

# MODELAGEM DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DE AFOGADOS DA INGAZEIRA - PE USANDO O WATERGEMS.

MODELING THE WATER SUPPLY SYSTEM OF AFOGADOS DA INGAZEIRA - PE USING WATERGEMS.

**Patrícia Nery de Siqueira<sup>1</sup>**

patricianery@live.com

**Gustavo Serafim Nunes de Lima**

gustavolima@compesa.com.br

**Laíse Alves Candido**

laisecandido@afogados.ifpe.edu.br

**Antonio Renê Benevides de Melo**

rene.benevides@afogados.ifpe.edu.br

---

## RESUMO

Os desafios enfrentados pelas distribuidoras de água no Brasil apresentam características semelhantes e demandam ferramentas que possibilitem diagnóstico técnico consistente e proposição de melhorias com menor risco operacional. No município de Afogados da Ingazeira, situado no sertão pernambucano, o sistema de abastecimento de água enfrenta dificuldades relacionadas à operação e à gestão da rede de distribuição. A cidade apresenta expansão urbana significativa e opera predominantemente sob regime intermitente, condição que impõe desafios associados a pressões inadequadas, perdas de água e ocorrências frequentes de manutenção. Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo modelar o sistema de abastecimento de água da área urbana do município por meio do software *WaterGEMS*, avaliar seu desempenho hidráulico e propor intervenções voltadas à melhoria operacional. A metodologia contemplou o levantamento de dados técnicos e operacionais junto à concessionária, a organização das informações em ambiente georreferenciado, a construção do modelo hidráulico, a verificação de inconsistências e a aplicação do módulo *Darwin Calibrator* para fins de calibração. Os resultados evidenciaram limitações relacionadas à precisão dos dados de entrada, refletidas em baixo coeficiente de determinação na calibração automática. Ainda assim, o cenário base modelado apresentou comportamento coerente com as condições observadas em campo, permitindo identificar trechos com pressões fora dos limites recomendados, perdas de carga elevadas e vulnerabilidades operacionais associadas à topografia e à expansão urbana. Conclui-se que a modelagem hidráulica constitui ferramenta estratégica de apoio ao diagnóstico e à gestão de sistemas de abastecimento, especialmente em contextos de restrição hídrica e crescimento urbano acelerado.

Palavras-chave: Darwin Calibrator. WaterGEMS. Simulação computacional.

<sup>1</sup> Aluna do curso de Graduação em Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco - IFPE - Campus Afogados da Ingazeira – PE. Afogados da Ingazeira, 27 de fevereiro de 2026.

## ABSTRACT

Water utilities across Brazil face similar challenges, which require tools capable of supporting consistent technical diagnosis and the development of improvement strategies with reduced operational risk. In the municipality of Afogados da Ingazeira, located in the semi-arid region of Pernambuco, the water supply system faces operational and management difficulties within the distribution network. The city has experienced significant urban expansion and operates predominantly under intermittent supply conditions, creating challenges related to inadequate pressures, water losses, and frequent maintenance occurrences. In this context, the present study aimed to develop a hydraulic model of the urban water supply system using WaterGEMS software, evaluate its hydraulic performance, and propose interventions focused on operational improvement. The methodology included the collection of technical and operational data from the local utility, organization of information within a georeferenced environment, construction of the hydraulic model, verification of inconsistencies, and application of the Darwin Calibrator module for calibration purposes. The results revealed limitations associated with the accuracy of input data, reflected in a low coefficient of determination during automatic calibration. Nevertheless, the base scenario demonstrated hydraulic behavior consistent with field observations, allowing the identification of network sections with pressures outside recommended limits, elevated head losses, and operational vulnerabilities associated with topography and urban expansion. It is concluded that hydraulic modeling represents a strategic tool to support the diagnosis and management of water supply systems, particularly in contexts of water scarcity and accelerated urban growth.

Keywords: Darwin Calibrator. WaterGEMS. Computational simulation.

---

## 1 INTRODUÇÃO

Os sistemas de abastecimento de água (SAA) potável constituem um dos componentes do saneamento básico. Esse sistema funciona por meio de concessionárias públicas ou privadas, responsáveis por fornecer água em quantidade adequada aos usuários, sob pressão suficiente, por meio de uma rede de distribuição. A infraestrutura do sistema inclui elementos como tubulações, tanques, reservatórios, bombas, válvulas, medidores e estações elevatórias (MEHTA et al., 2017; TSUTIYA, 2006). A integração desses componentes é essencial para garantir um fornecimento de água eficiente e eficaz à área atendida.

Entretanto, o panorama das cidades evidencia as adversidades enfrentadas pelas instituições responsáveis pela distribuição de água. Entre as dificuldades no abastecimento destacam-se o crescimento rápido e desordenado da demanda e a baixa eficiência dos serviços. Além de complexo, o sistema de distribuição é oneroso, podendo representar até 75% do custo total da obra (FERREIRA, 2025). Dessa forma, torna-se necessário um conjunto de planejamentos e estudos para a concepção de um projeto estruturado que, além de respeitar as normas vigentes, esteja em conformidade com os requisitos do ambiente de implantação, considerando exigências legais, projeto urbanístico, bases topográficas, população atendida,

<sup>1</sup> Aluna do curso de Graduação em Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco - IFPE - Campus Afogados da Ingazeira – PE. Afogados da Ingazeira, 27 de fevereiro de 2026.

consumo, dispositivos, acessórios, especificações técnicas, diretrizes operacionais e possíveis interferências (SABESP, 2018).

Como apoio à elaboração de projetos e às análises de redes já existentes, diversas ferramentas auxiliares são empregadas. Com o avanço tecnológico, os recursos digitais passaram a ocupar papel fundamental nesse processo. O desenvolvimento de ferramentas cada vez mais abrangentes tem contribuído para estudos complexos por meio de simulações virtuais voltadas à tomada de decisão. Modelos matemáticos permitem representar ou interpretar a realidade de forma simplificada, a partir das informações coletadas em campo, possibilitando a análise de diferentes cenários do comportamento hidráulico, inclusive aqueles que não poderiam ser testados diretamente no sistema real (PALO, 2010). A modelagem hidráulica constitui ferramenta essencial na simulação do comportamento de um SAA, tendo como finalidade verificar as condições hidráulicas da rede, como vazão, velocidade de escoamento, perdas de carga e pressões. Por meio dela, é possível identificar pontos críticos e simular cenários de intervenção que promovam melhorias operacionais, como reforço de rede, instalação de Válvulas Redutoras de Pressão (VRPs), utilização de *boosters* e implantação de projetos de setorização. O termo simulação refere-se ao processo de reproduzir o comportamento de um sistema por meio de outro modelo representativo. Essa abordagem permite prever respostas sob diferentes condições operacionais, sem interromper o funcionamento real do sistema. Dessa forma, problemas podem ser antecipados e soluções avaliadas antes da aplicação de recursos financeiros e materiais (ABEBAW, 2015).

Uma ferramenta amplamente utilizada para essa finalidade é o *WaterGEMS*, software de modelagem hidráulica desenvolvido pela *Bentley Water Systems* para sistemas de distribuição de água. O programa apresenta interoperabilidade avançada, construção de modelos geoespaciais, recursos de otimização e ferramentas de gerenciamento de ativos. Desde análises de fluxo para combate a incêndio e concentração de constituintes até estudos de consumo de energia e gerenciamento de custos, o *WaterGEMS* oferece ambiente adequado para análise, projeto e otimização de sistemas de distribuição. O modelo utiliza diferentes arquivos de entrada e saída de dados, permitindo integração com diversos formatos (HUSIEN, 2019). As deficiências de um sistema nem sempre são perceptíveis de forma direta, sendo frequentemente identificadas por indícios como falhas de pressão, desabastecimento, perdas elevadas ou alterações na qualidade da água. Considerando o elevado custo de inspeções físicas, a modelagem configura-se como ferramenta relevante de apoio ao diagnóstico. Os modelos de simulação possibilitam analisar e prever o comportamento hidráulico e a qualidade da água sob diferentes condições operacionais, permitindo a antecipação de problemas e a avaliação de soluções antes da execução de investimentos, sem interferir no sistema real (COELHO, 2006).

