I-1144 - EELEVA: APLICATIVO COMPUTACIONAL PARA DIMENSIONAMENTO DE ESTAÇÕES ELEVATÓRIAS DE ÁGUA

Luiz Felipe Rocha Araújo [(1)]
Graduando em Engenharia Civil pela Universidade Estadual Vale do Acaraú. Bolsista voluntário do programa PROVIC/CNPq.

Gustavo Paiva Weyne Rodrigues [(2)]
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 Cohab II, 00 – Alto São José - Coreaú - CE - CEP: 62.160-000 - Brasil - Tel: (88) 98852 - 2546 - e-mail: eng.luizfelipe99@gmail.com

Endereço [(2)]**:** Av. Dr. Guarany, 353 – Derby Clube – Sobral – CE – CEP: 62.042-030 – Brasil – e-mail: gustavo_weyne@uvanet.br

RESUMO

Com o avanço contínuo das tecnologias, aprimorar processos que ainda são executados manualmente torna-se cada vez mais essencial. Esses processos apresentam uma maior probabilidade de erro humano, algo inadmissível, especialmente quando se trata de um recurso tão valioso quanto a água. Recentemente, têm surgido no Brasil avanços tecnológicos que melhoram a gestão do tempo de execução e favorecem decisões rápidas e eficientes na criação de projetos e não em uma execução de cálculos exaustivos, esses avanços fazem com que o dimensionamento de uma estação elevatória de água (EEA) seja feito de forma ágil e segura.

Partindo desse pressuposto, este trabalho propõe a utilização de um aplicativo computacional, denominado EELEVA, que dimensiona estações elevatórias de água desde os diâmetros econômicos até a escolha da bomba ideal para o sistema, em conjunto com o dimensionamento do poço de sucção, análise da possibilidade de cavitação e do golpe aríete, em que no fim é gerado um memorial de cálculo que apresenta as escolhas analíticas e métodos utilizados durante o dimensionamento. Para a devida validação do aplicativo computacional, os dados retornados pelo EELEVA foram comparados com memórias de cálculo de duas estações elevatórias reais, projetadas para o distrito de Peixe, localizado no município de Russas/CE, em que se obteve uma equivalência de 90 a 95% para os respectivos estudos de caso, o que indica um adequado desempenho, fazendo com que o aplicativo possa ser utilizado em projetos reais na comunidade acadêmica.

PALAVRAS-CHAVE: Aplicativo computacional, Dimensionamento, Estação elevatória de água.

INTRODUÇÃO

Uma das principais prioridades da população, de acordo com Tsutiya (2006), é o atendimento por sistema de abastecimento de água em quantidade e qualidade adequadas, devido à importância ao atendimento de necessidades relacionadas à saúde e ao desenvolvimento industrial.

A carência de instalações suficientes de sistemas de abastecimento de água para as populações constitui uma das maiores dívidas sociais ainda persistentes no mundo, segundo Heller e Pádua (2010). Hodiernamente, uma parcela da população mundial ainda se mantém afastada desse bem, que deveria ser assumido como um direito indiscutível ao ser humano. Dados de SNIS (2021) indicam que atualmente cerca de 36,3 milhões de brasileiros não tem acesso ao abastecimento de água tratada.

O sistema de abastecimento de água (SAA) e respectivos componentes, como as estações elevatórias, são os responsáveis por levar a água aos pontos de interesse operacional, o que demonstra a importância direta na problemática apontada.

As estações elevatórias de água, conforme Tsutiya (2006), são componentes essenciais para sistemas de abastecimento de água, sendo utilizadas na captação, na adução, no tratamento e na distribuição de água, que são utilizadas quando o ponto de captação está a um nível inferior ao local de abastecimento, ou seja, em que se faz necessário que a água atinja níveis mais elevados.

Os diversos passos de cálculo para o dimensionamento de uma estação elevatória requerem atenção e experiência por parte do projetista, devido a consultas a diversas tabelas e catálogos, que podem acarretar erros e, consequentemente, a um projeto elaborado inadequadamente. A utilização de aplicativos de dimensionamento visa auxiliar o projetista nas diversas decisões a serem tomadas, pois os modelos contribuem para uma prática de engenharia mais efetiva, na medida em que se torna possível estudar as soluções de forma técnica, com fluidez e sem necessidade de recorrer à contratação de pessoal externo, o que acarreta custos menores e aplicação de recursos mais apropriada.

Este trabalho propõe a utilização de um aplicativo computacional que tem como objetivo facilitar cálculos realizados no dimensionamento de uma estação elevatória de água (EEA), reduzindo processos manuais e exaustivos. Todos os cálculos foram validados por meio da literatura correlata e comparados a partir de projetos de estações elevatórias de sistemas de abastecimento de água reais.

MATERIAIS E MÉTODOS

O aplicativo foi criado a partir da linguagem de programação C#, A interface gráfica foi elaborada com o auxílio da IDE (*Intagrated Development Environment*) *Visual Studio* da *Microsoft* e todos os cálculos seguem rigorosamente as recomendações estabelecidas em ABNT (1992), que fornece recomendações para projetos de sistema de bombeamento de água para o abastecimento público.

O aplicativo é constituído por 4 formulários principais e dentro destes existem outros auxiliares. Os formulários principais sucedem-se de forma complementar, em que são solicitados dados de entrada ligados a etapas importantes do dimensionamento de uma EEA, sendo eles: geometria do poço de sucção, perdas de carga/altura manométrica, curvas do sistema x bomba, verificação da possibilidade de cavitação e do golpe de aríete. É possível também alterar o método de cálculo utilizado entre as equações entre Darcy-Weisbach e Hazen-Wiliams.

No formulário 1, os diâmetros econômicos de sucção e de recalque são dimensionados de acordo com os dados inseridos previamente, os valores dos diâmetros dependem diretamente da vazão estabelecida no sistema e do tipo de funcionamento da bomba, se este é continuo ou intermitente, sendo as equações 1 e 2, respectivamente.

$$\boldsymbol{Dr = K.\sqrt{Q}} \qquad \text{Equação (1)}$$

Em que:
Dr = Diâmetro teórico calculado;
K = Número de Bresse, valor usual de 1,2;
Q = Vazão do sistema em m³/s.

$$\boldsymbol{Dr = 0,586.X^{\frac{1}{4}}.\sqrt{Q}} \qquad \text{Equação (2)}$$

Sendo:
Dr = Diâmetro teórico calculado;
X = Número de horas de funcionamento da bomba;
Q = Vazão do sistema em m³/s.

No formulário 2, as perdas de carga são calculadas a partir do método definido pelo usuário: Hazen-Williams e Darcy-Weisbach. As estações elevatórias dos estudos de caso foram dimensionadas por meio da equação de Hazen-Williams, descrita na Equação 3.

$$\mathbf{\Delta H = \frac{10,64.Q^{1,85}}{C^{1,85}.D^{4,87}}.L} \qquad \text{Equação (3)}$$

No qual:

Q = Vazão do sistema (m^3/s);
L = Comprimento do recalque (m);
C = Coeficiente de Hazen-Williams;
D = Diâmetro (m).

