



**Principais resultados:** As simulações constaram que o REL atual não atende a demanda, e mesmo com melhorias na operação ainda houveram pressões negativas em alguns momentos. Portanto, sugeriu-se a implantação de um reservatório adicional, que atendeu a demanda e conseguiu reduzir em 36,13% os custos com energia elétrica.

**Contribuições teóricas / metodológicas:** Melhorias operacionais em sistemas de bombeamento e reservação de água.

**Conclusão:** Além de melhorias na operação do reservatório, a construção de um novo também é necessária, pois o campus está sempre em expansão, e o investimento trará um retorno futuro com a redução de despesas com energia elétrica.

**Palavras-chave:** Sistema de abastecimento de água. Eficiência Energética. Reservatório elevado. EPANET 2.0.

## **PROPOSAL FOR THE ADEQUACY OF THE PUMPING-RESERVOIR SYSTEM OF THE BASIC SECTOR OF THE UNIVERSITY CITY PROFESSOR JOSÉ DA SILVEIRA NETTO - BELÉM (PA)**

### **ABSTRACT**

**Study objective:** Updating of a computational model of water reservation in operation, in search of improvements in the operational adjustments of the system, aiming at reducing costs with pumping electric power and better utilization of the reservoir, so that demand is met.

**Methodology/approach:** Three stages of simulations were performed in two different scenarios using the software EPANET 2.0, where the models were compared to verify the best use of high reservoir (HR) and higher energy efficiency.

**Originality/relevance:** Having a water supply system in a satisfactory condition is an important element for the wellness of a community. In this way, we seek projects and solutions that allow access to water in an economical way, since one of the biggest costs in a supply system is concentrated in the pumping system. In addition, at peak times the price charged per (kWh) has a higher cost.

**Main results:** The simulations showed that the current HR was not meeting the demand, and even with improvements in the operation there were still negative pressures in some moments. Therefore, it was suggested the implementation of an additional reservoir, which met the demand and managed to reduce electricity costs by 36.13%.

**Contributions:** Operational improvements in water pumping and reservoir systems.

**Conclusions:** In addition to improvements in the operation of the reservoir, the construction of a new one is also necessary, since the campus is always expanding, and the investment will bring a future return with the reduction of expenses with electricity.

**Keywords:** Water supply system. Energy Efficiency. Reservoir. EPANET 2.0.

**PROPUESTA PARA LA APROPIACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBAS Y  
RESERVAS DE UN SECTOR DEL PROFESOR DE LA UNIVERSIDAD CIUDAD  
JOSÉ DA SILVEIRA NETTO - BELÉM (PA)**

## RESUMEN

**Objetivo:** Actualizar un modelo computacional del reservorio de agua en funcionamiento, en busca de mejoras en los ajustes operacionales del sistema, con el objetivo de reducir los costos con el bombeo de energía eléctrica y una mejor utilización del reservorio, de modo que se satisfaga la demanda.

**Metodología:** Se realizaron tres etapas de simulaciones en dos escenarios diferentes utilizando el software EPANET 2.0, donde se compararon los modelos para verificar el mejor uso del embalse elevado (EE) y una mayor eficiencia energética

**Originalidad/relevancia:** Tener un sistema de suministro de agua en condiciones satisfactorias es un factor importante para el bienestar de una comunidad. De esta manera, buscamos proyectos y soluciones que permitan el acceso al agua de manera económica, ya que uno de los mayores costos en un sistema de suministro se concentra en el sistema de bombeo. Además, en las horas punta el precio cobrado por (kWh) tiene un costo más alto.

**Principales resultados:** Las simulaciones mostraron que la corriente EE no estaba cumpliendo con la demanda, e incluso con las mejoras en la operación, aún había presiones negativas en algunos momentos. Por lo tanto, se sugirió la implementación de un reservorio adicional, que cubrió la demanda y logró reducir los costos de electricidad en un 36,13%.

**Contribuciones:** Mejoras operativas en sistemas de bombeo y reserva de agua.

**Conclusiones:** Además de las mejoras en la operación del reservorio, la construcción de una nueva también es necesaria ya que el campus siempre se está expandiendo, y la inversión traerá una rentabilidad futura con la reducción de los gastos de energía.

**Palabras-clave:** Sistema de abastecimiento de agua. Eficiencia Energetica. Embalse elevado. EPANET 2.0.

## 1 INTRODUÇÃO

No Brasil, as Despesas de Exploração (DEX) nas concessionárias de água e esgoto crescem anualmente devido ao aumento da demanda por esses serviços. Em 2009, os Sistemas de Abastecimento de Água (SAA's) e os Sistemas de Esgotamento Sanitário (SES's) representaram cerca de 3% da energia consumida no mundo (Gomes, 2009), sendo que mais de 90% da energia destinada para esses serviços são consumidas em estações de bombeamento (Kuritza, Camponogara, Marques, Sanagiotto & Battiston 2017). Altoé et al. (2017) afirmam que muitos países, assim como o Brasil, têm enfrentado dificuldades para conseguir suprir a demanda crescente de energia de suas populações e, ao mesmo tempo, fornecer recursos energéticos para alimentar o seu desenvolvimento econômico. Assim, o desenvolvimento de metodologias de diagnóstico e intervenção em Sistemas de Abastecimento de Água, visando à eficiência energética e observando a sinergia entre energia e hidráulica, são necessários.

Essas metodologias podem incluir a implantação de ações para melhoria nos serviços de abastecimento, modernização e adequação para sistemas mais econômicos, qualificação profissional, operação e manutenção adequada de equipamentos, ajustes de pressões na rede, gerenciamento de perdas de água e melhorias no monitoramento de parâmetros elétricos e hidráulicos.

De acordo com o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2017), em 2015 as despesas com energia elétrica tiveram um aumento de quase 50% com relação ao ano de 2014, mesmo com a redução do consumo tendo caído 5% naquele período, e isso ocorreu devido aos reajustes tarifários e de bandeiras que entraram em vigor naquele ano, como estava previsto na Resolução Normativa da Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, nº547 de 16 de Abril de 2013, além do horário de ponta (HP) que é estipulado pela concessionária de energia, onde o valor de (kWh) é mais elevado durante um intervalo específico de tempo do dia.