Nesse contexto, a problemática envolve também aspectos relacionados à segurança hídrica, especialmente no Nordeste do Brasil, cuja realidade climática semiárida impõe desafios adicionais ao abastecimento. A região enfrenta dificuldades decorrentes da escassez hídrica e do processo de urbanização acelerada. Inserida nessa realidade, a cidade de Afogados da Ingazeira, no sertão pernambucano, apresenta crescimento populacional e expansão do setor de serviços, o que impõe pressão adicional ao sistema existente. Além disso, as perdas de água e as interrupções frequentes para manutenção contribuem para o cenário de instabilidade operacional, especialmente porque o abastecimento ocorre de forma rotativa na

<sup>1</sup> Aluna do curso de Graduação em Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco - IFPE - Campus Afogados da Ingazeira – PE. Afogados da Ingazeira, 27 de fevereiro de 2026.

maioria dos setores. Essa rotatividade gera insatisfação da população, uma vez que a frequência e o volume distribuídos em determinados setores nem sempre atendem à demanda real, em função do regime intermitente. Atualmente, o sistema de distribuição enfrenta desafios relacionados à operação, ao desempenho hidráulico, à gestão operacional e à prestação de serviços. Conforme observado pelos colaboradores da Companhia Pernambucana de Saneamento (Compesa), responsável pelo abastecimento no estado, há necessidade de replanejamento do sistema de distribuição, considerando as demandas locais e as condicionantes topográficas.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Modelar o SAA municipal de Afogados da Ingazeira-PE por meio do software *WaterGEMS*.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Avaliar as grandezas hidráulicas (pressão, velocidade e perda de carga) em comparação com os parâmetros normativos.
- Simular cenários operacionais e propor intervenções para otimização do sistema.

## **3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **3.1 Sistemas de Abastecimento de Água e Configuração de Redes**

Os sistemas de abastecimento de água (SAA) são compostos por unidades de captação, adução, tratamento, reservação e distribuição, sendo esta última responsável por conduzir a água tratada até os consumidores finais sob pressão adequada (TSUTIYA, 2006). A rede de distribuição constitui o elemento mais complexo do sistema, tanto sob o ponto de vista hidráulico quanto econômico, devido à sua extensão, diversidade de materiais e necessidade de operação contínua.

A configuração da rede influencia diretamente o comportamento hidráulico do sistema. De acordo com Coelho (2006) e Tsutiya (2006), as redes de distribuição podem ser classificadas em três tipos principais:

- Malhadas, caracterizadas pela formação de anéis fechados, permitindo alimentação por múltiplos caminhos;
- Ramificadas, estruturadas a partir de uma tubulação principal, com derivações sucessivas;
- Mistas, que combinam características das duas anteriores.

<sup>1</sup> Aluna do curso de Graduação em Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco - IFPE - Campus Afogados da Ingazeira – PE. Afogados da Ingazeira, 27 de fevereiro de 2026.

As redes malhadas apresentam maior confiabilidade operacional e melhor distribuição de pressões, embora impliquem maior custo e complexidade de dimensionamento. Já as redes ramificadas possuem menor custo inicial, porém são mais suscetíveis a interrupções à jusante em caso de falhas. A configuração mista busca conciliar flexibilidade operacional e viabilidade econômica. A definição da tipologia deve considerar aspectos como topografia, densidade populacional, demanda projetada e estratégias de operação, uma vez que a disposição inadequada pode gerar zonas de pressão insuficiente ou excessiva, comprometendo o desempenho hidráulico (COELHO, 2006).

### 3.2 Perdas de Água e Balanço Hídrico

Em condições ideais, o volume de água que entra em um sistema de distribuição deveria ser equivalente ao volume efetivamente consumido. Entretanto, na prática, ocorrem perdas ao longo do percurso da água até o consumidor final.

A Associação Internacional da Água (IWA) estabeleceu, no ano 2000, uma metodologia padronizada para avaliação do desempenho dos sistemas de abastecimento por meio do Balanço Hídrico (BH), posteriormente consolidada pela AWWA e IWA (2012). O método distingue as perdas em:

- Perdas reais, decorrentes de vazamentos nas tubulações, conexões e reservatórios;
- Perdas aparentes, relacionadas a fraudes, erros de medição e falhas cadastrais.

O balanço hídrico constitui ferramenta essencial para o cálculo da Água Não Faturada (ANF) e para a definição de estratégias de redução de perdas, permitindo que as concessionárias identifiquem a natureza predominante do problema e adotem medidas específicas (PALO, 2010). A gestão inadequada das perdas impacta tanto o uso sustentável dos recursos hídricos quanto a saúde financeira da concessionária, visto que parte significativa da receita está associada ao volume faturado de água.

### 3.3 Modelagem Hidráulica de Redes de Distribuição

A modelagem hidráulica consiste na representação matemática do comportamento de um sistema de abastecimento, permitindo simular condições operacionais sem intervenções físicas no sistema real (COELHO, 2006).

Por meio de modelos computacionais, é possível avaliar variáveis como:

- Vazão;
- Pressão;
- Velocidade do escoamento;
- Perda de carga;
- Níveis de reservatórios.
- A simulação pode ser realizada em:

<sup>1</sup> Aluna do curso de Graduação em Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco - IFPE - Campus Afogados da Ingazeira – PE. Afogados da Ingazeira, 27 de fevereiro de 2026.

- Período Permanente (*Steady-State*), representando uma condição específica com demandas constantes;
- Período Estendido (*Extended Period Simulation – EPS*), que considera variações temporais ao longo do dia (HUSIEN, 2019).

A modelagem permite identificar pontos críticos da rede, testar cenários de intervenção e avaliar impactos operacionais antes da implementação de obras, reduzindo riscos técnicos e financeiros (ABEBAW, 2015).

### 3.4 Calibração de Modelos Hidráulicos

A calibração é etapa fundamental para garantir que o modelo represente adequadamente a realidade observada em campo. Esse processo envolve o ajuste de parâmetros como coeficiente de rugosidade, demandas e condições operacionais, de modo a minimizar a diferença entre valores simulados e medidos (PALO, 2010).

Ferramentas computacionais específicas, como algoritmos baseados em otimização genética, permitem automatizar esse processo, buscando a melhor aproximação entre dados modelados e dados observados. Contudo, a qualidade da calibração depende diretamente da confiabilidade dos dados de entrada, especialmente pressões medidas em campo e dados topográficos (WALSKI et al., 2003). Além disso, incertezas associadas ao regime de abastecimento intermitente e às variações operacionais podem dificultar a obtenção de coeficientes estatísticos elevados, exigindo análise crítica dos resultados obtidos.

## 4 METODOLOGIA

### 4.1 Delineamento do Estudo

O presente estudo caracteriza-se como uma pesquisa aplicada, de natureza quantitativa, com abordagem descritiva e exploratória, fundamentada na modelagem hidráulica computacional do SAA de Afogados da Ingazeira-PE, sendo desenvolvida com base na construção e análise de um modelo hidráulico representativo da rede de distribuição, utilizando dados técnicos e operacionais fornecidos pela concessionária responsável pelo serviço.

### 4.2 Levantamento e Organização dos Dados

Inicialmente, foi realizado o levantamento das informações técnicas, operacionais e cadastrais do sistema de abastecimento junto à Compesa. Os dados coletados compreenderam:

- Cadastro técnico das tubulações (diâmetro, material e extensão);
- Localização e características de reservatórios e estações elevatórias;
- Informações sobre válvulas e setores de manobra;

<sup>1</sup>

Aluna do curso de Graduação em Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco - IFPE - Campus Afogados da Ingazeira – PE.  
Afogados da Ingazeira, 27 de fevereiro de 2026.

- Histórico de pressões obtidas por dataloggers;
- Dados de produção e volume de entrada no sistema, e;
- Informações de consumo e número de ligações ativas.

Os dados georreferenciados foram organizados e tratados em ambiente SIG, com apoio dos softwares QGIS e AutoCAD, permitindo a atualização do traçado da rede e posterior exportação para o ambiente de modelagem hidráulica.

### 4.3 Construção do Modelo Hidráulico

O modelo hidráulico foi desenvolvido no *software WaterGEMS CONNECT Edition*. A construção do modelo envolveu:

- Inserção das tubulações conforme cadastro técnico atualizado;
- Modelagem dos reservatórios elevados como tanques;
- Representação das estações elevatórias com definição de ponto de operação;
- Inserção das válvulas de controle e setorização;
- Definição das demandas médias com base no volume de produção e número de ligações;
- Aplicação do modelo digital do terreno para definição das cotas topográficas.

As válvulas de manobra existentes em campo, predominantemente do tipo gaveta, foram representadas no modelo como válvulas de controle de aceleração (TCV), com coeficiente de perda de carga localizado adotado conforme literatura técnica e normas internas da concessionária.

### 4.4 Verificação de Inconsistências

Após a inserção dos dados, realizou-se a verificação de inconsistências hidráulicas e topológicas do modelo. Foram analisados:

- Conectividade entre nós e tubulações;
- Existência de nós desconectados;
- Fluxos invertidos;
- Pressões negativas ou excessivamente elevadas;
- Valores discrepantes de cotas.

Ferramentas internas do software, como consultas lógicas (queries) e codificação por cores (*color coding*), foram utilizadas para facilitar a identificação de inconsistências e padronização de atributos físicos das tubulações.

<sup>1</sup>

Aluna do curso de Graduação em Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco - IFPE - Campus Afogados da Ingazeira – PE. Afogados da Ingazeira, 27 de fevereiro de 2026.

## 4.5 Simulação Hidráulica

A análise do desempenho hidráulico foi realizada por meio de simulação em período permanente (*steady-state*), representando condições de demanda média e horários críticos previamente definidos.

