

II-1204 – APLICATIVO COMPUTACIONAL PARA DIMENSIONAMENTO DE ESTAÇÕES ELEVATÓRIAS DE ESGOTO SANITÁRIO

Maria Mércia Lopes Barros ⁽¹⁾

Graduando em Engenharia Civil pela Universidade Estadual Vale do Acaraú. Bolsista voluntário do programa PROVIC/CNPq.

Luiz Felipe Rocha Araújo ⁽²⁾

Graduando em Engenharia Civil pela Universidade Estadual Vale do Acaraú. Bolsista voluntário do programa PROVIC/CNPq.

Carlos Vinícius de Carvalho Silva ⁽³⁾

Engenheiro Civil. Assistente Técnico de Cadastro e Georreferenciamento do Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Sobral

Gustavo Paiva Weyne Rodrigues ⁽⁴⁾

Engenheiro Civil. Diretor-Presidente do Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Sobral. Professor Adjunto da Universidade Estadual Vale do Acaraú (UVA).

Endereço⁽¹⁾:

Rua Antônio Domingos da Silva ,183 – Junco – Sobral – CE – CEP: 62030-280 – Brasil – Tel: (88) 99342-8532 – Email: merciall27@gmail.com.

RESUMO

De acordo com a pesquisa realizada pelo Instituto Trata Brasil (2020), 45% dos moradores não possuem coleta de esgoto devido a problemas sociais e principalmente operacionais. Nesse contexto, são necessários maiores investimentos no desenvolvimento de projetos dos elementos que fazem parte de uma rede de esgoto, como as Estações Elevatórias de Esgoto (EEE), sendo auxiliado por programas de computadores para se obter resultados menos propensos a erros e de forma mais ágil. Com o objetivo de auxiliar na tomada de decisão sobre a viabilidade da implementação de uma EEE, bem como definir com precisão as respectivas especificidades, foi elaborado um aplicativo computacional no ambiente Windows que realiza o dimensionamento de uma estação elevatória de esgoto, desenvolvido na linguagem de programação C# e com a ferramenta Windows Forms. A aplicação dimensiona o poço de sucção, a bomba, a tubulação de recalque e de sucção, e analisa o sistema quanto ao golpe de aríete e a cavitação. O programa teve os resultados validados a partir de dados de dois estudos de caso disponíveis na literatura especializada com um percentual de erro mínimo, alcançando os requisitos técnicos no menor tempo possível.

PALAVRAS-CHAVE: Dimensionamento, Esgoto sanitário, Estação elevatória de esgoto.

INTRODUÇÃO

De acordo com a pesquisa realizada pelo Instituto Trata Brasil (2020), 45% dos moradores não possuem coleta de esgoto, ou seja, quase metade da população brasileira carece de um sistema de esgoto sanitário. Ainda de acordo com o referido Instituto, um dos motivos que provoca a escassez desse setor está na operação dos projetos de engenharia, haja vista que são desatualizados, imprecisos e estruturados inadequadamente.

Entre as problemáticas que afetam a construção de um sistema de esgoto, revelam-se as dificuldades em relação à topografia do terreno. A depender da topografia pode ser necessária a construção de estações elevatórias de esgoto (EEE) que, segundo ABNT (1992), é a instalação destinada ao transporte de esgoto do nível do poço de sucção das bombas ao nível de descarga na saída do recalque. A função principal destes equipamentos é garantir energia hidráulica suficiente para facilitar a passagem do esgoto em regiões com desníveis que desafiam a gravidade, em terrenos planos extensos e na reversão de esgoto de uma bacia para outra.

O dimensionamento de uma EEE requer tempo e atenção devido aos cálculos excessivos em cada uma das etapas, deste modo, com o objetivo de auxiliar na tomada de decisão sobre a viabilidade da implantação, bem como definir com precisão as respectivas especificidades, que realizadas de forma manual podem levar a possíveis erros, torna-se necessário o uso de novas metodologias.

A pesquisa refere-se a um aplicativo computacional denominado *ProjETE* que dimensiona de forma didática todos os componentes de uma EEE: poço de sucção, tubulações e bomba, além disso, faz uma análise geral sobre a possível ocorrência dos fenômenos de cavitação e golpe de arfete.

Para comprovação dos resultados, foram escolhidos dois estudos de casos oriundos das literaturas de Mendonça e Mendonça (2016) e Alem Sobrinho e Tsutiya (2000).