No ano de 2017, se tratando especificamente de Sistemas de Abastecimento de Água e Sistemas de Esgotamento Sanitário, as despesas com energia elétrica atingiram R\$5,26 bilhões de reais, tendo consumo total de 12,6 (TWh). Desse total, 11,3 (TWh) (89,68%) foram consumidos pelos SAA's e apenas 1,3 (TWh) (10,32%) foram consumidos em SES's (Brasil, 2017).

Estudos aprofundados antes da implantação dos sistemas de água e esgoto são necessários para diminuir custos operacionais, que podem ser ainda menores se a gestão da eficiência hidro energética atuar de forma ativa. Nos casos em que os sistemas já estão implantados, ainda existem uma série de medidas que podem contribuir para significativa redução nas despesas com energia elétrica.

Portanto, o objetivo deste estudo é analisar o desempenho operacional de um Sistema Bombeamento-Reservação (SB-R) de água, ativo, que abastece um dos setores do campus universitário da UFPA na cidade de Belém- PA. A análise foi realizada por meio do simulador EPANET, que é um dos simuladores hidráulicos de sistemas de distribuição de água mais difundidos, tornando-se referência global para análise hidráulica de redes de água (Iglesias-Rey, Martínez-Solano & Ribelles-Aquilara, 2017). Após a análise, foram propostas melhorias para o SB-R, buscando a redução de custos com energia elétrica e o uso mais eficiente dos Conjuntos Motor e Bomba (CMB).

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Sistemas de Abastecimento de Água

Sendo vital para as pessoas (Li, Zhang, Ai, Dong e Yu, 2018), o SAA é um conjunto de estruturas, compostas por tubulações, equipamentos e serviços cuja finalidade é fornecer água em quantidade e qualidade adequada para a população. Em sua concepção, encontram-se estudos e conclusões, referentes ao estabelecimento de todas as diretrizes, parâmetros e definições necessárias para a caracterização completa de um sistema a projetar (Tsutiya, 2006).

Um SAA convencional é constituído por um manancial, unidade de captação, adução de água bruta e água tratada, Estação de Tratamento de Água (ETA), estações de bombeamento, sistemas de reservação, estações de manobra e rede de distribuição (Netto & Fernández, 2015). Esses conjuntos visam o fornecimento de água, com qualidade, quantidade e pressão suficientes ao uso doméstico, público e comercial, entre outros (Polese, 2010). Um exemplo de um SAA é apresentado na Figura 1.

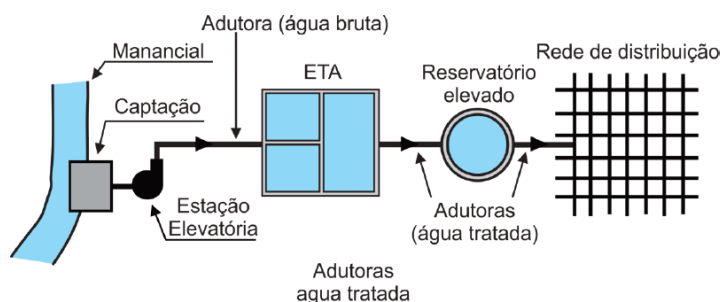


Figura 1: Sistema de Abastecimento de Água Convencional Com Reservatório Elevado.  
Fonte: Manual LENHS UFRGS (2016).

### 2.2 Estações de Bombeamento de Água

É um conjunto composto por estrutura civil, tubulações, válvulas e equipamentos eletromecânicos (CMB's), cuja finalidade é fornecer energia à água, sendo possível transportá-la de um ponto a outro, quando o seu encaminhamento por gravidade não é possível, devido à posição desfavorável da instalação que se deseja atender (Netto & Fernández, 2015).

Uma estação elevatória, por exemplo, funciona essencialmente por bombas hidráulicas, que são máquinas geratrizes nas quais sua função é deslocar um fluido por escoamento, através da transformação do trabalho mecânico em energia hidráulica, o que fornece ao líquido um aumento de energia de pressão e energia cinética. Ou seja, elas são responsáveis por fornecer energia potencial à água, levando-a de uma cota inferior para outra superior (Netto & Fernández, 2015).

Essencialmente, um dos grandes problemas envolvendo o uso de estações de bombeamento é o custo com energia elétrica. Os gastos da energia de bombeamento na maioria das vezes ultrapassam ao longo da vida útil dos projetos os custos de investimentos das instalações. No Brasil, cerca de 3% da energia é consumida pelos SAA's (Gomes, 2009).

De acordo com Pereira e Condurú (2014), a operação adequada dos SAA's é a principal ação de gestão para os prestadores de serviços de abastecimento de água, e tem influência na qualidade do sistema. Portanto, a má operação dos CMB's e níveis de reservação podem causar problemas como a baixa eficiência dos equipamentos, perdas de volume de água e alto consumo de energia elétrica em horário de ponta.

### **2.3 Tarifas De Energia Elétrica**

No Brasil, a ANEEL é o órgão responsável por regular, fiscalizar, implementar políticas e diretrizes do governo federal com relação a exploração de energia elétrica, além de estabelecer as tarifas e promover atividades de outorgas de concessão e autorização de empreendimentos e serviços, como foi previsto pela Lei nº 9.427/1996 e do decreto nº 2.335/1997.

As bandeiras tarifárias determinadas pela ANEEL são utilizadas como método para racionalizar o uso de energia, sinalizando o custo real gerado, o que possibilita aos consumidores o bom uso da energia elétrica. A bandeira verde corresponde a boas condições de geração, a amarela é um sinal de alerta, e a bandeira vermelha representa condições ruins de geração. As cores indicam se a energia custará mais ou menos em função das condições de geração.