O cálculo da perda de carga localizada (equação 4), depende das peças inseridas nas tubulações de sucção e de recalque e a equação é dada por:

$$\mathbf{\Delta Hs = \Sigma K . \frac{8Q^2}{\pi . g . D^4}} \qquad \text{Equação (4)}$$

Entendendo-se que:
ΔHs = Perda de carga localizada (m);
K = Somatório das singularidades das peças;
Q = Vazão do sistema (m^3/s);
D = Diâmetro (m).
g = Aceleração da gravidade (m/s^2).

A partir da obtenção das perdas de carga, é possível calcular a altura manométrica (Equação 5). Segundo Baptista e Coelho (2016), a altura manométrica é estabelecida como a energia absorvida por um liquido ao atravessar uma bomba. A equação é dada por:

$$\mathbf{Hman = Hg + \Delta Ht} \qquad \text{Equação (5)}$$

Em que:

Hman = Altura manométrica (m);

Hg = Desnível geométrico (m);

ΔH = Perda de carga total (m).

Com base nos dados acima obtidos, no formulário 3, com intuito de escolher a bomba que melhor se adeque ao sistema, a curva característica do sistema é gerada. A equação 6 descreve o comportamento do sistema mediante diferentes vazões inseridas. Para encontrar o ponto de operação do sistema, uma bomba é cadastrada no banco de dados do aplicativo, juntamente com os pontos da respectiva curva característica. Dessa forma é possível encontrar o ponto de operação do sistema no qual a bomba irá trabalhar.

$$\mathbf{Hman = Hg + r1 . Q^{1.85} + r2 . Q^2} \qquad \text{Equação (6)}$$

Sendo:

Hman = Altura manométrica (m);

Hg = Desnível geométrico (m);

r1 = Equação de Hazen-Williams com a vazão destacada;

r2 = Equação da perda de carga localizada com a vazão destacada;

Q = Vazão do sistema (m^3/s).

A partir das curvas características geradas, o programa interpola os valores da curva característica do sistema, da bomba e da respectiva curva de rendimento, caso esta tenha sido inserida. Define-se, assim, o ponto de operação do referido sistema, em que os dados retornados são a vazão em Litros/segundo, a Altura manométrica em metros, a potência calculada (Equação 7) e instalada da bomba (Equação 8) em Cavalo-Vapor. Caso a bomba não se adeque ao sistema, o programa indicará um aviso.

$$\mathbf{Pc} = \frac{\mathbf{y.Q.H}_{man}}{\mathbf{75.}\boldsymbol{\eta_b}}$$ Equação (7)

No qual:
Pc = Potência calculada (CV);
y = Peso específico da água (1000 Kgf/m³);
Q = Vazão (m³/s);
Hman = Altura manométrica (m);
ηb = Rendimento da bomba (%).

$$\mathbf{Pi = Pt + Pt.FS}$$ Equação (8)

Entendendo-se:
Pi = Potência instalada (CV);
Pc = Potência calculada (CV);
FS = Fator de serviço (%).

Por fim, no formulário 4, a possibilidade de cavitação da bomba escolhida anteriormente é analisada, juntamente com a análise do golpe de aríete. Nesse formulário são necessários dados como: temperatura, altitude, altura da tubulação de sucção até o eixo da bomba e o seu NPSH (*Net Positive Suction Head*) requerido, as equações 9 e 10 apresentam os cálculos da $P_{atm/y}$ e o NPSH disponível, respectivamente.

$$\frac{\mathbf{Patm}}{\mathbf{y}} = \mathbf{13,6.}\left(\frac{\mathbf{760 - 0,081h}}{\mathbf{1000}}\right)$$ Equação (9)

Em que:
$P_{atm/y}$ = Carga de pressão (m);
h = Altitude onde está situada a bomba (m).

$$\mathbf{NPSHd} = \frac{\boldsymbol{Patm}}{\boldsymbol{y}} - \left(\frac{\boldsymbol{Pv}}{\boldsymbol{y}} + \boldsymbol{hs} + \Delta\boldsymbol{Hts}\right)$$ Equação (10)

Sendo:
NPSHd = Carga de sucção positiva disponível (m);
$P_{v/y}$ = Pressão de vapor (m);
hs = Altura estática de sucção (m);
ΔHts = Perda de carga total da sucção (m).

Na tabela 1, pode-se observar, de acordo com Alem Sobrinho e Contrera (2016), os valores adotados para a pressão de vapor da água em função da temperatura.

Tabela 1: Valores da pressão de vapor da água em função da temperatura

T (°C)	Pv/y (m H2O)
0	0,062
2	0,072
4	0,083
6	0,095
8	0,109
10	0,125
15	0,174
20	0,238
25	0,323
30	0,433
40	0,752
50	1,258
60	2,031
80	4,827

100	10,332

Fonte: Alem Sobrinho e Contrera (2016).

Para que a bomba seja aceita na análise de verificação da cavitação, é necessário que o NPSH disponível, calculado anteriormente, seja maior que o NPSH requerido pela bomba, porém o EELEVA além dessa verificação inicial, analisa se um segundo parâmetro foi cumprido, sendo necessária uma margem de segurança de pelo menos 0,6 metros entre esses dois valores. Dependendo do caso analisado, o programa retorna um aviso de êxito ou de falha, sendo que ao se enquadrar no segundo caso será necessária a mudança da bomba ou das características geométricas do sistema.

O golpe de aríete, de acordo com Wylie e Streeter (1993), é utilizado como sinônimo para descrever o fluxo instável de fluidos em tubulações, no qual o fluxo oscilatório permanente, periódico ou pulsátil ocorre quando as condições de fluxo são repetidas identicamente em cada intervalo de tempo fixo chamado de período da oscilação.

Para a análise da possibilidade do golpe de aríete, os dados necessários referentes a tubulação são: espessura, material escolhido no início do dimensionamento e respectiva resistência. Após o preenchimento dos dados é possível chegar ao valor da sobrepressão máxima e subpressão máxima a qual este conduto estará submetido e se este último resistirá a esses esforços, abaixo são apresentadas as equações 11, 12, 13 e 14, que calculam os valores da velocidade de propagação da onda (celeridade), sobrepressão, sobrepressão máxima e subpressão máxima, respectivamente.

$$\mathbf{C} = \frac{\mathbf{9900}}{\sqrt{\mathbf{48,3} + \boldsymbol{K} * (\boldsymbol{D}/\boldsymbol{\varepsilon})}}$$ Equação (11)

No qual:
C= Celeridade (m/s);
K = Coeficiente do material;
D = Diâmetro (mm);
ε = Espessura do conduto (mm).

$$\mathbf{\Delta H} = \frac{\mathbf{C.V}}{\mathbf{g}}$$ Equação (12)

Entendendo-se:
ΔH = Sobrepressão (mca);
V = Velocidade em regime permanente (m/s);
C = Celeridade (m/s);
g = Aceleração da gravidade (m/s²).

$$\mathbf{\Delta H}_{sobre,\ máx} = \mathbf{\Delta H} + \mathbf{H}_{man}$$ Equação (13)

Em que:
ΔHmáx = Sobrepressão máxima (m);
ΔH = sobrepressão (m);
Hman = Altura manométrica (m).

$$\mathbf{\Delta H}_{sub,\ máx} = \mathbf{\Delta H} - \mathbf{H}_{man}$$ Equação (14)

Sendo:
ΔHmín = Subpressão máxima (m);
ΔH = sobrepressão (m);
Hman = Altura manométrica (m).

