

XI-027 - IMPACTO NO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA PELA MUDANÇA DE DIÂMETRO DA ADUTORA DE ÁGUA TRATADA DA CIDADE UNIVERSITÁRIA PRO. JOSÉ DA SILVEIRA NETTO

Luana Menna Barreto de Vilhena⁽¹⁾

Discente de Engenharia Sanitária e Ambiental pela Universidade Federal do Pará. Estagiária do Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento (LENHS/UFPA).

Augusto da Gama Rego

Engenheiro Sanitarista, Mestre em Engenharia Civil e Doutorando em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia (PRODERNA/UFPA). Professor da Faculdade de Engenharia Sanitária e Ambiental (FAESA/UFPA) e membro do Grupo de Pesquisa Hidráulica e Saneamento (GPHS/UFPA).

Raynner Menezes Lopes

Engenheiro Sanitarista e Ambiental e Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Pará (UFPA). Membro do Grupo de Pesquisa Hidráulica e Saneamento (GPHS/UFPA).

José Almir Rodrigues Pereira

Engenheiro Sanitarista (UFPA) e Doutor em Engenharia Hidráulica e Saneamento (EESC-USP). Professor da Universidade Federal do Pará e Coordenador do Grupo de Pesquisa Hidráulica e Saneamento (GPHS/UFPA) e do Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento (LENHS/UFPA).

Endereço⁽¹⁾: Travessa Guerra Passos, 60 – Canudos – Belém – PA – CEP: 66070-210 – Brasil – Tel: (91) 99257-8160 - e-mail: luanavilhena@yahoo.com.br

RESUMO

Analisar o impacto no consumo de energia elétrica com a mudança de diâmetro da adutora de água tratada da Cidade Universitária Prof. José da Silveira Netto (Universidade Federal do Pará, Belém/PA). Inicialmente foi realizado o dimensionamento da estação elevatória de água tratada. Em seguida foi realizada a modelagem e a simulação computacional da estação elevatória e adutora de água tratada em software EPANET 2.0. Na última etapa foram realizadas simulações com diferentes diâmetros da adutora. Nos resultados foram obtidos indicadores de consumo específico (ICE), de consumo específico de energia elétrica normalizado (ICEN) e de consumo específico de energia elétrica por comprimento da adutora (CEEL), sendo também realizada a projeção de custos. Os resultados da simulação para um dia demonstraram que o aumento do diâmetro reduz o consumo de energia (kWh/m³), sendo que o rendimento médio do conjunto motor e bomba e a despesa por dia (R\$/dia) variam de acordo com a curva da bomba e de rendimento. Com as análises estatísticas, gráficos e indicadores de consumo de energia elétrica foi verificado que o consumo de energia elétrica de 0,2 kWh/m³ no diâmetro de 200 mm é o mais indicado para a linha adutora de água tratada.

PALAVRAS-CHAVE: Eficiência hidroenergética, Epanet 2.0, Adutora de água tratada.

INTRODUÇÃO

De acordo com o Programa de Pesquisas em Saneamento Básico (PROSAB, 2009), cerca de 3% do consumo nacional de eletricidade é destinado ao setor de abastecimento de água e tratamento de esgotos e, desse total, mais de 90% da energia destina-se ao uso de motores e bombas. Nesse contexto, Pereira (2014) afirma que a eficiência hidroenergética em sistemas de saneamento surge como uma importante opção para a diminuição da demanda de energia elétrica no país, que inclusive, passou por crise de fornecimento no ano de 2001.

Para Gomes (2009), a determinação das possibilidades de ganhos em eficiência hidroenergética pode ser obtida através de um diagnóstico de um sistema, sendo seu produto final uma lista de intervenções e as respectivas estimativas de redução de consumo de energia elétrica e redução da demanda de potência no horário de ponta do sistema. Tsutiya (2001) explica que a redução no volume de água implica de forma direta na diminuição dos custos de energia elétrica, onde para cada 1 m³ de água produzida, gasta-se certa de 0,6 kWh de energia elétrica. Vale ressaltar que, alguns fatores influenciam diretamente no consumo de energia elétrica em sistemas de bombeamento de água, tais como: a seleção correta dos conjuntos motor e bomba (CMB), a escolha de diâmetros de tubulações de sucção e recalque, o material da tubulação (rugosidade), a atuação do CMB em seu rendimento máximo, entre outros (CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS, 2005).

