



CUSTO ENERGÉTICO DA PERDA DE CARGA EM ADUTORAS DE ÁGUA BRUTA

Humberto Henrique de Almeida¹, Olavo Antônio de Oliveira Reis², Agaone Donizete Silva², Diego Almeida de Oliveira³, Alan Kardec Candido dos Reis², Emerson Carlos Guimarães²

¹Discente da Universidade do Estado de Minas Gerais - UEMG, Ituiutaba, Brasil
(h2almeida@gmail.com)

²Docente da Universidade do Estado de Minas Gerais - UEMG, Ituiutaba, Brasil

³Bacharel em Engenharia Elétrica. Universidade do Estado de Minas Gerais - UEMG,
Ituiutaba, Brasil

Resumo: O trabalho demonstra o cálculo da perda de carga nas duas linhas adutoras de água bruta do Sistema de Abastecimento de Água (SAA) da cidade de Ituiutaba-MG, fazendo um comparativo da vazão bombeada com a perda de carga ocasionada nas vazões propostas. Foram considerados três diâmetros distintos: DN400, DN450 e DN500. A partir do cálculo das potências hidráulicas, mecânicas e elétricas, foi feita a quantificação das perdas de carga em cada um dos diâmetros em estudo.

Palavras-chave: Adutora; Água bruta; Perda de carga; Eficiência energética.

INTRODUÇÃO

A água tratada utilizada nas residências, comércios e indústrias passa por um longo percurso, desde a captação, as etapas de tratamento (adução, coagulação, floculação, decantação, filtração, desinfecção, fluoretação e correção do PH) e a distribuição. O processo de tratamento da água é fundamental para garantir a saúde da população, uma vez que a água dos mananciais pode estar contaminada por vírus, bactérias e impurezas, capazes de disseminar inúmeras doenças.

A adução é o processo que transporta a água captada nos mananciais, sejam eles rios, lagos ou fontes subterrâneas de água doce, até as estações de tratamento. As adutoras conduzem a água bruta (água sem receber nenhum tipo de tratamento) ao longo de grandes distâncias, garantindo o abastecimento de regiões distantes dos mananciais (Mistura Equipamentos Hidráulicos, 2024; ÁguaBrasil, 2024).

Este trabalho pretende mensurar a quantidade de energia perdida no processo de adução de água bruta no município de Ituiutaba-MG, especificamente quanto a perdas de cargas, através do levantamento de dados em campo, modelagem hidráulica e avaliação da eficiência do sistema nas diversas opções de operação, para subsidiar uma conclusão sobre possíveis oportunidades de melhoria.

MATERIAL E MÉTODOS

Para a mensuração e quantificação da perda de carga foi adotado o critério comparativo e adoção de um

diâmetro superior de tubulação comparado aos diâmetros existentes.

Levantamento de Dados

Fluxograma do Processo da Captação de Água Bruta

A Figura 1 apresenta o fluxograma do processo da captação de água bruta.



Figura 1. Fluxograma do Processo da Captação de Água Bruta.

Perfil Esquemático das Aduções

A Figura 2 apresenta o perfil esquemático das adutoras.

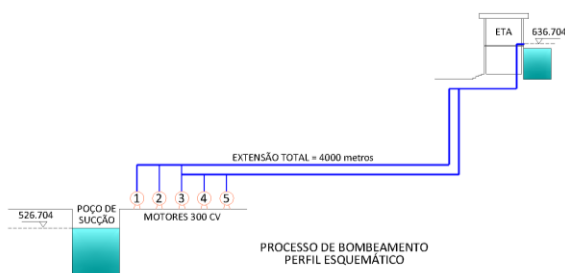


Figura 2. Perfil Esquemático das adutoras.

Resumo dos Procedimentos

O método utilizado para cálculo da perda de carga adotado passou por 5 pré-etapas:

- Levantamento dos componentes da sucção
- Identificação do conjunto elevatório (tipo de bomba e motor)
- Levantamento dos componentes da adução

- Levantamento das extensões e diâmetros dos trechos das tubulações

- Levantamento do material das tubulações das adutoras

- Levantamento das cotas altimétricas: nível da água no poço de sucção, nível do conjunto MB e desnível geométrico até o ponto de lançamento na ETA

- Por se tratar de água de transporte de líquido sob pressão, o regime de escoamento é turbulento.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Objeto do estudo de caso

O processo de captação e adução de água bruta inicia-se no Rio Tijuco a partir do qual há uma transposição para o Ribeirão São Lourenço. O escopo deste trabalho inicia-se no Ribeirão São Lourenço, por questão de objetividade, uma vez que, todo o volume de água bruta aduzido para a ETA passa necessariamente pela captação do Ribeirão São Lourenço.



