

Acoplamento de SIG e Epanet como ferramenta de apoio à decisão nas emissões de viabilidades técnicas de abastecimento de água para empreendimentos

Coupling GIS and Epanet as a decision support tool for assessment of technical feasibility of water supply systems

• **Data de entrada:**
24/03/2020

• **Data de aprovação:**
27/10/2020


Celso Lira Ximenes Júnior¹ | Renata Mendes Luna² | Iran Eduardo Lima Neto²

DOI: <https://doi.org/10.36659/dae.2022.041>

ORCID ID

Ximenes Júnior CL  <https://orcid.org/0000-0002-0160-1591>

Luna RM  <https://orcid.org/0000-0002-5346-5069>

Lima Neto IE  <https://orcid.org/0000-0001-8612-5848>

Resumo

O planejamento de recursos hídricos é tarefa complexa, pois envolve uma gama de atores com interesses muitas vezes conflitantes. Aliado a isso, o crescimento desorganizado das grandes cidades e a escassez hídrica levam os gestores a tomarem decisões balizadas por Sistemas de Apoio a Decisão - SADs. Nessa problemática inserem-se as Companhias de Saneamento que compõem o sistema de recursos hídricos no Ceará como uma indústria que solicita outorga de uso para tratamento e distribuição de água tratada dentro dos parâmetros exigidos por lei. Nesse contexto, o gerenciamento do sistema de abastecimento de água é um desafio para as companhias estaduais, tendo em vista que a grande malha de sua infraestrutura está enterrada. Conhecer o sistema para decidir ampliar ou dar manutenção é estratégico para a sobrevivência das companhias. Surge, assim, o Sistema de Informação Geográfica, que busca prover ao gestor público uma ferramenta de apoio à decisão. No presente trabalho, buscou-se demonstrar a aplicabilidade de tal ferramenta sob a visão de um estudo de caso de viabilização da interligação de empreendimentos particulares na Região Metropolitana de Fortaleza, por meio de acoplamento entre SIG e software hidráulico, dispondo, no final, de solução técnica para a viabilização da entrada de demanda no Sistema de Abastecimento de Água.

Palavras-chave: Sistema de Informação Geográfica. Epanet. Sistema de Abastecimento de Água. Gestão de Recursos Hídricos.

Abstract

Water resource planning is a complex task because it involves a range of actors with often conflicting interests. In addition, the disorganized growth of the big cities and the water shortage lead to the managers the necessity to make decisions marked by Decision Support Systems - SADs. This problem affect sanitation companies that comprise the water resources system in Ceará as an industry that requests grant of use for treatment and distribution of treated water within the parameters required by law. In this context, the management of the water supply system

¹ Companhia de Água e Esgoto do Ceará - Fortaleza - Ceará - Brasil.

² Universidade Federal do Ceará - Fortaleza - Ceará - Brasil.

* **Autor correspondente:** iran@deha.ufc.br.

is a challenge for state companies, considering that the great mesh of their infrastructure is buried. Knowing the system to decide to extend or maintain it is strategic for the survival of the companies. Geographic Information Systems that seek to provide the public manager with a decision support tool appear. In this work, we sought to demonstrate the applicability of such a tool under the view of a case study of viability of the interconnection of private enterprises in the Metropolitan Region of Fortaleza, through a coupling between GIS and hydraulic software, having, in the end, a technical solution to enable the entry of demand into the Water Supply System.

Keywords: Geographic Information System. EPANET. Water supply system. Management of Water Resources.

1 INTRODUÇÃO

A necessidade de tomada de decisão por parte dos gestores de saneamento básico é diária e complexa. As companhias de saneamento no Brasil gerenciam malhas de redes de abastecimento de água em cidades cujo crescimento desordenado expressivo demanda constante expansão da infraestrutura de abastecimento (NAZIF et al., 2010), de forma que o atendimento satisfatório e contínuo, como estabelecido nas diretrizes na lei 11.445/2007, é um grande desafio. Cidades (2018) informa que atualmente o índice de cobertura no abastecimento de água é de 83,3 %. O relatório também aponta que, em média, o sistema nacional de distribuição de água sofre perda na distribuição de 38,1%. Dentro desse contexto, o Nordeste assume valor de 47,3%, sendo que o estado do Ceará representa dentro dessa média o valor de 40,6%, estando nesse índice incluso perda físicas e aparentes.

Com isso, para auxiliar na tarefa de gerir processos de saneamento básico, os gestores necessitam investir em ferramentas que consigam extrair, integrar e consolidar de forma a dar consistência à quantidade massiva de dados existentes em diversos sistemas de informação e, muitas vezes, contidas na personalidade de cada colaborador da corporação, em um sistema integrado capaz fornecer um melhoramento nos processos de apoio à tomada de decisão (GOUVEIA, 2009)

Nesse sentido surge o Sistema de Informação Geográfica - SIG, que se apresenta como uma ferramenta para integrar dados técnicos, por meio de banco de dados, e dados cartográficos de forma efetiva (TSIHRINTZIS; HAMID; FUENTES, 1996), fornecendo ao gestor a possibilidade de visualizar todas as unidades de um Sistema de abastecimento com suas características técnicas e comerciais, zonas e setores de abastecimento, gerando análises comparativas, auxiliando a organização e a manipulação de dados (DORCA; LUVIZOTTO-JR; ANDARADE, 2002), proporcionando um diferencial corporativo (FAUSTO et al., 2010)

O caráter multidisciplinar (KALIVAS; KOLLIAS; KARANTOUNIAS, 2003; GOMARASCA, 2010) torna possível entendimento integrado de uma gama de problemas de diversas naturezas (UDO-VYK, 2006). A capacidade de análise espacial por meio de funções de reclassificação e sobreposição (MIRANDA, 2010) infere melhorias no processo de gestão das companhias de saneamento em uma única plataforma de informação integrada (NÚNEZ E CRUZ, 2012), nas subáreas de projeto, planejamento (PANAGOPOULOS; BATHRELLOS; SKILODIMOU, 2012), operação e manutenção (JUNQUEIRA, LAUTENSCHLAGER E PAREDES, 2009). Cita-se também o caráter indispensável do SIG para o controle de perdas (MÜHLHOFER E SILVA, 2009).

Nesse contexto, Blindu (2013) utilizou SIG com técnicas de análise temporais para desenvolver uma ferramenta de diagnóstico de um Sistema de Abastecimento. Abrahão, Franco e Ishmitzu (2009) trabalharam na otimização da operação de válvulas de manobras na rede de abastecimento da Sabesp, enquanto Ho, Cheng-I; Lin, Min-Der; LO (2010) utilizaram SIG acoplado com um modelo de Rede Neural Artificial para prover aos analistas e gestores situações de rompimento em tubulações e assim embasar planos de substituição de ativos.