MATERIAIS E MÉTODOS

O aplicativo computacional foi desenvolvido na linguagem de computação C# com o auxílio da IDE (Integrated Development Environment) do Microsoft Visual Studio, em que foi possível dar uma interface ao projeto. A aplicação divide-se em 5 formulários para que sejam preenchidos os dados de entrada e, em seguida, realiza uma verificação das informações inseridas. No fim do dimensionamento, o aplicativo gera um memorial de cálculo no formato PDF (Portable Document Format).

O programa segue um fluxo sequencial, como pode ser visualizado na figura 1.

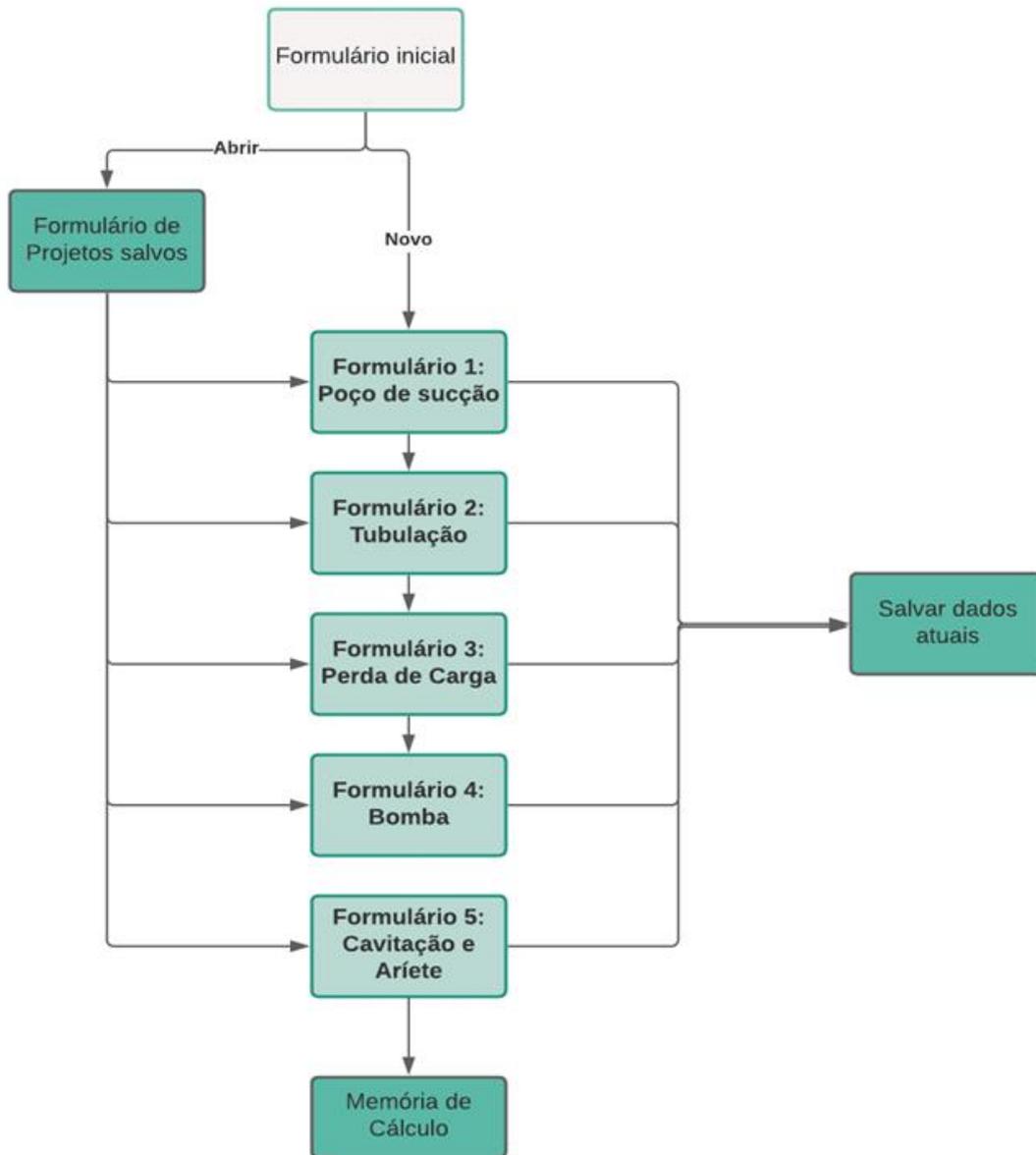


Figura 1: Fluxograma do aplicativo proposto

FORMULÁRIO 1: POÇO DE SUCCÃO

A partir dos dados de entrada preenchidos, o aplicativo dimensiona algumas características básicas como volume útil, total e efetivo, o tempo de detenção por meio das equações 1, 2, 3 e 4 respectivamente.

