



MODELAGEM HIDRÁULICA COMPUTACIONAL COMO FERRAMENTA DE GESTÃO PARA SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Manoel Felipe Araujo Pereira⁽¹⁾

Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Engenheiro do quadro técnico da INCIBRA - Inovação Civil Brasileira.

Lindolfo Neto de Oliveira Sales⁽²⁾

Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Mestre em engenharia sanitária pela *Missouri University of Science and Technology - USA*. Doutor em Desenvolvimento e Meio Ambiente pela UFRN. Professor Associado do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da UFRN.

Djalma Mariz Medeiros⁽³⁾

Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Doutor em engenharia sanitária pela Universidade Politécnica de Madrid – Espanha. CEO da INCIBRA - Inovação Civil Brasileira.

Endereço⁽¹⁾: Rua das Carnaúbas, 7909 – Natal, Rio Grande do Norte, RN – CEP: 59067-630 – Brasil – Tel: (84) 9-9946-0733 – e-mail: manoelpereiraeng@gmail.com ou mpereira@incibra.com.br.

RESUMO

A baixa disponibilidade hídrica, o alto índice total de perdas e a precariedade nos sistemas de abastecimento de água (SAA), principalmente do Nordeste, são grandes agravantes na qualidade da prestação do serviço de abastecimento de água. O presente trabalho objetiva diagnosticar o desempenho do SAA da zona urbana do município de Itapissuma/PE e propor ampliação e adequações para o mesmo com o horizonte de 2050. Para isto, foram modelados e simulados dois cenários diferentes, através do software *Mike Urban*. O Cenário A modela a situação real e atual do SAA, já o Cenário B, modela a ampliação do SAA no ano de 2050. A simulação do Cenário A mostra a grande influência da redução no índice de perdas para o bom desempenho do SAA. Já a simulação do Cenário B, mostra que além da ampliação, há necessidade de se adotar diversas medidas de combate e redução de perdas para atender satisfatoriamente as demandas futuras.

PALAVRAS-CHAVE: Consumo de água; Sistema de Abastecimento de Água; Índice de Perdas; Simulação Computacional.

INTRODUÇÃO

A região do Nordeste brasileiro historicamente é a mais afetada pela falta de água, principalmente nos períodos de secas, como a que ocorre desde 2012. Segundo dados da Agência Nacional das Águas (ANA) (BRASIL, 2002), Pernambuco é o estado brasileiro que apresenta a menor disponibilidade hídrica per capita do país com valores inferiores a 1.000m³/hab./ano, o que caracteriza uma situação de escassez hídrica, segundo escala da UNESCO (2015).

Em adição a baixa disponibilidade hídrica, as perdas e os desperdícios de água são fatores que mais comprometem o setor de abastecimento. No âmbito nacional, a média do índice de perdas de água das companhias de saneamento foi de 36,70% para o ano de 2014, já em Pernambuco este valor chegou a 51,90% para este mesmo ano (BRASIL, 2016). Dentre os municípios pernambucanos, Itapissuma está em evidência por ter índice de perdas ainda mais elevado do que as médias nacional e estadual supracitadas, atingindo o percentual de 62,14% de perdas totais (INCIBRA, 2015). Esses valores são inadequados perante o valor recomendado de 25% de perdas totais (WEIMER, 2001 e BAGGIO, 2002 apud TSUTIYA, 2006).

A redução das perdas permite diminuir os custos operacionais de produção, reservação e distribuição através da redução de gastos energéticos, gastos com tratamento e outros, bem como permite o melhor aproveitamento do sistema existente para aumentar a oferta de água, sem a necessidade de explorar ainda mais os recursos hídricos. Portanto, o combate a estas perdas em um Sistema de Abastecimento de Água (SAA) é uma atividade muito importante quando se pretende melhorar a eficiência econômica e ambiental, trazendo benefícios tanto para a companhia quanto ao consumidor.



Como ferramenta para representar e analisar um SAA e o seu funcionamento, surgiram os modelos computacionais hidráulicos ainda na década de 90. Eles são aplicados a uma grande variedade de problemas incluindo dimensionamento de tubulações, bombas e reservatórios, avaliação da confiabilidade, otimização de consumo energético e treinamento de operadores (WASLKI, GESSLER, SJOSTROM, 1990).

OBJETIVOS

Neste contexto, o desenvolvimento de um modelo computacional hidráulico, fidedigno com o real sistema de abastecimento torna-se fundamental para ser utilizado como ferramenta de controle permanente de perdas e para posterior controle operacional da companhia. Portanto, este trabalho objetiva a utilização da modelagem hidráulica, visando diagnosticar o sistema de abastecimento da zona urbana de Itapissuma/PE e propor adequações para otimizar a distribuição de água, assim como medidas de combate e redução das perdas em um horizonte de projeto de 2050.

METODOLOGIA UTILIZADA

Para alcançar os objetivos traçados deste estudo foi necessário conhecer o SAA verificando os pontos positivos e negativos do sistema atual, além de coletar informações cadastrais e topológicas do mesmo. Com esses dados, teve-se os subsídios necessários para realizar a escolha do software bem como do tipo de modelagem que se adeque mais aos objetivos do estudo, os quais visam diagnosticar o SAA existente e propor ampliação futura para o ano de 2050.

- **Caracterização do Sistema em Estudo**

O Sistema de Abastecimento de Água em estudo refere-se à zona urbana do município de Itapissuma/PE. Este município está situado na Região Metropolitana Norte (RMN) de Recife e é abastecido em sua zona urbana pela Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA).

A situação atual do SAA na zona urbana de Itapissuma é resumida através da Tabela 1, onde percebe-se a não universalização do serviço, uma vez que o SAA atende a apenas 74,55% da população urbana.

Tabela 1: Atendimento do Serviço de Abastecimento de água – Itapissuma/PE – 2016.

| Índice | Valor |
|--|--------|
| População total do município (habitantes) | 26.073 |
| População total urbana do município (habitantes) | 19.674 |
| População total atendida com SAA (habitantes) * | 14.667 |
| Consumo médio per capita de água (l/hab./dia) * | 96,14 |

Fonte: IGBE, 2016. *BRASIL, 2016.

O atendimento do SAA em Itapissuma se mostra fragilizado atualmente devido a prática rodízio. Conforme informação do calendário de abastecimento da COMPESA, diariamente o sistema apenas fornece água entre as 8:00 e as 16:00 horas, deixando a população sem abastecimento de água durante 16 das 24 horas do dia e dependendo apenas dos seus reservatórios individuais.