Em vista dessas características e da necessidade de balizamento e suporte à gestão de decisão nas emissões de Declarações de Viabilidades Técnicas de água para empreendimentos particulares, essa pesquisa realizará estudo de caso real na Companhia de Água e Esgoto do Ceará com utilização do SIG QGIS acoplado ao software EPANET. A finalidade é conduzir um estudo hidráulico direcionado, considerando a situação do sistema existente com e sem o incremento de demanda. O destaque de tal abordagem reside no fato de, ao final, haver a proposição de melhorias na estrutura existente do sistema de abastecimento de água atreladas a um custo, de forma a tornar viável a inserção dos empreendimentos ao sistema de abastecimento da companhia.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A integração entre SIG e EPANET não é inédita, ao passo que nos trabalhos de Bartolin et al. (2001) os softwares EPANET e ArcView 3.2 foram conectados com a finalidade de simular a rede de abastecimento da cidade de Valência, Espanha. Tabesh e Delavar (2003) adotaram a mesma abordagem na área de perdas. Bartolin et al. (2008) realizaram acoplamento com diversos softwares: *ArcGIS 9*, *GISRed* e sistema *SCADA*, a fim de estruturar um modelo de gestão de dados com calibração. Sandoval; Zurvia-Flores; León

(2013) realizaram simulação em rede de distribuição de água na cidade de Tehuacan, México, utilizando o Qgis (mesmo software SIG utilizado nesse trabalho) com o EPANET.

Rauen et al. (2016) atribuíram notas e escalas de vulnerabilidades dentro do Sistema de Abastecimento de Água do município de Guarulhos, no estado de São Paulo, Brasil, utilizando para isso QGIS e EPANET 2.0. Abdelbaki (2017) realizou o trabalho que mais se assemelha a este artigo por meio do acoplamento de software SIG Mapinfo GIS 8.0 com EPANET 2.0 para permitir análise hidráulica dos defeitos do sistema de maneira rápida, contribuindo para elevação e manutenção do nível operacional da companhia de água da região de Chetouane, no noroeste da Argélia.

3 METODOLOGIA

3.1 Processo de Emissão de Viabilidade Técnica

O processo de emissão de viabilidade técnica a um empreendimento consiste de um estudo que é realizado no sistema de abastecimento da companhia levando-se em consideração aspectos hidráulicos e comerciais, a fim de diagnosticar e dar prognóstico do impacto da entrada de nova demanda no sistema.

Com a realização do prognóstico é constatado o nível de resiliência que o sistema possui em relação à variabilidade de demandas existentes e futuras. Esse índice, atualizado cotidianamente, acaba por consubstanciar dados de planejamento estratégico da companhia em relação aos custos devidos à manutenção da infraestrutura existente e, assim, fornecer informações estratégicas ao tomador de decisão na relação investimento de manutenção e investimento de expansão.

O estudo de emissão de Viabilidade Técnica de água consiste em 6 fases:

1ª Fase: Solicitação por parte do interessado

2ª Fase: Locação do empreendimento na base cadastral da companhia em SIG;

3ª Fase: Realização de simulação hidráulica no sistema existente para diagnóstico atualizado da situação do sistema presente, considerando os empreendimentos com viabilidade emitida (reserva de demanda);

4ª Fase: Inserção da demanda do empreendimento que pleiteia a entrada no sistema da Companhia;

5ª Fase: Avaliação do Impacto e, caso seja constatada a necessidade de mudanças no sentido de reforçar o sistema de modo a deixá-lo no mínimo ao nível de operação atual, proposição de alternativa(s) com elaboração de custo;

6ª Fase: Emissão de declaração de viabilidade técnica com ou sem condicionantes de reforço hidráulico ao interessado.

A emissão de Declaração de Viabilidade Técnica consiste, em termos práticos, em um documento que todo cliente novo que deseja se ligar ao sistema existente da companhia deve possuir, a fim de que seja realizada uma reserva de demanda da companhia. Caracteriza-se, dessa forma, como um instrumento de gestão que a companhia possui para ser considerado no ambiente tanto de novos negócios como também no ambiente de operação e manutenção.

3.2 Software SIG – QGIS 3.0:

O QGIS é um software fruto de um projeto da Open Source Geospatial Foundation (OS Geo), de código aberto e licenciado segundo a Licença pública Geral GNU. Ele permite ao usuário definir o sistema de coordenadas de referência e outras ferramentas que disponibilizam ao usuário a disposição de camadas com diferentes coordenadas de referência com a correta sobreposição.

O software oferece a capacidade de trabalhar com diferentes bibliotecas e formatos de banco de dados com formatos vetoriais que incluem, por exemplo, formato ESRI, Mapinfo e MicroStation, AutoCAD DWG/DXF, Geo Package, GeoJSON, GRASS, GPX, KML, Comma. Também trabalha com formato Raster, incluindo ArcInfo Binary Grid, ArcInfo ASCII Grid, JPEG, GeoTIFF, ERDAS IMAGINE, MBTiles, R or Idrisi rasters, ASCII Gridded XYZ, GDAL Virtual, SRTM, Sentinel Data, dentre outros. Os formatos aceitos para banco de dados incluem PostgreSQL / PostGIS, SQLite/ Spatialite, Oracle, DB2 or MSSQL Spatial, MySQL (QGIS, 2018).

3.3 Software EPANET:

O EPANET é um software mundialmente utilizado para simulações hidráulicas estáticas e dinâmicas do comportamento hidráulico e da qualidade da água em redes de distribuição pressurizadas. Tais simulações ajudam a compreender a forma como os sistemas de abastecimentos de água funcionam com seus movimentos e transformações complexas. Tal software foi utilizado em sua versão 2.0 com o QGIS 3.0

3.4 Estudo de Caso - Diagnóstico e Prognóstico:

O trabalho que se apresenta nesse artigo é um estudo de caso para emissão de viabilidade técnica de dois empreendimentos na Região Metropolitana de Fortaleza, em específico no município de Caucaia. A vazão requisitada para o empreendimento 1 foi de 26 L/s, e para o empreendimento 2, de 10 L/s, ambos para final de plano, conforme disposto na Fig. 1. A extensão total de rede é de 145.415,54 metros, estruturada por meio de 2.453 nós de controle (vazão e pressão). Os diâmetros variam a partir de 50mm até 400mm, sendo que 74% do total são constituídos de diâmetros de 50mm.