Figura 3. Barragem de nível no Ribeirão São Lourenço e caixas de retenção de areia.

Existem duas Estações Elevatórias de Água Bruta (EEAB), uma delas com 3 conjuntos MB e a outra com dois conjuntos. Todos os conjuntos MB são da marca KSB, modelo WKL 150/3, com motores individualizados de 300 CV. Normalmente ficam em funcionamento quatro conjuntos elevatórios, no entanto, em situações de alta demanda no consumo de água pela população há a necessidade de acionamento do quinto conjunto elevatório. A partir das estações elevatórias a água é bombeada para a ETA através de duas linhas adutoras, sendo uma DN400 mm e a outra DN450mm, ambas em ferro fundido dúctil, com extensão aproximada de 4.000 metros.

Resultado do cálculo das perdas de carga

Cenário 1

Perdas localizadas calculadas com base no comprimento equivalente. ** Diâmetro do tubo

Tabela 1. Perdas localizadas.

Peça especial	Le
Cotovelo de 90°	45 x D**
Cotovelo de 45°	20 x D
Curva de 90°	30 x D
Curva de 45°	15 x D
Entrada de bord	35 x D
Registro tipo globo aberto	350 x D
Saída de canalização	35 x D
Tê, passagem direta	20 x D
Tê, saída lateral	65 x D
Válvula de pé com crivo	250 x D
Válvula de retenção	100 x D

Invariável nos três cenários.

Perdas lineares

Desnível geométrico (metros)			111,00 metros	
L (metros)	Q (l/s)	C*	D (metros)	Perdas contínuas (mca)
4000	0	105	0,40	0
4000	20	105	0,40	0,485628733
4000	40	105	0,40	1,750692483
4000	60	105	0,40	3,706625389
4000	80	105	0,40	6,31124964
4000	100	105	0,40	9,536716731
4000	120	105	0,40	13,36239139
4000	140	105	0,40	17,77197726
4000	160	105	0,40	22,75206663
4000	180	105	0,40	28,29130739
4000	200	105	0,40	34,37988146
4000	220	105	0,40	41,00915706
4000	240	105	0,40	48,17144568
4000	260	105	0,40	55,85982576
4000	285	105	0,40	66,20059213

C* = 105 Tubulação com mais de 20 anos

Figura 4. Perda de carga com tubulação DN400mm.

Cenário 2

Perdas localizadas calculadas com base no comprimento equivalente

Invariável nos três cenários.

Perdas lineares

Desnível geométrico (metros)			111,00 metros	
L (metros)	Q (l/s)	C*	D (metros)	Perdas contínuas (mca)
4000	0	105	0,45	0
4000	20	105	0,45	0,273647567
4000	40	105	0,45	0,986499984
4000	60	105	0,45	2,088651162
4000	80	105	0,45	3,556334268
4000	100	105	0,45	5,373856915
4000	120	105	0,45	7,529591303
4000	140	105	0,45	10,01435458
4000	160	105	0,45	12,82059162
4000	180	105	0,45	15,9419056
4000	200	105	0,45	19,37276412
4000	220	105	0,45	23,10830325
4000	240	105	0,45	27,14419058
4000	260	105	0,45	31,47652587
4000	285	105	0,45	37,30345776

C* = 105 Tubulação com mais de 20 anos

Figura 5. Perda de carga com tubulação DN450mm.

Cenário 3

Perdas localizadas calculadas com base no comprimento equivalente

Invariável nos três cenários.