a) **Volume Útil**

O volume mínimo, ou volume útil, é definido em função da capacidade da bomba do sistema, sendo o volume entre o nível mínimo e máximo do poço, descrito na equação 1.

$$V_u = 2,5 \times Q_{rec} \tag{1}$$

Em que:

Q_{rec} = vazão de recalque, caso o usuário decida não utilizar, pode ser substituída pela vazão máxima.

b) **Volume Total**

O volume total é a faixa operacional das bombas, dado pela equação 2.

$$V_{total} = Área \times H_{faixa-operacional} \quad (2)$$

c) Volume Efetivo

Mendonça e Mendonça (2016) citam que o volume efetivo é o estabelecido entre o nível médio até o fundo do poço. É representada através da equação 3

$$V_{efetivo} = Área \times H_{NA_{méd-fundo}} \quad (3)$$

d) Tempo de detenção

Segundo Crespo (2001), o tempo de detenção é calculado com o objetivo de evitar uma permanência do esgoto por um grande intervalo de tempo no poço, com o intuito de dificultar a deposição de sólidos, a septicidade do material e a emanção de odores fétidos, descrita na equação 4.

$$T_{det} = \frac{V_{efetivo}}{Q_{méd}} \quad (4)$$

Em que:

$Q_{méd}$ = vazão média

A figura 2 ilustra a configuração do formulário 1.

ProjETE

Projeto

Informações do projeto:

Nome:

Outros:

Vazões de dimensionamento:

Mínima: L/s Média diária: L/s

Máxima horária: L/s Recalque: L/s

Bomba Submersível:

Sim Não

Poço de Sucção:

Selecione o tipo de seção transversal:

Retangular

Quadrada

Circular

Altura da faixa operacional das bombas: m

Distância entre N_{Am} in e o fundo do poço: m

K (Fórmula de Bresse):

NÚCLEO DE PESQUISA EM RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO AMBIENTAL NO SEMIÁRIDO

ProjETE

VERSÃO 1.0.1

OUTUBRO/2020

DATA ATUAL: 28 DE MARÇO DE 2023

Resultados:

Área da seção: m²

Volume útil: m³

Volume total: m³

Volume efetivo: m³

Tempo de detenção: minutos

Figura 2: Formulário 1 (Poço de Sucção)

FORMULÁRIO 2: TUBULAÇÃO

A partir das informações preenchidas no formulário 1, o próximo formulário calcula qual será o diâmetro de recalque teórico a partir da fórmula de Bresse, conforme a equação 5.

$$D_{teórico} = K \times \sqrt{Q_{rec}} \quad (5)$$

Em que:

K= Coeficiente de Bresse

Ademais, a partir do diâmetro teórico, o programa sugere um diâmetro comercial seguindo a regra em que:

- Diâmetro comercial da tubulação de recalque será o valor imediatamente inferior ao diâmetro teórico
- Diâmetro comercial da tubulação de sucção será o valor imediatamente superior ao diâmetro teórico

Em algumas situações, os volumes gerados pelos tubos, pela parede de dissipação e pelas bombas podem fazer diferença, logo, há a alternativa para que a soma destes volumes seja descontada do total.

O formulário 2 irá gerar como resultados:

- Velocidade de recalque

$$V_{rec} = \frac{4 \times Q_{rec}}{\pi \times D_{adotado}^2} \quad (6)$$

Em que:

$D_{adotado}$ = diâmetro de recalque comercial adotado

- Período de funcionamento

Crespo (2001) relata que o período de funcionamento é definido como o intervalo de tempo demandado para que o esgoto desça do nível máximo para o mínimo, descrito na equação 7.

$$T_f = \frac{V_{up}}{Q_{rec} - Q_{min}} \quad (7)$$

Em que:

Q_{min} = vazão mínima

V_{up} = Volume útil projeto = Volume total – Volume parede de dissipação – Volume dos tubos – Volume das bombas

- Período de parada.

O período de parada da bomba, segundo Crespo (2001), é conceituado como o tempo demandado para o esgoto subir do nível mínimo para o máximo, conforme a equação 8.

$$T_p = \frac{V_{up}}{Q_{min}} \quad (8)$$

- Número de funcionamento

Consiste na quantidade de partidas do motor, é um dado importante pois em excesso pode levar à queima da bomba, não podendo exceder 6, descrito na equação 9.

$$n = \frac{60}{T_f - T_p} \quad (9)$$

A figura 3 apresenta a configuração do formulário 2.