Segundo Azevedo Netto (1998), os valores de k são estabelecidos de acordo com o tipo de material da tubulação, conforme a tabela 2.

Tabela 2: Valores referentes ao coeficiente k

Material da tubulação	k
Aço	0,5
Ferro fundido	1
Concreto	5
Plástico	18

Fonte: Azevedo Netto (1998).

Ao fim do dimensionamento é possível gerar um memorial descritivo de cálculo e exportá-lo em formato PDF (Portable Document Format). O aplicativo também está integrado a um banco de dados local, mediante um arquivo com extensão DLL (Dynamic Link Library) do SQLite, que se refere a uma base de dados relacional de código aberto, que torna dispensável o uso de um servidor. Portanto, é possível salvar projetos, peças, materiais e até mesmo bombas no ambiente do aplicativo. Na figura 1, é apresentado o fluxograma da aplicação desenvolvida.

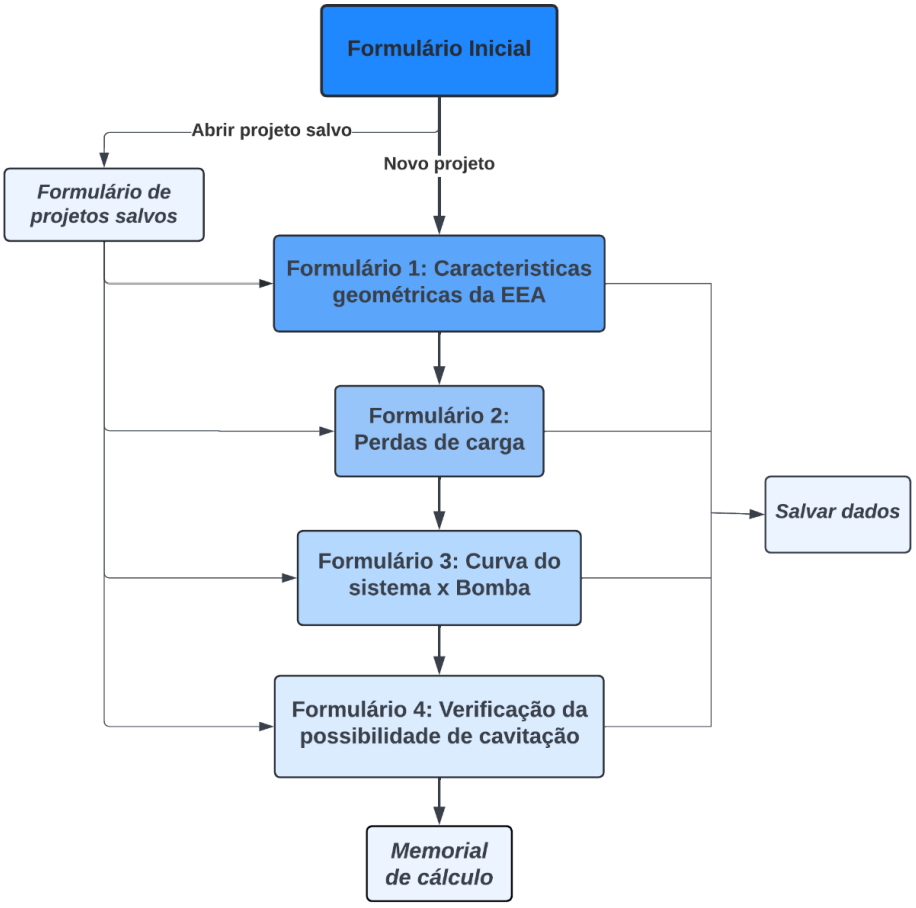

Figura 1: Fluxograma do aplicativo desenvolvido

RESULTADOS OBTIDOS

Para a validação do modelo proposto, os dados retornados do aplicativo foram comparados com o memorial de cálculo de duas estações elevatórias de água. O primeiro estudo de caso corresponde a uma elevatória de água tratada (EEAT) e o segundo refere-se a uma elevatória de água bruta (EEAB), ambas projetadas e executadas pelas empresas Concremat/Apoenatec (2007), para o distrito de Peixe, em Russas/CE.

Os estudos de caso analisados são de uma pequena comunidade com 1.046 habitantes, dados do IBGE (2010), localizada a 14 km da sede do munícipio de Russas. O principal intuito foi validar os resultados do programa e efetuar as comparações com os estudos de caso.

ESTUDO DE CASO 1

Na tabela 3 são observados os dados de entrada utilizados no aplicativo desenvolvido correspondente ao primeiro estudo de caso.

Tabela 3: Dados de entrada – estudo de caso 1 (EEAT)

Parâmetros	Estudo de caso 1
Vazão (L/s)	6,32
Cota de sucção (m)	70,20
Cota de recalque (m)	88,30
Número de Bresse	1,2
Comprimento do recalque (m)	30
Comprimento da sucção (m)	0
Método de cálculo	Hazen-Williams
Material da tubulação	FoFo
Coeficiente de Hazen-Wiliams adotado (FoFo)	100
Rendimento da bomba (%)	62
Temperatura ambiente (°C)	30
Cota no eixo da bomba (m)	70,38
NPSH requerido (m)	5

No formulário 1 são inseridos dados voltados à geometria da estação elevatória e, a partir dessas informações, são retornados os valores dos diâmetros comerciais. Na tabela 4 é possível observar os dados voltados aos diâmetros comerciais econômicos.

Tabela 4: Comparação dos dados relativos ao formulário 1 (estudo de caso 1)

Parâmetros	Projeto	Programa desenvolvido	Erro relativo (%)
Diâmetro econômico (mm)	95	95	0,00
Diâmetro de sucção adotado (mm)	100	100	0,00
Diâmetro de recalque adotado (mm)	100	100	0,00

Para o cálculo do formulário 2 foi utilizado o método de Hazen-Wiliams, de acordo com o memorial de cálculo analisado. Nas tabelas 5 e 6, têm-se as singularidades instaladas na estação elevatória, para a sucção e o recalque, respectivamente. Na tabela 7 são comparados os cálculos relativos ao formulário 2, que se referem exclusivamente às perdas de carga e ao cálculo da altura manométrica.

