

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

**ANÁLISE COMPARATIVA DOS CUSTOS OPERACIONAIS E DE
IMPLEMENTAÇÃO DE SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA
CONSIDERANDO RESERVATÓRIO ELEVADO E BOOSTER**

João Pedro Cremasco

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Departamento de
Engenharia Civil da Universidade Federal
de São Carlos como parte dos requisitos
para a conclusão da graduação em
Engenharia Civil

Orientador: Prof. Dr. Erich Kellner

São Carlos
2022

AGRADECIMENTOS

Meus sinceros agradecimentos aos meus pais e minha irmã, que me incentivaram nos momentos difíceis e serviram de apoio ao longo de todo o período da graduação.

Agradecimento especial ao meu orientador Erich, pela dedicação, esforço, paciência e compartilhamento de conhecimento, contribuindo de maneira fundamental para elaboração deste trabalho. Agradeço também a todos os professores que contribuíram com minha formação, desde a escola primária até o ensino superior.

Agradeço a todos os amigos e colegas de turma, por compartilharem momentos especiais de aprendizado e companheirismo ao longo dessa jornada.

Por fim, agradeço a Deus pro ter colocado essas pessoas em minha vida e fazer com que o objetivo maior fosse alcançado, superando as dificuldades e desfrutando dos momentos.

RESUMO

Os sistemas de abastecimento de água em sua etapa de reservação e distribuição, podem apresentar diferentes soluções, como por exemplo reservatório elevado ou sistemas de pressurização tipo booster. Os reservatórios elevados são compostos por câmara superior e câmara inferior, sendo a água bombeada da inferior para a superior, da qual a mesma é distribuída por meio da gravidade. Os sistemas de pressurização são compostos por um reservatório apoiado e uma bomba de rotação variável, que trabalha de maneira ininterrupta diferentemente da configuração de reservatório elevado. O presente trabalho buscou, por meio de uma modelagem hidráulica no EPANET, realizar um comparativo dos custos operacionais e dos custos de implantação dessas duas configurações de reservação e distribuição, tendo como objeto de estudo o loteamento “Jardim do Bosque” localizado no município de São Carlos (SP). As variáveis analisadas foram o volume armazenado em cada uma das câmaras dos reservatórios, assim como a vazão bombeada em cada uma das situações. Os resultados obtidos indicam que o reservatório elevado apresenta menores custos operacionais de energia e o sistema pressurizador menores custos de implantação do reservatório. Para o caso estudado a melhor alternativa é o reservatório elevado, em função das considerações feitas acerca dos beneficiários.

Palavras-chave: abastecimento de água; reservação; custos.

ABSTRACT

Water supply systems in their reservoir and distribution stage can present different solutions, such as elevated reservoirs or booster pressurization systems. The elevated reservoirs are composed of an upper and lower chamber, with the water being pumped from the lower to the upper chamber, from which it is distributed by gravity. The pressurization systems are composed of a supported reservoir and a variable speed pump, which works uninterruptedly unlike the elevated reservoir configuration. The present work sought, by means of a hydraulic modeling in EPANET, to make a comparison of operational costs and implantation costs of these two reservoir and distribution configurations, having as study object the lot "Jardim do Bosque" located in the city of São Carlos (SP). The variables analyzed were the volume stored in each one of the reservoir chambers, as well as the pumped flow rate in each one of the situations. The results obtained indicate that the elevated reservoir has lower energy operational costs and the pressurizing system has lower reservoir implementation costs. For the case studied, the best alternative is the elevated reservoir, due to the considerations made about the beneficiaries.

Key-words: water supply; reservation; costs.

Figura 1: Sistema de abastecimento de água convencional, unidades constituintes ..9	
Figura 2: Reservatório elevado 11	11
Figura 3: Classificação dos reservatórios em relação ao terreno..... 13	13
Figura 4: Conjunto de motobombas e boosters..... 14	14
Figura 5: Estrutura tarifária brasileira para unidades consumidoras do grupo A..... 18	18
Figura 6: Área estudada..... 20	20
Figura 7: Localização da área estudada em relação ao município..... 21	21
Figura 8: Padrão de consumo provisório adotado na modelagem da rede 23	23
Figura 9: Inserção da Base Demand no EPANET..... 27	27
Figura 10: Valores arbitrários para níveis d'água no reservatório 28	28
Figura 11: Pressões nos nós obtidas na simulação inicial 28	28
Figura 12: Pressões nos nós obtidas após alteração do Minimum Level..... 29	29
Figura 13: Pressão estática observada em cada nó da rede 30	30
Figura 14: Modelo representativo do reservatório no EPANET..... 31	31
Figura 15: Croqui reservatório elevado 32	32
Figura 16: Padrão de consumo de água adotado 33	33
Figura 17: Regras estabelecidas para análise inicial 35	35
Figura 18: Regras estabelecidas para análise com restrição horária 36	36
Figura 19: Croqui reservatório apoiado (booster)..... 38	38
Figura 20: Modelo representativo do booster no EPANET..... 38	38
Figura 21: Regras estabelecidas para análise inicial do <i>booster</i> 40	40
Figura 22: Regras estabelecidas para análise com restrição horário do <i>booster</i> 41	41
Figura 23: Pressão estática observada em cada nó da rede 42	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Indicadores de custo do sistema convencional de água	15
Tabela 2: Cotas de elevação dos nós presentes na rede	22
Tabela 3: Trechos e diâmetros internos	22
Tabela 4: Comprimentos reais, fictícios e fator de contribuição dos trechos da rede	24
Tabela 5: Comprimentos fictícios contribuintes de cada nó	25
Tabela 6: Vazão média de cada nó	26
Tabela 7: Volume armazenado na câmara superior do reservatório	31
Tabela 8: Vazão recalçada entre câmara inferior e superior	31
Tabela 9: Níveis d'água armazenados em cada câmara do reservatório	35
Tabela 10: Características físicas do reservatório apoiado	39
Tabela 11: Custos de energia elétrica para simulação inicial sem restrição de funcionamento das estações elevatórias	43
Tabela 12: Resumo dos custos de energia elétrica de cada bomba para a situação 80/20 e vazão média	44
Tabela 13: Custos de energia elétrica para simulação com restrição de funcionamento das estações elevatórias e reservatórios inicialmente vazios	46
Tabela 14: Resumo dos custos de energia elétrica de cada bomba para a situação 70/30 e vazão média	50
Tabela 15: Custos de energia elétrica para simulação com restrição de funcionamento das estações elevatórias e reservatórios inicialmente cheios	50
Tabela 16: Resumo dos custos de energia elétrica de cada bomba para a situação 60/40 e vazão média	51
Tabela 17: Cotas do reservatório e altura total	54
Tabela 18: Custos de implantação do reservatório considerando cada um dos cenários estudados	55
Tabela 19: Custos de energia elétrica para simulação inicial sem restrição de funcionamento do booster	56
Tabela 20: Resumo dos custos de energia elétrica considerando utilização do booster	58
Tabela 21: Comparativo dos custos de energia elétrica com e sem restrição horária de funcionamento	59

Tabela 22: Cotas do reservatório apoiado	60
Tabela 23: Custos de implantação do reservatório apoiado considerando cada um dos cenários estudados	60

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Curva característica bomba submersível KSB UPA200-11	33
Gráfico 2: Curva de eficiência bomba submersível KSB UPA200-11.....	34
Gráfico 3: Curva característica bomba KSB Meganorm 35-125-rotor122	34
Gráfico 4: Curva de eficiência bomba KSB Meganorm 35-125-rotor122.....	34
Gráfico 5: Padrão tarifário de energia elétrica	37
Gráfico 6: Curva característica bomba KSB Meganorm 065-40-160 n=1750rpm	39
Gráfico 7: Curva de eficiência KSB Meganorm 065-40-160 n=1750rpm.....	39
Gráfico 8: Vazão bombeada do poço para a câmara inferior do reservatório	44
Gráfico 9: Vazão bombeada entre câmaras do reservatório	44
Gráfico 10: Variação do nível d'água na câmara inferior do reservatório	45
Gráfico 11: Variação do nível d'água na câmara superior do reservatório	45
Gráfico 12: Vazão bombeada do poço para câmara inferior do reservatório (com restrição horária)	47
Gráfico 13: Vazão bombeada entre câmaras do reservatório (com restrição horária)	47
Gráfico 14: Variação do nível d'água na câmara inferior do reservatório	48
Gráfico 15: Variação do nível d'água na câmara superior do reservatório	48
Gráfico 16: Comparativo do nível d'água na câmara inferior do reservatório.....	49
Gráfico 17: Comparativo do nível d'água na câmara superior do reservatório.....	49
Gráfico 18: Vazão bombeada do poço para câmara inferior do reservatório (com restrição horária e reservatório cheio).....	51
Gráfico 19: Vazão bombeada entre câmaras do reservatório (com restrição horária e reservatório cheio)	52
Gráfico 20: Variação do nível d'água na câmara inferior do reservatório (com restrição horária e reservatório cheio).....	52
Gráfico 21: Variação do nível d'água na câmara superior do reservatório (com restrição horária e reservatório cheio).....	53
Gráfico 22: Variação do nível d'água na câmara superior do reservatório considerando período de 48 horas.....	54
Gráfico 23: Vazão bombeada do poço para o reservatório	56
Gráfico 24: Vazão bombeada pelo booster	57

Gráfico 25: Nível d'água no reservatório apoiado	57
Gráfico 26: Comparativo da vazão bombeada do poço para o reservatório	58
Gráfico 27: Vazão do booster em caso de restrição horária de funcionamento	59
Gráfico 28: Ocorrência de pressão negativa na rede	60

1. INTRODUÇÃO.....	5
2. JUSTIFICATIVA	6
3. OBJETIVOS	7
3.1 OBJETIVO GERAL	7
3.2 OBJETIVO ESPECÍFICO	7
4. REFERENCIAL TEÓRICO	8
4.1 PARTES CONSTITUINTES DE UM SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE	
 ÁGUA⁸	
4.1.1 SISTEMAS DE RESERVAÇÃO	9
4.1.1.1 Reservatório Elevado.....	10
4.1.1.2 Reservatório Apoiado	12
4.1.2 ESTAÇÃO PRESSURIZADORA	13
4.2 CUSTOS DE UM SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA	15
4.3 MODELAGEM HIDRÁULICA APLICADA A SISTEMAS DE	
 ABASTECIMENTO DE ÁGUA	16
4.4 SISTEMA TARIFÁRIO DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL	17
4.5 CUSTOS DE IMPLANTANÇÃO DE RESERVATÓRIOS DE NÍVEL	
 VARIÁVEL.....	19
5. METODOLOGIA	20
5.1 CARACTERIZAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO	20
5.2 MODELAGEM HIDRÁULICA DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA	21
5.2.1 TRAÇADO DA REDE.....	21
5.2.2 PARÂMETROS E VARIÁVEIS EMPREGADAS	22
5.2.3 DIMENSIONAMENTO.....	23
5.3 MODELAGEM DOS SISTEMAS DE RESERVAÇÃO PARA	
 ABASTECIMENTO PÚBLICO	27
5.3.1 DETERMINAÇÃO DO RESERVATÓRIO ELEVADO	27
5.3.1.1 Caracterização das regras operacionais	35
5.3.1.2 Composição do Custo de Energia Elétrica Consumida	36
5.3.2 DETERMINAÇÃO DO SISTEMA DE PRESSURIZAÇÃO.....	37
5.3.2.1 Caracterização das regras operacionais	40
5.3.2.2 Composição do Custo de Energia Elétrica Consumida.....	41
6. ANÁLISE DE RESULTADOS	42
6.1 ANÁLISE DA REDE	42
6.2 ANÁLISE CUSTOS OPERACIONAIS RESERVATÓRIO ELEVADO	42
6.2.1 CUSTOS COM ENERGIA ELÉTRICA SEM RESTRIÇÃO HORÁRIA DE	
FUNCIONAMENTO DAS BOMBAS	43
6.2.2 CUSTOS OPERACIONAIS COM RESTRIÇÃO HORÁRIA DE	
FUNCIONAMENTO – RESERVATÓRIO VAZIO	46

6.2.3	CUSTOS OPERACIONAIS COM RESTRIÇÃO HORÁRIA DE FUNCIONAMENTO – RESERVATÓRIO CHEIO.....	50
6.3	ANÁLISE CUSTOS de IMPLANTAÇÃO RESERVATÓRIO ELEVADO	54
6.4	ANÁLISE CUSTOS OPERACIONAIS BOOSTER.....	55
6.4.1	CUSTOS OPERACIONAIS SEM RESTRIÇÃO DE HORÁRIO	56
6.4.2	CUSTOS OPERACIONAIS COM RESTRIÇÃO DE HORÁRIO.....	59
6.5	ANÁLISE CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO Do reservatório apoiado do BOOSTER.....	60
7.	CONSLUSÕES.....	62
8.	REFERÊNCIAS.....	64
9.	APÊNDICE A – GRÁFICOS DAS ANÁLISES DO RESERVATÓRIO ELEVADO ..	66
10.	APÊNDICE B – GRÁFICOS DAS ANÁLISES DO SISTEMA BOOSTER.....	127

1. INTRODUÇÃO

A água é algo indispensável e primordial para a sobrevivência das espécies e para o desenvolvimento humano. Assim sendo, os sistemas de abastecimento de água se mostram extremamente necessários, desde a etapa de captação até a etapa de distribuição de água potável. A etapa de reservação está diretamente relacionada com o funcionamento dos sistemas e com a forma de distribuição da água para os consumidores, podendo ocorrer por meio de reservatórios elevados ou por meio de sistemas de pressurização tipo booster.

Os reservatórios elevados de abastecimento público de água são uma das principais partes constituintes de um sistema de abastecimento de água. Esses reservatórios possuem, comumente, duas câmaras de reservação, uma inferior e outra superior, da qual a rede de distribuição de água é alimentada.

Além de garantir um volume de reserva para as oscilações horárias do consumo de água e de garantir uma reserva para combate a incêndio, os reservatórios elevados têm como função principal, garantir a pressão mínima da rede de distribuição de água, a partir do estabelecimento da cota de fundo da câmara superior.

No entanto, com o objetivo de diminuir os custos de implantação de um reservatório elevado, alguns projetistas adotam o sistema pressurizador, conhecido como booster, o qual consiste em um pequeno reservatório apoiado acoplado a uma bomba de rotação variável, responsável pela manutenção da pressurização na rede de distribuição. No entanto, para que ocorra o funcionamento correto da rede de distribuição é necessário que a bomba esteja constantemente em funcionamento, o que deixa de acontecer no caso da falta de energia elétrica.

Em uma primeira e superficial análise, se espera que a implantação de um reservatório elevado demande maior investimento para implantação e pequeno consumo de energia elétrica para sua operação; por outro lado, a adoção de booster parece necessitar de menor investimento para sua implantação, resultando, porém, em elevado consumo de energia elétrica e conseqüentemente elevado custo de operação.

Dessa maneira, este trabalho vem a contribuir com a análise técnica e econômica das duas situações, empregando o empreendimento denominado “Jardim do Bosque”, localizado na zona urbana do município de São Carlos (SP), como objeto de estudo.

2. JUSTIFICATIVA

Os sistemas de abastecimento de água potável são indispensáveis ao desenvolvimento humano e econômico. A produção de conhecimento acerca deste assunto é fundamental para universalizar o acesso e qualificar a prestação dos serviços de saneamento básico no Brasil. O país apresenta problemas relacionados ao sistema de abastecimento de água, como por exemplo o alto índice de perdas, cerca de 40%, e altos custos em energia elétrica para a operação e manutenção dos sistemas, R\$ 7,4 bilhões (SNIS, 2020). Nesse contexto, o estudo de concepção de sistemas de abastecimento de água, assim como de sua manutenção e operação, se fazem relevantes.

A NBR 12.211 (1992) que trata dos estudos de concepção de sistemas públicos de abastecimento de água, estabelece, em seu artigo 3.2 que a concepção básica de um sistema de abastecimento deve contemplar a melhor solução sob os pontos de vista técnico, econômico, financeiro e social. Considerando que o abastecimento tem, como soluções tecnicamente possíveis, o atendimento por reservatório elevado ou por estação pressurizadora (booster), o presente trabalho se justifica por avaliar os limites, técnicos e econômicos, das duas alternativas consideradas.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

Simular e avaliar os consumos e custos energéticos envolvidos em dois tipos distintos de reservação, reservatório elevado e booster, aplicados em um mesmo sistema de abastecimento de água no município de São Carlos-SP.

3.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

Como objetivo específico pretende-se:

- Determinar os custos envolvidos para a construção de cada uma das tipologias consideradas;
- Determinar os custos operacionais decorrentes do uso de energia elétrica para cada uma das tipologias consideradas;
- Determinar os custos totais;
- Analisar a variação da pressão, para cada uma das tipologias consideradas.

4. REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 PARTES CONSTITUINTES DE UM SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Um sistema de abastecimento é um conjunto de obras, equipamentos e serviços destinados ao abastecimento de água potável a população, considerando diversas finalidades como uso doméstico, industrial ou para serviços públicos. A água distribuída deve ser em quantidade suficiente para atender a população assim como apresentar qualidade de acordo com os padrões de potabilidade exigidos, sendo que essa qualidade deve ser física, química e bacteriológica (AZEVEDO NETO, 1998).

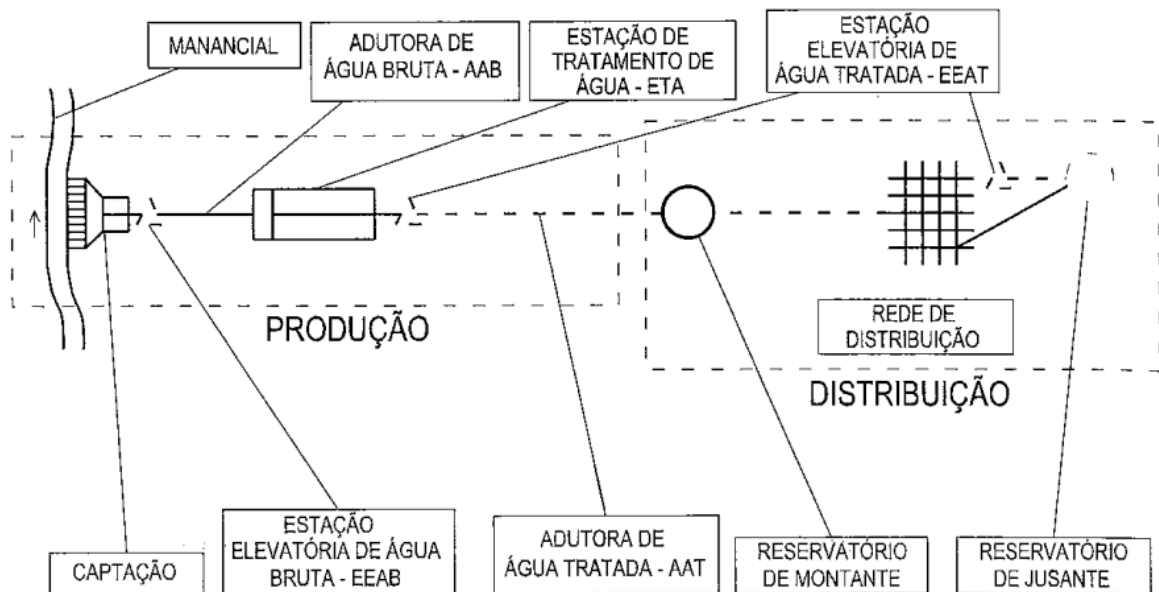
De acordo com Tsutiya (2006), um sistema de abastecimento de água é constituído das seguintes unidades: manancial, captação, estação elevatória, estação de tratamento de água, reservatório e rede de distribuição.

- Manancial: local de onde se retira a água destinada ao abastecimento, podendo ser manancial superficial ou subterrâneo. A água deve ser adequada do ponto de vista sanitário e apresentar vazão suficiente para o período de projeto;
- Captação: é a estrutura responsável pela retirada de água do manancial;
- Estação elevatória: empregada para vencer desníveis geométricos no abastecimento de água, podendo recalcar água bruta e/ou água tratada. Pode haver mais de uma estação elevatória ao longo de um mesmo sistema de abastecimento. Existem estações tipo “booster” que são destinadas para aumentar pressão e/ou vazão nas redes de distribuição;
- Adutoras: conjunto de canalizações que transportam a água entre as unidades de um sistema de abastecimento, com exceção do transporte final que tem como destino o consumidor;
- Estação de tratamento: é necessária em todo sistema de abastecimento, independentemente do tipo de manancial do qual provém a água. É utilizada para atendimento dos padrões de potabilidade;
- Reservatório: atuam como regularizadores das variações de vazão entre as adutoras e a rede de distribuição, além de condicionar as pressões na rede de distribuição;

- Rede de distribuição: distribui a água tratada aos consumidores de maneira contínua em quantidade e pressões adequadas.

A Figura 1 ilustra as unidades constituintes de um sistema de abastecimento de água convencional.

Figura 1: Sistema de abastecimento de água convencional, unidades constituintes



Fonte: Heller e Pádua (2010).

Em função dos objetivos estabelecidos para o presente trabalho, as unidades constituintes abordadas nesta seção de revisão bibliográfica, serão os reservatórios e as estações de pressurização.

4.1.1 SISTEMAS DE RESERVAÇÃO

O reservatório de distribuição é o elemento do sistema de abastecimento de água destinado a regularização das variações entre as vazões de adução e de distribuição e condicionamento das pressões ao longo da rede (ABNT NBR 12217,1994).

A principal finalidade de um reservatório é regular a vazão. O reservatório recebe uma vazão constante, que corresponde a demanda média do dia de maior consumo de água de sua área de influência, acumula essa água durante o período no qual a demanda é inferior à média, e fornece vazão complementar nos períodos em que a vazão é superior à média. Outra finalidade importante dos reservatórios é a de conferir segurança ao abastecimento através do fornecimento de água em ocasiões nas quais ocorrem interrupções no funcionamento

normal da adução, seja por ruptura da adutora, paralisação da captação ou estação de tratamento, ou falta de energia elétrica (TISUTIYA, 2006).

A localização dos reservatórios de distribuição em um sistema de abastecimento é importante para a finalidade de regularização das pressões, uma vez que influencia nas condições de pressão da rede podendo reduzir suas variações. O reservatório pode funcionar também como uma reserva de água para incêndio através do suprimento de vazões extras para esse tipo de ocasião (TISUTIYA, 2006).

A maioria significativa dos sistemas de abastecimento de água utilizam-se de estações elevatórias na adução de água tratada, consumindo energia elétrica. As unidades de reservação permitem menores variações de recalque e o desenvolvimento de estratégias passíveis de reduzir o consumo de energia elétrica, através da interrupção da adução pela estação elevatória nos períodos do dia em que o custo de energia elétrica é maior (HELLER E PÁDUA, 2010). A redução do tempo de funcionamento das estações elevatórias é uma importante estratégia para redução dos gastos com energia elétrica, que representam de 12 a 20%, atingindo até 25%, em alguns casos, da arrecadação dos sistemas de abastecimento de água no Brasil, constituindo-se no segundo maior insumo mais importante, ficando atrás somente do gasto com pessoal (HELLER E PÁDUA, 2010).

Os reservatórios são classificados de acordo com sua posição em relação à rede de distribuição e em relação à sua posição no terreno. A primeira classifica os reservatórios em de montante, de jusante e intermediários. Os reservatórios de montante são os que sempre fornecem água a rede de distribuição, os de jusante ou de sobra são os que recebe água durante o período de menor consumo e auxilia no abastecimento nos períodos de maior consumo e, os intermediários, atuam na regularização das transições entre bombeamento e/ou adução por gravidade. A segunda classificação classifica os reservatórios em enterrados, semienterrados e elevados (TSUTIYA, 2006).

Custo elevado de implantação, localização em cota adequada para atendimento das variações de pressão e impacto ambiental em virtude da implantação são alguns dos inconvenientes e desvantagens das unidades de reservação (TSUTIYA, 2006).

4.1.1.1 Reservatório Elevado

A ABNT NBR 12.217:1994 define reservatório elevado como sendo o reservatório cuja função principal é condicionar as pressões nas áreas de cotas topográficas mais altas. Reservatório elevado pode ser definido também como reservatório cuja cota de fundo é superior à cota do terreno no qual se localiza (TISUTYIA, 2006).

Os reservatórios elevados apresentam elevados custos de construção e, em alguns casos, são substituídos por estações elevatórias tipo “booster”, a qual é ligada diretamente na rede de distribuição de água (TISUTYIA, 2006).

Tisutyia (2006) elenca as seguintes vantagens dos reservatórios elevados:

- Podem funcionar com um dispositivo de proteção das tubulações do sistema de distribuição de água, contra a ocorrência dos transitórios hidráulicos;
- A elevatória que bombeia água para reservatórios elevados, apresenta custos com energia elétrica menores se comparados com o bombeamento direto para a rede de distribuição realizado por meio de “boosters”, uma vez que o rendimento do conjunto motor-bomba na primeira situação é maior que na segunda;
- O controle das pressões na rede de distribuição é maior devido a diminuição das perdas de água que ocorre quando se utilizam sistemas de pressurização;
- Podem armazenar reserva de água para situações de combate a incêndios e ocasiões excepcionais.

Esse tipo de reservatório pode apresentar mais de um compartimento de reservação, de modo que cada compartimento é responsável por atender a uma determinada zona de pressão requerida na rede de distribuição (TSUTIYA, 2006). A Figura 2 ilustra a configuração de um reservatório elevado comumente utilizado em condomínios residenciais, contendo duas câmaras.

Figura 2: Reservatório elevado



Fonte: Autoria própria (2022).

Em diversos sistemas de abastecimento, principalmente em cidades com terreno menos acidentado, o reservatório elevado é construído nas proximidades de outra unidade de reservação, podendo essa ser enterrada ou apoiada. Nessas situações, o abastecimento do reservatório elevado é realizado pela adução da água da outra unidade, reduzindo os gastos com energia elétrica, pois a estação elevatória é dimensionada para uma menor altura manométrica, em virtude da redução do desnível geométrico a ser vencido e pela redução da tubulação de recalque. Esse tipo de associação de reservatório contribui para a otimização da operação do sistema de abastecimento (HELLER E PÁDUA, 2010).