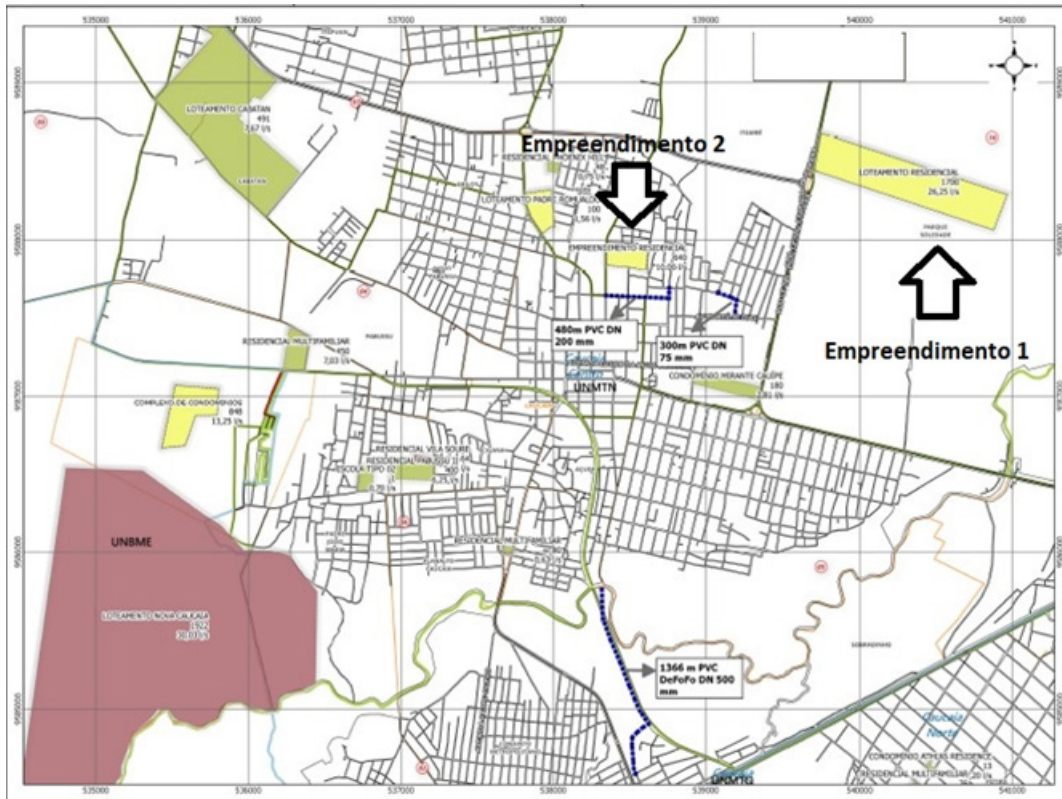


Figura 1 - Localização de Empreendimentos no Cadastro do software QGIS de Rede de distribuição de Água

A topografia da área varia 64% na faixa de 15 a 30 metros, sendo bastante diversificada, ao ponto de que a menor cota registrada é próxima à cota do nível do mar, 5 metros, e a maior cota a 35 metros acima do nível do mar, ou seja, uma variação de cerca de 30 metros. Percebe-se também na Fig. 1 que estão presentes empreendimentos futuros, não conectados ainda ao sistema, mas detentores de reserva de demanda.

3.5 1ª Simulação - Dados de Entrada:

A 1ª simulação consiste na realização de cálculos hidráulicos de forma a se ter um modelo que reflita melhor a realidade em termos de vazão, pressão e demanda, conforme já disposto por Soares et al., (2004) quanto aos procedimentos para calibração de uma rede de distribuição de água. Com isso, são utilizados dados de medição

de campo de pressão e vazão para calibrar o SAA existente, conforme os seguintes dados:

- Perda de Carga: Fórmula Universal com rugosidade calibrada variando em torno de 20% do valor de referência de 0,0005mm;
- Dados de consumo: na plataforma comercial do QGIS, cada ligação é disposta no mapa com ponto de atributos de consumo desde sua ligação;
- Cotas: Topografia advinda de projetos anteriores;
- Extensões das redes: Cadastro comercial da Companhia no QGIS;
- Vazões de referência: Unidade de Transmissão Remota - UTR 49 e 51 (Fig. 2);
- Pressões de referência: Testes pitométricos realizados em pontos estratégicos (Fig. 2) durante 24 horas. Além desses, as UTRs 49 e 51 possuem monitoramento a cada minuto de vazão e pressão;

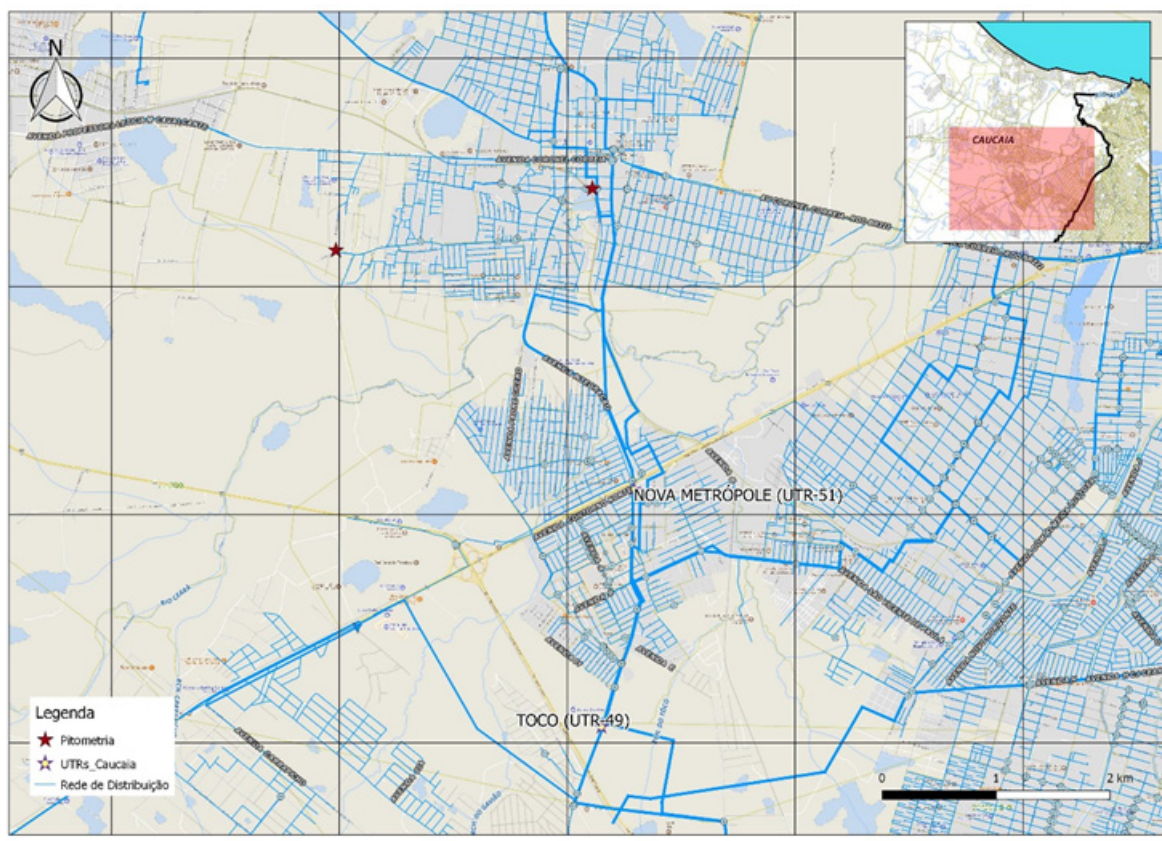


Figura 2 - Localização de Unidades de Transmissão Remota (UTRs) e Estações de Pitometria

Os dados das Unidades de Transmissão Remota fornecem o comportamento em tempo real, 24 horas por dia, 365 dias no ano das vazões de entrada no sistema de abastecimento Caucaia. São dados tratados como dados MACRO. Já os dados de pitometria são dados de balizamento para o refinamento do modelo calibrado.

