manual de Hidráulica*. 9. ed. São Paulo: Blucher, 2015. p. 1-632.

BEREGULA, Renato Leandro. *Uso do Epanet para determinar pressões de serviço rede de abastecimento de água Lucas do Rio Verde - MT*. 2018. 127 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Recursos Hídricos, Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2018.

BRASIL, *Portaria de consolidação nº 5, 28 de setembro de 2017*. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 2017. Disponível em: <http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2017/prc0005_03_10_2017.html> Acesso em: 25 set. 2019.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. *Redução de perdas em sistemas de abastecimento de água*. 2. ed. Brasília: FUNASA, 2014.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. *Manual de Saneamento*. 4. ed. Brasília: Funasa, 2015.

BRASIL. Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento. Ministério do Desenvolvimento Regional. *Diagnóstico dos serviços de água e esgoto-2016*. 2018. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/diagnostico-anual-agua-e-esgotos/diagnostico-ae-2016>. Acesso em: 30 out. 2019.

BRASÍLIA, Agência. *Caesb reduz perdas de água no sistema de abastecimento*. 2017. Disponível em: <https://www.agenciabrasilia.df.gov.br/2017/07/27/caesb-reduz-perdas-de-agua-no-sistema-de-abastecimento/>. Acesso em: 15 out. 2019.

COELHO, S. T.; LOUREIRO, D.; ALEGRE, H. *Modelação e análise de sistemas de abastecimento de água*. Instituto Regulador de Águas e Resíduos (IRAR) e Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), 2006.

COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO. *NTS 299: Válvula Redutora de Pressão Tipo Globo - DN 50 a 600*. São Paulo: 2016.

COMPANHIA DE SANEAMENTO DE MINAS GERAIS – COPASA. *Programa de redução de perda de água no sistema de distribuição*: aprovadas pelo Conselho de Administração em 16/06/2003. Belo Horizonte, 2003, 60 p.

FONTANA, Marcele Elisa *et al.* *Modelo para setorizar redes de distribuição de água baseado nas características das unidades consumidoras*. Production, [S.L.], v. 25, n. 1, p. 143-156, 17 set. 2013. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0103-65132013005000071>.

GIROL, Guilherme Violato (facilitador). *Apostila do curso de modelagem hidráulica computacional para sistemas de abastecimento de água*. Palhoça, 2019.

GONÇALVES, Elton. ALVIM, Paulo Roberto Ambrósio. *Pesquisa e combate a vazamentos não visíveis*. Vol. 3. Brasília: SNSA, 2007. Disponível em: <<https://www.nexusbr.com/downloads/saneamento/Volume%203%20PESQUISA%20E%20COMBATE%20A%20VAZAMENTOS.pdf>>. Acesso em: 24 de nov. 2019.

GOOGLE EARTH. Disponível em: < <http://www.google.com/earth/>>. Acesso em: 02 abr. 2020.

HELLER, Léo; PÁDUA, V. L. D. *Abastecimento de água para consumo humano*. 3. ed. Belo Horizonte: ufmg, 2016. p. 441-870.

HYDROBRASIL SANEAMENTO LTDA. *Diagnóstico do sistema de abastecimento de água e esgoto*, 2018. Disponível em: <<file:///C:/Users/franc/Downloads/Diagnóstico%20do%20Sistema%20Água%20e%20Esgotamento.pdf>>. Acesso em: 05 de nov. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Estatísticas: por cidade e estado: Santa Cruz do Sul*. Santa Cruz do Sul. 2017. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/santa-cruz-do-sul/panorama>. Acesso em: 28 set. 2019.

LAMBERT, A. *et al.* *A review of performance indicators for real losses from water supply systems*. AQUA/IWA, 2000.

MOTTA, Renato Gonçalves da. *Importância da setorização adequada para combate às perdas reais de água de abastecimento público*. 2010. 176 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Hidráulica e Sanitária Ii, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

PELEGRINO, Eloá Cristina F.. SANEAMENTO BÁSICO II. *Notas de aula: Aula 7- Reservatório*. Franca, 2017.

ROSSMAN, L. A. *EPANET 2 - Users manual*. U. S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio, 2000. Tradução e Adaptação pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, Portugal.

SABESP. *Controle de perdas*, c2019. Disponível em: <<http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaold=37>>. Acesso em: 31 de out. 2019.

SABESP. *Programa de controle e redução de perdas*. São Paulo, 2004. Disponível em: <https://slideplayer.com.br/slide/1841019/>>. Acesso em: 25 de nov. 2019.

SANTA CRUZ DO SUL, Prefeitura Municipal. *Localização*. Disponível em: <http://www.santacruz.rs.gov.br/municipio/localizacao>. Acesso em: out. 2019.

SANTA CRUZ DO SUL, Prefeitura Municipal. *Sistema de abastecimento de água: Etapa III – Etapa Final do Plano Municipal de Saneamento Básico de Santa Cruz do Sul*. Santa Cruz do Sul: UNISC, 2018.

SENADO FEDERAL. Em discussão: *Demanda por água será cada vez maior em todo o mundo*. Disponível em: <<https://www12.senado.leg.br/emdiscussao/edicoes/escassez-de-agua/contexto/demanda-sera-cada-vez-maior-em-todo-o-mundo>>. Acesso em: set. 2019.

SILVA, R. T., CONEJO, J. G. L. *Indicadores de perdas nos sistemas de abastecimento de água*. Brasília: Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água, 2003. (Documento técnico de apoio, A2).