A eficiência da bomba de uma estação elevatória que abastece os reservatórios elevados pode ser maximizada quando a entrada de água no reservatório ocorre no ponto mais alto da unidade, uma vez que a altura manométrica se torna menos variável. Contrariamente, quando a tubulação de entrada se localiza no fundo do reservatório, a variação da altura geométrica decorrente da variação do nível de água na unidade de reservação provoca alterações no ponto de operação da bomba, podendo reduzir sua eficiência e, por consequência, influenciar negativamente nos custos com energia elétrica (HELLER E PÁDUA, 2010).

A seção horizontal circular é a mais econômica para reservatório elevados, tendo dimensões econômicas quando a relação entre a altura do reservatório, propriamente dita, e o seu diâmetro respeitarem a relação 1:2. A atribuição de partido estético ao reservatório elevado, tornando-o um empreendimento de referência estética em uma cidade, confere aumento ao custo de construção do mesmo (KELLNER, 2014).

4.1.1.2 Reservatório Apoiado

Os reservatórios apoiados são aqueles cujo fundo se encontra a uma profundidade correspondente a menos de um terço de sua altura total abaixo do nível do terreno em que se localiza. Do ponto de vista construtivo, são mais fáceis de serem executados se comparados com os reservatórios elevados, entretanto necessitam de um isolamento térmico adequado (TSUTIYA, 2006).

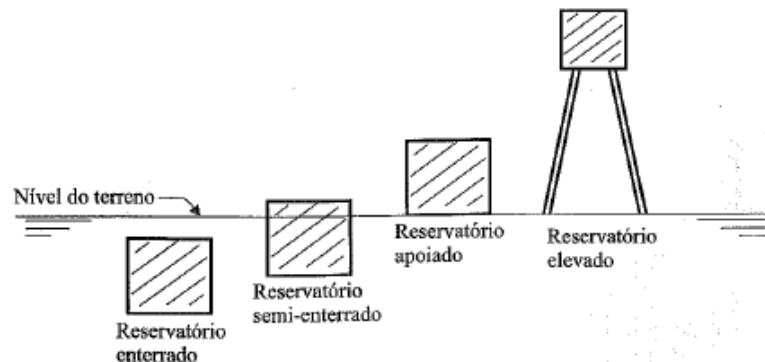
A utilização desse tipo de reservatório pode ocorrer de maneira conjunta com reservatórios elevados, principalmente quando o volume demandado pela área de influência do reservatório elevado for significativo (maior que 500m³), visando tornar a execução economicamente mais vantajosa através da divisão do volume em duas unidades de reservação. Para esse tipo de alternativa é necessário que o reservatório apoiado tenha capacidade de armazenar entre 80 e 90% do volume total de reservação demandado pela sua área de influência, sendo o restante recalcado para o reservatório elevado a fim de

garantir um volume mínimo em cota elevada e evitar partidas e paradas sucessivas da bomba (HELLER E PÁDUA, 2010).

Em relação a localização do reservatório apoiado na rede de distribuição, este deverá ser posicionado em um local do terreno que apresenta cota altimétrica que supere em, pelo menos, 10 metros acrescidos da perda de carga entre o reservatório e a cota do terreno mais elevada da região que irá abastecer, a fim de garantir a pressão dinâmica mínima de 10mca requerida pôr norma (HELLER E PÁDUA, 2010).

A Figura 3 ilustra a classificação dos reservatórios em relação ao posicionamento do terreno.

Figura 3: Classificação dos reservatórios em relação ao terreno



Fonte: Tsutiya (2006).

4.1.2 ESTAÇÃO PRESSURIZADORA

Estação pressurizadora ou “booster” é nome que se dá as elevatórias utilizadas para o reforço na adução ou na rede de distribuição de um sistema de abastecimento de água. Esse tipo de estação não dispõe de poço de sucção, sendo instalada diretamente na adutora ou na rede de distribuição principal (TSUTIYA, 2006).

O “booster” utilizado na adução dos sistemas de abastecimento, são conhecidos como “boosters” em linha, uma vez que o conjunto motor-bomba é instalado de maneira intercalada e direta com a tubulação, recebendo água a montante com uma determinada pressão e injetando-a à jusante com uma pressão mais elevada que a pressão de entrada. Esse tipo de “booster” também pode ser utilizado para aumentar a vazão de adução em uma adutora, seja por motivos de envelhecimento da tubulação e conseqüente redução da vazão, ou quando se deseja aduzir maior quantidade de água para a área de consumo atendida (TSUTIYA, 2006).

Na rede de distribuição de água, a instalação do “booster” também é realizada diretamente na rede (tubulação), com o objetivo de aumentar a pressão a jusante, visando manter a pressão constante em toda a rede de distribuição de água, independente das

variações de consumo ocorridas ao longo do dia. Para se atingir esse objetivo, normalmente se utiliza variadores de rotação da bomba nos conjuntos motor-bomba (TSUTIYA, 2006).

A utilização de bombas submersas de rotação fixa em “boosters”, apesar de apresentarem menor custo de implantação, apresentam alto índice de manutenção, principalmente no que diz respeito a queima de motores. Esse tipo de equipamento apresenta rendimento energético baixo, pressões elevadas à jusante da bomba, principalmente no período noturno, proporcionando aumentos nos vazamentos na rede, além de variações bruscas no escoamento devido às paradas das bombas (TSUTIYA, 2006).

Devido a ocorrência desses inconvenientes, os “boosters” com bombas de rotação constante passaram a ser substituídos por “boosters” com bombas de rotação variável, sendo o variador de rotação hidrocínético e o inversor de frequência os mais empregados. O variador de velocidade hidrocínético é composto por um eixo de entrada de rotação fixa e um eixo de saída de rotação variável, podendo variar linearmente de zero até uma rotação próxima a do eixo de entrada. Seu funcionamento é similar a dois ventiladores posicionados frente a frente, fazendo-se o primeiro girar, o movimento de ar por ele provocado vai atingir as pás do segundo fazendo com que esse gire também. O inversor de frequência é um equipamento elétrico que, através da variação nas velocidades da frequência elétrica que alimenta o motor, provoca a variação da rotação (TSUTIYA, 2006).

A Figura 4 ilustra um conjunto de estações pressurizadoras compostas por motobombas e *booster* empregadas em um empreendimento para abastecimento de 136 unidades residenciais na cidade de Bonfim Paulista (SP) em um terreno no qual o abastecimento por gravidade não é possível.

Figura 4: Conjunto de motobombas e boosters



Fonte: Autoria própria (2022).

4.2 CUSTOS DE UM SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

O custo de um projeto de um sistema de abastecimento de água deve considerar os custos fixos de investimento e os custos variáveis de operação e manutenção, que incidem ao longo do alcance do projeto (GOMES, 2009).

Os custos considerados fixos ou de investimento, são aqueles que dizem respeito à aquisição dos equipamentos hidráulicos e aqueles relacionados com a implantação dos sistemas. Considera-se equipamentos hidráulicos as tubulações, válvulas, equipamentos eletromecânicos, peças de conexão e etc., e na implantação do sistema são consideradas as obras civis de escavação e montagem dos equipamentos. Os custos com tubulação são predominantes em sistemas de abastecimento de médio a grande porte e, normalmente, os valores dos demais equipamentos como também os gastos com transporte, escavação e montagem, representam um percentual dos custos totais das tubulações (GOMES, 2009).

Os custos variáveis ocorrem ao longo da vida útil do projeto e compreendem as despesas de operação e manutenção das instalações do sistema de abastecimento. Os custos com manutenção dizem respeito à conservação das instalações, reparo de peças e acessórios presentes no sistema e reposição de equipamentos. Os custos de operação são, em geral, relativos aos gastos de energia das estações elevatórias, que na grande maioria das vezes, chegam a ultrapassar os custos de investimentos ao longo da vida útil dos projetos (GOMES, 2009).

Em geral, nos sistemas de abastecimento convencionais, os custos de implantação das redes de distribuição são os mais representativos, seguidos dos custos de captação e ou adução, dependendo da população atendida, como ilustrado na Tabela 1 (TSUTIYA, 2006).

Tabela 1: Indicadores de custo do sistema convencional de água

Partes constituintes do sistema	Custo (%)			
	P≤10.000	10.000≤P≤40.000	40.000≤P≤100.000	P≥100.000
Captação	30	20	8	3
Adução	8	9	11	11
Bombeamento	6	5	5	1
Tratamento	12	9	9	5
Reservação	6	6	6	4
Distribuição	38	51	61	76

Fonte: Tsutiya (2006).

4.3 MODELAGEM HIDRÁULICA APLICADA A SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Os estudos de sistemas de abastecimento de água foram iniciados antes do desenvolvimento de programas de simulação hidráulica. Os projetistas utilizavam cálculos manuais, ábacos e até o modo experimental para desenvolvimento de projetos e execução dos sistemas de abastecimento. Atualmente têm-se a disposição ferramentas de simulação hidráulica que permitem a realização de análises detalhadas e sem dificuldade de complexos sistemas de abastecimento (OLAIA, 2012).

A ABNT NBR 12.218 (2017) diz que para o desenvolvimento de projetos de sistemas de abastecimento é necessário realizar simulações hidráulicas considerando diversos cenários, com calibração e validação do sistema existente e do sistema proposto. Os resultados dessas simulações devem apresentar as características operacionais de todas as unidades necessárias do sistema distribuidor, como tubulação, elevatório/"booster", reservatórios, válvulas redutoras de pressão, etc.

A modelagem e simulação hidráulica possui grande aplicabilidade, podendo ser empregada nas fases de planejamento, projeto, operação, manutenção e reabilitação de sistemas de abastecimento de água. Além disso, podem ser realizadas de duas formas: estática ou dinâmica. A análise/simulação estática é realizada quando se deseja uma simulação em um determinado momento, ou seja, em um tempo específico. A simulação dinâmica é realizada quando se deseja obter resultados ao longo do tempo, ou seja, trata-se de uma simulação sequencial e que exige um padrão temporal (LOUREIRO; COELHO, 2002).

Quando empregada no dimensionamento de um sistema de abastecimento de água, a modelagem hidráulica auxilia na escolha dos diâmetros e nos materiais empregados, na determinação da capacidade de reserva dos reservatórios, altura de elevação das estações elevatórias, definição das pressões na rede de distribuição e introdução de válvulas redutoras de pressão quando necessário, além de avaliar o comportamento dos desinfetantes aplicados ao longo da rede e em que momento os mesmos devem ser aplicados (LOUREIRO; COELHO, 2002).

No que diz respeito ao planejamento de sistemas de abastecimento de água, a simulação hidráulica contribui para a programação de intervenções de reabilitações, simulação dos cenários de operação cotidianas, identificação de situações problemáticas, análise dos impactos provocados por eventuais intervenções (introdução de novas estações elevatórias, reservatórios, alargamento da rede de distribuição, etc.) e controle de perdas de água (LOUREIRO; COELHO, 2002).

Ademais, a simulação hidráulica tem uma notável importância na manutenção e operação dos sistemas de abastecimento, possibilitando a simulação de diversos cenários em relação ao controle operacional da rede distribuição, servindo de base para análise do impacto em virtude de um determinado órgão do sistema e possibilitando a minimização dos recursos energéticos, a otimização entre o armazenamento de água e sua estação elevatória e a gestão da pressão na rede de distribuição (LOUREIRO; COELHO, 2002).

Dentre os programas computacionais que realizam modelagem hidráulica têm-se o EPANET, que foi desenvolvido pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (U. S. Environmental Protection Agency – EPA), sendo um programa de domínio público que pode ser utilizado livremente por qualquer usuário.

O EPANET é um programa que permite simular o comportamento hidráulico de um sistema de abastecimento de água e de parâmetros de qualidade da água ao longo da rede de distribuição, durante um determinado período de tempo. O programa permite obter valores de vazão nos trechos, pressão em cada nó, altura de água em reservatórios de nível variável e concentração de elementos químicos na água, durante o período de simulação. Pode contribuir para análises de gestão, objetivando melhorar a qualidade e quantidade de água fornecida, assim como avaliar possíveis ações que podem diminuir o consumo de energia elétrica das estações de bombeamento (GOMES, 2009).

4.4 SISTEMA TARIFÁRIO DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL

No Brasil, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) é a responsável por determinar as tarifas de energia elétrica, assim como estabelecer os critérios de classificação dos consumidores e quais são as formas de cobrança.

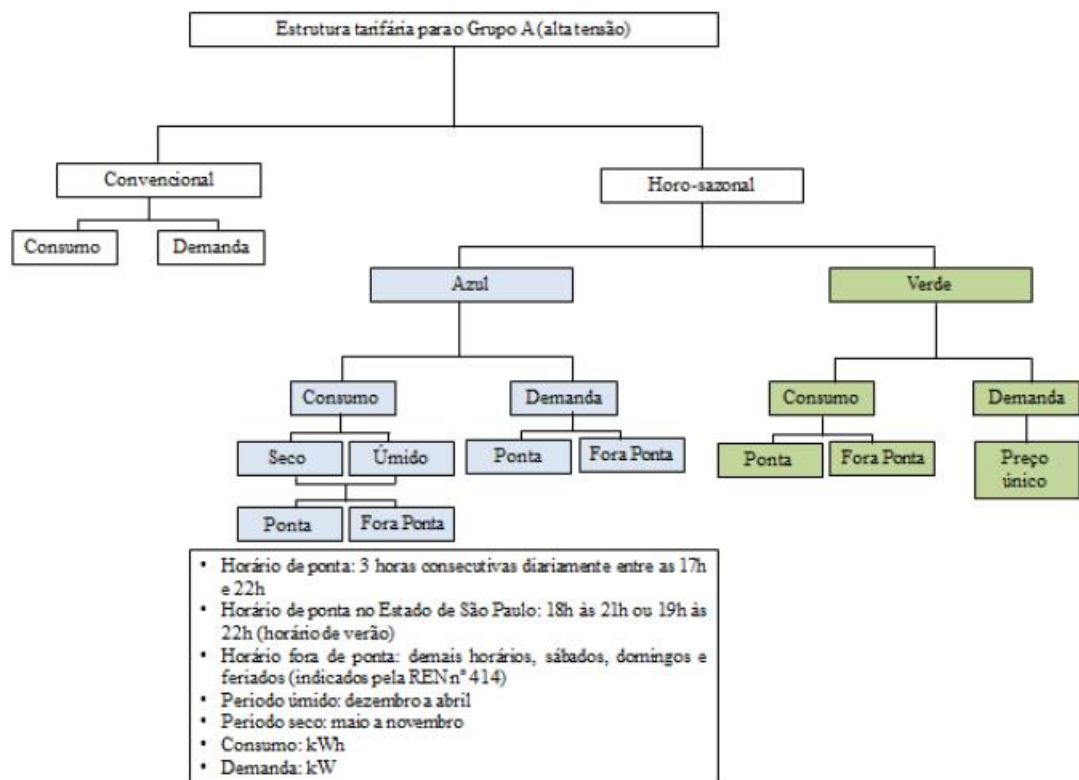
A Resolução Normativa nº 414 de 2010 da ANEEL divide os consumidores em dois grupos, grupo A e grupo B. O grupo A contempla os consumidores de alta tensão, igual ou superior a 2,3kV ou a partir de sistemas subterrâneos. O grupo A é subdividido em 6 subgrupos de acordo com a tensão de fornecimento, além de ser o grupo no qual se enquadram as empresas de saneamento.

A modalidade tarifária do grupo A é a convencional binômica, que se caracteriza por tarifas de consumo de energia elétrica e demanda de potência, que independem das horas de utilização ao longo do dia. A cobrança tarifária do grupo A ainda pode ser convencional ou horo-sazonal, sendo esta última dividida em azul e verde. A cobrança convencional é caracterizada por uma tarifa para o consumo de energia elétrica e outra para a demanda, independentemente da hora de utilização do dia e do período do ano.

Na cobrança hora-sazonal azul são cobradas diferentes tarifas para demanda e para consumo de energia elétrica. A tarifa para demanda depende da hora do dia e a tarifa de consumo de energia elétrica depende da hora do dia e do período do ano. Essas variações são aplicadas para incentivar os consumidores a não utilizarem os sistemas de energia elétrica nos horários de ponta e nos períodos secos. A estrutura tarifária verde a tarifa para demanda é única, enquanto que a tarifa para consumo de energia elétrica varia de acordo com o horário de utilização ao longo do dia.

A Figura 5 resume a estrutura tarifária utilizada para consumidores classificados no grupo A.

Figura 5: Estrutura tarifária brasileira para unidades consumidoras do grupo A



Fonte: Contijo (2022).

O grupo B é formado por consumidores de baixa tensão, inferior a 2,3kV, submetidos a uma tarifa monômnia, na qual é cobrado somente tarifa de consumo de energia elétrica, independentemente das horas de utilização ao longo do dia.

Nos sistemas de abastecimento de água, as estações elevatórias são as unidades que consomem energia elétrica em grande escala, sendo responsáveis por uma parcela considerável dos custos operacionais. A definição dos volumes armazenados nas câmaras dos reservatórios, assim como o horário de funcionamento das estações elevatórias são

maneiras de otimizar os custos com energia elétrica, impactando positivamente os custos repassados a população de uma determinada cidade.

4.5 CUSTOS DE IMPLANTANÇÃO DE RESERVATÓRIOS DE NÍVEL VARIÁVEL

Os custos de implantação de reservatórios contemplam os gastos depreendidos na execução dos mesmos. Esse tipo de custo é extremamente específico, uma vez que depende das variáveis físicas do reservatório como diâmetro, altura e volume armazenado e também do material utilizado.

Contijo (2022) apresenta uma equação baseada na tabela SINAP de composição de custos do Estado de São Paulo do ano de 2020 para cálculo estimado do custo de construção de um reservatório de concreto, elevado e/ou apoiado, de seção transversal única. A Equação 1 é a equação proposta por Contijo (2022).

Onde C_R é custo de construção do reservatório (R\$), V é o volume do reservatório (m^3), D é o diâmetro interno do reservatório (m) e H é a altura total do reservatório (m), medida a partir do nível do solo.

$$C_R = 2837 \cdot \frac{V^{0,667}}{\left(\frac{D}{H}\right)^{0,333}} + 1137 \cdot V^{0,667} \cdot \left(\frac{D}{H}\right)^{0,667} + 1076 \cdot V^{0,333} \cdot \left(\frac{D}{H}\right)^{0,333} + 18745 \quad (1)$$

Onde C_R é custo de construção do reservatório (R\$), V é o volume do reservatório (m^3), D é o diâmetro interno do reservatório (m) e H é a altura total do reservatório (m), medida a partir do nível do solo.

5. METODOLOGIA

Essa pesquisa trata de um estudo teórico empregando modelagem hidráulica, a partir de dados brutos de consumo de água fornecidos pelo SAAE São Carlos (SP). Os procedimentos adotados foram descritos nesta seção, e foram assim constituídos: caracterização do objeto de estudo, modelagem da rede de distribuição de água, configuração dos sistemas de reservação/abastecimento estudados e formas de análise de dados.

5.1 CARACTERIZAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO

O objeto de estudo trata-se do condomínio residencial “Bosque de São Carlos”, localizado no município de São Carlos/SP com área de 111.719,00m², sendo 420,62m² destinados ao sistema de abastecimento de água localizado na unidade de número 16 da quadra 9. O condomínio apresenta 273 unidades residenciais sendo previstos 5 habitantes por unidade, resultando em uma população de 1.385 habitantes.

De acordo com o Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE), o poço existente possui nível dinâmico estabelecido na cota 730,00m e outorga para operar durante 20 horas por dia, bombeando uma vazão de 55,3m³/h para um reservatório composto por duas câmaras, sendo uma inferior e outra superior.

A Figura 6 apresenta a área de estudo e a Figura 7 apresenta a localização da área em relação ao restante do município.

Figura 6: Área estudada



Fonte: Google Maps (2022).

Tabela 2: Cotas de elevação dos nós presentes na rede

Nó (Junção)	Cota [m]	Nó (Junção)	Cota [m]	Nó (Junção)	Cota [m]
1	875,30	9	874,00	17	870,11
2	875,40	10	872,70	18	869,53
3	873,83	11	870,69	19	869,80
4	870,64	12	870,50	20	869,55
5	869,00	13	872,12	21	869,08
6	872,44	14	873,00	22	867,86
7	872,34	15	872,58	23	866,60
8	872,36	16	871,35		

Tabela 3: Trechos e diâmetros internos

Trecho	Diâmetro [mm]	Trecho	Diâmetro [mm]
3-6	95	16-19	51,8
6-7	95	15-20	51,8
7-11	95	14-21	51,8
11-12	95	13-22	51,8
13-12	95	9-8	51,8
R1-1	95	8-7	51,8
1-2	95	9-10	51,8
2-3	95	5-6	51,8
15-14	73,4	12-23	51,8
14-13	73,4	3-4	51,8
5-4	51,8	17-18	51,8
15-16	51,8	10-11	51,8
16-17	51,8		

5.2.2 PARÂMETROS E VARIÁVEIS EMPREGADAS

Para a modelagem da rede foram adotados alguns parâmetros e variáveis, enquanto outros foram calculados. A área de estudo apresenta, de acordo com as diretrizes do empreendimento, 273 unidades habitacionais, sendo a densidade populacional de 5 habitantes por lote, resultando em uma população atendida de 1.375 habitantes. O consumo médio *percapita* de água (q), que corresponde ao volume médio de água atribuído ao consumo de um habitante, foi considerado como sendo igual a 200L/hab.dia.

As vazões adotadas na modelagem foram determinadas pelas Equações (1), (2), (3) e (4), resultando respectivamente em 3,16L/s; 5,92L/s; 3,95L/s e 1,58L/s. Os coeficientes K_1 , K_2 e K_3 foram adotados conforme recomendações da ABNT NBR 12.218:2017, sendo $K_1=1,25$, $K_2=1,50$ e $K_3=0,5$.

$$\bar{Q} = \frac{P \cdot q}{86400} \quad (2)$$

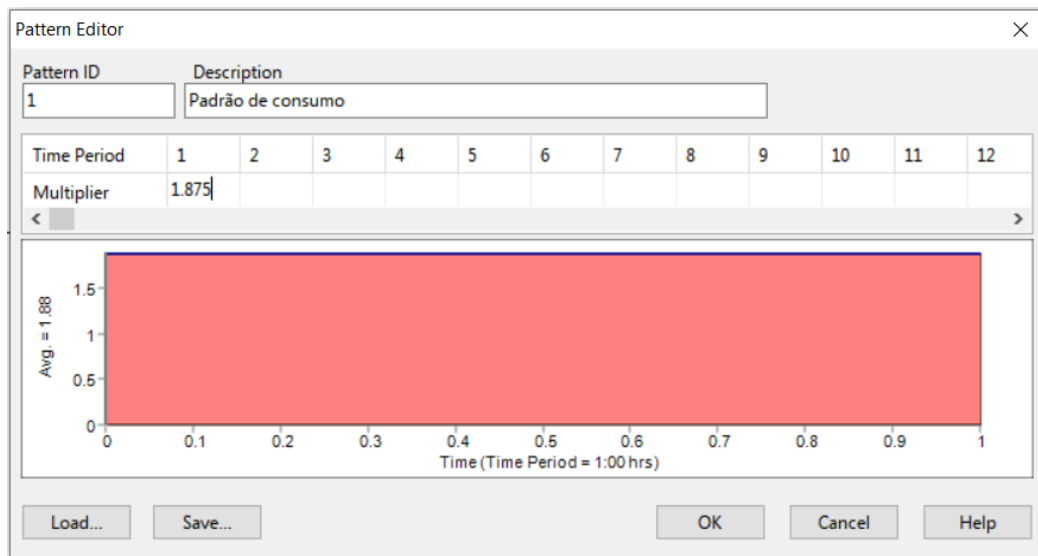
$$Q_{máxima} = K_1 \cdot K_2 \cdot \bar{Q} \quad (3)$$

$$Q_{max.diario} = K_1 \cdot \bar{Q} \quad (4)$$

$$Q_{mínima} = K_3 \cdot \bar{Q} \quad (5)$$

O padrão de consumo de água (ϕ), que se refere à variação do consumo médio de água (q), foi definido como sendo o produto entre K_1 e K_2 , uma vez que não foi possível obter junto ao SAAE o padrão de consumo real, resultando em 1,875. Esse padrão de consumo foi inserido no EPANET e associado a cada um dos nós existente na rede. A Figura 8 apresenta o padrão de consumo provisório criado.

Figura 8: Padrão de consumo provisório adotado na modelagem da rede



Fonte: EPANET (2022).

Os limites de pressões de serviço foram definidos de acordo com as prerrogativas estabelecidas na ABNT NBR 12.218:2017, que estabelece que a pressão mínima ou dinâmica deve ser superior a 10mH₂O e a pressão máxima ou estática deve ser inferior a 40 mH₂O, garantindo melhor funcionamento da rede e diminuindo as chances de perdas na mesma. Para melhor funcionamento da rede e considerando o achatamento do intervalo de operação de pressão, estabeleceu-se para o presente trabalho uma pressão máxima de 30mH₂O.

5.2.3 DIMENSIONAMENTO

No EPANET as vazões necessitam ser inseridas de forma concentrada, ou seja, inseridas em cada nó e é denominada como *Base Demand*. Para isso é necessário transformar as vazões características dos trechos em vazões concentradas nos nós. Assim sendo, fez-se necessário conhecer a vazão característica em relação ao comprimento total dos trechos contribuintes a um determinado nó (q_L) e a somatória dos comprimentos dos trechos que influenciam a vazão nesse nó ($\sum L$).

O primeiro passo foi a determinação dos comprimentos fictícios de cada trecho, que representa o comprimento que realmente participa da distribuição da vazão e corresponde ao produto do comprimento real dos trechos e um fator de contribuição. Os fatores de contribuição dos trechos foram definidos de acordo com a distribuição de água ao longo de seu comprimento, sendo nulo caso não haja distribuição ao longo dos trechos, 0,5 caso a distribuição ocorra somente de um dos lados da rede ou 1,0 caso a distribuição ocorra em ambos os lados da rede. A Tabela 4 apresenta a identificação dos trechos, seus comprimentos reais, fatores de contribuição e comprimentos fictícios.

