PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE

DEPARTAMENTO MUNICIPAL DE ÁGUA E ESGOTOS

DISPENSA DE LICITAÇÃO N° 032/2024

CONTRATO N° 24.10.000007886-4-32

Prestação de serviços técnicos especializados de assessoramento e engenharia consultiva para elaboração de estudos, levantamentos, ensaios, planos de trabalho, anteprojetos, projetos básicos e executivos em EBEs afetadas pelos eventos climáticos de Maio/2024 em Porto Alegre

RELATÓRIO ESPECÍFICO DE CONSULTORIA

TRANSIENTES HIDRÁULICOS-TOMO II – EBE 2S

EG0280-R-RE-THD-01-00-EBE2S

MAR/2026

ENGEPLUS ENGENHARIA E CONSULTORIA

QUADRO DE CODIFICAÇÃO DO DOCUMENTO

Código:	EG0280-R-RE-THD-01-00-EBE2S
Título do Documento:	Relatório Específico Nº 01 – Estudo Transientes Hidráulicos – TOMO II - EBE-2S
Aprovador:	Luiz Gustavo Astigarraga Silveira
Data da Aprovação:	24/03/2026

Controle de Revisões				
Nº da Revisão	Natureza/Justificativa	Aprovação		
		Data	Responsável	Rubrica
00	Emissão Inicial	02/03/26	Sidnei Barth	S.B.
01				

ÍNDICE

1 APRESENTAÇÃO 4
2 ESCOPO DOS SERVIÇOS 5
3 INTRODUÇÃO 6
4 DESCRIÇÃO DO SISTEMA 6
5 DESCRIÇÃO DAS SIMULAÇÕES 8
6 SISTEMA SEM PROTEÇÃO 8
7 SISTEMA COM PROTEÇÃO 10
7.1 Características do dispositivo utilizado 14
8 CONCLUSÃO 16

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Mapa de Situação 5
Figura 6.1: Envoltórias de Pressões - Parada GMB 9
Figura 6.2: Pressões resultantes - Parada GMB 9
Figura 7.1: Envoltórias de Pressões Ventosas Existentes - Parada GMB 10
Figura 7.2: Pressões resultantes ventosas existentes - Parada GMB 11
Figura 7.3: Envoltórias de pressões – ventosas existentes + TAU – Parada GMB 12
Figura 7.4: Pressões resultantes – ventosas existentes + TAU – Parada GMB 12
Figura 7.5: Envoltórias de pressões– ventosas existentes + TAU + ventosa NS – Parada GMB 13
Figura 7.6: Pressões resultantes– ventosas existentes + TAU + ventosa NS – Parada GMB 14
Figura 7.7: Comportamento da água dentro do TAU ao longo da simulação 16

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1: Localização das EBEs 6

1 APRESENTAÇÃO

A ENGEPLUS Engenharia e Consultoria Ltda., contratada pelo DMAE – Departamento Municipal de Água e Esgotos de Porto Alegre por meio do Contrato nº 24.10.000007886-4-32, apresenta este Relatório Específico de Estudos de Transientes Hidráulicos– TOMO II – EBE-2S.

O objetivo é avaliar as condições de trabalho das linhas de recalque e seus equipamentos considerando-se as variações de pressão acima e abaixo do valor de funcionamento normal dos condutores forçados. Esta aparência transitória ocorre geralmente no momento de uma intervenção em um aparelho da rede, como por exemplo, bombas e válvulas.

O conjunto de relatórios Técnicos dos Transientes Hidráulicos da linha de recalque que atende individualmente a cada unidade estão ordenado da seguinte forma:

- TOMO I – Linha de Recalque EBE 1S – SES Zona Sul;
- **TOMO II – EBE 2S – SES Zona Sul;**
- TOMO III – EBE 3S – SES Zona Sul;
- TOMO IV – EBE 4S – SES Zona Sul;
- TOMO V – EBE 5S – SES Zona Sul;
- TOMO VI – EBE Belém Novo – SES Belém Novo;
- TOMO VII – EBE Baronesa do Gravataí – SES Ponta da Cadeia;
- TOMO VIII – EBE Ponta da Cadeia – SES Ponta da Cadeia;
- TOMO IX – EBE Asa Branca – SES Sarandi.

Este documento serve como base de tomada de decisão para o desenvolvimento dos projetos básicos, executivos e planos de ação que visam assegurar a confiabilidade do sistema de esgotamento sanitário em situação de eventos extremos.

Porto Alegre, 24 de março de 2026.

gov.br Documento assinado digitalmente
SIDNEI FAERMANN BARTH
Data: 30/03/2026 16:36:35-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Sidnei Faermann Barth

Engenheiro Civil - CREA/RS 85.244

Consultor

gov.br Documento assinado digitalmente
LUIZ GUSTAVO ASTIGARRAGA SILVEIRA
Data: 30/03/2026 14:50:37-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Luiz Gustavo Astigarraga Silveira

Engenheiro Civil – CREA/RS 65.338

Coordenação Geral

2 ESCOPO DOS SERVIÇOS

O presente trabalho constitui parte do objeto do Contrato de Prestação de Serviços nº 24.10.000007886-4-32, firmado entre a ENGEPLUS e o DMAE Porto Alegre, visando a prestação de serviços técnicos especializados de assessoramento e engenharia consultiva para elaboração de estudos, levantamentos, ensaios, planos de trabalho, anteprojetos, projetos básicos e executivos em Estações de Bombeamento de Esgotos Sanitários - EBEs afetadas pelos eventos climáticos de Maio/2024, nas condições estabelecidas nas Especificações Técnicas do Projeto constante no documento SEI nº 30058065.

São integrantes do contrato, 12 EBEs distribuídas na cidade de acordo com a Figura 2.1.