SOUSA, Renato de. *Uso de válvulas redutoras de pressão na otimização de rede setorizada de distribuição de água*. 2017. 70 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2017.

SOUZA, José do Carmo de. *Distritos de medição e controle como ferramenta de gestão de perdas em redes de distribuição de água*. 182 f. Dissertação de Mestrado Engenharia Civil – UNICAMP, 2014.

TARDELLI, Jairo. *Aspectos relevantes do controle de perdas em sistemas públicos de abastecimento de água*. Revista Dae, [S.L.], v. 64, n. 201, p. 6-20, 2015. Revista DAE. <http://dx.doi.org/10.4322/dae.2015.012>

TARDELLI FILHO, J. *Controle e Redução de Perdas*. In: TSUTIYA, MILTON T. ET al. *Abastecimento de Água*. 3a ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006.

THORUS ENGENHARIA. *Válvula redutora de pressão de ação direta*. Disponível em: <<https://thorusengenharia.com.br/blog/valvula-redutora-de-pressao-o-que-e-como-funciona-aonde-usar-como-escolher-como-dimensionar-exemplos/>>. Acesso em: 25 de abr. 2020.

TRATA BRASIL (org.). *Perdas de água 2018 (SNIS 2016): desafios para disponibilidade hídrica e avanço da eficiência do saneamento básico*. Disponível em:

<http://www.tratabrasil.org.br/images/estudos/itb/perdas-2018/estudo-completo.pdf>. Acesso em: 30 out. 2019.

TSUTIYA, Milton Tomoyuki. *Abastecimento de Água*. 4. ed. São Paulo: [s.n.], 2014. p. 1-643.

UNICEF. *A OMS e o UNICEF divulgam as primeiras estimativas globais de água, saneamento e higiene para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável*. 2017. Disponível em: <https://www.unicef.org/angola/comunicados-de-imprensa/21-bilh%C3%B5es-de-pessoas-n%C3%A3o-t%C3%AAm-acesso-%C3%A1-gua-pot%C3%A1vel-em-casa-e-mais-do-dobro>. Acesso em: 10 set. 2019.

YOSHIMOTO, Paulo Massato. *Programa de Redução de Perdas na Região Metropolitana de São Paulo*. 2006. Disponível em: [http://www.sabesp.com.br/Sabesp/filesmng.nsf/1C54110AC84FC24C83257243004851C3/\\$File/apimec_prog_red_perdas.pdf](http://www.sabesp.com.br/Sabesp/filesmng.nsf/1C54110AC84FC24C83257243004851C3/$File/apimec_prog_red_perdas.pdf). Acesso em: 25 nov. 2019.

WERDINE, Demarcus. *Perdas de água em sistemas de abastecimento*. 2002. 144 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia da Energia, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2002.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Consumo base por nó

Logradouro	Economias	Vazão por economia	Quantidade nós	Vazão total	Vazão por nó	Nós
Adalberto Holst	112	3,38E-03	15	0,38	0,03	49,50,51,53,55,92,91,90,80,81,82,83,85,87,89
André Beck	19	3,38E-03	14	0,06	0,00	90,93,94,97,98,99,112,113,114,153,152,154,146,145
Arlindo Gruending	11	3,38E-03	3	0,04	0,01	45,46,47
Arlindo Kothe	14	3,38E-03	3	0,05	0,02	48,49,56
Armindo Zimmer	47	3,38E-03	3	0,16	0,05	125,152,155
Augusto Assmann	18	3,38E-03	10	0,06	0,01	83,84,106,107,115,116,117,124,125,148
Augusto L. Becker	15	3,38E-03	7	0,05	0,01	73,74,75,77,78,79,80
Colômbia	234	3,38E-03	6	0,79	0,13	131,134,135,136,138,139
Dario Barbosa	10	3,38E-03	2	0,03	0,02	136,137
Dona Cristina	58	3,38E-03	6	0,20	0,03	99,100,101,102,103,104
Edmundo Baumhardt	28	3,38E-03	4	0,09	0,02	20,23,110,111
Equador	12	3,38E-03	2	0,04	0,02	135,142
Gerfredo Peccati	29	3,38E-03	3	0,10	0,03	44,45,48
Guiana	11	3,38E-03	3	0,04	0,01	126,127,128
Helmuth Fuelber	52	3,38E-03	7	0,18	0,03	93,94,95,96,105,106,108
Henrique Schuster	106	3,38E-03	16	0,36	0,02	76,75,73,72,70,69,68,67,63,62,56,57,58,59,60,61
Irmão Pedro	36	3,38E-03	6	0,12	0,02	14,15,16,31,43,44
Irmão Willibaldo	33	3,38E-03	7	0,11	0,02	8,9,10,11,12,13,14
João Pritsch	14	3,38E-03	2	0,05	0,02	18,21
Lothário Bartholomay	31	3,38E-03	7	0,10	0,01	32,41,42,51,52,53,54
Lothário F. Heuser	57	3,38E-03	19	0,19	0,01	7,17,18,19,24,25,26,27,28,29,30,31,32,33,34,35,36,37,38
Luiza Geiss	72	3,38E-03	7	0,24	0,03	1,2,3,4,5,6,7
Maria Carolina	24	3,38E-03	5	0,08	0,02	113,115,118,123,124
México	46	3,38E-03	5	0,16	0,03	132,141,142,143,144
Panamá	19	3,38E-03	4	0,06	0,02	138,139,140,143