Tabela 4: Comprimentos reais, fictícios e fator de contribuição dos trechos da rede

Trecho	Comprimento Real [m]	Fator de contribuição	Comprimento fictício [m]
R1-1	5,27	0,00	0,00
1-2	5,27	0,00	0,00
2-3	146,83	0,5	73,42
3-4	151,83	0,5	75,92
4-5	59,77	0,5	29,89
5-6	163,00	0,5	81,50
3-6	61,10	1,0	61,10
6-7	4,83	0,0	0,00
7-8	1,50	0,0	0,00
8-9	187,0	1,0	187,00
9-10	60,18	0,5	30,09
10-11	209,15	0,5	104,58
7-11	61,66	1,0	61,66
11-12	7,07	0,0	0,00
12-23	188,80	1,0	188,80
12-13	60,97	0,5	30,49
13-22	200,60	1,0	200,60
13-14	65,27	0,5	32,64
14-21	194,90	1,0	194,90
14-15	66,85	0,5	33,43
15-20	174,30	1,0	174,30
15-16	59,88	0,5	29,94
16-19	112,6	1,0	112,60
16-17	62,30	0,5	31,15
17-18	48,12	1,0	48,12
Σ	2359,05		1782,10

Definidos os comprimentos fictícios de cada trecho e conseqüentemente o comprimento fictício total, determinou-se a vazão característica linear (q_L) por meio da Equação (5), resultando em 0,001773L/s.m ou 1,773L/s.Km.

$$q_L = \frac{\bar{Q}}{\sum L_{fic}} \quad (6)$$

Para a determinação da vazão de contribuição (*Base Demand*) de cada nó, calculou-se o comprimento fictício contribuinte para cada nó através da Equação (6). A Tabela 5 apresenta os comprimentos fictícios contribuintes de cada nó da rede.

$$L_{fic_{Nó\ i}} = \frac{1}{2} \cdot \sum L_{fic_{interligados\ ao\ Nó\ i}} \quad (7)$$

Tabela 5: Comprimentos fictícios contribuintes de cada nó

Nó	Trechos interligados ao nó	Comprimento fictício de cada trecho [m]	\sum dos comprimentos fictícios dos trechos interligados ao nó [m]	Comprimento fictício de contribuição para o nó [m]
1	1-2	0,00	0,00	0,00
2	1-2	0,00	73,42	36,71
	2-3	73,42		
3	2-3	73,42	210,43	105,22
	3-4	75,92		
	3-6	61,10		
	4-5	29,89		
4	3-4	75,92	105,80	52,90
	4-5	29,89		
5	4-5	29,89	111,39	55,69
	5-6	81,50		
	5-6	81,50		
6	3-6	61,10	142,60	71,30
	6-7	0,00		
	6-7	0,00		
7	7-8	0,00	61,66	30,83
	7-11	61,66		
	7-8	0,00		
8	7-8	0,00	187,00	93,50
	8-9	187,00		
9	8-9	187,00	217,09	108,55
	9-10	30,09		
10	9-10	30,09	134,67	67,33
	10-11	104,58		
11	10-11	104,58	166,24	83,12
	7-11	61,66		
	11-12	0,00		
12	11-12	0,00	219,29	109,64
	12-23	188,80		
	12-13	30,49		
13	12-13	30,49	263,72	131,86
	13-22	200,60		
	13-14	32,64		
14	13-14	32,64	260,96	130,48
	14-21	194,90		
	14-15	33,43		
15	14-15	33,43	237,67	118,83
	15-20	174,30		
	15-16	29,94		
16	15-16	29,94	173,69	86,85
	16-19	112,60		
	16-17	31,15		

17	16-17 17-18	31,15 48,12	79,27	39,64
Nó	Trechos interligados ao nó	Comprimento fictício de cada trecho [m]	Σ dos comprimentos fictícios dos trechos interligados ao nó [m]	Comprimento fictício de contribuição para o nó [m]
18	17-18	48,12	48,12	24,06
19	16-19	112,60	112,60	56,30
20	15-20	174,30	174,30	87,15
21	14-21	194,90	194,90	97,45
22	13-22	200,60	200,60	100,30
23	12-23	188,80	188,80	94,40
			Σ	1782,10

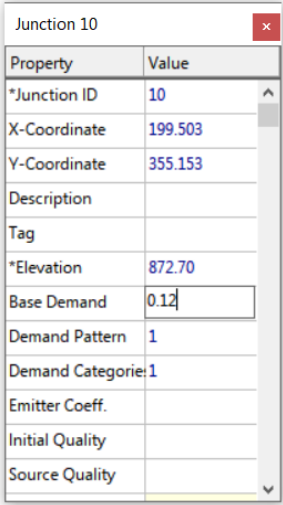
Conhecidos os comprimentos fictícios contribuintes de cada nó e vazão característica linear, determinou-se a vazão de contribuição (*Base Demand*) por meio da Equação (7). A Tabela 6 apresenta a *Base Demand* calculada para cada nó da rede e que foram inseridas no EPANET conforme ilustra a Figura 9.

$$Q_i = q_L \cdot L_{fic_i} \quad (8)$$

Tabela 6: Vazão média de cada nó

Nó	Comprimento fictício de contribuição para o nó [m]	Vazão média no nó (<i>Base Demand</i>) [L/s]
1	0,00	0,00
2	36,71	0,07
3	105,22	0,19
4	52,90	0,09
5	55,69	0,10
6	71,30	0,13
7	30,83	0,05
8	93,50	0,17
9	108,55	0,19
10	67,33	0,12
11	83,12	0,15
12	109,64	0,19
13	131,86	0,23
14	130,48	0,23
15	118,83	0,21
16	86,85	0,15
17	39,64	0,07
18	24,06	0,04
19	56,30	0,10
20	87,15	0,15
21	97,45	0,17
22	100,30	0,18
23	94,40	0,17
Σ	1782,10	3,16

Figura 9: Inserção da Base Demand no EPANET



Property	Value
*Junction ID	10
X-Coordinate	199.503
Y-Coordinate	355.153
Description	
Tag	
*Elevation	872.70
Base Demand	0.12
Demand Pattern	1
Demand Category	1
Emitter Coeff.	
Initial Quality	
Source Quality	

Fonte: EPANET (2022).

5.3 MODELAGEM DOS SISTEMAS DE RESERVAÇÃO PARA ABASTECIMENTO PÚBLICO

Para modelagem dos sistemas de reservação do sistema de abastecimento público do condomínio Bosque de São Carlos, considerou-se a possibilidade de abastecimento por reservatório elevado e por sistema de estação pressurizadora.

5.3.1 DETERMINAÇÃO DO RESERVATÓRIO ELEVADO

Os reservatórios apresentam algumas funções dentro dos sistemas de abastecimento de água, sendo uma delas manter as pressões na rede dentro dos valores estabelecidos em norma (Kellner, 2018).

A manutenção da pressão mínima ou dinâmica depende da cota de fundo do reservatório, que no EPANET é representado pelo *Minimum Level*, dentro das características do reservatório de nível variável (*Tank*).

Definidos o padrão de consumo indicado na Figura 8 e as vazões concentradas em cada nó indicadas na Tabela 6, adotou-se valores arbitrários para *Minimum Level* e *Inicial Level* para rodar a modelagem, conforme ilustra a Figura 10. As pressões obtidas podem ser observadas na Figura 11.

Figura 10: Valores arbitrários para níveis d'água no reservatório

Property	Value
*Tank ID	R1
X-Coordinate	319.254
Y-Coordinate	327.124
Description	
Tag	
*Elevation	875.20
*Initial Level	10.1
*Minimum Level	10
*Maximum Level	20
*Diameter	50
Minimum Volume	
Volume Curve	

Fonte: EPANET (2022).

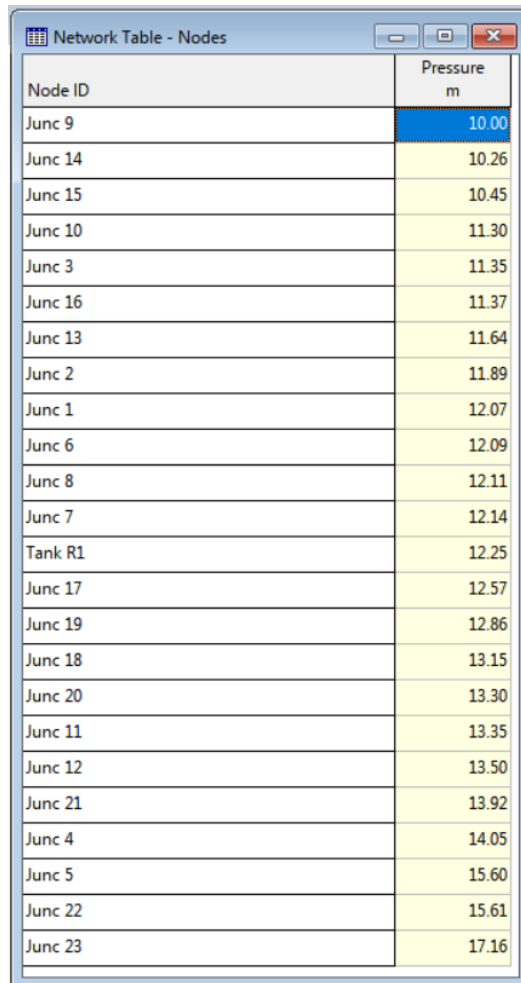
Figura 11: Pressões nos nós obtidas na simulação inicial

Node ID	Pressure m
Junc 9	7.76
Junc 14	8.02
Junc 15	8.21
Junc 10	9.06
Junc 3	9.11
Junc 16	9.13
Junc 13	9.40
Junc 2	9.65
Junc 1	9.83
Junc 6	9.85
Junc 8	9.87
Junc 7	9.90
Tank R1	10.01
Junc 17	10.33
Junc 19	10.62
Junc 18	10.91
Junc 20	11.06
Junc 11	11.11
Junc 12	11.26
Junc 21	11.68
Junc 4	11.81
Junc 5	13.36
Junc 22	13.37
Junc 23	14.92

Fonte: EPANET (2022).

Conforme observado na Figura 11, a menor pressão obtida ocorreu no nó 9 com valor de 7,76m, inferior em 2,24m ao mínimo necessário. Assim sendo, o novo valor de *Minimum Level*, representa os 10m iniciais acrescidos de 2,24m resultando em 12,24m. Ao rodar novamente o modelo no EPANET, foram observadas as pressões observadas na Figura 12.

Figura 12: Pressões nos nós obtidas após alteração do Minimum Level



Node ID	Pressure m
Junc 9	10.00
Junc 14	10.26
Junc 15	10.45
Junc 10	11.30
Junc 3	11.35
Junc 16	11.37
Junc 13	11.64
Junc 2	11.89
Junc 1	12.07
Junc 6	12.09
Junc 8	12.11
Junc 7	12.14
Tank R1	12.25
Junc 17	12.57
Junc 19	12.86
Junc 18	13.15
Junc 20	13.30
Junc 11	13.35
Junc 12	13.50
Junc 21	13.92
Junc 4	14.05
Junc 5	15.60
Junc 22	15.61
Junc 23	17.16

Fonte: EPANET (2022).

De acordo com o observado na Figura 12, a pressão mínima de 10mH₂O é respeitada e, conseqüentemente, o *Minimum Level* ou cota de fundo do reservatório foi definido a uma altura de 12,24m do terreno.

Verificada o atendimento da pressão dinâmica, verificou-se a pressão estática. Para isso, determinou-se o volume total de reservação por meio da Equação (8) resultando em 136,5m³. Admitiu-se que o reservatório é cilíndrico e que seu diâmetro seja de 5,0m, calculou-se a altura d'água no reservatório correspondente a 6,95m, através da Equação (9).

$$V_t = \left(\frac{1}{3}\right) \cdot \frac{K_1 \cdot K_2 \cdot q}{1000} \quad (9)$$

$$h = \frac{4 \cdot V_t}{\pi \cdot D^2} \quad (10)$$

Assim sendo, o nível máximo do reservatório corresponde ao *Minimum Level* acrescido da altura h , resultando no *Maximum Level* igual a 19,2m. Feitas essas considerações, rodou-se o modelo com *Inicial Level* correspondente a 19,19m obtendo-se as pressões estáticas na rede. Conforme observado na Figura 13, a máxima pressão obtida foi de 24,10m, inferior ao valor máximo estabelecido para o presente trabalho, 30mH₂O. Dessa forma têm-se o reservatório dimensionado.

Figura 13: Pressão estática observada em cada nó da rede

Node ID	Pressure m
Junc 9	16.94
Junc 14	17.20
Junc 15	17.39
Junc 10	18.24
Junc 3	18.29
Junc 16	18.31
Junc 13	18.58
Junc 2	18.83
Junc 1	19.01
Junc 6	19.03
Junc 8	19.05
Junc 7	19.08
Tank R1	19.19
Junc 17	19.51
Junc 19	19.80
Junc 18	20.09
Junc 20	20.24
Junc 11	20.29
Junc 12	20.44
Junc 21	20.86
Junc 4	20.99
Junc 5	22.54
Junc 22	22.55
Junc 23	24.10

Fonte: EPANET (2022).

Por se tratar de um reservatório elevado, o mesmo é compartimentado e apresenta câmara superior e câmara inferior. De acordo com Azevedo Neto (1998), o volume armazenado na câmara superior deve ser da ordem de 10 a 20% do volume calculado pela Equação (8), ou seja, o volume total de reservação no dia de maior consumo. Para o presente estudo foram testadas as seguintes porcentagens do volume do dia de maior consumo: 10%,

20%, 30%, 40% e 50% resultando nos volumes indicados na Tabela 7. A escolha das porcentagens empregadas foi determinada para se avaliar o comportamento da rede considerando para a escala do empreendimento.

Tabela 7: Volume armazenado na câmara superior do reservatório

Volume do dia de maior consumo [m ³]	Volume na câmara superior [m ³]				
	10%	20%	30%	40%	50%
136,50	13,65	27,30	40,95	54,60	68,25

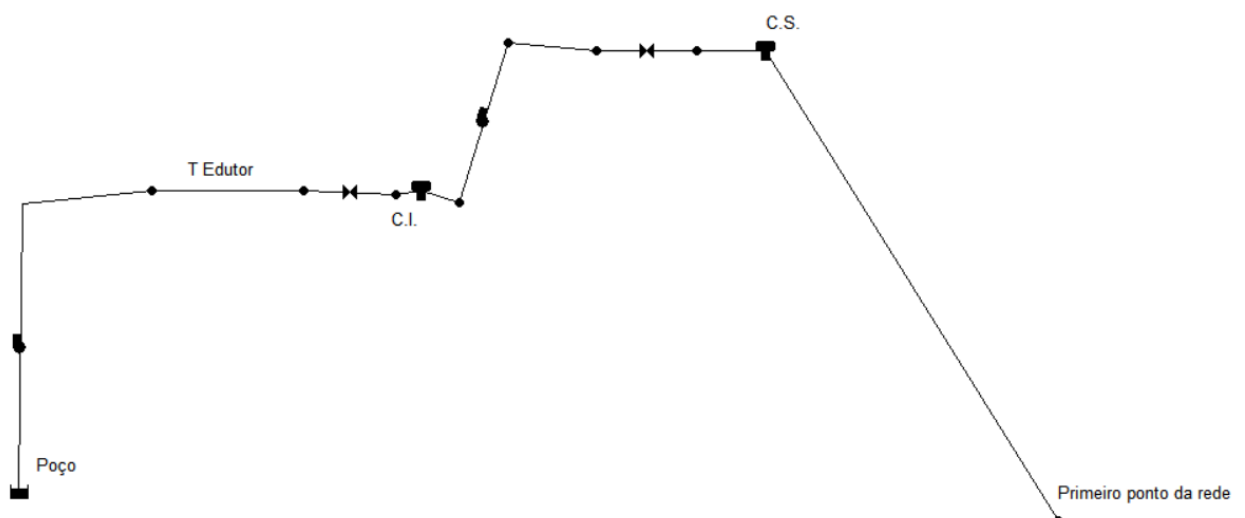
Para cada volume da câmara superior considerado, foram modeladas vazões de recalque da câmara inferior para a câmara superior, equivalente a 1,0; 1,25; 1,50; e 2,0 vezes a vazão média consumida no dia de maior consumo (Q). As vazões consideradas foram as apresentadas na Tabela 8. A variação da vazão se deu para avaliar o comportamento dos custos operacionais e também o comportamento da rede de abastecimento estudada, considerando a escala do empreendimento.

Tabela 8: Vazão recalcada entre câmara inferior e superior

Vazão do dia de maior consumo [L/s]	Vazão de recalque [L/s]			
	1,0	1,25	1,50	2,0
3,16	3,16	3,95	4,74	6,32

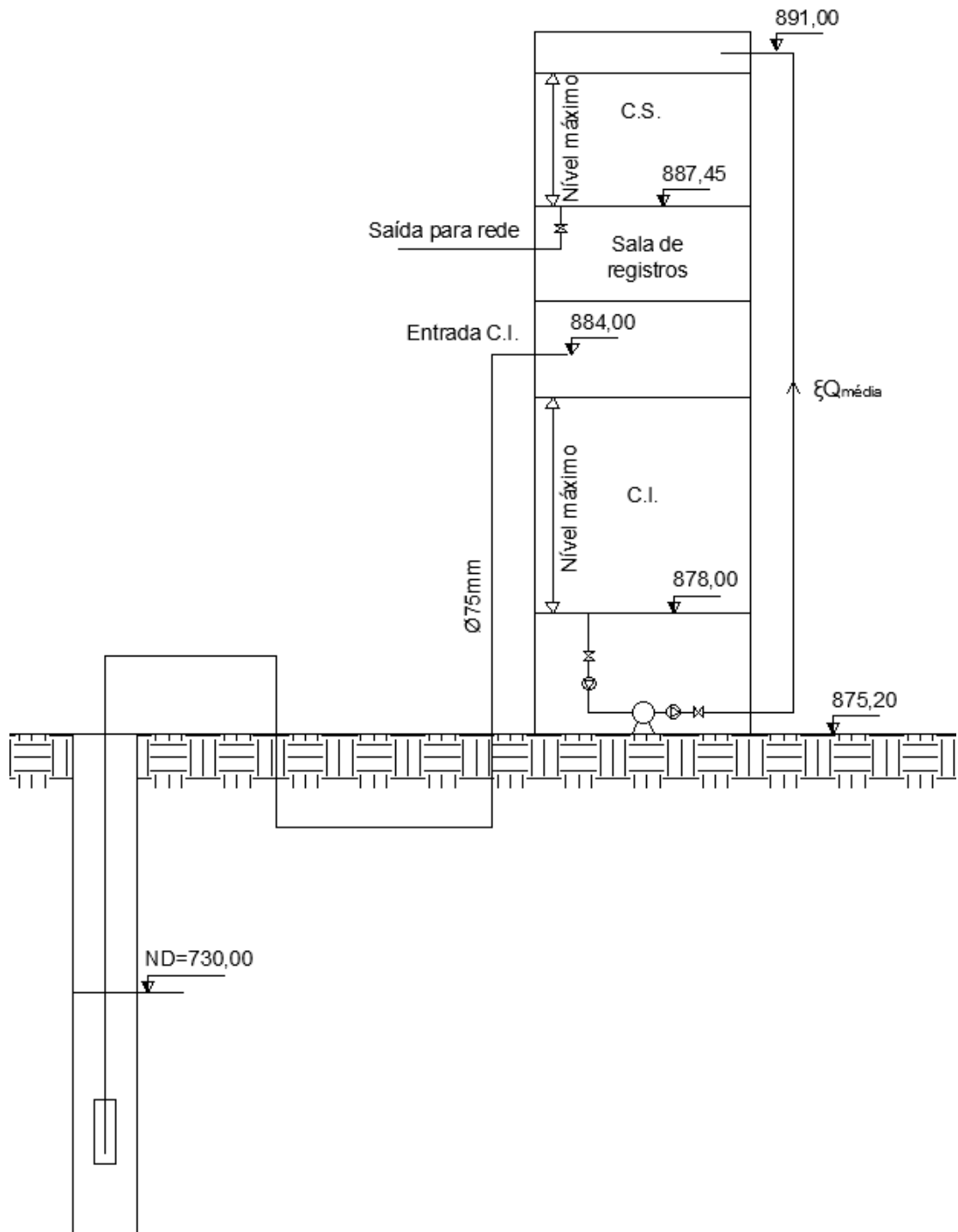
A forma do reservatório segue as características apresentadas no croqui indicado na Figura 15, que corresponde aproximadamente, em termos de modelagem no EPANET, ao modelo apresentado na Figura 14.

Figura 14: Modelo representativo do reservatório no EPANET



Fonte: EPANET (2022).

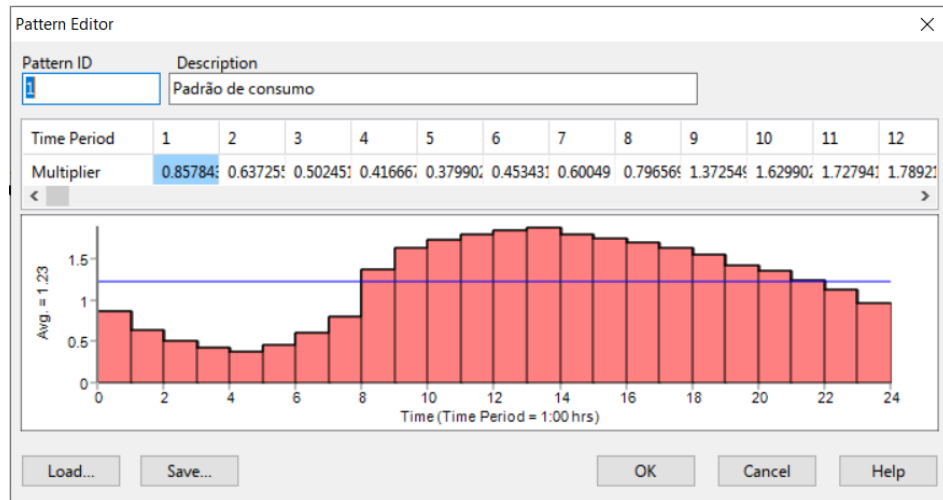
Figura 15: Croqui reservatório elevado



Fonte: Autoria própria (2022).

Para as simulações, foi alterado o padrão de consumo provisório ilustrado na Figura 8 pelo padrão de consumo apresentado na Figura 16.

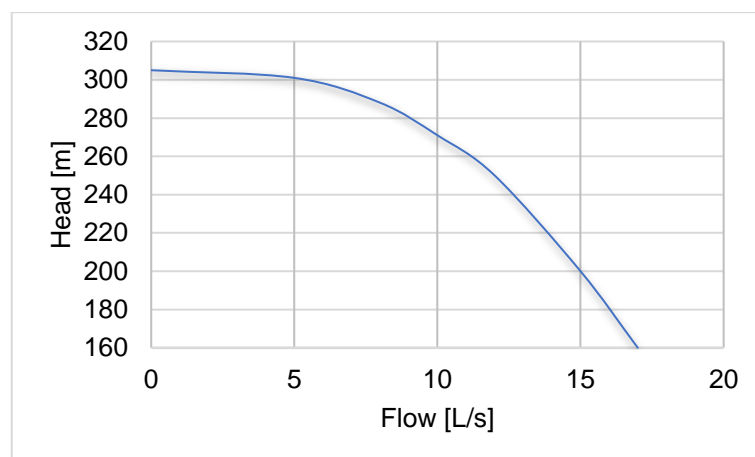
Figura 16: Padrão de consumo de água adotado



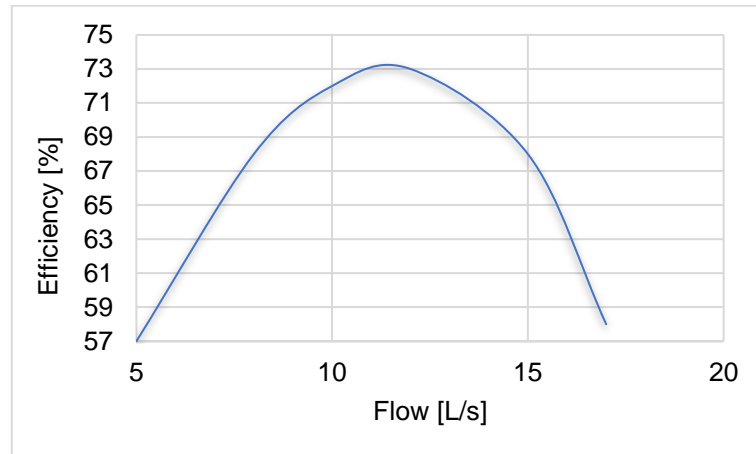
Fonte: SAAE (2022).

Nas simulações foram consideradas duas estações elevatórias, uma que eleva água do poço até a câmara inferior do reservatório e outra que eleva a água da câmara inferior para a câmara superior. A bomba utilizada para bombear água do poço para o reservatório trata-se de uma bomba submersível KSB UPA200-11, a qual apresenta curva característica conforme ilustrado no Gráfico 1 e curva de eficiência conforme Gráfico 2. Já a bomba utilizada na elevação de água entre as câmaras do reservatório, se trata de uma KSB Meganorm 32-125-rotor122 com características conforme apresentado nos Gráficos 3 e 4.