Para diagnósticos de sistemas de bombeamento, indicadores de desempenho podem ser utilizados, tanto para análise individual de CMB quanto arranjos de CMB, bem como para comparar desempenhos de estações de bombeamentos distintas. Para acompanhar o desempenho de uma mesma instalação de bombeamento ao longo do tempo, Gomes (2009) explica que a eficiência energética pode ser mensurada através do indicador de consumo específico (ICE), cujo valor representa a energia elétrica (kWh) necessária para bombear 1 m³ de água na instalação em análise.

Para comparar o desempenho de estações de bombeamento diferentes, Alegre (2000) propôs o Indicador de Consumo Específico de Energia Elétrica Normalizado (ICEN), definido como a quantidade média de energia elétrica (kWh) gasta em instalações de bombeamento para elevar 1 m³ de água a 100 metros de altura manométrica. Outro indicador que pode ser usado em sistemas de bombeamento de longas adutoras consiste em avaliar o nível de significância das perdas de carga da instalação, para compará-las com outras instalações e para avaliações econômicas, para isso leva-se em consideração o comprimento das adutoras (GOMES, 2009).

Dessa forma, os indicadores de desempenho hidroenergéticos se tornam importantes ferramentas para análise de consumo de energia elétrica, quando utilizados em conjunto com simulações computacionais, determinando assim melhores condições de instalações hidráulicas e eletromecânicas para menores consumos de energia elétrica. Nesse contexto, este trabalho visa avaliar o impacto causado no consumo de energia elétrica pela mudança de diâmetro da adutora de água tratada da Cidade Universitária Professor José da Silveira Netto.

OBJETIVO

Analisar o impacto no consumo de energia elétrica das mudanças de diâmetro da adutora de água tratada da Cidade Universitária Pro. José da Silveira Netto (Universidade Federal do Pará, Belém/PA).

METODOLOGIA

A pesquisa foi na Cidade Universitária José da Silveira Netto, Universidade Federal do Pará (Belém-PA), localizada em Belém do Pará, situada a 1° 28' 18"S de latitude e 48° 27' 09"W de longitude e 5m de altitude. Construído na década de 60, atualmente o Campus é constituído pelos setores Profissional, Básico, Saúde e Educação Física. A adutora é apresentada na Figura 1.

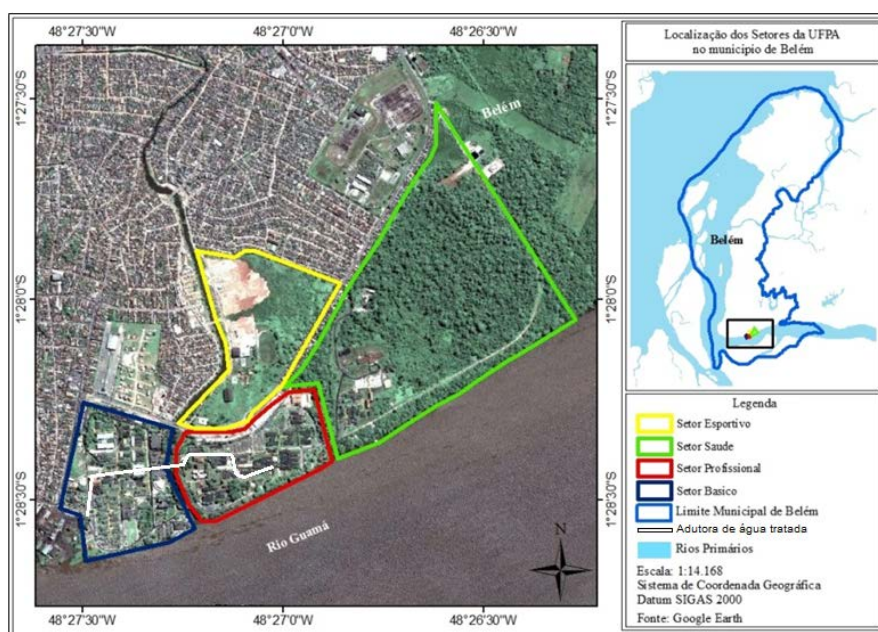


Figura 1: Localização da Universidade Federal do Pará.