No que se refere à infraestrutura do SAA, Itapissuma tem sua captação realizada em manancial subterrâneo, mais especificamente através de cinco poços tubulares (Tabela 2). Este tipo de captação permite uma menor rigorosidade no tratamento, que neste caso passa apenas por desinfecção, conforme é previsto na portaria nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011).



Tabela 2: Vazões de produção dos poços tubulares em Itapissuma/PE.

| Poço | Vazão (l/s) | Destino |
|--------------|--------------|---------|
| P 1.1-ITP | 2,90 | REL 1 |
| P 1.2-ITP | 10,00 | REL 1 |
| P 1.5-ITP | 12,00 | REL 1 |
| P 1.6-ITP | 12,00 | REL 2 |
| P 1.7-ITP | 10,00 | REL 2 |
| TOTAL | 46,90 | - |

Na reservação, existem atualmente dois Reservatórios Elevados (REL), o REL 1 com 280 m³ de capacidade e o REL 2 de 200m³. A partir destes dois REL a alimentação da rede de distribuição é feita toda por gravidade.

A rede de distribuição apresenta diâmetros variando de 40 a 150mm, com uma extensão total de 25,64 km e abrangendo uma área de 1,47 km². O estado de conservação de parte da rede é precário (INCIBRA, 2015), o que sugere a substituição.

- **Topologia e cadastro da rede**

Os dados cadastrais das tubulações de toda rede atual, tais como: traçado, comprimento, diâmetro, coordenadas geográficas, cotas e etc. foram inseridos na modelagem em forma de *geodatabase* disponibilizado pela COMPESA, através da empresa Inovação Civil Brasileira (INCIBRA).

A topografia do município utilizada neste trabalho é resultado de um mapeamento de nível topográfico realizado através de voo aéreo sob a zona urbana do município de Itapissuma. A precisão deste levantamento é de 1m. Esses dados são de fundamental importância para o estudo das tubulações e dos nós no modelo.

- **Modelagem Hidráulica**

O *Mike Urban* foi o software utilizado para desenvolver a modelagem e a simulação do SAA Itapissuma.

Os poços existentes foram simulados operando 24h/dia respeitando as suas verdadeiras coordenadas geográficas, cotas e vazões (vide Tabela 2), que totalizam uma produção atual de 46,90 l/s. Os reservatórios existentes foram modelados analogamente.

As simulações hidráulicas foram realizadas para um período estendido de 24 horas, pois permitem avaliar o comportamento da rede ao longo do dia de maior consumo considerando também as variações horárias de consumo. Dessa forma, chegou-se a resultados de: pressão nos nós, nível dos reservatórios, vazão e velocidade nas tubulações, dentre outros, em intervalos de 1 hora ao longo do dia.

Para o cálculo de perda de carga, o software disponibiliza três formulações da hidráulica: (a) Darcy-Weisbach, (b) Chezy-Manning e (c) Hazen-Williams. No desenvolvimento deste trabalho foi escolhida a formulação de Hazen-Williams por ser a mais utilizada na prática em engenharia sanitária, dentre as formulações empíricas (PORTO, 2006).

- **Calibração do modelo**

O SAA atual foi calibrado para dar mais confiabilidade a modelagem hidráulica. Esta calibração utilizou a ferramenta *Pipe Roughness Calibration* (calibração pela rugosidade da tubulação), ferramenta que automaticamente ajusta o coeficiente de rugosidade das tubulações para compatibilizar com as medições de pressões in loco e assim melhor representar o que realmente ocorre no SAA.

Os dados das medições de pressões foram disponibilizados pela COMPESA e são resultados de relatórios de acompanhamento realizado através do sistema Vector, o qual fornece às unidades operacionais informações, em tempo real, tais como: volumes aduzidos de água, volumes afluentes, pressões no sistema, vazões, níveis de água no reservatório e poço de sucção, dentre outros.



- **Estudo populacional e de demandas nodais**

Para modelar o SAA e realizar as suas simulações, há necessidade de determinar e distribuir as demandas do sistema, as quais são calculadas em função das necessidades de consumo da população e são atribuídas aos nós do modelo.

A fim de propor soluções para o horizonte de 2050, precisa-se estudar a tendência de crescimento populacional. Nesse sentido, o método escolhido para o cálculo da projeção populacional deste trabalho é o mesmo adotado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) em suas projeções, o método AiBi (MADEIRA e SIMÕES, 1972).

Baseado no estudo populacional, foram levantadas as demandas do SAA. No cálculo destas demandas foi considerado o coeficiente de dia de maior consumo $k_1 = 1,20$. Já o coeficiente da hora de maior consumo, por se tratar de uma simulação em período estendido de 24 horas, foi simulado através da curva do fator de consumo (Figura 1) e tem valor de pico entre 11:00h e 12:00h correspondente a $k_2 = 1,50$. Além disso adotou-se $k_3 = 0,50$ durante a madrugada (coeficiente da hora de menor consumo). Os coeficientes k_1 , k_2 e k_3 adotados são recomendados por Azevedo Netto et al. (1998).