ProjETE

Projeto

Tubulação

Diâmetro de recalque teórico calculado:
 mm

Diâmetro sugerido no recalque: mm

Deseja calcular com o diâmetro interno no recalque?
 Sim Não

Volumes

Deseja descontar volume ocupado pelos tubos?
 Sim Não

Deseja descontar volume ocupado pela parede de dissipação?
 Sim Não

Deseja descontar volume ocupado pelas bombas?
 Sim Não

NÚCLEO DE PESQUISA EM RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO AMBIENTAL NO SEMIÁRIDO
 ProjETE
 VERSÃO 1.0.1 OUTUBRO/2020
 DATA ATUAL: 28 DE MARÇO DE 2023

Diâmetro sugerido na sucção: mm

Deseja calcular com o diâmetro interno na sucção?
 Sim Não

Resultados:

Velocidade de recalque: m/s

Período de funcionamento: minutos

Período de parada: minutos

Número de acionamentos: Inserir número de acionamentos

Figura 3 – Formulário 2: Tubulação

FORMULÁRIO 3: PERDA DE CARGA

O formulário 3 trata especificamente das perdas de cargas produzidas pelas tubulações de recalque e de sucção.

O programa contempla dois métodos para calcular as perdas de cargas unitárias:

- a) Darcy-Weisbach

$$J_{unit} = \frac{f \times V^2}{D_{adotado} \times 2 \times g} \quad (10)$$

Em que:

V= velocidade (m/s)

g = aceleração da gravidade (m/s²)

f = coeficiente de atrito, pode ser calculado pela seguinte fórmula de Swamee-Jain.

$$f = \frac{1,325}{\left[\ln \left(\frac{k}{3,7 \times D_{adotado}} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right) \right]^2} \quad (11)$$

Sendo:

K = rugosidade, depende do tipo de material

Re = número de Reynolds

- b) Hazen-Williams

$$J_{unit} = \frac{10,65 \times Q_{rec}^{1,85}}{C^{1,85} \times D_{adotado}^{4,87}} \quad (12)$$

Em que:

C = coeficiente de Hazen-Williams, depende do tipo de material

O aplicativo calcula as perdas de carga localizadas, definidas de acordo com a quantidade de conexões contidas no sistema a partir da equação 13:

(13)

$$h_s = \sum K \times \frac{v^2}{2 \times g}$$

Em que:

K = coeficiente do material

Como uma forma de obter mais rapidez durante o preenchimento, o projETE possui um banco de dados específico para cadastrar peças e então poder utilizá-las em vários projetos.

Por fim, o formulário 3 apresentar como resultado final o valor da altura manométrica é calculada pela equação 14.

(14)

$$H_{man} = H_g + h_s + h_t$$

Em que:

H_g = altura geométrica (m)

h_s = perda de carga localizada (m)

h_t = perda de carga distribuída total (m) = $J_{unit} * L$

A figura 4 ilustra a configuração do formulário 3.

ProjETE
Projeto Cadastrar

Perdas de carga

Método Analítico

Darcy-Weisbach
 Hazen-Williams

Cota inferior: m
 Cota Superior: m

Viscosidade cinemática: m²/s

Recalque:

Perda de carga localizada:

Singularidade:
 Ø (mm):
 Fator K:
 Quantidade:

Tabela 01 - Perda de carga localizada no recalque

Singularidade	Ø (mm)	K	Quantidade	K * Quantidade	Velocidade (m/s)	Perda de carga (m)

Perda de carga localizada total: m

Perda de carga distribuída (Darcy-Weishbach):

Tipo de material:
 Rugosidade equivalente: mm
 Comprimento da tubulação: m
 Número de Reynolds:
 Fator de atrito:

Entrar com valor de e
 Perda de carga unitária: m/m
 Perda de carga distribuída: m/m
 Perdas de carga no recalque: m

Altura manométrica total: m

Figura 4: Formulário 3 (Perda de Carga)

FORMULÁRIO 4: BOMBA

O formulário 4 é responsável por montar a curva do sistema e a partir desta o usuário poderá determinar qual será a bomba a ser utilizada. Para cada bomba escolhida, o aplicativo irá calcular o ponto de operação, que é a interseção da curva característica da bomba com a curva do sistema de tubulação. O ProjETE possui um banco de dados para cadastrar a curva das bombas e poder utilizá-las sem precisar inserir os dados novamente. A figura 5 ilustra a configuração do formulário 4.

