

XI-068 - ANÁLISE DA VARIAÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA NO BOMBEAMENTO DA ADUTORA DE ÁGUA TRATADA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ

Danilo Oliveira Ferreira⁽¹⁾

Graduando em Engenharia Sanitária e Ambiental pela Universidade Federal do Pará. Pesquisador no Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento – LENHS/UFPA.

Augusto da Gama Rêgo

Engenheiro Sanitarista, Mestre em Engenharia Civil e Doutorando em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia pela Universidade Federal do Pará. Membro do Grupo de Pesquisa Hidráulica e Saneamento (GPHS/UFPA).

José Almir Rodrigues Pereira

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

Raynner Menezes Lopes

Engenheiro Sanitarista e Ambiental e Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Pará (UFPA). Doutorando em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (IPH/UFRGS). Membro do Laboratório de Obras Hidráulicas do IPH/UFRGS.

Endereço⁽¹⁾: Quadra 08, 32 – Águas Lindas - Belém - PA - CEP: 66690490 - Brasil - Tel: (91) 980680443 - e-mail: danilooliveira@hotmail.com

RESUMO

As perdas de energia elétrica das companhias de saneamento ocorrem majoritariamente nas estações elevatórias, cerca de 90% do consumo total de energia elétrica nos sistemas de abastecimento de água, e originam-se principalmente por causa da baixa eficiência dos equipamentos eletromecânicos, por procedimentos operacionais inadequados e por falha na concepção dos projetos, como o dimensionamento incorreto das estações elevatórias e adutoras.

Assim, o presente trabalho busca avaliar o impacto causado no consumo de energia elétrica no bombeamento de água na Estação Elevatória de Água Tratada (EAT) que abastece o Campus Básico da Universidade Federal do Pará através da AAT do Campus Profissional-Básico, em função da mudança do tipo de material empregado, alterando-se os valores do coeficiente C, de rugosidade na fórmula de perda de carga de Hazen-Williams.

A pesquisa consistiu em Simular no EAT no Software EPANET 2.0 avaliando os relatórios de energia gerados pelo programa, para os diferentes cenários de coeficientes de rugosidade ($C = 120, 125, 130, 135$), a partir da análise de grandezas hidráulicas (vazão, altura manométrica) e elétricas (potência ativa), relacionando-as com o custo (R\$), a partir do uso de indicadores de consumo, o ICE – consumo de energia por volume bombeado (kWh/m^3) - e o ICEN – consumo de energia por volume bombeado normalizado. Verificou-se que o melhor material para ser usado seria uma tubulação de ferro fundido com revestimento de argamassa de cimento com mais ou menos 10 anos de uso, pois este último levaria o conjunto motor e bomba para o seu rendimento máximo e com o menor custo, logo seria o mais eficiente.

PALAVRAS-CHAVE: Adutora, Eficiência Hidroenergética, EPANET.

INTRODUÇÃO

A energia elétrica representa uma das maiores despesas para as empresas de saneamento e, no entanto, é possível reduzir a conta com a implantação de medidas de eficiência e otimização de processos (MOGAMI, 2013). Nesse contexto, Condurú e Pereira (2014) citam que eficiência energética consiste em utilizar processos

e equipamentos energeticamente mais eficientes, a fim de reduzir o desperdício na oferta e no uso de energia elétrica.

Segundo o Plano Nacional de Eficiência Energética existe um potencial de recuperação de energia elétrica equivalente a cerca de 45% do que é consumida por todo setor de saneamento, sendo essa percentagem ocasionada, principalmente, a partir de reduções das perdas reais de água e da altura manométrica (BRASIL, 2010), tendo em vista, que para cada parcela de água que se move pelo sistema de saneamento, há um custo de energia associado (KUSTERKO, 2009). No Brasil, os gastos com energia elétrica nas empresas de saneamento constituem o segundo item no orçamento das despesas de exploração (GOMES, 2009).