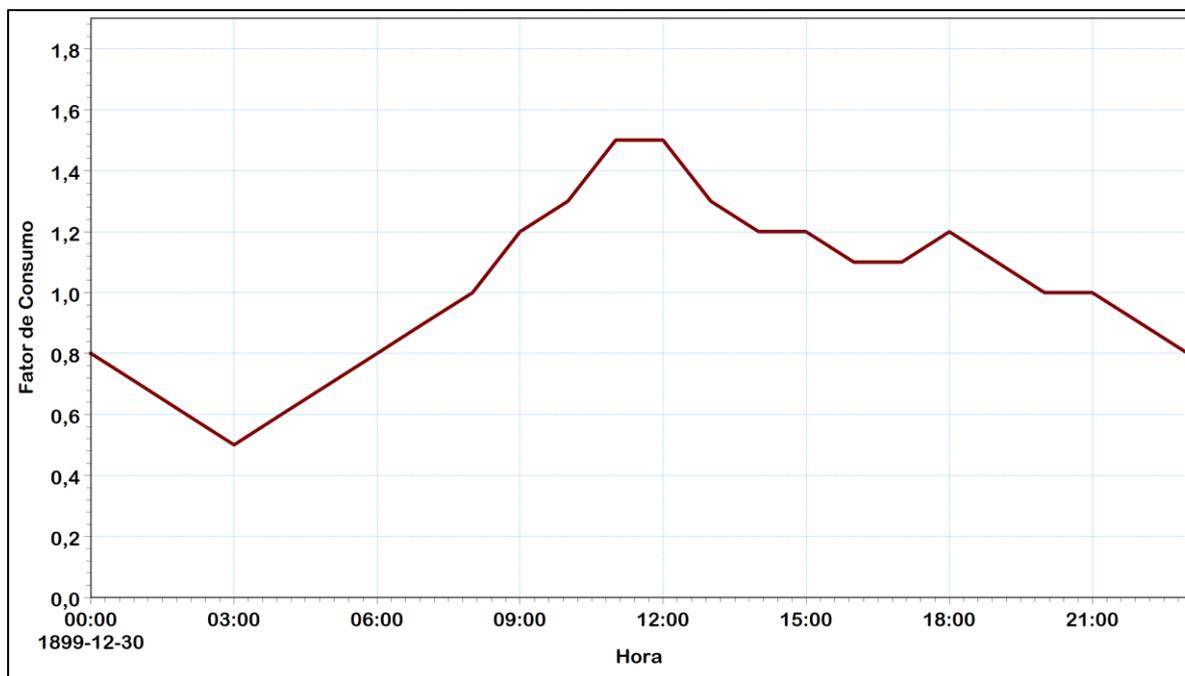


Figura 1: Variação do consumo diário utilizado na simulação.

A distribuição das demandas nos modelos foi realizada com a ferramenta *Distributed Demands*, fazendo a distribuição da demanda calculada nos nós da área desejada através do método do comprimento de tubulação reduzida (*Method of reduced pipe lengths*) para a demanda residencial considerada (DHI, 2012).

$$q_{pi} = \frac{Q \cdot l_i \cdot k_{li}}{\sum (k_{li} \cdot l_i)} \quad \text{equação (1)}$$

Já para distribuir as perdas calculadas, foi utilizado o método do comprimento de tubulação equivalente (*Method of equivalent pipe lengths*) (DHI, 2012).

$$q_{pi} = \frac{Q \cdot l_i \cdot k_{Di}}{\sum (k_{Di} \cdot l_i)} \quad \text{equação (2)}$$



Onde:

- q_{pi} = Demanda total distribuída pela tubulação i , dividida entre o nó de montante e de jusante;
- Q = Vazão total a ser distribuída;
- l_i = Comprimento da tubulação i ;
- k_{li} = Coeficiente de demanda da tubulação i (foi adotado = 1 para todas tubulações);
- k_{Di} = Fator de diâmetro, calculado como $\frac{\text{diâmetro do tubo } i}{150\text{mm}}$, normalizando as tubulações em função dos seus diâmetros.

- **Cenários modelados**

Para proceder com a avaliação da situação atual do SAA Itapissuma, se faz necessário a modelagem hidráulica de um cenário condizente com as características atuais, para isto foi realizada a modelagem do Cenário A.

Já para realizar proposições de adequações e otimização da distribuição de água, assim como medidas de combate e redução das perdas no horizonte do ano 2050, foi modelado o cenário futuro, o Cenário B, condizente com o crescimento demográfico esperado para a zona urbana de Itapissuma. As especificidades de cada cenário são descritas nos itens a seguir.

- Cenário A:

O Cenário A modela a situação presente do SAA de Itapissuma, que apresenta um alto índice de perdas de 62,14%, população atendida de 14.667 habitantes, consumo per capita de 96,14 l/hab.dia e o rodízio entre as 8:00 e as 16:00h.

Diante desse elevado índice de perdas atual, surgiu a inquietação de verificar o desempenho do Cenário A com um índice de perdas recomendado de 25%, logo realizou-se então a simulação de um sub-cenário A', o qual é idêntico ao Cenário A em todos os parâmetros, exceto no índice de perdas, que foi simulado com a redução de 62,14% para 25%, valor este recomendado na literatura.

A Figura 2 a seguir apresenta a arranjo geral do SAA utilizado no Cenário A e A' sob a imagem de satélite do terreno de Itapissuma.

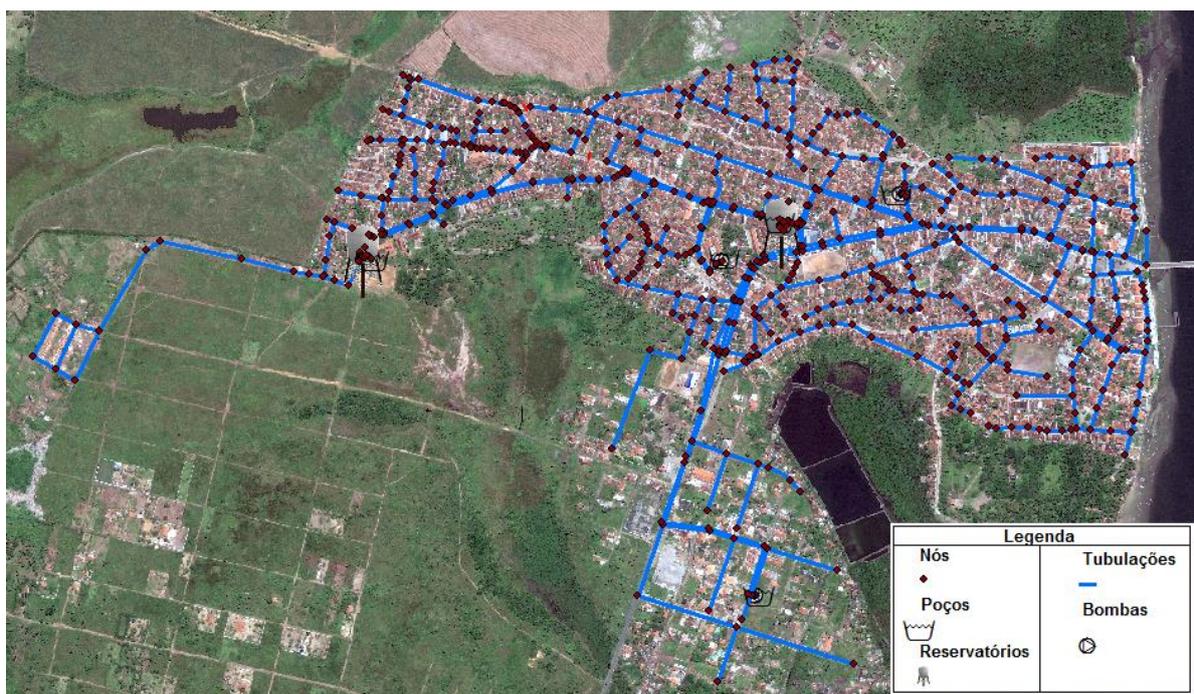


Figura 2: Arranjo Geral SAA existente em Itapissuma/PE modelado.