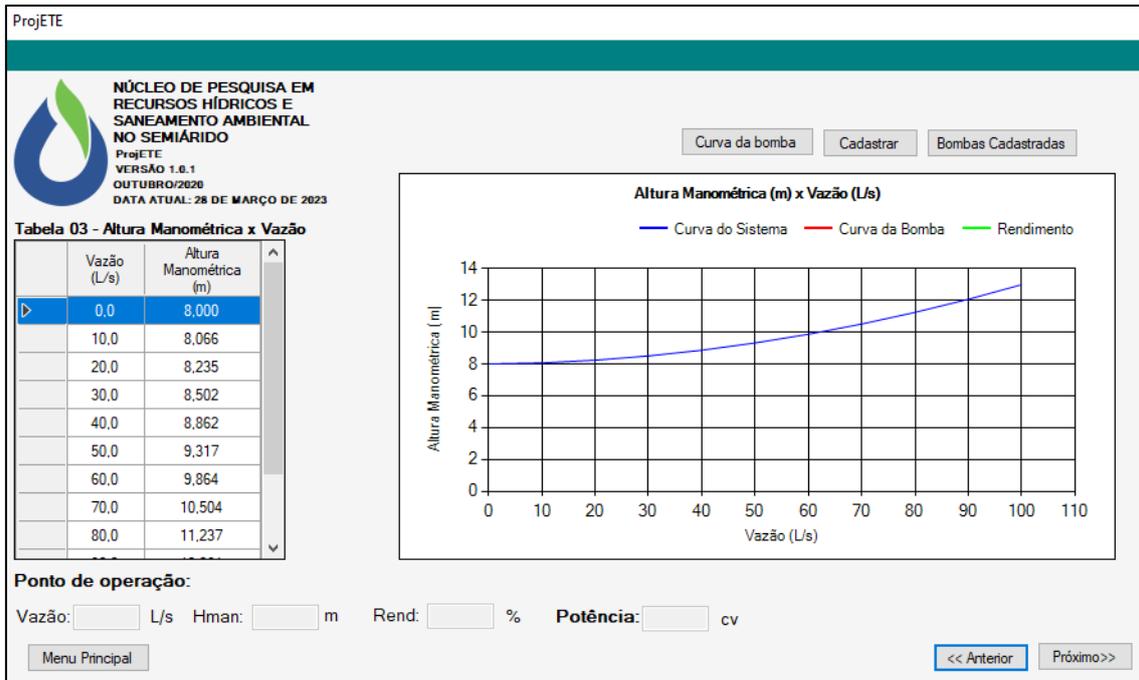


Figura 5 – Formulário 4: Bomba

FORMULÁRIO 5: CAVITAÇÃO E GOLPE DE ARÍETE

A sobrepessão ocorrida nas canalizações devido a uma parada brusca de um líquido em deslocamento é denominada golpe de aríete, de acordo com Crespo (2001).

Segundo Mendonça e Mendonça (2016), esse fenômeno promove uma variação brusca de pressão por meio de um choque violento nas paredes dos tubos. O intervalo de tempo necessário para que a onda de sobrepessão complete um ciclo, ou seja, o tempo que leva para ir de uma extremidade a outra da tubulação é designada de período da tubulação. Esse fator é calculado em função do comprimento da tubulação e da celeridade (ou velocidade de propagação da onda). O cálculo da celeridade é feito pela equação 15:

$$C = \frac{9900}{\sqrt{48,3 + k \times \frac{D_{\text{adotado}}}{e}}} \quad (15)$$

Em que:

C = celeridade (m/s)

e = espessura da tubulação

k = Constante que varia de acordo com o material

O cálculo do período da tubulação é feito pela equação 16:

$$T = \frac{2 \times L}{C} \quad (16)$$

Pode-se determinar a sobrepessão pela fórmula de Joukowsky representada na equação 17:

$$h = \frac{C \times V_{rec}}{g} \quad (17)$$

A sobrepressão máxima é calculada por meio da equação 18:

$$H_{m\acute{a}x} = H_{man} + h \quad (18)$$

Em que:

H_{man} = altura manométrica (m)

Cavitação é definida, segundo Baptista e Coelho (2016), como o fenômeno relacionado à formação de cavas num líquido, causado pela redução da pressão até atingir um valor inferior ou igual a pressão de vapor do fluido, com a temperatura constante. As principais consequências desse fenômeno é que se as bolhas originadas estiverem sob uma pressão interna maior que a externa, o fluxo é interrompido. Nesse contexto, para que seja possível observar se haverá cavitação na tubulação de sucção, calcula-se o *Net Positive Suction Head* (NPSH) disponível em que consiste na energia disposta pelo sistema e compara com o NPSH requerido, energia necessária para funcionamento da bomba, geralmente disponível no manual do fabricante. Caso o valor do NPSH disponível esteja acima do requerido, a tubulação não cavitara.