Perdas lineares

Desnível geométrico (metros)			111,00 metros	
L (metros)	Q (l/s)	C*	D (metros)	Perdas contínuas (mca)
4000	0	105	0,50	0
4000	20	105	0,50	0,163814602
4000	40	105	0,50	0,390551944
4000	60	105	0,50	1,250336568
4000	80	105	0,50	2,128940851
4000	100	105	0,50	3,216970805
4000	120	105	0,50	4,50746564
4000	140	105	0,50	5,994928195
4000	160	105	0,50	7,674835709
4000	180	105	0,50	9,54335884
4000	200	105	0,50	11,59718571
4000	220	105	0,50	13,8340459
4000	240	105	0,50	16,24943197
4000	260	105	0,50	18,84290304
4000	285	105	0,50	22,33109971

C* = 105 Tubulação com mais de 20 anos

Figura 6. Perda de carga com tubulação DN500mm.

Comparativo das perdas de carga do sistema

Utilizando-se da Fórmula de Hazen Williams foi construída a Tabela da Figura 23 que apresenta um comparativo da perda de carga de cada um dos tubos (400mm, 450mm e 500mm), para diferentes vazões (l/s).

Q (l/s)	Tubo Ø 400mm	Tubo Ø 450mm	Tubo Ø 500mm
0	111,00	111,00	111,00
20	111,49	111,27	111,16
40	112,75	111,99	111,59
60	114,71	113,09	112,25
80	117,31	114,56	113,13
100	120,54	116,37	114,22
120	124,36	118,53	115,51
140	128,77	121,01	116,99
160	133,75	123,82	118,67
180	139,29	126,94	120,54
200	145,38	130,37	122,60
220	152,01	134,11	124,83
240	159,17	138,14	127,25
260	166,86	142,48	129,84
285	177,20	148,30	133,33

Fonte: O autor 2024

Figura 7. Comparativo das perdas de carga.

Gráfico comparativo das perdas

O gráfico da Figura 24 apresenta as perdas contínuas do sistema, de cada um dos tubos (400mm, 450mm e 500mm), em função da altura manométrica (mca) e da vazão (l/s).

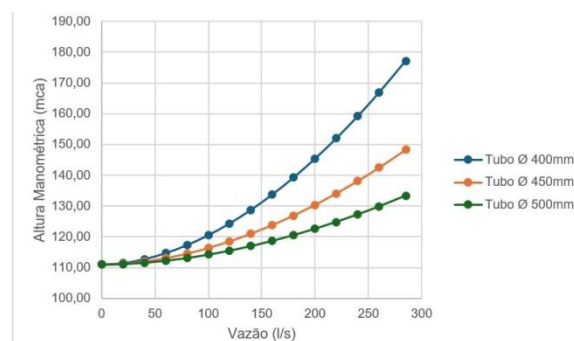


Figura 8. Curva do Sistema (perdas contínuas).

Consumo de energia x volume bombeado

A Figura 9 apresenta o consumo de energia pelo volume bombeado nos meses de Janeiro a Outubro de 2024, apresentando o consumo em kWh e em R\$, o volume tratado na ETA (m³), o consumo por m³ tratado e o custo por m³ tratado.



Mês	Consumo (kWh)	Consumo (R\$)	Volume Tratado na ETA (m³)	Consumo por m³ Tratado na ETA (kWh/m³)	Custo por m³ Tratado na ETA (R\$/m³)
Janeiro	546000	469.072,33	1.038.635,35	0,53	0,45
Fevereiro	511000	433.489,18	972.100,26	0,53	0,45
Março	567000	455.982,18	1.061.060,56	0,53	0,45
Abril	555100	471.812,35	1.050.500,56	0,53	0,45
Maio	567000	479.992,31	1.065.640,56	0,53	0,45
Junho	565600	488.415,62	1.046.394,00	0,54	0,47
Julho	576800	525.233,43	1.110.434,40	0,52	0,47
Agosto	621600	537.318,02	1.171.342,96	0,53	0,46
Setembro	589400	544.951,87	1.113.343,20	0,53	0,49
Outubro	557900	547.332,62	1.090.604,44	0,51	0,50

Figura 9. Consumo de energia x volume bombeado.