Para carregar as demandas nodais nos modelos do Cenário A e do sub-cenário A', foi utilizada a metodologia supracitada, que calcula as vazões máxima diária em função do consumo esperado da população atendida. Esses cálculos são apresentados na Tabela 3 a seguir juntamente com cálculo de reservação demandada, considerando a reserva de 8h do dia de maior consumo em caso de falha na produção, conforme recomendação da PNB 594/77 da ABNT (apud TSUTIYA, 2006).

Tabela 3: Cálculo das vazões demandadas e da reservação demandada do Cenário A.

| Cenário | Ano | População Total Urbana atendida | Vazão média (l/s) | Vazão máxima diária (l/s) | | | | Volume de reservação (m³) |
|---------|------|---------------------------------|-------------------|---------------------------|--------|----------|-------|---------------------------|
| | | | | Residencial | Perdas | Incêndio | Total | |
| A | 2016 | 14.667 | 16,32 | 19,58 | 32,14 | - | 51,73 | 938,69 |
| A' | 2016 | 14.667 | 16,32 | 19,58 | 6,53 | - | 26,11 | 938,69 |

Da Tabela 3 acima e com base nas informações do SAA atual apresentadas no item de caracterização do SAA em estudo, verifica-se no Cenário A uma defasagem na produção de 4,83 l/s e na reservação de 458,69 m³. Contudo, vale ressaltar que se o índice de perdas do SAA atual fosse reduzido ao valor recomendado de 25% (situação simulada pelo sub-cenário A') a produção atual de 46,90 l/s atenderia com folga a demanda, o que, mais uma vez, comprova que um dos principais problemas do SAA em estudo são as perdas.

o Cenário B:

O Cenário B corresponde a modelagem da rede futura conforme as demandas estimadas para o ano de 2050. Para atender estas demandas, é proposta uma ampliação da rede e adequações visando acomodar a nova população com um serviço de qualidade perante os parâmetros de pressão estabelecidos pela NBR 12.218 (ABNT, 1994).

A área necessária para a implantação da ampliação da rede, foi determinada a partir da densidade habitacional de 100 hab./ha, que é compatível com a ocupação atual nesta zona urbana (aproximadamente 99 hab./ha). A representação da área escolhida bem como o arranjo geral do cenário B são apresentados na Figura 3.

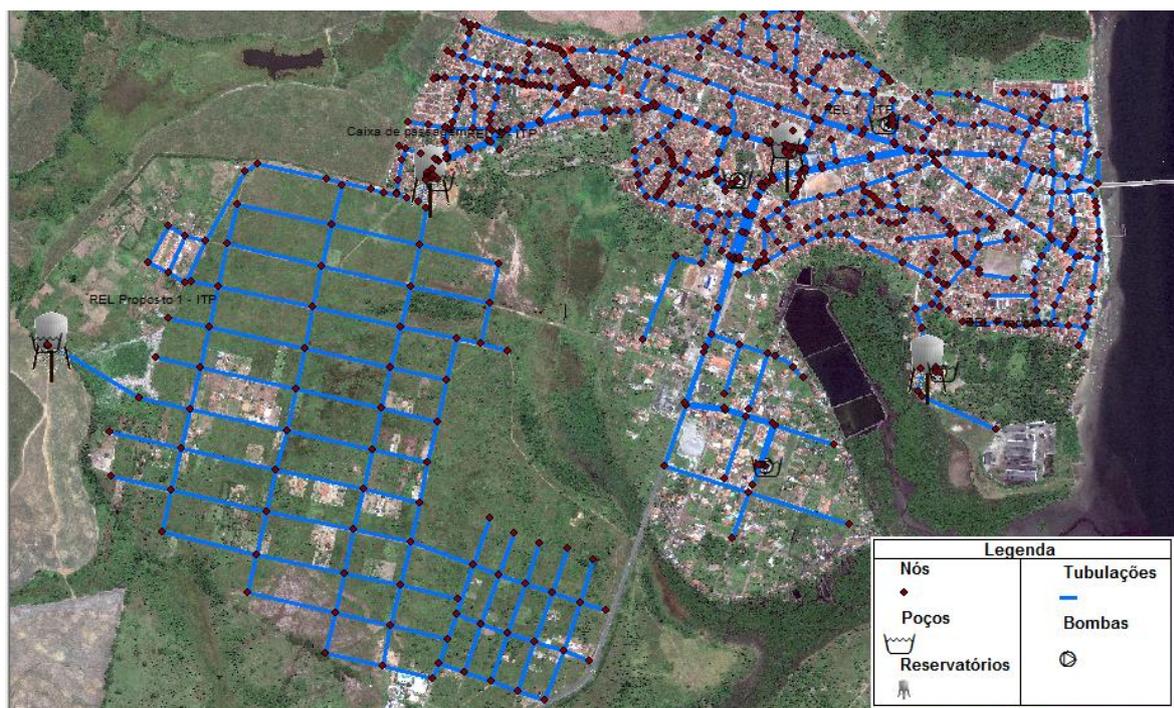


Figura 3: Arranjo Geral SAA proposto para Itapissuma/PE em 2050.

O coeficiente de rugosidade adotado para as novas tubulações (ampliação e substituição) deste cenário foi de $C = 150$ (PORTO, 2006), já para as tubulações que não foram substituídas, foi adotado $C = 130$, visando considerar a degradação do material da tubulação ao longo do tempo.

Para efetuar o cálculo da demanda nesse cenário, conforme a metodologia supracitada, houve inicialmente a necessidade de realizar a projeção populacional da zona urbana de Itapissuma/PE pelo método AiBi. Esses valores são apresentados na Tabela 4 a seguir.

Tabela 4: Projeção populacional da zona urbana de Itapissuma/PE.

| Ano | 2000 | 2010 | 2016 | 2020 | 2025 | 2030 | 2035 | 2040 | 2045 | 2050 |
|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| População | 16.753 | 18.725 | 19.674 | 20.208 | 20.764 | 21.196 | 21.582 | 21.975 | 22.374 | 22.779 |

Para adequar o Cenário B a NBR 12.218 (ABNT, 1994), também houve a necessidade de considerar a demanda de um hidrante em funcionamento para combate a incêndio durante a hora pico com vazão recomendada de 10 l/s.

