

## I-1525 - AVALIAÇÃO DE METODOLOGIAS DE DISTRIBUIÇÃO DE DEMANDA EM MODELO HIDRÁULICO DE SISTEMA DE ÁGUA: ESTUDO DE CASO EM CAPÃO BONITO/SP.

**Guilherme Violato Girol<sup>(1)</sup>**

Engenheiro Sanitarista e Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Pós-graduação em Gerenciamento de Projetos pela Universidade do Vale do Itajaí (UNIVALI).

**Eduardo Pauly Fernandes<sup>(2)</sup>**

Engenheiro Sanitarista e Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

**Marisa Pacheco Martins<sup>(3)</sup>**

Engenheira Sanitarista e Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Jair Hamm, 38 – Pedra Branca – Palhoça – SC – CEP: 88137-084 – Brasil – Tel: (48) 98831-5011 - e-mail: [guilherme.girol@sanova.com.br](mailto:guilherme.girol@sanova.com.br)

### RESUMO

O modelo hidráulico computacional representa o sistema de abastecimento de água, seja ele existente ou em fase de projeto. Para construir um modelo hidráulico, a base de dados do sistema precisa ser a mais fidedigna possível. Entre os dados necessários para realizar a simulação, os dados de demanda de água se destacam em relação a sua importância. O objetivo deste trabalho é analisar quatro alternativas para importação de dados de consumo e de perdas no modelo hidráulico, utilizando o *software* WaterGEMS. A primeira alternativa é a inserção de demanda proporcionalmente à quantidade de nós no modelo hidráulico. A segunda é a distribuição pelos setores censitários do IBGE, com aplicação dos polígonos de Thiessen. A terceira utiliza as edificações geoespacializadas, identificadas por telhados como dados públicos. E a quarta alternativa é a importação dos consumos medidos através de ligações ativas de água georreferenciadas da companhia de água, sendo essa a metodologia mais empregada atualmente. A terceira alternativa apresentou maior eficiência quando não há dados comerciais georreferenciados, produzindo resultados mais aproximados da alternativa 4. Na segunda alternativa, como os dados foram coletados há mais de dez anos, gera inconsistência em relação à população atual da área de estudo. A primeira alternativa é uma opção para projetos que não exigem grande precisão nos resultados, sendo uma boa alternativa para simplificar o processo de construção do modelo hidráulico.

**PALAVRAS-CHAVE:** modelagem hidráulica, *WaterGEMS*, consumo de água, distribuição de demanda, calibração.

### INTRODUÇÃO

Os sistemas de abastecimento de água são um conjunto de instalações que levam água do manancial até o usuário. Em resumo, são destinados a produzir e distribuir água com o objetivo de fornecer ao cliente final água potável em quantidade, qualidade e regularidade.

A modelagem hidráulica computacional vem sendo cada vez mais adotada pelas companhias de água devido, principalmente, à complexidade cada vez maior dos sistemas, à exigência de respostas rápidas e corretas, ao aumento por demanda de água e à necessidade de investimentos, aos sistemas atingindo sua “vida útil” e à busca de melhorias nos indicadores de eficiência.

Um modelo hidráulico é uma representação computacional de um sistema, seja ele existente ou em fase de projeto, constituído de duas partes principais: uma base de dados e um *software* de modelagem. A utilização do modelo hidráulico possibilita o conhecimento dos parâmetros de vazão, de pressão e de perda de carga do sistema de abastecimento de água.

A modelagem hidráulica de sistemas de distribuição de água é fundamental para subsidiar as ações de melhorias e investimentos no curto, médio e longo prazo e para garantir o abastecimento de água de forma contínua e de qualidade. Também funciona como uma ferramenta para a gestão e operação, para a redução das perdas, para o avanço da eficiência energética. Além disso, é uma ferramenta que possibilita avaliar ações e

intervenções necessárias para projetar novos reservatórios, elevatórias e válvulas, ampliações e substituições de redes e melhorias do sistema de modo geral.

Para construir um modelo hidráulico, a base de dados do sistema precisa ser a mais fidedigna possível para que o resultado da simulação seja de qualidade, pois este resultado impacta diretamente nos apontamentos de ações e melhorias a serem implantadas. Dentre os principais dados necessários para construção de um modelo hidráulico de um sistema de abastecimento de água, pode-se citar: os dados de demanda de água, os dados de cadastro técnico e os dados de topografia.

Um das maiores problemáticas são os dados de demanda de água, pois muitas vezes não se sabe a localização dos consumidores, muito menos com informações geoespacializadas. Com os dados de entrada de consumo sem qualidade para importação no modelo hidráulico, já se inicia o estudo sem precisão e confiabilidade nos dados de saída e resultados de vazão no sistema como um todo.

## OBJETIVO

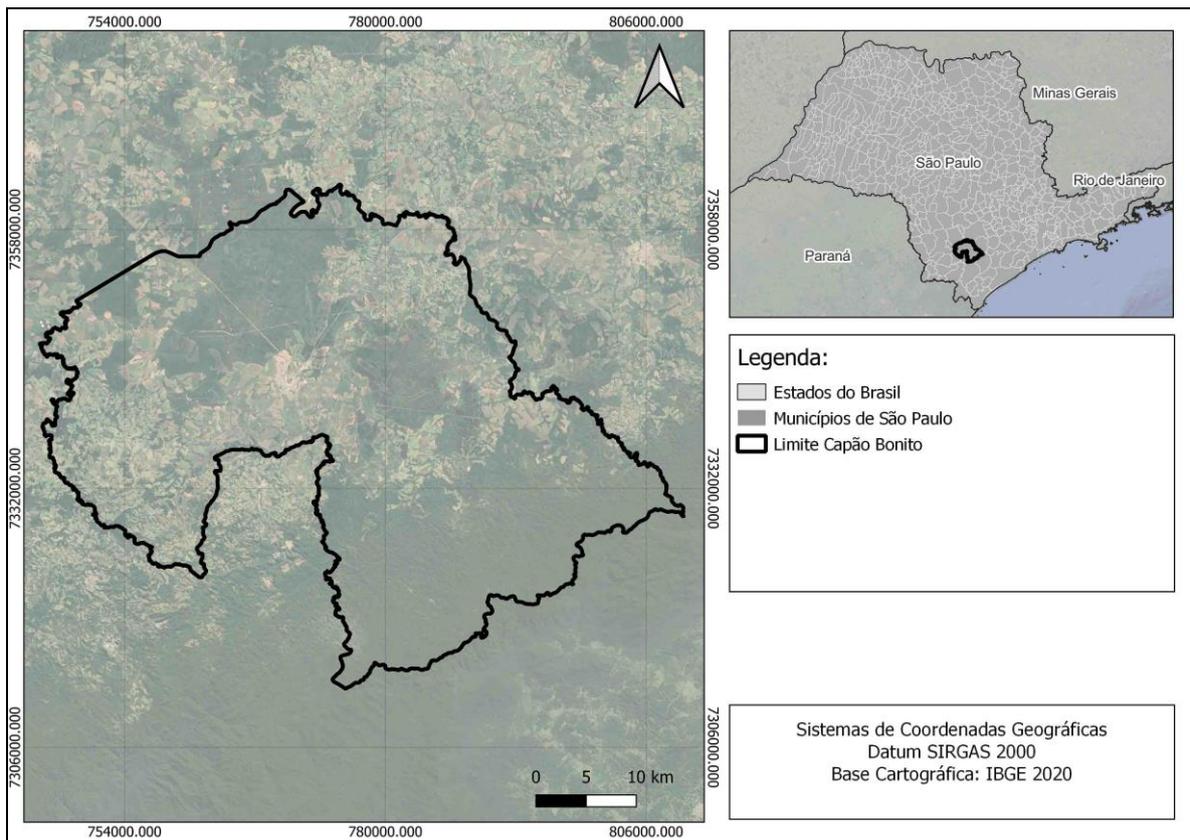
O objetivo do trabalho é analisar diferentes alternativas para a importação de dados de demanda no modelo hidráulico, utilizando o *software WaterGEMS*, e fazer uma avaliação do resultado num estudo de caso do sistema de abastecimento de água do município de Capão Bonito/SP. Com isso, a finalidade é direcionar projetistas e companhias de saneamento na escolha da melhor metodologia para estudos com uso da ferramenta de modelagem hidráulica de acordo com os dados disponíveis e a qualidade de informação.

## METODOLOGIA UTILIZADA

Como estudo de caso deste trabalho, utilizou-se o sistema de distribuição de água do município de Capão Bonito, do Estado de São Paulo.

O município de Capão Bonito está localizado na região sudoeste do Estado de São Paulo na região do Vale do Paranapema. Os municípios que fazem divisa com Capão Bonito são: Buri, Itapetininga, São Miguel Arcanjo, Sete Barras, Eldorado, Ribeirão Grande, Guapiara, Itapeva e Taquarivaí. Capão Bonito está à 223 km de distância da cidade de São Paulo. Situado a 728 metros de altitude, o município tem as seguintes coordenadas geográficas: Latitude: 24° 0' 14" Sul; Longitude: 48° 20' 21" Oeste. O município se estende por uma área de 1.640,23 km<sup>2</sup> e possui para 2021, população estimada de 47.098 habitantes, com densidade demográfica de 28,15 hab/km<sup>2</sup>, dados levantados pelo IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

A Figura 1 foi elaborada para mostrar a localização do município dentro do Estado de São Paulo.



**Figura 1: Localização de Capão Bonito/SP.**

O serviço de água e esgoto no município é operado pela Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP). O SNIS, na sua base de dados mais atualizada (2021), apresenta os seguintes dados e indicadores de Capão Bonito para contextualizar este trabalho:

- População atendida com serviços de água: 45.997
- Extensão de redes de água (km): 202,44
- Número de ligações ativas de água: 15.734
- Número de economias ativas de água: 15.933
- Volume de água produzido (m<sup>3</sup>/ano): 2.445.300
- Volume de água micromedido (m<sup>3</sup>/ano): 1.841.630
- Índice de perdas na distribuição (%): 24,45
- Índice de perdas por ligação (litros/lig/dia): 104,83

Estas alternativas devem tomar como base a mesma demanda média total do sistema, para ser avaliado o impacto da variação na distribuição em cada nó do sistema, uma vez que conceitualmente os *softwares* de modelagem hidráulica computacional utilizam as junções do modelo para atribuir vazão de demanda. A partir de uma planilha Excel exportada do sistema comercial da SABESP com as ligações ativas do sistema e o consumo lido dos últimos 12 meses, aplicou-se um cálculo da média histórica somada às perdas estimadas do sistema, para chegar na demanda média total de 79,5 L/s.

Sendo assim, a partir do consumo médio calculado a partir do cadastro comercial e as perdas totais estimadas, tem-se a demanda média total do sistema, uma vez que demanda de água é a soma destas duas parcelas. Para todas as alternativas, considerou-se que as perdas totais de água são proporcionais ao consumo, no caso do número de nós, da população, das edificações e das ligações de água para as alternativas 1, 2, 3 e 4, respectivamente.