- Foram avaliadas as seguintes variáveis hidráulicas:
- Pressão nas junções;
- Velocidade do escoamento nas tubulações;
- Perda de carga;
- Vazões nos trechos principais.

Os resultados obtidos foram comparados com os limites estabelecidos na Norma Interna NI 014-02 da Compesa.

## 4.6 Calibração do Modelo

A calibração do modelo foi realizada com base em dados de pressões registradas por 25 dataloggers instalados na rede. Utilizou-se o módulo *Darwin Calibrator*, ferramenta de otimização baseada em algoritmo genético disponível no *WaterGEMS*. O processo envolveu:

- Definição de intervalos admissíveis para os coeficientes de rugosidade (*Hazen-Williams*);
- Comparação entre pressões simuladas e observadas;
- Avaliação do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) como indicador estatístico de ajuste.

Foram analisadas as soluções propostas pela ferramenta, considerando o valor de fitness e a proximidade entre os dados modelados e os dados de campo.

## 4.7 Análise Comparativa e Geração de Cenários

Após a calibração, realizou-se análise comparativa entre o cenário base modelado e o cenário calibrado. Em virtude das limitações associadas à precisão dos dados de entrada e ao regime de abastecimento intermitente, optou-se por utilizar o cenário base para as análises subsequentes.

A partir do cenário base, foram criados cenários alternativos com modificações pontuais na topologia e nas condições operacionais, permitindo a simulação de propostas de intervenção e avaliação de seus impactos hidráulicos.

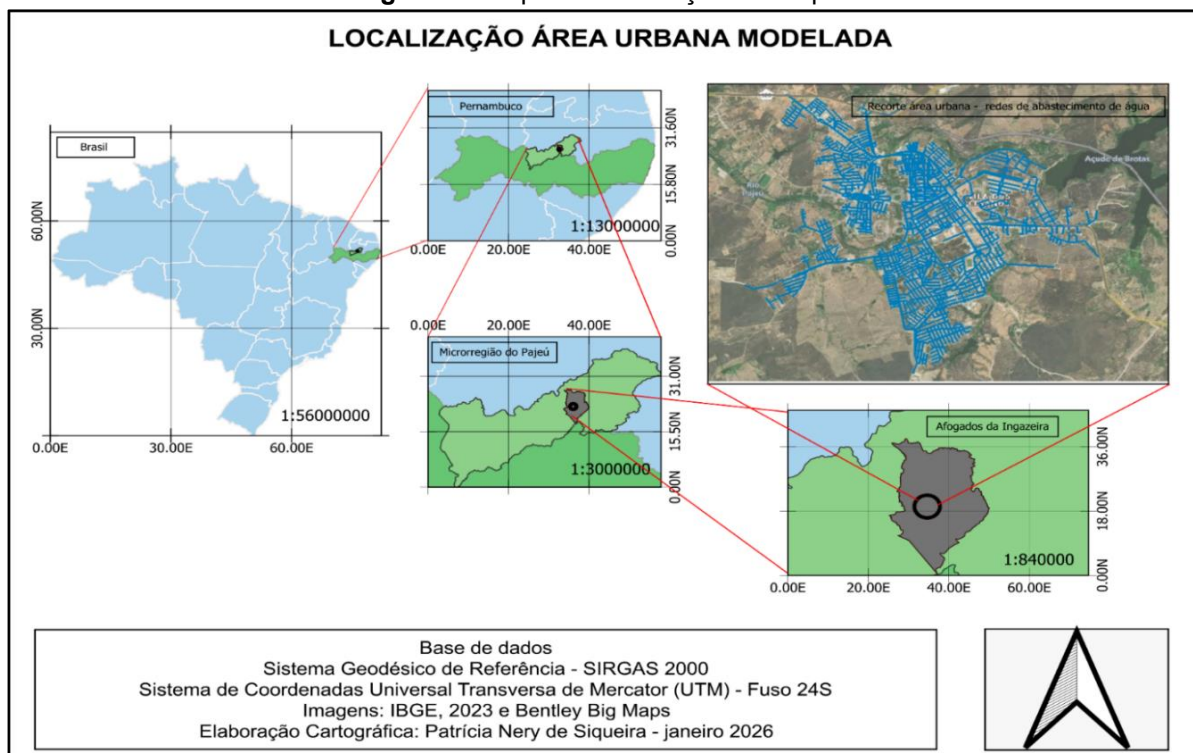
<sup>1</sup> Aluna do curso de Graduação em Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco - IFPE - Campus Afogados da Ingazeira – PE. Afogados da Ingazeira, 27 de fevereiro de 2026.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Caracterização da Área de Estudo

O município de Afogados da Ingazeira localiza-se na microrregião do Sertão do Alto Pajeú, no estado de Pernambuco, inserido no Planalto da Borborema, com altitude média de aproximadamente 514 m (BELTRÃO, 2005; IBGE, 2010). Conforme Figura 1.

**Figura 1** - Mapa de localização municipal.



**Fonte:** Autoria própria (2026).

O clima predominante tropical semiárido, caracterizado por irregularidade pluviométrica e longos períodos de estiagem, típicos do bioma Caatinga.

De acordo com a Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC), a precipitação média anual acumulada em 2023 foi de 562 mm (APAC, 2023). Apesar da existência da barragem de Brotas, com capacidade aproximada de 19,6 milhões de m<sup>3</sup>, o prolongado período de seca entre 2014 e 2017 resultou no esgotamento do principal manancial do município, tornando necessária a complementação do abastecimento por meio do Sistema Adutor do Pajeú, com captação de água do Rio São Francisco (COMPESA, 2017). Atualmente, o sistema de abastecimento do município é composto por três fontes de abastecimento:

- Barragem de Brotas;
- Sistema Adutor do Pajeú;
- Poços do Caroá.

<sup>1</sup>

Aluna do curso de Graduação em Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco - IFPE - Campus Afogados da Ingazeira – PE. Afogados da Ingazeira, 27 de fevereiro de 2026.

A produção média total é da ordem de 145 L/s, sendo que aproximadamente 30 L/s são destinados ao abastecimento do município vizinho de Tabira.

O crescimento urbano recente tem exercido pressão adicional sobre o sistema de distribuição. Dados do IBGE (2015) projetavam para 2035 uma população de 35.576 habitantes. Contudo, estimativas indicam que, em 2025, o município já atingiu aproximadamente 42.672 habitantes, superando a projeção dez anos antes do previsto. Atualmente, o sistema atende cerca de 17.000 ligações ativas de água (COMPESA, 2025).

A expansão territorial foi acompanhada pela atualização do Plano Diretor municipal em 2024, ampliando e reorganizando a área urbana (AFOGADOS DA INGAZEIRA, 2024). Aproximadamente 78% da população reside na zona urbana (IBGE, 2010), onde se concentra a rede modelada neste estudo.

O sistema opera, em grande parte dos setores, sob regime de abastecimento intermitente, com calendário rotativo de fornecimento. Essa condição operacional influencia diretamente as pressões na rede, a ocorrência de manutenções e a percepção de desabastecimento por parte da população.

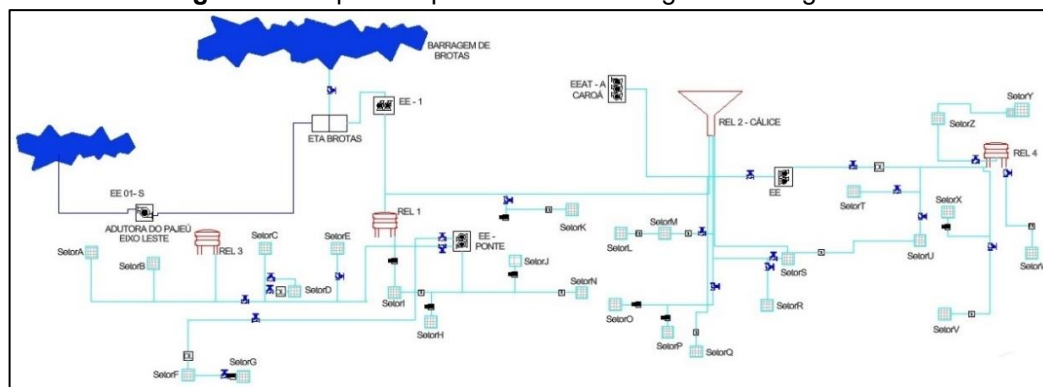
## 5.2 Caracterização do Sistema de Abastecimento de Água

O sistema de abastecimento de água da área urbana de Afogados da Ingazeira é constituído por rede de distribuição, reservatórios elevados, estações elevatórias de água (EEA), válvulas de manobra e controle, além das estruturas de captação e adução já mencionadas. A rede de distribuição apresenta configuração predominantemente mista, combinando trechos malhados nas áreas centrais e ramificações nas regiões periféricas de expansão urbana. Essa configuração resulta da adaptação progressiva da malha ao crescimento do município, sem que tenha ocorrido reestruturação integral do traçado original.