A ANEEL também estabelece os critérios de classificação dos consumidores e as formas de cobrança de energia elétrica. As unidades consumidoras são classificadas em função da atividade exercida e, para efeito de faturamento, os consumidores são caracterizados em dois grupos: Grupo A, para alta tensão, e Grupo B para baixa tensão. Com isso, as empresas de saneamento básico se classificam como consumidores do grupo A, que são faturados com componentes tanto de demanda quanto de consumo. Para este grupo, a Resolução Normativa da ANEEL nº783 do ano de 2017 dispõe que a cobrança de tarifas pode ser convencional ou horo-sazonal, conhecidas como tarifas azul e verde respectivamente.

Esse sistema de tarifas é definido de acordo com a Resolução Normativa nº444 do ano de 2010, da ANEEL. A aplicação da tarifa convencional se caracteriza pela cobrança por (kWh) de consumo de energia elétrica e/ou demanda de potência independente do seu horário de utilização no dia, ou seja, não há uma predefinição de período. Por outro lado, na modalidade tarifária azul o valor cobrado por energia elétrica nos chamado horário de ponta são mais elevados. As bandeiras tarifárias verdes são diferenciadas para o consumo de (kWh), e varia de acordo com o seu horário de utilização e período do ano, sendo no horário de ponta cobrado um valor mais elevado que no horário fora de ponta.

A ANEEL permite que os consumidores que possuem uma demanda contratada menor que 300 kW e em tensão de fornecimento inferior a 69 kW optem pela sua modalidade de utilização. Com isso, torna-se necessário em SAA's planejar os horários de funcionamento dos CMB's e os níveis dos reservatórios, para evitar que os mesmos estejam acionados em horários de ponta.

Os postos tarifários são definidos pela distribuidora local, que neste caso é a Centrais Elétricas do Pará - CELPA, empresa responsável pela distribuição de energia no estado. O horário de ponta ocorre todos os dias durante um período de duração de 3 horas consecutivas, com exceção de alguns dias e feriados como Corpus Christi e sexta-feira da Paixão. O HP é definido considerando a curva de carga do sistema elétrico da CELPA, e posteriormente aprovado pela ANEEL. No estado do Pará, esse horário inicia as 18:30 horas e termina as 21:29 horas.

## 2.4 Unidades De Reservação De Água

Segundo Tsutyia (2006), os reservatórios são unidades que acumulam água nas horas em que a demanda é inferior à vazão que o alimenta. Com isso, o reservatório regulariza a vazão de água a ser distribuída, podendo também regularizar a pressão na rede, quando o mesmo estiver em cota apropriada, garantindo segurança e qualidade no fornecimento de água para a população.

Gomes (2012), também destaca outra vantagem que é a possibilidade que os sistemas de reservação de água tem de acumular água em horário de ponta, para que não seja necessário o acionamento dos CMB's naquele período, o que pode reduzir significativamente os custos com energia elétrica oriundos das estações de bombeamento.

Por outro lado, a construção de reservatórios demanda altos custos com projetos e implantação, restringido em muitos casos os volumes construídos de reservatórios elevados. De acordo com Tsutyia (2006) é comum a construção de torres de reservação com 500 ou até 1000m<sup>3</sup>. As dificuldades para encontrar áreas disponíveis e com cota adequada para atender as variações de pressão na rede, também são um problema, além do impacto ambiental decorrente da implantação e operação do empreendimento.

## 2.5 EPANET 2.0

Um dos simuladores mais atrativos para as entidades gestoras, consultores, investigadores, acadêmicos é o EPANET 2.0 (ROSSMAN, 2000). O software, que foi desenvolvido por *Lewis A. Rossman, da U. S. Environmental Protection Agency (USEPA)*, dos Estados Unidos, é considerado o programa de modelagem hidráulica e de qualidade de água mais empregado no mundo. A versão do programa para o português, foi uma iniciativa do Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento (LENHS), da Universidade Federal da Paraíba (UFPB).

O EPANET 2.0 é um programa de computador que permite a execução de simulações estáticas e dinâmicas em redes de abastecimento e distribuição de água, trabalhando com um sistema pressurizado. Essas simulações permitem encontrar valores de vazão em cada tubulação, pressão nos nós, altura e nível d'água nos reservatórios e concentrações de produtos químicos utilizados no tratamento. Por ser uma ferramenta de análise, o EPANET 2.0 se torna perfeito para estudos comparativos, como o que será desenvolvido nesse trabalho, para auxiliar na tomada de decisão de acordo com os diferentes cenários de projeto.

Dentre as atribuições do programa, para o desenvolvimento do estudo comparativo entre o sistema de distribuição de água operado por bombeamento e por reservatório elevado, destacam-se as seguintes:

- Cálculo da perda de carga utilizando as fórmulas de *Hazen-Williams*, *Darcy-Weisbach* ou *Chezy-Manning*;
- Modelagem de bombas de velocidade constante ou variável;
- Cálculo da energia de bombeamento e do respectivo custo;
- Modelagem de reservatórios de armazenamento de nível variável de formas diversas, através de curvas de volume em função da altura de água.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

O objeto de estudo foi o SB-R do Setor Básico da Cidade Universitária Professor José da Silveira Netto, campus principal da Universidade Federal do Pará (UFPA), no município de Belém. O SAA do campus é dividido em quatro diferentes setores, sendo estes, o setor básico, setor profissional, setor saúde e setor educação física.

O sistema de captação de água bruta do SAA é realizado em lençóis subterrâneos por dois poços profundos, de 250 m e 184 m, sendo bombeada até a Estação de Tratamento de Água por dois CMB's (85 CV e 18 CV), por tubulações de 150 mm de diâmetro. A água tratada é recalçada para um reservatório enterrado com volume de 180m<sup>3</sup>, e posteriormente, a Estação Elevatória de Água Tratada (EEAT) bombeia a água para o REL por adutoras de água tratada com um CMB de 15 CV de potência (Junior, 2012).