Para as perdas totais, considerou-se proporcional à geoespacialização do consumo pois é conhecido em estudos que a maior parcela dos vazamentos está nos ramais das ligações de água, entre a rede de água e o

barrilete de hidrômetro. E os vazamentos são a maior representação em volume das perdas físicas no sistema. Araújo (2005), em seu doutorado, traz a avaliação de que apenas 10% dos vazamentos são provenientes da rede de água, sendo os outros 90% correspondente às ligações prediais. Para as perdas aparentes, devido ao fato que Capão Bonito não apresentar um histórico de ligações clandestinas, considera-se que o erro de contabilização do volume lido é proporcional ao consumo de cada cliente.

Para importar os dados de consumo no modelo hidráulico, foi utilizada a ferramenta *ModelBuilder* e para distribuir as demandas foi utilizada a ferramenta *LoadBuilder*, ambas do *software WaterGEMS*.

Foram considerados quatro alternativa de distribuição de demanda para este trabalho, conforme resumo da Tabela 1.

**Tabela 1: Descrição resumida das alternativas de distribuição de demanda no modelo hidráulico.**

Alternativas	Descrição
Alternativa 1	Divisão da demanda pelo número de nós.
Alternativa 2	Distribuição proporcional aos setores censitários do IBGE e polígonos de Thiessen dos nós.
Alternativa 3	Divisão da demanda pelas edificações das imagens de radares do Bing.
Alternativa 4	Utilização das ligações ativas de água georreferenciadas do cadastro comercial.

A primeira alternativa é a inserção dos consumos e perdas proporcionalmente à quantidade e concentração de nós no modelo hidráulico. A segunda é a distribuição dos consumos pelos setores censitários do IBGE, com aplicação dos polígonos de Thiessen. A utilização de edificações geoespacializadas, identificadas por telhados em imagens áreas como dados públicos, define a terceira alternativa. E, por fim, a quarta alternativa a importação dos consumos medidos das ligações ativas de água georreferenciadas da companhia de abastecimento.

A seguir, será detalhada a metodologia de distribuição de demanda cada alternativa e de análise entre elas.

- **Alternativa 1**

Para a primeira alternativa, divide-se a demanda média total pela quantidade total de nós, conforme equação 1, distribuindo igualmente para todas as junções do modelo hidráulico da rede de distribuição através da ferramenta *Demand Control Center* do *WaterGEMS*.

Demanda média por nó = Demanda total / N° de nós equação (1)

- **Alternativa 2**

A segunda alternativa consiste na distribuição dos dados de entrada de demanda de água pelas áreas dos setores censitários definidas pelo IBGE, proporcional à população residente levantada em cada setor pelo indicado V002.

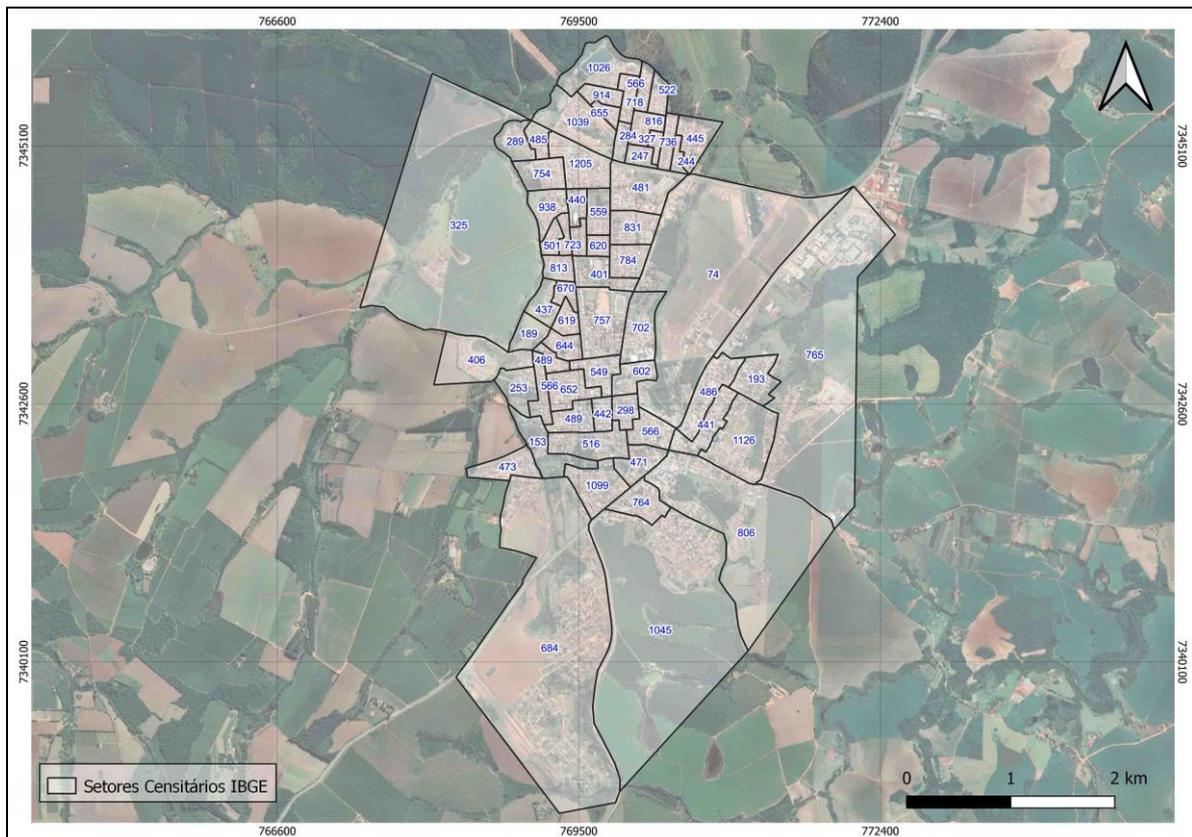
Para distribuir a demanda em cada nó dentro do modelo hidráulico, de acordo com os setores, foi utilizada a ferramenta de elaboração de polígonos de Thiessen do *WaterGEMS*.

Os polígonos de Thiessen são usados para análise espacial como objetivo de dividir uma área em regiões com base na proximidade de um conjunto de pontos de referência, que, no caso deste estudo, são as junções do modelo hidráulico. Cada região é representada por um polígono, em que todos os pontos dentro dele estão mais próximos de um ponto de referência específico, fornecendo informações úteis sobre a distribuição espacial de dados e a interação entre os pontos de referência em uma área.

Os polígonos criados consideram e são baseados, como arquivo de entrada, nos setores censitários. Assim, obteve-se uma área equivalente e correspondente por cada nó existente no modelo. A área de cada polígono de Thiessen é usada para atribuir um valor de população e, proporcionalmente, de demanda, quando comparada e dividida com a área total do setor censitários. Assim, a soma dos valores atribuídos para cada nó é igual ao total estipulado.

Para importar os polígonos de Thiessen e os polígonos dos setores censitários, aplicando o cálculo de proporcionalidade de demanda por nó, utilizou-se a ferramenta *LoadBuilder* que carregar estes arquivos em formato *shapefile*.

A Figura 2 e Figura 3 demonstram os polígonos dos setores censitários do IBGE com suas respectivas populações residentes e os polígonos de Thiessen por nó, respectivamente. Já a Figura 4 exemplifica um detalhe das junções e seus respectivos polígonos de Thiessen, em vermelho, dentro do setor censitário, em preto.



**Figura 2: Setores censitários do IBGE com suas respectivas populações residentes.**

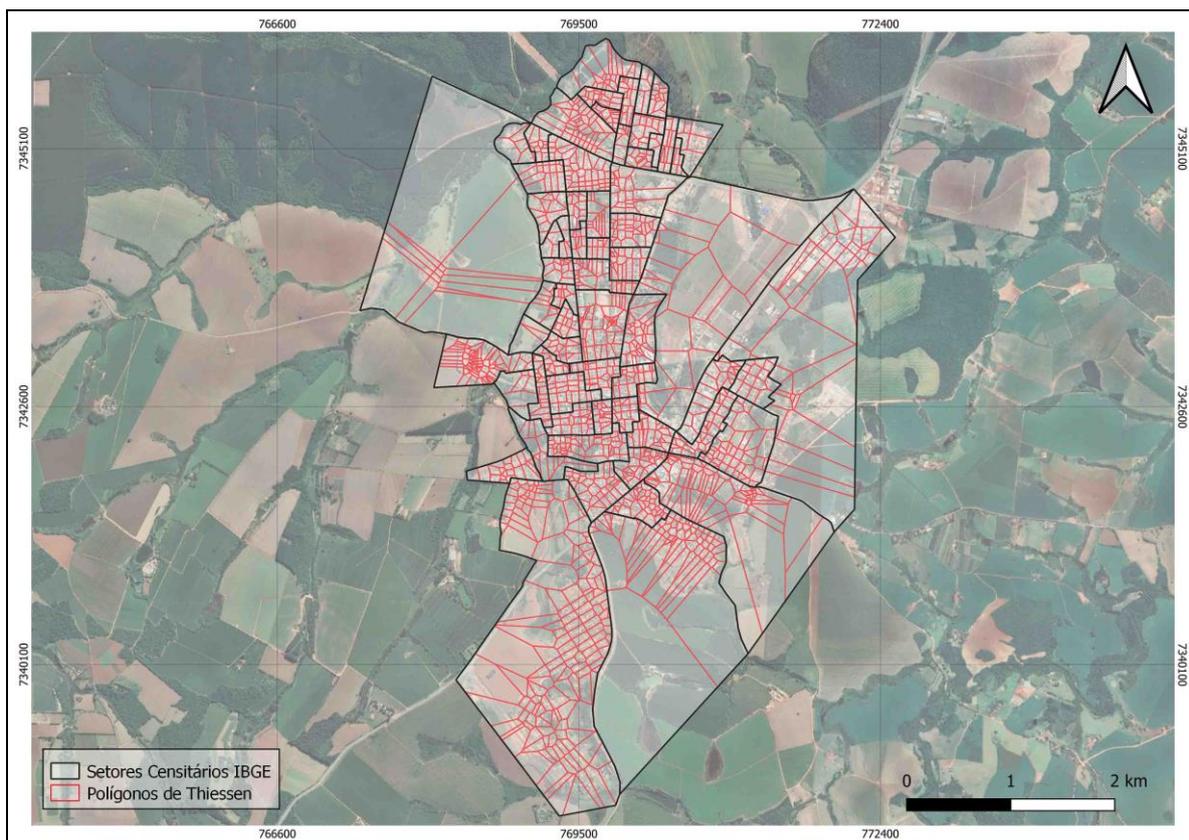


Figura 3: Polígonos de Thiessen (polígonos vermelhos) e Setores censitários do IBGE (polígonos pretos).