Tabela 5: Singularidades instaladas na sucção (estudo de caso 1)

Singularidades	Quantidade	K unitário	K total
Crivo	01	0,75	0,75
Válvula de retenção	01	2,50	2,50
Curva de 90°	01	0,40	0,40
Válvula de gaveta aberta	01	0,20	0,20
Redução gradual	01	0,15	0,15

Tabela 6: Singularidades instaladas no recalque (estudo de caso 1)

Singularidades	Quantidade	K unitário	K total
Ampliação gradual	01	0,30	0,30
Válvula de retenção	01	2,50	2,50
Válvula de gaveta aberta	01	0,20	0,20
Curva de 90°	05	0,40	2,00
Tê de saída bilateral	01	1,80	1,80

Tabela 7: Comparação dos dados relativos ao formulário 2 (estudo de caso 1)

Parâmetros	Projeto	Programa desenvolvido	Erro relativo (%)
Desnível geométrico (m)	18,10	18,10	0,00
Perda de carga unitária no recalque (m/m)	0,01345	0,01344	0,07
Perda de carga distribuída no recalque (m)	0,40	0,403	0,75
Perda de carga localizada no recalque (m)	0,22	0,224	1,82
Perda de carga unitária na sucção (m/m)	0	0	0,00
Perda de carga distribuída na sucção (m)	0	0	0,00
Perda de carga localizada na sucção (m)	0,13	0,132	1,54
Altura manométrica (m)	18,86	18,860	0,00

Na tabela 8 estão apresentadas as comparações de dados do formulário 3, que a partir dos dados da perda de carga e altura manométrica calculados anteriormente, gera a curva do sistema e, com base em uma bomba cadastrada, gera a curva da bomba, retornando o ponto de operação da elevatória e a potência instalada da respectiva bomba.

Tabela 8: Comparação dos dados relativos ao formulário 3 (estudo de caso 1)

Parâmetros	Projeto	Programa desenvolvido	Erro relativo (%)
Vazão (L/s)	6,32	6,325	0,08
Altura manométrica (m)	18,86	18,862	0,01
Potência calculada (cv)	2,56	2,565	0,20

Fator de serviço	1,3	1,3	0,00
Potência instalada (cv)	3,33	3,335	0,15

Na figura 2 é observada a curva característica do sistema x curva da bomba, retirada do memorial de cálculo da EEAT analisada, sendo possível observar que o ponto de operação do sistema está em uma vazão de 6,32 L/s e altura manométrica de 18,9 m.

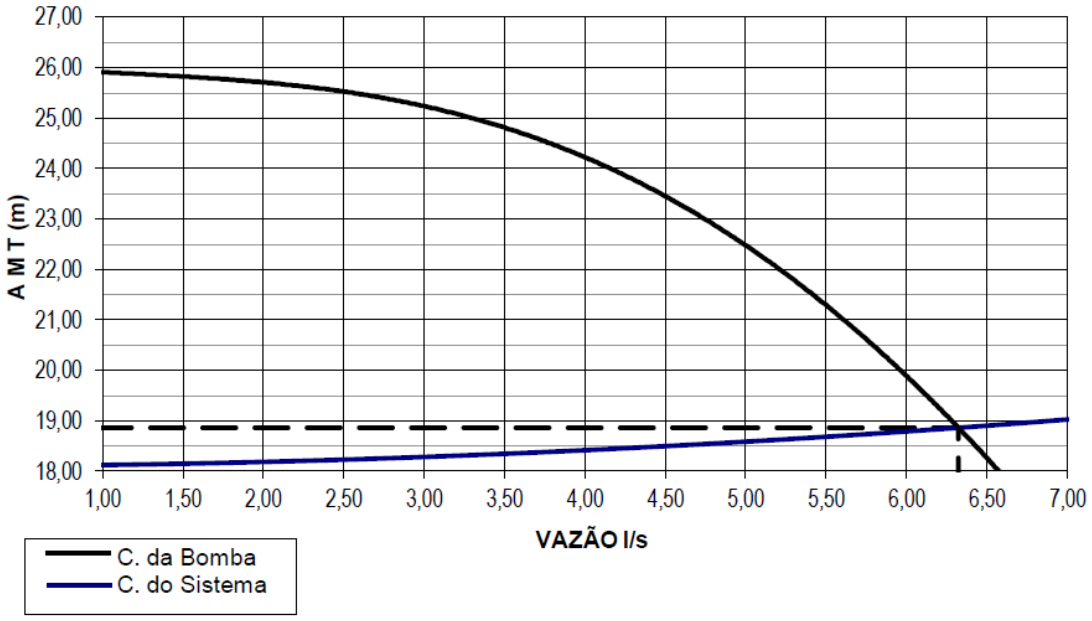

Figura 2: Curva do sistema x curva da bomba (Estudo de caso 1)
Fonte: Concremat e Apoenatec (2007).

A figura 3 ilustra o gráfico da curva do sistema x curva da bomba retornada pelo aplicativo.

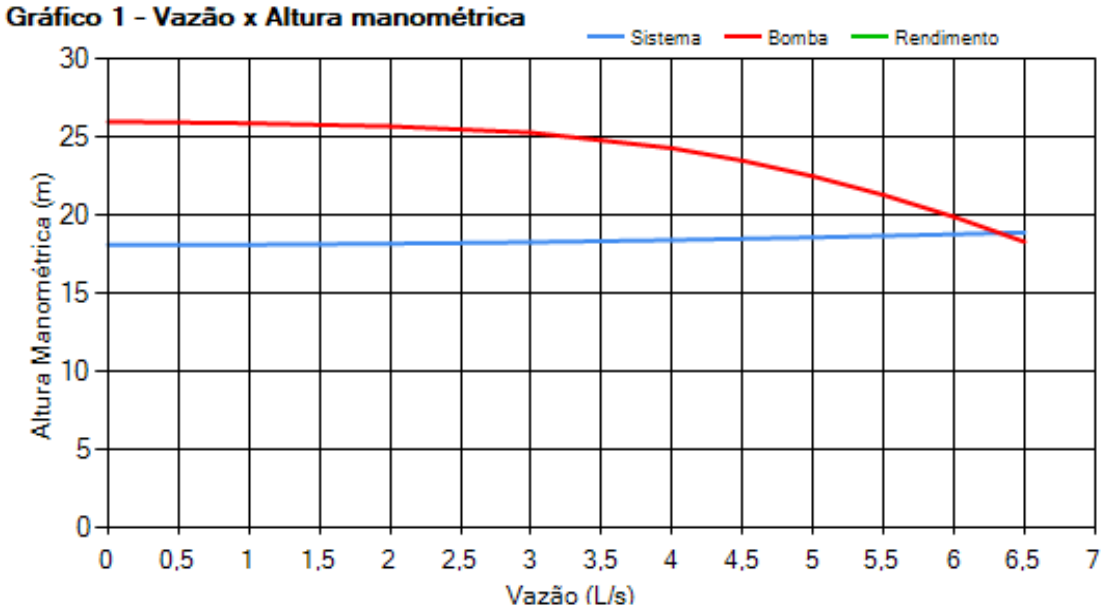

Figura 3: Gráfico das curvas características do sistema x bomba

Na tabela 9, observam-se os valores correspondentes à verificação da possibilidade de cavitação da bomba adotada, cujos dados correspondem ao formulário 4.