A pesquisa foi desenvolvida de acordo com as seguintes etapas (Fluxograma 1):

Etapa 1: Modelagem e simulação do SAA no Epanet 2.0

- Atividade 2.1: Modelagem das unidades;
- Atividade 2.2: Simulação da operacional

Etapa 2: Análise dos resultados;

- Cálculo dos indicadores ICE;
- Cálculo dos indicadores ICEN;
- Cálculo dos indicadores CEE_L;
- Projeção dos custos.

Etapa 1: Modelagem e simulação do SAA no Epanet 2.0

- Atividade 1.1: Modelagem das unidades.

A modelagem e simulação do sistema da UFPA foram realizadas no software Epanet 2.0, que permite “executar simulações estáticas e dinâmicas do comportamento hidráulico e de qualidade da água em redes de distribuição pressurizada.” (Manual do Epanet, pág. 17), atendendo as necessidades propostas neste trabalho.

Para a realização da modelagem dos reservatórios apoiados, das instalações hidráulicas e do conjunto motor e bomba foi realizada visita técnica para levantamento das informações (Tabelas 1, 2 e 3), contendo: as cotas em cada nó, pontos da rede de união dos trechos onde a água entra e sai da rede, e referentes aos trechos, contendo o comprimento, material, diâmetro nominal e fator C de rugosidade de Hazen-Williams.

Tabela 1: cotas nos nós.

Nó	Cota (m)	Nó	Cota (m)
2	0,00	24	3,95
8	4,38	25	3,90
9	4,40	26	4,64
16	4,45	27	4,46
21	4,22	28	4,50
22	4,15	29	4,60
23	4,26		

Tabela 2: trechos modelados.

Trecho	Comprimento (m)	Material	DN	Fator C
20 (sucção)	5,27	Ferro Galvanizado	150	130
1 (barrilete)	1,70	Ferro Galvanizado	125	130
22	15,86	PVC	200	135
23	10,72	PVC	200	135
24	237,52	PVC	200	135
25	10,66	PVC	200	135
26	40,51	PVC	200	135
27	20,47	PVC	200	135
28	86,11	PVC	200	135
29	223,65	PVC	200	135
30	42,93	PVC	200	135
31	331,44	PVC	200	135
32	160,13	PVC	200	135

Tabela 3: perdas de cargas localizadas.

Parte	Acessórios	K	Material	Quantidade
Sucção	Cotovelo 90°	1,8	Ferro galvanizado	1
	Redução	0,3	Ferro galvanizado	1
	Válvula de pé com crivo	2,5	Ferro galvanizado	1
Barrilete	Cotovelo 90°	0,9	Ferro galvanizado	1
	Válvula de gaveta	0,6	Ferro galvanizado	2
	Válvula de retenção	2,5	Ferro galvanizado	1
	Tê passagem direta	0,6	Ferro galvanizado	1
	Nípel		Ferro galvanizado	2
	Ampliação	0,3	Ferro galvanizado	1
Recalque	Curva 45°	0,9	Ferro galvanizado	1
	Saída de canalização	1	PVC	1

- Atividade 1.2: Simulação da operação das unidades.

Para a simulação dimensionou-se o conjunto motor e bomba, adotando a KSB 80-160 de 1750 rpm, cujas curvas características de “ $Q \times H_{man}$ ” e “ $Q \times \eta$ ” podem ser visualizadas na Figura 2.