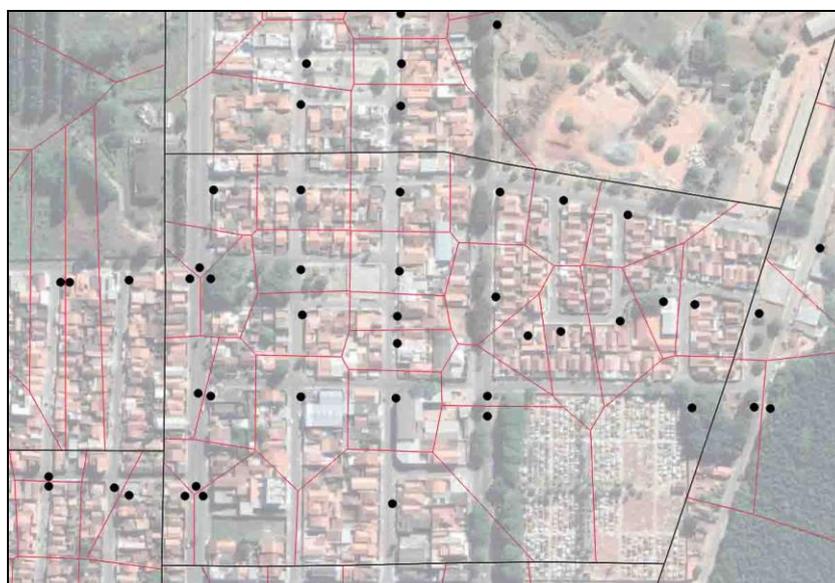


Figura 4: Detalhe dos polígonos de Thiessen para cada junção dentro dos setores censitários de IBGE.

- Alternativa 3

A terceira alternativa utiliza edificações geoespacializadas elaboradas pelo *Bing Maps*, através da detecção de imagens entre os anos de 2014 e 2022, incluindo imagens da *Maxar*, *Airbus* e *IGN France*.

Os dados do arquivo que representam as edificações foram elaborados em duas etapas. A primeira é a segmentação semântica na qual reconhece a construção de pixels em uma imagem aérea usando redes neurais profundas. A segunda etapa é a poligonização, convertendo detecções de pixel de construção em polígonos.

Como resultado deste trabalho, foi disponibilizado como dados de acesso público, um arquivo *geopackage* com camada de polígonos georreferenciados dos perímetros de cada edificação da imagem aérea.

A partir desta camada de polígono, transforma-se numa camada de pontos a partir da centróide. A partir deste novo arquivo *shapefile* gerado com os pontos localizados nas edificações, importa-se para o modelo hidráulico como o elemento *customer meter*, nos quais recebem as vazões de demanda dividida proporcionalmente pela quantidade de edificações do local. Ou seja, divide-se a demanda média total pela quantidade total de edificações importadas, distribuindo igualmente para todos os *customer meter* do modelo hidráulico.

Na Figura 5 pode ser observada a geoespacialização das edificações do Bing.



**Figura 5: Detalhe da geoespacialização das edificações do Bing.**

- **Alternativa 4**

Por fim, a quarta alternativa utiliza os consumos medidos reais de ligações ativas de água georreferenciadas. Estes dados possuem a localização das ligações e o histórico de consumo, nos quais foram importados para o modelo hidráulico e associados aos *customer meter*.

Desta forma, considera-se a melhor solução e a alternativa referência de análise para as demais, uma vez que usa o consumo lido real do cadastro comercial da companhia de água.

Na Figura 6 pode ser observada a geoespacialização das ligações ativas de água, no mesmo local da Figura 5 como comparação.



Figura 6: Detalhe da geoespacialização das ligações ativas de água.

- Metodologia de avaliação A: mapa de calor de distribuição de demanda

Como primeira metodologia de avaliação das quatro alternativas de distribuição de demanda, adotou-se a elaboração de mapas de calor da concentração de demanda nas junções do modelo, com objetivo de ser possível visualizar a geoespacialização de vazões no sistema.

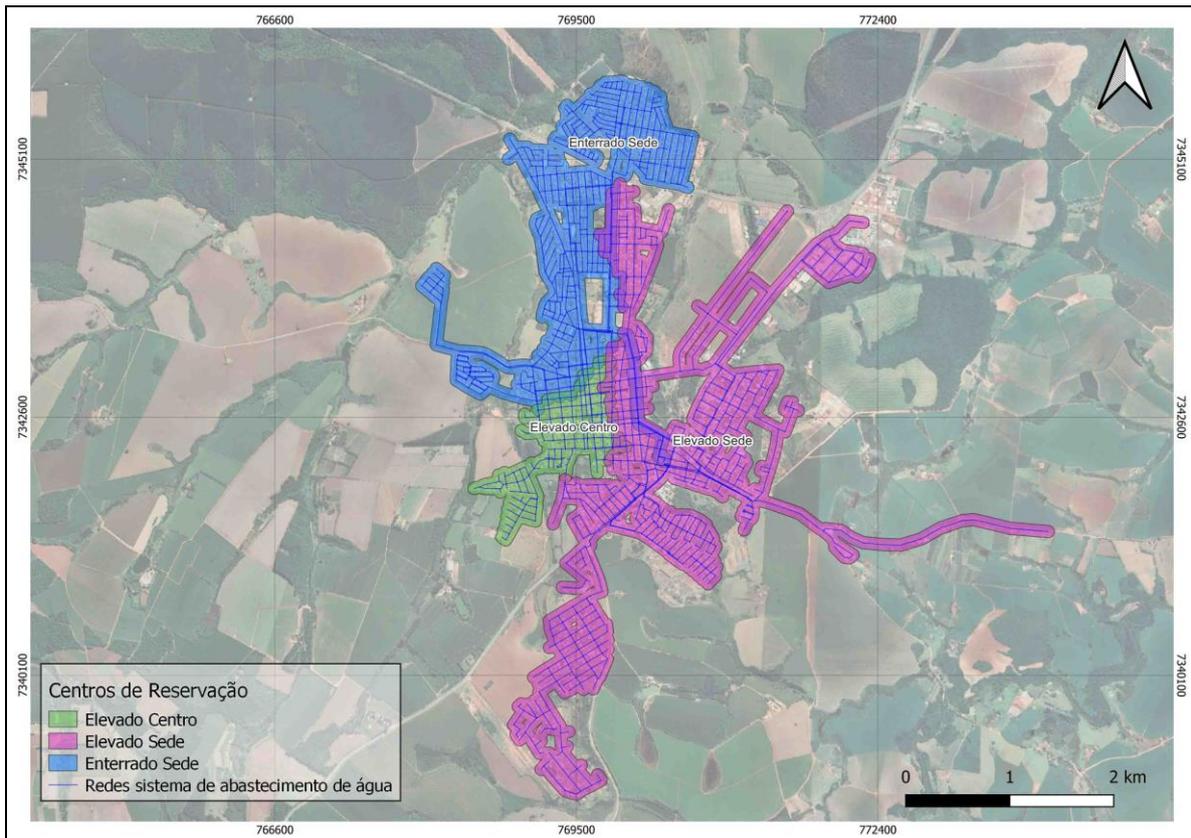
Como primeira etapa, exporta-se as junções do modelo hidráulico para cada uma das quatro alternativas com a informação da demanda atribuída. Como o arquivo exportado em *shapefile*, cria-se um mapa de calor dentro do *software QGIS*, considerando um raio de 200 metros considerando o peso e soma das vazões de demanda das junções. O arquivo final gerado é um *raster* com pixel de 5 por 5 metros, que é atribuída uma simbologia para melhor visualização do resultado.

- Metodologia de avaliação B: variação da demanda por centro de reservação e por zona de pressão

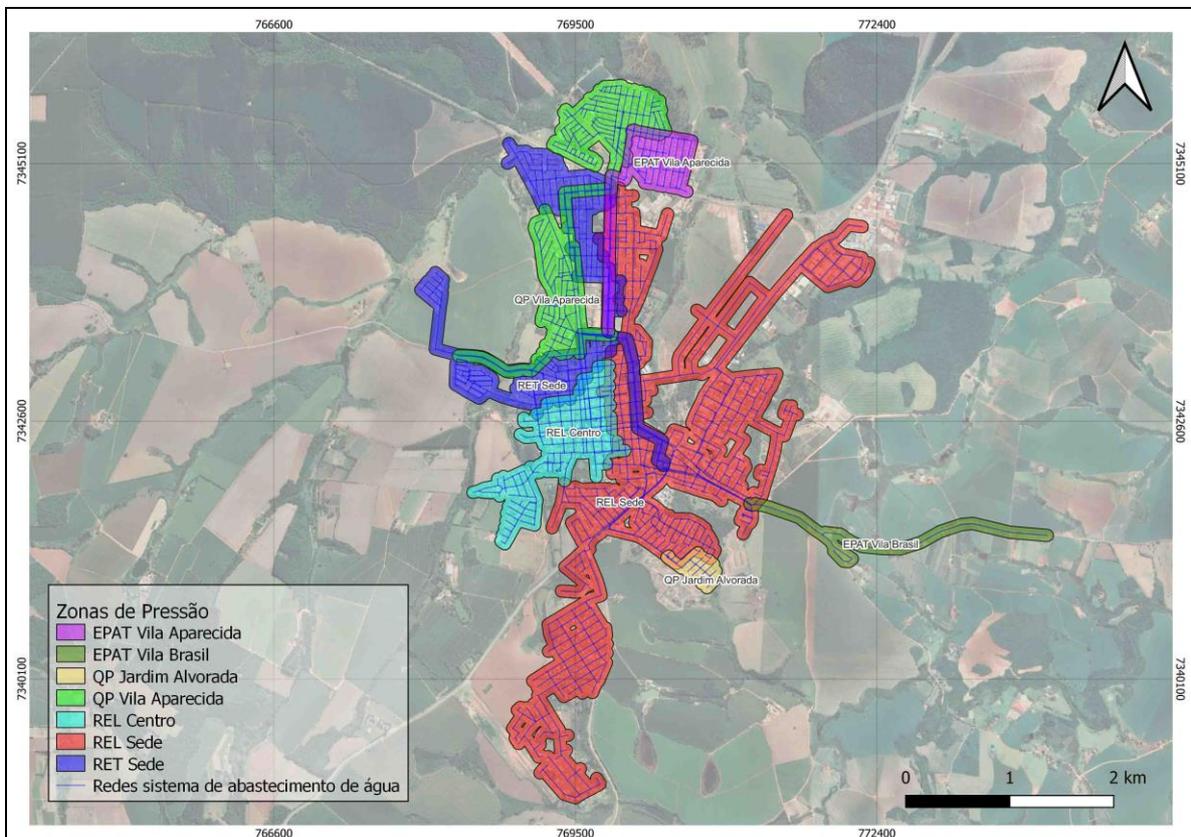
Um dos objetivos dos trabalhos de modelagem hidráulicos é projetar novas instalações do sistema de água, principalmente novos reservatórios, elevatórios e válvulas redutora de pressão. Como outra metodologia de avaliação, avalia-se a diferença do resultado de vazão das áreas dos Centros de Reservação e das áreas dos Setores de Zonas de Pressão do sistema.