Figura 2.1: Mapa de Situação



Fonte: Google Earth, Elaboração própria

A Identificação e localização das EBEs estão apresentadas no Quadro 2.1.

Quadro 2.1: Localização das EBEs

NOME	Endereço
EBE 01 - Belém Novo	Rua Euclides Goulart, Nº 50 - quase esquina Av. Beira Rio - Belém Novo
EBE 5S	Av. Orleães Nº 85, esq. Araranguá
EBE 4S	Av. Guaíba, 2031, esq. Rua dos Tabajaras - Zona Sul
EBE 3S	Travessa do Prata. Rua Cel. Marcos, 990, frente AABB.
EBE 2S	Rua Otaviano de Oliveira, ao lado Nº 77, quase esq. Almirante Câmara
EBE 1S	Avenida Guaíba, 4921, próx. Av. Copacabana
EBE - ASA BRANCA	Rua Jorge Valmor Gonçalves, frente ao Nº 369, quase esquina Rua Quinze de fevereiro - Vila Asa Branca
EBE - NOVA BRASÍLIA	Rua Aderbal Rocha Fraga, ao lado Nº 1173 – Sarandi
EBE - PONTA DA CADEIA	Rua Whashington Luiz, Nº 35
EBE - BARROS CASSAL	Rua Barros Cassal, 38
EBE - GASPAR MARTINS	Rua Gaspar Martins, 387
EBE - BARONESA DO GRAVATAÍ	Rua Baronesa do Gravataí, 779 - Próx. Shopping Praia de Belas

3 INTRODUÇÃO

Este estudo tem por objetivo avaliar o comportamento do recalque de esgoto EBE-2S do DMAE quanto à ocorrência de transientes hidráulicos, determinando as medidas e dispositivos necessários à sua proteção, caso necessário.

A simulação da ocorrência de escoamentos transitórios no recalque foi feita através de modelagem matemática com base no método das características, levando em consideração os parâmetros e características considerados na modelagem do sistema em regime permanente.

4 DESCRIÇÃO DO SISTEMA

A elevatória de esgoto terá as seguintes características:

- Número de GMBs: 1 operativo e 1 reserva;
- Modelo adotado como paradigma: Flygt NZ3301 MT3 SMARTRUN;
- Q= 154,54 l/s;
- AMT= 24,07 mca;
- Rotação: 1190 rpm;
- Potência /GMB = 85 cv;
- N.A. mínimo na sucção: -1,50 – 0,84= -2,34 m (corrigido pela diferença de RN);

- N.A. máximo na sucção: -0,50 – 0,84= -1,34 m (corrigido pela diferença de RN);
- N.A. PV de chegada: 13,49 m (cota da geratriz superior do tubo; OBS: *mesmo que na operação o NA do PV esteja abaixo desta cota, não irá influir no transiente, pois o tubo estará a seção plena vertendo a vazão de projeto, ou seja, correspondente a taquicarga de $v^2/2g$*);
- Perfil também foi corrigido pela diferença de RN;
- Desnível geométrico mínimo: 14,83 m;
- Desnível geométrico máximo: 15,83 m;
- Linha de recalque:
  - L= 2900,00 m;
  - FD DN 400 mm.

Celeridade:

$$a = \sqrt{\frac{K}{\rho\left(1+\frac{K \times D}{E \times e}\right)}}$$

- ρ=1000 kg/m³- massa específica da água;
- k=2,05E+09 N/m²- módulo de elasticidade da água;
- E=1,70E+11 N/m²- módulo de elasticidade para canalizações em FD;
- D=0,400 m - diâmetro interno, CLASSE K7, Pressão de Serviço Admissível (PSA – regime permanente)= 3,0 MPa e Pressão Máxima de Serviço (PMS – transiente hidráulico)= 3,6 MPa;
- a=1.090,88 m/s - velocidade de propagação da onda (m/s);

Momento de Inércia:

O momento de inércia calculado do conjunto motor-bomba é o seguinte:

- Momento de Inércia do conjunto (WR^2) = 2,032 Kg.m²

Tanque Alimentador Unidirecional (TAU):

A EBE-2S conta com um TAU na saída do recalque, o qual no momento está desativado. O TAU tem as seguintes características (cotas corrigidas pela diferença RN):

- Volume útil do TAU: 14,73 m3
- Altura de água: 3,00 m (do fundo do mesmo até seu NA máximo);
- Cota do terreno: 2,41 m;
- Cota do fundo: 11,16 m;
- NA máximo: 14,16 m;
- Cota do eixo da tubulação na saída do TAU: 1,21 m;

- Diâmetro do TAU: 2,5 m;
- Diâmetro do barrilete: 400 mm;
- Número de barriletes: 1;
- Diâmetro da alimentação: 200 mm.

Vale observar que as características acima serão todas verificadas nas simulações a seguir, e se for necessário, serão apontadas modificações para garantir a proteção eficiente do sistema.

5 DESCRIÇÃO DAS SIMULAÇÕES

A modelagem do sistema para o estudo dos transitórios hidráulicos considerou as características do recalque conforme o relatório do projeto **EG0280-R-RE-HMC-01-01-EBE2S – Hidromecânico / Tomo II – EBE2S**. Portanto, estudou-se o sistema de acordo com o que lá foi preconizado, ou seja, a utilização da bomba Flygt como paradigma de projeto, apontando um ponto de pior situação operacional (154,54 l/s x 24,07 mca), e que será utilizado nas simulações de transientes.

Vale salientar que a literatura técnica de engenharia hidráulica — incluindo autores como Azevedo Netto, Tomaz (2010) e Macintyre (2013) — estabelece o limite de -8,00 mca como o ponto crítico para o início da separação de coluna líquida em projetos de esgoto e águas servidas. Este valor atua como uma margem de segurança necessária para evitar que o sistema atinja o vácuo absoluto, o que poderia comprometer a integridade estrutural da tubulação.