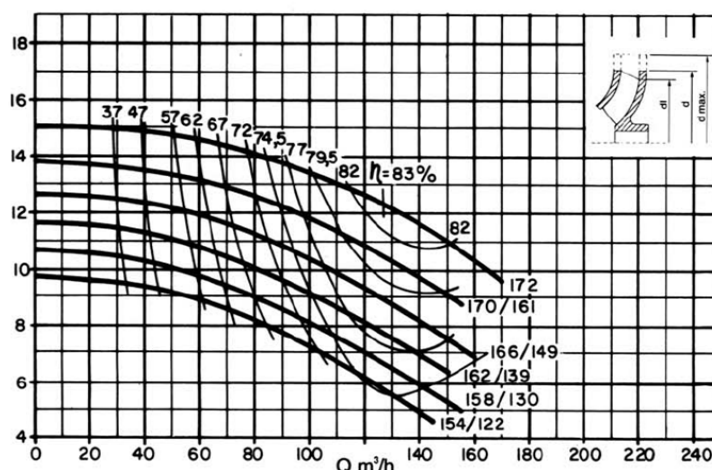


Figura 2: Curva da bomba adotada.

A variação dos diâmetros foi realizada para a adutora de água tratada da UFPA, para os valores de: 200 mm, 250 mm, 300 mm, 350 mm, 400 mm e 500 mm.

Etapa 2: Análise dos resultados.

Os resultados obtidos foram sistematizados em tabelas, bem como foram elaborados gráficos comparativos entre os diâmetros para análise dos seguintes indicadores de eficiência energética:

- Atividade 2.1: Consumo Específico, cujo valor representa a energia elétrica necessária para bombear 1 m³ de água na instalação em análise, dado por:

$$CE = \frac{EE_{cons.}}{V_{bomb.}} \quad \text{Equação (1)}$$

Onde:

CE: Consumo específico de energia, em kWh/m³;

EE_{cons.}: energia elétrica consumida, em kWh;

V_{bomb.}: volume bombeado, em m³.

- Atividade 2.2: Consumo Específico de Energia Elétrica Normalizado (CEN), definido como a quantidade média de energia gasta para elevar 1 metro cúbico de água a 100 metros de altura manométrica, por meio de instalações de bombeamento, dado por:

$$CEN = \frac{EE_{cons.}}{V_{bomb.} \times \left(\frac{H_{man}}{100}\right)} \quad \text{Equação (2)}$$

Onde:

CEN: Consumo Específico de Energia Elétrica Normalizado, em kWh/m³100/mca;

EE_{cons.}: energia elétrica consumida, em kWh;

V_{bomb.}: volume bombeado, em m³.

H_{man.}: altura manométrica, em mca.

- Atividade 2.3: Consumo Específico de Energia Elétrica por comprimento (L) da adutora, que consiste em avaliar o nível de significância das perdas de carga da instalação, para compará-las com outras instalações e para avaliações econômicas, para isso leva-se em consideração o comprimento das adutoras, dado por:

$$CEEL = \frac{EE_{cons.}}{V_{bomb.} \times L} \quad \text{Equação (3)}$$

Onde:

CEEL: Consumo Específico de Energia Elétrica por comprimento

EE_{cons.}: energia elétrica consumida, em kWh;

V_{bomb.}: volume bombeado, em m³.

L: comprimento da adutora, em km.

- Atividade 2.4: A projeção dos custos diário, mensal e anual foi realizada com valor base de \$0,40 (unidades monetárias).

RESULTADOS

A operação da adutora foi simulada para todos os diâmetros especificados na metodologia, variação nos valores de pressão em cada ponto da unidade pode ser visualizada na Figura 3. Observa-se que as menores pressões foram identificadas para o diâmetro 500 mm e as maiores pressões para o diâmetro 200 mm. Assim, cada operação para cada diâmetro irá possibilitar o relacionamento de dados de consumo de energia elétrica e de volumes de água bombeados na estação elevatória.