A setorização operacional é realizada por meio de válvulas de manobra distribuídas ao longo da rede. Essas válvulas permitem o isolamento de trechos para manutenção e controle de abastecimento em regime rotativo. Contudo, em determinados setores, a dependência de poucas válvulas para isolamento compromete a flexibilidade operacional e amplia o impacto de intervenções corretivas.

O abastecimento ocorre, majoritariamente, sob regime intermitente, com calendário rotativo entre setores. Essa condição operacional provoca variações significativas de pressão ao longo do dia, influenciando a ocorrência de vazamentos, reclamações de desabastecimento e oscilações no desempenho hidráulico. A Figura 2 apresenta o esquema operacional simplificado do sistema modelado.

<sup>1</sup> Aluna do curso de Graduação em Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco - IFPE - Campus Afogados da Ingazeira – PE. Afogados da Ingazeira, 27 de fevereiro de 2026.

**Figura 2 - Esquema operacional SAA Afogados da Ingazeira.**

Fonte: Autoria própria (2026)

### 5.3 Balanço Hídrico e Indicadores de Perdas

Com base nos dados operacionais fornecidos pela concessionária, foi analisado o balanço hídrico médio anual referente ao período de 2024 a 2025. A Tabela 1 apresenta os volumes médios registrados, com perdas aparentes representando o maior percentual de perda, aproximadamente 17% do volume de entrada.

**Tabela 1 - Balanço hídrico Compesa média anual – (2024-2025)**

Volume de entrada (m <sup>3</sup> )	Consumo autorizado faturado (m <sup>3</sup> )	Consumo autorizado não-faturado (m <sup>3</sup> )	Perda Aparente (m <sup>3</sup> )	Perda Real (m <sup>3</sup> )
232,1	148,4	6,8	38,5	30,9

Fonte: Autoria própria (2026).

Na análise dos indicadores de desempenho apresentado na Tabela 2, observa-se que o sistema apresenta volume significativo de volume não faturado, correspondendo a aproximadamente 36,05% do volume de entrada. Apesar de elevado, esse percentual situa-se abaixo da média estadual de perdas registrada em Pernambuco, que alcança 48,5% segundo dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (BRASIL, 2022).

**Tabela 2 - Índices de desempenho do BH da Compesa**

Indicador de Desempenho	Função	Resultado
a. Volume de água não faturada do volume de entrada (%)	Financeira	36,05%
b. Perdas Reais do volume de entrada	Ineficiência de uso	29,95%

Fonte: Adaptado IWA (2012)

<sup>1</sup> Aluna do curso de Graduação em Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco - IFPE - Campus Afogados da Ingazeira – PE. Afogados da Ingazeira, 27 de fevereiro de 2026.

A predominância de perdas aparentes indica possíveis fragilidades relacionadas a medições, cadastros ou ligações irregulares. Por outro lado, o volume de perdas reais evidencia a influência de vazamentos estruturais e limitações operacionais, especialmente em função do regime intermitente de abastecimento, que favorece variações bruscas de pressão e aumento do desgaste das tubulações.






Do ponto de vista financeiro, a água não faturada impacta diretamente a receita da concessionária, considerando que o faturamento de esgoto é calculado com base no volume de água consumido. Sob a perspectiva operacional, os índices observados reforçam a necessidade de monitoramento contínuo e planejamento de intervenções estruturais.

Os resultados do balanço hídrico serviram como subsídio para a etapa de modelagem hidráulica, permitindo contextualizar o comportamento do sistema e orientar a análise das pressões e perdas de carga simuladas.












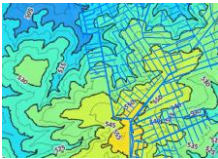

#### 5.4 Modelagem do Sistema Hidráulico

A modelagem hidráulica do sistema de abastecimento foi desenvolvida no software *WaterGEMS CONNECT Edition*, com base nas informações técnicas e operacionais levantadas junto à concessionária. O modelo foi estruturado de modo a representar, com o maior grau de fidelidade possível, os elementos físicos e as condições operacionais da rede urbana. Foram inseridos no ambiente computacional os seguintes componentes, representados na Tabela 3.

**Tabela 3 - Elementos modelados**

Elemento	Quantidade	Características	Representação no modelo
Válvulas	01	Redutoras de pressão	 PRV Válvula redutora de pressão
	44	De setorização e/ou controle	 TCV Válvula de controle de aceleração
	02	De liberação de ar	 Air Valve De ação dupla
Tubos	170.000 m	Ø 20 mm - Ø 700 mm	 Pipe Configurados conforme material, rugosidade e diâmetro
Reservatórios Elevados (REL)	04	Modelados conforme volume e elevação	 Tank Modelados como Tanques

<sup>1</sup> Aluna do curso de Graduação em Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco - IFPE - Campus Afogados da Ingazeira – PE. Afogados da Ingazeira, 27 de fevereiro de 2026.

<b>EEA</b>	03	Aduzir vazão para partes mais elevadas do setor	 EEA BROTAS  EEA PONTE  EEA CÁLICE  Informações definidas para 01 ponto de operação
<b>Poço de Sucção</b>	02	Diminuir diferença de linha piezométrica	 Tank Modelados como Tanque
<b>Demanda</b>	0.006 l/s	Calculado conforme volume de entrada	Consumo padrão fixo
<b>Consumidores</b>	16076 419	Área urbana Área rural	 Customer Meter Ativo Não ativo
<b>Dataloggers</b>	25	Histórico de pressões variadas	 Junction Inseridos informações nas notas das junções específicas por um conjunto de seleção:  Dataloggers
<b>Produção de água (total)</b>	96 l/s	Valor médio adotado conforme histórico e ajuste de demanda	<i>Fonte de água</i>  Reservoir Controle de saída de vazão   FCV
<b>Hidrante</b>	01	Ø 100 mm	Hidrante  Hydrant
<b>Informações plano de fundo (Backgrounds)</b>		Imagem satélite por meio de propriedades da Bing Map com chave da Bentley: <i>Higher Accuracy SIRGAS 2000 / UTM zone 24S</i>	
		Mapa de cor em função das curvas de nível, equidistantes de 5 m	
		Limites setores de abastecimento identificados por cor	

**Fonte:** Autoria própria (2026)

<sup>1</sup> Aluna do curso de Graduação em Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco - IFPE - Campus Afogados da Ingazeira – PE. Afogados da Ingazeira, 27 de fevereiro de 2026.

As válvulas de manobra existentes em campo são predominantemente do tipo gaveta. Para fins de modelagem hidráulica, essas válvulas foram representadas como válvulas de controle de aceleração (TCV), com coeficiente de perda de carga localizado ( $k$ ) adotado conforme Walski et al., (2003), que indica o valor para válvula gaveta, tipo cunha, aberta de  $k = 0.39$ . Optou-se pela adoção de coeficiente médio, considerando a incerteza quanto ao grau real de abertura e às condições de conservação das válvulas instaladas.

O modelo foi estruturado a partir de um cenário base representativo da operação média do sistema. A partir desse cenário, foram criados cenários derivados para análise comparativa, permitindo avaliar o impacto de alterações na topologia e nas condições operacionais. Em relação a demanda média disponível de 96 L/s referente à condição operacional, subtraindo do valor total de produção, a vazão para abastecimento do município de Tabira.

## 5.5 Verificação de Inconsistências e Análise Hidráulica Inicial

Após a inserção dos elementos no modelo hidráulico, realizou-se a etapa de verificação de consistência, procedimento indispensável para assegurar a confiabilidade das simulações.

Inicialmente, foram identificadas inconsistências relacionadas à conectividade da rede, incluindo:

- Junções desconectadas;
- Tubulações com ligação incorreta;
- Trechos com fluxo invertido;
- Elementos com ausência ou erro de cota topográfica.

Durante as primeiras simulações em período permanente (*steady-state*), observaram-se pressões negativas em determinados nós e valores excessivamente elevados em trechos específicos da rede. Essas anomalias estavam associadas, principalmente, a inconsistências nas cotas altimétricas importadas e à ausência de parâmetros completos em alguns elementos.

Após a correção das cotas e da conectividade, os resultados passaram a apresentar comportamento hidráulico coerente com as características operacionais do sistema.

A partir do cenário base ajustado, foram analisadas as variáveis hidráulicas principais: pressão, velocidade e perda de carga, comparando-se os valores simulados com os limites estabelecidos na Norma Interna NI 014-02 da concessionária.

Os resultados obtidos indicaram os indicados na Tabela 4.

<sup>1</sup> Aluna do curso de Graduação em Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco - IFPE - Campus Afogados da Ingazeira – PE. Afogados da Ingazeira, 27 de fevereiro de 2026.