Primeiramente se simulou o sistema sem proteção, para se avaliar as amplitudes de pressões geradas na parada brusca do bombeamento (queda de energia, por exemplo). Em seguida, em função dos resultados se partiu para atenuação das envoltórias de pressões.

Nas figuras a seguir, as envoltórias de pressões estão na cor azul escuro, o regime permanente no azul claro e a linha da geratriz superior da tubulação na cor verde.

6 SISTEMA SEM PROTEÇÃO

A seguir são apresentados os gráficos da simulação sem dispositivos de proteção, ou seja, considerando que as ventosas não estejam operativas por qualquer problema e sem o TAU, que se encontra desconectado da linha.

Figura 6.1: Envoltórias de Pressões - Parada GMB

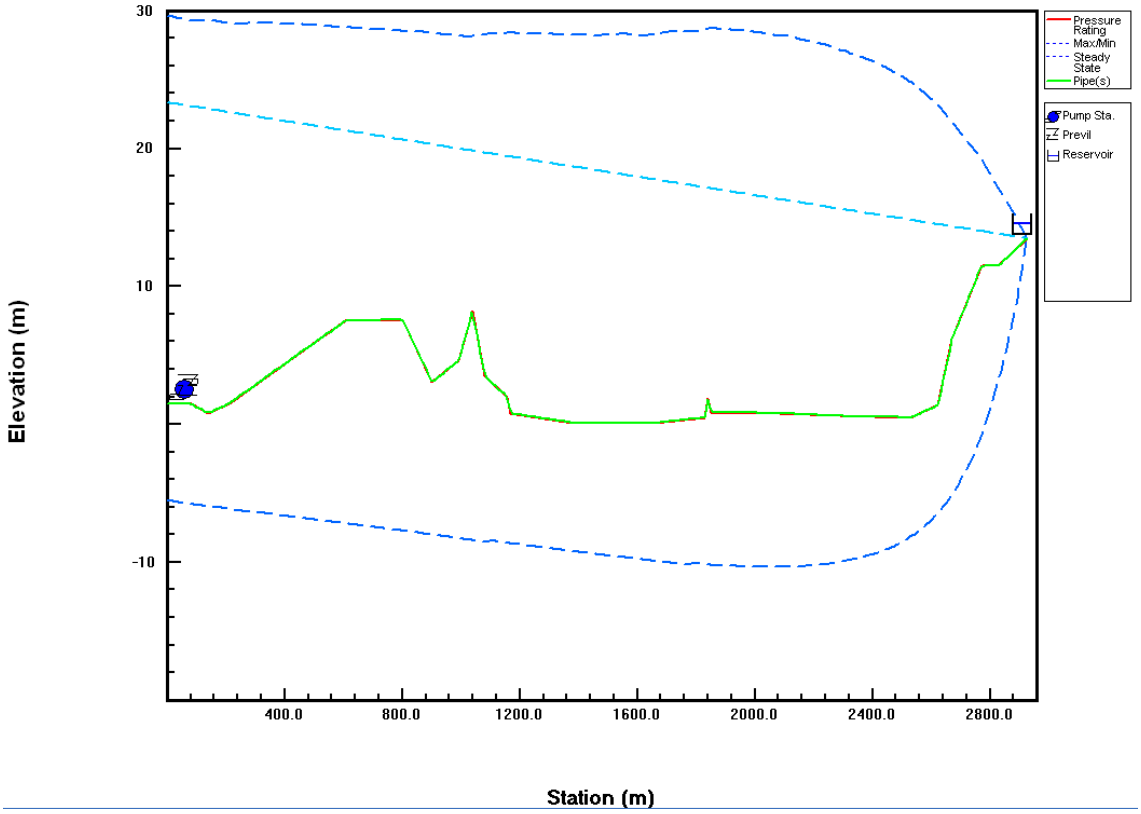
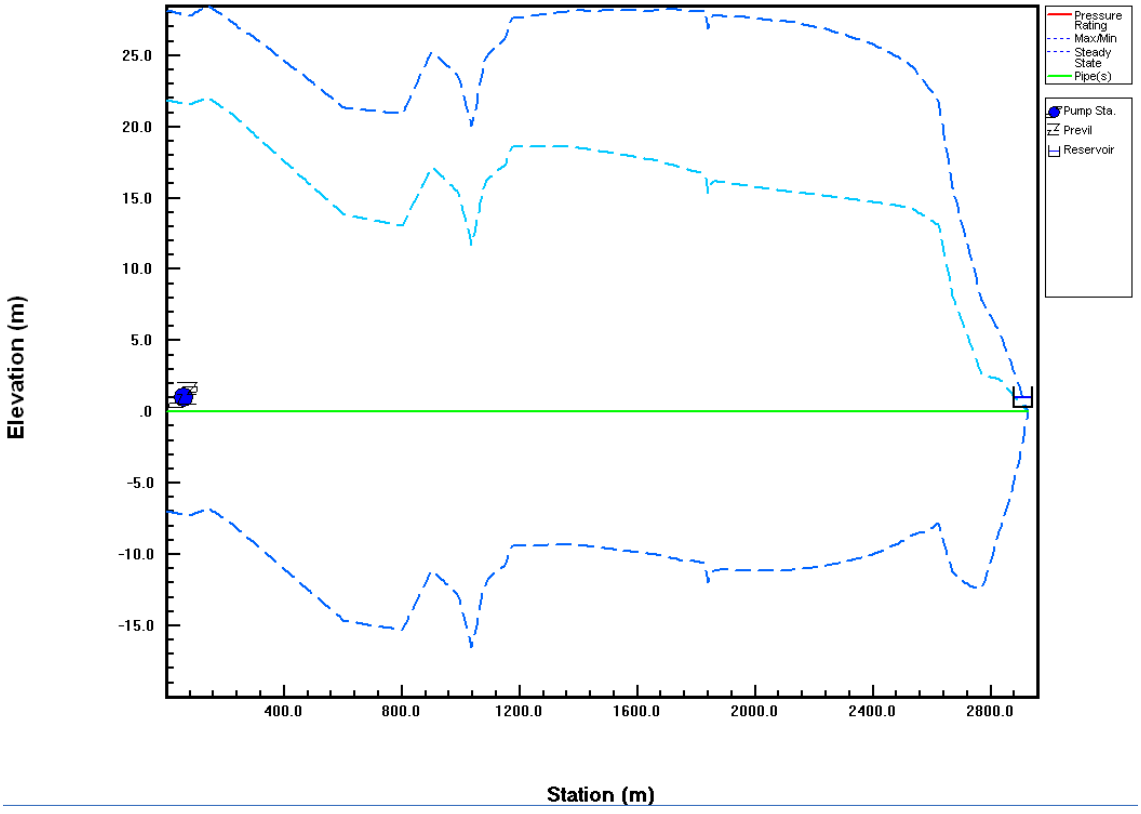