Os dados de consumo de cada ligação passam por um tratamento antes de serem inseridos no modelo a ser calibrado no EPANET de forma a dar um padrão para o volume consumido total de cada ligação à curva de consumo característica da zona de abastecimento, pois os dados

comerciais, apesar de terem um histórico riquíssimo, dispõem de valores de consumo mensal, não retratando o comportamento do consumo em cada dia.

Após essa adaptação de volume consumido total para vazão, faz-se necessária a distribuição nodal para as redes cadastrais. O método utilizado foi de Thissen, o qual forma um polígono de influência distribuindo valores ponderados de vazão a cada nó do modelo, estando apto ao início da simulação (1ª simulação), conforme ilustrado na Fig. 3.

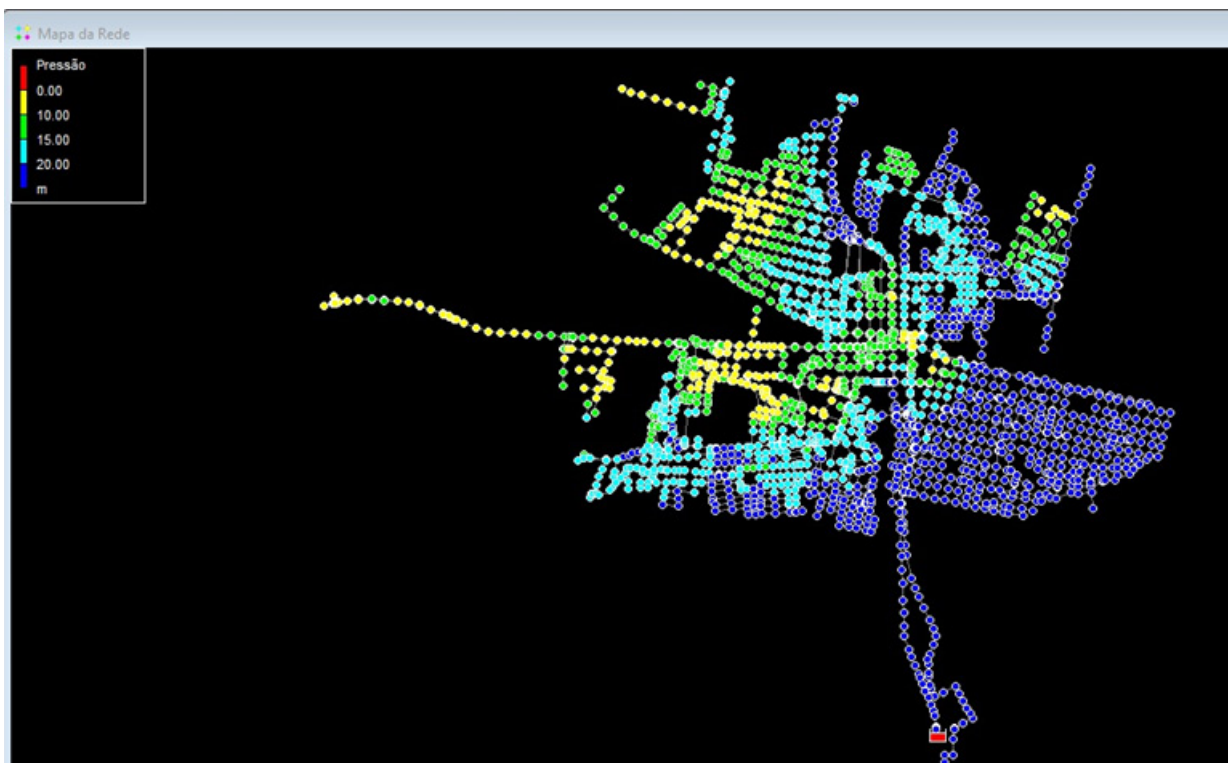


Figura 3 - Cadastro de Rede de Distribuição de Água - RDA com consumos nodais exportados para o EPANET

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O diagnóstico da situação hidráulica mostrado na Fig. 4, após exportação do QGIS para o EPANET e feita a 1ª simulação, mostrou uma faixa em vermelho exatamente no local pleiteado pelo empreendimento 1. A zona em vermelho retrata uma faixa de pressão abaixo do mínimo a ser atendido de 10 mca. Tal situação reflete a realidade comercial de que nesse ponto não havia demanda (ligações ativas), justificando, portanto, a situação de abastecimento com pressão abaixo da mínima permitida.

Avaliando os índices hidráulicos, foi possível realizar um diagnóstico mais detalhado e com isso chegar ao 1º prognóstico. Em termos de pressão dinâmica, 59,97% dos nós simulados estavam dentro do range de funcionamento ideal,

ou seja, entre 10 a 35 mca (CEARÁ, 2010). Apenas 0,77% dos nós avaliados possuíam pressão dinâmica acima de 35 mca. Tais números denotam que dificilmente haverá ocorrência de falta de abastecimento, ou mesmo perdas físicas, por rupturas das tubulações, pois mais da metade da rede de distribuição opera dentro de uma faixa ideal de pressão. Entretanto, os 39,26 % restantes funcionam no período da hora mais crítica abaixo de 10 mca. Essa informação isolada apenas denota a existência de dificuldade no abastecimento em pequena parte da rede, sendo necessário avaliar outros índices em conjunto. É importante destacar que tal situação não implica em falta de abastecimento, pois a análise é feita na hora mais crítica, conforme já estabelecido anteriormente.