Tabela 9: Comparação dos dados relativos ao formulário 4 (estudo de caso 1)

Parâmetros	Projeto	Programa desenvolvido	Erro relativo (%)
Perda de carga da sucção (m)*	0,36	0,132	63,33
Patm/y (mca)	9,5	9,5	0,00
Pv/y (mca)	0,447	0,429	4,03
NPSH disponível	8,51	8,759	2,93

* O valor da perda de carga da sucção utilizada pelo estudo de caso 1, não condiz com o valor real a ser utilizado.

No intuito de ilustrar a interface do aplicativo, é possível observar os quatro formulários nas figuras 4, 5, 6 e 7.

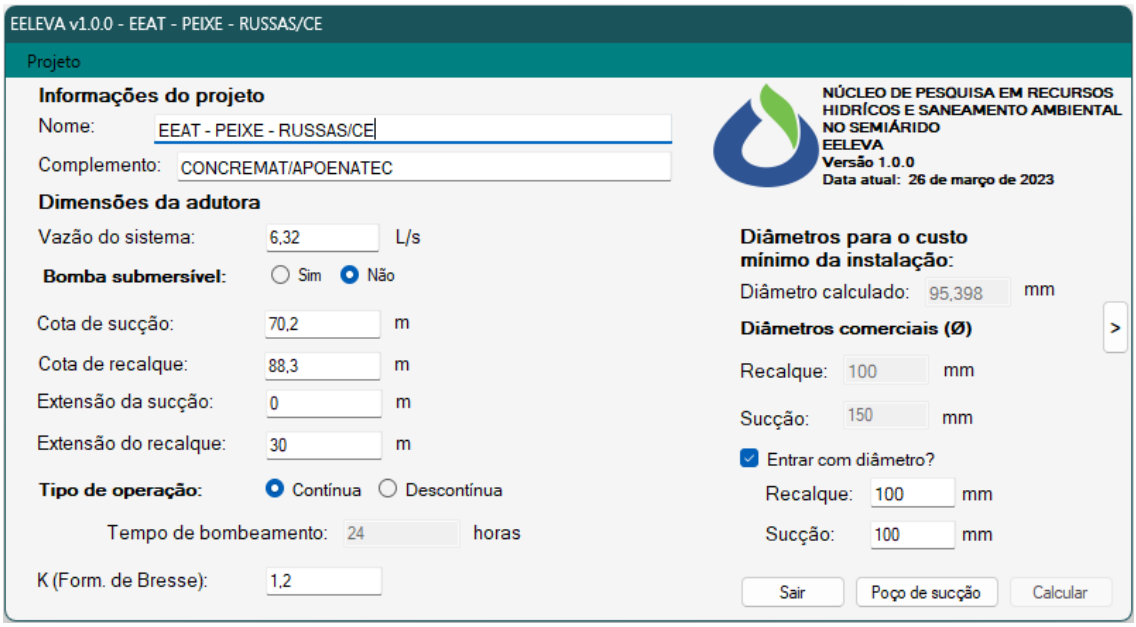

Figura 4: Formulário 1 do aplicativo

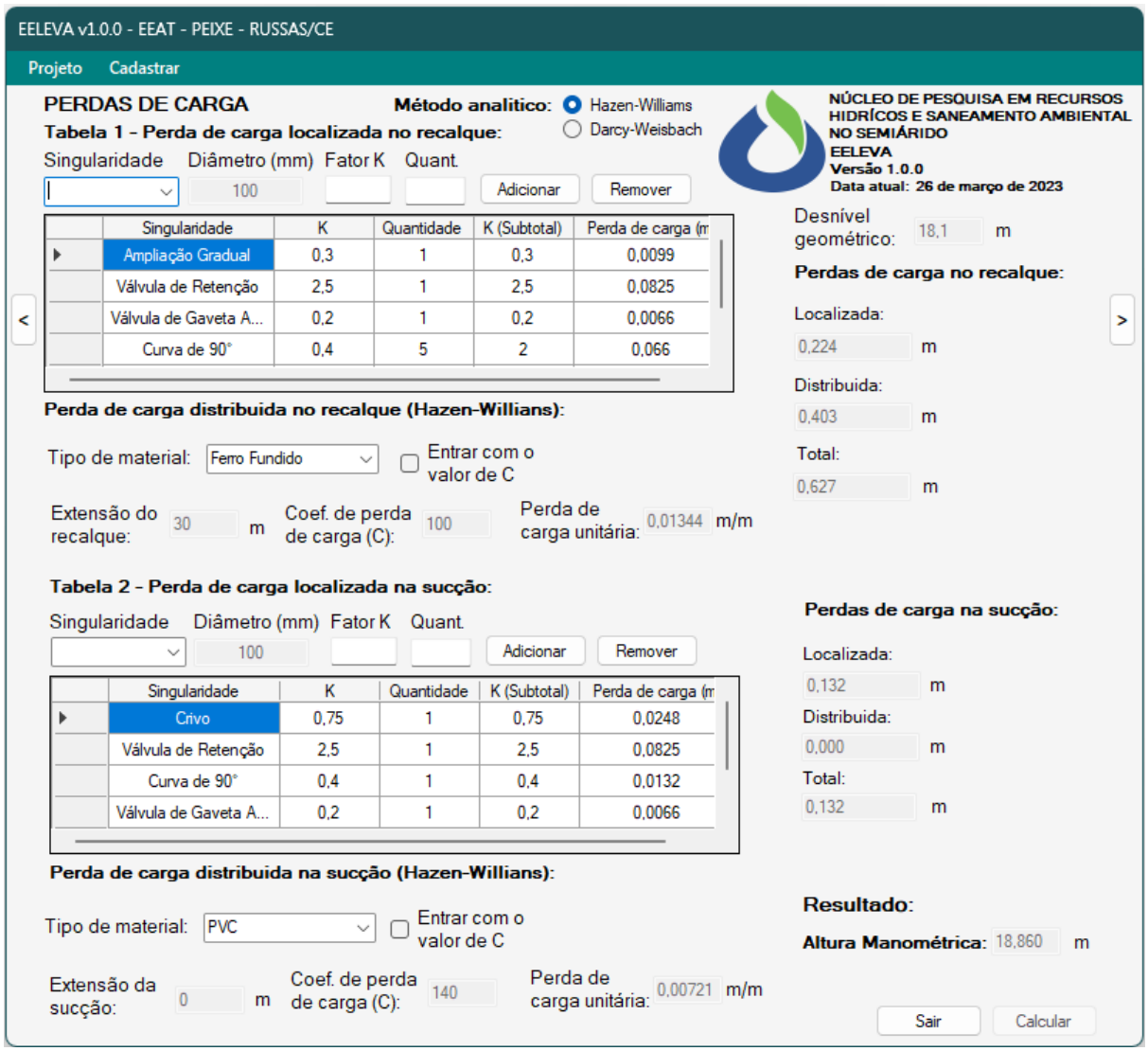

Figura 5: Formulário 2 do aplicativo

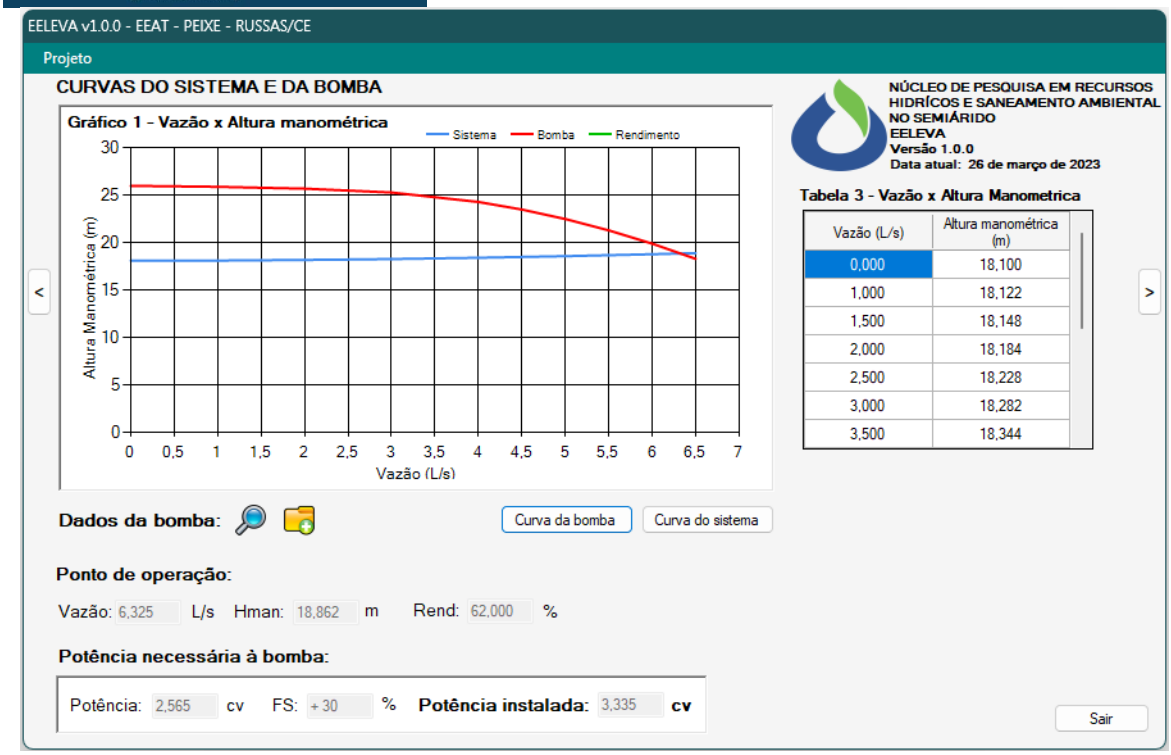

Figura 6: Formulário 3 do aplicativo

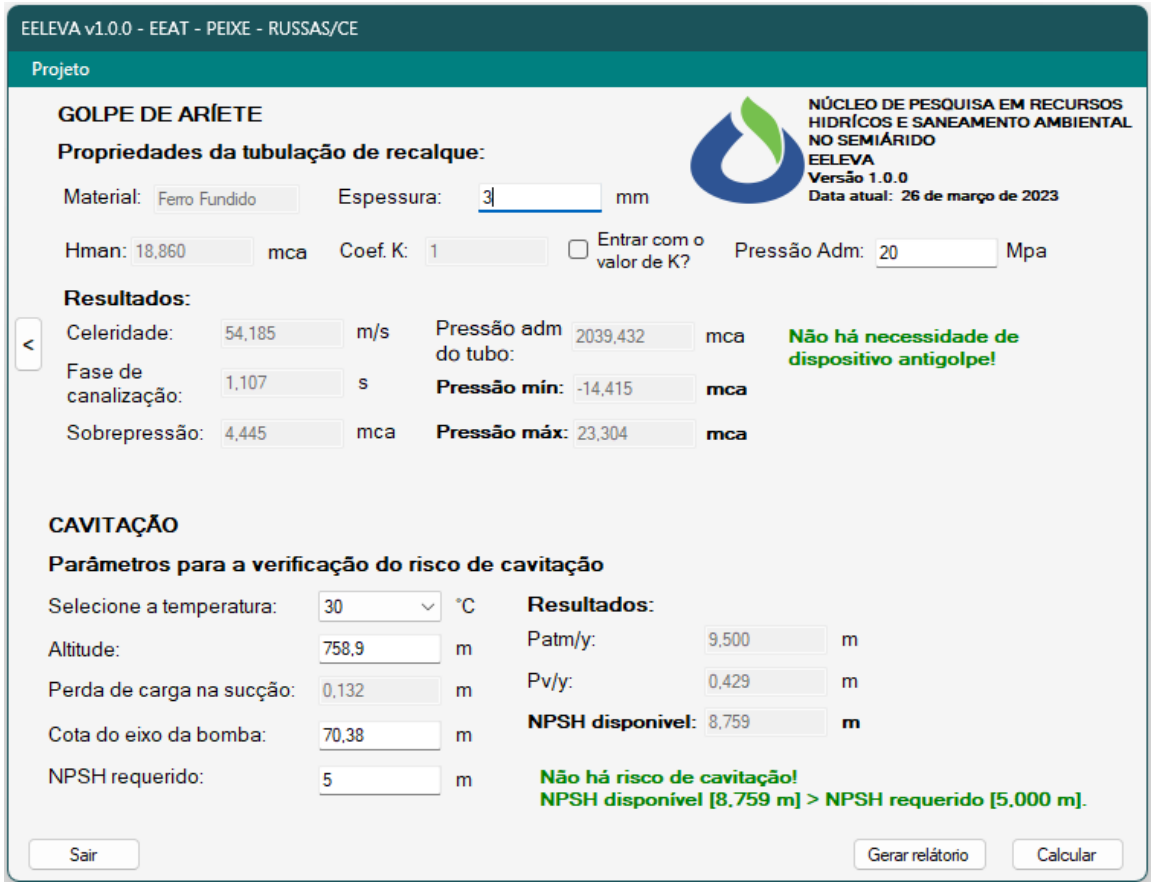

Figura 7: Formulário 4 do aplicativo

ESTUDO DE CASO 2

Na tabela 10 é possível visualizar os dados de entrada utilizados no aplicativo desenvolvido correspondente ao segundo estudo de caso.