Paraguai	37	3,38E-03	5	0,12	0,02	128,129,130,131,132
Paulo Rauber	28	3,38E-03	15	0,09	0,01	70,71,85,86,87,88,104,108,110,118,119,120,121,122,123
Ricardo Hoff. Filho	58	3,38E-03	4	0,20	0,05	144,145,147,148
Rodolfo E. Buelow	31	3,38E-03	5	0,10	0,02	19,20,22,23,24
Santo Cristo	7	3,38E-03	2	0,02	0,01	39, 40
Venezuela	105	3,38E-03	2	0,35	0,18	130,133
Carlos Luiz Kolberg	12	3,38E-03	4	0,04	0,01	63,64,65,66

APÊNDICE B – Consumo resultante em cada nó

Nó	Consumo	Nó	Consumo	Nó	Consumo	Nó	Consumo	Nó	Consumo
1	0,03	34	0,01	67	0,02	100	0,03	133	0,18
2	0,03	35	0,01	68	0,02	101	0,03	134	0,13
3	0,03	36	0,01	69	0,02	102	0,03	135	0,15
4	0,03	37	0,01	70	0,03	103	0,03	136	0,15
5	0,03	38	0,01	71	0,01	104	0,04	137	0,02
6	0,03	39	0,01	72	0,02	105	0,03	138	0,15
7	0,04	40	0,01	73	0,03	106	0,03	139	0,15
8	0,02	41	0,01	74	0,01	107	0,01	140	0,02
9	0,02	42	0,01	75	0,03	108	0,03	141	0,03
10	0,02	43	0,02	76	0,02	109	-	142	0,05
11	0,02	44	0,05	77	0,01	110	0,03	143	0,05
12	0,02	45	0,05	78	0,01	111	0,02	144	0,08
13	0,02	46	0,01	79	0,01	112	0,00	145	0,05
14	0,04	47	0,01	80	0,03	113	0,02	146	0,00
15	0,02	48	0,05	81	0,03	114	0,00	147	0,05
16	0,02	49	0,04	82	0,03	115	0,02	148	0,06
17	0,01	50	0,03	83	0,03	116	0,01	149	0,00
18	0,03	51	0,04	84	0,01	117	0,01	150	0,00
19	0,03	52	0,01	85	0,03	118	0,02	151	0,00
20	0,04	53	0,04	86	0,01	119	0,01	152	0,06
21	0,02	54	0,01	87	0,03	120	0,01	153	0,00
22	0,02	55	0,03	88	0,01	121	0,01	154	0,00
23	0,04	56	0,04	89	0,03	122	0,01	155	0,05
24	0,03	57	0,02	90	0,03	123	0,02	156	0,00
25	0,01	58	0,02	91	0,03	124	0,02	157	0,00
26	0,01	59	0,02	92	0,03	125	0,06	158	0,00
27	0,01	60	0,02	93	0,03	126	0,01		
28	0,01	61	0,02	94	0,03	127	0,01		
29	0,01	62	0,02	95	0,03	128	0,04		
30	0,01	63	0,03	96	0,03	129	0,02		
31	0,03	64	0,01	97	0,00	130	0,20		
32	0,03	65	0,01	98	0,00	131	0,16		
33	0,01	66	0,01	99	0,04	132	0,06		

APÊNDICE C – Resultados de vazão e velocidade

Indic. Trecho	Comprimento (m)	Vazão (l/s)	Velocidade (m/s)	Perda de carga (m/km)	Fator de Atrito
1	49,410	0,030	0,020	0,010	0,047
2	217,600	0,060	0,030	0,040	0,042
3	94,720	0,090	0,050	0,080	0,040
4	76,220	0,120	0,060	0,140	0,038
5	94,200	0,150	0,080	0,220	0,037
6	70,300	0,180	0,090	0,310	0,036
7	10,900	0,200	0,100	0,370	0,035
8	89,750	0,180	0,090	0,310	0,036
9	12,000	0,090	0,040	0,080	0,040
10	147,400	0,070	0,030	0,050	0,041
11	147,400	0,070	0,040	0,060	0,041
12	6,000	0,050	0,030	0,030	0,043
13	6,000	0,050	0,020	0,030	0,046
14	9,200	0,080	0,040	0,070	0,039
15	63,250	0,020	0,010	0,010	0,050
16	112,800	0,020	0,010	0,010	0,050
17	138,500	0,420	0,210	1,470	0,031
18	106,900	0,430	0,220	1,530	0,031
19	84,100	0,480	0,240	1,880	0,031
20	67,850	0,530	0,270	2,260	0,030
21	134,700	0,020	0,020	0,050	0,047
22	125,400	0,020	0,010	0,010	0,049
23	62,300	0,860	0,440	5,530	0,028
24	80,300	0,830	0,420	5,180	0,028
25	106,100	0,820	0,420	5,060	0,028
26	9,950	0,810	0,410	4,950	0,029
27	47,800	0,010	0,010	0,000	0,059
28	17,200	0,790	0,400	4,720	0,029
29	109,700	0,780	0,400	4,610	0,029
30	216,900	0,770	0,390	4,510	0,029
31	124,000	0,130	0,070	0,170	0,037
32	9,800	0,080	0,040	0,070	0,039
33	4,500	0,040	0,020	0,020	0,049
34	9,500	0,030	0,020	0,020	0,051
35	85,500	0,020	0,010	0,010	0,048
36	85,400	0,030	0,010	0,010	0,047
37	4,500	0,020	0,010	0,000	0,063
38	9,500	0,010	0,010	0,000	0,037
39	8,600	0,020	0,010	0,010	0,061
40	70,500	0,010	0,010	0,000	0,050
41	94,800	0,010	0,010	0,000	0,052
42	80,350	0,010	0,010	0,000	0,053
43	12,000	0,020	0,010	0,000	0,044