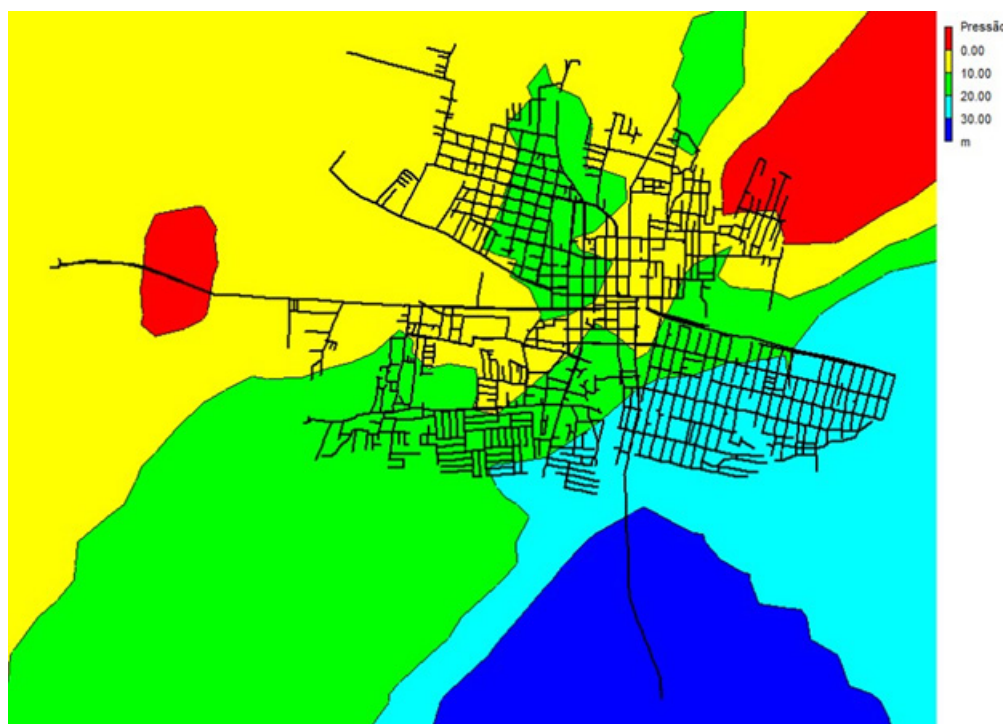


Figura 4 - Mapa de pressão da 1ª Simulação

Avaliando os índices de velocidade, constata-se que 91% dos trechos simulados possuem velocidade abaixo da mínima recomendada de 0,5 m/s. O restante consta na faixa de funcionamento ideal entre 0,5 e 1,5 m/s. Esse dado reflete uma situação de alerta, pois com baixas velocidades a tensão de arrasto fica comprometida, aumentando-se a probabilidade de deposição de material no fundo das tubulações e, com isso, comprometendo a condutividade hidráulica do sistema.

Quanto aos valores de perda de carga, estes acompanharam os resultados da velocidade, pois 70% dos trechos possuem valores abaixo de 1m/km. A faixa ideal adotada pela Companhia Cearense de Água e Esgoto é de 1 a 8 m/km (CAGECE, 2010), na qual 26% dos trechos estão inseridos e o restante, 4%, acima de 8m/km. De modo geral, esse resultado é bom, pois significa que as tubulações estão operando dentro da

faixa limite de projeto, com baixa ocorrência de ruptura por fadiga.

Concluiu-se nessa etapa que o sistema encontrava-se funcionando em um nível bom de atendimento, com a ressalva de uma menor parte da região estava com queda de pressão no pior horário de funcionamento. Tal fato deve-se ao fator “seca”, que acaba por inferir um contingenciamento no volume de captação do sistema global, reverberando negativamente, ainda que de maneira atenuada, no abastecimento da região em estudo.

Em vista disso, partiu-se para a segunda simulação para verificação do impacto dos 2 empreendimentos no sistema por meio de simulação no EPANET, gerando o mapa de pressões mostrado na Fig. 5, constatando-se o agravamento da situação no setor requerido (aumento da faixa vermelha).

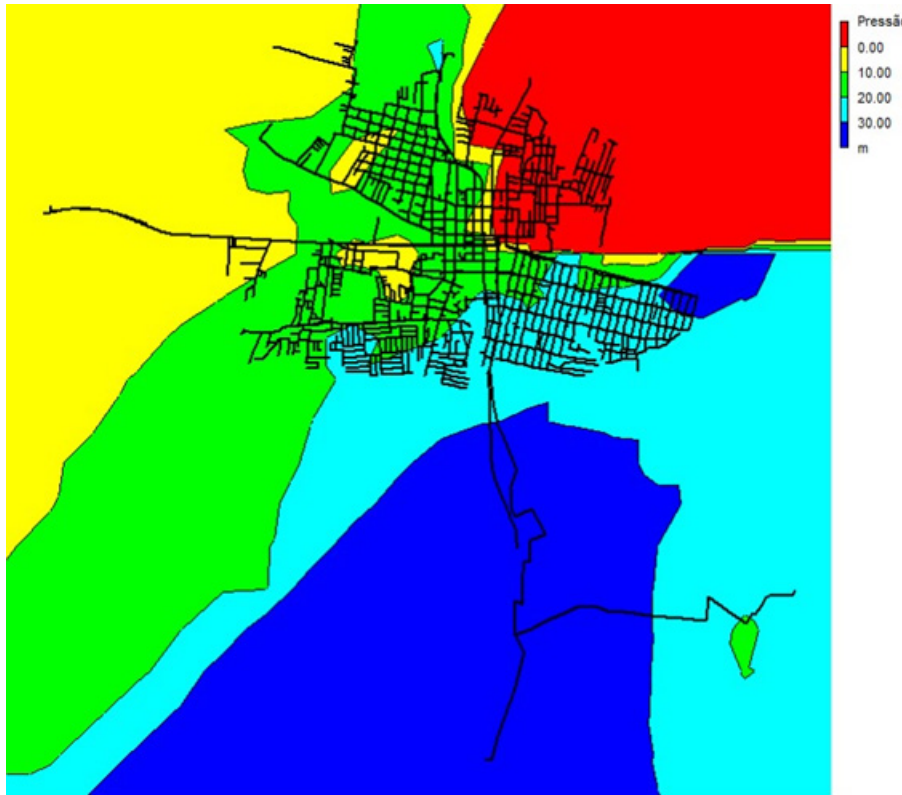


Figura 5 - Mapa de pressão da 2ª simulação

4.1 Estudo de Caso - Solução

Realizado o prognóstico, constatou-se a necessidade de melhoria no sistema para atender a zona solicitada por cada empreendimento. Em vista disso, realizou-se uma 3ª simulação direcionada. Contudo, levando-se em conta que o EPANET é um software simulador e não dimensionador, foi necessária a utilização do SIG para direcionar as modificações necessárias antes da realização da 3ª simulação, conforme disposto na Fig. 6.

O SIG indicou pontos de estrangulamento na rede de distribuição. Percebe-se que os 3 pontos de intervenção localizados no SIG são distantes do Empreendimento 1 e perto do Empreendimento 2, segundo as descrições:

- Substituição de 2.334 metros de tubulação PVC DEFoFo DN 250 mm por DN 500mm de mesmo material;
- Substituição de 480 metros de tubulação PVC DEFoFo DN 100 mm e de 300m metros de tubulação PVC DEFoFo DN 50 mm por DN 250mm de mesmo material;
- Implantação 1.583,50 metros PV DEFoFo DN 250mm de ramal de ligação ao empreendimento 1;

Com isso, realizou-se a 3ª e última simulação com resultado mostrado na Fig. 7, resolvendo-se o problema de abastecimento dos 2 empreendimentos, possibilitando, assim, a entrada de novos clientes no sistema.