Analogamente ao cálculo realizado para o Cenário A e A' na Tabela 3, e considerando um índice de atendimento de 100% tem-se a Tabela 5 a seguir para o Cenário B.

Tabela 5: Cálculo da vazão demandada e da reservação demandada do Cenário B.

| Cenário | Ano | População Total Urbana | Vazão média (l/s) | Vazão máxima diária (l/s) | | | | Volume de reservação (m ³) |
|---------|------|------------------------|-------------------|---------------------------|--------|----------|-------|--|
| | | | | Residencial | Perdas | Incêndio | Total | |
| B | 2050 | 22.779 | 42,18 | 50,62 | 16,87 | 10,00 | 77,49 | 1.457,87 |

Da Tabela 5 acima, no cenário B a defasagem na produção seria de 30,59 l/s e na reservação de 977,87 m³, uma vez confrontadas com os valores da situação atual apresentados no item de caracterização do SAA em estudo. Para sanar essas defasagens, é proposta a construção de dois novos reservatórios e a perfuração dois novos poços tubulares.



Portanto, com a distribuição nos modelos das vazões residenciais, das vazões de perdas e considerando as variações temporais da Figura 1 ao longo do dia de maior consumo, tem-se na Tabela 6 o resumo de demandas nodais que carregaram o modelo para cada um dos cenários.

Tabela 6: Resumo das demandas dos Cenários Modelados.

| Cenário | Demandas Residenciais (l/s) | | | Perdas (l/s) | | | Incêndio (l/s) | | | Demandas Totais (l/s) | | |
|---------|-----------------------------|-------|-------|--------------|-------|-------|----------------|-------|-------|-----------------------|-------|--------|
| | mín. | média | máx. | mín. | média | máx. | mín. | média | máx. | mín. | média | máx. |
| A | 9,79 | 19,58 | 29,37 | 16,07 | 32,14 | 48,21 | - | - | - | 25,86 | 51,72 | 77,58 |
| A' | 9,79 | 19,58 | 29,37 | 3,27 | 6,53 | 9,79 | - | - | - | 13,06 | 26,11 | 39,17 |
| B | 25,62 | 51,24 | 76,86 | 8,08 | 16,15 | 24,23 | 0,00 | 0,45 | 10,87 | 33,70 | 67,85 | 111,96 |

Já na Figura 4 tem-se a representação do comportamento dessas demandas a cada hora simulada ao longo do dia de maior consumo para cada um dos cenários.

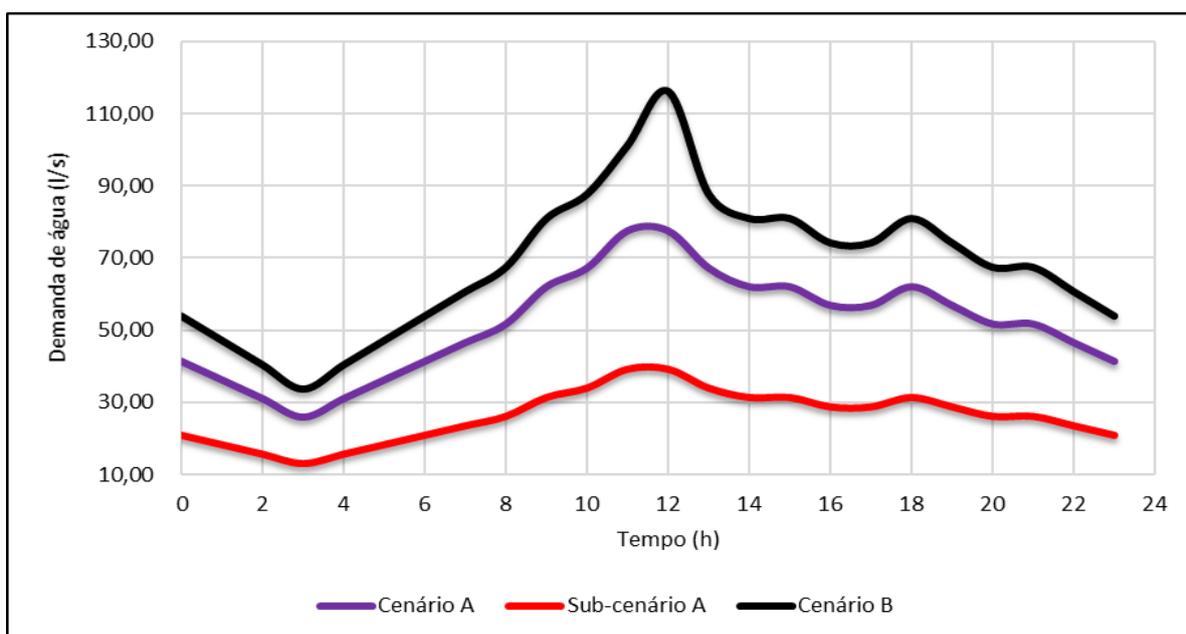


Figura 4: Variações das demandas por cenário no dia de maior consumo.

Para este trabalho, as demandas calculadas foram distribuídas nos seus respectivos cenários em cada um dos nós de consumo do modelo, excluindo os nós das tubulações de recalque dos poços.



RESULTADOS E DISCUSSÃO

No que se refere as simulações hidráulicas, a Tabela 7 a seguir, apresenta os principais resultados para cada um dos cenários simulados durante a hora de maior consumo (11:00-12:00h). As simulações neste horário pico objetivam verificar se as pressões mínimas de 10 mca da NBR 12.218 (ABNT, 1994) estão sendo atendidas.

Tabela 7: Resumo das pressões nos nós para os cenários simulados no horário de pico de consumo (11:00h-12:00h).

| Resultado | Cenário A | Sub-cenário A' | Cenário B |
|-----------------------------|-----------|----------------|-----------|
| Pressão média da rede (mca) | 2,97 | 15,16 | 16,63 |
| $P < 0$ mca (%) | 52,20% | 0,00% | 0,00% |
| $0 \leq P < 10$ mca (%) | 14,70% | 13,34% | 14,26% |
| $10 \leq P \leq 50$ mca (%) | 33,11% | 86,66% | 85,74% |
| $P > 50$ mca (%) | 0,00% | 0,00% | 0,00% |

Da Tabela 7, conclui-se que a pressão média na rede de distribuição exigida na referida normativa é atendida no cenário B e também no sub-cenário A', entretanto se encontra em desconformidade no cenário A, que apresenta pressão média de 2,97 mca, valor considerado baixo e que certamente não atende a todos os domicílios com pressão suficiente para abastecer pontos mais altos, como a caixa d'água por exemplo.