Para a execução desse estudo, foi considerado o trabalho realizado por Sá (2012). O autor executou simulações computacionais no software EPANET 2.0, em quatro cenários distintos, sendo que os dois primeiros consideram o volume existente do REL e uma curva de consumo determinada em sua própria pesquisa. Os cenários 3 e 4 do autor não foram considerados nesta pesquisa por serem métodos de reservação propostos que alteram o volume real do REL. Os resultados apontaram que o REL não atendia as demandas de reservação de água. O referido autor ainda comentou sobre as dificuldades encontradas, devido à ausência de projetos de engenharia do SB-R, o que diminuiu a aproximação do Modelo Computacional (MC) com a realidade.

Em relação ao padrão de consumo de energia inseridos, a tarifa utilizada por Sá (2012) no horário de ponta foi 3 vezes superior do que as tarifas correspondentes aos horários fora de ponta. Na Tabela 1 podem ser observados os cenários simulados pelo autor para o REL com volume existente.

Tabela 1 – Cenários simulados por Sá.

Cenário	Volume existente	Altura (m)			
	REL (m <sup>3</sup> )	Total do REL	Mínima de água	Máxima	Útil
1	82,34	4,5	3,8	4,1	0,3
2			1		3,1

Fonte: Adaptado de Sá (2012).

Na tentativa de suprir as dificuldades citadas por Sá (2012), relacionadas à falta de dados, foram utilizadas informações da linha de recalque do SB-R do setor básico, disponibilizadas por Bezerra, Lopes & Pereira (2012), para a construção de um Modelo Computacional Atualizado (MCA), com um maior grau de aproximação em relação a realidade. As informações disponibilizadas por Bezerra et al. (2012) podem ser observadas na Figura 2.

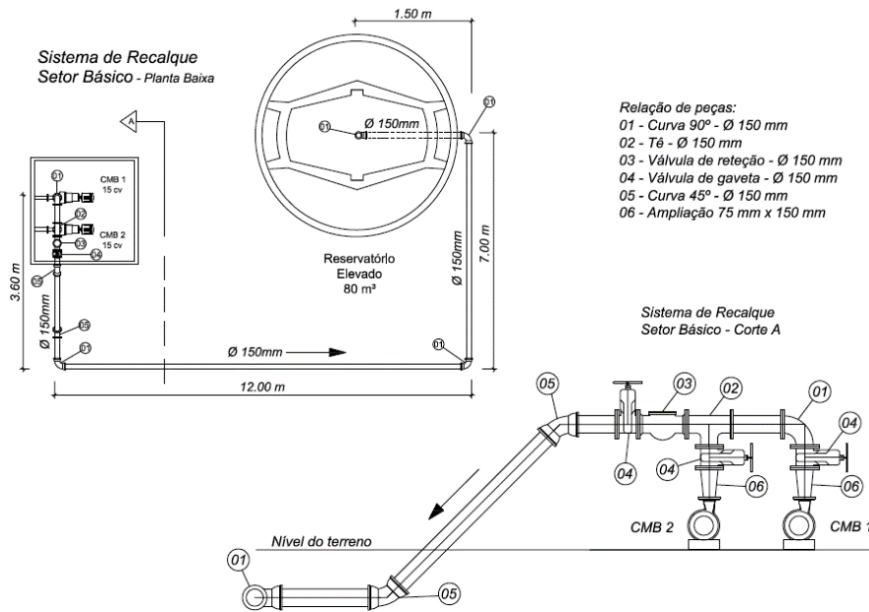


Figura 2 - Configuração geométrica do sistema bombeamento-reservação.

Fonte: Bezerra et al. (2012).

A equação de perda de carga hidráulica utilizada para o modelo foi a de Hazen-Williams (Equação 1), para manter o mesmo padrão de cálculo do MC em que a pesquisa foi baseada. No software EPANET 2.0, foram inseridos os valores de diâmetro (D), comprimento (L) e coeficiente de perda de carga (C) da tubulação. De acordo com Sá (2012), a rede do setor básico foi construída na década de 60, não havendo registros de reconstrução do sistema. Portanto, foi utilizado para o coeficiente C o valor de 95, relativo a tubulações de ferro fundido (FºFº) sem revestimento permanente com mais de 20 anos de uso (Netto & Fernández, 2015).

Equação 1: Perda de Carga Hazen Williams

$$H_f = 10,674 \cdot Q^{1,852} \cdot C^{-1,852} \cdot D^{-4,871} \cdot L$$

Com o modelo atualizado e dos dados de entrada inseridos no software, pôde-se dar início as simulações. Na Tabela 2 são observados, em um contexto geral, as etapas simuladas com seus respectivos cenários, objetivos e condições de operação.

Tabela 2 – Simulações realizadas no estudo.

Etapa	Simulação	Modelo	Objetivo	REL	Cenário Simulado	Condição Operacional	Intervalo de consumo
1	1	MC	Validar o MCA	Existente	2 (Sá)	Variação do nível de água	3 horas
	2	MCA					
2	3	MCA	Verificar capacidade do REL Existente	Existente	Novo	Variação do nível de água	1 hora
	4					Variação do horário e nível	
3	5	MCA	Otimizar a operação	Existente + Adicional	Novo	Variação do nível de água	1 hora
	6					Variação do horário e nível	

Fonte: Elaborada pelos autores (2019).

- Etapa 1: validação do MCA, com a condição operacional de funcionamento apenas em função das alturas mínima e máxima do REL.
- Etapa 2: verificação da capacidade do REL existente, em função das alturas mínima e máxima e também do controle de programação para desligamento em horário de ponta.
- Etapa 3: proposição de uma alternativa para o abastecimento da rede com um menor custo com energia elétrica.

### 3.1 Etapa 1: Validação do Modelo Computacional Atualizado

Na primeira Etapa, para validar o MCA, foi realizada uma análise comparativa com o MC, que foi executada por meio de duas simulações, uma para o MC (simulação 1) e outra para o MCA (simulação 2). Os dois modelos foram simulados com a condição operacional do segundo cenário da Tabela 1, que utiliza a variação das alturas para determinar o acionamento e desligamento do CMB. Nesta etapa, a simulação considerou um intervalo de tempo padrão do EPANET (intervalo de variação do consumo de água) de 3 horas (Sá, 2012).