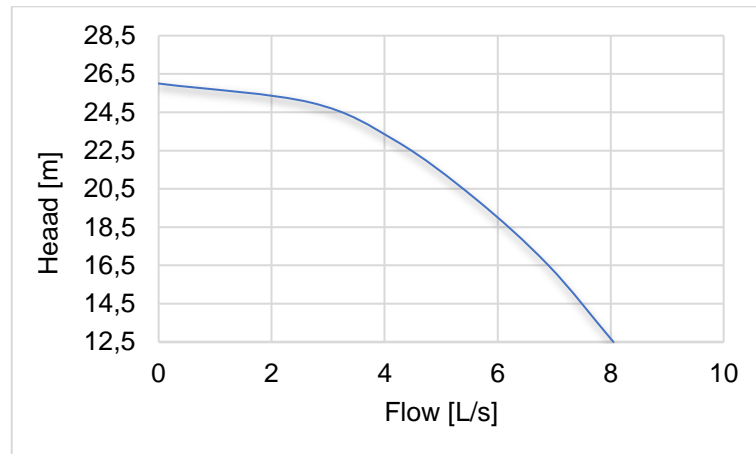
Gráfico 1: Curva característica bomba submersível KSB UPA200-11



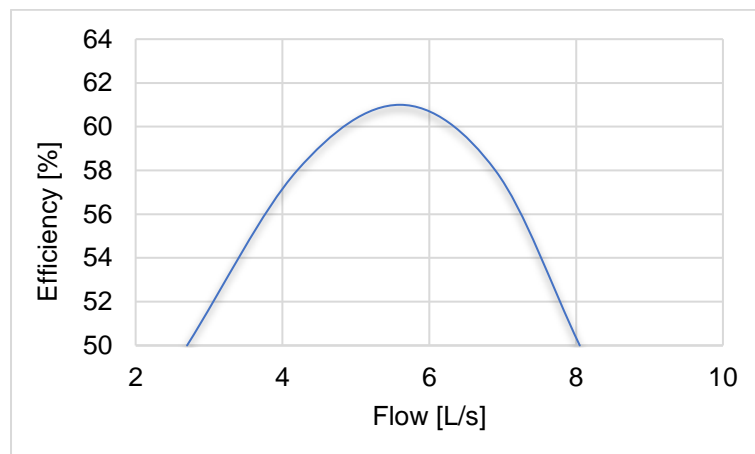
Fonte: Adaptado Manual Técnico KSB.

Gráfico 2: Curva de eficiência bomba submersível KSB UPA200-11

Fonte: Adaptado Manual Técnico KSB.

Gráfico 3: Curva característica bomba KSB Meganorm 35-125-rotor122

Fonte: Adaptado Manual Técnico KSB.

Gráfico 4: Curva de eficiência bomba KSB Meganorm 35-125-rotor122

Fonte: Adaptado Manual Técnico KSB.

5.3.1.1 Caracterização das regras operacionais

Para as simulações envolvendo o sistema de abastecimento estudado considerando o abastecimento por meio de reservatório elevado, foram definidos dois conjuntos de regras que condicionam o funcionamento das estações elevatórias com base em restrições de níveis d'água e restrições horárias.

Na primeira análise foi considerado somente regras que ligam e desligam as bombas com base nas variações de nível d'água em cada uma das câmaras do reservatório. Os níveis d'água nas câmaras foram determinados com base no diâmetro do reservatório e dos volumes armazenados em cada câmara. A Tabela 9 apresenta os níveis d'água em cada câmara. A Figura 17 apresenta as regras empregadas na análise inicial.

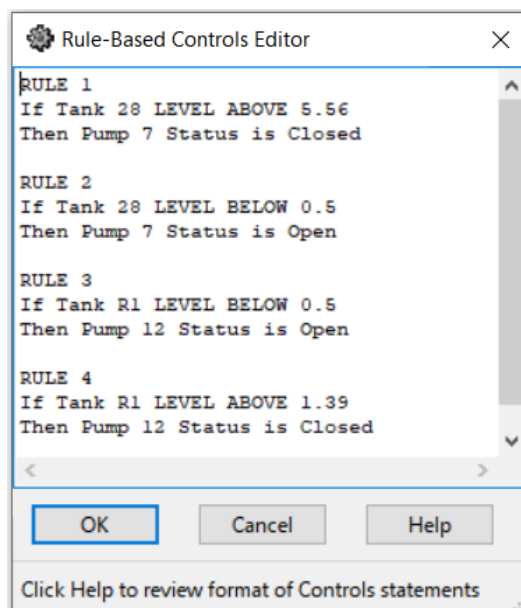
Tabela 9: Níveis d'água armazenados em cada câmara do reservatório

Câmara inferior (C.I.)			Câmara Superior (C.S.)			Volume total de reservação [m³]
Volume	%	Nível d'água	Volume	%	Nível d'água	
122,85m³	90	6,26m	13,65m³	10	0,70m	136,5m³
109,20m³	80	5,56m	27,30m³	20	1,39m	136,5m³
95,55m³	70	4,87m	40,95m³	30	2,09m	136,5m³
81,90m³	60	4,17m	54,60m³	40	2,78m	136,5m³
68,25m³	50	3,48m	68,25m³	50	3,48m	136,5m³

Fonte: Autoria própria.

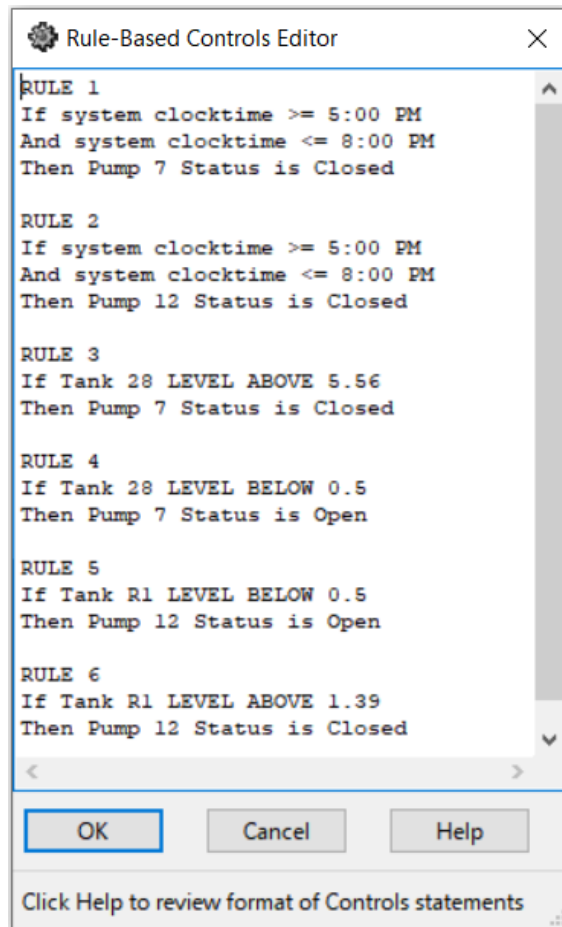
Na segunda análise, além das condições de reservação, as regras englobaram as restrições horárias para acionamento das estações elevatórias. As restrições horárias foram definidas para que as estações elevatórias não operassem ao longo do horário de pico considerando os valores cobrados de energia elétrica. A Figura 18 apresenta as regras utilizadas na segunda análise.

Figura 17: Regras estabelecidas para análise inicial



Fonte: EPANET (2022).

Figura 18: Regras estabelecidas para análise com restrição horária



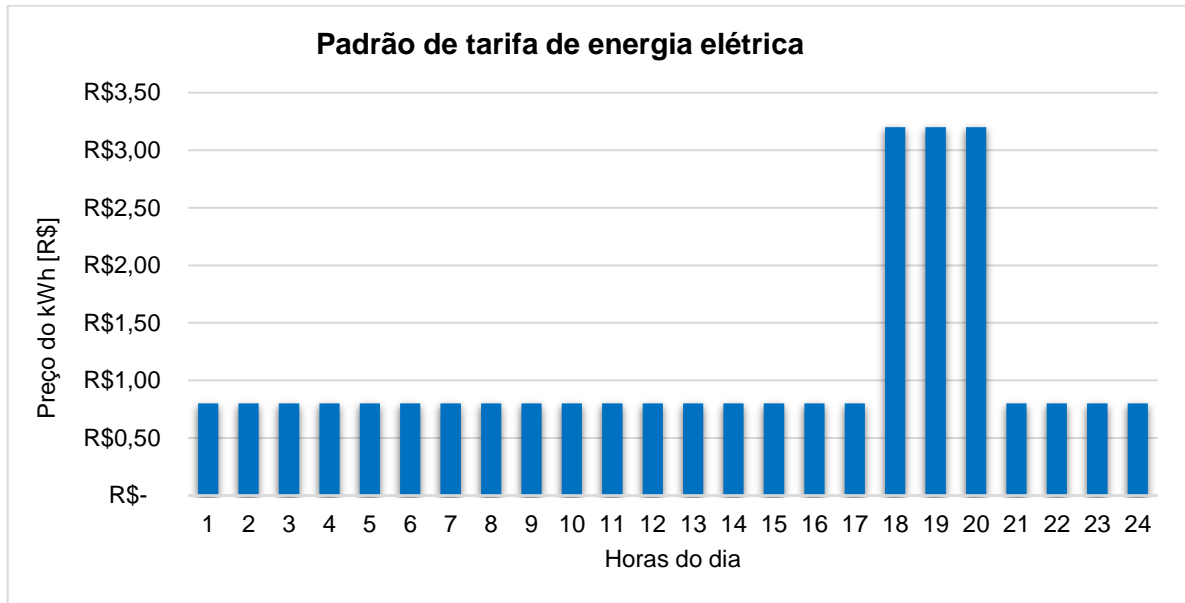
Fonte: EPANET (2022).

Considerando as regras empregadas na segunda análise, simulou-se a rede com reservatórios inicialmente vazios e inicialmente cheios.

5.3.1.2 Composição do Custo de Energia Elétrica Consumida

A composição do custo de energia elétrica consumida pelas estações elevatórias presentes no estudo, se baseia no padrão de energia elétrica apresentado no Gráfico 5, o qual possui valor de R\$0,80 por hora, com exceção do horário de ponta. Para o horário de ponta o padrão de consumo é de R\$3,20 visando diminuir o consumo de energia durante esse período.

Gráfico 5: Padrão tarifário de energia elétrica



Fonte: SAAE São Carlos (2022).

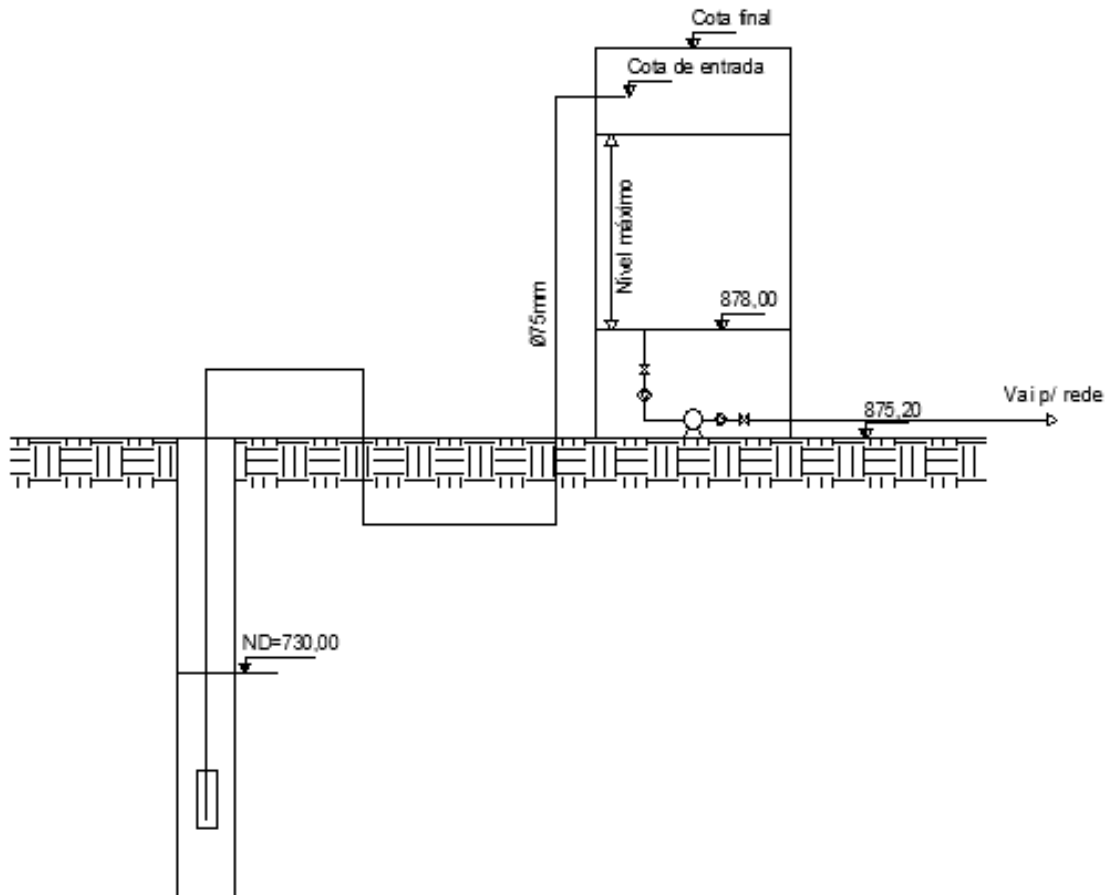
5.3.2 DETERMINAÇÃO DO SISTEMA DE PRESSURIZAÇÃO

O sistema de pressurização consiste em um reservatório apoiado, normalmente metálico, acoplado a um conjunto motor-bomba com válvula sustentadora de pressão, de maneira a manter pressurizada a rede de distribuição de água a fim de garantir a ocorrência da pressão mínima estabelecida. Nesse caso, o volume de reservação é aquele estabelecido pela Equação (8) e a vazão de recalque do conjunto motor bomba será estabelecida pela vazão máxima horária, conforme Equação (2).

$$Q_{m\acute{a}x} = \frac{K1 \cdot K2 \cdot P \cdot q}{86400} \quad (Eq. 2)$$

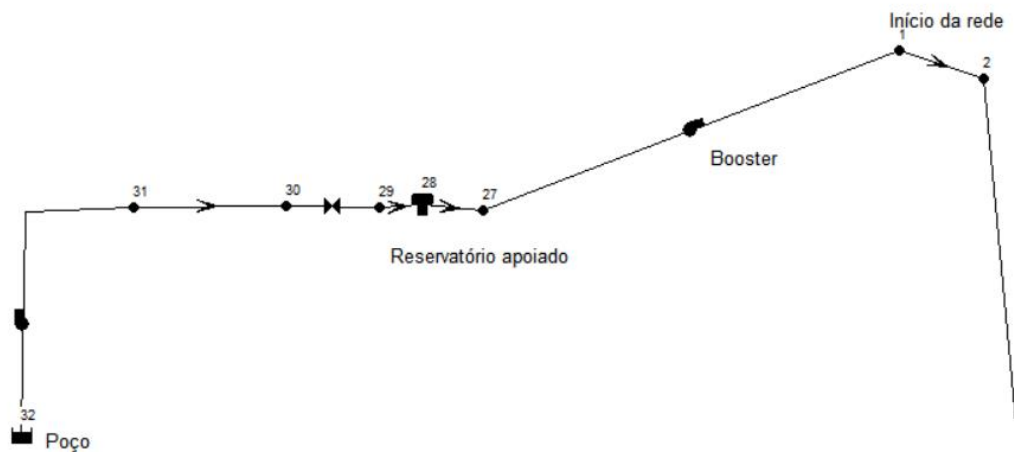
O sistema de *booster* mais reservatório elevado possui características físicas semelhantes ao croqui apresentado na Figura 19. A representação do sistema no EPANET segue o indicado na Figura 20.

Figura 19: Croqui reservatório apoiado (booster)



Fonte: Autoria própria (2022).

Figura 20: Modelo representativo do booster no EPANET

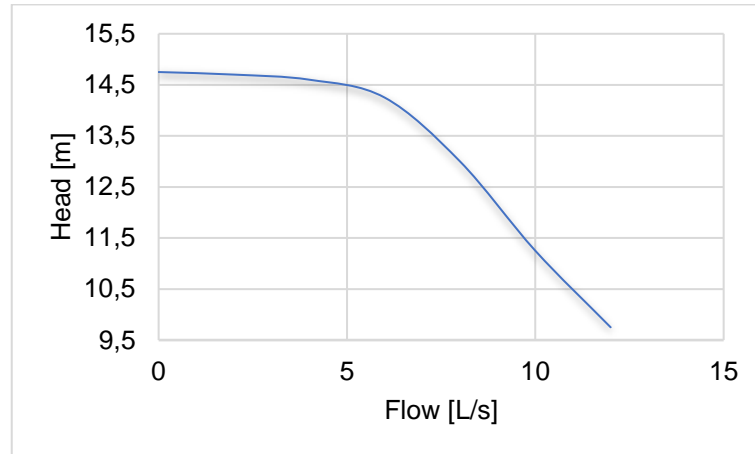


Fonte: EPANET (2022).

Em termos de simulações hidráulicas, criou-se um modelo no qual a bomba utilizada para bombear água do poço até o reservatório, é a mesma utilizada no modelo referente ao reservatório elevado, uma KSB UPA200-11, cujas características estão apresentadas nos

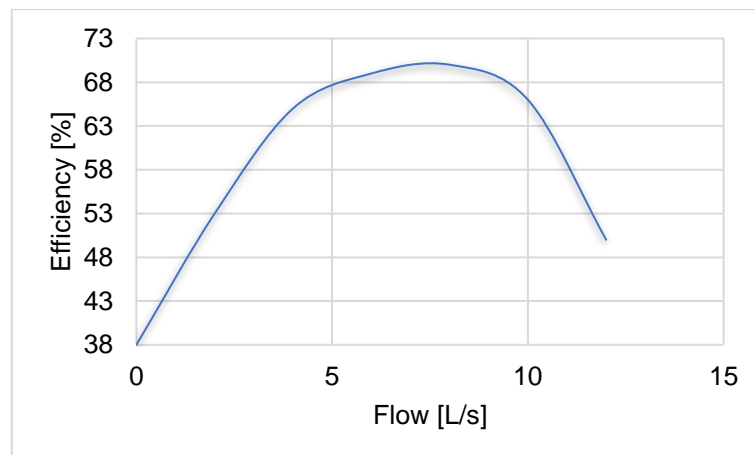
Gráficos 1 e 2. Para a distribuição da água para a rede, empregou-se uma bomba centrífuga KSB Meganorm 065-40-160 com rotor 1750rpm e diâmetro 174, cujas curvas características estão representadas nos Gráficos 6 e 7.

Gráfico 6: Curva característica bomba KSB Meganorm 065-40-160 n=1750rpm



Fonte: Adaptado Manual Técnico KSB.

Gráfico 7: Curva de eficiência KSB Meganorm 065-40-160 n=1750rpm



Fonte: Adaptado Manual Técnico KSB.

Em relação as dimensões do reservatório, foi adotado uma relação de $D/h=2$ proposta por Azevedo Neto (1982) como sendo a relação econômica para reservatórios apoiados entre diâmetro e altura d'água no reservatório. Essas dimensões foram determinadas para um dos cenários estudados, sendo as dimensões obtidas as indicadas na Tabela 10.

Tabela 10: Características físicas do reservatório apoiado

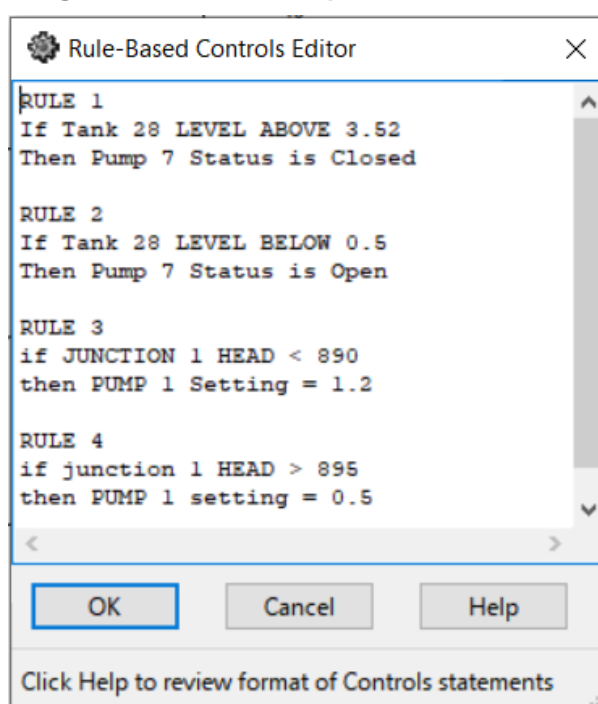
Volume [m³]	Diâmetro [m]	Nível d'água [m]
136,5	3,52	7,03
100	3,17	6,34
50	2,52	5,03

Fonte: Autoria própria.

5.3.2.1 Caracterização das regras operacionais

Assim como no estudo do reservatório elevado foram definidos dois conjuntos de regras. Para a análise inicial, foram definidas regras para ligar e desligar a bomba com base no nível d'água no reservatório e regras para o funcionamento da bomba dentro de uma faixa de operação de pressão entre 15mca e 20mca. O estabelecimento da faixa de pressão foi definido tendo como base a junção de número 1 da rede, ponto considerado como o mais crítico, ou seja, o que apresenta cota mais elevada da rede toda. A Figura 21 ilustra o conjunto de regras estabelecido para a análise inicial.

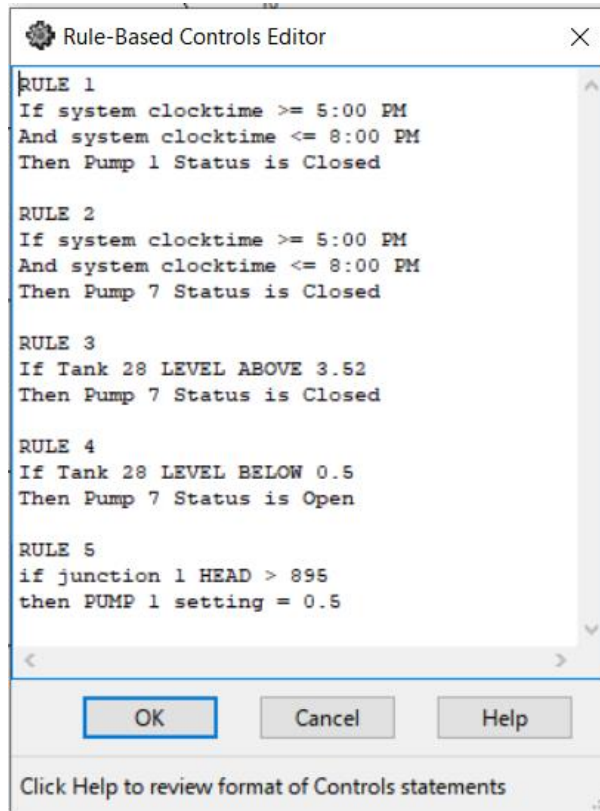
Figura 21: Regras estabelecidas para análise inicial do *booster*



Fonte: EPANET (2022).

Para o segundo conjunto de regras estabelecido, foram acrescentadas regras de liga e desliga das bombas (ou da bomba), que restringem o funcionamento da bomba fora do horário de ponta, entre as 17 e 20 horas, período de maiores custos de energia elétrica. A Figura 22 contém o segundo conjunto de regras estabelecidas. A regra que diz respeito ao aumento de rotação da bomba foi retirada, uma vez que o volume armazenado é suficiente para atender as demandas necessárias, não influenciando decisivamente no funcionamento da bomba.

Figura 22: Regras estabelecidas para análise com restrição horário do *booster*



Fonte: EPANET (2022).

5.3.2.2 Composição do Custo de Energia Elétrica Consumida

Para a composição dos custos de energia elétrica, foi considerado o mesmo padrão tarifário empregado nas simulações do reservatório elevado, demonstrado no Gráfico 5.

6. ANÁLISE DE RESULTADOS

6.1 ANÁLISE DA REDE

Após a inserção do traçado no EPANET e demais características físicas da rede, foi observado a existência de trechos que apresentam perda de carga unitária superiores ao valor limite estabelecido na ABNT NBR 12.218:2017 que corresponde a 10m/km. A Figura 23 apresenta os trechos com perda de carga unitária superior a 10m/km.

Figura 23: Pressão estática observada em cada nó da rede

Link ID	Unit Headloss m/km
Pipe p17	10.28
Pipe p3	10.60
Pipe 3	14.39
Pipe 2	15.00
Pipe 1	15.00

5 items with
Unit Headloss Above 10

Fonte: EPANET (2022).

Dessa forma, para atender o limite estabelecido pela norma, é necessário alterar o diâmetro das tubulações dos trechos identificados, para tubulações com diâmetros superiores provocando a diminuição da perda de carga unitária.

6.2 ANÁLISE CUSTOS OPERACIONAIS RESERVATÓRIO ELEVADO

Para o reservatório elevado, foram analisados três cenários diferentes, sendo um deles sem nenhuma restrição horária de funcionamento das estações elevatórias, outro com restrição horária para o funcionamento em horário de ponta e reservatórios inicialmente vazios e uma última com restrição horária no horário de ponta e reservatórios inicialmente cheios.

Para cada um dos cenários foram realizadas 12 simulações no EPANET a fim de analisar os custos com energia elétrica resultante do funcionamento das estações elevatórias, considerando o arranjo de volumes armazenados e vazões recalçadas determinados no item 5.3.1 por meio das Tabelas 7 e 8.

6.2.1 CUSTOS COM ENERGIA ELÉTRICA SEM RESTRIÇÃO HORÁRIA DE FUNCIONAMENTO DAS BOMBAS

Considerando as simulações realizadas sem nenhum tipo de restrição horária para o funcionamento das estações elevatórias, obteve-se um total de vinte custos de energia elétrica e, conseqüentemente, vinte simulações foram realizadas. A Tabela 11 apresenta os resultados obtidos em relação aos custos operacionais com energia elétrica ao longo de um dia de operação do sistema, sendo ξ o fator multiplicativo da vazão média.

Tabela 11: Custos de energia elétrica para simulação inicial sem restrição de funcionamento das estações elevatórias

Câmara Inferior	Câmara Superior	ξ	Custo de energia elétrica [R\$/dia]
Volume [%]	Volume [%]		
90	10	1	258,66
		1,25	223,02
		1,50	263,37
		2,00	213,54
80	20	1	194,64
		1,25	296,07
		1,50	306,23
		2,00	291,08
70	30	1	240,67
		1,25	259,41
		1,50	363,63
		2,00	516,37
60	40	1	258,93
		1,25	415,41
		1,50	473,34
		2,00	477,91
50	50	1	336,04
		1,25	246,99
		1,50	423,21
		2,00	358,21

Fonte: Autoria própria (2022).