44	114,700	0,590	0,300	2,750	0,030
45	326,300	0,070	0,040	0,050	0,041
46	49,000	0,010	0,010	0,000	0,057
47	99,700	0,010	0,010	0,000	0,056
48	76,100	0,470	0,240	1,810	0,031
49	57,800	0,420	0,210	1,470	0,031
50	89,450	0,030	0,000	0,000	0,056
51	194,300	0,130	0,070	0,170	0,037
52	41,600	0,010	0,010	0,000	0,051
53	3,000	0,080	0,040	0,070	0,040
54	62,400	0,010	0,010	0,000	0,056
55	164,800	0,030	0,020	0,010	0,047
56	154,900	0,220	0,110	0,440	0,035
57	10,300	0,100	0,050	0,100	0,039
58	5,000	0,040	0,020	0,020	0,044
59	5,000	0,040	0,020	0,020	0,044
60	378,200	0,020	0,010	0,010	0,049
61	378,000	0,020	0,010	0,010	0,049
62	12,650	0,000	0,000	0,000	0,000
63	105,200	0,080	0,040	0,070	0,040
64	21,000	0,060	0,030	0,040	0,042
65	122,800	0,030	0,020	0,010	0,046
66	13,700	0,020	0,010	0,010	0,051
67	116,750	0,010	0,010	0,000	0,054
68	160,200	0,020	0,010	0,010	0,049
69	131,950	0,040	0,020	0,020	0,045
70	62,650	0,060	0,030	0,040	0,042
71	90,000	0,010	0,010	0,000	0,055
72	117,500	0,100	0,050	0,100	0,039
73	49,500	0,120	0,060	0,140	0,038
74	71,050	0,010	0,010	0,000	0,054
75	7,750	0,160	0,080	0,250	0,036
76	20,900	0,020	0,010	0,010	0,051
77	43,800	0,210	0,110	0,410	0,035
78	3,750	0,220	0,110	0,440	0,035
79	15,000	0,010	0,010	0,000	0,047
80	82,100	0,240	0,120	0,520	0,034
81	55,400	0,210	0,110	0,410	0,035
82	8,800	-0,180	0,090	0,310	0,036
83	37,500	0,150	0,080	0,220	0,037
84	57,000	0,010	0,010	0,000	0,056
85	63,100	0,110	0,060	0,120	0,038
86	57,000	0,010	0,010	0,000	0,056
87	12,000	0,070	0,040	0,050	0,041
88	57,000	0,010	0,010	0,000	0,049
89	202,200	0,030	0,020	0,010	0,046
90	86,900	0,480	0,380	5,570	0,030

91	132,000	0,060	0,030	0,040	0,042
92	36,000	0,030	0,020	0,010	0,047
93	90,500	0,570	0,450	7,650	0,029
94	5,100	0,600	0,310	2,840	0,030
95	127,800	0,060	0,050	0,120	0,041
96	29,750	0,030	0,020	0,010	0,046
97	58,350	0,690	0,350	3,680	0,029
98	-	0,700	0,350	59,350	-
99	18,000	0,710	0,560	11,500	0,028
100	6,400	0,750	0,380	4,290	0,029
101	13,100	0,360	0,180	1,120	0,032
102	223,300	0,390	0,200	1,300	0,032
103	13,500	0,420	0,220	1,480	0,031
104	223,800	0,420	0,210	1,450	0,031
105	28,200	0,870	0,440	5,650	0,028
106	160,150	0,030	0,020	0,010	0,046
107	51,750	0,010	0,010	0,000	0,054
108	75,000	0,070	0,040	0,050	0,041
109	78,650	0,100	0,050	0,100	0,039
110	41,800	1,010	0,510	7,450	0,028
111	120,400	1,490	0,760	15,300	0,026
112	6,000	0,920	0,470	6,270	0,028
113	96,700	0,020	0,010	0,010	0,049
114	54,300	0,010	0,010	0,000	0,052
115	22,700	0,010	0,010	0,000	0,062
116	178,900	0,040	0,020	0,020	0,045
117	34,600	0,010	0,010	0,000	0,041
118	44,600	0,010	0,010	0,000	0,047
119	85,450	0,080	0,040	0,070	0,040
120	93,950	0,010	0,010	0,010	0,051
121	36,500	0,110	0,060	0,120	0,038
122	5,100	2,530	1,290	40,790	0,024
123	13,200	2,650	1,350	44,450	0,024
124	29,800	0,010	0,010	0,000	0,047
125	31,450	2,670	1,360	45,070	0,024
126	67,550	2,690	1,370	45,700	0,024
127	149,800	2,710	0,350	1,580	0,026
128	81,750	0,010	0,010	0,000	0,056
129	97,950	0,020	0,010	0,010	0,049
130	87,750	0,020	0,000	0,000	0,064
131	100,800	0,080	0,010	0,000	0,044
132	100,800	0,460	0,060	0,060	0,034
133	100,500	1,030	0,230	1,070	0,029
134	289,800	0,180	0,090	0,530	0,062
135	141,200	0,410	0,210	1,400	0,032
136	77,700	0,020	0,010	0,010	0,050
137	7,100	0,240	0,120	0,520	0,034