No MCA, o padrão de preço também foi modificado, sendo desta forma inserido o valor disponibilizado na Resolução Homologatória ANEEL nº 2.433/2018 para tarifa verde de consumo, que estará em vigor do dia 07 de agosto de 2018 a 06 de agosto de 2019.

A condição do cenário 1 foi descartada da análise pois a altura útil de água era de apenas 30 cm, o volume do REL nessa condição não estava sendo bem aproveitado, já que o mesmo estava operando como “caixa de passagem” devido a baixa variação de nível, não realizando assim a sua função principal que é de regularizar vazões ao longo do dia (Gomes, 2012). Pode-se observar o esquema de mapa de rede do MC e do MCA respectivamente na Figura 3.

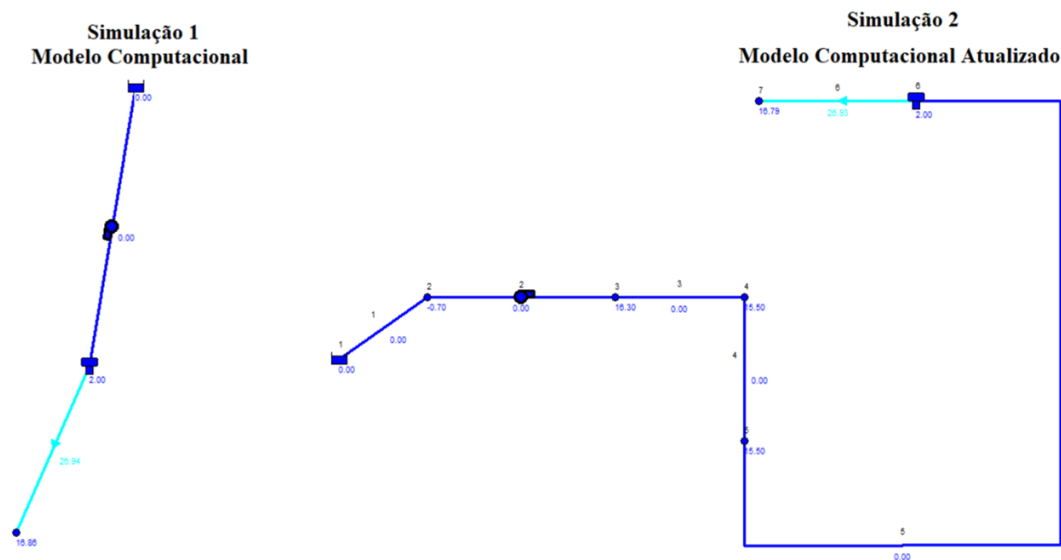


Figura 3: MC (Simulação 1) e MCA (Simulação 2).  
Fonte: Sá (2012) adaptado pelos autores.

### **3.2 Etapa 2: Verificação da capacidade de reservação do REL**

Considerando a validação do MCA realizada na Etapa 1, posteriormente foi realizada a Etapa 2, subdividida em simulações 3 e 4, para um novo cenário proposto pelos autores, no qual foram inseridas duas condições de programação, onde na primeira, há o desligamento do CMB quando o nível de água do REL atingir o valor máximo de 4,1 m, e o seu acionamento quando o nível do REL atingir o valor mínimo de 0,3 m, com a intenção de aproveitar toda a capacidade de reservação do REL existente.

A segunda condição de programação é para que o CMB desligue em horário de ponta, que acontece todos os dias no intervalo das 18h30min às 21h29min. Essa condição foi considerada apenas na simulação 4. Na simulação 3, o MCA não foi programado para desligar o CMB no horário de ponta, desta forma, ele irá se manter ligado apenas em função das alturas mínima e máxima, enquanto que na 4, além das alturas, o comportamento do CMB também será alterado em função do intervalo de tempo programado. Logo, foi possível obter melhores resultados e comparações.

Para esse novo cenário de simulações utilizado nas etapas 2 e 3, foi considerado um intervalo de tempo padrão que é inserido no EPANET 2.0, de 1 hora. Esse valor foi adotado para discretizar a variação de consumo em intervalos menores, e assim, obter o melhor detalhamento dos resultados.

### **3.3 Etapa 3: Simulações de alternativas visando a redução do custo com energia elétrica no SB-R**

Na Etapa 3 de simulações, foi inserido no MCA um REL adicional, como é mostrado na configuração do mapa de rede da Figura 4. A finalidade da inserção desse novo REL foi ampliar a capacidade de reservação e ajustar a operação do SB-R. Nesta Etapa, também foram considerados os dois cenários de programação citados anteriormente, portanto, na simulação 5 o desligamento e acionamento do CMB ocorrerá em função das alturas mínima e máxima. Na simulação 6, o horário de ponta e fora de ponta foi considerado, permitindo o desligamento do CMB das 18h30min às 21h29min. Esse ajuste operacional pode reduzir as despesas com energia elétrica provenientes das estações de bombeamento. Uma descrição geral das simulações pode ser observada na Tabela 2.