**Tabela 4** - Comparação entre modelado e norma

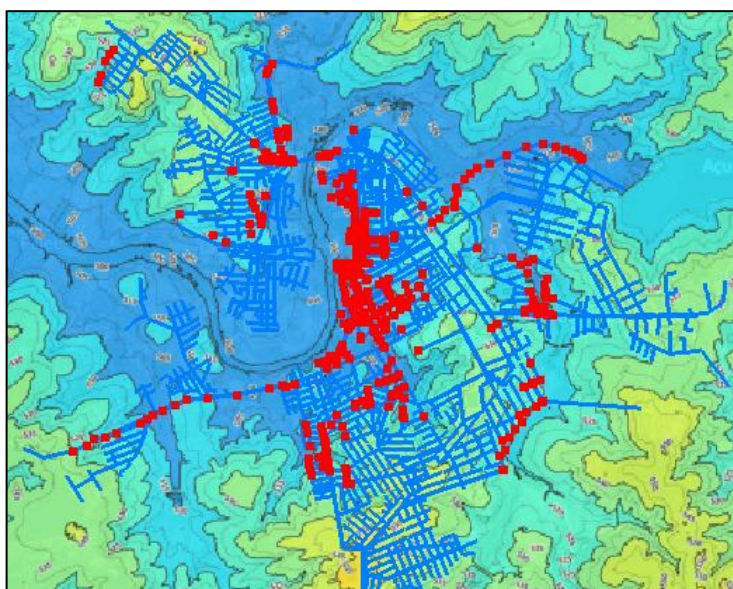
Parâmetro	Intervalos		
	Pressão (mca)	Velocidade (m/s)	Perda de carga (m)
Compesa NI 014-02	10 a 40 Regime intermitente: > 6	0,06 a 3,5	0,05
Modelo	4,08 a 67,21	0,01 a 2,91	0,00 a 8,25

Fonte: Adaptado Compesa (2025).

Observou-se que parte da rede apresentou pressões inferiores ao limite mínimo recomendado para regime contínuo, enquanto outros trechos registraram pressões superiores ao intervalo ideal. As pressões mais elevadas concentraram-se principalmente:

- Nas saídas das estações elevatórias;
- Em trechos de adutoras;
- Em pontos de menor cota topográfica;
- Em extremidades abastecidas por recalque.

Por outro lado, pressões reduzidas foram identificadas em áreas mais elevadas e em trechos com elevada perda de carga, sugerindo subdimensionamento ou influência do regime intermitente, conforme sinalizado pelas junções em vermelho, na Figura 3.

**Figura 3** - Junções na RAA com pressões acima de 50 mca

Fonte: Autoria própria (2026)

<sup>1</sup> Aluna do curso de Graduação em Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco - IFPE - Campus Afogados da Ingazeira – PE. Afogados da Ingazeira, 27 de fevereiro de 2026.

Quanto às velocidades, a maior parte dos trechos manteve-se dentro do intervalo recomendado, embora tenham sido observadas velocidades muito baixas em determinados segmentos, o que pode favorecer deposição de sedimentos.

As perdas de carga mais elevadas ocorreram, predominantemente, em trechos com mudanças bruscas de diâmetro e nas tubulações de saída das estações elevatórias.

Os resultados iniciais evidenciam comportamento hidráulico heterogêneo, característico de sistemas que passaram por expansão progressiva sem reestruturação global da malha. A coexistência de pressões elevadas e pressões insuficientes indica desbalanceamento hidráulico entre setores, possivelmente associado à topografia acentuada, à setorização operacional e à operação intermitente.

Essa análise preliminar subsidiou a etapa de calibração do modelo, apresentada na seção seguinte.

## 5.6 Calibração do Modelo Hidráulico

A calibração do modelo foi realizada com base em dados de pressão obtidos por 25 dataloggers distribuídos ao longo da rede de abastecimento. Os valores médios registrados foram utilizados como referência para comparação com as pressões simuladas no modelo.

O processo de calibração foi conduzido por meio do módulo *Darwin Calibrator*, ferramenta de otimização baseada em algoritmo genético disponível no *WaterGEMS*. O procedimento consistiu na definição de intervalos admissíveis para o coeficiente de rugosidade de *Hazen-Williams* (C), permitindo que o algoritmo ajustasse iterativamente os valores com o objetivo de minimizar a diferença entre pressões simuladas e observadas. Foram testadas cinco soluções propostas pela ferramenta, sendo selecionada aquela que apresentou melhor índice de fitness, correspondente a 2,8. Por conseguinte, devido a um refinamento distante do preterido, a qualidade do ajuste foi avaliada por meio do coeficiente de determinação ( $R^2$ ), obtido a partir da regressão entre os valores simulados no cenário base e os valores medidos em campo. Os resultados indicados no Gráfico 1 apontam que:

- Cenário base modelado (sem calibração automática):  $R^2 = 0,466$
- Cenário calibrado com Darwin Calibrator (com refinamento de 2,8):  $R^2 = 0,244$

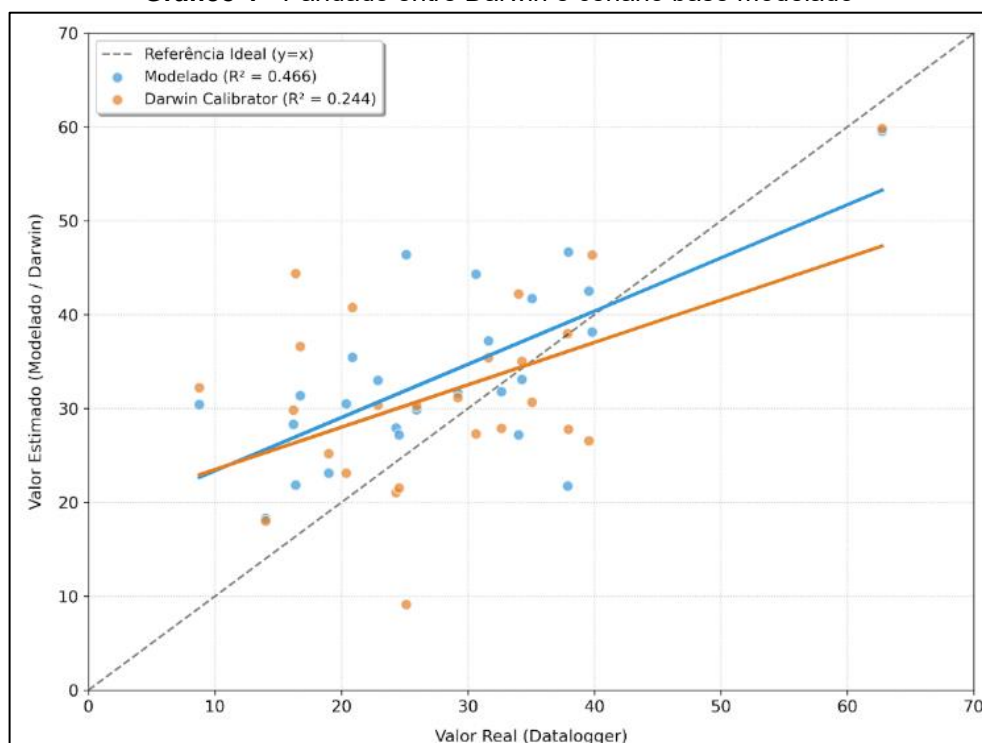
O desempenho inferior do cenário calibrado em relação ao cenário base sugere que a simples otimização do coeficiente de rugosidade não foi suficiente para representar adequadamente as condições reais do sistema. Embora os coeficientes de determinação não indiquem ajuste robusto, o modelo apresenta utilidade como ferramenta exploratória e de suporte ao diagnóstico operacional, desde que suas limitações sejam consideradas. Diversos fatores podem ter influenciado o resultado:

- Regime de abastecimento intermitente, que provoca variações significativas de pressão ao longo do dia;
- Incertezas nas cotas topográficas, provenientes do modelo digital do terreno utilizado;

<sup>1</sup> Aluna do curso de Graduação em Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco - IFPE - Campus Afogados da Ingazeira – PE. Afogados da Ingazeira, 27 de fevereiro de 2026.

- Possíveis inconsistências cadastrais na rede física;
- Variações operacionais não registradas no momento das medições de campo;
- Incertezas quanto ao grau de abertura das válvulas de manobra.

**Gráfico 1** - Paridade entre Darwin e cenário base modelado



Fonte: Autoria própria (2026).

Considerando essas limitações, optou-se por adotar o cenário base modelado para as análises subsequentes, por apresentar melhor coeficiente de determinação e comportamento hidráulico mais coerente com as condições observadas.

Conforme os parâmetros da Tabela 5, os valores de rugosidade ajustados pelo *Darwin Calibrator* permaneceram próximos aos parâmetros estabelecidos na norma interna da concessionária, não houveram alterações expressivas que forçassem a calibragem o que resultaria em um modelo próximo da realidade, porém não confiável.