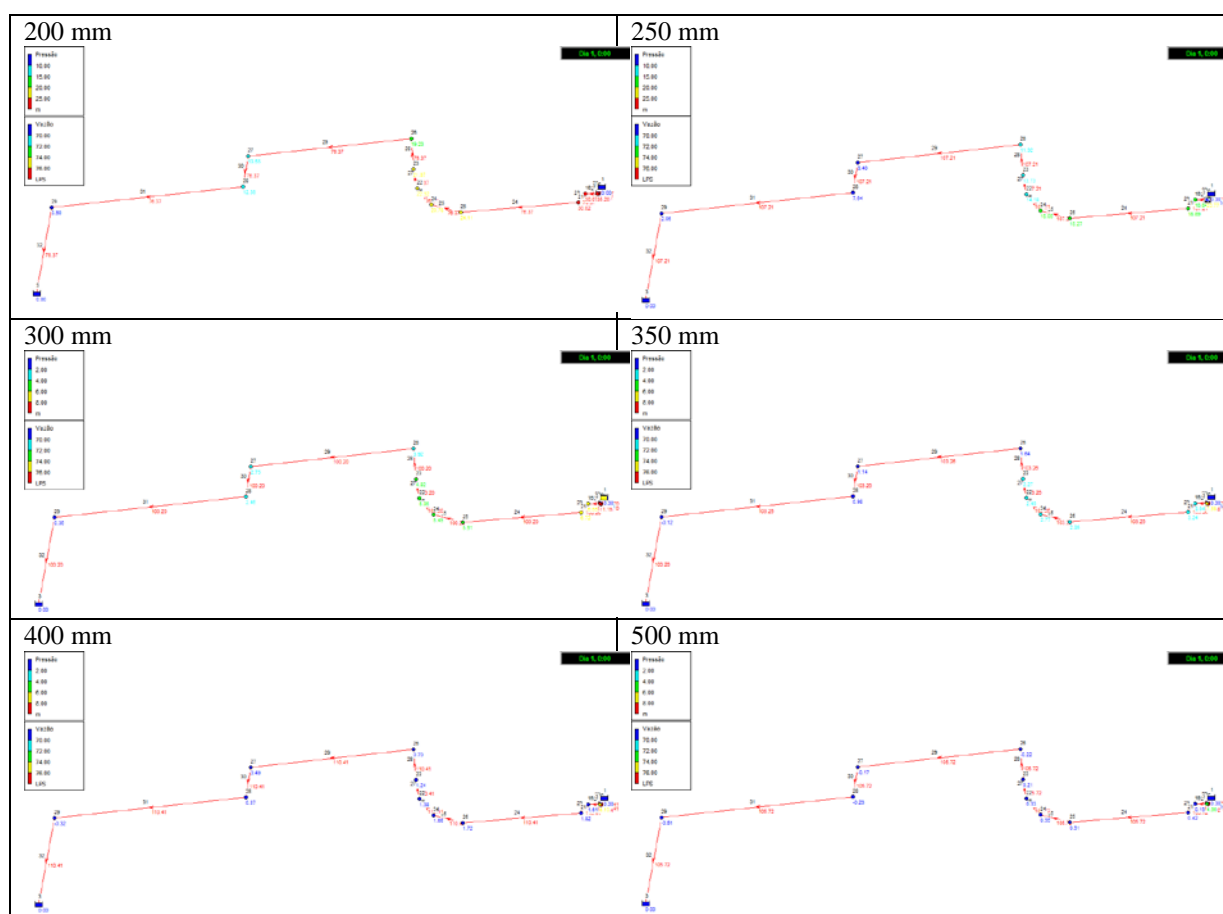


Figura 3: Modelagem usada na simulação da adutora de água tratada.

Os volumes observados para cada diâmetro podem ser observados na Tabela 4.

Tabela 4: Vazões e volumes observados por diâmetro.

Diâmetro (mm)	Vazão (l/s)	Volume dia (m³)
200	76,37	6.598,37
250	107,21	9.262,94
300	100,20	8.657,28
350	103,26	8.921,66
400	110,41	9.539,42
500	105,72	9.134,21

Na Figura 4 é apresentada a comparação dos valores de rendimentos médios para cada valor de diâmetro da tubulação simulada. A relação depende da curva de rendimento da bomba, portanto o comportamento não mantém regular, até o diâmetro de 400 mm o rendimento diminui, no entanto, ao subir para 500 mm o rendimento aumento novamente. O maior rendimento apresenta-se no diâmetro de 200 mm enquanto o pior rendimento dá-se para o diâmetro de 400 mm.