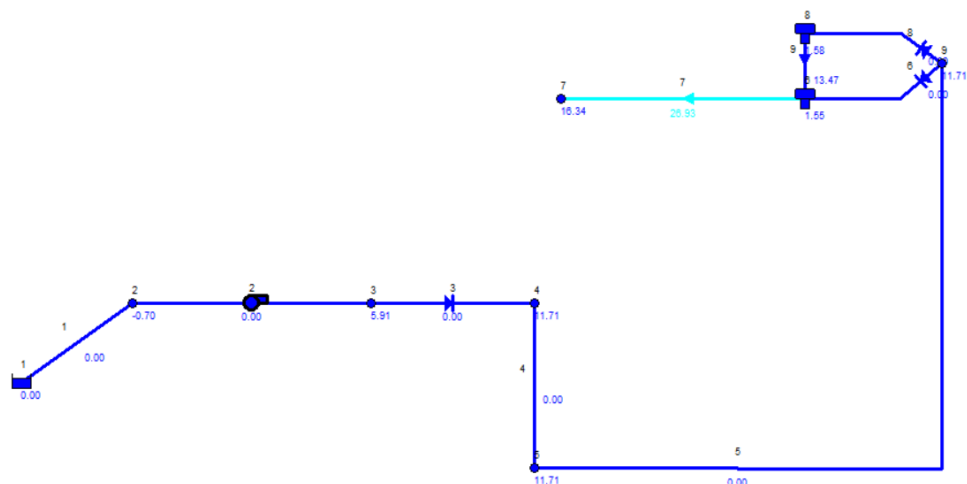


Figura 4 - Mapa da rede para a etapa 3 (simulações 5 e 6).  
Fonte: Elaborada pelos autores (2019).

## 4 DISCUSSÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

### 4.1 Validação do MCA

Para comparar os resultados do MC proposto por Sá (2012) com o MCA proposto nesse estudo, são mostrados na Figura 5 os balanços de vazões gerados no *EPANET 2.0* em ambas as simulações, considerando a curva de consumo de água para o SB-R do setor básico, monitorada por Sá (2012). Para o MC (em vermelho), a vazão de bombeamento produzida teve uma média de 87,73 m<sup>3</sup>/h (24,37 L/s), com 8 acionamentos diários de 1 hora de duração cada, enquanto que o MCA (em azul), teve uma vazão média produzida de 67,07 m<sup>3</sup>/h (18,63 L/s) e 7 acionamentos com duração média de 1 h e 20 minutos cada. Para encontrar essas médias de vazões foram considerados apenas os momentos em que o CMB se manteve acionado, com vazão diferente de zero.

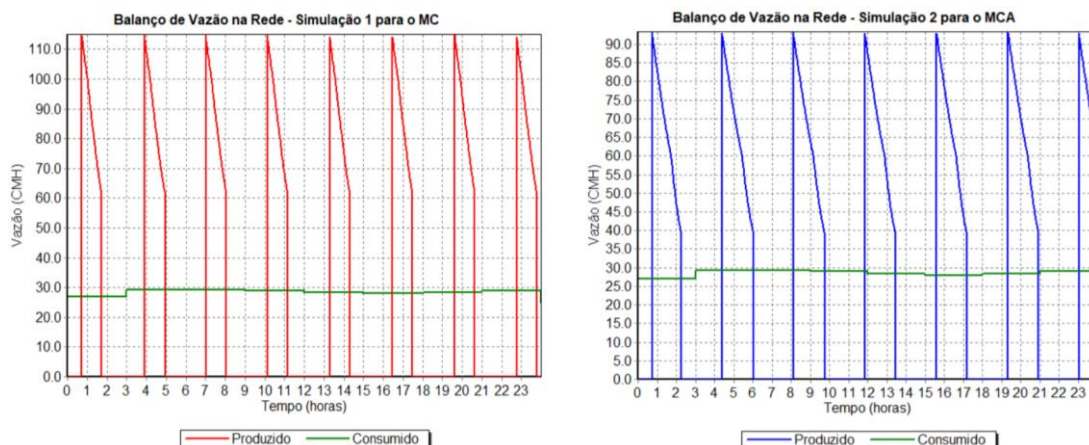


Figura 5 – Balanço de vazão do MC (em vermelho) e MCA (em azul).  
Fonte: Elaborada pelos autores (2019).

A vazão menor, de 18,63 L/s, simulada no MCA, quando comparada à vazão de 27,37 L/s simulada no MC, pode ser justificada pelo aumento da Altura Manométrica (Hm) que ocorreu no MCA, uma vez que para o referido modelo, foram inseridas as informações adicionais da Figura 2, relativas ao comprimento, diâmetro e material da tubulação. Como a vazão de bombeamento foi menor, o CMB se manteve ligado em intervalos de tempo maiores, o que reduziu o número acionamentos no MCA.

Com a similaridade observada entre os resultados gerados no MCA e no MC, pôde-se considerar MCA validado para o estudo.

#### 4.2 Alternativas de redução de custos

Com o MCA validado e as alterações no cenário realizadas, foi possível analisar os resultados das simulações efetuadas nas etapas subsequentes. Na Figura 6, encontram-se os balanços de vazão dessas outras quatro simulações.