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 11, têm-se que o menor custo de energia elétrica diário é de R\$194,64, referente a situação de armazenamento de volume nas câmaras inferior e superior na proporção de 80/20 e considerando que a vazão recalçada entre as câmaras do reservatório é correspondente a vazão média do dia de maior consumo. A Tabela 12 apresenta as informações referentes ao custo de cada uma das bombas presentes na simulação. Nota-se que a bomba utilizada para bombear água do poço para o reservatório é a que mais contribui para a composição total do custo de energia, apesar de seu tempo de utilização ser menor. Isso deve-se ao fato de a vazão bombeada do poço ao reservatório ser da ordem de três vezes maior que a vazão bombeada entre as câmaras do reservatório.

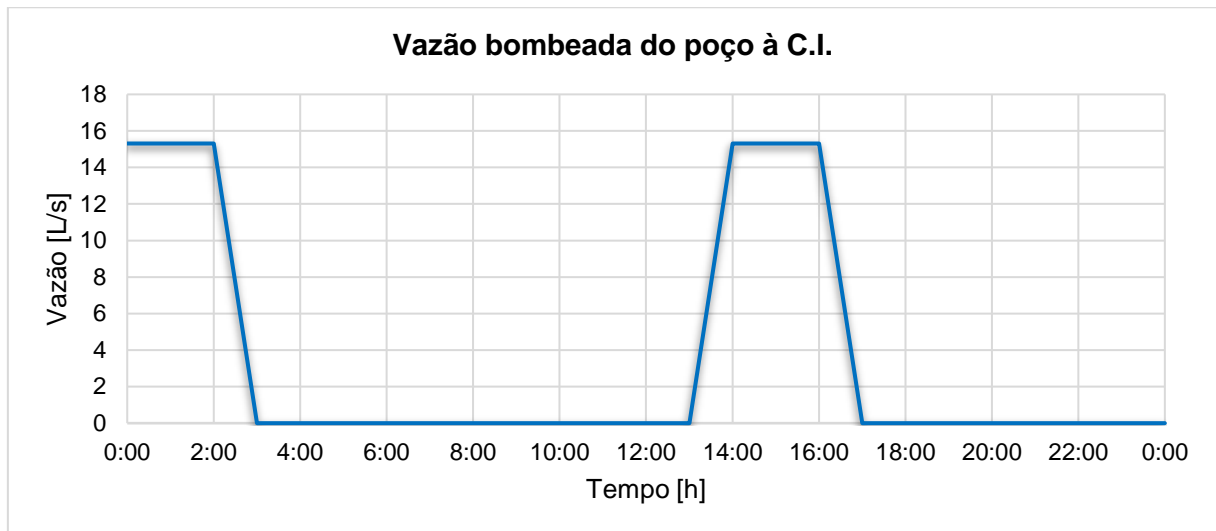
Tabela 12: Resumo dos custos de energia elétrica de cada bomba para a situação 80/20 e vazão média

ID bomba	% de utilização	Eficiência média [%]	kWh/m ³	kW médio	Pico de kWh	Custo [R\$/dia]
7	19,32	66,27	0,79	43,01	43,78	159,59
12	85,76	53,90	0,13	1,56	1,61	37,06
Custo Total						196,64

Fonte: Autoria própria (2022).

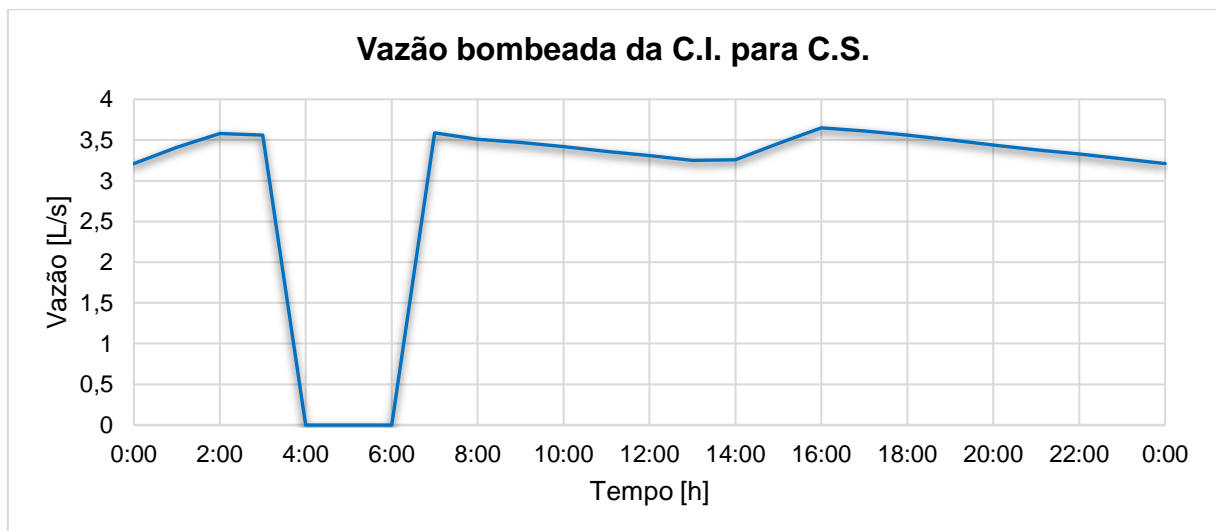
Os Gráficos 8 e 9 apresentam o funcionamento da bomba do poço e da bomba do reservatório respectivamente, enquanto que os Gráficos 10 e 11 apresentam a variação do nível d'água nas câmaras inferior e superior respectivamente.

Gráfico 8: Vazão bombeada do poço para a câmara inferior do reservatório

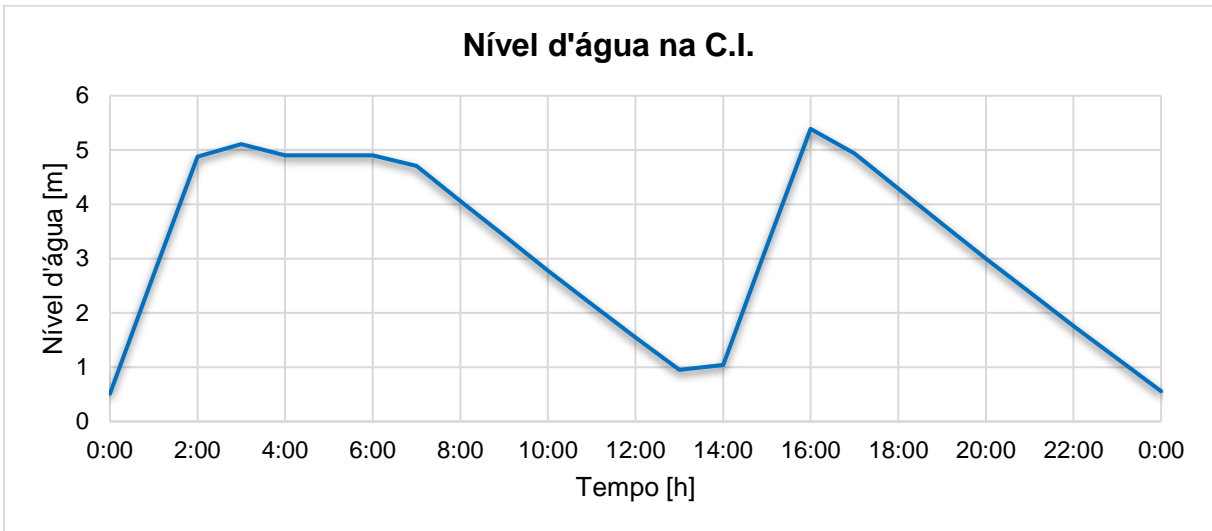


Fonte: Autoria própria (2022).

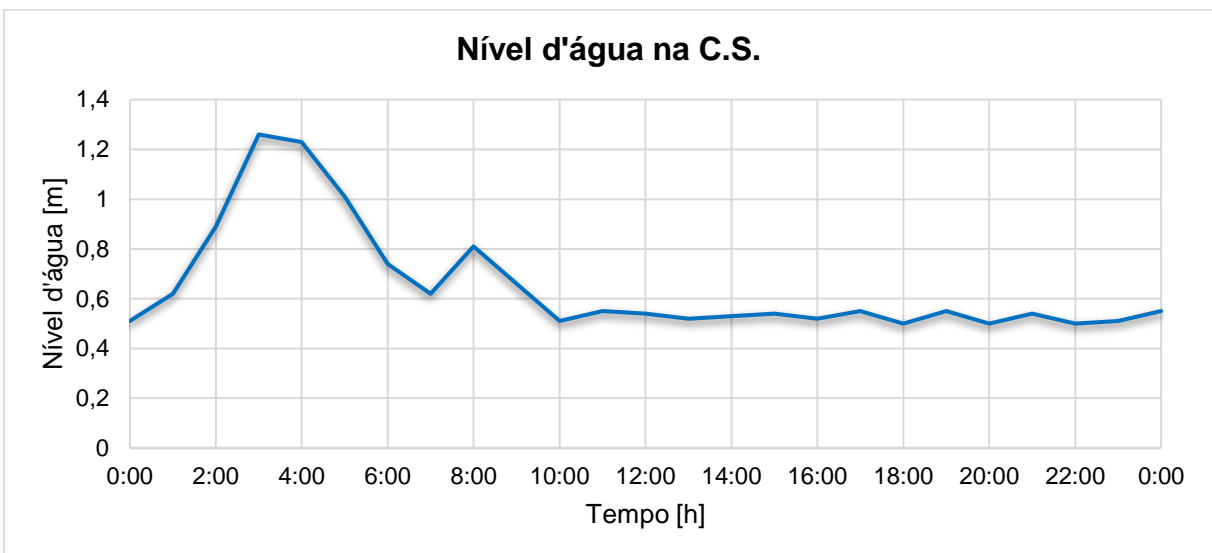
Gráfico 9: Vazão bombeada entre câmaras do reservatório



Fonte: Autoria própria (2022).

Gráfico 10: Variação do nível d'água na câmara inferior do reservatório

Fonte: Autoria própria (2022).

Gráfico 11: Variação do nível d'água na câmara superior do reservatório

Fonte: Autoria própria (2022).

Como o nível dinâmico do poço e a cota do reservatório apoiado são fixos, a vazão da bomba do poço é constante durante seu período de funcionamento, conforme ilustrado no Gráfico 8. O Gráfico 9 demonstra uma variação da vazão recalçada entre as câmaras do reservatório, em virtude da variação do desnível geométrico entre a cota de entrada na câmara superior e o nível máximo da câmara inferior. Ainda de acordo com os gráficos, é possível notar que a bomba do reservatório trabalha ininterruptamente entre o período de seis da manhã até o final do dia. Isso ocorre uma vez que o volume armazenado na câmara superior não é suficiente para atender a demanda necessária de água, provocando o constante acionamento da bomba. Essa constatação é comprovada através do Gráfico 11, que

demonstra que o nível d'água na câmara superior está sempre próximo do mínimo mesmo a bomba operando de forma contínua.

6.2.2 CUSTOS OPERACIONAIS COM RESTRIÇÃO HORÁRIA DE FUNCIONAMENTO – RESERVATÓRIO VAZIO

Baseado no fato de que o custo de energia elétrica é maior no horário de ponta, entre 17:00 horas e 20:00, realizou-se novamente as mesmas vinte simulações realizadas no item 6.2.1, porém considerando o não funcionamento das estações elevatórias durante esse período de maior custo energético. Além da consideração de restrição de funcionamento das estações elevatórias, considerou-se que no início das simulações, as câmaras do reservatório estariam próximas de seu nível mínimo. A Tabela 13 apresenta os resultados de custo diário de energia para cada uma das simulações realizadas.

Tabela 13: Custos de energia elétrica para simulação com restrição de funcionamento das estações elevatórias e reservatórios inicialmente vazios

Câmara Inferior	Câmara Superior	ξ	Custo de energia elétrica [R\$/dia]	Variação em relação as simulações sem restrição de horário de funcionamento
Volume [%]	Volume [%]			
90	10	1	179,08	-31%
		1,25	205,15	-8%
		1,50	206,87	-21%
		2,00	204,54	-4%
80	20	1	181,55	-8%
		1,25	192,11	-35%
		1,50	209,35	-32%
		2,00	202,78	-30%
70	30	1	156,27	-35%
		1,25	198,99	-23%
		1,50	244,24	-48%
		2,00	266,47	-26%
60	40	1	191,87	-50%
		1,25	209,57	-53%
		1,50	222,84	-45%
		2,00	264,49	-43%
50	50	1	210,10	-37%
		1,25	208,23	-16%
		1,50	223,98	-47%
		2,00	274,04	-23%

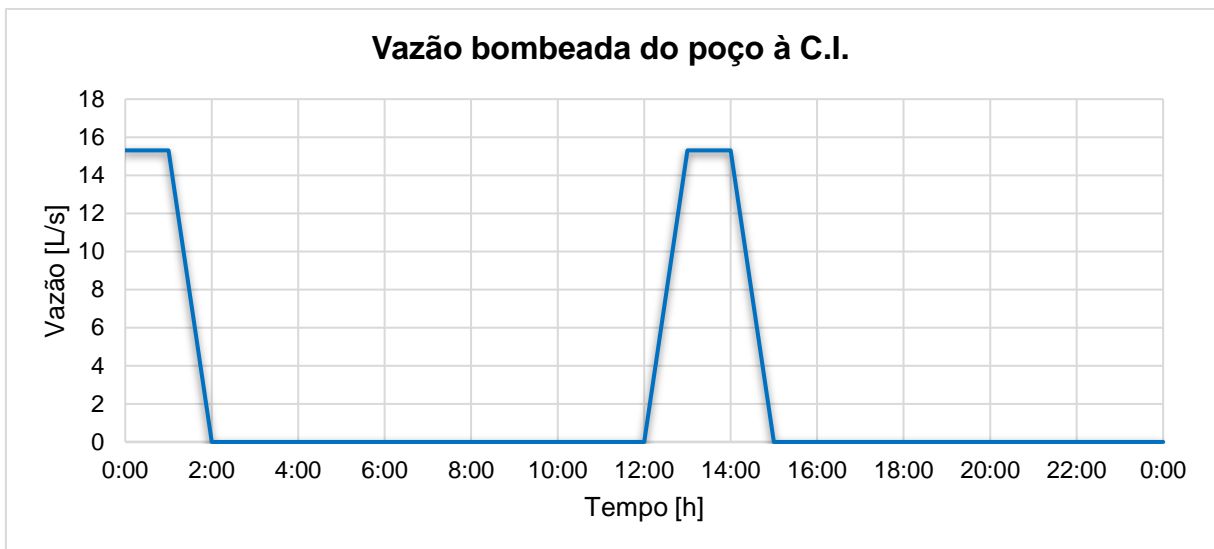
Fonte: Autoria própria (2022).

De acordo com os resultados obtidos, têm-se que a situação mais econômica, considerando as condições de funcionamento das estações, é a situação cuja proporção de volume armazenado é de 70% na câmara inferior e 30% na câmara superior e vazão média bombeada entre as câmaras. Nota-se também que ao se comparar os resultados da Tabela

11 com os resultados da Tabela 13, em todos cenários houve uma redução dos custos de energia, resultado esse esperado devido ao não funcionamento das estações em horário de ponta.

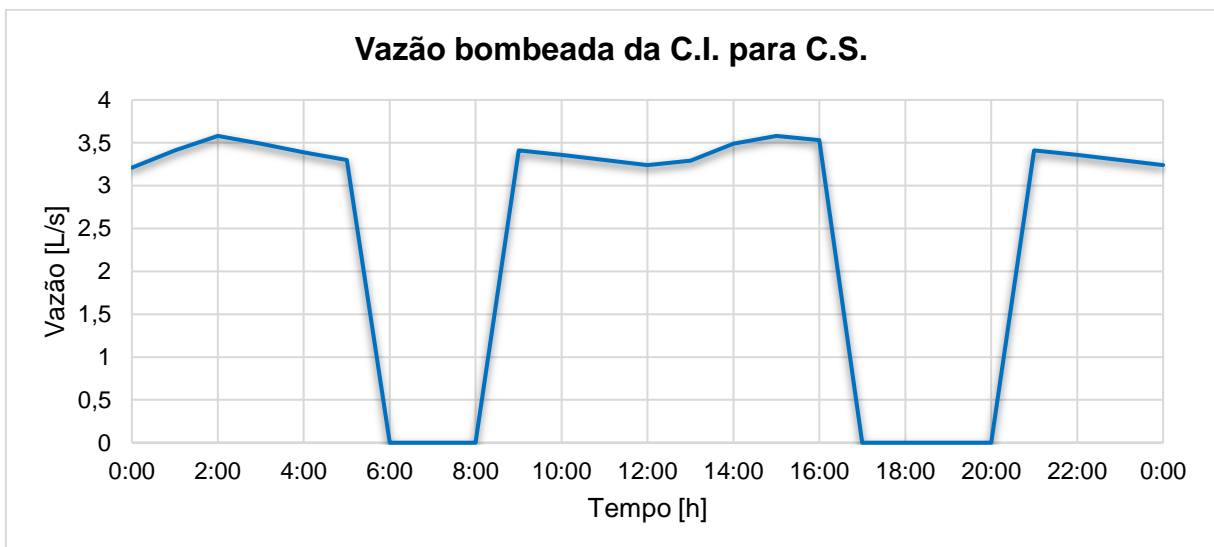
Os Gráficos 12 e 13 apresentam o funcionamento das bombas do poço e do reservatório respectivamente, enquanto que os Gráficos 14 e 15 apresentam os níveis d'água nas câmaras inferior e superior.

Gráfico 12: Vazão bombeada do poço para câmara inferior do reservatório (com restrição horária)

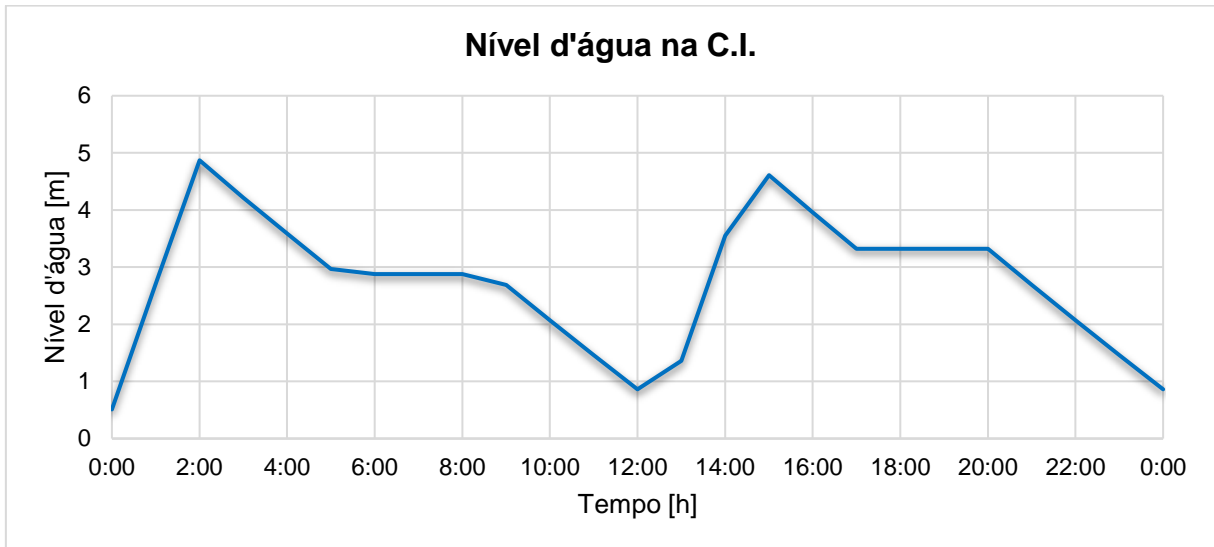


Fonte: Autoria própria (2022).

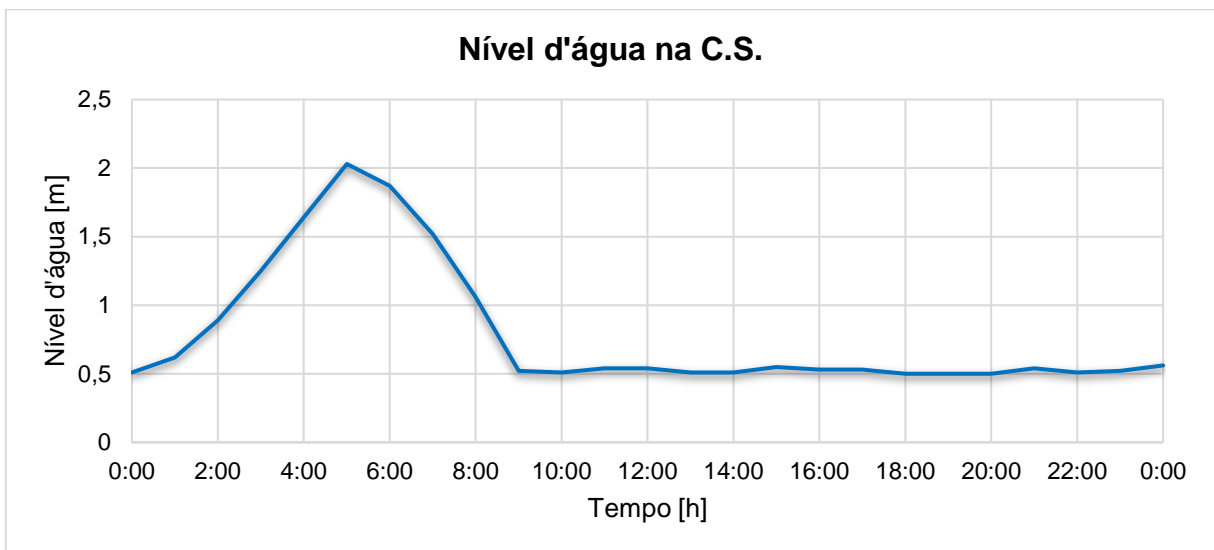
Gráfico 13: Vazão bombeada entre câmaras do reservatório (com restrição horária)



Fonte: Autoria própria (2022).

Gráfico 14: Variação do nível d'água na câmara inferior do reservatório

Fonte: Autoria própria (2022).

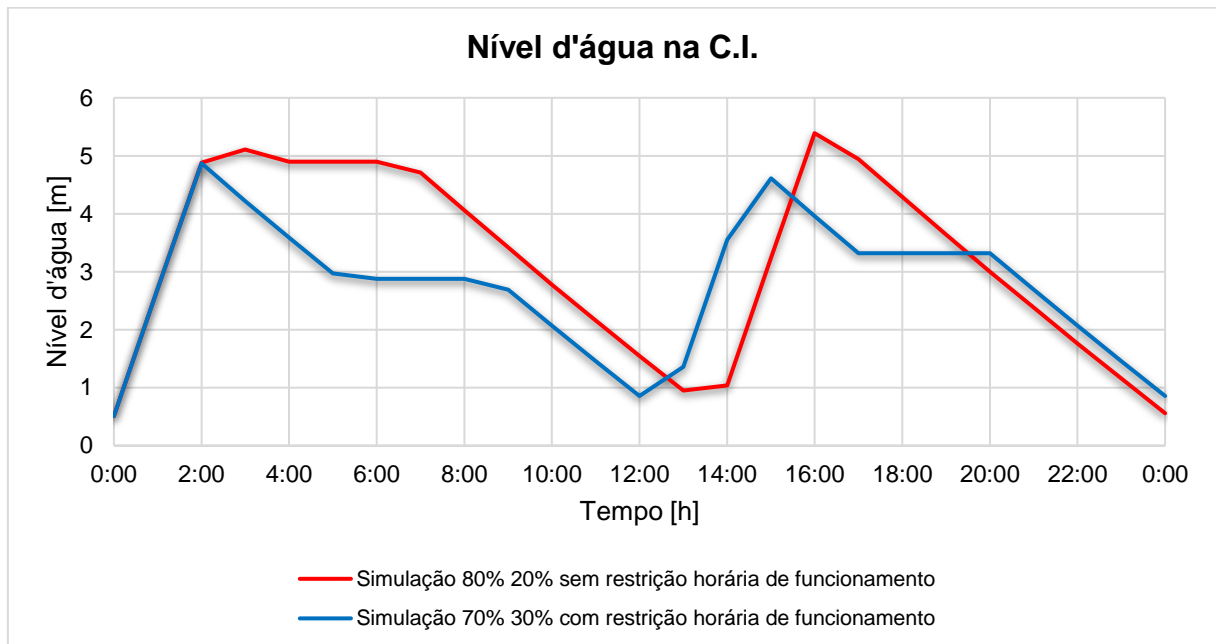
Gráfico 15: Variação do nível d'água na câmara superior do reservatório

Fonte: Autoria própria (2022).

Em relação aos gráficos de funcionamento da bomba, nota-se o mesmo tipo de comportamento observado no item 6.2.1, sendo a vazão recalçada pela bomba do poço constante e a vazão recalçada pela bomba do reservatório variável ao longo do período estudado, em virtude da variação do desnível geométrico. Ao se comparar os gráficos referentes aos resultados obtidos no item 6.2.1 com os resultados deste item, nota-se uma similaridade no funcionamento do sistema de reservação, com exceção do gráfico referente ao funcionamento da bomba do reservatório que não opera durante o período de ponta, provocando um patamar no Gráfico 14 que ilustra o nível d'água na câmara inferior.