As vazões de entrada destas áreas impactam diretamente no dimensionamento das novas instalações e, conseqüentemente, nos investimentos no sistema de água.

A Figura 7 demonstra os três Centros de Reservação e a Figura 8 os sete Setores de Zona de Pressão do Sistema de Distribuição de Água de Capão Bonito.



**Figura 7: Centros de Reservação do Sistema de Distribuição de Água de Capão Bonito.**



**Figura 8: Setores de Zona de Pressão do Sistema de Distribuição de Água de Capão Bonito.**

- Metodologia de avaliação C: variação da pressão na simulação em período estendido

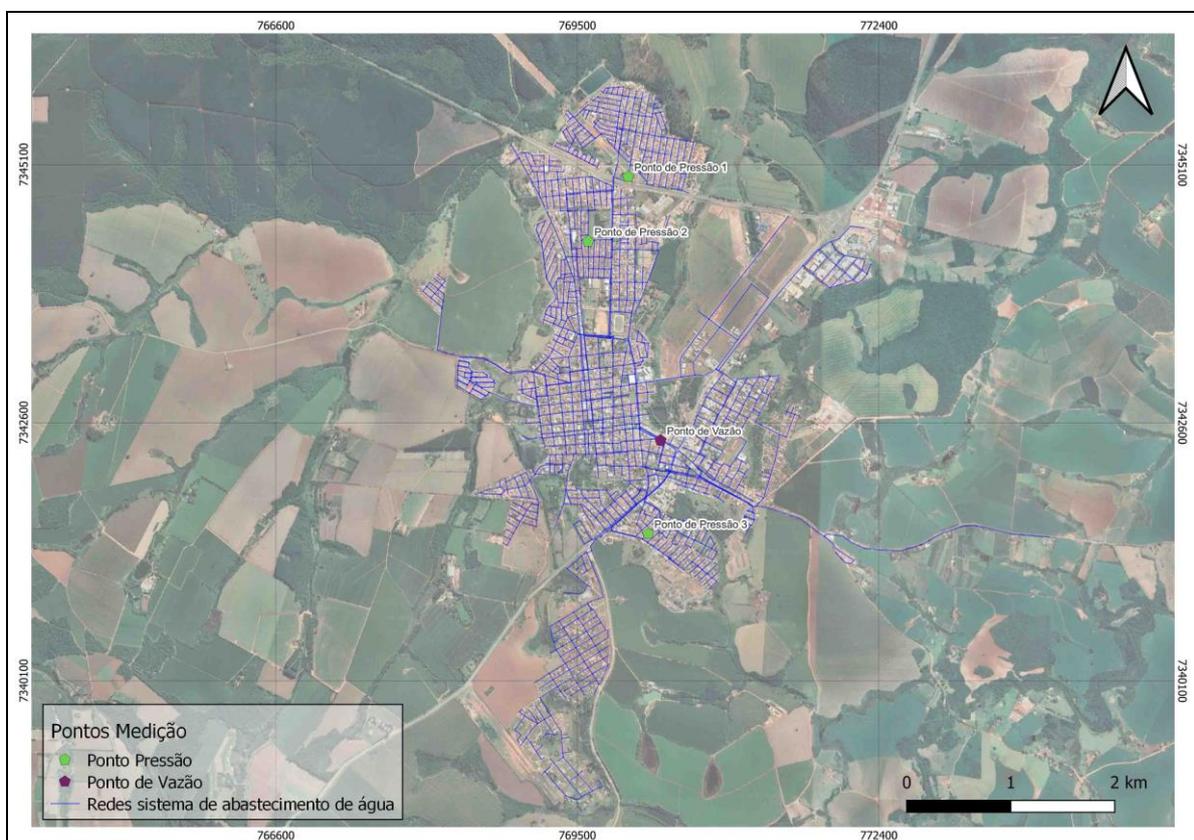
Para uma última metodologia de avaliação, o modelo hidráulico foi configurado para simulação em período estendido batendo a vazão de entrada do sistema a partir de coeficientes de correlação da vazão medida em campo com a vazão média da mesma área do modelo. Então, foram realizadas análises entre resultados de pressão obtidos na campanha de medição de campo de 48 horas e os dados simulados na modelagem hidráulica.

O modelo hidráulico usado no estudo já foi previamente revisado com ajuste de todo cadastro técnico junto da equipe operacional da SABESP e, também, validado através de uma etapa de calibração. Para este estudo, utilizou-se então dados de medição de pressão e vazão, com objetivo de comparar o resultado da variação de pressão pela perda de carga ao longo do período de análise para cada alternativa.

Para a realização da medição de vazão utilizou-se a técnica de Pitometria. Esta técnica compreende na obtenção da velocidade do fluido que escoar dentro das tubulações por meio da diferença entre a pressão de estagnação e pressão dinâmica, sendo que este valor, de acordo com o Teorema de Bernoulli será proporcional ao quadrado da vazão volumétrica do líquido. Este procedimento é realizado através do equipamento Tubo de Pitot acoplado numa maleta de Pitometria, responsável por registrar as informações. Segundo Netto e Fernandes (2015) o Tubo de Pitot é um equipamento que consiste em um tubo de material transparente, com uma extremidade recurvada em direção à corrente d'água inserido dentro da tubulação a ser medida.

Para as medições de pressão, utilizou-se de DataLoggers de pressão, que são equipamentos registradores de dados autônomos utilizados para monitoramento de dados em tempo real. O objetivo desses equipamentos é viabilizar o monitoramento à distância, não sendo, portanto, necessário a medição diária da informação que se deseja registrar. As tomadas de pressão são realizadas através dos Dataloggers acoplados em pontos de consumo conectados à rede de distribuição.

A Figura 9 demonstra a localização dos três pontos de medição de pressão e do ponto de medição de vazão do estudo.



**Figura 9: Localização dos pontos de medição de pressão e do ponto de medição de vazão do estudo.**

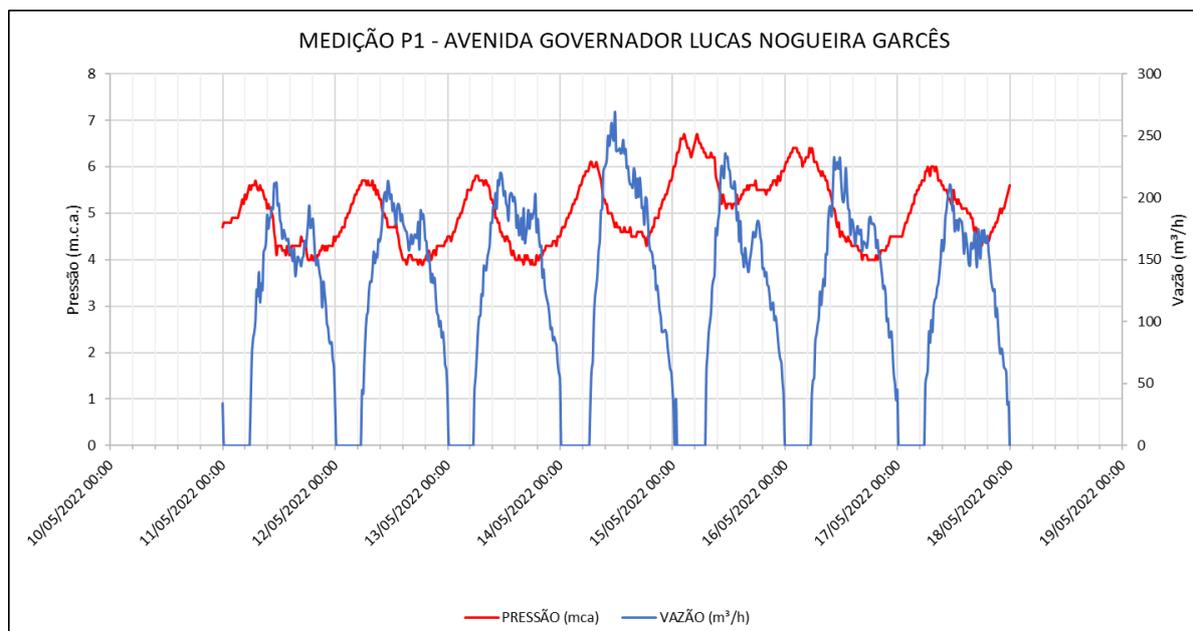
Dentre os dias da campanha de medição de campo, em que foram feitas as medições de vazão e pressão no sistema, adotou-se um período de 48 horas para realizar o estudo, com objetivo de ter resultados de dois dias de padrões de consumo e perdas de cargas. Escolheu-se os dias 11 e 12 de maio de 2022. Este período foi escolhido por apresentarem um comportamento padrão, sem variações bruscas nos dados capturados que normalmente indicam elevado consumo, problemas operacionais ou vazamentos de água.

O ponto definido para a medição de vazão está localizado na Avenida Governador Lucas Nogueira Garcês, nº 324, onde o diâmetro da tubulação, em que foi instalado o Tubo de Pitot, é 300 mm. A Figura 10 apresenta o local em que foi realizado a instalação do medidor de vazão.



**Figura 10: Detalhes do local de instalação do tubo de Pitot - Ponto de Vazão.**

A Figura 11 apresenta os resultados de campo para pressão e vazão, cuja pressão é simbolizada pela linha vermelha e a vazão através da linha azul.



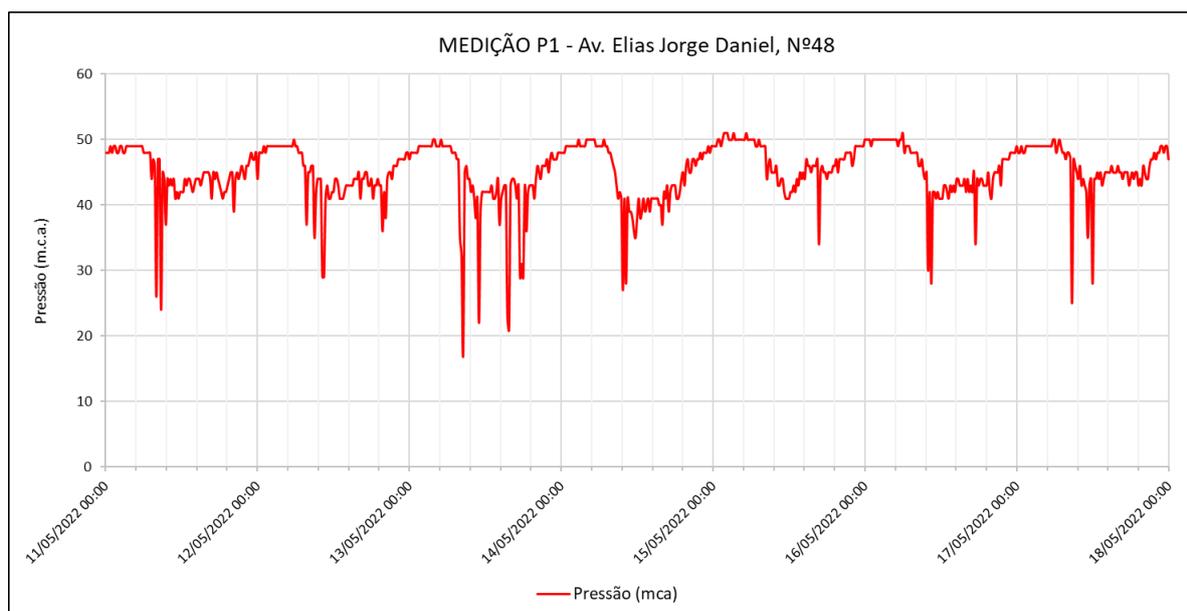
**Figura 11: Gráfico medição de vazão (azul) - Ponto de Vazão.**

O ponto 1 de medição de pressão encontra-se localizado na Av. Elias Jorge Daniel, nº 48. A Figura 12 apresenta o DataLogger de pressão instalado numa torneira dentro da residência de um cliente.