Essa observação reforça que a discrepância entre dados modelados e observados pode estar associada a fatores operacionais e estruturais não totalmente representados no modelo, e não exclusivamente aos coeficientes hidráulicos.

**Tabela 5** - Comparativo valores do coeficiente C de *Hazen-Williams*.

Material	NI 014-02	Padrão <i>WaterGEMS</i>	Aplicação <i>Darwin Calibrator</i>
Ferro fundido revestido epóxi	135	130	121,5
PVC	135	150	121,5
PEAD	150	150 (adotado)	150

<sup>1</sup> Aluna do curso de Graduação em Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco - IFPE - Campus Afogados da Ingazeira – PE. Afogados da Ingazeira, 27 de fevereiro de 2026.

**Ferro fundido revestimento  
de argamassa de concreto  
(Amianto)**

110<sup>3</sup>

140

99

<sup>1</sup>Valor adotado para todas as variações de material plástico PVC; <sup>2</sup> Valores da Norma Interna 014-02; <sup>3</sup> Netto.

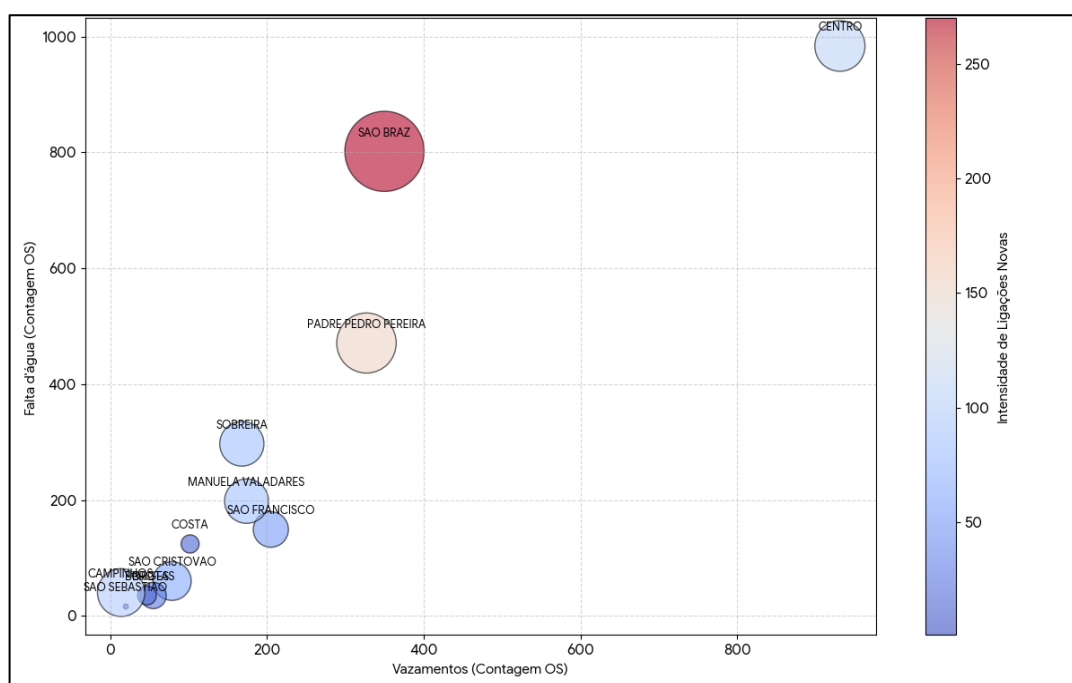
Fonte: Adaptado de Netto (1998) e Compesa (2025).

## 5.7 Diagnóstico Operacional e Proposição de Intervenções

Com base na análise do cenário base modelado e nos indicadores operacionais levantados, foi possível identificar padrões de comportamento hidráulico que explicam parte das ocorrências registradas no sistema, como reclamações de falta d'água e elevada incidência de vazamentos.

A análise integrada do histórico de ordens de serviço (2023–2025) e dos resultados da simulação hidráulica permitiu classificar e inferir aos bairros o tipo predominante de vulnerabilidade operacional, conforme mostra o Gráfico 2.

**Gráfico 2 - Correlação entre ordens de serviço**



Fonte: Autoria própria (2026)

### 4.7.1 Setor Centro

A região central da cidade apresenta rede mais antiga e elevada incidência de vazamentos. O modelo base também indicou variação significativa de pressão, com trechos sujeitos a pressões elevadas, especialmente em cotas mais baixas. Essa condição favorece o aumento do número de rompimentos e intervenções corretivas.

➤ Proposta técnica:

<sup>1</sup> Aluna do curso de Graduação em Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco - IFPE - Campus Afogados da Ingazeira – PE. Afogados da Ingazeira, 27 de fevereiro de 2026.

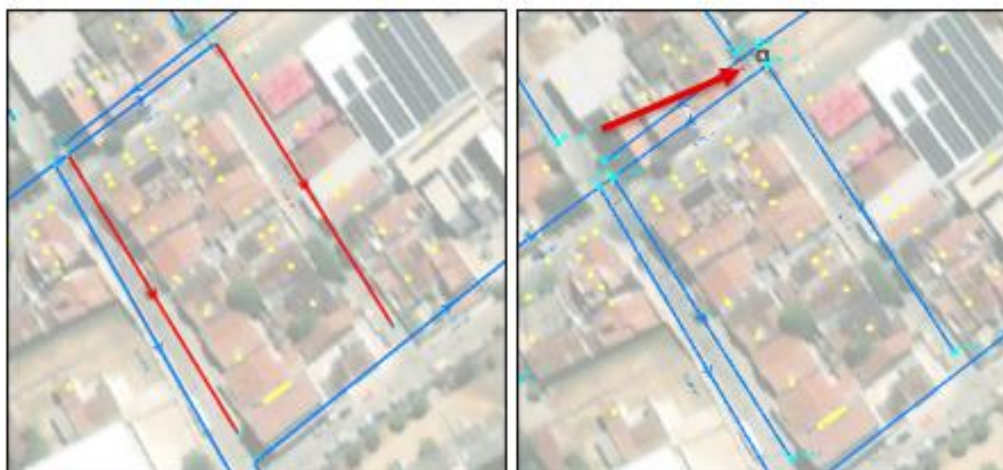
- Avaliação para instalação estratégica de válvulas redutoras de pressão (VRP);
- Revisão de trechos críticos com maior frequência de manutenção;
- Análise de substituição progressiva de tubulações antigas.

Os trechos em destaque na Figura, no cenário base, as pressões se mantêm próximas de 20 mca, o que não condiz com a realidade observada.

Como no desenho esses trechos de redes não possuem outras ramificações e compartilham do mesmo problema, sinaliza uma dificuldade pontual, o que pode ser uma obstrução que limite a vazão da água ou perda aparente. Sendo assim, indica-se uma sondagem da equipe técnica de geofonagem e pitometria nas remediações, que já solucionou problemas similares em outros trechos.

Ademais, outra alternativa em relação a rede de alimentação alterada da rede atual de Ø100 mm e interligada na perpendicular de Ø75 mm, com mudança de vazão de fluxo ascendente para descendente, considerando a topografia.

**Figura 4 - Cenário atual e cenário proposto**



**Fonte:** Autoria própria (2026)

Nesse cenário vê-se que as pressões se mantiveram dentro do limite normativo, conforme Figura 5.

**Figura 5 - Pressões cenário proposto**

Label	Elevation (m)	Demand (L/s)	Pressure (m H <sub>2</sub> O)	Is Active?	Hydraulic Grade (m)
J-5249	524.16	0.03	32.19	<input checked="" type="checkbox"/>	556.42
J-2888	528.43	0.12	27.94	<input checked="" type="checkbox"/>	556.42
J-2883	529.34	0.04	27.02	<input checked="" type="checkbox"/>	556.42
J-5237	530.09	0.01	26.27	<input checked="" type="checkbox"/>	556.42

**Fonte:** Autoria própria (2026)

<sup>1</sup> Aluna do curso de Graduação em Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco - IFPE - Campus Afogados da Ingazeira – PE. Afogados da Ingazeira, 27 de fevereiro de 2026.

#### 4.7.2 Bairro São Braz

Caracteriza-se por intensa expansão urbana e elevado número de novas ligações. O cruzamento entre dados operacionais e modelagem sugere que o desabastecimento decorre mais da insuficiência estrutural para suportar a expansão do que de falhas pontuais na rede.

➤ Proposta técnica:

- Avaliação de reforço de rede em trechos tronco;
- Redimensionamento hidráulico para atender às novas demandas;
- Reavaliação da capacidade das estações elevatórias.

#### 4.7.3 Bairro Campinhos

Embora apresente crescimento semelhante ao Centro em número de ligações, demonstrou menor incidência de vazamentos. A presença de reservatório local contribui para maior estabilidade de pressão.

No entanto, o modelo indicou episódios de pressão abaixo do ideal em determinados períodos.

➤ Proposta técnica:

- Ajuste operacional do calendário de abastecimento;
- Avaliação de equalização de setores para redistribuição de carga hidráulica.