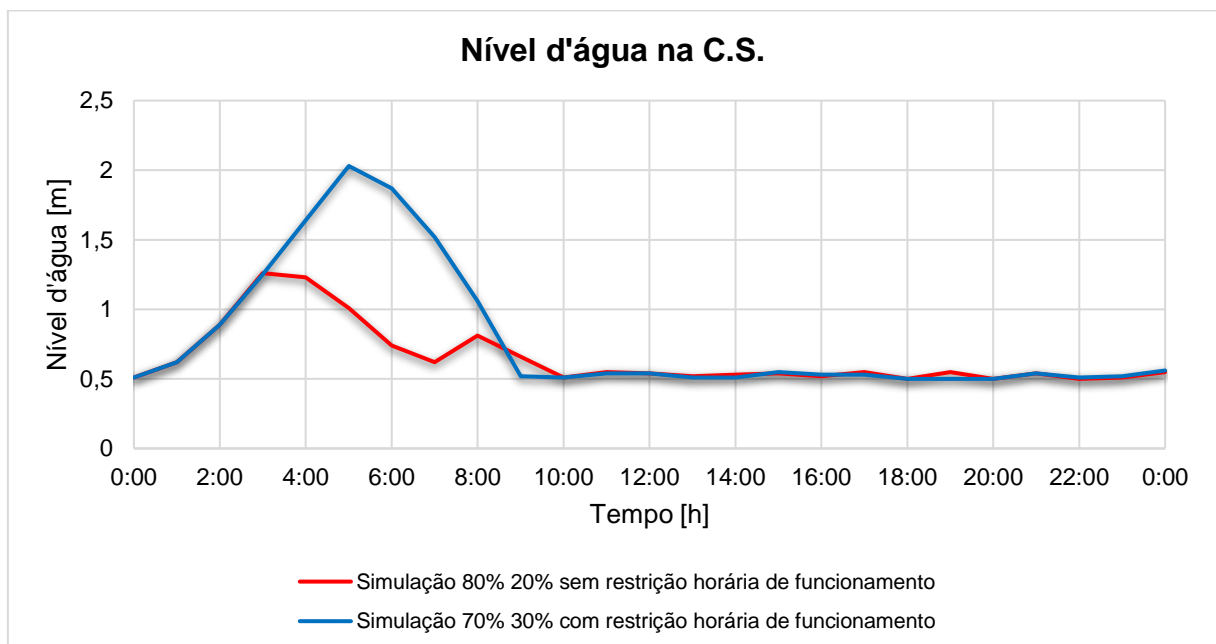
Em relação a variação do nível d'água nas câmaras, os resultados obtidos são similares em termos de comportamento de enchimento e esvaziamento, aos resultados obtidos na simulação que não considerou as restrições horárias de funcionamento. Os Gráficos 16 e 17 apresenta o comparativo entre os resultados obtidos para as duas simulações.

Gráfico 16: Comparativo do nível d'água na câmara inferior do reservatório



Fonte: Autoria própria (2022).

Gráfico 17: Comparativo do nível d'água na câmara superior do reservatório



Fonte: Autoria própria (2022).

A composição do custo diário de energia elétrica pode ser observada na Tabela 14, sendo a bomba do poço a que opera por um menor período, porém com maior consumo de energia, assim como na situação descrita no item 6.2.1.

Tabela 14: Resumo dos custos de energia elétrica de cada bomba para a situação 70/30 e vazão média

ID bomba	% de utilização	Eficiência média [%]	kWh/m ³	kW médio	Pico de kWh	Custo [R\$/dia]
7	16,34	66,25	0,79	42,95	43,78	134,79
12	72,23	53,72	0,13	1,55	1,60	21,49
Custo Total						156,27

Fonte: Autoria própria (2022).

6.2.3 CUSTOS OPERACIONAIS COM RESTRIÇÃO HORÁRIA DE FUNCIONAMENTO – RESERVATÓRIO CHEIO

Para as considerações de restrições horárias de funcionamento e câmaras do reservatório inicialmente cheias, obteve-se os valores de custo de energia elétrica indicados na Tabela 15. O menor custo observado é o referente ao arranjo de 60% do volume armazenado na câmara inferior e 40% na câmara superior e vazão média bombeada.

Tabela 15: Custos de energia elétrica para simulação com restrição de funcionamento das estações elevatórias e reservatórios inicialmente cheios

Câmara Inferior	Câmara Superior	ξ	Custo de energia elétrica [R\$/dia]	Variação em relação as simulações sem restrição de horário de funcionamento
Volume [%]	Volume [%]			
90	10	1	112,74	-56%
		1,25	119,58	-46%
		1,50	125,12	-52%
		2,00	120,02	-44%
80	20	1	99,09	-50%
		1,25	114,37	-61%
		1,50	182,11	-41%
		2,00	177,34	-39%
70	30	1	89,48	-63%
		1,25	169,35	-35%
		1,50	177,13	-51%
		2,00	198,74	-62%
60	40	1	86,23	-67%
		1,25	140,87	-66%
		1,50	154,68	-67%
		2,00	191,73	-60%
50	50	1	109,16	-68%
		1,25	114,37	-54%
		1,50	142,95	-66%
		2,00	198,92	-44%

Fonte: Autoria própria (2022).

Conforme esperado, têm-se que os custos energéticos são inferiores aos observados nos resultados descritos no item 6.2.1, devido às restrições horárias impostas ao funcionamento das estações elevatórias. Nota-se também que para essas simulações os custos obtidos foram os menores em todos os vinte cenários analisados, uma vez que a combinação das regras restritivas de funcionamento das bombas juntamente com o nível d'água inicial das câmaras próximos do nível máximo, resulta em uma menor taxa de utilização das bombas, como pode ser observado na Tabela 16.

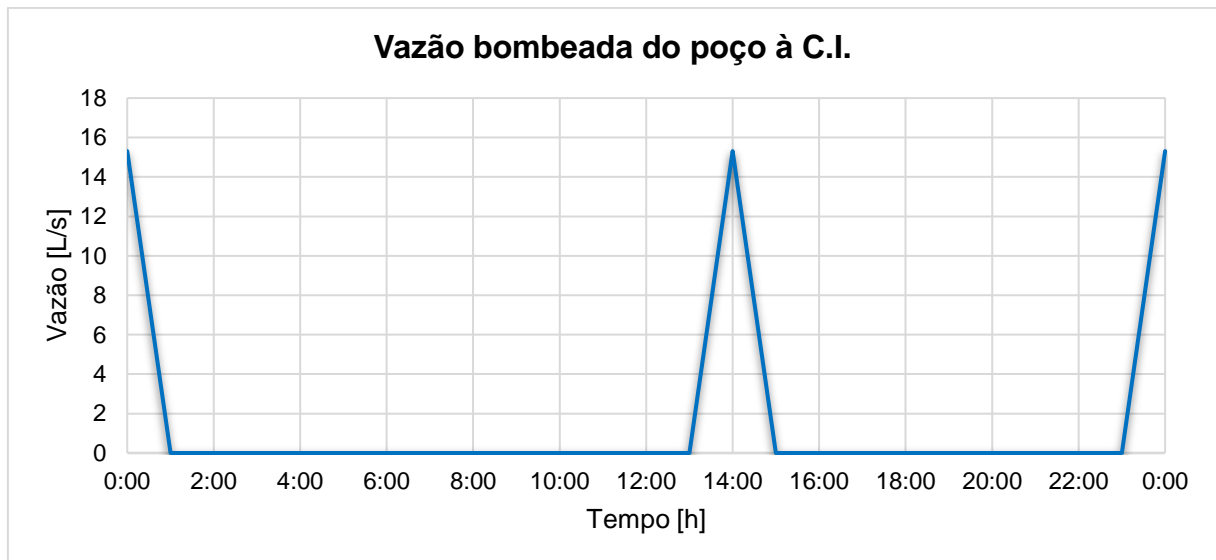
Tabela 16: Resumo dos custos de energia elétrica de cada bomba para a situação 60/40 e vazão média

ID bomba	% de utilização	Eficiência média [%]	kWh/m ³	kW médio	Pico de kWh	Custo [R\$/dia]
7	8,42	66,22	0,79	42,81	43,78	69,17
12	57,62	53,58	0,13	1,54	1,59	17,06
Custo Total						86,23

Fonte: Autoria própria (2022).

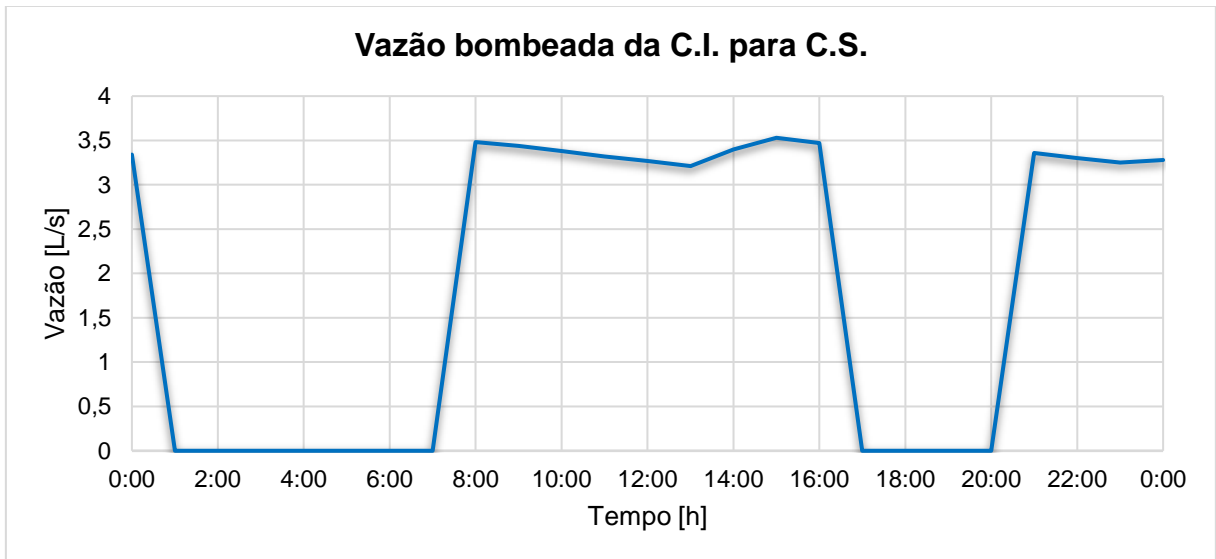
Apesar da taxa de utilização das bombas ser menor que nos outros dois conjuntos de simulações realizados, o funcionamento das mesmas é similar ao descrito nos itens 6.2.1 e 6.2.2. O Gráficos 18 e 19 ilustram o funcionamento das bombas e os Gráficos 20 e 21 ilustram o nível d'água nas câmaras inferior e superior respectivamente.

Gráfico 18: Vazão bombeada do poço para câmara inferior do reservatório (com restrição horária e reservatório cheio)



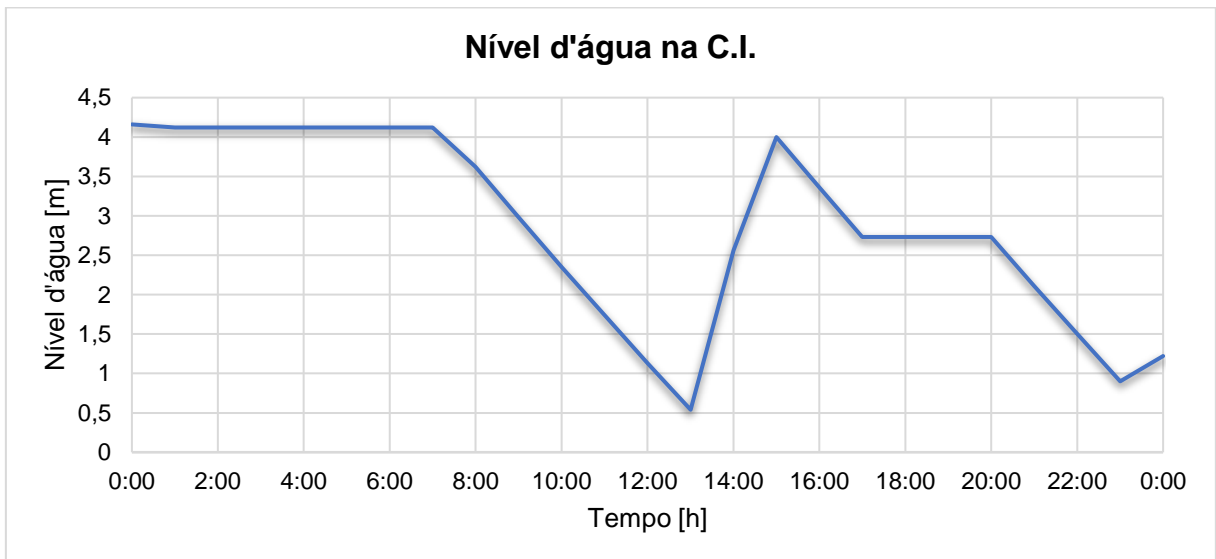
Fonte: Autoria própria (2022).

Gráfico 19: Vazão bombeada entre câmaras do reservatório (com restrição horária e reservatório cheio)



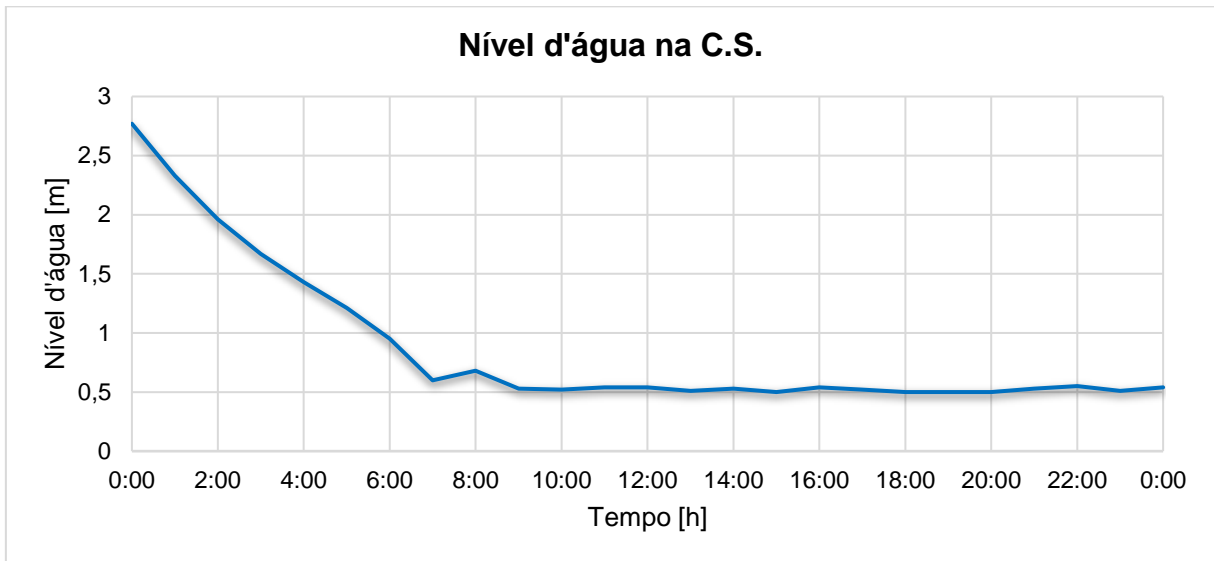
Fonte: Autoria própria (2022).

Gráfico 20: Variação do nível d'água na câmara inferior do reservatório (com restrição horária e reservatório cheio)



Fonte: Autoria própria (2022).

Gráfico 21: Variação do nível d'água na câmara superior do reservatório (com restrição horária e reservatório cheio)

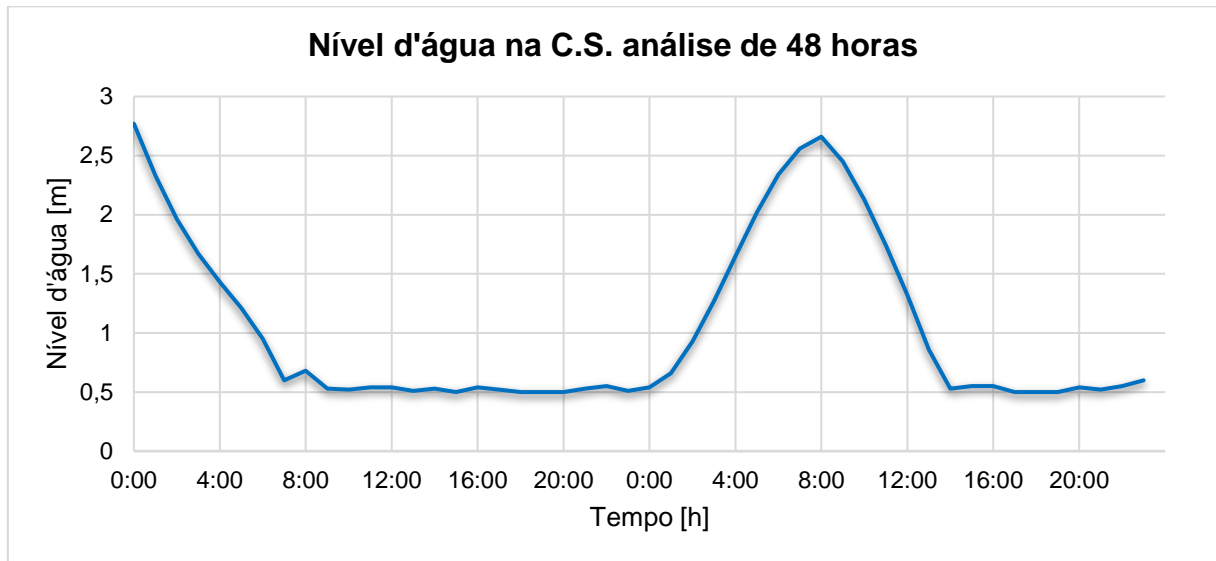


Fonte: Autoria própria (2022).

Nota-se, por meio do Gráfico 20, que o seu comportamento é similar ao comportamento observado nas outras situações, com exceção do período inicial que apresenta um decréscimo muito pequeno. Essa pequena variação deve-se ao fato de o nível d'água inicial estar próximo do nível máximo e também ao fato de que o consumo nas primeiras horas do dia é pequeno se comparado com o restante do dia.

O Gráfico 21 demonstra que o nível d'água na câmara superior, ao longo de um dia não consegue se recuperar, devido a junção de dois fatores. O primeiro deles é referente a restrição horária de funcionamento da bomba e o segundo é devido ao fato de a demanda de água ser maior justamente no período em que as bombas estão desligadas. Considerando uma análise de 48 horas é possível perceber que a câmara superior é capaz de recuperar seu nível máximo entre o período de 24 horas e 32 horas, ou seja, entre a meia noite do primeiro para o segundo dia e as 8:00 da manhã do segundo dia. Essa recuperação do nível máximo é possível ser observada no Gráfico 22.

Gráfico 22: Variação do nível d'água na câmara superior do reservatório considerando período de 48 horas



Fonte: Autoria própria (2022).

6.3 ANÁLISE CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO RESERVATÓRIO ELEVADO

Para o reservatório elevado foram obtidos cinco valores de custos de implantação, sendo cada um deles referente aos arranjos de reservação estudados. Conforme a Equação 1 têm-se que as variáveis são o diâmetro, a altura total do reservatório e do volume total de reservação. Como o diâmetro adotado foi fixado em 5m para todas as simulações e o volume total de reservação também é constante, a variável determinante para a diferenciação dos custos é a altura total do reservatório. A altura total do reservatório é condicionada pela altura da câmara superior, uma vez que a câmara inferior tem cotas fixas. A Tabela 17 apresenta as cotas da base do reservatório, a cota final e a altura para cada um dos cenários estudados.

Tabela 17: Cotas do reservatório e altura total

Volume [%]		Cota final do reservatório [m]	Cota da base do reservatório [m]	Altura do reservatório [m]
Câmara inferior	Câmara superior			
90	10	889,15	13,95	13,95
80	20	889,84	14,64	14,64
70	30	890,54	15,34	15,34
60	40	891,23	13,06	16,03
50	50	891,93	16,73	16,73

Fonte: Autoria própria (2022).

Aplicando-se a Equação 1, obteve-se os resultados de custo de implantação apresentados na Tabela 18.

Tabela 18: Custos de implantação do reservatório considerando cada um dos cenários estudados

Volume [%]		Custo de implantação do reservatório [R\$]
Câmara inferior	Câmara superior	
90	10	140.022,65
80	20	141.266,95
70	30	142.494,33
60	40	143.704,49
50	50	144.897,33

Fonte: Autoria própria (2022).

De acordo com os resultados obtidos, têm-se que a situação mais econômica, considerando somente a implantação, é a situação que armazena 90% do volume na câmara inferior e 10% na câmara superior. Esse resultado era o esperado em virtude de a altura do reservatório ser diretamente proporcional ao custo final, sendo essa alternativa a que apresenta o menor valor em termos de altura.

É possível observar que a variação entre os custos é pequena se for levado em consideração as grandezas de valores envolvida. Do ponto de vista do empreendedor a solução mais econômica em termos de implantação é sempre a mais interessante, porém para o poder público, que é o responsável pela operação do sistema, os custos operacionais, que abrigam os custos energéticos, são os que influenciam mais na escolha de qual alternativa adotar.

Analisando o custo total ao longo de um ano, a situação mais econômica corresponde a situação que armazena 60% do volume na câmara inferior e 40% na câmara superior, apesar dessa configuração não ser a mais econômica do ponto de vista construtivo. Ao longo de um ano, o custo energético acrescido do custo construtivo resulta em R\$175.178,44, enquanto que a situação de armazenamento 80/20 resulta em R\$213.040,55 e a situação 70/30 resulta R\$199.532,88. Nota-se que o custo operacional com energia é quem determina a grandeza do custo total e a medida que se aumenta o período de análise, maior deve ser a consideração do custo operacional em relação ao custo construtivo.

6.4 ANÁLISE CUSTOS OPERACIONAIS BOOSTER

Para o estudo do abastecimento por meio de estação pressurizadora, simulou-se três diferentes cenários, sendo o volume armazenado no reservatório a variável estudada. O primeiro cenário contempla o volume obtido por meio da Equação 8, resultando em 136,5m³. Os outros cenários dizem respeito a análises com volumes menores, 100m³ e 50m³. Os cenários estudados foram avaliados de acordo com os conjuntos de regras operacionais definidos, resultando em seis diferentes análises.

6.4.1 CUSTOS OPERACIONAIS SEM RESTRIÇÃO DE HORÁRIO

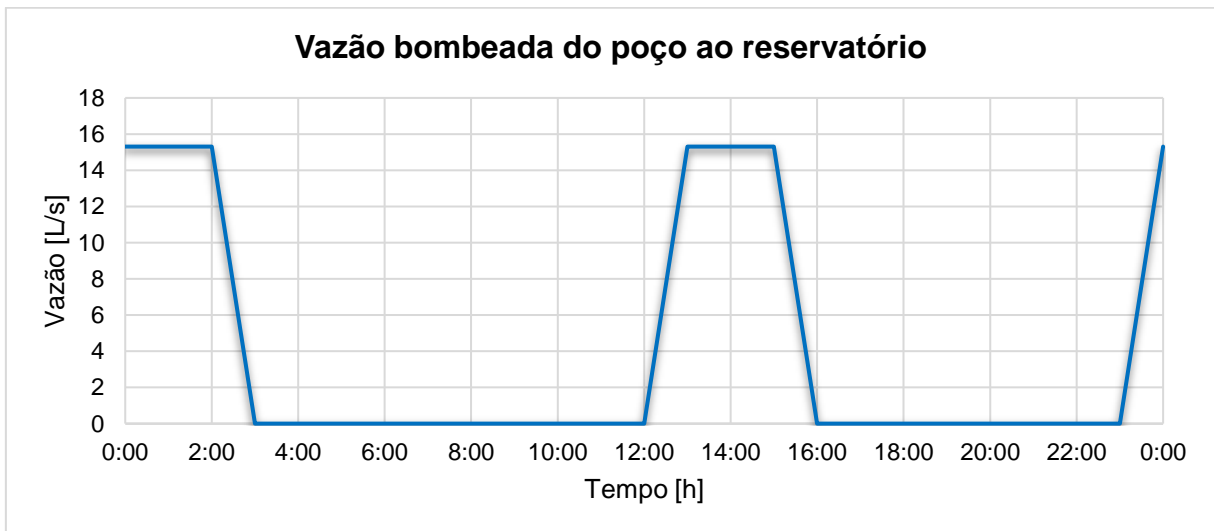
Os primeiros resultados obtidos foram em relação as simulações que não restringem a operação das bombas de acordo com o horário de ponta. Os resultados obtidos e apresentados na Tabela 19 indicam que o menor custo operacional ocorre para a situação na qual o volume armazenado no reservatório corresponde a 136,5m³. Os Gráficos 23, 24 e 25 indicam respectivamente, a vazão da bomba do poço, a vazão recalçada pelo *booster* e a variação do nível d'água no reservatório.

Tabela 19: Custos de energia elétrica para simulação inicial sem restrição de funcionamento do booster

Volume [m ³]	Custo de energia elétrica [R\$/dia]
136,5	253,91
100,0	447,18
50,0	305,20

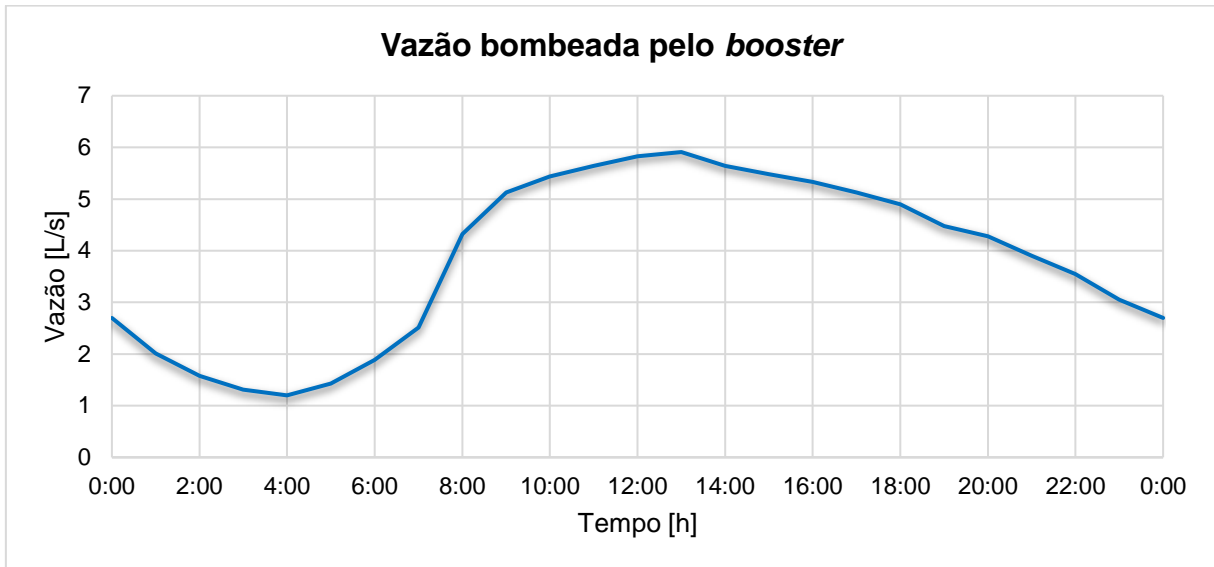
Fonte: Autoria própria (2022).