Já a Tabela 8, apresenta os mesmos resultados para a hora do dia de menor consumo (02:00h-03:00h). A simulação neste horário objetiva determinar se as pressões máximas de 50 mca da NBR 12.218 (ABNT, 1994) estão sendo respeitadas.

Tabela 8: Resumo das pressões nos nós para os cenários simulados no horário de menor consumo (02:00h-03:00h).

| Resultado | Cenário A | Sub-cenário A' | Cenário B |
|-----------------------------|----------------|----------------|-----------|
| Pressão média da rede (mca) | -4.083.723,45* | 19,11 | 19,56 |
| $P < 0$ mca (%) | 90,68% | 0,00% | 0,00% |
| $0 \leq P < 10$ mca (%) | 0,00% | 2,70% | 0,44% |
| $10 \leq P \leq 50$ mca (%) | 0,00% | 97,30% | 99,56% |
| $P > 50$ mca (%) | 9,32% | 0,00% | 0,00% |

*Indicação de tendência matemática ao menos infinito e fisicamente indica pressões negativas (abaixo de 0).

Da Tabela 8, conclui-se que a pressão média na rede de distribuição não ultrapassa o valor máximo recomendado pela normativa no sub-cenário A' e no cenário B. Entretanto no cenário A, as pressões de todos os nós estão em desconformidade com a referida normativa, pois 90,68% dos nós apresentam pressões negativas e 9,32% apresentam pressões superiores a máxima recomendada, esse comportamento no cenário A se atribui ao rodízio praticado.

Estes resultados estão discutidos separadamente mais a fundo para cada um dos cenários nos itens a seguir.

- **Cenário A**

Além das deficiências do SAA apontadas no item de caracterização do SAA, a simulação do Cenário A permite provar a fragilidade no abastecimento atual no que se refere ao não atendimento das pressões recomendadas pela NBR 12.218 (ABNT, 1994), caracterizando uma situação de distribuição com intermitência, quadro que, dentre outros fatores, pode ser atribuído ao alto índice de perdas.

Esse quadro se verifica na Tabela 7, onde no horário de pico de consumo (11:00h a 12:00h), 52,20% da rede se encontra com pressões negativas, o que representa 310 nós do total de 592 nós de consumo apresentados na Figura 5. Em adição a isso, praticamente todos os nós ficam com pressões negativas entre 16:00h e 8:00h diariamente em função do rodízio existente, como se observa na Tabela 8.

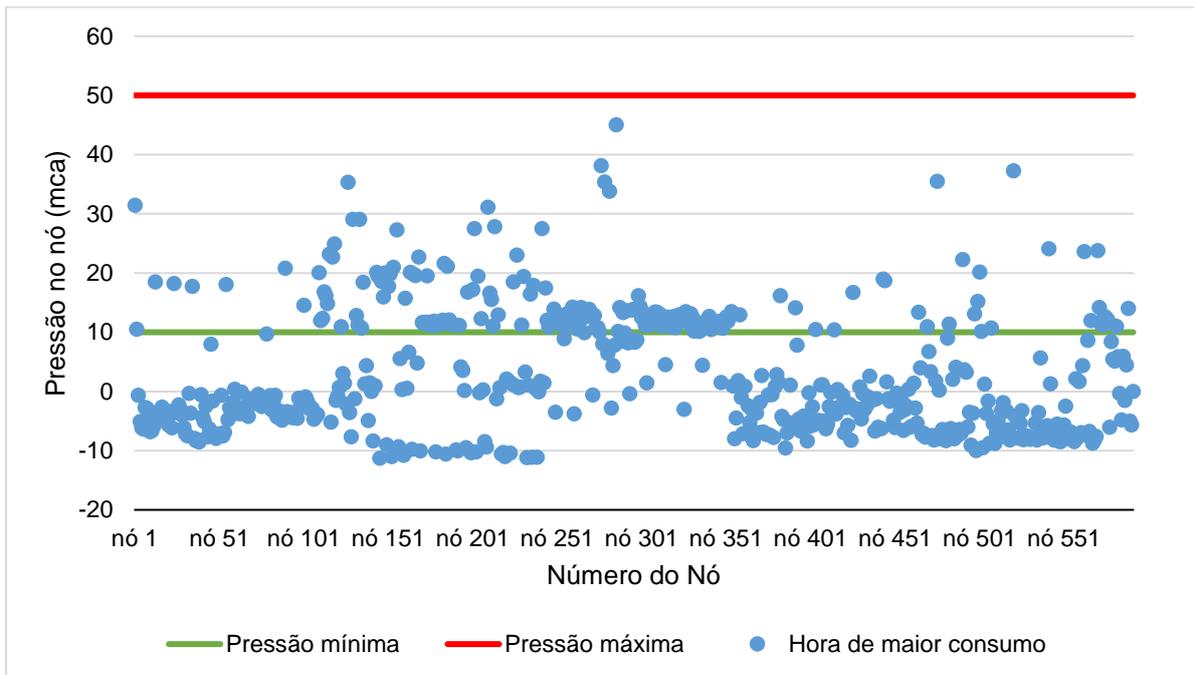


Figura 5: Pressão por nó do Cenário A durante a hora de pico de consumo (11:00h-12:00h).

A ocorrência de pressões negativas ao longo do dia além de ser o principal indicador da intermitência na distribuição, ainda possibilita a infiltração de impurezas nos condutos, o que pode levar a contaminação da água.

Por outro lado, com a simulação do sub-cenário A', observou-se que 86,66% dos nós da rede durante o horário de pico mostram-se em conformidade com as pressões estabelecidas na referida NBR (vide Tabela 7). A Figura 6 a seguir ainda permite verificar que a grande maioria dos nós que estão com pressões abaixo de 10mca, se situam bem próximo desse valor. Isso se atribui apenas à redução hipotética no índice de perdas de 62,14% para 25,00%, o que comprova que o alto índice de perdas atual é o principal provocador da precariedade no abastecimento e do rodízio.