#### 4.7.4 Bairro Padre Pedro Pereira

O bairro Padre Pedro Pereira é abastecido por recalque e apresenta variação altimétrica significativa, com cotas médias de 503 m e 541 m. O abastecimento ocorre inicialmente pelas áreas de menor cota, sendo posteriormente realizadas manobras para atendimento das áreas mais elevadas. A análise do histórico de ordens de serviço, associada ao cenário base, indica que o bairro apresenta número expressivo de reclamações por desabastecimento, além de quantidade relevante de vazamentos. É um dos bairros crescentes e não planejados em crescimento sem planejamento ausente de planejamento com maior expansão urbana. Com elevada sensibilidade operacional, principalmente relacionada à dinâmica de pressurização e redes de pequeno diâmetro.

Durante os períodos de abastecimento, o sistema opera com pressões elevadas nas áreas mais baixas, especialmente quando o recalque é intensificado para vencer as diferenças de nível. Essa condição favorece o aumento de perdas reais e pode contribuir para o surgimento de vazamentos recorrentes.

➤ Proposta técnica:

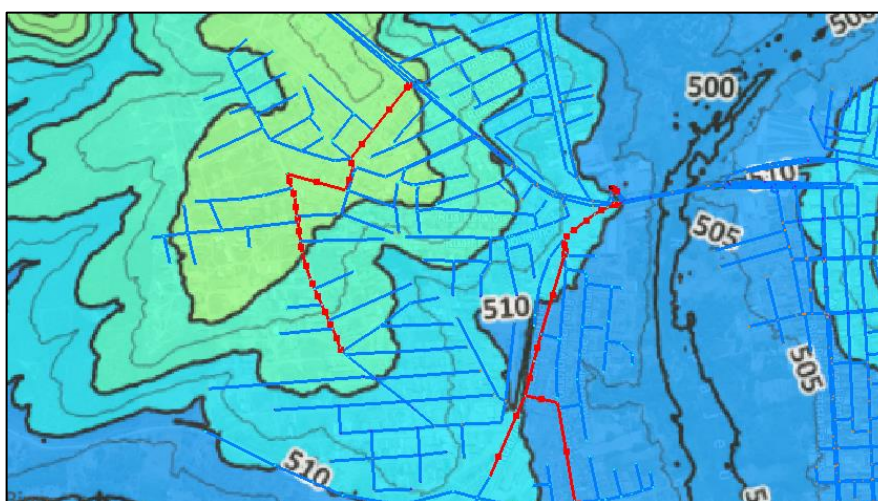
- Avaliação da setorização interna do bairro por nível altimétrico, separando áreas altas e baixas;

<sup>1</sup> Aluna do curso de Graduação em Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco - IFPE - Campus Afogados da Ingazeira – PE. Afogados da Ingazeira, 27 de fevereiro de 2026.

- Abastecimento das partes elevadas exclusivamente por recalque;
  - Abastecimento das partes mais baixas preferencialmente por gravidade, reduzindo sobrepressões;
  - Estudo de viabilidade para interligação do trecho final do PPP com o bairro São Francisco, considerando equivalência de cota e respeito à linha piezométrica;

Um dos setores possui a mesma cota do bairro São Francisco. No estudo de cenário, uma nova interligação é realizada obedecendo o fluxo por gravidade e linha piezométrica. Essa análise, exposta na Figura 6, vê-se que as redes tronco em vermelho de ambos os setores, e o nível topográfico que se localizam.

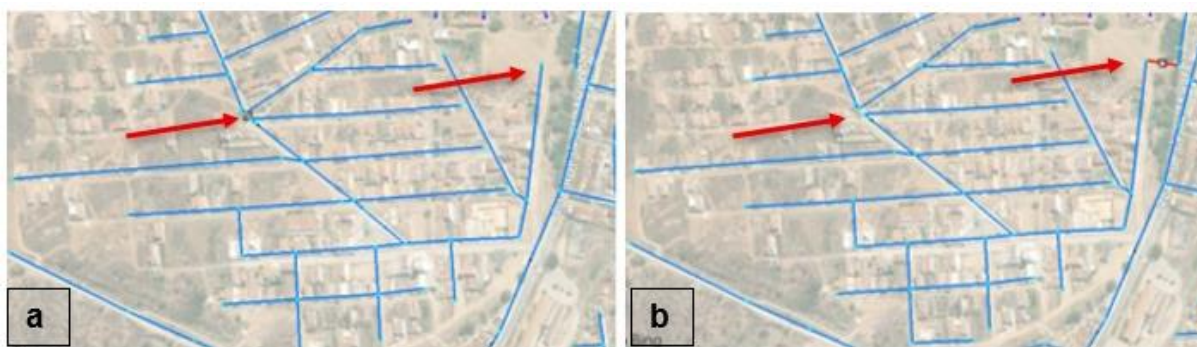
**Figura 6** - Setores em nível hidráulico similares



Fonte: Autoria própria (2026).

Como exibido na Figura 7a o trecho no cenário atual foi desativado, e uma nova interligação foi feita na derivação de Ø50 mm aproveitando o acesso disponível como pode ser visto na Figura 7b.

**Figura 7** - Comparação cenário atual e cenário proposto



Fonte: Autoria própria (2026)

Analisando os impactos relacionados as pressões, verificou-se que o comportamento hidráulico nos nós de todo o setor, em que, observa-se na Figura 8a

<sup>1</sup> Aluna do curso de Graduação em Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco - IFPE - Campus Afogados da Ingazeira – PE. Afogados da Ingazeira, 27 de fevereiro de 2026.

que as pressões alcançam 47,6 mca, e mínima de 33 mca, após nova interligação, (Figura 8b) manteve-se entre 26.5 mca e mínima de 10 mca.

**Figura 8** - Tabelas resultantes das pressões dos dois cenários

a	Elevation (m)	Demand (L/s)	Pressure (m H <sub>2</sub> O)	Is Active?	Hydraulic Grade (m)	b	Elevation (m)	Demand (L/s)	Pressure (m H <sub>2</sub> O)	Is Active?	Hydraulic Grade (m)
	508.44	0.08	47.56	✓	556.10		508.44	0.08	26.55	✓	535.05
J-3400	510.48	0.08	45.54	✓	556.11	J-3824	510.94	0.01	24.55	✓	535.54
J-3357	510.85	0.01	45.19	✓	556.13	J-3400	510.48	0.08	22.91	✓	533.44
J-3402	511.21	0.03	44.80	✓	556.11	J-3357	510.85	0.01	22.19	✓	533.08
J-3414	511.76	0.05	44.34	✓	556.18	J-3402	511.21	0.03	22.18	✓	533.44
J-3418	511.93	0.02	44.22	✓	556.24	J-3414	511.76	0.05	21.13	✓	532.93
J-3403	512.31	0.04	43.70	✓	556.10	J-3403	512.31	0.04	21.08	✓	533.43
J-3416	512.47	0.10	43.69	✓	556.25	J-3418	511.93	0.02	20.94	✓	532.92
J-3378	512.81	0.02	43.48	✓	556.37	J-3416	512.47	0.10	20.41	✓	532.92
J-4693	512.11	0.08	43.39	✓	555.99	J-4693	512.11	0.08	20.24	✓	532.39
J-3409	512.74	0.01	43.28	✓	556.10	J-3409	512.74	0.01	20.12	✓	532.90
J-3412	513.98	0.13	42.06	✓	556.13	J-3378	512.81	0.02	20.07	✓	532.93
J-3413	514.57	0.09	41.31	✓	555.96	J-3412	513.98	0.13	18.97	✓	533.00
J-4694	515.40	0.00	40.63	✓	556.10	J-3413	514.57	0.09	18.22	✓	532.82
J-3356	516.02	0.01	40.04	✓	556.15	J-4694	515.40	0.00	17.47	✓	532.90
J-5351	516.03	0.00	39.99	✓	556.10	J-3356	516.02	0.01	16.90	✓	532.96
J-3404	516.20	0.02	39.84	✓	556.12	J-5351	516.03	0.00	16.84	✓	532.90
J-4696	515.98	0.02	39.60	✓	555.66	J-3404	516.20	0.02	16.68	✓	532.92
J-3410	516.76	0.00	39.28	✓	556.13	J-4696	515.98	0.02	16.45	✓	532.46
J-4695	516.56	0.02	39.05	✓	555.69	J-3410	516.76	0.00	16.13	✓	532.93
J-3411	516.03	0.20	38.99	✓	555.10	J-4695	516.56	0.02	15.90	✓	532.49
J-3408	517.48	0.01	38.56	✓	556.12	J-3411	516.03	0.20	15.84	✓	531.90
J-3355	517.55	0.01	38.55	✓	556.18	J-3408	517.48	0.01	15.40	✓	532.92
J-3406	517.90	0.01	38.19	✓	556.17	J-3355	517.55	0.01	15.36	✓	532.94
J-3407	518.26	0.02	37.86	✓	556.19	J-3406	517.90	0.01	15.00	✓	532.93
J-5421	518.31	0.00	37.80	✓	556.19	J-3407	518.26	0.02	14.65	✓	532.94
J-3405	518.77	0.00	37.33	✓	556.17	J-5421	518.31	0.00	14.60	✓	532.94
J-3415	520.30	0.05	35.88	✓	556.25	J-3405	518.77	0.00	14.14	✓	532.93
J-3417	521.03	0.16	35.14	✓	556.25	J-3415	520.30	0.05	12.60	✓	532.93
J-5364	522.00	0.00	34.30	✓	556.37	J-3417	521.03	0.16	11.86	✓	532.92
J-5365	522.45	0.01	33.84	✓	556.36	J-5364	522.00	0.00	10.90	✓	532.93
						J-5365	522.45	0.01	10.45	✓	532.93

Fonte: Autoria própria (2026)

Ademais, também se propõe a avaliação da instalação de Válvulas Redutoras de Pressão (VRPs) em trechos com pressões elevadas, especialmente em áreas de menor cota topográfica e próximas às estações elevatórias, visando minimizar ocorrências de rompimentos e reduzir perdas reais.