Cálculo da energia elétrica gasta com a perda de carga

Cenário 1

Desnível geométrico (H_g) : 111,00 metros

Altura manométrica total: $H = H_g + H_n = 177,20$ metros

Diâmetro da tubulação: 400mm

Vazão considerada: 285 l/s (0,285 m³/s)

1. Cálculo da potência dissipada pela bomba, em kW:

$$P_{hid} = 9,8 \times Q \times \gamma \times H$$

Onde:

P_{hid} = Potência requerida pela bomba centrífuga (kW)

Q = Vazão (m³/s)

γ = Peso específico do líquido (kg/dm³)

H = Altura de elevação (m)

$$\begin{aligned} P_{hid} &= 9,8 \times Q \times \gamma \times H \\ &= 9,8 \times 0,285 \times 1 \times 177,20 \\ &= 495,43 \text{ kW} \end{aligned}$$

2. Cálculo da potência mecânica do conjunto MB:

$$P_{mb} = \frac{9,8 \times Q \times \gamma \times H}{\eta}$$

Onde:

P_{mb} = Potência requerida pelo conjunto MB (kW)

Q = Vazão (m³/s)

γ = Peso específico do líquido (kg/dm³)

H = Altura de elevação (m)

η = Eficiência da bomba (%)

$$\begin{aligned} P_{mb} &= \frac{9,8 \times Q \times \gamma \times H}{\eta} = \frac{495,43 \text{ kW}}{0,60} \\ &= 825,72 \text{ kW} \end{aligned}$$

3. Cálculo da potência elétrica consumida pelo motor:

$$P_{tot} = \frac{P_{mb}}{\eta_{mb}}$$

Onde:

P_{tot} = Potência consumida pelo motor (kW)

P_{mb} = Potência requerida pelo conjunto MB (kW)

η = Eficiência do motor (adimensional)

$$P_{tot} = \frac{P_{mb}}{\eta_{mb}} = \frac{825,72}{0,90} = 917,46 \text{ kW}$$

4. Cálculo da energia gasta em 24 horas:

$$E = 917,46 \times 24 = 22.019,04 \text{ kWh/dia}$$

5. Cálculo da energia gasta no ano:

$$E = 22.019,04 \times 365 = 8.036.949,60 \text{ kWh/ano}$$

6. Valor a ser pago no ano:

$$8.036.949,60 \times 0,46 = \text{R\$ } 3.696.996,81$$

Cenário 2

Desnível geométrico (H_g) : 111,00 metros

Altura manométrica total: $H = H_g + H_n = 148,30$ metros

Diâmetro da tubulação: 450mm

Vazão considerada: 285 l/s (0,285 m³/s)

1. Cálculo da potência dissipada pela bomba, em kW:

$$\begin{aligned} P_{hid} &= 9,8 \times Q \times \gamma \times H \\ &= 9,8 \times 0,285 \times 1 \times 148,30 \\ &= 414,62 \text{ kW} \end{aligned}$$

2. Cálculo da potência mecânica do conjunto MB:

$$P_{mb} = \frac{9,8 \times Q \times \gamma \times H}{\eta} = \frac{414,62}{0,60} = 691,03 \text{ kW}$$

3. Cálculo da potência elétrica consumida pelo MIT:

$$P_{tot} = \frac{P_{mb}}{\eta_{mb}} = \frac{691,03}{0,90} = 767,81 \text{ kW}$$

4. Cálculo da energia gasta em 24 horas:

$$E = 767,81 \times 24 = 18.427,40 \text{ kWh/dia}$$

5. Cálculo da energia gasta no ano:

$$E = 18.427,40 \times 365 = 6.726.020,00 \text{ kWh/ano}$$

6. Valor a ser gasto no ano:

$$6.726.020,00 \times 0,46 = \text{R\$ } 3.093.970,00$$

Cenário 3

Desnível geométrico (H_g) : 111,00 metros

Altura manométrica total: $H = H_g + H_n = 133,33$ metros

Diâmetro da tubulação: 500mm

Vazão considerada: 285 l/s (0,285 m³/s)

1. Cálculo da potência dissipada pela bomba, em Kw:

$$P_{hid} = 9,8 \times Q \times \gamma \times H$$

$$= 9,8 \times 0,285 \times 1 \times 133,33$$

$$= 372,77 \text{ kW}$$

2. Cálculo da potência mecânica do conjunto MB:

$$P_{mb} = \frac{9,8 \times Q \times \gamma \times H}{\eta} = \frac{372,77}{0,60} = 621,28 \text{ kW}$$