As perdas de energia elétrica das companhias de saneamento ocorrem majoritariamente nas estações elevatórias, sendo que nos sistemas de distribuição de água a energia consumida pelas elevatórias representa cerca de 90% do consumo total de energia elétrica do sistema (TSUTIYA, 2001), e originam-se principalmente por causa da baixa eficiência dos equipamentos eletromecânicos, de procedimentos operacionais inadequados e de falhas na concepção dos projetos (GOMES, 2009), explicitando a importância do correto dimensionamento das estações elevatórias, desde a escolha dos conjuntos motor e bomba até a seleção do melhor material das tubulações para a adução.

A eficiência energética na implantação ou reestruturação de projetos de abastecimento está intimamente ligada à informação e a interpretação das mesmas a fim de obter arcabouço técnico ótimo, alcançando assim os melhores resultados possíveis. Neste viés, ressalta-se a importância do diagnóstico de sistemas e do uso de indicadores de desempenho.

Para Gomes (2010), o diagnóstico do sistema está compreendido na busca de informação através da análise e coleta de dados em campo, este é usado para elaboração de intervenções necessárias para o aumento da eficiência, recomenda ainda a simulação do funcionamento hidráulico do abastecimento através de programas computacionais, destacando-se o uso do EPANET.

Alegre (2004) define um indicador de desempenho como uma medida quantitativa de um aspecto particular do desempenho da entidade gestora ou do seu nível de serviço. É um instrumento de apoio à monitorização da eficiência e da eficácia da entidade gestora, simplificando uma avaliação que de outro modo seria mais complexa e subjetiva.

Portanto, o presente trabalho busca a avaliar o impacto causado no consumo de energia elétrica no bombeamento de água na estação elevatória em função da variação do tipo de material empregado (rugosidade) na adutora de água tratada da cidade universitário Pro. José da Silveiro Netto.

OBJETIVO

Analisar a variação do consumo de energia elétrica no bombeamento da adutora de água tratada (AAT) da cidade universitário Pro. José da Silveiro Netto (universidade Federal do Pará, Belém-PA) em função da variação do tipo de material empregado (rugosidade).

MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada no sistema de abastecimento de água da Cidade Universitária José da Silveira Netto, campus Belém da Universidade Federal do Pará. Especificamente, na Adutora de Água Tratada (AAT-UFPA) que fornece água ao campus básico, a partir do bombeamento realizado pela Estação Elevatória de Água Tratada (EAT-UFPA) do campus profissional, conforme o mapa a seguir:



Figura 1: Cidade Universitária José da Silveira Neto em Belém-PA.

A pesquisa consistiu em simular no software EPANET 2.0 a Estação Elevatória de Água Tratada (EAT) que abastece o Campus Básico da Universidade Federal do Pará, através da AAT do Campus Profissional-Básico e foi desenvolvida de acordo com as seguintes etapas descritas no Fluxograma 1:

Fluxograma 1: Etapas da pesquisa.

Etapa 1: Dimensionamento da estação elevatória.

- Atividade 1.1: Determinação da curva do sistema hidráulica;
- Atividade 1.2: Seleção do conjunto motor e bomba;

Etapa 2: Modelagem e simulação do SAA no Epanet 2.0

- Atividade 2.1: Modelagem dos reservatórios apoiados; das instalações hidráulicas; do conjunto motor e bomba;
- Simulação da operação das unidades para as condições de coeficientes de rugosidade da adutora de 120; 125; 130; 135; 140.

Etapa 3: Análise dos resultados;

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

Etapa 1: Dimensionamento da estação elevatória.

- Atividade 1.1: Determinação da curva do sistema hidráulica;

A curva característica de uma instalação hidráulica foi obtida a partir da plotagem da relação entre valores de altura manométrica (H_{man}) obtidos em função da variação de valores de vazão (Q).

- Atividade 1.2: Seleção do conjunto motor e bomba;

O conjunto motor e bomba (CMB) da estação elevatória foi selecionado por meio da análise das curvas características fornecidas pelos fabricantes.