Tabela 10: Dados de entrada – estudo de caso 2

Parâmetros	Estudo de caso 2
Vazão (L/s)	6,32
Cota de sucção (m)	77,07
Cota de recalque (m)	77,07
Número de Bresse	1,2
Comprimento do recalque (m)	8165,00
Comprimento da sucção (m)	0
Método de cálculo	Hazen-Williams
Material da tubulação	PVC
Coeficiente de Hazen-Wiliams adotado (FoFo)	140
Rendimento da bomba (%)	72
Temperatura ambiente (°C)	30
Cota no eixo da bomba (m)	70,38
NPSH requerido (m)	4

As comparações entre os valores retornados pelo aplicativo e os encontrados no memorial descritivo referente ao estudo de caso 2 estão apresentados na tabela 11.

Tabela 11: Comparação dos dados relativos ao formulário 1 (estudo de caso 2)

Parâmetros	Projeto	Programa desenvolvido	Erro relativo (%)
Diâmetro econômico (mm)	95	95	0,00
Diâmetro de sucção adotado (mm)	100	100	0,00
Diâmetro de recalque adotado (mm)	100	100	0,00

Nas tabelas 12 e 13, têm-se as singularidades instaladas na EEAB para a sucção e o recalque, respectivamente. Na tabela 14 compararam-se os dados referentes ao formulário 2.

Tabela 12: Singularidades instaladas na sucção (estudo de caso 2)

Singularidades	Quantidade	K unitário	K total
Crivos	01	0,75	0,75
Válvula de retenção	01	2,50	2,50
Curva de 90°	01	0,40	0,40

Redução gradual	01	0,15	0,15

Tabela 13: Singularidades instaladas no recalque (estudo de caso 2)

Singularidades	Quantidade	K unitário	K total
Ampliação gradual	02	0,30	0,60
Válvula de retenção	03	2,50	7,50
Válvula de gaveta aberta (Bomba)	02	0,20	0,40
Curva de 22° 30’	04	0,10	0,40
Curva de 45°	03	0,20	1,80
Curva de 90°	07	0,40	2,80
Tê de passagem direta	09	0,60	5,40
Redução Gradual	01	0,15	0,15
Tê de saída bilateral	01	1,80	1,80
Filtro do macromedidor	01	0,60	0,60
Macromedidor	01	2,50	2,50

Tabela 14: Comparação dos dados relativos ao formulário 2 (estudo de caso 2)

Parâmetros	Projeto	Programa desenvolvido	Erro relativo (%)
Desnível geométrico (m)	0	0	0
Perda de carga unitária no recalque (m/m)	0,00100	0,00100	0
Perda de carga distribuída no recalque (m)	8,18	8,172	0,10
Perda de carga localizada no recalque (m)	0,15	0,148	1,33
Perda de carga unitária na sucção (m/m)	0	0	0
Perda de carga distribuída na sucção (m)	0	0	0
Perda de carga localizada na sucção (m)	0,02	0,025	20
Altura manométrica (m)	8,35	8,345	0,06

Na tabela 15 são apresentados os valores do ponto de operação retornados por cada gráfico, juntamente com as potências calculada e instalada da bomba.

Tabela 15: Comparação dos dados relativos ao formulário 3 (estudo de caso 2)

Parâmetros	Projeto	Programa desenvolvido	Erro relativo (%)
Vazão (L/s)	6,32	6,317	0,05
Altura manométrica (m)	18,86	18,862	0,01
Potência calculada (cv)	0,98	0,980	0,00
Fator de serviço	1,5	1,50	0,00
Potência instalada (cv)	1,47	1,470	0,00

Nas figuras 8 e 9 são apresentadas as curvas do sistema e da bomba, da EEAB real e a retornada pelo aplicativo.

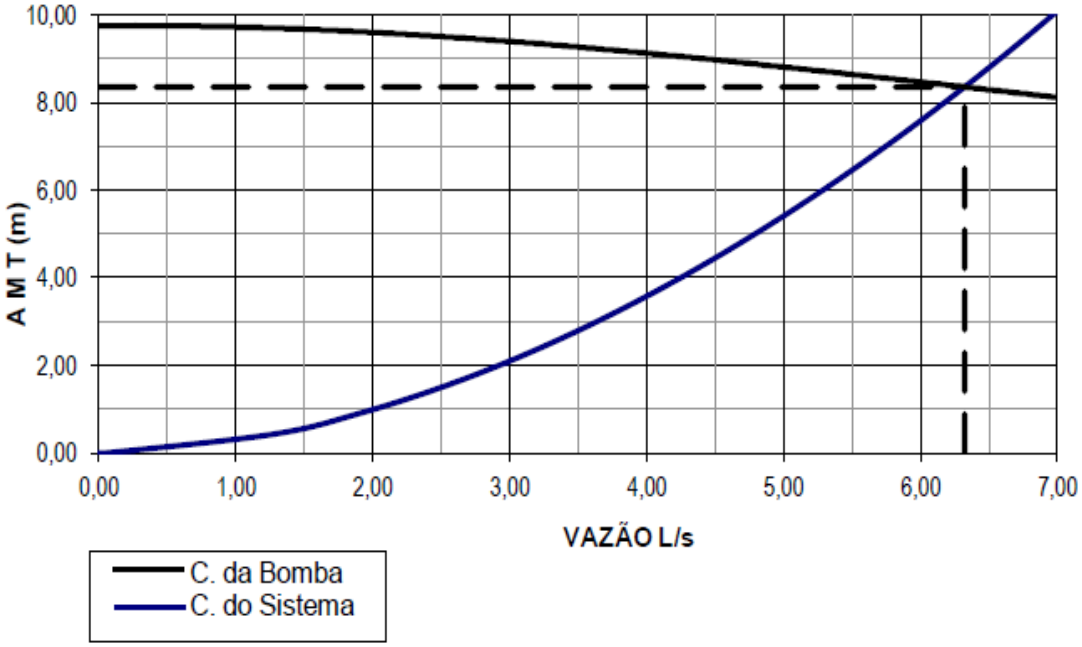

Figura 8: Curva do sistema x curva da bomba (Estudo de caso 2)
Fonte: Concremat e Apoenatec (2007).