**Figura 12: Detalhes do local de instalação do Datalogger - Ponto 1 de Pressão.**

A Figura 13 apresenta os resultados de campo para pressão do ponto apresentado, cuja pressão é simbolizada pela linha vermelha.



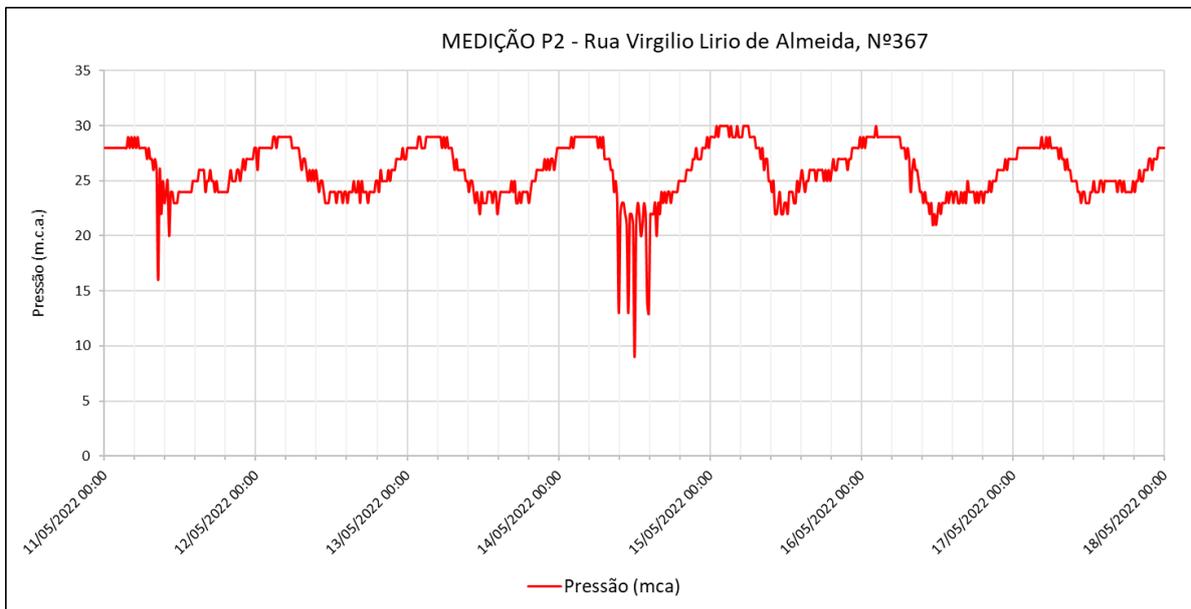
**Figura 13: Gráfico de medição de pressão – Ponto 1.**

O ponto 2 de medição de pressão encontra-se localizado na Rua Virgílio Lirio de Almeida, 367. A Figura 14 apresenta o DataLogger de pressão instalado no cavalete do cliente.



**Figura 14: Detalhes do local de instalação do Datalogger - Ponto 2 de Pressão.**

A Figura 15 apresenta os resultados de campo para pressão do ponto apresentado, cuja pressão é simbolizada pela linha vermelha.



**Figura 15: Gráfico medição de vazão e pressão - Ponto 2.**

O ponto 4 de medição de pressão encontra-se localizado na Rua Tenente Nelson Ricardo de Proença, nº 421. A Figura 16 apresenta o DataLogger de pressão instalado no cavalete do cliente.



Figura 16: Detalhes do local de instalação do Datalogger - Ponto 3 de Pressão.

A Figura 17 apresenta os resultados de campo para pressão do ponto apresentado, cuja pressão é simbolizada pela linha vermelha.

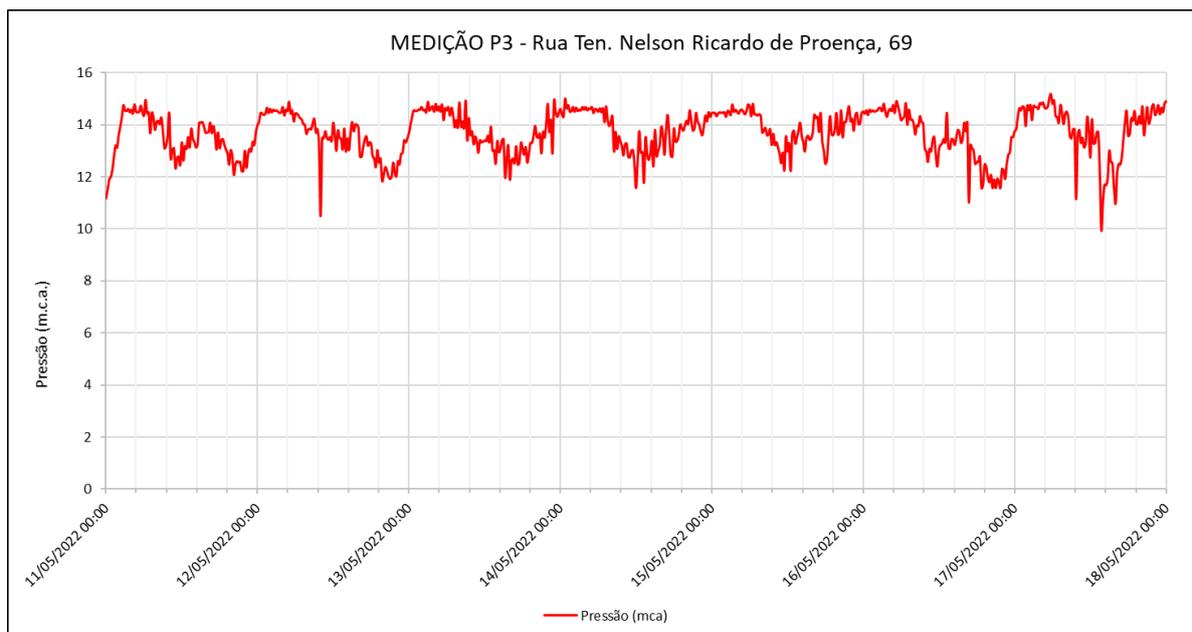


Figura 17: Gráfico medição de vazão e pressão – Ponto 3.

Também foi avaliada a pressão média de cada alternativa simulando cenários na demanda média de água de 79,5 L/s do sistema como um todo. Como simplificação, a pressão média do sistema foi calculada somando a pressão de todas as junções e dividindo pela quantidade.

## RESULTADOS OBTIDOS

Os resultados são apresentados por imagens, tabelas e gráficos conforme as três metodologias da avaliação apresentadas.

- Metodologia de avaliação A: mapa de calor de distribuição de demanda

A Figura 18, Figura 19, Figura 20 e Figura 21 mostram o mapa de calor da concentração de demanda das alternativas 1, 2, 3 e 4, respectivamente.