Etapa 2: Modelagem e simulação do SAA no EPANET 2.0

- Atividade 2.1: Modelagem das unidades de interesse

O primeiro passo foi modelar as unidades de interesse para a pesquisa, adicionando ao programa as informações referentes aos nós (Tabela 1), trechos (Tabela 2), além de serem informados dados como o preço do kWh de R\$ 0,40, vazão de 76,37 L/s, vale ressaltar que essas informações foram todas identificadas em visitas de campo prévias nas instalações físicas do SAA:

Tabela 1: Informações nos Nós.

Nó	Cota	Cota	Cota
1	0	15	3,9
8	4,38	24	3,95
9	4,4	22	4,15
2	0	23	4,26
16	4,45	26	4,64
21	4,22	27	4,46

Tabela 2: Informações nos trechos.

Trecho	Material	Fator C	Comprimento (m)	Diâmetro Nominal (mm)	Coefficiente de perda de carga singular
20	F°F°	130	5,27	150	4,6
21	Bomba	-	-	-	-
1	F°F°	130	1,7	125	5,5
22	PVC	135	15,86	200	0,5
23	PVC	135	10,32	200	-
24	PVC	135	237,52	200	-
25	PVC	135	10,66	200	-
26	PVC	135	40,51	200	-
27	PVC	135	20,47	200	-
28	PVC	135	86,11	200	-
29	PVC	135	223,65	200	-
30	PVC	135	42,93	200	-
31	PVC	135	331,44	200	-
32	PVC	135	160,13	200	-

Tabela 3: Informações sobre o sistema.

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
	Níple		Ferro galvanizado	2
	Ampliação	0,3	Ferro galvanizado	1
	Curva 45°	0,9	Ferro galvanizado	1
Recalque	Saída de canalização	1	PVC	1

- Atividade 2.2: Simulação da operação das unidades para as condições de coeficientes de rugosidade

Realizadas todas as etapas referentes à modelagem partiu-se para a realização da simulação da operação das unidades para as condições com variados valores de coeficiente de rugosidade ($C=120; 125; 130; 135$), mantendo-se constantes os valores de vazão 76,37 L/s e diâmetro de 200 mm

Etapa 3: Análise dos resultados.

Obtidos os resultados das simulações para os diferentes cenários de coeficientes de rugosidade, partiu-se para a sistematização em tabelas e gráficos e análise das informações. Foram analisados: o consumo de energia (kWh/m^3), a despesa com energia elétrica (R\$), o rendimento médio do CMB.

Por fim, foram analisados os seguintes indicadores de desempenho:

- a) Consumo Específico, cujo valor representa a energia elétrica necessária para bombear 1 m^3 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/m^3 ;

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

$V_{bomb.}$: volume bombeado, em m^3 .

- b) 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 $\text{kWh/m}^3 100/\text{mca}$;

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

$V_{bomb.}$: volume bombeado, em m^3 .

$H_{man.}$: altura manométrica, em mca.

RESULTADOS

No dimensionamento do sistema de bombeamento, foi calculado para a vazão 42,5 L/s a altura manométrica 7,53 m, sendo então selecionada a bomba selecionada KSB 80-160 de 1750 rpm, com diâmetro de rotor de 166/149, cujas curvas características de " $Q \times H_{man}$ " e " $Q \times \eta$ " podem ser visualizadas na Figura w:

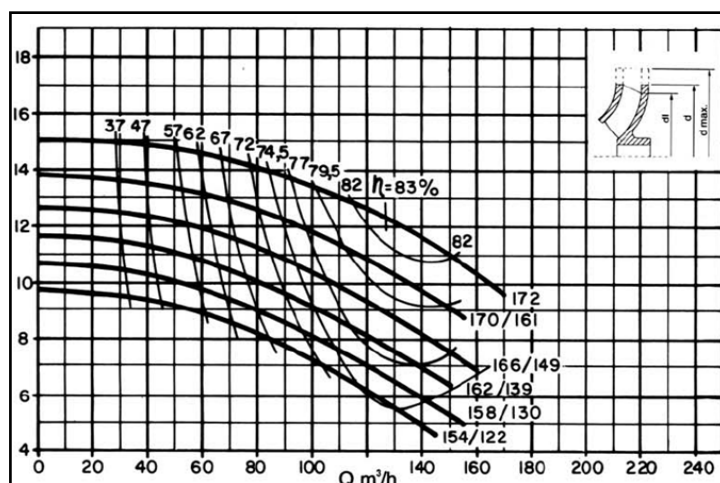


Figura 2: Curva da bomba selecionada KSB 80-160 de 1750 rpm.

A operação da adutora foi simulada para todos os valores de C especificados na metodologia, variação nos valores de pressão em cada ponto da unidade pode ser visualizada na Figura . Observa-se que as menores pressões foram identificadas para C = 135 e as maiores pressões para o C = 120. Assim, cada operação para cada coeficiente de rugosidade irá possibilitar o relacionamento de dados de consumo de energia elétrica e de volumes de água bombeados na estação elevatória.