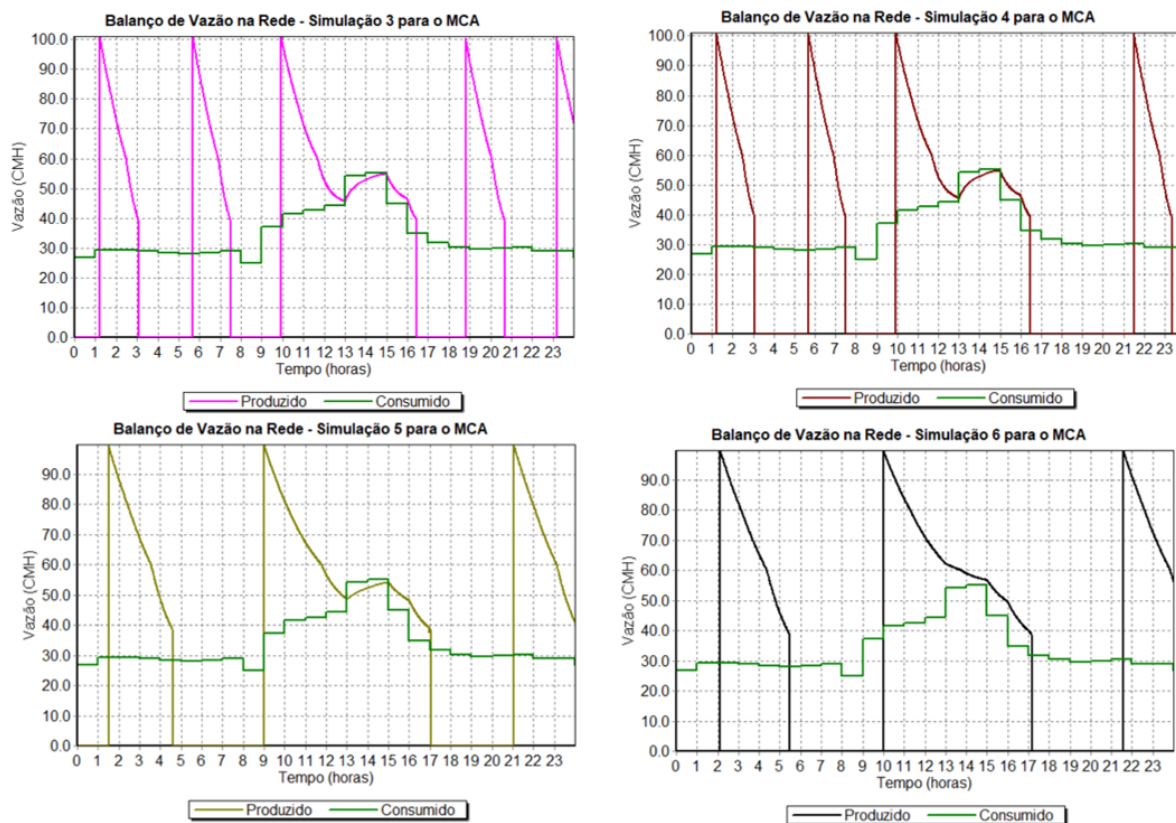


Figura 6 - Balanço de vazão das simulações 3 a 6.  
 Fonte: Elaborada pelos autores (2019).

Embora os gráficos da Figura 6 tenham sido utilizados para meios comparativos entre as simulações, é importante observar que o seu comportamento mostra um número de acionamentos mais elevados quando comparados aos gráficos da Figura 6, onde esse número foi reduzido. Isso se deve ao fato de que, no novo cenário programado, o REL está sendo melhor aproveitado, pois a sua altura útil, que é compreendida entre o nível mais baixo e nível mais alto de água no REL é maior, tendo um total de 3,8 metros destinados à operação do REL. De acordo com Shokri, Bozorg e Mariño (2014), a posição do nível d'água do

reservatório elevado pode reduzir em até 36% o consumo de energia elétrica. Portanto, a rotina operacional do CMB acaba sendo influenciada pela unidade de reservação, e posteriormente no consumo e custo de energia elétrica.

A simulação 3 conseguiu fornecer uma vazão média de 64,39 m<sup>3</sup>/h (17,89 L/s), o que possibilitou, nas 24 horas, atender a demanda requerida pela curva de consumo. Entretanto, o valor diário cobrado por energia elétrica foi de R\$33,74 reais (R\$1.012,20 reais por mês), sendo esse muito expressivo. Como o objetivo é reduzir esse custo, a simulação 4, programada para o desligamento do CMB em horário de ponta gerou um custo diário de R\$17,96 reais (R\$538,80 reais por mês), ou seja, uma redução de 46,76%. Porém, nessa simulação não foi possível atender a demanda, pois no horário de ponta, o REL ficou totalmente vazio em algum momento, o que gerou um número alto de pressões negativas, causando a interrupção no fornecimento de água em determinados momentos.

As simulações geraram respectivamente uma porcentagem de utilização de 53,82% e 50,28%, o que representa a porcentagem de tempo em que o CMB se manteve ligado. Percebe-se que na primeira, a porcentagem foi maior, o que justifica também o custo mais elevado.

### **4.3 Resultados da etapa 3 (proposição de um reservatório)**

Nesse contexto, a opção de instalar um novo sistema de reservação afim de complementar o atual e aumentar o volume de reservação pode ser uma opção necessária, como foi mostrado na terceira etapa de simulações.

A curva de consumo de água para o setor básico possui uma vazão média de 34,07 m<sup>3</sup>/h (9,46 L/s). Para a simulação 6, durante o desligamento em horário de ponta, para que não ocorram pressões negativas, o REL necessita ter um volume de 120,34m<sup>3</sup>, ou seja, 38m<sup>3</sup> a mais que o REL existente possui. Para Denaro, Anghileri, Giuliani e Castelletti (2017), ter conhecimento da curva de demanda é indispensável quando se trata da análise operacional de um REL.

Para isso, o novo REL se manteve com a mesma altura máxima de 4,1 m, e o diâmetro pôde ser reduzido em 0,5 m, ficando com 4,5m.

Na simulação 5, onde não foi programado para desligar em HP, o custo com energia elétrica foi de R\$21,87 por dia (R\$656,10 por mês). Na simulação 6, o custo diário foi de R\$21,55 (R\$646,50 por mês), tendo uma diferença muito pequena. Isso ocorreu pelo fato de que o consumo de água no Setor Básico começa a subir a partir das 10 horas da manhã, e diminui a partir das 15:00 da tarde. Por conta disso, o CMB durante esse período se mantém ligado por mais tempo do que nos outros acionamentos. Esse comportamento coincidentemente ocorre nas simulações 5 e 6, onde às 17:00 horas o CMB é desligado por ter atingido a sua altura máxima de água, de 4,1 m.

A altura inicial de água influenciou na simulação, para que no horário de ponta o REL estivesse cheio, podendo então fornecer a água sem interrupções, o que de acordo com Pereira e Condurú (2014), é muito vantajoso conseguir manipular os bombeamentos de água para diferentes horários do dia, reduzindo sensivelmente as despesas com energia elétrica.