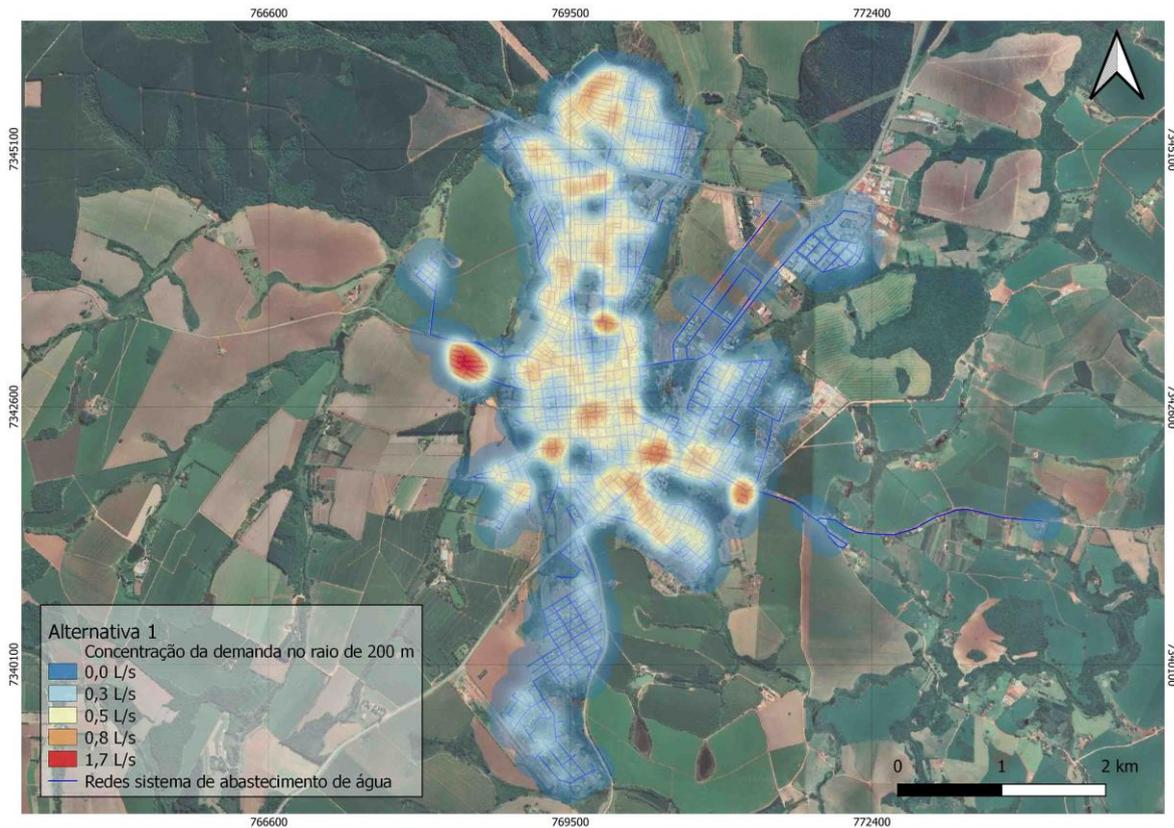
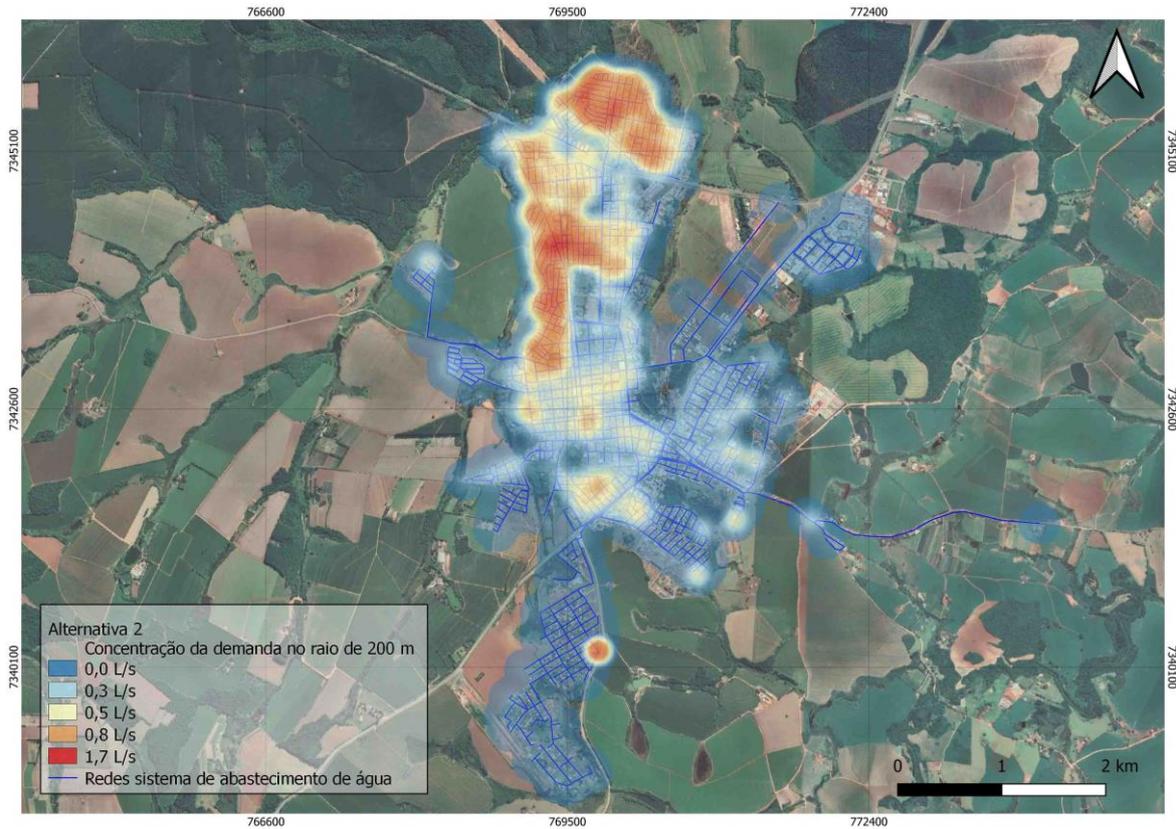
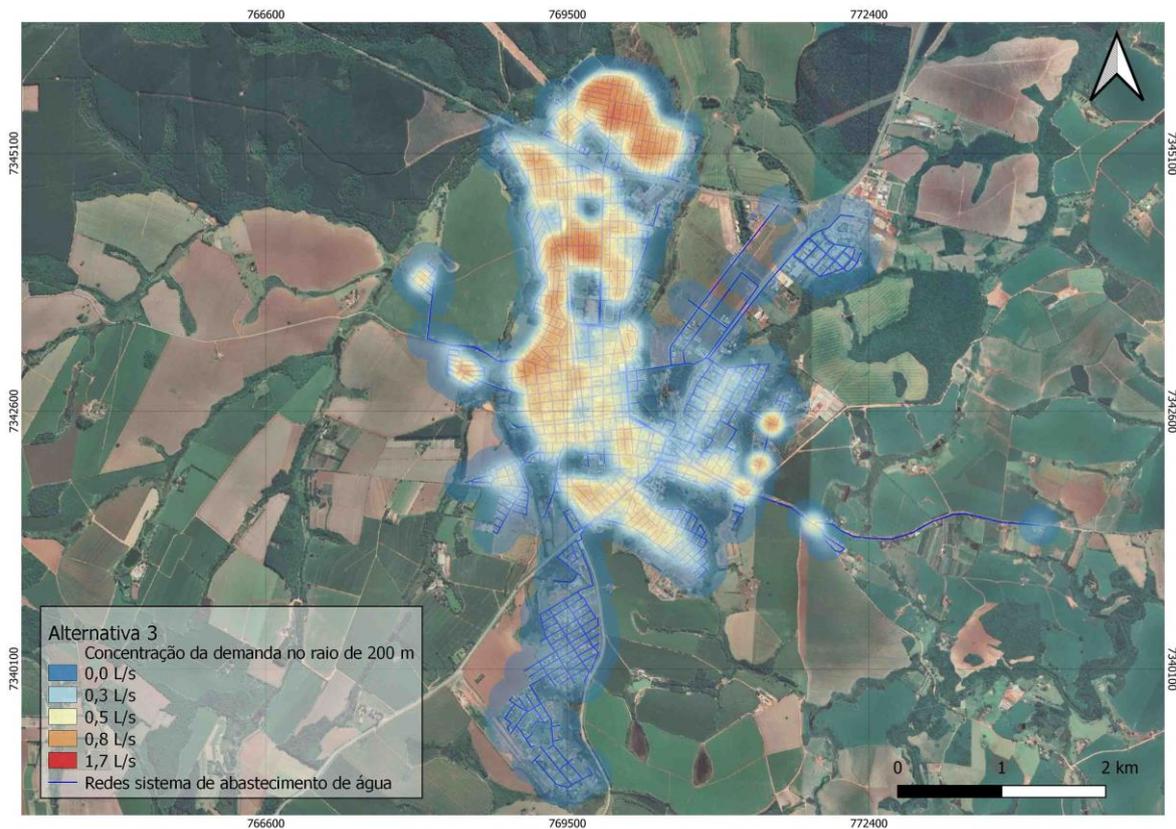


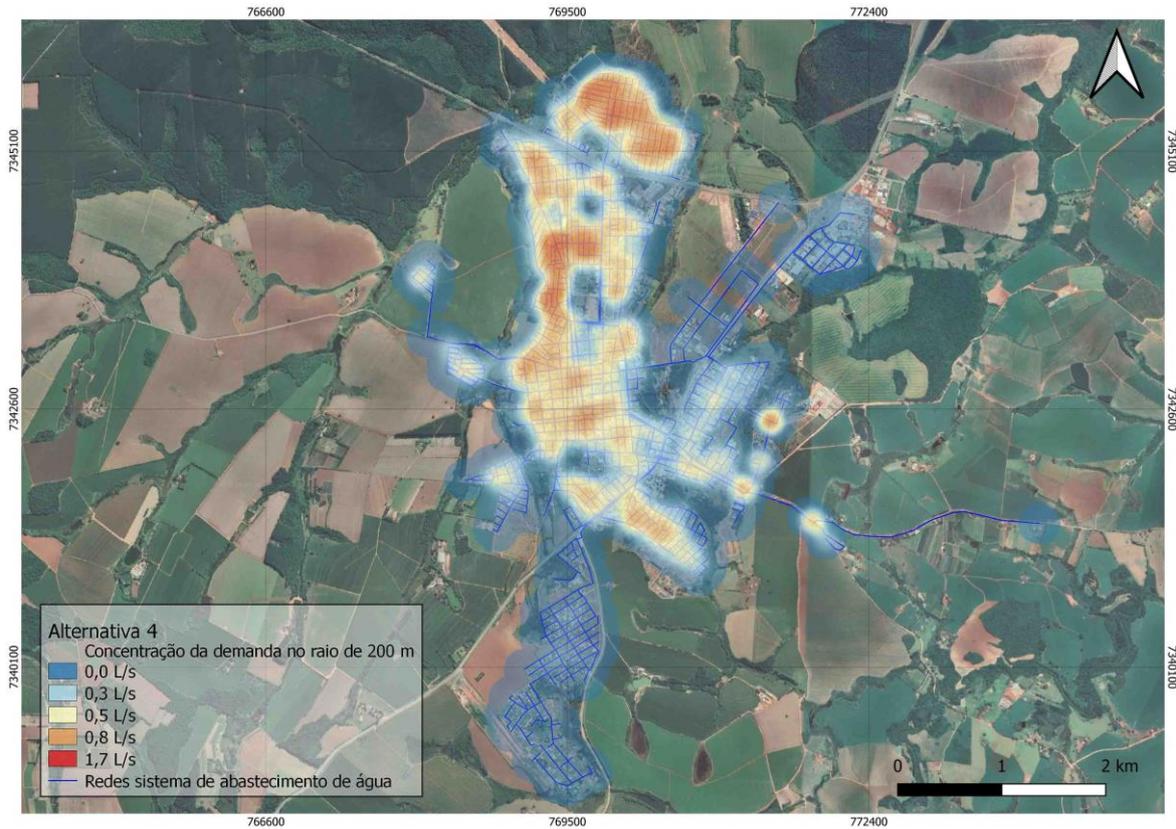
Figura 18: Mapa de calor da concentração de demanda da alternativa 1.



**Figura 19: Mapa de calor da concentração de demanda da alternativa 2.**



**Figura 20: Mapa de calor da concentração de demanda da alternativa 3.**



**Figura 21: Mapa de calor da concentração de demanda da alternativa 4.**

- Metodologia de avaliação B: variação da demanda por centro de reservação e por zona de pressão

O resultado da diferença total proporcional às vazões de entrada para os Centro de Reservação do sistema de Capão Bonito foi de 13,4%, 21,8% e 2,6% para as alternativas 1, 2 e 3, consecutivamente. Já para as Zonas de Pressão foi de 18,7%, 22,0% e 6,3% para as alternativas 1, 2 e 3, consecutivamente. Todas em relação à alternativa 4.

A Tabela 2 e Tabela 3 mostram o resultado de demanda das alternativas 1, 2 e 3, por Centro de Reservação e por Zona de Pressão do sistema, com uma comparação de diferença em percentual para a alternativa 4, considerando que essa alternativa é a referência padrão para se trabalhar a distribuição das demandas dentro da modelagem hidráulica.