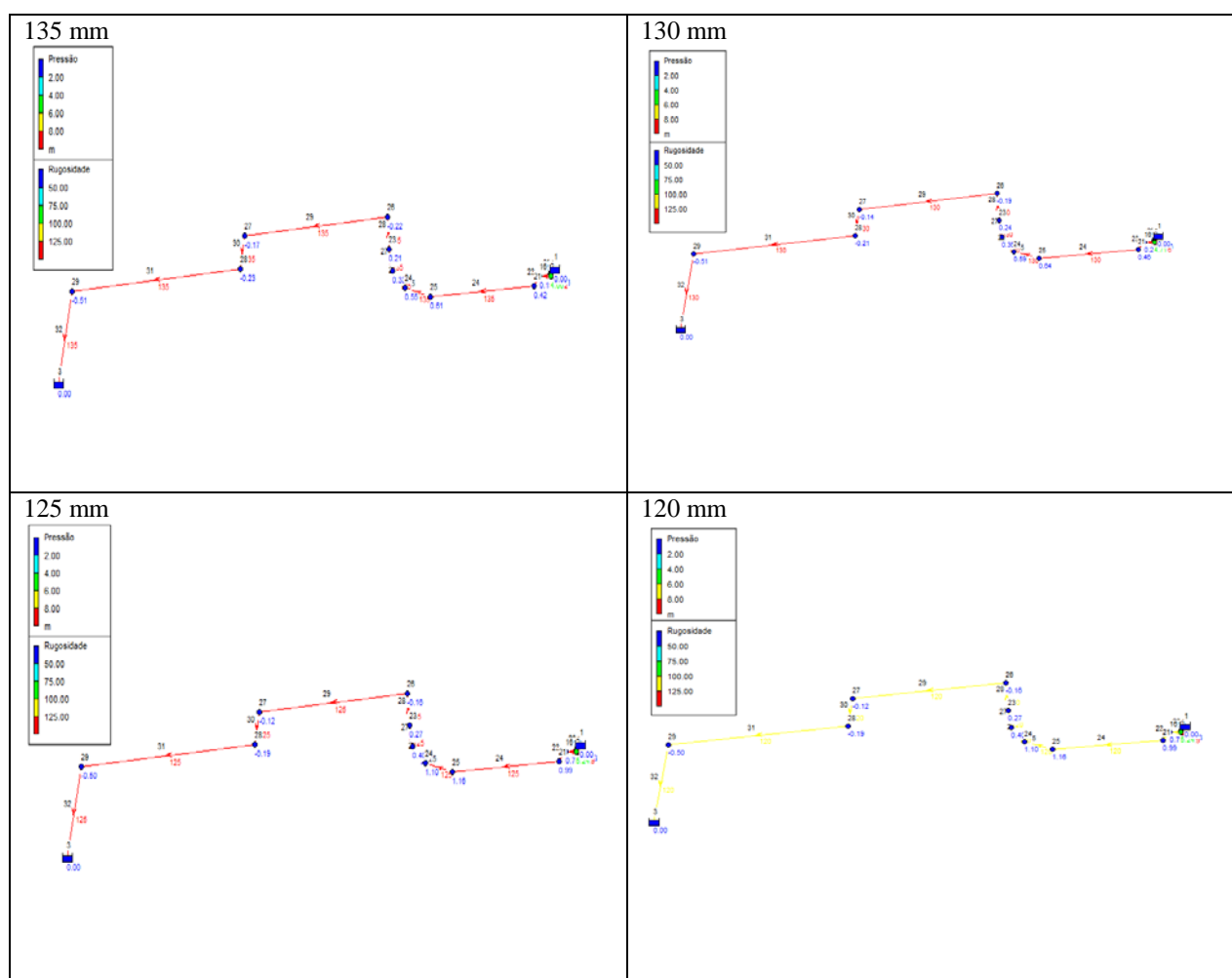


Figura 3: Modelagem usada na simulação da adutora de água tratada.

Sendo a simulação para a adutora de 200 mm de diâmetro com a condição inicial (C=135) bem sucedida, alteraram-se os valores de coeficiente de rugosidade. Em seguida, foram gerados no EPANET 2.0 os relatórios de consumo de energia para todos cenários com rugosidades de 120, 125, 130. Os dados referentes ao consumo de energia elétrica são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4: Dados de energia de acordo com a variação do material.

Material		Coefficiente de Rugosidade	ICE (kWh/m ³)	Despesa (R\$/dia)
Ferro fundido	Mais de 20 anos	120	0,3	345,73
Aço galvanizado	Novos	125	0,3	345,92
Ferro fundido	Mais de 10 anos	130	0,3	346,1
PVC	Mais de 10 anos	135	0,3	346,27

A partir dos dados da Tabela 4, foram gerados gráficos para avaliar o comportamento de determinadas variáveis em função das alterações dos valores coeficiente de Hazen Willians. No Gráfico 1, é mostrado o rendimento médio (%) em função da rugosidade.

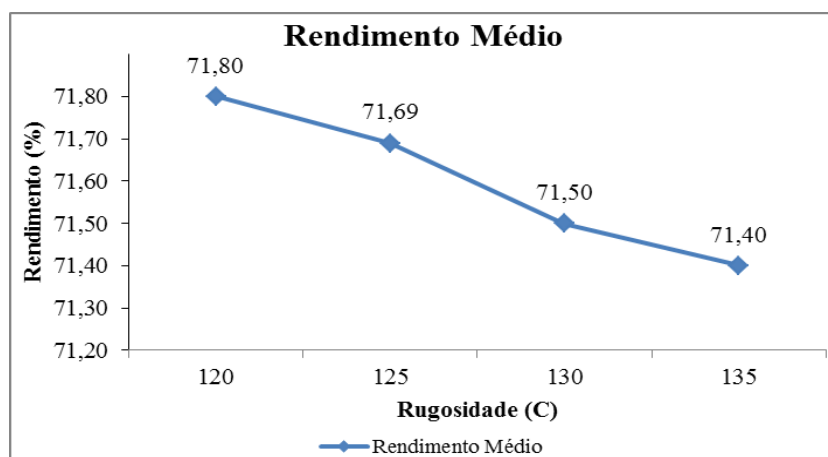


Figura 4: Rendimento médio em função da rugosidade.

O gráfico 2, traz o comportamento do indicador de consumo de energia por volume bombeado (kWh/m³). Observa-se que há uma relação de inversa proporcionalidade entre os valores do rendimento médio e do coeficiente de rugosidade, haja vista, que o primeiro diminuiu conforme o segundo aumenta. O rendimento é máximo ($\eta = 71,80\%$) para o mínimo de rugosidade ($C = 120$) e o inverso também é verdadeiro.