138	94,700	0,200	0,100	0,370	0,035
139	70,200	0,290	0,150	0,740	0,033
140	85,900	0,020	0,010	0,010	0,049
141	77,200	0,120	0,060	0,150	0,038
142	58,900	0,130	0,070	0,170	0,037
143	95,500	0,160	0,080	0,240	0,036
144	81,700	0,030	0,020	0,010	0,046
145	146,000	0,240	0,120	0,520	0,034
146	140,800	0,490	0,250	1,950	0,031
147	150,750	1,580	0,800	17,060	0,026
148	89,000	0,110	0,010	0,000	0,042
149	38,700	0,010	0,010	0,000	0,055
150	68,100	0,050	0,030	0,030	0,043
151	-	1,770	0,390	52,140	-
152	242,250	5,930	1,340	27,400	0,022
153	53,750	5,930	1,340	27,400	0,022
154	81,800	5,930	1,340	27,400	0,022
155	5,000	-5,930	1,340	27,400	0,022
156	151,300	7,760	0,990	11,100	0,022
157	183,400	10,530	1,340	19,550	0,021
158	101,000	0,010	0,010	0,000	0,056
159	89,700	0,010	0,010	0,000	0,055
160	93,800	10,610	1,350	19,820	0,021
161	208,500	10,660	1,360	20,000	0,021
162	34,700	10,660	1,360	20,000	0,021
163	-	10,660	-	-124,590	-
164	18,300	-10,660	1,360	20,000	0,021

APÊNDICE D – Resultado das pressões simulação sem VRPs

Ident. do nó	Cota (m)	Consumo (l/s)	Carga hidráulica (m)	Pressão (m)
1	162	0,03	180,79	18,79
2	163	0,03	180,79	17,79
3	143	0,03	180,8	37,8
4	141	0,03	180,81	39,81
5	131	0,03	180,82	49,82
6	118	0,03	180,84	62,84
7	113	0,04	180,86	67,86
8	113	0,02	180,86	67,86
9	116	0,02	180,83	64,83
10	116	0,02	180,83	64,83
11	119	0,02	180,82	61,82
12	119	0,02	180,82	61,82
13	119	0,02	180,82	61,82
14	119,5	0,04	180,82	61,32
15	110	0,02	180,82	70,82
16	134	0,02	180,82	46,82
17	120,9	0,01	181,07	60,17
18	129	0,03	181,23	52,23
19	130,8	0,03	181,39	50,59
20	135,2	0,04	181,54	46,34
21	108	0,02	181,22	73,22
22	112	0,02	181,39	69,39
23	135,2	0,04	181,5	46,3
24	130,8	0,03	181,16	50,36
25	129	0,01	180,74	51,74
26	120,9	0,01	180,21	59,31
27	121,5	0,01	180,16	58,66
28	128	0,01	180,16	52,16
29	121	0,01	180,07	59,07
30	112	0,01	179,57	67,57
31	108	0,03	178,59	70,59
32	110	0,03	178,57	68,57
33	110	0,01	178,57	68,57
34	110	0,01	178,57	68,57
35	110	0,01	178,57	68,57
36	118	0,01	178,57	60,57
37	118	0,01	178,57	60,57
38	118	0,01	178,57	60,57
39	119	0,01	178,57	59,57
40	127	0,01	178,57	51,57
41	104	0,01	178,57	74,57
42	126	0,01	178,57	52,57
43	113	0,02	178,59	65,59

44	99	0,05	178,28	79,28
45	122	0,05	178,26	56,26
46	130	0,01	178,26	48,26
47	116	0,01	178,26	62,26
48	100	0,05	178,14	78,14
49	98	0,04	178,05	80,05
50	98	0,03	178,05	80,05
51	112,5	0,04	178,02	65,52
52	117	0,01	178,02	61,02
53	112,5	0,04	178,02	65,52
54	104,5	0,01	178,02	73,52
55	124	0,03	178,02	54,02
56	85	0,04	177,98	92,98
57	85	0,02	177,98	92,98
58	85	0,02	177,98	92,98
59	85	0,02	177,98	92,98
60	109,5	0,02	177,98	68,48
61	109,5	0,02	177,98	68,48
62	82,2	0,02	177,98	95,78
63	80	0,03	177,98	97,98
64	100	0,01	177,98	77,98
65	100	0,01	177,98	77,98
66	83	0,01	177,98	94,98
67	81,2	0,02	180,86	99,66
68	80	0,02	180,86	100,86
69	77	0,02	180,86	103,86
70	77	0,03	180,86	103,86
71	90	0,01	180,86	90,86
72	74	0,02	180,88	106,88
73	73,5	0,03	180,88	107,38
74	71	0,01	180,88	109,88
75	73	0,03	180,89	107,89
76	73	0,02	180,89	107,89
77	76	0,01	180,9	104,9
78	76	0,01	180,9	104,9
79	75	0,01	180,9	105,9
80	88	0,03	180,95	92,95
81	98	0,03	180,92	82,92
82	97	0,03	180,92	83,92
83	95	0,03	180,91	85,91
84	90,8	0,01	180,91	90,11
85	103	0,03	180,91	77,91
86	94	0,01	180,91	86,91
87	104	0,03	180,91	76,91
88	95	0,01	180,91	85,91
89	115,5	0,03	180,9	65,4
90	83	0,03	181,43	98,43