O cálculo do NPSH disponível é feito pela equação 19:

$$NPSH_d = \frac{P_0}{\gamma} - \left(h_{Gs} + \frac{P_v}{\gamma} + h_{fs} \right) \quad (19)$$

Em que:

NPSH_d = NPSH disponível (mca);

γ = densidade da água, adimensional;

P_0 = pressão atmosférica em função da altitude (m);

h_{Gs} = altura geométrica de sucção (m);

P_v = pressão de vapor, em função da temperatura (kg/cm²);

h_{fs} = perda de carga na sucção (m).

A figura 6 apresenta a configuração do formulário 5.

Figura 6 – Formulário 5: Cavitação e Aríete.

RESULTADOS

Nas tabelas 1, 2, 3, 4, 5 e 6 observam-se os dados utilizados e a comparação com os resultados obtidos pelo programa, correspondentes a cada estudo de caso.

Parâmetros	Estudo de caso 1	Estudo de caso 2
Vazão mínima (Q_{\min})	35,5 L/s	96,18 L/s
Vazão média ($Q_{\text{méd}}$)	48,4 L/s	96,18 L/s
Vazão máxima ($Q_{\text{máx}}$)	68,9 L/s	132 L/s
Vazão de recalque (Q_{rec})	70 L/s	132 L/s
Tipo de seção transversal do poço de sucção	Retangular (2,75 x 4,00 m)	Retangular (4,20 x 5,75 m)
Altura da faixa operacional das bombas	1,0 m	1,0 m
Distância entre o $NA_{\text{méd}}$ e o fundo do poço	1,4 m	1,36 m
K (fórmula de Bresse)	1,2	1,2

Tabela 1: Dados de entrada do formulário 1

Parâmetro	Estudo de caso 1	Estudo de caso 2
Diâmetro adotado de recalque	300 mm	500 mm
Diâmetro interno de recalque	308,6 mm	-
Volume descontado pelos tubos	0,18 m ³	0,28 m ³
Volume descontado pela parede de dissipação	0,31 m ³	0,72 m ³
Volume descontado pelas bombas	0,40 m ³	0,32 m ³

Tabela 2: Dados de entrada do formulário 2

Parâmetro	Estudo de caso 1			Estudo de caso 2		
	Quantidade	Descrição	Fator K	Quantidade	Descrição	Fator K
Conexão	2	Curva 90°	0,4 * 2 = 0,8	2	Curvas 90°	0,4 * 2 = 0,8
	1	Ampliação gradual com flanges	0,3	1	Válvula gaveta	0,2
	1	Válvula de retenção	2,5	1	Válvula de retenção	2,5
	1	Registro de gaveta	0,2	1	Tê de passagem lateral	1,3
	1	Tê de passagem direta	0,6			
	1	Tê de passagem lateral	1,3			
	Viscosidade cinemática	0,000001 m ² /s			0,000001 m ² /s	
Rugosidade Equivalente	0,1 mm			0,2 mm		

Comprimento da tubulação	900 m	35 m
Desnível geométrico	8 m	10,42 m

Tabela 3: Dados de entrada do formulário 3

Parâmetro	Estudo de caso 1	Estudo de caso 2
Temperatura	25 °C	20 °C
Altitude	600 m	763,07 m
Perdas de carga na sucção	0 mca	0 mca
Altura geométrica na sucção	0 mca	0 mca
NPSHr	8,98 m	4,2 m
Rendimento do motor	85%	100%
Rendimento da bomba	86%	72%
Folga	9%	0%
Espessura	5,65 mm	7 mm
Pressão interna máxima	4,3 MPa	3,8 MPa