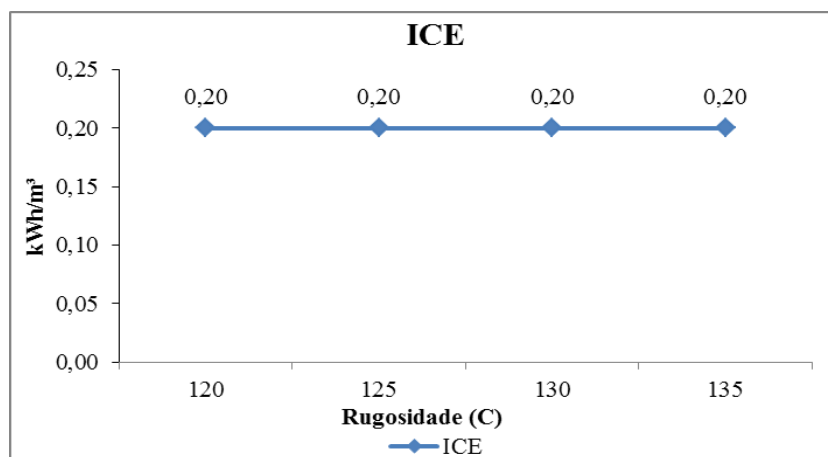


Figura 5: kWh/m³ em função da rugosidade.

Nota-se que o consumo (kWh/m^3) reduziu com o aumento do coeficiente de rugosidade. Os valores variaram a nível centesimal, então por conta de arredondamentos dos softwares utilizados não fica visível esta variação, a não ser o valor mínimo de $0,20 \text{ kWh/m}^3$ para o máximo valor de rugosidade 140.

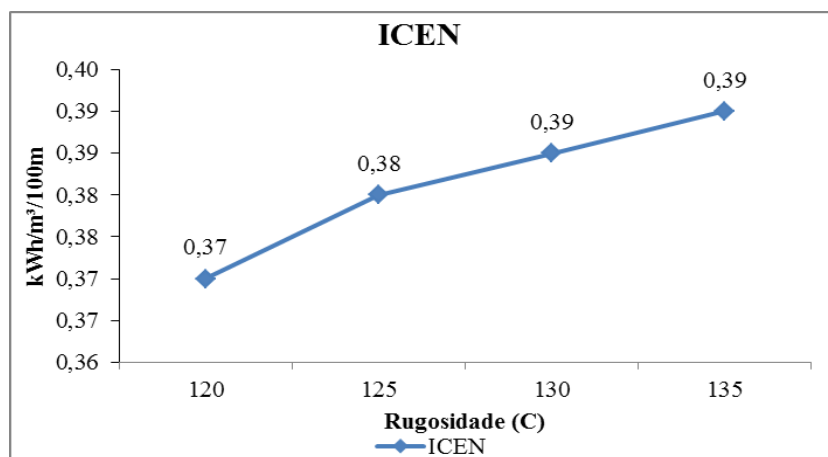


Figura 6: $\text{kWh/m}^3/100\text{m}$ em função da rugosidade.

A curva do ICEN apresentou comportamento crescente proporcionalmente ao aumento do fator C de rugosidade. Apresentou um pico de máximo ($0,39 \text{ kWh/m}^3/100\text{m}$) para um coeficiente de rugosidade máximo utilizado de 135.

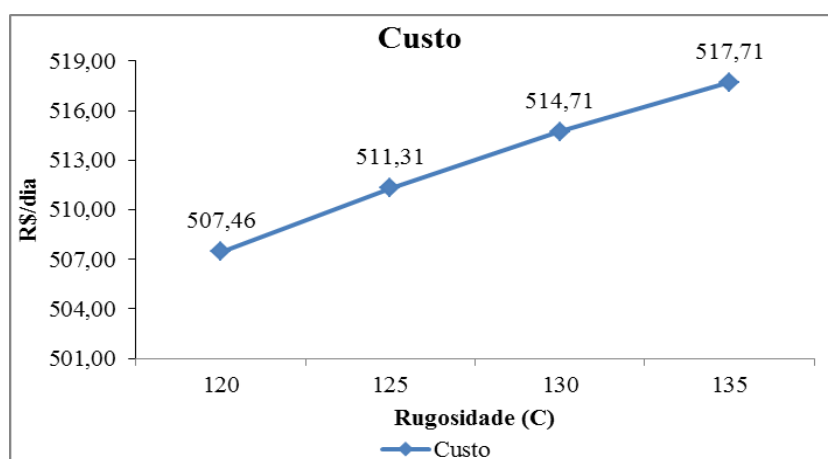


Figura 7: Custo (R\$/dia) em função da rugosidade.