Figura 6.2: Pressões resultantes - Parada GMB



Verifica-se que há ocorrência de depressão, porém não há sobrepressão transiente significativa, sendo os valores mínimos e máximos de -16,50 mca e 28,50 mca, respectivamente.

É importante ressaltar que pressões negativas com magnitudes superiores a -10,0 mca (em termos relativos – para água, para esgoto já foi apresentada a justificativa de -8,0 mca) possuem caráter puramente teórico, visto que o vácuo absoluto ocorre aproximadamente a -10,33 mca ao nível do mar — valor que oscila conforme a altitude e a temperatura local, sendo convencionado como -10,0 mca para este estudo. Portanto, a manutenção de valores inferiores a esse limite nas simulações visa apenas oferecer maior sensibilidade analítica na identificação e espacialização de fenômenos de depressão transiente.

7 SISTEMA COM PROTEÇÃO

A seguir são apresentados os gráficos da simulação adicionando-se as três ventosas tríplice função DN 100 mm existentes, porém ainda sem o TAU. Como se pode observar através da figura abaixo, as ventosas de tríplice função (sem dispositivo anti golpe No Slam – NS) não conseguem diminuir a depressão na linha, ao contrário, acaba por gerar uma pressão negativa de grandes proporções, justamente devido a sobre pressão gerada pelo rejunte das colunas anteriormente separadas pela grande quantidade de ar admitida na linha pelas ventosas e a rápida expulsão deste ar pela falta do dispositivo NS. Este golpe secundário gerado é conhecido por *Air Slam*.

Figura 7.1: Envoltórias de Pressões Ventosas Existentes - Parada GMB

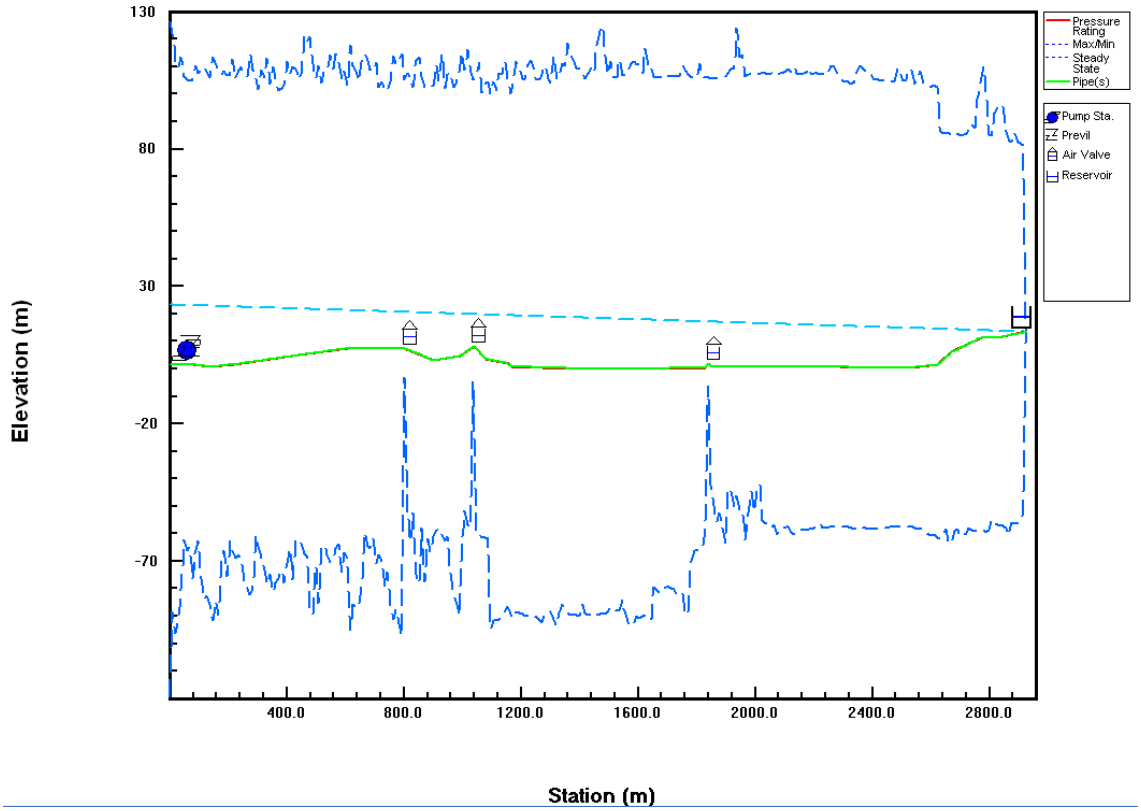
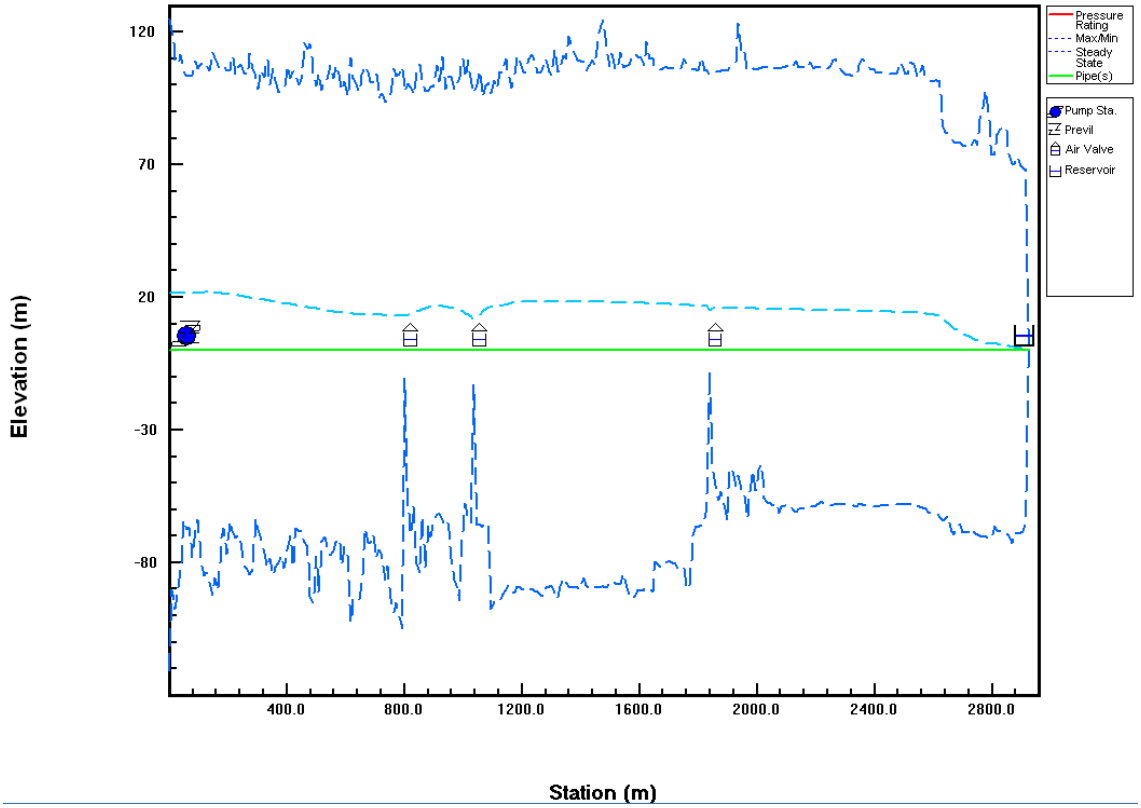