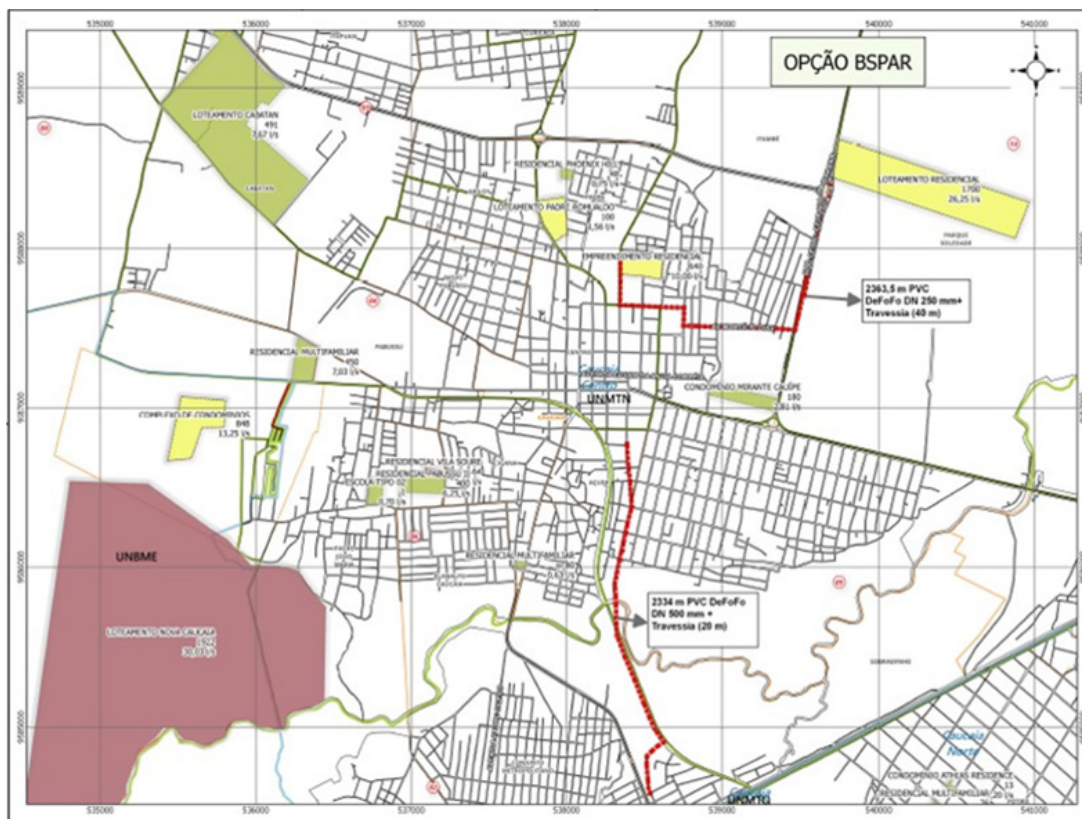


Figura 6 - Direcionamento de solução pelo SIG

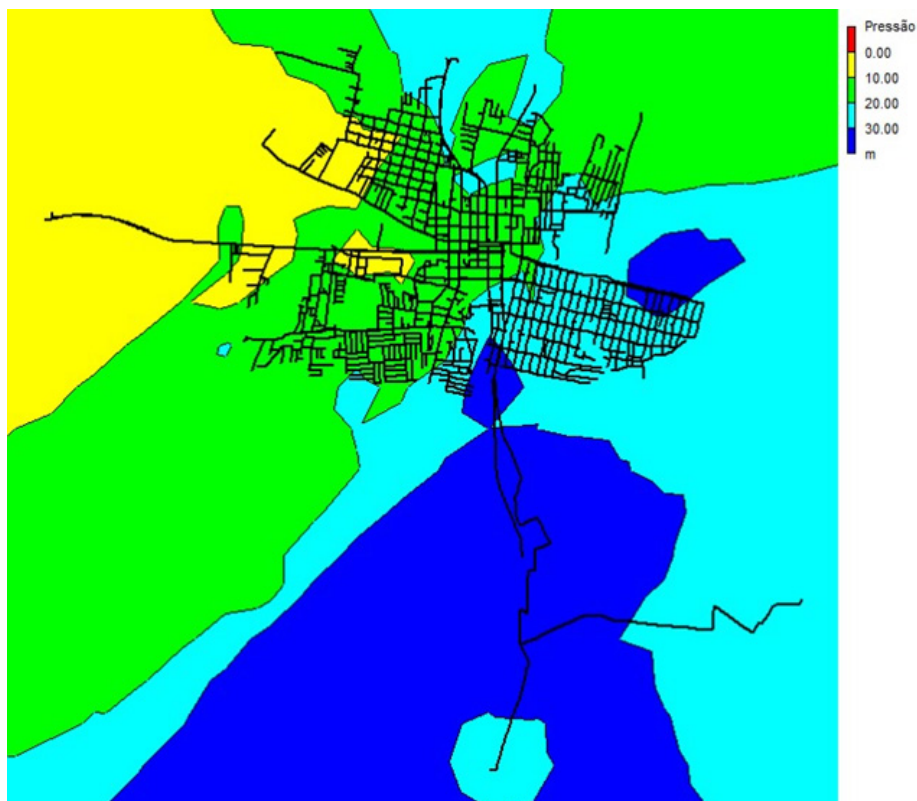


Figura 7 - Mapa de pressão da 3ª simulação

Os índices hidráulicos tiveram melhorias significativas, pois os valores que estavam fora das faixas ideais de operação passaram a operar devidamente dentro mesmo com um incremento de demanda, conforme disposto nas Tabelas 1, 2 e 3.

Tabela 1 - Distribuição de pressão nas simulações

Índices Pressão	Cenários	
	1ª Simulação	3ª Simulação
Máxima Pressão Dinâmica (>35 mca)	0,77%	4,62%
Máxima Pressão Estática (>35 mca)	0,00%	0,00%
Faixa de Pressão Ideal (10-35 mca)	59,97%	84,12%
Faixa de Pressão Abaixo do Limite Mínimo (< 10 mca)	39,26%	11,27%

Tabela 2 - Distribuição de velocidade nas simulações

Índices Velocidade	Cenários	
	1ª Simulação	3ª Simulação
Velocidade Inferior ao limite mínimo (>0,50 m/s)	91%	84%
Velocidade na Faixa Ideal (0,5 - 1,5 m/s)	9%	15%
Velocidade Superior ao Limite Máximo (> 1,50 m/s)	0%	1%

Tabela 3 - Distribuição de perda de carga nas simulações

Índices Perda de Carga	Cenários	
	1ª Simulação	3ª Simulação
Perda Carga <1 m/km	70%	65%
Perda Carga 1 - 8 m/km	26%	32%
Perda Carga Superior a Faixa Ideal >8 m/km	4%	3%

O índice de pressão na faixa de 10 a 35 mca (faixa ideal de pressão), de 59,97% na 1ª simulação passou para 84,12%, na última simulação, enquanto os valores preocupantes que ficaram na faixa menor do que 10mca passou de 39,26% para 11,27% na pior hora de funcionamento. Ou seja, com as intervenções propostas, o nível de abastecimento melhorou consideravelmente.