Gráfico 23: Vazão bombeada do poço para o reservatório



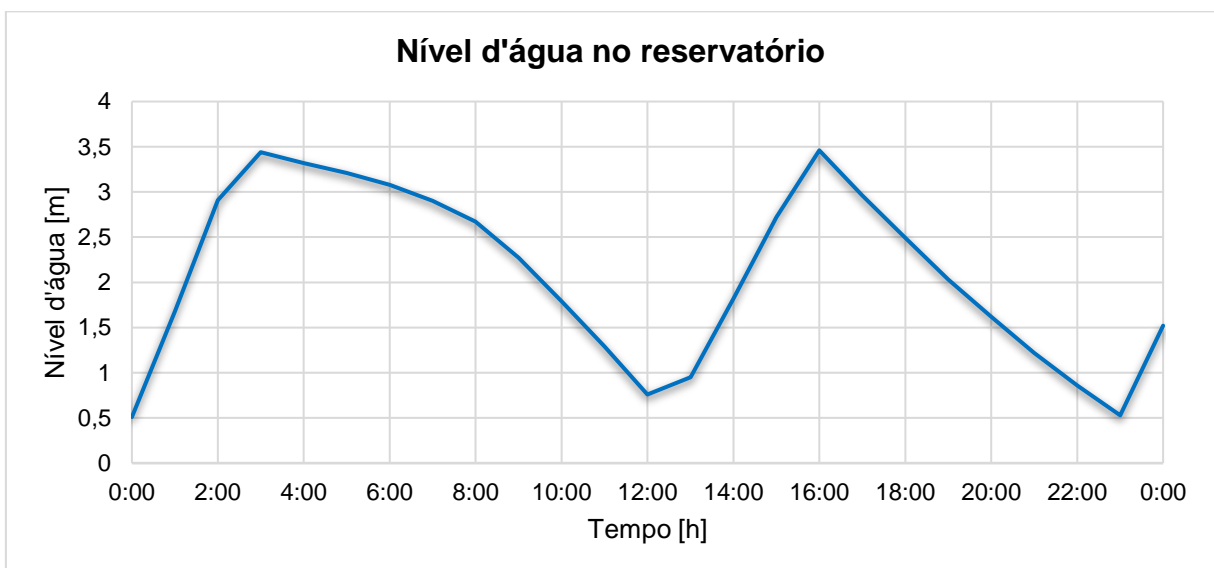
Fonte: Autoria própria (2022).

Gráfico 24: Vazão bombeada pelo booster



Fonte: Autoria própria (2022).

Gráfico 25: Nível d'água no reservatório apoiado



Fonte: EPANET (2022).

Analisando os Gráficos, nota-se que a vazão recalcada do poço para o reservatório, é constante durante seu período de funcionamento, assim como para a situação estudada considerando reservatório apoiado. A vazão do *booster* por sua vez, se caracteriza por não ser constante, variando de acordo com a demanda existente e tendo como ponto de máximo a vazão obtida pela Equação 2, ou seja 5,96L/s.

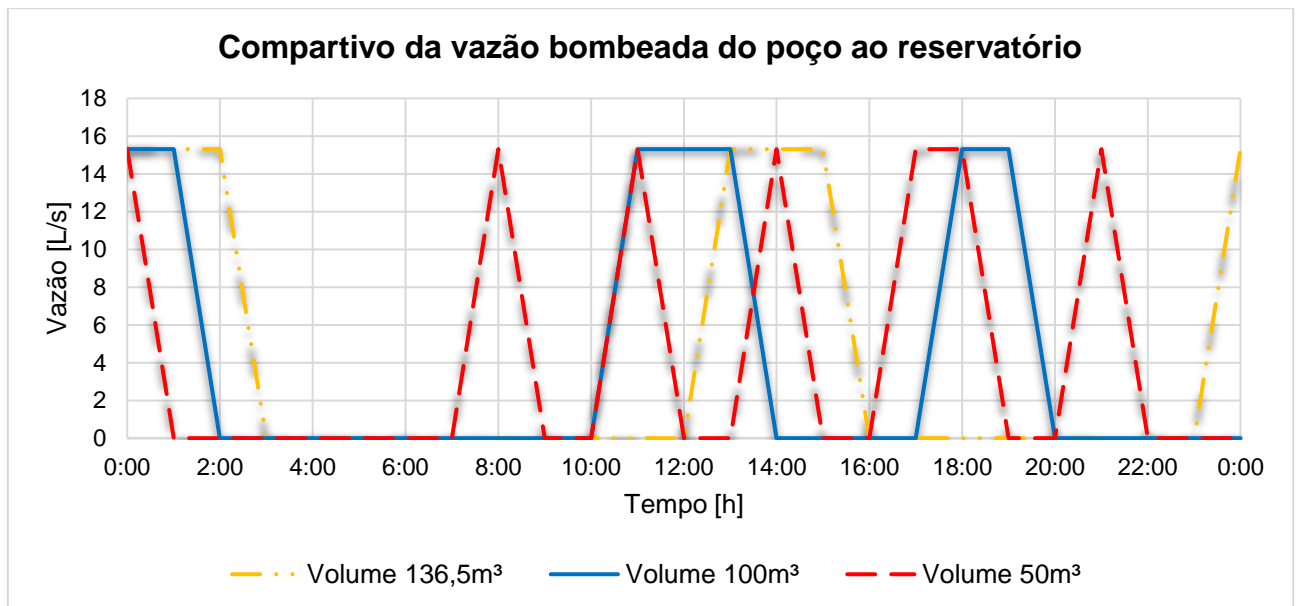
A composição dos custos para a situação mais econômica é observada na Tabela 20. Nota-se que o *booster* opera de maneira ininterrupta, entretanto o custo majoritário é referente a bomba do poço, uma vez que a vazão bombeada influencia na obtenção dos custos.

Tabela 20: Resumo dos custos de energia elétrica considerando utilização do booster

ID bomba	% de utilização	Eficiência média [%]	kWh/m ³	kW médio	Pico de kWh	Custo [R\$/dia]
7	27,92	66,30	0,79	43,16	43,78	231,33
1	100,00	51,57	0,07	0,84	2,51	22,58
Custo Total						253,91

Fonte: Autoria própria (2022).

O que difere os custos operacionais entre os cenários estudados, é o funcionamento da bomba do poço, uma vez que em todos os cenários o booster opera de maneira ininterrupta resultando quase que sempre no mesmo custo. Nota-se que à medida que se diminui o volume armazenado no reservatório, é necessário que a bomba do poço opere durante maior tempo, resultando no aumento dos custos energéticos. O cenário mais custoso, foi o que considerou um volume de 100m³ e apesar de não ser o menor volume estudado, observa-se que a bomba opera durante o horário de ponta, no qual o custo é maior. O Gráfico 26 ilustra o comparativo entre o funcionamento da bomba do poço para cada um dos três cenários estudados.

Gráfico 26: Comparativo da vazão bombeada do poço para o reservatório

Fonte: Autoria própria (2022).

Foi observado que para os três cenários estudados, em nenhum deles, o período de operação da bomba do poço ultrapassou o período outorgado de 20 horas por dia. O maior período de utilização do poço foi de 12 horas diárias referente ao cenário que considerou 50m³ armazenados no reservatório apoiado.

6.4.2 CUSTOS OPERACIONAIS COM RESTRIÇÃO DE HORÁRIO

Para as análises nas quais foram consideradas as regras restritivas de horário de funcionamento das bombas, bomba do poço e booster, nota-se uma redução significativa dos custos de energia elétrica. A Tabela 21 apresenta o comparativo dos custos obtidos com e sem restrição horária de funcionamento.

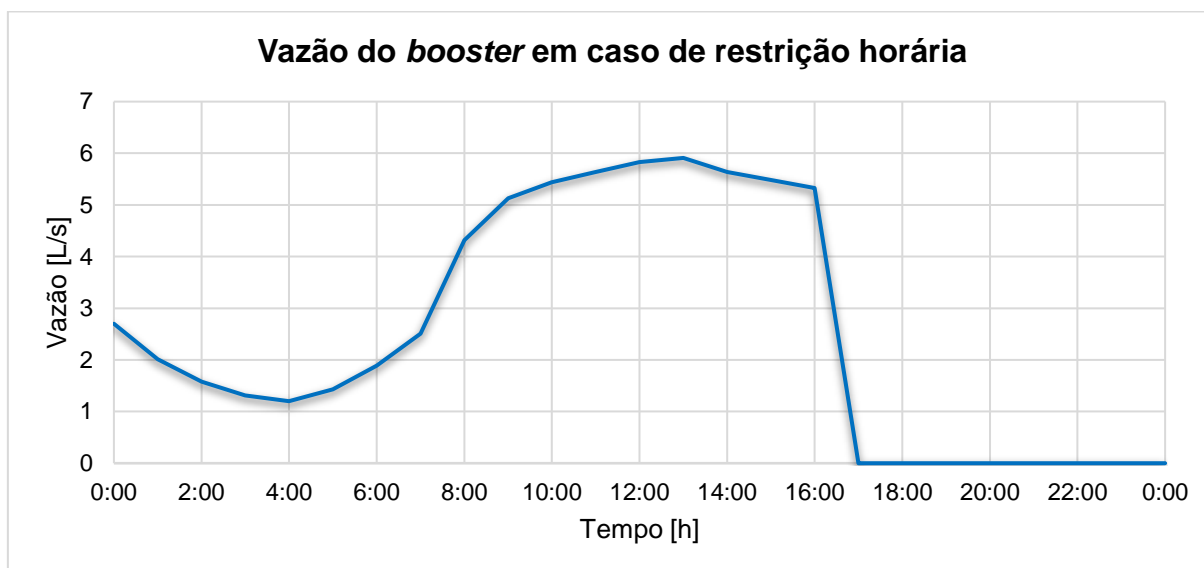
Tabela 21: Comparativo dos custos de energia elétrica com e sem restrição horária de funcionamento

Volume [m ³]	Custo de energia elétrica – sem restrição horária [R\$/dia]	Custo de energia elétrica – com restrição horária [R\$/dia]	Varição nos custos [%]
136,5	253,91	196,45	-23%
100,0	447,18	186,72	-58%
50,0	305,20	68,62	-78%

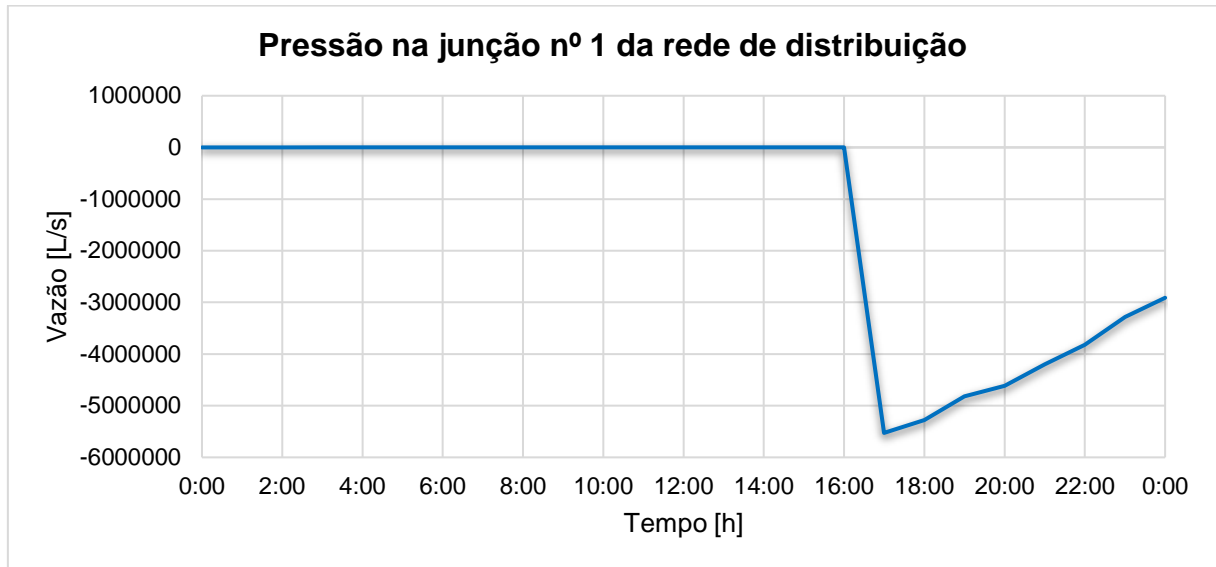
Fonte: Autoria própria (2022).

Apesar do ganho em termos de custos, observa-se que ao se restringir o funcionamento do booster, ocorre pressão negativa na rede, situação não desejada. Dessa forma, para efeitos operacionais é impraticável considerar o não funcionamento do booster. O Gráfico 27 ilustra como seria o funcionamento do *booster* caso fosse aplicável sua restrição de funcionamento e o Gráfico 28 ilustra a ocorrência de pressão na rede, considerando a junção de número 1.

Gráfico 27: Vazão do booster em caso de restrição horária de funcionamento



Fonte: EPANET (2022).

Gráfico 28: Ocorrência de pressão negativa na rede

Fonte: EPANET (2022).

6.5 ANÁLISE CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO DO RESERVATÓRIO APOIADO DO BOOSTER

Para o reservatório apoiado que compõe o sistema booster, empregou-se a mesma Equação utilizada na determinação do custo de implantação do reservatório elevado, sendo as variáveis o diâmetro, o volume armazenado e a altura do reservatório. Diferentemente do caso do reservatório elevado, para a análise do *booster*, o diâmetro e a altura total se modificam em virtude do volume armazenado. Assim sendo, para cada situação simulada têm-se os valores atribuídos as variáveis conforme indicadas na Tabela 22. A Tabela 23 apresenta os valores obtidos para o custo de implantação do reservatório elevado para cada um dos três cenários estudados considerando o sistema *booster*.

Tabela 22: Cotas do reservatório apoiado

Volume [m ³]	Cota final do reservatório [m]	Cota da base do reservatório [m]	Altura do reservatório [m]
136,5	882,52	875,20	7,32
100,0	882,17	875,20	6,97
50,0	881,52	875,20	6,32

Fonte: Autoria própria (2022).

Tabela 23: Custos de implantação do reservatório apoiado considerando cada um dos cenários estudados

Volume [m ³]	Custo de implantação do reservatório [R\$]
136,5	52.135,62

100,0	45.827,08
50,0	36.242,98

Fonte: Autoria própria (2022).

Nota-se que, por meio dos resultados obtidos, o cenário mais econômico do ponto de vista da implantação do reservatório apoiado utilizado na composição do sistema pressurizador tipo *booster*, é o referente ao menor volume reservado, 50m³. O resultado obtido era esperado, uma vez que considerando as variáveis empregadas na equação, tem-se que quanto menor a necessidade de armazenamento de água, menor as dimensões necessárias do reservatório e, conseqüentemente, menor os custos de implantação.

Comparando-se o cenário que contempla o volume de 136,5m³, tanto na situação envolvendo reservatório elevado quanto reservatório apoiado, têm-se que para a segunda situação, o custo é aproximadamente três vezes menor. Isso deve-se ao fato de que no cenário utilizando *booster*, devido ao fato do reservatório apresentar uma única câmara e de se considerar a relação mais econômica proposta por Azevedo Neto (1982) entre diâmetro e altura.

Considerando um período de análise equivalente a um ano, o custo total que engloba o custo operacional e o custo construtivo, a situação mais econômica é a que armazena 136,5m³, apesar de ser a mais custosa do ponto de vista construtivo. No período de um ano, o custo total para a situação de 136,5m³ resulta em R\$144.812,77 enquanto que a situação que armazena 50m³ resulta em um custo total de R\$147.640,98.

7. CONCLUSÕES

Neste trabalho foram desenvolvidos dois modelos computacionais para simulações hidráulicas com objetivo de se determinar qual o cenário que resulta nos menores custos de implantação e custos operacionais considerando duas alternativas de distribuição/reservação de um sistema de abastecimento de água de um loteamento no município de São Carlos/SP.

Para as análises do sistema de reservatório elevado, através dos resultados obtidos e considerando todas as premissas impostas, o dimensionamento da bomba que recalca água entre as câmaras deve ser realizado considerando a vazão média, uma vez que essa se mostrou sempre a mais econômica se comparada com as demais vazões estudadas. Em termos do armazenamento dos volumes nas câmaras do reservatório, pode-se inferir que a situação mais econômica é a de proporção 60% para câmara inferior e 40% para câmara superior. A definição da melhor solução foi baseada, além dos critérios econômicos como sendo os principais, em critérios construtivos e operacionais. Do ponto de vista construtivo e operacional, a escolha da proporção 60/40 foi baseada no fato de que esse cenário pode ser alterado para proporções 70/30, 80/20 e 90/10 sem que seja necessário alterar as dimensões do reservatório. Outro fator de impacto é que ao se aplicar as regras restritivas de horário para o funcionamento das estações elevatórias, as bombas deixam de operar durante um período em que a demanda por água é alta. Assim sendo, a proporção 60/40 garante maior segurança para atendimento da alta demanda, sem que haja prejuízos para a população local. Em termos de custos de construção, a diferença observada para cada um dos cenários de reservação estudados pouco impacta nos custos totais, sendo o custo operacional o custo determinante na escolha do melhor cenário.

Para a simulação do sistema de reservação/distribuição considerando *booster*, inferiu-se que a imposição de regras restritivas de horário de funcionamento para ambas as bombas empregadas é impraticável, em virtude da ocorrência de pressões negativas na rede. Considerando apenas a análise na qual não se aplicou as restrições de horário de ponta, a situação mais econômica do ponto de vista dos custos de energia, totalizando R\$253,91 por dia, é a que armazena 1/3 do volume consumido no dia de maior consumo, ou seja, 136,5m³. Além disso, à medida que se diminui o volume armazenado no reservatório apoiado, aumentam-se os custos de energia, devido ao aumento da necessidade de a bomba do poço operar. Os custos de implantação são aproximadamente 1/3 dos custos observados no modelo de reservatório elevado, uma vez que o reservatório apoiado é menor em termos de altura. Ainda em relação aos custos de implantação considerando o sistema *booster*, apesar de volumes

menores de armazenamento apresentarem menores custos, é necessário que seja respeitada a necessidade de se armazenar 1/3 do volume do dia de maior consumo. Assim sendo, a única alternativa viável a ser considerada é a que contempla o volume de 136,5m³, ou seja, o volume correspondente a 1/3 do volume do dia de maior consumo.

Para a definição da melhor alternativa de reservação/distribuição é necessário estabelecer quais serão os beneficiários. Considerando que o maior beneficiário deva ser a população atendida pela rede de distribuição, a melhor alternativa para o caso estudado, é a que considera a reservação/distribuição por meio de reservatório elevado, sendo a que apresenta os menores custos operacionais, uma vez que o estabelecimento das tarifas praticadas pelas empresas públicas de saneamento, é determinado pelos custos operacionais. A alternativa de utilização do *booster*, que apresentou menores custos de implantação, proporciona vantagens financeiras somente para o empreendedor, não sendo vantajoso para a empresa que opera o sistema e, conseqüentemente, para a população atendida. Para trabalhos futuros sugere-se que seja feita uma análise financeira, por meio do estabelecimento de um período de utilização do sistema de 30 ou 50 anos, determinando o custo total, considerando a depreciação das instalações necessárias e a evolução dos custos de energia, trazendo para valor presente para uma análise mais assertiva.

8. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 12211**: estudos de concepção de sistemas públicos de abastecimento de água. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 12217**: projeto de reservatório de água para abastecimento público. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 12218**: projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público: procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

AZEVEDO NETO, José Martiniano de (coord.). **Técnica de abastecimento e tratamento de água**. São Paulo: CETESB, 2. ed., 1987, 550p.

AZEVEDO NETO, José Martiniano de (coord.). **Manual de Hidráulica**. São Paulo: Editora Edgard Bluncher, 8. ed., 1998, 669p.

BRASIL. ANEEL. **Resolução Normativa nº 414, de 9 de setembro de 2010**. Estabelece as Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica de forma atualizada e consolidada. Disponível em: <<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=112868>>. Acesso em: 04 abr. 2022.

GOMES, Heber Pimentel. **Sistemas de Abastecimento de Água**: dimensionamento econômico e operação de Redes e Elevatórias. João Pessoa: Editora Universitária - UFPB, 3. ed., 2009, 277p.

HELLER, Léo; PÁDUA, Valter Lúcio. **Abastecimento de água para consumo humano**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2. ed., 2010, 859p.

KELLNER, Erich. **Introdução ao EPANET**: Simulação e dimensionamento de sistemas de abastecimento de água. São Carlos, 2020.

KELLNER, Erich. **Introdução aos Sistemas de Saneamento**. São Carlos: SEADE/UFSCAR, 2014, 289P.

LOUREIRO, Dália; COELHO, Sérgio Teixeira. **EPANET 2**: Manual do utilizador. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2002.

OLAIA, Ana Isabel Santos. **Gestão de Sistemas de Abastecimento de Água através de Modelação Hidráulica**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente). Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2012. Disponível em: https://run.unl.pt/bitstream/10362/8228/1/Olaia_2012.pdf. Acesso em: 15 fev, 2022.

RAMOS, Maria Cecília Contijo. **Otimização operacional de um setor de abastecimento de água por meio da alteração dos volumes dos reservatórios de água tratada**. Dissertação (Mestrado em Ciências: Engenharia Hidráulica e Saneamento). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, p. 97. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/D.18.2022.tde-27072022-104553>. Acesso em: 08 ago, 2022.

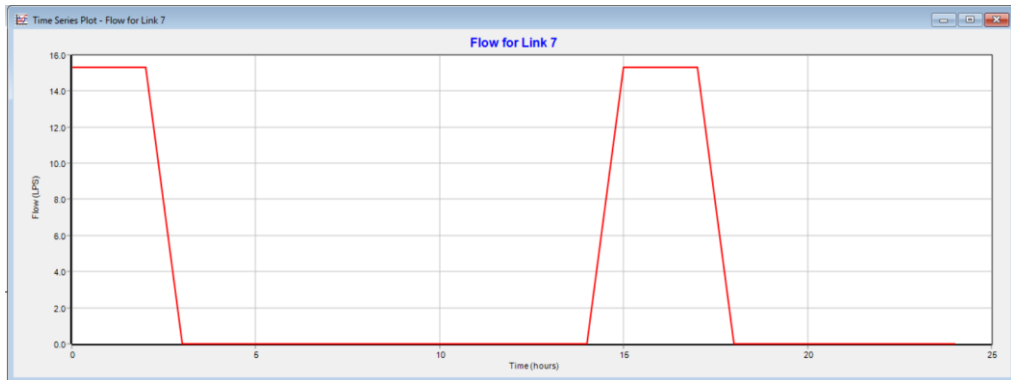
SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÃO SOBRE SANEAMENTO. **Diagnóstico temático Serviços de Água e Esgoto: ano de referência 2020**. Brasília, 2020. Disponível em: http://www.snis.gov.br/downloads/diagnosticos/ae/2020/DIAGNOSTICO_TEMATICO_VISAO_GERAL_AE_SNIS_2021.pdf. Acesso em: 04 mar, 2022.

TSUTIYA, Milton Tomoyuki. **Abastecimento de Água**. São Paulo: DES/EPUSP, 1. ed., 2006, 659p.

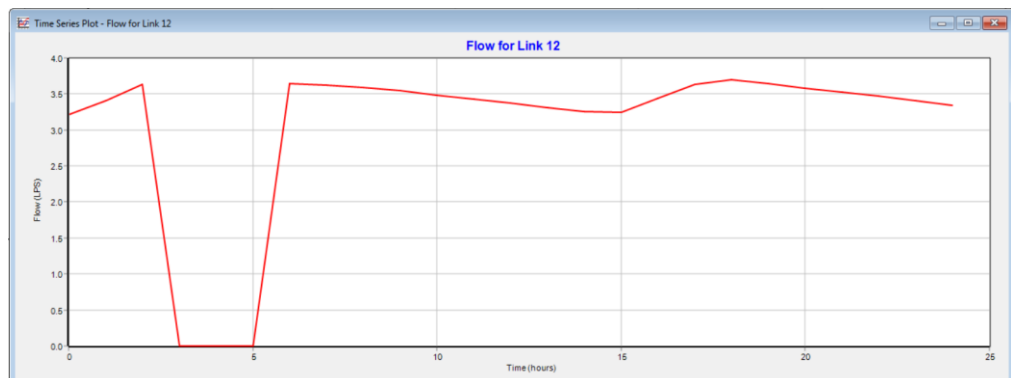
TSUTIYA, M. T. Redução do custo de energia elétrica em sistemas de abastecimento de água. 1a ed. São Paulo: **ABES**, 2001.