Figura 7.2: Pressões resultantes ventosas existentes - Parada GMB



Verifica-se que há ocorrência de depressão ao longo de quase toda a linha com valor máximo de -116,60 mca, e também há sobrepressão transiente máxima de 126,40 mca.

A partir deste resultado, percebeu-se a necessidade de testar a utilização do TAU existente, já que o resultado anterior pode levar a falhas e comprometimento da vida útil dos equipamentos, além de representar sério risco ambiental em caso de rompimento. A simulação a seguir apresenta o TAU e as ventosas existentes.

Figura 7.3: Envoltórias de pressões – ventosas existentes + TAU – Parada GMB

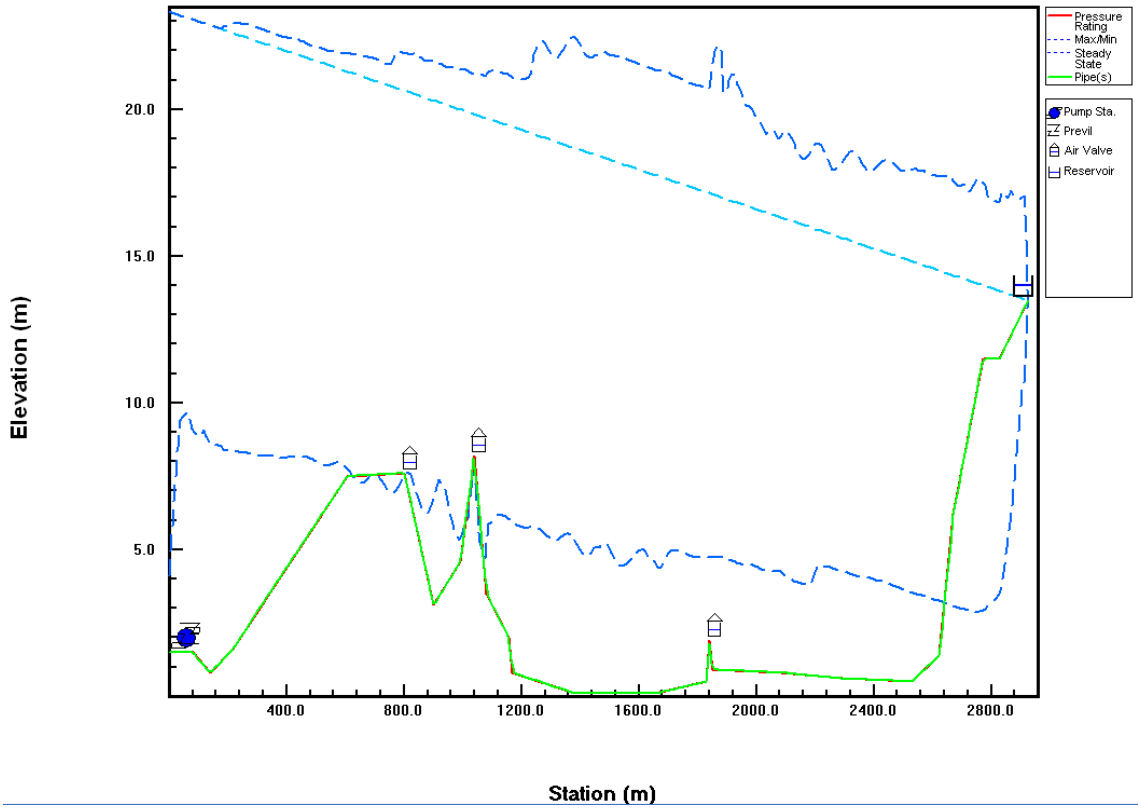
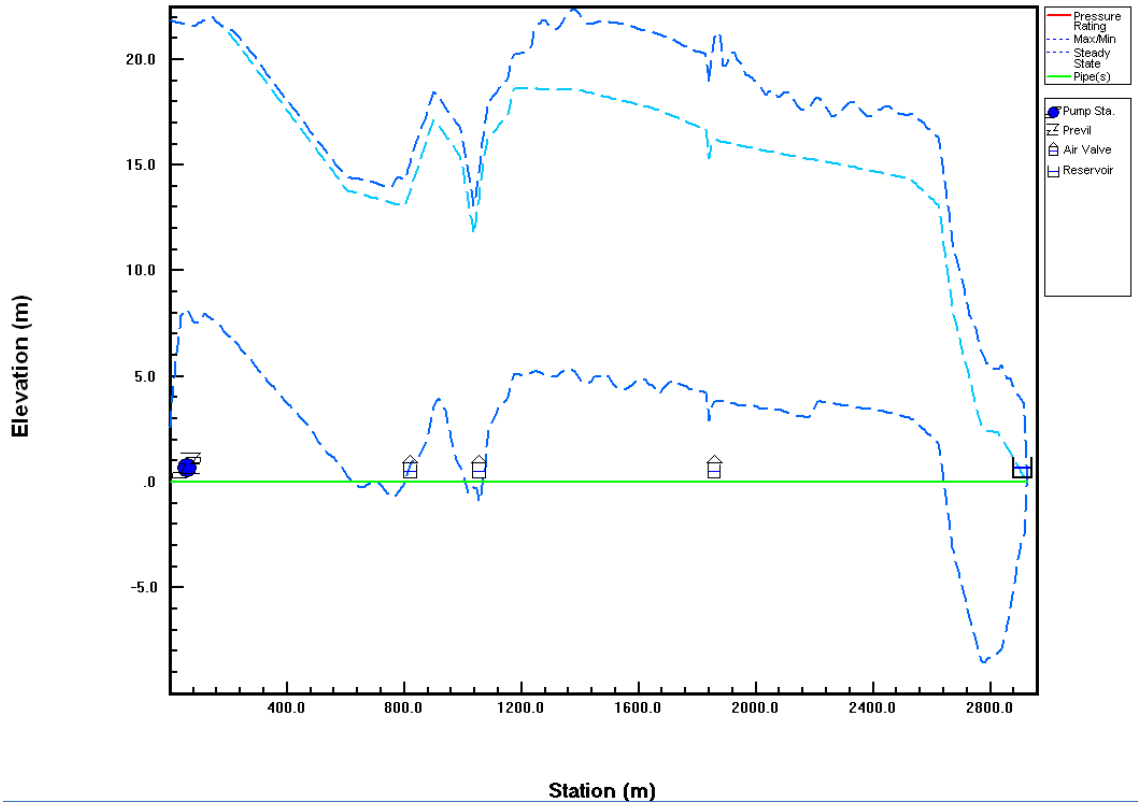


Figura 7.4: Pressões resultantes – ventosas existentes + TAU – Parada GMB



Verifica-se que há ocorrência de depressão na porção final da linha com valor máximo de -8,60 mca, e também há sobrepressão transiente máxima de 22,40 mca.

Por fim, observou-se a necessidade e a possibilidade de aprimorar ainda mais a proteção da linha da EBE-2S adicionando-se uma ventosa do tipo No Slam (NS) ao final do trecho, já que naquela porção ainda persiste pressão de vaporização, conforme a figura abaixo.

Figura 7.5: Envoltórias de pressões– ventosas existentes + TAU + ventosa NS – Parada GMB