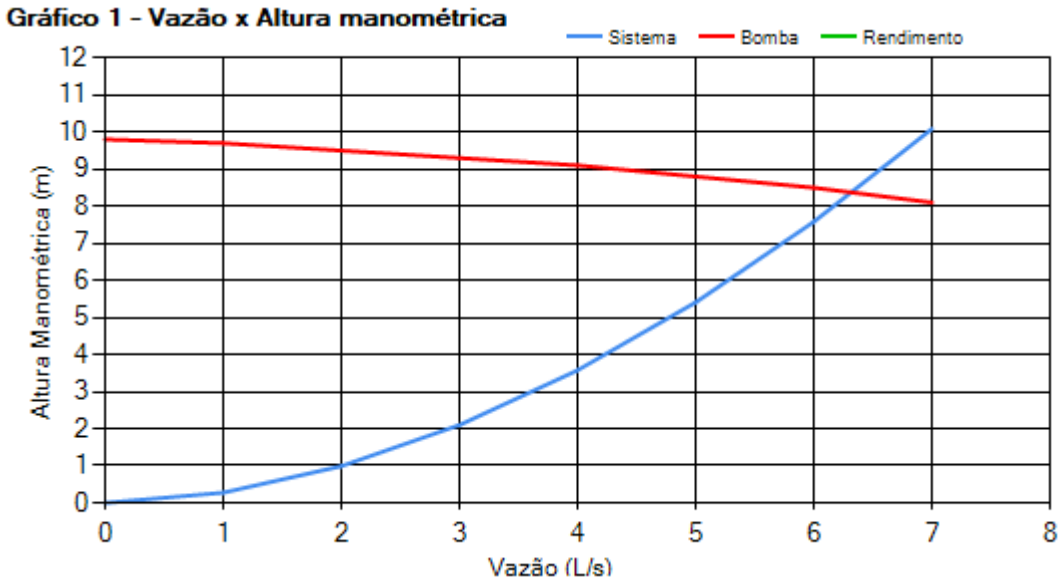

Figura 9: Gráfico das curvas características do sistema x bomba (estudo de caso 2)

Na tabela 16, observam-se os valores correspondentes à verificação da possibilidade de cavitação da bomba adotada, cujos dados correspondem ao formulário 4.

Tabela 16: Comparação dos dados relativos ao formulário 4 (estudo de caso 2)

Parâmetros	Projeto	Programa desenvolvido	Erro relativo (%)
Perda de carga da sucção (m)*	0,17	0,025	85,29

Patm/y (mca)	9,5	9,5	0,00
Pv/y (mca)	0,447	0,429	4,03
NPSH disponível	8,29	8,466	2,12

* O valor da perda de carga da sucção utilizada pelo estudo de caso 2, não condiz com o valor real a ser utilizado.

ANÁLISES E DISCUSSÕES DOS RESULTADOS

De acordo com os resultados, todos os valores ao serem comparados com os estudos de caso foram equivalentes, com exceção do valor da perda de carga localizada de sucção do estudo de caso 2, que correspondeu a um erro relativo de 25%. Porém, essa discrepância numérica ocorre devido aos arredondamentos realizados durante o dimensionamento dos estudos de caso e devido ao aplicativo utilizar dezenas de casas decimais no decorrer dos cálculos, no entanto, considerando os erros relativos menores que 2%, a equivalência dos resultados são de 95 e 90% para os estudos de caso 1 e 2, respectivamente.

A exceção dessas diferenças de valores mínimas, foram os casos das tabelas 4 e 8, em que o erro relativo da pressão de vapor ficou por volta de 4%, o que afetou diretamente o valor do NPSH disponível. No entanto, essa diferença está relacionada ao fato de que o valor da pressão de vapor é tabelado e, dependendo da literatura a ser consultada, poderá conter pequenas diferenças.

Outro ponto analisado no formulário 4 é a discrepância entre os valores da perda de carga total da sucção, tendo em vista que os estudos de caso analisados fazem utilização do valor correspondente à perda de carga localizada total do sistema e não da perda de carga total da sucção, levando essa etapa do dimensionamento ao erro. Porém, por se tratar de uma diferença pequena, foi retornado um valor próximo para o NPSH disponível.

O tempo de processamento do aplicativo durante as etapas de dimensionamento está explicitado na Tabela 17, em milissegundos, exceto o tempo de inserção dos respectivos dados de cada formulário.

Tabela 17: Tempo de processamento do aplicativo

Etapas de dimensionamento	Tempo - Estudo de caso 1 (ms)	Tempo - Estudo de caso 2 (ms)
Características geométricas	12	19
Perdas de carga	8	9
Curva sistema x bomba	11	8
Verificação da cavitação	3	6

Todos os cálculos realizados no programa seguem rigorosamente as normas vigentes e literaturas consagradas no âmbito da engenharia hidráulica, como Tsutiya (2006), Baptista e Lara (2014) e Heller e Pádua (2010).

CONCLUSÕES

O presente trabalho atingiu o objetivo de facilitar o dimensionamento de uma estação elevatória de água, passando por todas as fases do dimensionamento e tendo os valores devidamente comprovados por meio de dois estudos de caso, com a adoção dos parâmetros de cálculo baseados na literatura. A interface do programa, desenvolvida é intuitiva e desenvolve-se por meio de uma marcha de cálculo lógica, o que não apresenta problemas no entendimento.

Vale salientar a correspondência dos resultados obtidos pelo aplicativo que, em relação aos dois estudos de caso 1 e 2, teve uma equivalência de 95 e 90%, respectivamente. Portanto, evidenciou-se o desempenho do aplicativo e similaridade com projetos reais de estações elevatórias. É notório também destacar a minimização do tempo de dimensionamento ao se utilizar o aplicativo, cujo tempo de processamento é de poucos milissegundos.

A partir de todos os dados apresentados no trabalho descrito, é possível indicar melhorias futuras para o aplicativo, como por exemplo, a possibilidade de se trabalhar com mais de uma bomba por sistema, mediante a associação em série e em paralelo de bombas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12214: Projeto de sistema de bombeamento de água para o abastecimento público**. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.
2. ALEM SOBRINHO, Pedro; CONTRERA, Ronan Cleber. **Introdução e concepção de Sistema de Abastecimento de Água.** Apresentação da disciplina Saneamento II. São Paulo. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 2016.
3. AZEVEDO NETTO, J. M. de. **Manual de hidráulica**. 8. ed. atual. São Paulo: Edgard Blücher, 1998.
4. BAPTISTA, M; COELHO, M. **Fundamentos da engenharia hidráulica**. 3. ed. rev. e ampl. – Belo Horizonte: Editora UFMG, 2016.
5. CONCREMAT/APOENATEC. **Projeto do sistema de abastecimento de água da localidade de Peixe.** Russas/CE, 2007.
6. HELLER, L.; PADUA, V. L. **Abastecimento de Água para Consumo Humano**. Belo Horizonte, UFMG. 2010. v. 1.
7. IBGE. **Tabela 1378: População residente, por situação do domicílio, sexo e idade, segundo a condição no domicílio e compartilhamento da responsabilidade pelo domicílio.** Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1378#resultado>. Acesso em: 26 mar. 2023.
8. SNIS. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/saneamento/snis/painel/ab>. Acesso em: 11 jan. 2023.
9. TSUTIYA, M. T. **Abastecimento de água.** Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006.
10. WYLIE, E. B.; STREETER, V. L. ***Fluid transientes in systems***. Nova Jersey: Prentice Hall/ Englewood Clifs, 1993.