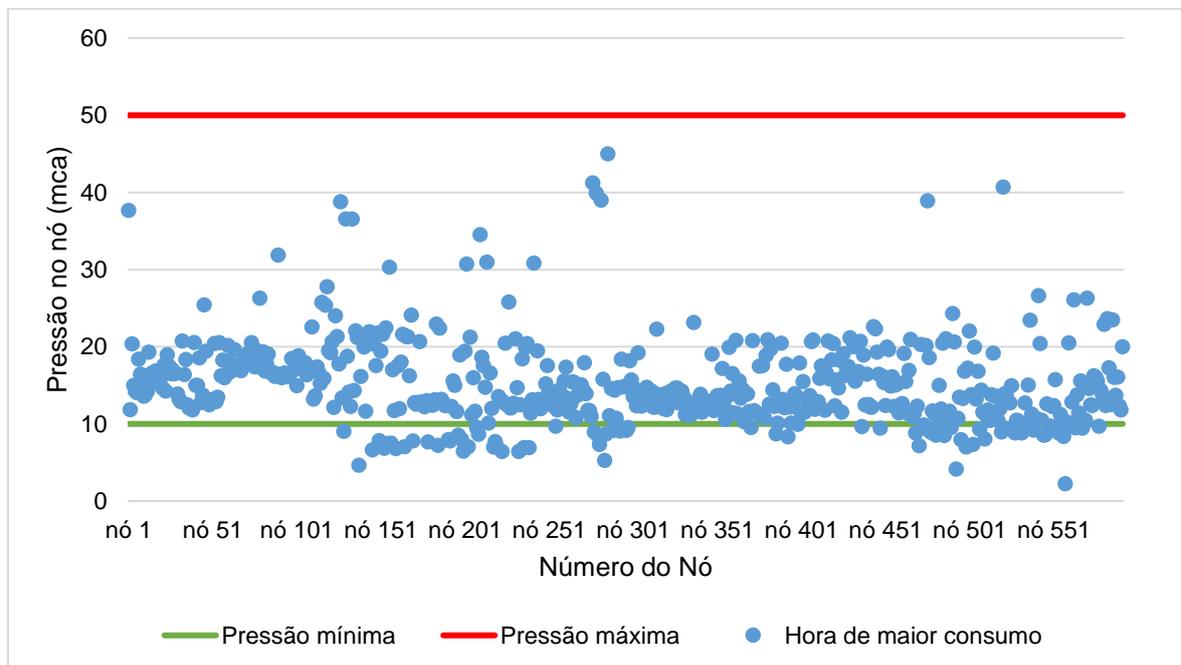


Figura 6: Pressão por nó do sub-cenário A' na hora de pico de consumo (11:00h-12:00h).



Portanto, as simulações do Cenário A mostram que para sanar os problemas atuais, não há necessidade de se ampliar a produção, que é normalmente a primeira medida a ser tomada pelas companhias em caso de fragilidade no abastecimento, e sim uma redução no índice de perdas, que pode ser alcançada através de setorização, implantação de dispositivos de controle, substituição de tubulações de pequenos diâmetros da rede, dentre outras medidas de combate e redução de perdas.

- **Cenário B**

Da Tabela 7, para o Cenário B, verifica-se que 85,74% dos nós da rede durante o horário mais desfavorável (entre 11:00h e 12:00h) mostram-se em conformidade com as pressões estabelecidas na referida NBR, o que corresponde a 590 dos 687 nós deste cenário.

A Figura 7 a seguir apresenta o mapa indicativo das zonas de pressões neste horário de maior consumo. Nela percebe-se a grande predominância de zonas em azul claro, que representa as pressões dentro do intervalo normativo de 10 a 50 mca. Já a região em azul escuro indica pressões superiores a 50mca, o que se atribui a pontos em cotas mais baixas e no final da rede, uma solução seria implantar dispositivos redutores de pressão. Existe ainda algumas pequenas regiões em verde, que indicam pressões entre 5 e 10 mca.



Figura 7: Mapa interpolado de zonas pressões na hora de pico de consumo (11:00h-12:00h).

Vale ressaltar que nos horários de menor consumo do dia, a distribuição de água do cenário B tem um desempenho ainda melhor, com aproximadamente 100% dos nós em conformidade de pressões (vide Tabela 8).

Como medida de combate e redução de perdas, para otimizar a distribuição de água e a operação do SAA no Cenário B, foi realizada a divisão da rede em 5 setores de abastecimento (Figura 8). Cada um desses setores não excede 25 km de extensão respeitando a recomendação da NBR 12.218 (ABNT, 1994). A extensão total da rede do Cenário B é de 41,36 km, o que corresponde a uma ampliação de 15,72 km, quando comparado aos 25,64 km do Cenário A.

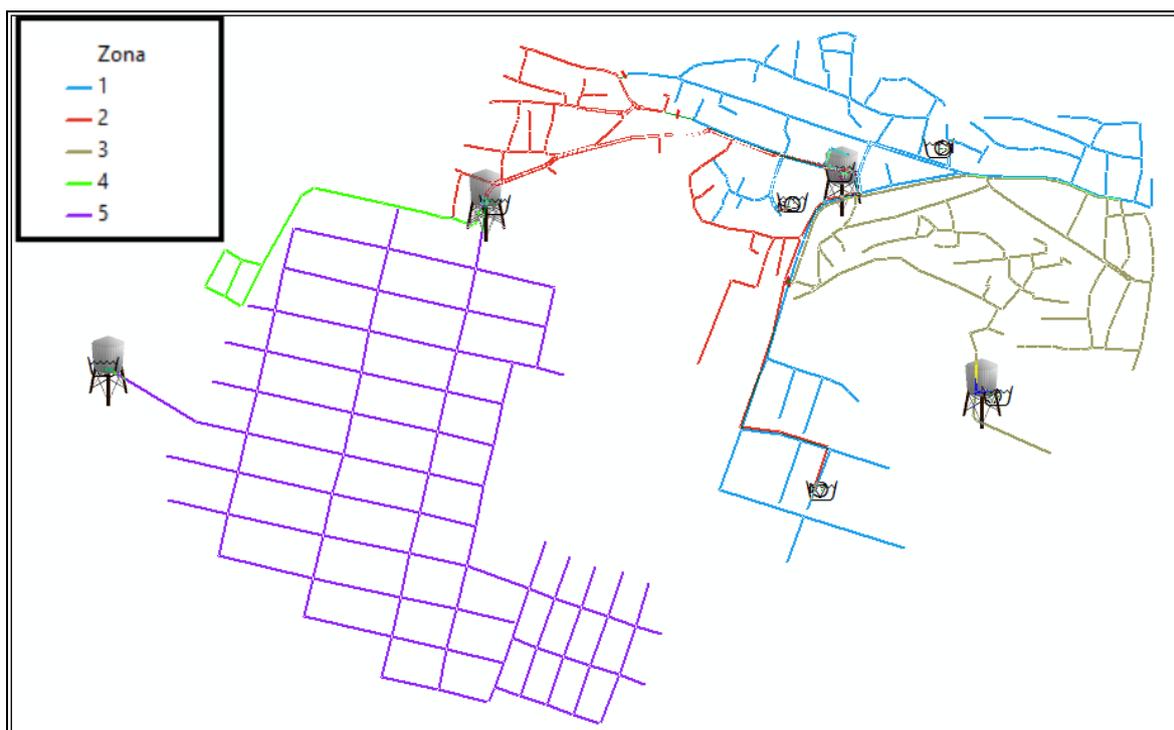


Figura 8: Setorização proposta para Itapissuma/PE no cenário B.