Para os 11,27% remanescentes, recomenda-se a alocação de equipes de campo para avaliação com geofones de possíveis rupturas existentes. Contudo, o aumento na faixa de operação ideal ocasionou o surgimento de pressões acima de 35 mca de 0,77% para 4,62%.

Tal consequência não denota que haverá rupturas, mas que apenas tais trechos deverão ser melhor monitorados, a fim de que, caso ocorra aumento nas perdas físicas, a probabilidade de isso ocorrer nos trechos monitorados seja significativa, tornando-se possível a racionalização de alocação das equipes de manutenção.

Com relação ao índice de velocidade, houve uma diminuição na faixa de valores abaixo de 0,5 m/s, onde de 91% passou para 84%. Do mesmo modo, a faixa de ideal de 0,5 a 1,5 m/s passou de 9% para 15%. O 1% restante ficou dentro da faixa de velocidade acima de 1,5 m/s, sendo mais um índice que irá compor a lista de trechos potenciais de ruptura em casos de aumento nas perdas físicas, pois tal situação significa eventos de tensões cisalhantes maiores do que o padrão aceito, infligindo ao tubo situações de abrasão acentuada e, portanto, aumentando o risco de fadiga por serviço.

Os valores de perda de carga mantiveram sua matriz dentro das faixas ideais de operação entre 1 a 8 m/km (faixa ideal), ficando com 97% comparados com os 96% da primeira simulação.

A grande mudança deveu-se à migração de 26% para 32% na faixa ideal de operação. A representação da faixa acima de 8m/km variou de 4% para 3%, sendo esses trechos passíveis de fadiga futura e que precisam ser monitorados. As Fig. 8 e 9 ilustram os pontos potenciais de controle de perdas.



Figura 8 - Destaque de áreas para monitoramento de baixas (em amarelo) e altas pressões (em azul)



Figura 9 - Destaque de trechos para monitoramento de perdas de carga elevadas (em vermelho)

O resultado final, demonstrado na Fig. 7, fornece solução considerável em termos financeiros. Na época, por meio de tabelas oficiais do estado, o investimento para tal intervenção foi

orçado em cerca de R\$ 2 milhões, constatando-se nesse ponto um cenário de decisão corporativa, pois se trata de um montante unitário de R\$ 55.555,00/L/s.

Dentre os trabalhos citados, apenas o de Abdelbaki et al. (2017) proveu análise hidráulica com a finalidade de realizar um diagnóstico conclusivo de uma rede de abastecimento de água, sem, entretanto, apontar alternativa com custo para solucionar os aspectos de mau funcionamento do sistema. Para a distribuição de pressão, no diagnóstico realizado por Abdelbaki et al. (2017), foi utilizado valor máximo de pressão de 60 mca (6 bar) e, com isso, chegou-se à conclusão de que 115 de 296 nós (39%) estavam com valores de pressão superior ao máximo.

Em comparação com o trabalho sob apresentação, a pressão máxima utilizada foi de 35 mca, sendo que apenas 4,62% ficarão acima e nenhum resultado superou ao menos 50 mca, conforme disposto na Tabela 1.

Em relação à faixa ideal de operação fixada de 10 a 60 mca, apenas 178 de 296 nós (60%) permaneceram dentro do intervalo. Em comparação, neste trabalho, conforme mostrado na Tabela 1, 84,12% do sistema irá operar dentro da faixa ideal. Portanto, o sistema atual e futuro deste trabalho apresentou melhor nível operacional com relação ao reportado por Abdelbaki et al. (2017).

Já o trabalho apresentado por Sandoval; Zurvia-Flores; León (2013) simulou rede real com o intuito de prever situações de emergências e, assim, embasar locações de reservatórios e hidrantes com base nas zonas de alta e baixa pressão. Tal abordagem se assemelha à apresentada neste artigo no tocante ao estudo de pressões mínimas e máximas, apesar de se tratar de rede de tamanho inferior ao tratado neste trabalho.

Por outro lado, Rauen et al. (2016) realizou diagnóstico do sistema de distribuição de água e rede real no município de Guarulhos, São Paulo. A análise retornou que quase a totalidade da rede opera com pressões acima de 35 mca, situação acima da pressão máxima ideal, ensejando situações iminentes de ruptura das tubulações e aumento no nível de perdas físicas.

5 CONCLUSÕES

Ao longo do desenvolvimento do artigo, emanou-se o caráter corporativo que as ferramentas de geoprocessamento de dados e simuladores hidráulicos proporcionam às empresas de água devido a sua efetividade no apoio a decisão não apenas na área de Engenharia, como também na de planejamento, operação, manutenção e comercial, compondo e preenchendo as lacunas informacionais de forma integrada e continuamente atualizada.

De fato, o que se observou no cerne da literatura existente é que foram realizados com sucesso os acoplamentos de softwares SIG com softwares hidráulicos e, em alguns estudos, incorporados também a outros programas executores de processos auxiliares que tornam o processo de seleção de dados e calibração mais eficientes.

Porém, percebe-se uma lacuna entre a análise de falhas e a indicação de solução com custos. Em vista dessa lacuna, o presente artigo buscou contribuir, realizando para tal o próximo passo após a realização de um diagnóstico hidráulico, ou seja, elencar soluções com custos.

Em tempos de escassez hídrica, o nível de domínio do sistema de abastecimento de água de certa cidade é o diferencial entre o colapso total do abastecimento e a gestão de contingenciamento com medidas racionais para manter a continuidade do abastecimento.

Situações de falta de gestão e controle de ativos impossibilitam a entrada de novos clientes no sistema, encolhendo ainda mais as possibilidades de receita, diminuindo, por sua vez, as margens de lucro necessárias à manutenção e renovação da infraestrutura existente, além da necessidade de expansões.

Portanto, constatou-se ao final desse trabalho a relevância estratégica que softwares de geoprocessamento acoplados com softwares

hidráulicos podem fornecer às companhias de abastecimento de água, tanto em nível corporativo como operacional.

6 AGRADECIMENTOS

A presente pesquisa foi financiada pela Companhia de Água e Esgoto do Ceará - CAGECE e pelo Projeto de Cooperação Internacional - CNPq/BRICS (Processo CNPq 441115/2016-0).

7 CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

Conceitualização: Ximenes Júnior CL, Luna RM e Lima Neto IE; **Metodologia:** Ximenes Júnior CL, Luna RM e Lima Neto IE; **Investigação:** Ximenes Júnior CL; **Redação – Primeira versão:** Ximenes Júnior CL; **Redação – Revisão & Edição:** Luna RM e Lima Neto IE; **Aquisição de Financiamento:** Lima Neto IE; **Supervisão:** Lima Neto IE

8 REFERÊNCIAS

ABRAHÃO, N. C.; FRANCO, S. C. C. S. de; ISHMITZU, L. K. Otimização dos processos de manobra com apoio de tecnologia SIG – sistema de informações geográficas. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 25, 2009, Recife. **Anais...** Recife: ABES, 2009. 1 CD-ROM.