Quanto a porcentagem de utilização do CMB, na simulação 5 o valor foi de 58,72%, enquanto que na 6, esse valor reduziu para 57,46%. Em comparação com a Etapa 2 de simulações, esses percentuais foram maiores, visto que na Etapa 3 tem-se dois reservatórios para serem alimentados pelo mesmo sistema de bombeamento, o que, portanto, gera um aumento na utilização.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Uma das premissas para gerenciar de forma eficiente qualquer empreendimento é conhecer a sua estrutura e a sua operação. Se tratando, em especial, de instalações de SAA's é extremamente importante fazer um estudo mais aprofundado sobre o dimensionamento dos reservatórios e da capacidade dos conjuntos motor-bomba, para evitar o desperdício, aproveitar o seu rendimento e também despesas elevadas com energia elétrica, que poderiam ser evitados se fossem melhores operacionalizados.

Esta pesquisa verificou que, com uma condição operacional modificada para o aproveitamento da capacidade de reservação, como mostra na simulação 3, o reservatório elevado do Setor Básico da UFPA consegue atender a demanda da curva de consumo considerada, contudo, o custo com energia elétrica se torna mais elevado. Na condição de desligamento em horário de ponta, essa simulação foi malsucedida. Portanto, a construção de um REL adicional se torna uma opção adequada, pois, a longo prazo o valor investido trará um retorno econômico. Além disso, o campus universitário tende a expandir, o que aumentaria o consumo, necessitando assim de um volume maior de reservação.

Para que o reservatório atual deixe de operar como “caixa de passagem”, é necessária uma readequação do seu nível de água na operação, além a instalação o reservatório complementar.

## REFERÊNCIAS

Altoé, L.; Costa, J. M.; Filho, D. O.; Martinez, F. J. R.; Ferrarez, A. H.; Viana, L. A. de. (2017) *Políticas Públicas De Incentive À Eficiência Energética*. Estudos Avançados, vol.31 no.89, São Paulo.

Brasil. (2017). *Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: 21º Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto - 2015*. Brasília: Ministério das Cidades.

Bezerra, G. C. M.; Lopes, R. M.; Pereira, J. A. R. (2012). *Determinação do Diâmetro Mais Adequado para a Tubulação de Recalque de Estação Elevatória de Água*. Engrenagem: Revista do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará. Campus Belém. p 72 a 78.

Brasil. Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). *Resolução Homologatória Nº 2.433 de 7 de agosto de 2018*. Homologa o resultado do Reajuste Tarifário Anual de 2018, as tarifas de Energia – TE e as Tarifas de uso do Sistema de Distribuição – TUSD referentes à Centrais Elétricas do Pará S/A - Celpa. Recuperado em 9 de junho de 2019: <[http://biblioteca.aneel.gov.br/asp/textos\\_main.asp?codigo=187618&desc=ti&servidor=1&iBanner=&iIdioma=0](http://biblioteca.aneel.gov.br/asp/textos_main.asp?codigo=187618&desc=ti&servidor=1&iBanner=&iIdioma=0)>.

Condurú, M. T.; Pereira, J. A. R. (2012). *Análise das informações de volume perdido de água no planejamento de sistemas de abastecimento de água em áreas urbanas no Brasil*. In: XII Seminário Ibero-Americano sobre sistemas de abastecimento de água e drenagem, 2012, Coimbra, SEREA, v. 1. p. 1-8.

Denaro, S.; Anghileri, D.; Giuliani, M.; Castelletti (2017). *Informing the operations of water reservoirs over multiple temporal scales by direct use of hydro-meteorological data*. Advances in Water Resources.

Gomes, H. P. (2009). *Sistema de Bombeamento: Eficiência Energética*. Editora Universitária/UFPB, João Pessoa, 1ª edição.

Gomes, H. P. (2012). *Sistema de Bombeamento: Eficiência Energética*. Editora Universitária/UFPB, João Pessoa, 2ª edição.

Iglesias-Reya\* P. L., Martínez-Solanoa F. J., Ribelles-Aquilara J. V. (2017). *Extending EPANET capabilities with Add-In Tools*. XVIII International Conference on Water Distribution Systems Analysis, WDSA 2016. Procedia Engineering p. 626 – 634.

Junior. J. C. F. dos. R. (2012). *Análise Hidroenergética da Rotina Operacional de Sistema Bombeamento Utilizado em Abastecimento Público de Água*. Universidade Federal do Pará. Instituto de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC). Campus Belém.

Kuritz, J. C., Camponogara, G., Marques, M. G., Sanagiotto, D. G., Battiston, C. (2017). *Dimensionless curves of centrifugal pumps for water supply systems: development and case study*.

Li, T.; Zhang, L.; Ai, W.; Dong, W.; Yu, Q. *A modified MBR system with post advanced purification for domestic water supply system in 180-day CELSS: Construction, pollutant removal and water allocation*. (2018). Journal of Environmental Management.

Marques, M. G. et al. (2016). *Procedimentos Básicos Para A Redução Do Consumo De Energia Elétrica Em Sistemas De Bombeamento De Água*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento (LENHS). Porto Alegre.

Netto, A. J. M. de.; Fernández, M. F. Y. (2015). *Manual de hidráulica*. 9ª edição – São Paulo, editora Edgard Blücher Ltda.

Polese, L. E. (2010). *Eficiência Energética Em Sistemas De Bombeamento: Uso Do Variador De Frequência*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Departamento de Engenharia Civil. Porto Alegre.

Rossman, L. A. (2000). *EPANET 2.0 - User's manual*. U. S. Environmental Protection Agency. Cincinnati, Ohio.

Sá. J. H. M. (2012). *Análise do Volume Ideal do Reservatório Elevado (RE) do Sistema de Abastecimento de Água do Setor Básico da Cidade Universitária Professor José da Silveira Netto – Belém (PA)*. Universidade Federal do Pará. Instituto de Tecnologia. Faculdade de Engenharia Sanitária e Ambiental. Campus Belém.

Shokri, A.; Bozorg, O.; Mariño, M. A. (2014). *Multi-objective quantity-quality reservoir operation in sudden pollution*. *Water Resour. Manag.* n. 28, p. 567-586.

Tsutyia, M. T. (2006). *Abastecimento de Água*. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da USP. São Paulo.