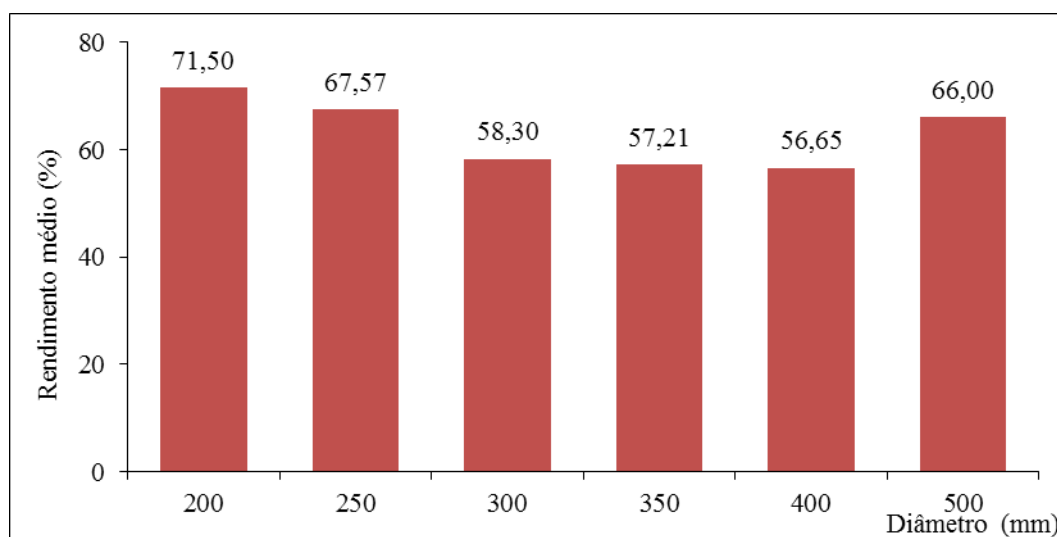


Figura 4: Relação entre rendimento médio e diâmetro da adutora.

O software Epanet 2.0 fornece o valor do CE em seus relatórios. Na Tabela 5 é apresentada comparação dos resultados encontrados ao valor médio de 0,6 kWh/m³ sugerido por Tsutiya (2001), estes se encontram abaixo da média, demonstrando menores consumos energéticos.

Tabela 5: Síntese dos resultados do indicador CE.

Diâmetro (mm)	CE (kWh/m ³)
200	0,20
250	0,17
300	0,16
350	0,15
400	0,15
500	0,15

Para o cálculo do consumo específico de energia elétrica normalizado (CEN), é necessário o valor do consumo de energia elétrica em kWh, o volume bombeado em m³ e a altura manométrica em mca. No entanto, o software Epanet 2.0 não fornece a altura manométrica de bombeamento diretamente, porém esta pode se obter através diferença entre a pressão de sucção e a pressão de recalque no momento da operação do CMB, onde:

$$H_{\text{man}} = 42,13 - (-9,36) = 51,49 \text{ m}$$

Utilizando os valores do indicador do consumo específico (CE), pode-se calcular o Consumo Específico de Energia Elétrica Normalizado (CEN), apresentado na Tabela 6.

Tabela 6: Resultados para o indicador CEN.

MATERIAL	Diâmetro (mm)	CE (kWh/m ³)	Altura manométrica (mca)	CEN (kWh/m ³ /100mca)
PVC	200	0,2	51,49	0,388
FERRO FUNDIDO	250	0,17	51,49	0,330
	300	0,16	51,49	0,311
	350	0,15	51,49	0,291
	400	0,15	51,49	0,291
	500	0,15	51,49	0,291

Segundo Alegre (2000), este indicador corresponde ao inverso da eficiência média de bombeamento do grupo. Portanto, utilizando o menor valor do indicador apresentado (0,291 kWh/m³/100mca) corresponde a uma eficiência média de bombeamento de $9810 \text{ N} \times 100\text{m} / (3600 \text{ J/Wh}) / 610 \text{ Wh} \times 100 = 93,64\%$. O valor mínimo teórico, correspondente a rendimentos do motor e da bomba de 100%, é de 0,27 kWh/m³.

Para o cálculo do indicador do Consumo Específico de Energia Elétrica por comprimento (L) da adutora, é necessário o CE e o comprimento L da adutora (em km), encontrado através da equação (6), onde foram gerados os resultados apresentados na Tabela 7. Este indicador pode ser usado para avaliar o nível de importância das perdas de carga da instalação, para compará-las com outras instalações e para avaliações econômicas em adutoras.