3. Cálculo da potência elétrica consumida pelo motor:

$$P_{tot} = \frac{P_{mb}}{\eta_{mb}} = \frac{621,28}{0,90} = 690,31 \text{ kW}$$

4. Cálculo da energia gasta em 24 horas:

$$E = 690,31 \times 24 = 16.567,44 \text{ kWh/dia}$$

5. Cálculo da energia gasta no ano:

$$E = 16.567,44 \times 365 = 6.047.115,60 \text{ kWh/ano}$$

6. Valor a ser pago no ano:

$$6.047.115,60 \times 0,46 = \text{R\$ } 2.781.673,17$$

Modelagem hidráulica

A Figura 26 apresenta a modelagem hidráulica do sistema estudado no EPANET, desde a captação do Ribeirão São Lourenço, a adutora de água bruta e a estação de tratamento de água.

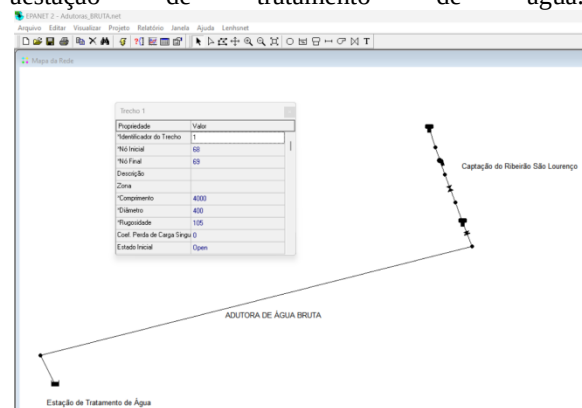


Figura 10. Modelagem hidráulica do sistema no EPANET.

Resultados

O gasto anual com a perda de carga no Cenário 1 em estudo é de R\$ 915.323,64 (3.696.996,81 - 2.781.673,17).

O gasto anual com a perda de carga no Cenário 2 em estudo é de R\$ 312.297,00 (3.093.970,00 - 2.781.673,17).

A adutora DN400mm é inviável sob o ponto de vista financeiro e energético, para o transporte da vazão de

285 l/s. O diâmetro mínimo ideal para transportar a vazão pretendida é DN500mm.

CONCLUSÃO

Os conjuntos MB que operam com mais frequência bombeando para a adutora DN400mm, está sofrendo uma sobrecarga maior durante a operação, o que pode determinar um desgaste maior e exigir manutenções mais frequentes.

Trabalhos posteriores podem aprofundar na possibilidade e viabilidade de execução de uma nova adutora pelo método não destrutivo (MND), visto que o trecho das adutoras em área urbana está implantado em ruas pavimentadas e dotadas de redes de drenagem pluvial, o que dificulta sobremaneira a execução de uma nova adutora.

Outra possibilidade é o estudo para revitalização da tubulação através de métodos já consagrados, como “polipig”.

Embora seja importante o aumento na disponibilidade de água tratada, não se pode prescindir da melhor de todas as opções que é a redução de perdas no SAA, em cada uma das fases do processo: adução, tratamento, reservação e distribuição.

REFERÊNCIAS

- ÁguaBrasil. Glossário Saneamento e Meio Ambiente. Disponível em: <https://www.aguabrasil.icict.fiocruz.br/index.php?pag=sane>. Acesso em: 16 dez. 2024.
- Mixtura. Etapas do Sistema de Abastecimento de Água. Mixtura Equipamentos Hidráulicos. Disponível em: <https://mixtura.ind.br/etapas-do-sistema-de-abastecimento-de-agua/>. Acesso em: 10 dez. 2024.
- Sae. Captação do Rio Tijuco. Superintendência de Água e Esgotos de Ituiutaba, 2019a. Disponível em: <https://www.sae.com.br/agua/captacao/tijuco>. Acesso em: 05 dez. 2024.
- Sae. Estação de Tratamento de Água. Superintendência de Água e Esgotos de Ituiutaba. Disponível em: <https://www.sae.com.br/agua/eta>. Acesso em: 16 nov. 2024.
- Sae. Fluxograma do Tratamento de Água. Superintendência de Água e Esgotos de Ituiutaba, 2019b. Disponível em: <https://www.sae.com.br/agua/fluxograma>. Acesso em: 20 nov. 2024.