Tabela 4: Dados de entrada do formulário 5

Parâmetro	Resultados		Diferença (%)
	ProjETE	Mendonça e Mendonça (2016)	
Área	11,0 m ²	11,0 m ²	0,00
Volume útil	10,5 m ³	10,5 m ³	0,00
Volume total	11,0 m ³	11,0 m ³	0,00
Volume efetivo	15,4 m ³	15,4 m ³	0,00
Tempo de detenção	5,303 min	5,30 min	0,06
Diâmetro de recalque teórico	317,49 mm	317 mm	0,15
Velocidade de recalque	0,936 m/s	0,94 m/s	0,43
Período de funcionamento	4,884 min	4,88 min	0,08
Período de parada	4,746 min	4,74 min	0,13
Número de acionamentos	6,23	6,23	0,00
Perda de carga localizada total	0,733 m	0,74 m	0,95%
Número de Reynolds	288810,007	288810	0,00%
f	0,01728	0,01728	0,00%
Perda de carga unitária	0,00250 m/m	0,00251 m/m	0,40%
Perda de carga distribuída	2,25 m	2,26 m	0,44%
Perda de carga total	2,983 m	3,0 m	0,57%
Altura manométrica	10,983 m	11,0 m	0,15%
k	1,0	1,0	0,00%
Celeridade	975,858 m/s	976 m/s	0,01%
Período da tubulação	1,845 s	1,84 s	0,27%

Sobrepressão	93,097 mca	93,5 mca	0,43%
Sobrepressão máxima	104,079 mca	104,5 mca	0,40%
$\frac{P_0}{\gamma}$	9,675 mca	9,62 mca	0,57%
$\frac{P_v}{\gamma}$	0,323 mca	0,322 mca	0,31%
NPSHd	9,352 m	9,30 m	0,56%
Potência Teórica	14,023 CV	14 CV	0,16%
Potência real	15,076 HP	15 HP	0,51%

Tabela 5: Comparação dos resultados obtidos no estudo de caso 1

Parâmetro	Resultados		Diferença (%)
	ProjETE	Alem Sobrinho e Tsutiya (2000)	
Área	24,15 m ²	24,15 m ²	0,00%
Volume útil	19,8 m ³	19,8 m ³	0,00%
Volume total	24,15 m ³	24,15 m ³	0,00%
Volume efetivo	32,844 m ³	32,85 m ³	0,02%
Tempo de detenção	5,691 min	5,69 min	0,02%
Diâmetro de recalque teórico	435,982 mm	-	-
Velocidade de recalque	0,672 m/s	-	-
Período de funcionamento	10,623 min	-	-
Período de parada	3,956 min	-	-
Número de acionamentos	4,116	6,0 (tabelado)	31,40%
Perda de carga localizada total	0,853 m	-	-
Número de Reynolds	336135,24	-	-
f	0,01757	-	-
Perda de carga unitária	0,00081 m/m	-	-
Perda de carga distribuída	0,028 m	-	-
Perda de carga total	0,881 m	-	-
Altura manométrica	11,301 m	-	-
k	1,0	-	-
Celeridade	904,766 m/s	-	-
Período da tubulação	0,077 s	-	-
Sobrepressão	62,003 mca	-	-
Sobrepressão máxima	73,304 mca	-	-
$\frac{P_0}{\gamma}$	9,495 mca	9,49 mca	0,05%
$\frac{P_v}{\gamma}$	0,238 mca	0,24 mca	0,83%
NPSHd	9,257 m	9,25 m	0,08%
Potência Teórica	27,626 CV	-	-
Potência real	20,319 KW	20,8 KW	2,31%

Tabela 6: Comparação dos resultados obtidos no estudo de caso 2.

Em relação ao estudo de caso 1, pôde-se constatar que os resultados obtidos no programa foram satisfatórios, pois apenas 37% dos valores tiveram uma diferença maior que 0,4% e a maior variação foi de 0,95%. As pequenas discrepâncias ocorreram devido ao programa realizar os cálculos considerando todas as casas decimais. A equivalência dos resultados era um fator esperado, pois a metodologia de cálculo escolhida para a aplicação foi em grande parte a mesma desenvolvida pelos citados autores.

No que concerne ao estudo de caso 2 não foram apresentados os valores de alguns parâmetros como da velocidade de recalque, logo não foi possível analisar os resultados consequentes. Em se tratando de período de funcionamento e de parada da bomba, os autores adotaram valores tabelados, obtendo-se um período de ciclo igual a 10 minutos, conseqüentemente, houve uma diferença entre os dois números de acionamentos igual a 31,40%. Apesar de obter poucos valores que objetivam a comparação, todos tiveram uma variação relativamente baixa (com menos de 1%, excetuando-se a potência real por conta do número de casas decimais).