91	68	0,03	181,43	113,43
92	70	0,03	181,43	111,43
93	90	0,03	182,12	92,12
94	90	0,03	182,14	92,14
95	74	0,03	182,12	108,12
96	76,5	0,03	182,12	105,62
97	96	0,01	182,35	85,35
98	96	0,01	182,35	86,35
99	97,9	0,04	182,56	84,66
100	97,9	0,03	182,59	84,69
101	98	0,03	182,6	84,6
102	124	0,03	182,89	58,89
103	124	0,03	182,91	58,91
104	127	0,04	183,07	56,07
105	95	0,03	183,06	88,06
106	108	0,03	183,06	75,06
107	104	0,01	183,06	79,06
108	120	0,03	183,06	63,06
110	127,6	0,03	183,38	55,78
111	145	0,02	181,5	36,5
112	98	0,01	183,58	85,58
113	104	0,02	183,58	79,58
114	105	0,01	183,58	78,58
115	126,8	0,02	183,58	56,78
116	120	0,01	183,58	63,58
117	124	0,01	183,58	59,58
118	126	0,02	183,59	57,59
119	133	0,01	183,58	50,58
120	127	0,01	183,59	56,59
121	128	0,01	184,18	56,18
122	125	0,01	184,18	59,18
123	126	0,02	185,59	59,59
124	127	0,02	188,68	61,68
125	125,5	0,06	188,92	63,42
126	94	0,01	184,55	90,55
127	106	0,01	184,55	78,55
128	95	0,04	184,55	89,55
129	90,4	0,02	184,55	94,15
130	107	0,2	184,55	77,55
131	118	0,16	184,56	66,56
132	130	0,06	184,67	56,67
133	87	0,18	184,4	97,4
134	96,5	0,13	184,28	87,78
135	93	0,15	184,29	91,29
136	100	0,15	184,3	84,3
137	90	0,02	184,3	94,3
138	110	0,15	184,36	74,36

139	110,5	0,15	184,36	73,86
140	94	0,02	184,36	90,36
141	109	0,03	184,32	75,32
142	115	0,05	184,32	69,32
143	124	0,05	184,39	61,39
144	110	0,08	187,24	77,24
145	103	0,05	187,27	84,24
146	110	0,01	187,24	77,24
147	102	0,05	187,24	85,24
148	135	0,06	187,24	52,24
149	140	0	180,6	40,6
150	136	0	179,13	43,13
151	150	0	176,89	26,89
152	105	0,06	192,5	87,5
153	105	0,01	192,5	87,5
154	110	0,01	192,5	82,5
155	86	0,05	194,36	108,36
156	73,5	0	198,53	125,03
157	75	0	199,23	124,23
158	75	0	74,63	-0,37

APÊNDICE E – Resultado das pressões na situação atual

Ident. do nó	Cota (m)	Consumo (l/s)	Carga hidráulica (m)	Pressão (m)
1	162	0,03	180,79	18,79
2	163	0,03	180,79	17,79
3	143	0,03	180,8	37,8
4	141	0,03	180,81	39,81
5	131	0,03	180,82	49,82
6	118	0,03	180,84	62,84
7	113	0,04	180,86	67,86
8	113	0,02	180,86	67,86
9	116	0,02	180,83	64,83
10	116	0,02	180,83	64,83
11	119	0,02	180,82	61,82
12	119	0,02	180,82	61,82
13	119	0,02	180,82	61,82
14	119,5	0,04	180,82	61,32
15	110	0,02	180,82	70,82
16	134	0,02	180,82	46,82
17	120,9	0,01	181,07	60,17
18	129	0,03	181,23	52,23
19	130,8	0,03	181,39	50,59
20	135,2	0,04	181,54	46,34
21	108	0,02	181,22	73,22
22	112	0,02	181,39	69,39
23	135,2	0,04	181,5	46,3
24	130,8	0,03	181,16	50,36
25	129	0,01	180,74	51,74
26	120,9	0,01	180,21	59,31
27	121,5	0,01	180,16	58,66
28	128	0,01	180,16	52,16
29	121	0,01	180,07	59,07
30	112	0,01	179,57	67,57
31	108	0,03	178,59	70,59
32	110	0,03	178,57	68,57
33	110	0,01	178,57	68,57
34	110	0,01	178,57	68,57
35	110	0,01	178,57	68,57
36	118	0,01	178,57	60,57
37	118	0,01	178,57	60,57
38	118	0,01	178,57	60,57
39	119	0,01	178,57	59,57
40	127	0,01	178,57	51,57
41	104	0,01	178,57	74,57
42	126	0,01	178,57	52,57
43	113	0,02	178,59	65,59
44	99	0,05	178,28	79,28