ABDELBAKI, C.; BENCHALID, M. M.; BENZIADA, S.; MAHMOUDI, H.; GOOSEN, M. Management of a water distribution network by coupling GIS and hydraulic modeling : a case study of Chetouane in Algeria. **Applied Water Science**, v. 7, n. 3, p. 1561–1567, 2017. <https://doi.org/10.1007/s13201-016-0416-1>

BARTOLIN, HUGO J. AYALA; ALZAMORA, FERNANDO MARTÍNEZ; MONTERDE, N. Connecting ArcView 3 . 2 to EPANET 2 . A full environment to manage water distribution systems using models . Connecting ArcView 3 . 2 to EPANET 2 . A full environment to manage water distribution systems using models . In: International Conference on Computing and Control for the Water Industry (CCWI'01). **Anais...** Leicester (UK): Montfort University, 2001

BARTOLIN, H. J. A.; CORTÉS, J. A.; ALZAMORA, F. M. Bringing up to date WDS models by querying . An EPANET-Based GIS Geodatabase BRINGING UP TO DATE WDS MODELS BY QUERYING . AN EPANET-BASED GIS GEODATABASE. In: Eighth Annual Water

Distribution Systems Analysis Symposium (WDSA). **Anais...** Cincinnati, Ohio, USA: mar. 2008

BLINDU, I. **Outil d ' aide au diagnostic du réseau d ' eau potable pour la ville de Chisinau par analyse spatiale et temporelle des dysfonctionnements hydrauliques**. HAL Id : tel-00779032. [s.l.] Université Jean Monnet - Saint-Etienne, 2013.

CEARÁ. **Normas Técnicas para Projetos de Sistemas de Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário Cagece**. 02. ed. FORTALEZA: CAGECE, 2010.

CIDADES, M. DAS. **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto - 2016**. Brasília: SNSA/MCIDADES.p.220, 2018.

DORCA, C. C.; LUVIZOTTO-JR, E.; ANDARADE, J. G. P. Aspectos da implantação de um SIG em pequenos e médios abastecimentos de água. In: I SEREA - Seminário Iberoamericano sobre Sistemas de Abastecimento Urbano de Água, v. 1, p. 1–10, 2002. **Anais...**

FAUSTO, C. A. S. S. et al. Análise clínica, epidemiológica e espacial de pacientes com hanseníase em Lagoa Grande/PE, por meio de tecnologias da geoinformação. In: III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. **Anais...** 2010. Disponível em: <https://www3.ufpe.br/~cgtg/SIMGEOIII/IIISIMGEO_CD/artigos/Cartografias/SIG/SIG/A_99.pdf>

GOUVEIA, R. M. M. **Mineração de dados em data warehouse**. [s.l.] Universidade Federal da Paraíba, 2009.

GOMARASCA, M. A. **Basics of geomatics. Applied Geomatics**, v. 2, n. 3, p. 137–146, 2010.

HO, CHENG-I ; LIN, MIN-DER; LO, S. Use of a GIS-based hybrid artificial neural network to prioritize the order of pipe replacement in a water distribution network. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 166, n. 1, p. 177–189, 2010. <https://doi.org/10.1007/s10661-009-0994-6>

JUNQUEIRA, R. F.; LAUTENSCHLAGER, S. R.; PAREDES, E. A. Aplicação de SIG na gestão da manutenção de redes de Distribuição de água. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 25., 2009, Recife: ABES, 2009. 1 CD- ROM. **Anais...**

KALIVAS, D. P.; KOLLIAS, V. J.; KARANTOUNIAS, G. A GIS for the Assessment of the Spatio-Temporal Changes of the Kotychi Lagoon, Western Peloponnese, Greece. **Water Resources Management**, v. 17, n. 1, p. 19–36, 2003. <https://doi.org/10.1023/A:1023066706852>

MIRANDA, J. I. **Fundamentos de Sistemas de Informações Geográficas**. 2a edição ed. Brasília: Tecnológica, Embrapa Informação, 2010.

MÜHLHOFER, S. I.; SILVA, C. S. **A utilização de geoprocessamento como ferramenta para manutenção preventiva em redes de água e esgoto**. [S.L.], 2009

NAZIF, S.; KAMOUZ, M.; TABESH, M.; MORIDI, A. Pressure management model for urban water distribution networks. **Water**

Resources Management, v. 24, n. 3, p. 437–458, 2010. <https://doi.org/10.1007/s11269-009-9454-x>

NÚÑEZ, M. A.; CRUZ, Y. S. Gestión de acueducto y alcantarillado mediante sistemas de información geográfica. **Ingeniería Hidráulica y Ambiental**, v. 33, n. 3, p. 44–57, 2012.

PANAGOPOULOS, G. P.; BATHRELLOS, G. D.; SKILODIMOU, H. D. Mapping Urban Water Demands Using Multi-Criteria Analysis and GIS Mapping Urban Water Demands Using Multi-Criteria Analysis and GIS. **Water Resources Management**, v. 26, n. 5, p. 1347–1363, 2012. <https://doi.org/10.1007/s11269-011-9962-3>

QGis. Qgis - **A liderança de SIG de código aberto**. Disponível em: <https://www.qgis.org/pt_BR/site/about/index.html>

RAUEN, V.A.B.; GROHMANN, C.H.; GOVEIA,S.S.; MIOTO,C.L.; MARINI, L.B.; PARANHOS FILHO, A.C; ALMEIDA, M. H. T. Geotecnologias na determinação da vulnerabilidade à ocorrência de vazamentos em redes de abastecimento de água. **Geociências**, v. 35, n. 3, p. 414–425, 2016.

SANDOVAL, L. F.; ZURVIA-FLORES, J.R.R. Sistema para control y gestión de redes de agua potable de dos localidades de México.

Ingeniería Hidráulica y Ambiental. v. XXXIV, n. 1, p. 112–126, 2013.

SOARES, A. K;CHEUNG, P.B; REIS, L. F. R.; SANDIM, M.P. Avaliação das perdas físicas de um setor da rede de abastecimento de Água de Campo Grande-MS via modelo inverso. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 9, p. 312–321, 2004. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522004000400008>

TABESH, M.; DELAVAR, M.R Application of integrated GIS and hydraulic models for unaccounted for water studies in water distribution systems, *Advances in Water Supply Management*. In: *Proceedings of the CCWI'03 Conference*, London, 15–17 September, Edited by Cedo Maksimovic, Fayyaz Ali Memon, and David Butler, Taylor & Francis. **Anais...**

TSIHRINTZIS, V. A.; HAMID, R.; FUENTES, H. R. Use of Geographic Information Systems (GIS) in water resources: A review. **Water Resources Management**, v. 10, n. 4, p. 251–277, 1996. <https://doi.org/10.1007/BF00508896>

UDOVYK, O. GIS FOR INTEGRATED WATER RESOURCES MANAGEMENT BT - **Integrated Urban Water Resources Management**. Dordrecht: Springer Netherlands, 2006.