**Tabela 2: Resultados das demandas de cada alternativa por Centro de Reservação do sistema.**

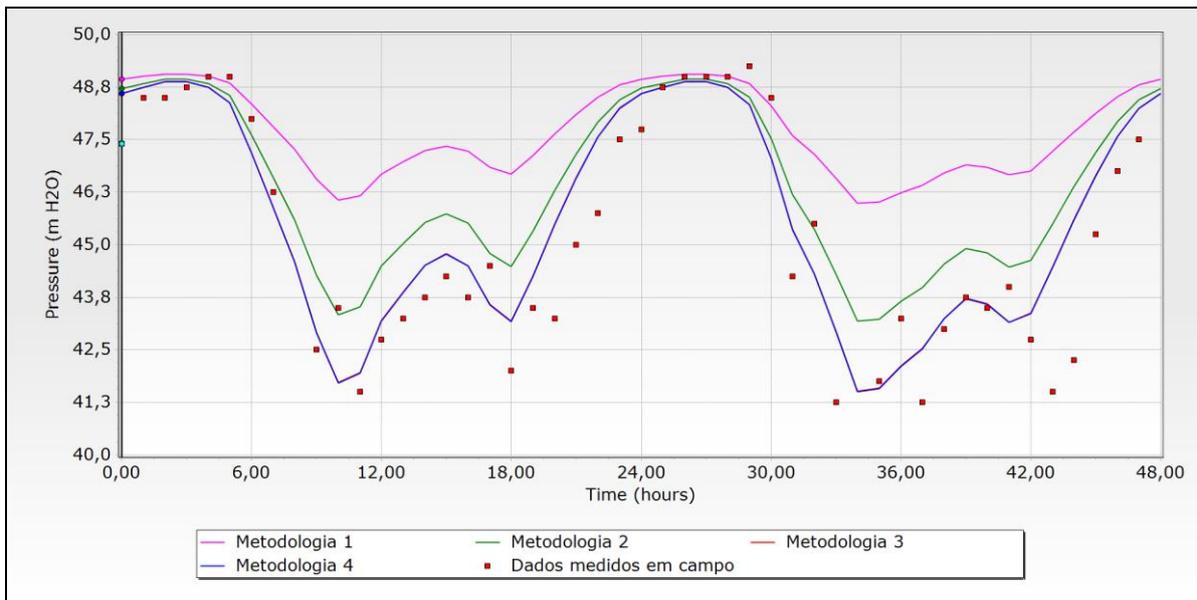
<b>Alternativa 1</b>			
<b>Centro de Reservação</b>	<b>RET Sede</b>	<b>REL Sede</b>	<b>REL Centro</b>
<b>Demanda Média</b>	32,9 L/s	36,7 L/s	9,9 L/s
<b>Demanda Máxima Diária</b>	38,1 L/s	42,5 L/s	11,4 L/s
<b>Demanda Máxima Horária</b>	53,6 L/s	59,7 L/s	16,1 L/s
<b>Reservação Necessária</b>	1.097 m <sup>3</sup>	1.223 m <sup>3</sup>	330 m <sup>3</sup>
<b>Diferença</b>	13,8%	16,2%	1,6%
<b>Diferença proporcional total</b>	<b>13,4%</b>		
<b>Alternativa 2</b>			
<b>Centro de Reservação</b>	<b>RET Sede</b>	<b>REL Sede</b>	<b>REL Centro</b>
<b>Demanda Média</b>	46,8 L/s	25,5 L/s	7,2 L/s
<b>Demanda Máxima Diária</b>	54,1 L/s	29,5 L/s	8,3 L/s
<b>Demanda Máxima Horária</b>	76,2 L/s	41,5 L/s	11,7 L/s
<b>Reservação Necessária</b>	1.559 m <sup>3</sup>	850 m <sup>3</sup>	240 m <sup>3</sup>
<b>Diferença</b>	22,5%	19,3%	26,0%
<b>Diferença proporcional total</b>	<b>21,8%</b>		
<b>Alternativa 3</b>			
<b>Centro de Reservação</b>	<b>RET Sede</b>	<b>REL Sede</b>	<b>REL Centro</b>
<b>Demanda Média</b>	38,1 L/s	32,7 L/s	8,8 L/s
<b>Demanda Máxima Diária</b>	44,0 L/s	37,8 L/s	10,2 L/s
<b>Demanda Máxima Horária</b>	61,9 L/s	53,1 L/s	14,3 L/s
<b>Reservação Necessária</b>	1.268 m <sup>3</sup>	1.088 m <sup>3</sup>	293 m <sup>3</sup>
<b>Diferença</b>	0,4%	3,4%	9,6%
<b>Diferença proporcional total</b>	<b>2,6%</b>		
<b>Alternativa 4</b>			
<b>Centro de Reservação</b>	<b>RET Sede</b>	<b>REL Sede</b>	<b>REL Centro</b>
<b>Demanda Média</b>	38,2 L/s	31,6 L/s	9,7 L/s
<b>Demanda Máxima Diária</b>	44,2 L/s	36,5 L/s	11,3 L/s
<b>Demanda Máxima Horária</b>	62,2 L/s	51,4 L/s	15,8 L/s
<b>Reservação Necessária</b>	1.273 m <sup>3</sup>	1.052 m <sup>3</sup>	324 m <sup>3</sup>

**Tabela 3: Resultados das demandas de cada alternativa por Zona de Pressão do sistema.**

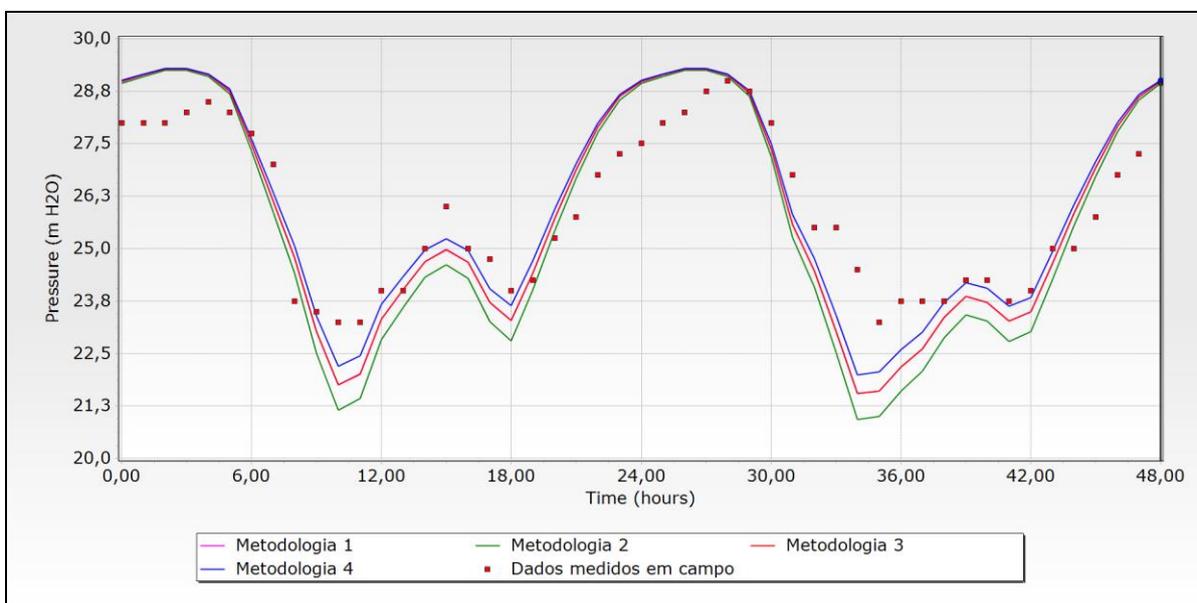
<b>Alternativa 1</b>							
<b>Zona de Pressão</b>	<b>RET Sede</b>	<b>REL Sede</b>	<b>REL Centro</b>	<b>QP Vila Aparecida</b>	<b>QP Jardim Alvorada</b>	<b>EPAT Vila Brasil</b>	<b>EPAT Vila Aparecida</b>
<b>Demanda Média</b>	16,7 L/s	35,4 L/s	9,9 L/s	13,0 L/s	1,0 L/s	0,3 L/s	3,2 L/s
<b>Demanda Máxima Diária</b>	19,3 L/s	41,0 L/s	11,4 L/s	15,1 L/s	1,1 L/s	0,3 L/s	3,7 L/s
<b>Demanda Máxima Horária</b>	27,2 L/s	57,7 L/s	16,1 L/s	21,2 L/s	1,6 L/s	0,5 L/s	5,2 L/s
<b>Diferença</b>	12,9%	20,8%	1,6%	26,6%	11,1%	74,1%	43,8%
<b>Diferença proporcional total</b>				<b>18,7%</b>			
<b>Alternativa 2</b>							
<b>Zona de Pressão</b>	<b>RET Sede</b>	<b>REL Sede</b>	<b>REL Centro</b>	<b>QP Vila Aparecida</b>	<b>QP Jardim Alvorada</b>	<b>EPAT Vila Brasil</b>	<b>EPAT Vila Aparecida</b>
<b>Demanda Média</b>	16,9 L/s	24,5 L/s	7,2 L/s	23,9 L/s	0,7 L/s	0,3 L/s	6,0 L/s
<b>Demanda Máxima Diária</b>	19,6 L/s	28,3 L/s	8,3 L/s	27,7 L/s	0,8 L/s	0,4 L/s	6,9 L/s
<b>Demanda Máxima Horária</b>	27,5 L/s	39,9 L/s	11,7 L/s	38,9 L/s	1,1 L/s	0,5 L/s	9,7 L/s
<b>Diferença</b>	14,3%	16,5%	26,0%	34,9%	36,1%	72,4%	5,3%
<b>Diferença proporcional total</b>				<b>22,0%</b>			
<b>Alternativa 3</b>							
<b>Zona de Pressão</b>	<b>RET Sede</b>	<b>REL Sede</b>	<b>REL Centro</b>	<b>QP Vila Aparecida</b>	<b>QP Jardim Alvorada</b>	<b>EPAT Vila Brasil</b>	<b>EPAT Vila Aparecida</b>
<b>Demanda Média</b>	16,0 L/s	30,7 L/s	8,8 L/s	16,4 L/s	0,9 L/s	1,1 L/s	5,6 L/s
<b>Demanda Máxima Diária</b>	18,5 L/s	35,5 L/s	10,2 L/s	19,0 L/s	1,0 L/s	1,3 L/s	6,5 L/s
<b>Demanda Máxima Horária</b>	26,1 L/s	49,9 L/s	14,3 L/s	26,7 L/s	1,5 L/s	1,8 L/s	9,1 L/s
<b>Diferença</b>	8,2%	4,5%	9,6%	7,4%	16,7%	6,0%	1,1%
<b>Diferença proporcional total</b>				<b>6,3%</b>			
<b>Alternativa 4</b>							
<b>Zona de Pressão</b>	<b>RET Sede</b>	<b>REL Sede</b>	<b>REL Centro</b>	<b>QP Vila Aparecida</b>	<b>QP Jardim Alvorada</b>	<b>EPAT Vila Brasil</b>	<b>EPAT Vila Aparecida</b>
<b>Demanda Média</b>	14,8 L/s	29,3 L/s	9,7 L/s	17,7 L/s	1,1 L/s	1,2 L/s	5,7 L/s
<b>Demanda Máxima Diária</b>	17,1 L/s	33,9 L/s	11,3 L/s	20,5 L/s	1,2 L/s	1,3 L/s	6,5 L/s
<b>Demanda Máxima Horária</b>	24,1 L/s	47,8 L/s	15,8 L/s	28,9 L/s	1,8 L/s	1,9 L/s	9,2 L/s

- Metodologia de avaliação C: variação da pressão na simulação em período estático e estendido

A Figura 22, Figura 23 e Figura 24 demonstram os resultados de variação de pressão ao longo de 48 horas durante o período de dados medidos em campo, com o resultado da medição em campo (pontos) e o resultado hidráulico de cada alternativa (linhas). Na Figura 22 a linha do resultado hidráulico da alternativa 3 (vermelha) está sob a linha da alternativa 4 (azul), pois tiveram praticamente o mesmo resultado. Na Figura 23 a linha do resultado hidráulico da alternativa 1 (magenta) está sob a linha da alternativa 3 (vermelha), pois neste ponto também tiveram praticamente o mesmo resultado.