45	122	0,05	178,26	56,26
46	130	0,01	178,26	48,26
47	116	0,01	178,26	62,26
48	100	0,05	178,14	78,14
49	98	0,04	178,05	80,05
50	98	0,03	178,05	80,05
51	112,5	0,04	178,02	65,52
52	117	0,01	178,02	61,02
53	112,5	0,04	178,02	65,52
54	104,5	0,01	178,02	73,52
55	124	0,03	178,02	54,02
56	85	0,04	177,98	92,98
57	85	0,02	177,98	92,98
58	85	0,02	177,98	92,98
59	85	0,02	177,98	92,98
60	109,5	0,02	177,98	68,48
61	109,5	0,02	177,98	68,48
62	82,2	0,02	177,98	95,78
63	80	0,03	177,98	97,98
64	100	0,01	177,98	77,98
65	100	0,01	177,98	77,98
66	83	0,01	177,98	94,98
67	81,2	0,02	121,51	40,31
68	80	0,02	121,51	41,51
69	77	0,02	121,51	44,51
70	77	0,03	121,51	44,51
71	90	0,01	121,51	31,51
72	74	0,02	121,52	47,52
73	73,5	0,03	121,53	48,03
74	71	0,01	121,53	50,53
75	73	0,03	121,53	48,53
76	73	0,02	121,53	48,53
77	76	0,01	121,55	45,55
78	76	0,01	121,55	45,55
79	75	0,01	121,55	46,55
80	88	0,03	121,59	33,59
81	98	0,03	121,58	23,57
82	97	0,03	121,57	24,57
83	95	0,03	121,56	26,56
84	90,8	0,01	121,56	30,76
85	103	0,03	121,55	18,55
86	94	0,01	121,55	27,55
87	104	0,03	121,55	17,55
88	95	0,01	121,55	26,55
89	115,5	0,03	121,55	6,05
90	83	0,03	122,08	39,08
91	68	0,03	122,07	54,07

92	70	0,03	122,07	52,07
93	90	0,03	122,77	32,77
94	90	0,03	122,79	32,79
95	74	0,03	122,77	48,77
96	76,5	0,03	122,77	46,27
97	96	0,01	123	27
98	96	0,01	182,35	86,35
99	97,9	0,04	182,56	84,66
100	97,9	0,03	182,59	84,69
101	98	0,03	182,6	84,6
102	124	0,03	182,89	58,89
103	124	0,03	182,91	58,91
104	127	0,04	183,07	56,07
105	95	0,03	183,06	88,06
106	108	0,03	183,06	75,06
107	104	0,01	183,06	79,06
108	120	0,03	183,06	63,06
110	127,6	0,03	183,38	55,78
111	145	0,02	181,5	36,5
112	98	0,01	183,58	85,58
113	104	0,02	183,58	79,58
114	105	0,01	183,58	78,58
115	126,8	0,02	183,58	56,78
116	120	0,01	183,58	63,58
117	124	0,01	183,58	59,58
118	126	0,02	183,59	57,59
119	133	0,01	183,58	50,58
120	127	0,01	183,59	56,59
121	128	0,01	184,18	56,18
122	125	0,01	184,18	59,18
123	126	0,02	185,59	59,59
124	127	0,02	188,68	61,68
125	125,5	0,06	188,92	63,42
126	94	0,01	132,41	38,41
127	106	0,01	132,41	26,41
128	95	0,04	132,41	37,41
129	90,4	0,02	132,41	42,01
130	107	0,2	132,42	25,42
131	118	0,16	132,42	14,42
132	130	0,06	132,53	2,53
133	87	0,18	132,26	45,26
134	96,5	0,13	132,15	35,65
135	93	0,15	132,16	39,16
136	100	0,15	132,17	32,17
137	90	0,02	132,17	42,17
138	110	0,15	132,22	22,22
139	110,5	0,15	132,22	21,72

140	94	0,02	132,22	38,22
141	109	0,03	132,18	23,18
142	115	0,05	132,18	17,18
143	124	0,05	132,25	8,25
144	110	0,08	135,1	25,1
145	103	0,05	135,1	32,1
146	110	0,01	135,1	25,1
147	102	0,05	135,1	33,1
148	135	0,06	187,24	52,24
149	140	0	180,6	40,6
150	136	0	179,13	43,13
151	150	0	176,89	26,89
152	105	0,06	192,5	87,5
153	105	0,01	192,5	87,5
154	110	0,01	192,5	82,5
155	86	0,05	194,36	108,36
156	73,5	0	198,53	125,03
157	75	0	199,23	124,23
158	75	0	74,63	-0,37

APÊNDICE F – Resultado das pressões na simulação com proposta de melhoria

Ident. do nó	Cota (m)	Consumo (l/s)	Carga hidráulica (m)	Pressão (m)
1	162	0,03	180,79	18,79
2	163	0,03	180,79	17,79
3	143	0,03	180,8	37,8
4	141	0,03	180,81	39,81
5	131	0,03	180,82	49,82
6	118	0,03	180,84	62,84
7	113	0,04	180,86	67,86
8	113	0,02	180,86	67,86
9	116	0,02	180,83	64,83
10	116	0,02	180,83	64,83
11	119	0,02	180,82	61,82
12	119	0,02	180,82	61,82
13	119	0,02	180,82	61,82
14	119,5	0,04	180,82	61,32
15	110	0,02	180,82	70,82
16	134	0,02	180,82	46,82
17	120,9	0,01	181,07	60,17
18	129	0,03	181,23	52,23
19	130,8	0,03	181,39	50,59
20	135,2	0,04	181,54	46,34
21	108	0,02	181,22	73,22
22	112	0,02	181,39	69,39
23	135,2	0,04	181,5	46,3
24	130,8	0,03	145,8	15
25	129	0,01	145,38	16,38
26	120,9	0,01	144,85	23,95
27	121,5	0,01	144,8	23,3
28	128	0,01	144,8	16,8
29	121	0,01	144,72	23,72
30	112	0,01	144,21	32,21
31	108	0,03	143,23	35,23
32	110	0,03	143,21	33,21
33	110	0,01	143,21	33,21
34	110	0,01	143,21	33,21
35	110	0,01	143,21	33,21
36	118	0,01	143,21	25,21
37	118	0,01	143,21	25,21
38	118	0,01	143,21	25,21
39	119	0,01	143,21	24,21
40	127	0,01	143,21	16,21
41	104	0,01	143,21	39,21
42	126	0,01	143,21	17,21
43	113	0,02	143,23	30,23