Tabela 7: Resultados para o indicador CEEL.

MATERIAL	DIÂMETRO (mm)	CE (kWh/m ³)	Comprimento L da adutora (km)	CEEL (kWh/m ³ por L de adutora)
PVC	200	0,2	1,18	0,236
FERRO FUNDIDO	250	0,17	1,18	0,200
	300	0,16	1,18	0,188
	350	0,15	1,18	0,177
	400	0,15	1,18	0,177
	500	0,15	1,18	0,177

As projeções para os custos por mês e por ano podem ser observadas na Tabela 8, onde foi adotado \$0,40 (unidades monetárias) para a representação do custo real de energia elétrica.

Tabela 8: Projeções de custos por mês e por ano.

MATERIAL	DIÂMETRO (mm)	CUSTO DIA (R\$/dia)	CUSTO MÊS (R\$/mês)	CUSTO ANO (R\$/ano)
PVC	200	517,71	15.531,30	186.375,60
FERRO FUNDIDO	250	558,64	16.759,20	201.110,40
	300	559,69	16.790,70	201.488,40
	350	549,22	16.476,60	197.719,20
	400	543,87	16.316,10	195.793,20
	500	539,62	16.188,60	194.263,20

A simulação para um dia demonstrou que com o aumento do diâmetro, há uma redução dos valores dos indicadores calculados, porém o custo por dia (R\$/dia) variou de forma diferente, de acordo com a curva da bomba e de rendimento, conforme Tabela 9.

Tabela 9: Síntese dos resultados encontrados na simulação para um dia.

MATERIAL	DIÂMETRO (mm)	CE (kWh/m ³)	CEN (kWh/m ³ /100mca)	CEEL (kWh/m ³ /L)
PVC	200	0,20	0,388	0,236
FERRO FUNDIDO	250	0,17	0,330	0,200
	300	0,16	0,311	0,188
	350	0,15	0,291	0,177
	400	0,15	0,291	0,177
	500	0,15	0,291	0,177

CONCLUSÕES

O correto dimensionamento e a seleção adequada do conjunto motor e bomba é determinante em projetos de abastecimento, pois gera aumento da economia através de uma maior eficiência energética no bombeamento, já que possui relação direta com o custo final.

O software EPANET 2.0 mostrou-se uma importante ferramenta para análises hidroenergéticas, no entanto, vale ressaltar que a inexistência de informações sobre a altura manométrica dos CMB nos relatórios com os resultados de simulação dificulta esse tipo de análise.

A relação entre o volume bombeado, rendimento, consumo de energia elétrica e os diâmetros se dão pela curva da bomba adotada, variando em função do distanciamento do ponto de operação e rendimento máximo, reduzindo otimização do conjunto motor e bomba, gerando aumento do consumo energético e dos custos.

Nesse sentido conclui-se que o melhor diâmetro para a CMB apresentada é o de 200 mm, pois apesar de apresentar o maior indicador de consumo de energia (0,2 kWh/m³), gera o menor custo quando relacionado ao conjunto motor e bomba adotado para as simulações.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. GOMES, Heber Pimentel. Sistemas de bombeamento – Eficiência Energética. 1 ed. Editora Universitária: UFPB, 2009.
2. TSUTIYA, Milton Tomoyuki. Redução do custo de energia elétrica em sistemas de abastecimento de água. 1 ed. São Paulo: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2001.
3. PEREIRA, José Almir R. Abastecimento de água: informação para eficiência hidroenergética. João Pessoa: Editora Universitária – UFPB, 2014.
4. CENTRAIS ELETRICAS BRASILEIRAS, FUPAI/EFFICIENTIA. Eficiência Energética em Sistemas de Bombeamento. Rio de Janeiro: Eletrobrás, 2005.
5. GOLCALVES, Ricardo Franci (coordenador). Conservação de água e energia em sistemas prediais e públicos de abastecimento de água. Projeto PROSAB. Rio de Janeiro: ABES, 2009.
6. ALEGRE, Helena; HIRNER, Wolfram; BAPTISTA, Jaime Melo; PARENA, Renato. Indicadores de desempenho para serviços de abastecimento de água. IWA Publishing, 2000.