Essa setorização possibilita a instalação de dispositivos de medição e controle dos volumes de entrada e dos volumes consumidos em cada setor, os quais são ferramentas indispensáveis na identificação e localização das perdas, sejam reais ou aparentes.

Neste cenário, visando a universalização do atendimento, com a projeção de acréscimo de 8.112 habitantes na população a ser atendida pelo SAA, se observa através da simulação que mesmo com o índice de perdas reduzido o sistema precisar ser ampliado em sua produção, sua reservação e na abrangência da sua rede.

A reservação foi ampliada com a instalação de 2 novos reservatórios elevados, sendo um de 600m³ locado no Setor 5 e outro de 380 m³ locado no setor 3. A produção também foi reforçada através de dois novos poços tubulares. O primeiro de 20,00 l/s no setor 5 e outro de 10,59 l/s no setor 3 visando atender a defasagem indicada anteriormente.

Já para a rede, foi proposta uma substituição de 13,81 km das tubulações de linhas principais em pequenos diâmetros (40, 50 e 75 mm) por novas tubulações de 100 mm, em consonância com a norma europeia NTE-IFA (1976) que recomenda, para populações superiores a 6.000 habitantes, a adoção de diâmetro mínimo de 100mm para as linhas principais. Essa substituição possibilita a distribuição de maiores vazões para atender as pressões requeridas sem sobrecarregar as tubulações, caracterizando outra medida de combate e redução das perdas de água. É importante mencionar que esta postura também vem sendo adotada pela COMPESA nos últimos anos.

Portanto, no Cenário B, através da setorização proposta, da substituição das tubulações de menores diâmetros, da ampliação da rede através do setor 5, do aumento da reservação e do aumento de produção chegou-se a um modelo de SAA que atende bem as demandas futuras esperadas para a zona urbana de Itapissuma em 2050 além de possibilitar um maior controle operacional do sistema.



CONCLUSÕES/RECOMENDAÇÕES

A partir do diagnóstico realizado através da comparação dos resultados das simulações entre o Cenário A e o sub-cenário A', verifica-se a grande interferência do índice total de perdas (reais + aparentes) no bom funcionamento do SAA, já que com a redução no índice total de perdas de 62,14% (Cenário A) para 25% (sub-cenário A'), a situação do SAA atual muda de um sistema com rodízio e de pressões negativas, para um sistema de abastecimento contínuo e que atende as pressões requeridas na NBR 12.218 (ABNT, 1994). Logo, conclui-se que a situação do SAA de Itapissuma existente não requer aumento na produção para atender as demandas atuais e sim de apenas uma redução no índice de perdas.

Com os resultados do Cenário B é possível perceber o benefício no desempenho da distribuição de água a partir das adequações propostas através das medidas de combate e redução de perdas que foram determinadas e aferidas pela simulação hidráulica do SAA para o ano de 2050. Benefício este resultado da ampliação de 980 m³ na reservação, do aumento de 30,59 l/s na produção, da substituição de 13,81 km das tubulações antigas de pequeno diâmetro por tubulações de 100mm para as linhas principais e também da setorização proposta.

Vale ressaltar que para se atingir e manter o índice total de perdas em 25% ou inferior, além das medidas supracitadas, há necessidade de implantação de um programa de combate a perdas que vise melhor gerenciamento da hidrometração, através da ampliação da micromedição e de manutenção; identificação contínua e reparo de vazamentos; detecção e corte de ligações clandestinas; instalação de dispositivos de automatização dos poços, visando eliminar o desperdício por extravasamento nos reservatórios, dentre outras medidas.

Este trabalho também conclui que a modelagem de um sistema de abastecimento de água permite a análise crítica de vários resultados para cenários diferentes de forma ágil e comparativa, o que se mostra como uma ferramenta indispensável na gestão e no planejamento de qualquer SAA.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12.218: Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público. Rio de Janeiro, 1994.
2. AZEVEDO NETTO, J. M. et al. Manual de hidráulica. 8ª Edição. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 1998.
3. BRASIL, Agência Nacional de Águas (ANA). A evolução da gestão dos recursos hídricos no Brasil. Brasília: A Agência, 2002. 46 p.
4. BRASIL. Portaria nº 2.914 de 12 dezembro de 2011. Padrão de potabilidade. Ministério da Saúde, 2011.
5. BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental – SNSA. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2014. Brasília: SNSA/MCIDADES, 2016.
6. DHI – Danish Hydraulic Institute. *MIKE URBAN TUTORIALS*. 2012.
7. INCIBRA. Relatório Técnico Preliminar – Itapissuma/PE. Natal, 2015.
8. MADEIRA, J. L., SIMÕES, C. C. da S. Estimativas preliminares da população urbana e rural segundo as unidades da federação, de 1960/1980 por uma nova metodologia. Revista Brasileira de Estatística, v.33, n.129, p.3-11, 1972.
9. NTE. IFA. *Instalaciones de Fontanería Abastecimiento*. 1976.
10. PORTO, Rodrigo de Melo. Hidráulica Básica. 4ª edição. São Carlos: EESC-USP, 2006.
11. TSUTIYA, Milton Tomoyuki. Abastecimento de água. 3ª edição. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006.
12. UNESCO. Encarando os Desafios: Estudos de Caso e Indicadores. Paris: WWAP (Programa Mundial de Avaliação da Água das Nações Unidas), 2015.
13. WALSKI, Thomas M.; GESSLER, Johannes; SJOSTROM, John W. *Water Distribution Systems: simulation and sizing*. Michigan: Lewis Publishers, 1990.