44	99	0,05	142,92	43,92
45	122	0,05	142,9	20,9
46	130	0,01	142,9	12,9
47	116	0,01	142,9	26,9
48	100	0,05	142,78	42,78
49	98	0,04	142,7	44,7
50	98	0,03	142,7	44,7
51	112,5	0,04	142,66	30,16
52	117	0,01	142,66	25,66
53	112,5	0,04	142,66	30,16
54	104,5	0,01	142,66	38,16
55	124	0,03	142,66	18,66
56	85	0,04	142,63	57,63
57	85	0,02	142,63	57,63
58	85	0,02	142,63	57,63
59	85	0,02	142,63	57,63
60	109,5	0,02	142,63	33,12
61	109,5	0,02	142,63	33,12
62	82,2	0,02	142,62	60,42
63	80	0,03	142,62	62,62
64	100	0,01	142,62	42,62
65	100	0,01	142,62	42,62
66	83	0,01	142,62	59,62
67	81,2	0,02	121,51	40,31
68	80	0,02	121,51	41,51
69	77	0,02	121,51	44,51
70	77	0,03	121,51	44,51
71	90	0,01	121,51	31,51
72	74	0,02	121,52	47,52
73	73,5	0,03	121,53	48,03
74	71	0,01	121,53	50,53
75	73	0,03	121,53	48,53
76	73	0,02	121,53	48,53
77	76	0,01	121,55	45,55
78	76	0,01	121,55	45,55
79	75	0,01	121,55	46,55
80	88	0,03	121,59	33,59
81	98	0,03	121,58	23,57
82	97	0,03	121,57	24,57
83	95	0,03	121,56	26,56
84	90,8	0,01	121,56	30,76
85	103	0,03	121,55	18,55
86	94	0,01	121,55	27,55
87	104	0,03	121,55	17,55
88	95	0,01	121,55	26,55
89	115,5	0,03	121,55	6,05
90	83	0,03	122,08	39,08

91	68	0,03	122,07	54,07
92	70	0,03	122,07	52,07
93	90	0,03	122,77	32,77
94	90	0,03	122,79	32,79
95	74	0,03	122,77	48,77
96	76,5	0,03	122,77	46,27
97	96	0,01	123	27
98	96	0,01	182,35	86,35
99	97,9	0,04	182,56	84,66
100	97,9	0,03	182,59	84,69
101	98	0,03	182,6	84,6
102	124	0,03	182,89	58,89
103	124	0,03	182,91	58,91
104	127	0,04	183,07	56,07
105	95	0,03	183,06	88,06
106	108	0,03	183,06	75,06
107	104	0,01	183,06	79,06
108	120	0,03	183,06	63,06
110	127,6	0,03	183,38	55,78
111	145	0,02	181,5	36,5
112	98	0,01	183,58	85,58
113	104	0,02	183,58	79,58
114	105	0,01	183,58	78,58
115	126,8	0,02	183,58	56,78
116	120	0,01	183,58	63,58
117	124	0,01	183,58	59,58
118	126	0,02	183,59	57,59
119	133	0,01	183,58	50,58
120	127	0,01	183,59	56,59
121	128	0,01	184,18	56,18
122	125	0,01	184,18	59,18
123	126	0,02	185,59	59,59
124	127	0,02	188,68	61,68
125	125,5	0,06	188,92	63,42
126	94	0,01	132,41	38,41
127	106	0,01	132,41	26,41
128	95	0,04	132,41	37,41
129	90,4	0,02	132,41	42,01
130	107	0,2	132,42	25,42
131	118	0,16	132,42	14,42
132	130	0,06	132,53	2,53
133	87	0,18	132,26	45,26
134	96,5	0,13	132,15	35,65
135	93	0,15	132,16	39,16
136	100	0,15	132,17	32,17
137	90	0,02	132,17	42,17
138	110	0,15	132,22	22,22

139	110,5	0,15	132,22	21,72
140	94	0,02	132,22	38,22
141	109	0,03	132,18	23,18
142	115	0,05	132,18	17,18
143	124	0,05	132,25	8,25
144	110	0,08	135,1	25,1
145	103	0,05	135,1	32,1
146	110	0,01	135,1	25,1
147	102	0,05	135,1	33,1
148	135	0,06	187,24	52,24
149	140	0	180,6	40,6
150	136	0	179,13	43,13
151	150	0	176,89	26,89
152	105	0,06	192,5	87,5
153	105	0,01	192,5	87,5
154	110	0,01	192,5	82,5
155	86	0,05	194,36	108,36
156	73,5	0	198,53	125,03
157	75	0	199,23	124,23
158	75	0	74,63	-0,37

ANEXOS

ANEXO A – Curva característica da bomba