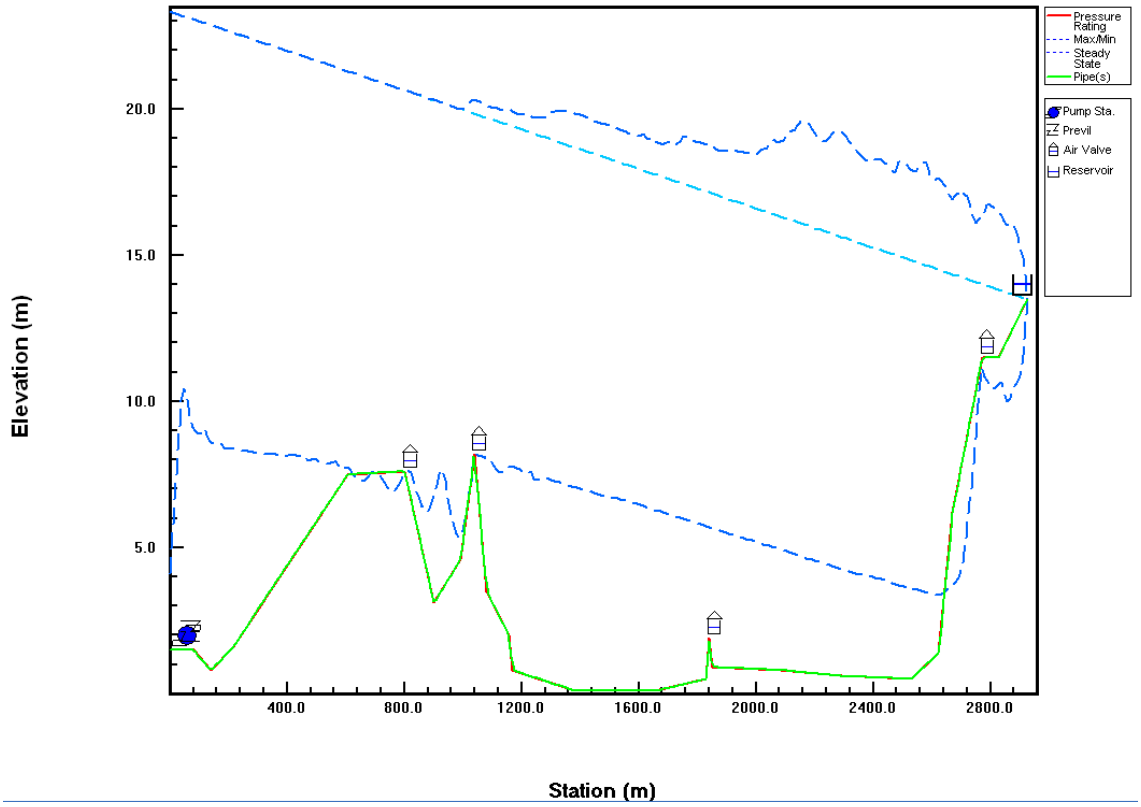
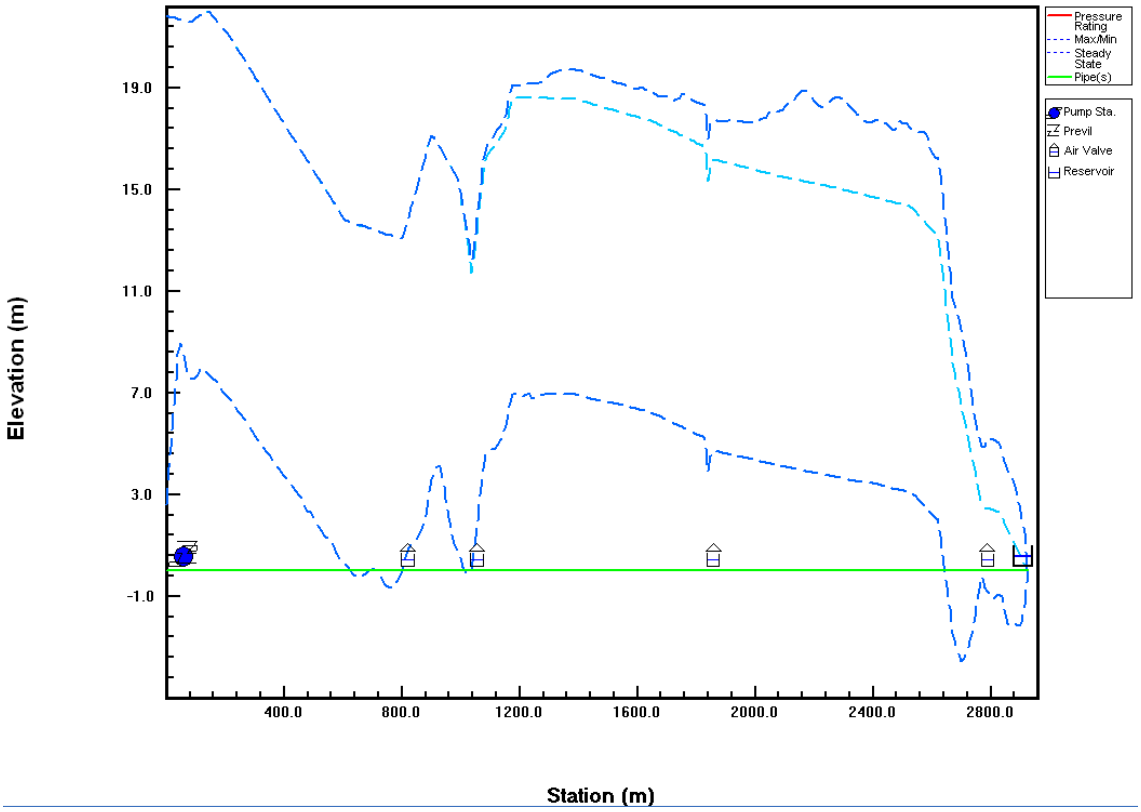


Figura 7.6: Pressões resultantes– ventosas existentes + TAU + ventosa NS – Parada GMB



Verifica-se que a ocorrência de depressão desapareceu com valor máximo de subpressão de -3,60 mca. A sobrepressão transiente não é significativa e o pico de máxima ficou em 22,10 mca, fato pelo qual pode ser considerada a **solução adotada para o sistema**.

7.1 Características do dispositivo utilizado

A nova ventosa indicada pelo estudo de transientes é da ARI para esgoto, **modelo D-026**, DN 50 mm, com componente *NO SLAM* (NS), para implantação no recalque da EBE-2S, e deverá seguir as seguintes características:

- MARCA: ARI eu equivalente;
- **MODELO: D-026 Non Slam de Orifício Único - Simples, para esgoto**;
- Diâmetro do orifício de descarga: 50,0 mm;
- Diâmetro do orifício Non Slam (NS) - anti golpe: 4,5 mm (1 orifício – 15,9 mm^2);
- Acionamento do Orifício NS: mola - normalmente fechada (*"spring loaded normally closed"*);
- Posição da ventosa: distante 2.773 m da EBE-2S;
- Cota da geratriz superior do tubo neste ponto: 11,51 m;
- Pressão mínima estabelecida pelo fabricante para evitar gotejamento: 0,2 Bar.