**Figura 22: Gráfico de pressão em 48h do ponto 1 medido em campo e resultados das alternativas.**



**Figura 23: Gráfico de pressão em 48h do ponto 2 medido em campo e resultados das alternativas.**

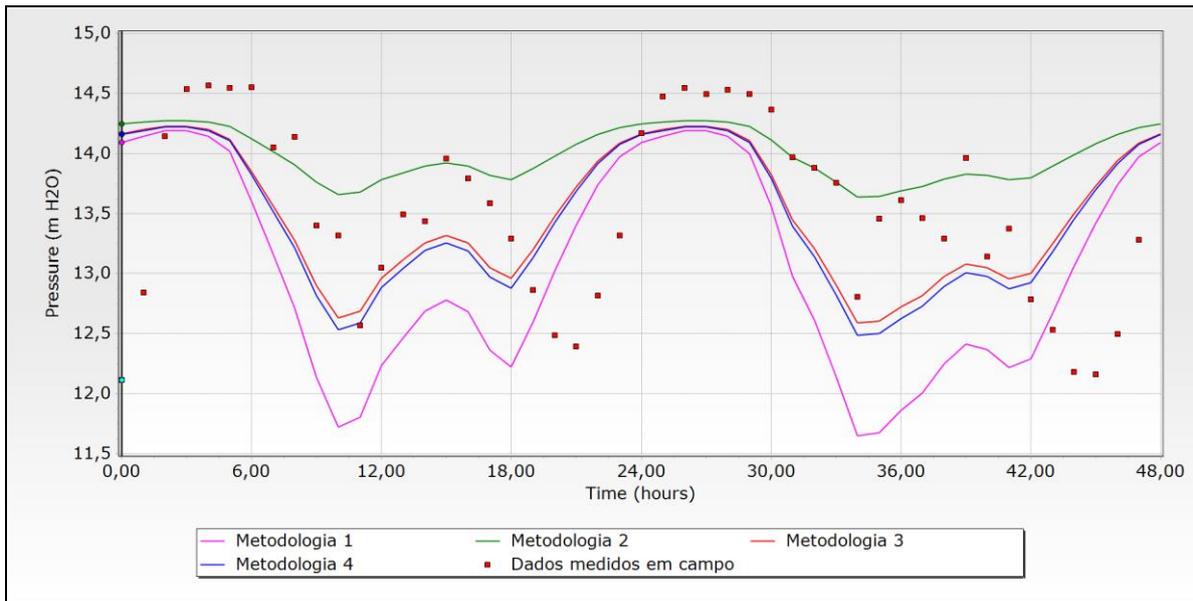


Figura 24: Gráfico de pressão em 48h do ponto 3 medido em campo e resultados das alternativas.

A Tabela 4 mostra a pressão média do sistema todo para cada alternativa e compara em percentual com a alternativa 4.

Tabela 4: Resultados de cada alternativa de pressão média do sistema.

Alternativa	Pressão média	Diferença
Alternativa 1	33,4 mca	0,3%
Alternativa 2	33,1 mca	0,6%
Alternativa 3	33,0 mca	0,9%
Alternativa 4	33,3 mca	

## ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A alternativa que apresentou a melhor solução para a distribuição de demandas no modelo hidráulico foi a 4, realizada através das ligações ativas georreferenciadas, uma vez que ela apresenta o histórico de padrão de consumo de cada consumidor conectado ao sistema de distribuição de água, com dados reais do cadastro comercial.

Neste estudo, na impossibilidade de se utilizar os dados georreferenciados de ligações de água, a alternativa 3, das edificações geoespacializadas, seria a melhor solução. Entende-se que este resultado positivo é devido as edificações representarem a urbanização da cidade. E, conseqüentemente, traduzirem a concentração de demanda de água dentro do sistema. Isto pode ser observado na similaridade dos mapas de calor das alternativas 3 e 4.

Na segunda alternativa, que distribui as demandas a partir dos setores censitários do IBGE, os dados foram coletados há mais de dez anos, no censo de 2010. Dependendo da evolução populacional da cidade e de como são as taxas de crescimento, pode acarretar uma grande defasagem. Além disso, os setores que estão fora de área com alta urbanização não representam em sua totalidade as áreas ocupadas, pois também englobam áreas rurais e de mata, podendo causar um efeito de concentração da demanda correspondente de todo setor numa junção mais afastada ou isolada do sistema de abastecimento, acumulando uma vazão inexistente nos extremos do sistema de água. Ainda pode-se observar que a população residente não representa necessariamente o consumo de água, porque dentro de uma cidade há, por exemplo, áreas comerciais, empresariais, de indústrias e de edificações públicas. No mapa de calor desta alternativa, observa-se exatamente isso. Há uma concentração de distribuição de demanda mais ao norte do município, diferindo da alternativa 4.

A alternativa 1 é realizada de forma simples e rápida. Mesmo assim, mostrou um resultado satisfatório. Pode ser usada desde que seja conhecida suas limitações. Analisando o mapa de calor da distribuição de demanda, nota-se uma concentração excessiva num ponto do sistema à oeste. Porém, isso se deve apenas a uma concentração de junções no local, em razão da existência de um loteamento recente com rede dupla. Não representa em sua totalidade a demanda de água.

Quanto à análise de todas as alternativas pela variação de pressão do sistema, não foram observadas diferenças relevantes que possam direcionar para uma melhor solução. Todos os resultados foram muito próximos. Mesmo para a simulação em período estendido, apesar da alternativa 4 com consumos reais ter o resultado mais próximo dos dados medidos em campo, não foram constatadas diferenças impactantes para um resultado satisfatório de calibração do modelo hidráulico.

## CONCLUSÕES / RECOMENDAÇÕES

Inicialmente é importante destacar que o resultado deste estudo se refere ao sistema de abastecimento de água de Capão Bonito, dentro das informações existentes e da sua realidade. Os resultados obtidos com esse estudo podem divergir para outros sistemas e sua aplicação deve ser utilizada como um norte orientativo para futuros trabalhos, apoiando numa tomada de decisão da metodologia a ser adotada. Porém, ressalta-se que algumas particularidades de cada sistema podem impactar no resultado e na viabilidade de uma metodologia ou outra. Devem ser avaliadas condições como o tipo e a forma de urbanização, o espalhamento da malha do sistema de distribuição, os limites geográficos e urbanos, o padrão e o perfil de consumo de cada localidade, a topografia e a concepção do sistema de água.

Apenas para reforçar, a ideia é que sempre se avalie as particularidades e especificidades de cada estudo de modelagem hidráulica computacional. Entretanto, na análise do resultado deste estudo, do sistema de Capão Bonito, a terceira alternativa apresentou maior eficiência quando não há dados comerciais georreferenciados. É, portanto, uma solução simples, eficaz e com dados públicos.

Em contrapartida, a segunda alternativa, ainda que o processo de importação de demanda seja mais trabalhoso, não apresentou um resultado satisfatório. Para utilização dos setores censitários do IBGE, recomenda-se inicialmente que seja realizado um tratamento dos dados, como modificações dos setores para as áreas com urbanização e uma atualização da população residente desde o ano de 2010, a partir da análise de um histórico de imagens aéreas. Contudo, desta forma, aumenta-se o trabalho e o tempo a ser dedicado no estudo de modelagem. É importante lembrar que, no momento da publicação deste artigo, há um novo censo a ser divulgado.

A primeira alternativa é uma opção para projetos que não exigem grande precisão nos resultados. É um bom caminho para simplificar e diminuir o tempo de construção do modelo hidráulico.

Para iniciar um trabalho de modelagem hidráulica de sistema de distribuição de água, recomenda-se analisar com a devida atenção a qualidade dos dados disponíveis. Numa situação em quem que não ligações ativas de água georreferenciadas, pode-se adotar outras estratégias para melhorar o resultado da distribuição de demanda. Um exemplo é realizar a locação manual dos maiores consumidores do sistema de água, a partir do cadastro comercial, como condomínios, prédios, edifícios públicos, fábricas, entre outros.

Outra forma de aumentar ainda mais a correlação de demanda com o sistema existente, é aprimorar a metodologia de distribuição das perdas. Para as perdas reais, por exemplo, pode-se equacionar uma relação entre a volume perdido e a pressão do sistema, com dados de campo e do próprio modelo hidráulico. Exemplificando também para as perdas aparentes, pode-se realizar um diagnóstico do parque de hidrômetros vinculando um erro de submedição estimado por ligação, que se replica no modelo hidráulico, bem como se atentar à existência de concentração de ligações clandestinas, áreas com abastecimento não autorizado ou não medido e ainda locais sem micromedição, que afetam diretamente o resultado.

Em alguns casos que não há dados da companhia de água disponíveis, pode-se ainda buscar fontes em outros setores, como numa companhia de energia elétrica.

Por fim, acrescenta-se que, sempre que possível, deve-se realizar uma etapa de calibração dos modelos hidráulicos construído a partir de dados medidos em campo. Desta maneira, há uma maior garantia, dentro o



limite da qualidade dos dados de medição e abrangência do sistema, em que o modelo é representativo como um gêmeo digital do sistema real existente.

#### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. ARAÚJO, L. S. Controle de perdas na gestão sustentável dos sistemas de abastecimento de água. 2005. Tese de Doutorado - Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12211: Estudos de concepção de sistemas públicos de abastecimento de água – Procedimento. Rio de Janeiro, p.14. 1992.
3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12218: Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público - procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.
4. NETTO, Azevedo; FERNÁNDEZ, Miguel Fernández y. Manual de Hidráulica. 9. ed. São Paulo: Blucher, 2015. 632 p.
5. PORTO, Rodrigo de Melo. Hidráulica básica. 4. ed. São Carlos: EESC/USP, 1998. 540 p.
6. TSUTIYA, Milton Tomoyuki. Abastecimento de Água. 3. ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006.