Não foram encontrados dados relativos à verificação quanto ao golpe de aríete, porém com auxílio dos dados do catálogo de SAINT-GOBAIN (2020), constatou-se que o sistema está adequado, pois a sobrepressão máxima obtida foi inferior à pressão interna máxima do tubo, sendo os valores 73,304 mca e 104,079 mca, respectivamente. Os dados referentes à cavitação apresentaram variações devido apenas à diferença de casas decimais e a potência real está de acordo com o máximo alcançado pela bomba adotada em Alem Sobrinho e Tsutiya (2000).

Outro ponto a ser destacado é o tempo de processamento total do aplicativo que, sem contar com o preenchimento dos parâmetros de entrada, foi em média de aproximadamente 93,2 milissegundos. Portanto, concluiu-se que o programa possui rápida execução, tornando-se uma ferramenta auxiliar para utilização em projetos de EEE.

CONCLUSÕES

Foram analisados dois estudos de caso disponíveis na literatura especializada no intuito de validar os valores obtidos a partir da utilização do programa. No primeiro, os resultados atingidos foram demasiadamente satisfatórios, sendo iguais ou com diferença inferior a 0,95%. Estas diminutas discrepâncias entre os valores do programa e deste estudo de caso ocorreram devido aos arredondamentos dos estudos de caso.

Em relação ao segundo estudo de caso, também ocorreram divergências devido a aproximações e arredondamentos, pois no exemplo da literatura os resultados estão apresentados com duas casas decimais. A variação de 31,40% no número de acionamentos é justificada pelo motivo de os autores deste estudo de caso terem utilizado um valor tabelado. A verificação do golpe de aríete não pôde ser comparada, pois não foi apresentada neste exemplo.

Dessa forma, a proposta definida pelo projeto foi alcançada e comprovada pelos dois estudos de caso, atendendo aos requisitos técnicos, passando por todas as etapas de dimensionamento de uma EEE com uma interface do programa intuitiva.

Levando-se em consideração esses aspectos, futuramente novas ideias e funções poderão ser implementadas ao ProjETE em futuras versões, como: a possibilidade do funcionamento de mais de uma bomba com uso simultâneo, permitido pelas associações em paralelo ou em série; banco de dados ligado ao custo médio de cada material, peça, custo de energia e de manutenção da EEE, com a geração de um orçamento prévio da instalação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALEM SOBRINHO, P.; TSUTIYA, M. T. UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. Coleta e transporte de esgoto sanitário. 2ª. ed. São Paulo: Departamento de Engenharia hidráulica e Sanitária da escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2000.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT. NBR 12208: Projeto de estações elevatórias de esgoto sanitário. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.
3. BAPTISTA, M. B.; COELHO, M. M. L. Fundamentos de engenharia hidráulica. 4ª. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2016.

4. CRESPO, P. G. Elevatórias nos sistemas de esgotos. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2001.

5. INSTITUTO TRATA BRASIL. PAINEL SANEAMENTO BRASIL. 2020. Disponível em: <https://www.painelsaneamento.org.br/explore/ano?SE%5Ba%5D=2020&SE%5Bi%5D%5BPOP_SEM_AG%25%5D=POP_SEM_AG%25&SE%5Bi%5D%5BPOP_SEM_ES%25%5D=POP_SEM_ES%25&SE%5Bi%5D%5BVOL_ES_AG%5D=VOL_ES_AG&SE%5Bi%5D%5BVOL_ES_NTRATA%5D=VOL_ES_NTRATA&SE%5Bi%5D%5BINT_VH%5D=INT_VH&SE%5Bi%5D%5BOBITO_VH%5D=OBITO_VH&SE%5Bi%5D%5BRENDA_G1%5D=RENDA_G1&SE%5Bi%5D%5BRENDA_G2%5D=RENDA_G2&media=>>. Acesso em 18 de jan. 2023.

6. MENDONÇA, S. R.; MENDONÇA, L. C. Sistemas sustentáveis de esgotos: orientações técnicas para projeto e dimensionamento de redes coletoras, emissários, canais, estações elevatórias, tratamento e reuso na agricultura. São Paulo: Blucher, 2016.

7. PROSAB. Programa de Pesquisas em Saneamento Básico. Reuso das águas de esgoto sanitário, inclusive desenvolvimento de tecnologia de tratamento para esse fim. Rio de Janeiro: ABES, 2006.

8. SAINT-GOBAIN. Tubo Ponta e Bolsa Classe K7. Disponível em <<https://www.sgpam.com.br/saneamento/produtos/tubos-e-conexoes-para-esgoto/tubo-ponta-e-bolsa-classe-k7>>. Acesso em: 18 jan. 2023.