Tanque Alimentador Unidirecional (TAU):

Como já foi citado, a EBE-2S conta com um TAU na saída do recalque, o qual, a partir deste estudo, é recomendada a sua interligação. O TAU teve a cota de seu NA máximo modificado, resultando nas seguintes características (cotas corrigidas pela diferença RN):

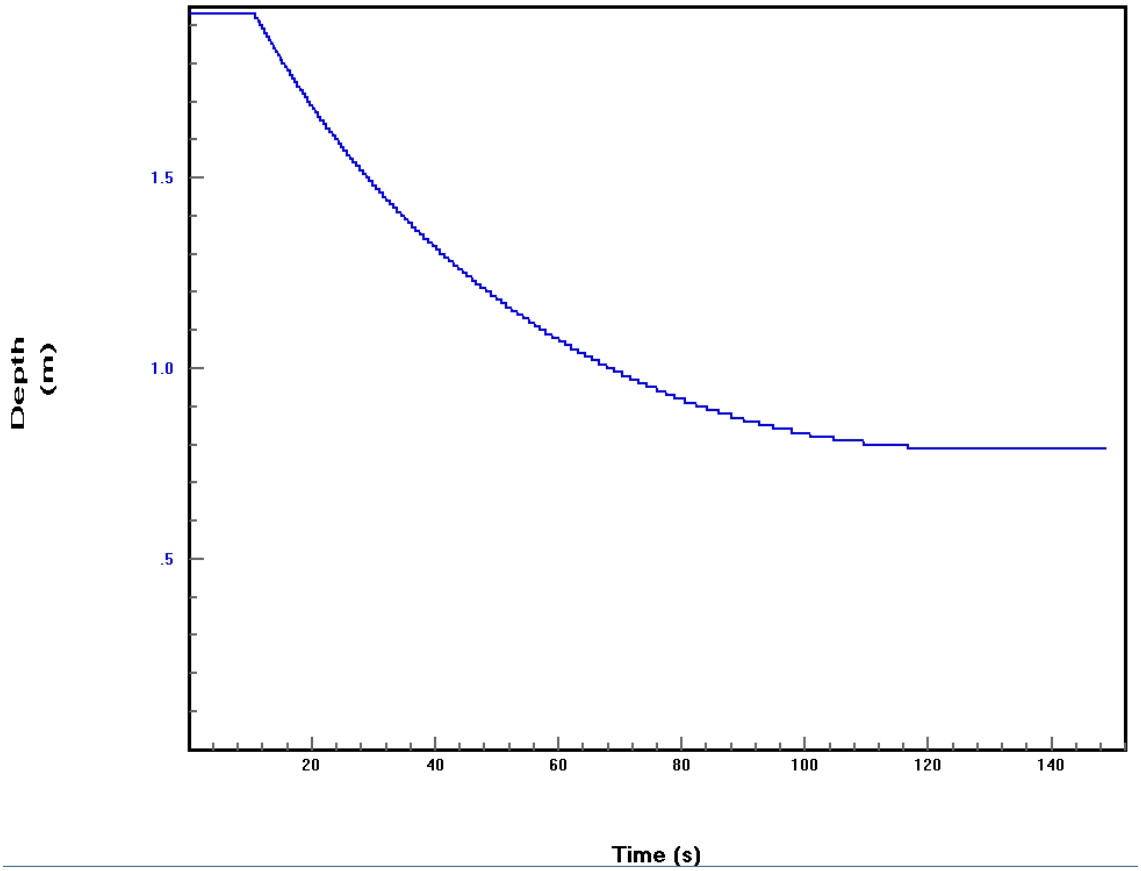
- NA máximo: 13,09 m (cota da geratriz inferior do tubo na chegada do PV 201);
- Cota do fundo: 11,16 m;
- Altura de água: **1,93 m** (do fundo do mesmo até seu NA máximo);
- Diâmetro do TAU: 2,5 m;
- Novo volume útil do TAU: 9,48 m^3;
- Cota do terreno: 2,41 m;
- Altura de água que permaneceu no TAU após a parada da bomba e o transiente gerado: 0,79 m;
- Altura total de água que a qual a linha foi alimentada: 1,93 - 0,79= 1,14 m;
- Volume de água injetado na linha adutora durante o transiente: 5,60 m^3;
- Cota do eixo da tubulação na saída do TAU: 1,21 m;
- Diâmetro do barrilete: 400 mm;
- Número de barriletes: 1;
- Diâmetro da alimentação: 150 mm.

Vale observar que a alimentação do TAU deve ser modificada e o mesmo ser atendido por água tratada.

Outra observação importante é inspecionar a retenção de portinhola dupla posicionada na saída do TAU, e se estiver em boas condições, recomenda-se colocá-la no trecho na horizontal. Outra opção, por se tratar de água limpa a alimentação do TAU, seria utilizar uma retenção de fechamento rápido, que poderia ser na vertical.

As características acima foram todas validadas nas simulações e a seguir, é apresentado o gráfico que comprova a eficiência do funcionamento do TAU, ou seja, que ele não esvazia durante o evento transitório.

Figura 7.7: Comportamento da água dentro do TAU ao longo da simulação



8 CONCLUSÃO

Conforme os estudos desenvolvidos e apresentados acima, quando ocorrer uma parada não programada do recalque, a ação das ventosas por si só não atenuará o aparecimento de depressões e sobre pressões transientes, mas acabarão por gerar uma situação pior do que se elas não estivessem na linha, em termos de impacto aos transientes hidráulicos.

Com isso ficou clara a importância da religação do TAU existente ao recalque e a adição de mais uma ventosa ao final da linha para trazer resultados admissíveis.

Atualmente, conforme desenho EBE 911, da câmara de manobras, está prevista uma válvula de retenção de portinhola dupla, além de duas válvulas de alívio, que não são mais necessárias, conforme se percebe por este estudo, podendo ser suprimidas. Na saída de cada bomba está prevista uma válvula de retenção de portinhola dupla.