Nos setores em expansão urbana, recomenda-se a análise de reforço da rede, com redimensionamento de trechos críticos que apresentaram pressões inferiores ao recomendado em horários de maior demanda. Essa medida busca adequar a infraestrutura existente ao crescimento populacional observado nos últimos anos.

Outra proposta consiste na ampliação do monitoramento operacional, por meio do incremento no número de dataloggers de pressão e, se possível, de vazão. A ampliação da base de dados contribuirá para maior precisão em futuras calibrações do modelo hidráulico e para o acompanhamento contínuo do desempenho do sistema.

Adicionalmente, sugere-se a atualização constante (expansão da rede e novos componentes) e o refinamento do cadastro técnico da rede, incluindo informações altimétricas mais precisas, condição real das válvulas e estado de conservação das tubulações, de modo a reduzir incertezas nas simulações. De forma complementar, estudos em EPS para avaliação das variações diárias de consumo e comportamento dinâmico das pressões.

<sup>1</sup>

Aluna do curso de Graduação em Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco - IFPE - Campus Afogados da Ingazeira – PE. Afogados da Ingazeira, 27 de fevereiro de 2026.

## 5 CONCLUSÃO

Conclui-se que a modelagem computacional de sistemas de abastecimento de água por meio do *software WaterGEMS*, constitui uma ferramenta relevante na construção de estratégias operacionais para redes de distribuição de água. Entretanto, a aplicabilidade dos resultados obtidos após a computação do ambiente simulado, depende da qualidade e/ou quantidade dos dados inseridos.

Nesse sentido, quanto mais próximo a aderência do modelo à realidade, mais seguras serão as análises operacionais e as propostas de intervenção no ambiente construído.

Apesar das limitações observadas na etapa de calibração, o modelo apresentou consistência para subsidiar análises exploratórias e apoiar decisões.

A análise do balanço hídrico indicou percentual significativo de água não faturada, reforçando a necessidade de ações estruturais e operacionais voltadas à redução de perdas. A etapa de calibração apresentou limitações associadas à qualidade e à variabilidade dos dados de campo, refletidas nos baixos coeficientes de determinação obtidos. Ainda assim, o cenário base modelado demonstrou consistência para subsidiar análises exploratórias e apoiar o diagnóstico técnico do sistema.

As intervenções propostas concentram-se na reavaliação da subsetorização, reforço de trechos críticos, controle de pressões. Tais medidas podem contribuir para a melhoria do desempenho hidráulico do sistema, mediante às normas internas da companhia, e observações ao modelo, como a proposta de incrementar o uso de *dataloggers* de pressão e de vazão.

## REFERÊNCIAS

ABEBAW, Melaku. **Assessment of water loss in water supply networks: a case of Debre Markos Town**. 2015. 137 f. Dissertação (Master of Science in Hydraulic Engineering) – Addis Ababa Institute of Technology, Addis Ababa University, Addis Ababa, 2015. Disponível em: <https://etd.aau.edu.et/>. Acesso em: 20 jun. 2024.

AFOGADOS DA INGAZEIRA. **Portal da Transparência. 2024**. Disponível em: <http://app.afogadosdaingazeira.pe.gov.br/transparenciamunicipal/frmlImprimeExtratoPublicacao.aspx?cod=78766&id=43>. Acesso em: 15 jan. 2026.

AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA); INTERNATIONAL WATER ASSOCIATION (IWA). **Water loss control: IWA/AWWA water audit method**. Denver: American Water Works Association, 2012. Disponível em: <https://thewatervalues.com/portals/0/files/resources/water%20knowledge/water%20loss%20control/iwa-awwa-method-awwa-updated.pdf>. Acesso em: 24 out. 2025.

APAC. **Boletim climático. 2023**. Disponível em: <https://www.apac.pe.gov.br/uploads/Boletim-Clim--tico-Julho.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2026.

<sup>1</sup> Aluna do curso de Graduação em Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco - IFPE - Campus Afogados da Ingazeira – PE. Afogados da Ingazeira, 27 de fevereiro de 2026.

AZEVEDO NETTO, José Martiniano de. **Manual de hidráulica**. 8. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1998.

BELTRÃO, Breno Augusto et al. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea**: estado de Pernambuco: diagnóstico do município de Afogados da Ingazeira. Recife: CPRM, 2005. 12 p. 1 mapa. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/15599>. Acesso em: 20 out. 2025.

BRASIL. Ministério das Cidades. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS)**: Diagnóstico dos serviços de água e esgoto 2022. Brasília, 2022.

COELHO, S. T.; ALEGRE, H.; LOUREIRO, D. **Modelação e análise de sistemas de abastecimento de água**. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2006.

COMPESA – Companhia Pernambucana de Saneamento. **Chuva retira Barragem de Brotas do colapso**. Recife, 2017. Disponível em: <https://servicos.compesa.com.br/chuva-retira-barragem-de-brotas-do-colapso/>. Acesso em: 15 jan. 2026.

COMPESA – Companhia Pernambucana de Saneamento. **Norma Interna NI-014-02**. Recife, 2025. Disponível em: <https://servicos.compesa.com.br/wp-content/uploads/2024/07/GPE-NI-014-02.pdf>. Acesso em: 03 jan. 2026.

FERREIRA, Denner Vianna Santos. **Modelagem hidráulica do sistema de abastecimento de água da cidade de Bananeiras – PB**. 2025. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal da Paraíba, Centro de Tecnologia, João Pessoa, 2025. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/34721>. Acesso em: 22 out. 2025.

HUSIEN, Munawer. **Assessment of the performance of existed water distribution system**: a case of Jimma Town, by using WaterGEMS V8i model. 2019. Dissertação (Master of Science in Hydraulic Engineering) – Jimma University, Jimma Institute of Technology, Jimma, 2019. Disponível em: <https://repository.ju.edu.et/handle/123456789/8218>. Acesso em: 22 out. 2025.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades**: Afogados da Ingazeira – PE. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pe/afogados-da-ingazeira/panorama>. Acesso em: 24 jun. 2025.

PALO, Paulo Rogério. **Avaliação da eficácia de modelos de simulação hidráulica na obtenção de informações para diagnóstico de perdas de água**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

MEHTA, D. J. et al. **Design of optimal water distribution systems using WaterGEMS**: a case study of Surat City. In: IAHR World Congress, 37., 2017, Kuala Lumpur. Anais [...]. Kuala Lumpur: IAHR, 2017. Disponível em: <https://www.iahr.org/library/infor?pid=3016>. Acesso em: 19 jun. 2024.

SABESP. **Orientador do empreendedor**: caderno técnico – interior e litoral. São Paulo: SABESP, dez. 2018. Disponível em: [https://www.sabesp.com.br/site/uploads/file/asabesp\\_doctos/espaco\\_empreendedor/](https://www.sabesp.com.br/site/uploads/file/asabesp_doctos/espaco_empreendedor/)

<sup>1</sup> Aluna do curso de Graduação em Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco - IFPE - Campus Afogados da Ingazeira – PE. Afogados da Ingazeira, 27 de fevereiro de 2026.

orientador\_empreendedor\_cadernotecnico\_interior\_litoral.pdf. Acesso em: 22 out. 2025.

TSUTIYA, Milton Tomoyuki. **Abastecimento de água**. 3. ed. São Paulo: Escola Politécnica da USP, 2006.

WALSKI, Thomas M. et al. **Advanced Water Distribution Modeling and Management**. Exton, PA: Bentley Institute Press, 2003. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/221936180>. Acesso em: 22 jan. 2026.

<sup>1</sup> Aluna do curso de Graduação em Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco - IFPE - Campus Afogados da Ingazeira – PE. Afogados da Ingazeira, 27 de fevereiro de 2026.