A curva gerada mostra que o custo (R\$/dia) é proporcional ao aumento do coeficiente de rugosidade. Sendo o custo mínimo R\$ 507,46 relacionado ao menor valor de rugosidade 120, por conseguinte o custo diário máximo R\$ 520,35 para o maior valor de rugosidade 140. O custo diário médio R\$ 514,31 estaria na faixa de rugosidade de 130.

A análise dos gráficos nos mostra comportamentos para diferentes variáveis. O importante de se observar é que em todos os parâmetros houve uma variação de resposta à variação do coeficiente. Nos casos do Rendimento médio e do kWh/m^3 , houve uma inversa proporcionalidade. Enquanto que o custo reagiu de maneira proporcional.

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos com a presente pesquisa mostraram a importância do software EPANET 2.0 para diagnósticos de sistemas de abastecimento de água, assim como para elaboração de projetos de engenharia eficientes.

Demonstrou ainda, a importância da correta concepção de projetos, explicitando a relevância do correto dimensionamento das estações elevatórias, desde a escolha dos conjuntos motor e bomba até a seleção do melhor material das tubulações para as adutoras, a fim de obterem-se os maiores níveis de eficiência hidroenergética, consequentemente os menores custos.

O uso dos indicadores de desempenho apresentou-se eficaz na avaliação de consumo energético, sendo o ICEN mais indicado para alterações nos valores de coeficientes de rugosidade (C), haja vista que o mesmo é mais sensível a pequenas variações por englobar uma variável a mais que o ICE, a altura manométrica.

A análise dos resultados nos permite inferir, que apesar do indicador de consumo de energia (kWh/m³) diminuir com o aumento do valor de rugosidade, o custo (R\$/dia) aumentou, este comportamento é explicado pela curva de rendimento médio, tendo em vista que o rendimento é maior ($\eta = 71,80 \%$) para um menor valor de rugosidade ($C = 120$).

Demonstrou-se que a atual situação da adutora com rugosidade de 135 (PVC com 10 anos de uso) afasta o rendimento do conjunto motor e bomba do seu ponto de operação de maior eficiência. Sendo assim, o melhor material para ser usado seria uma tubulação de ferro fundido com revestimento de argamassa de cimento com mais ou menos 10 anos de uso ($C = 120$), pois este último levaria o conjunto motor e bomba para o seu rendimento máximo ($\eta = 71,80 \%$) e com o menor custo diário (R\$ 507,46), logo seria o mais eficiente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético. Plano Nacional De Eficiência Energética. Brasília, 2010.
2. GOMES, Heber Pimentel. Sistemas de bombeamento – Eficiência Energética. 1 ed. Editora Universitária: UFPB, 2009.
3. _____. Sistemas de saneamento – Eficiência Energética. 1 ed. Editora Universitária: UFPB, 2009.
4. KUSTERKO, S. K. Uso de indicadores de desempenho como auxílio nos estudos de eficiência energética em sistemas de abastecimento de água. . Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, SC, 2009.
5. MOGAMI, Sandra. Revista Hydro. Edição 74, Outubro de 2013.
6. NETTO, José Martiniano de Azevedo. Manual de Hidráulica. 8ª edição, São Paulo: Edgard Bluncher, 1998, p. 270.
7. PEREIRA, José Almir R. Abastecimento de água: informação para eficiência hidroenergética. João Pessoa: Editora Universitária – UFPB, 2014.