9. APÊNDICE A – GRÁFICOS DAS ANÁLISES DO RESERVATÓRIO ELEVADO

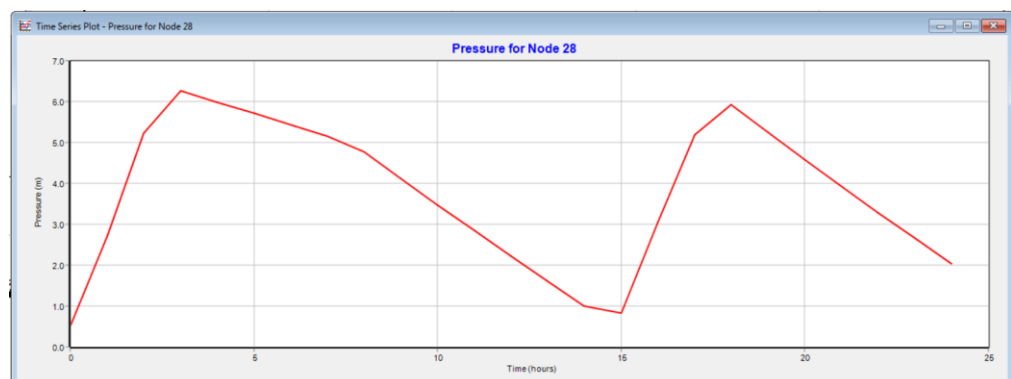
Vazão bombeada do poço à C.I. - Proporção 90/10 - Vazão média



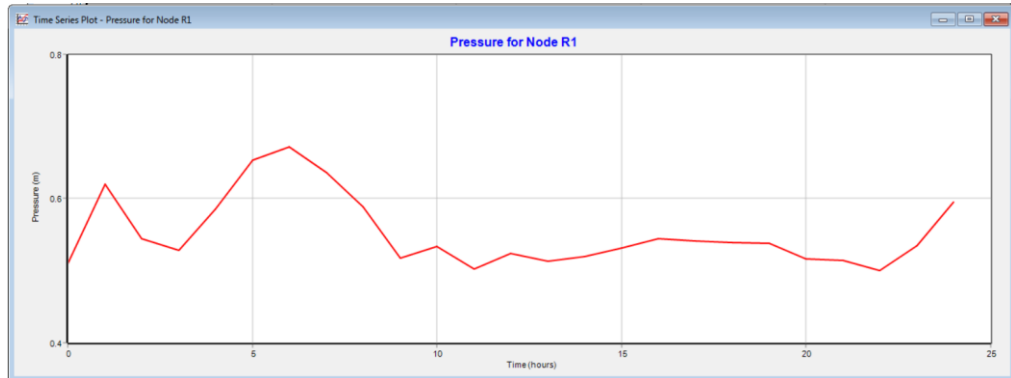
Vazão bombeada entre câmaras do reservatório - Proporção 90/10 - Vazão média



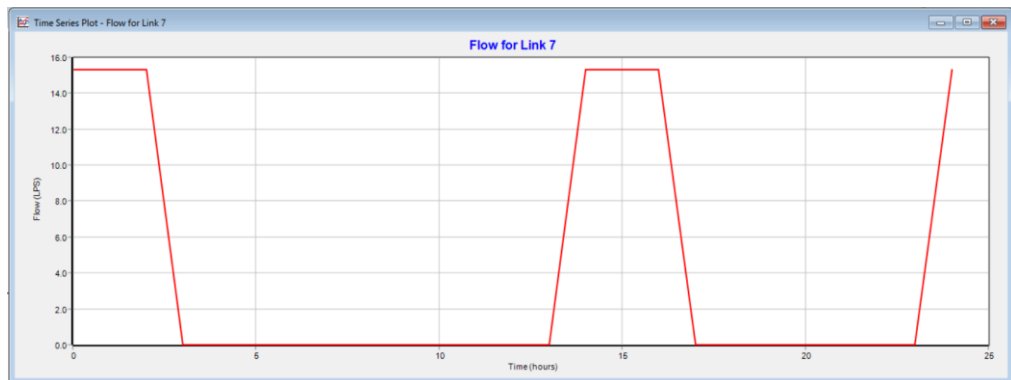
Nível d'água C.I. - Proporção 90/10 - Vazão média



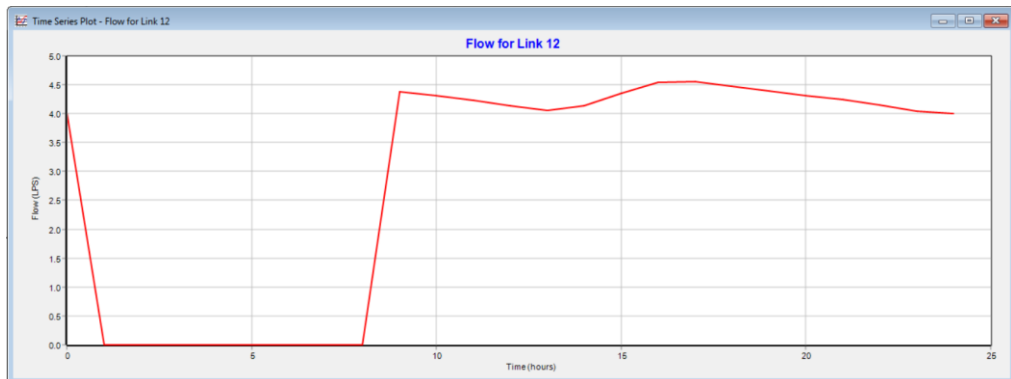
Nível d'água C.S. - Proporção 90/10 - Vazão média



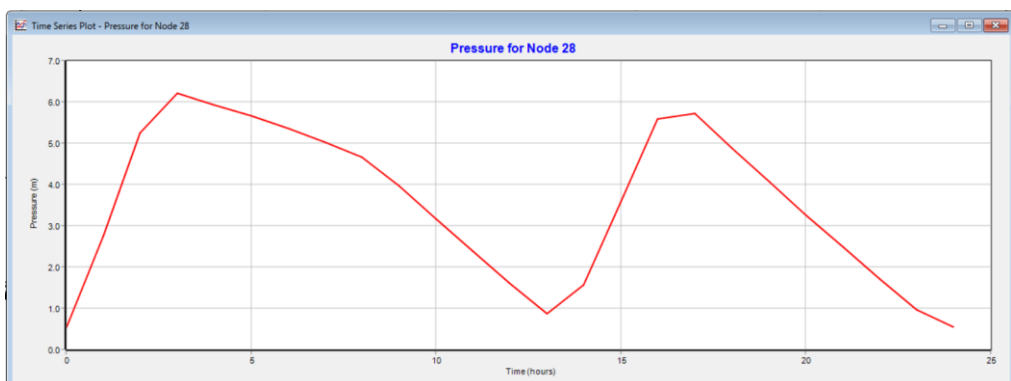
Vazão bombeada do poço à C.I. - Proporção 90/10 - Vazão 1,25



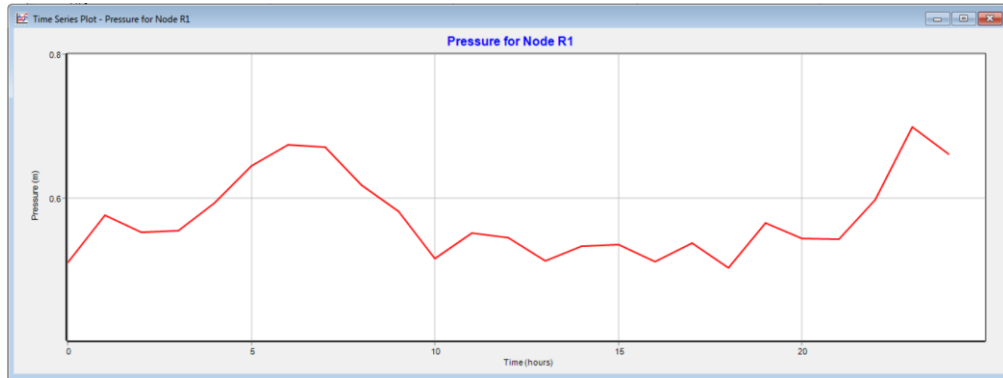
Vazão bombeada entre câmaras do reservatório - Proporção 90/10 - Vazão 1,25



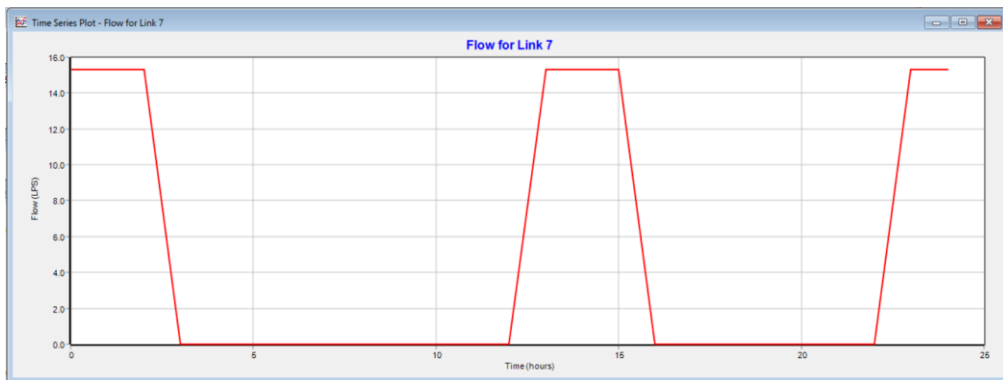
Nível d'água C.I. - Proporção 90/10 - Vazão 1,25



Nível d'água C.S. - Proporção 90/10 - Vazão 1,25



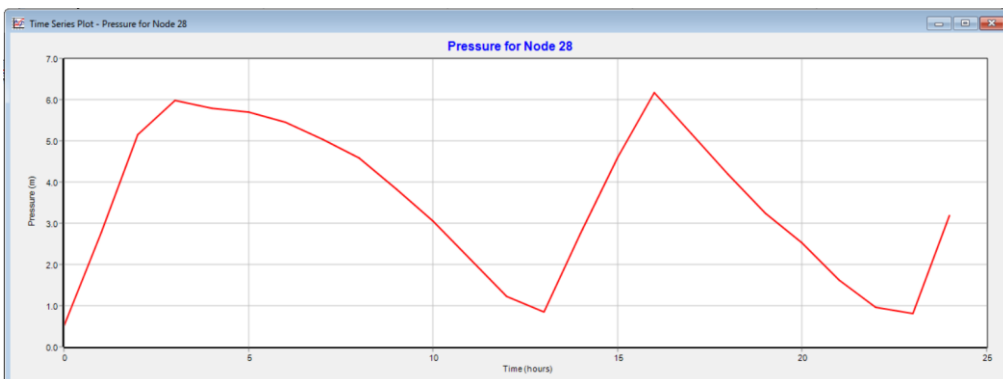
Vazão bombeada do poço à C.I. - Proporção 90/10 - Vazão 1,50



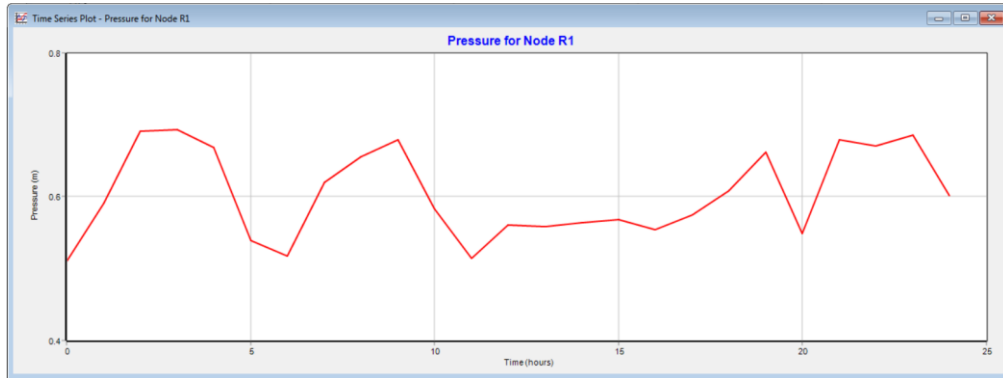
Vazão bombeada entre câmaras do reservatório - Proporção 90/10 - Vazão 1,50



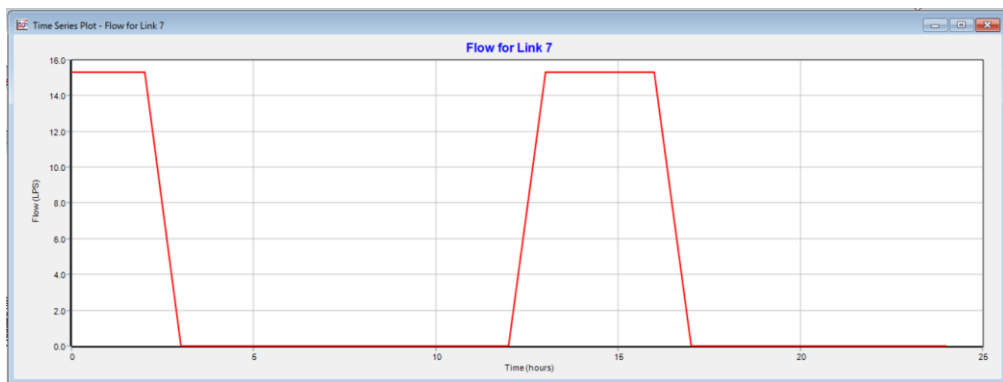
Nível d'água C.I. - Proporção 90/10 - Vazão 1,50



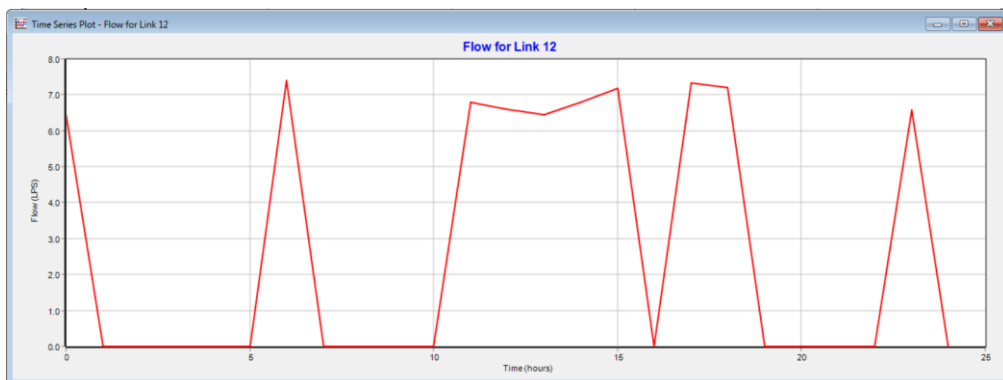
Nível d'água C.S. - Proporção 90/10 - Vazão 1,50



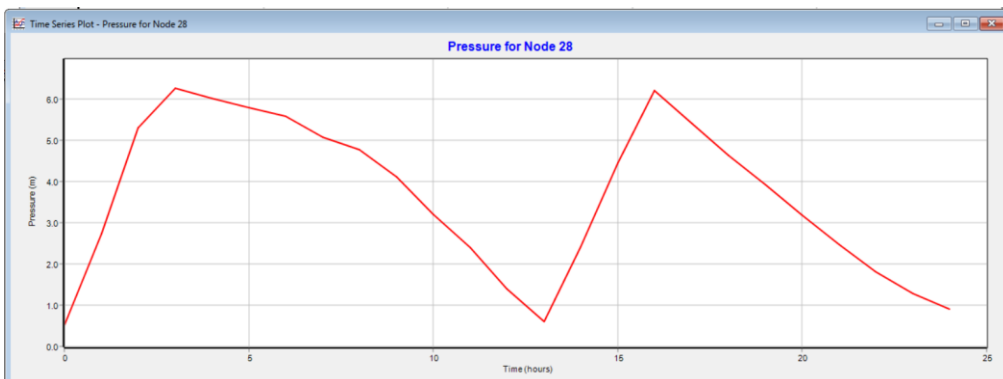
Vazão bombeada do poço à C.I. - Proporção 90/10 - Vazão 2,00



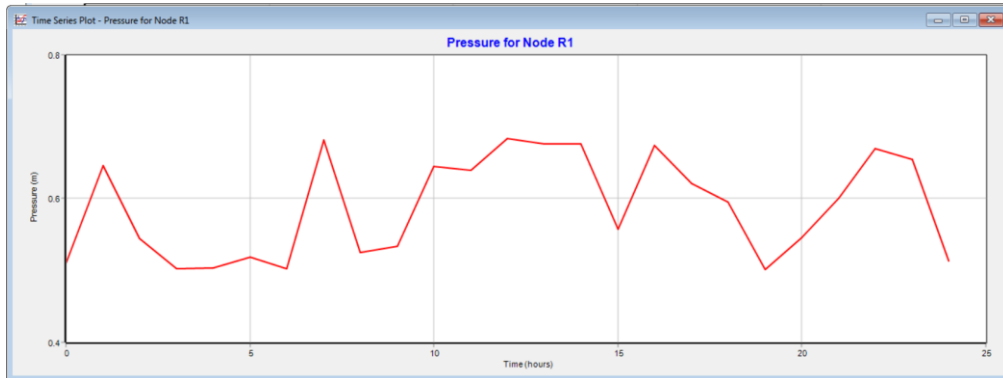
Vazão bombeada entre câmaras do reservatório - Proporção 90/10 - Vazão 2,00



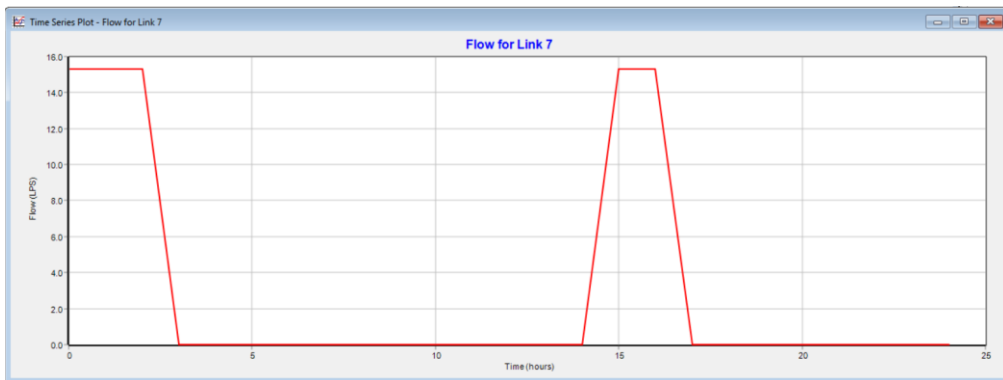
Nível d'água C.I. - Proporção 90/10 - Vazão 2,00



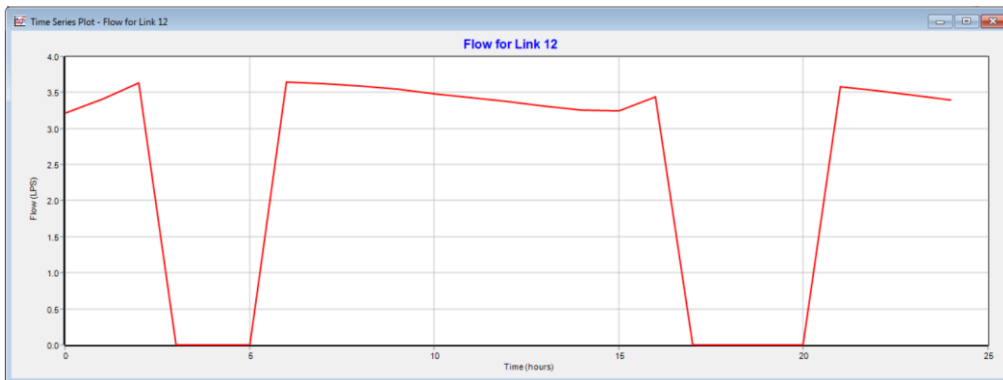
Nível d'água C.S. - Proporção 90/10 - Vazão 2,00



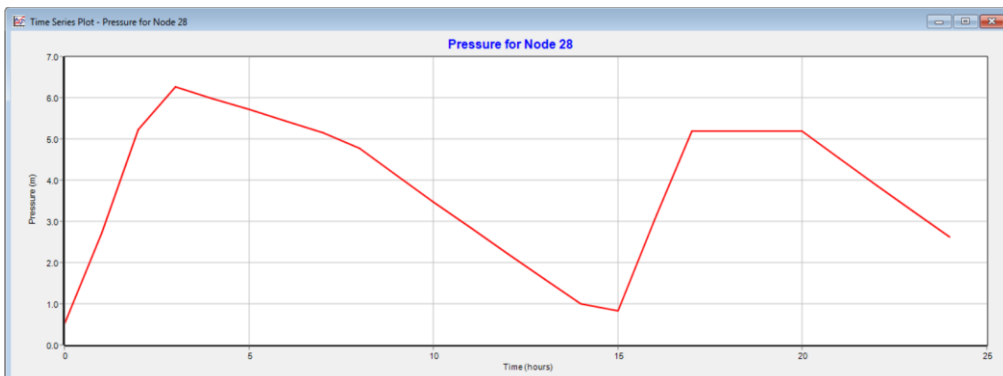
Vazão bombeada do poço à C.I. - Proporção 90/10 - Vazão média – Reservatório vazio



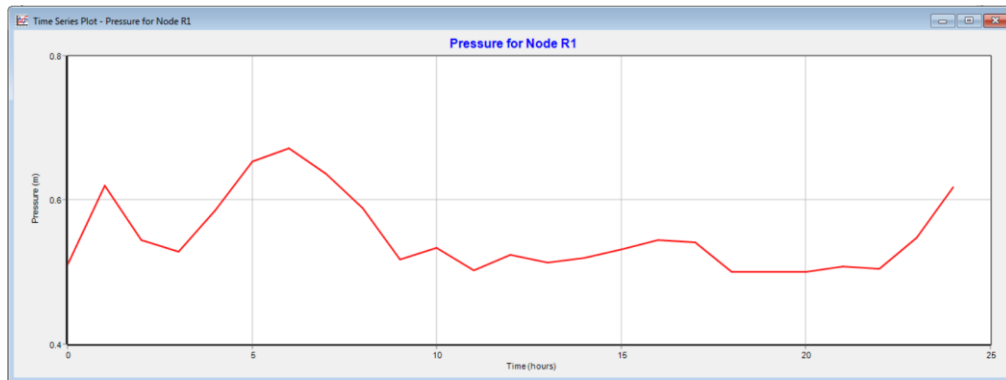
Vazão bombeada entre câmaras do reservatório - Proporção 90/10 - Vazão média – Reservatório vazio



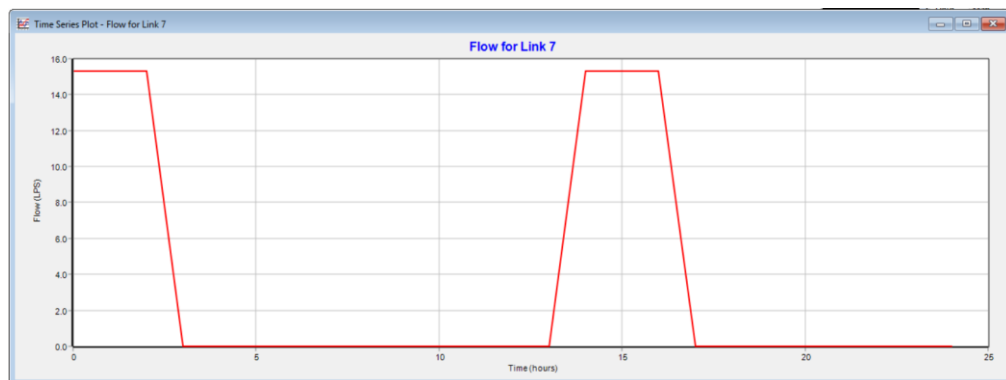
Nível d'água C.I. - Proporção 90/10 - Vazão média – Reservatório vazio



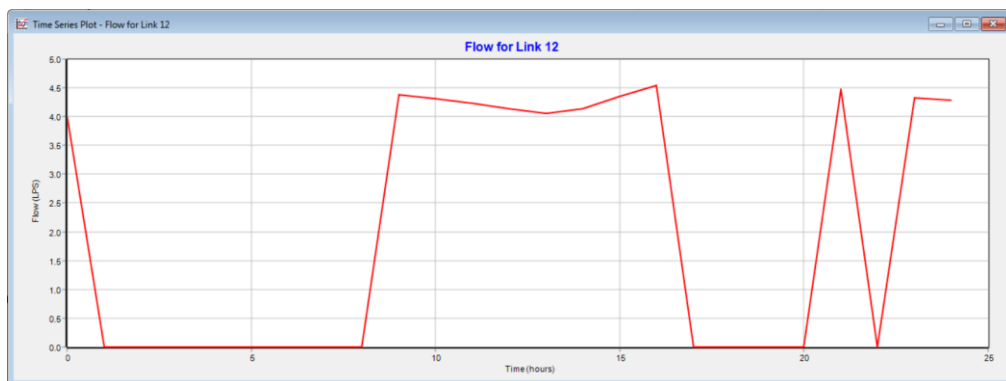
Nível d'água C.S. - Proporção 90/10 - Vazão média – Reservatório vazio



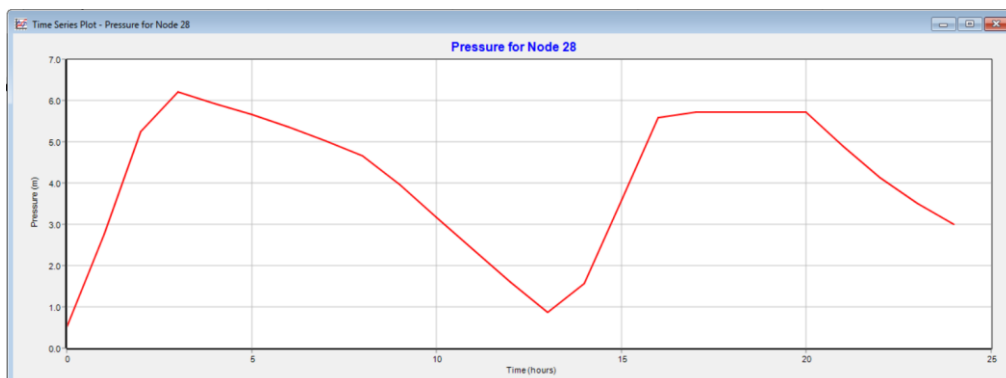
Vazão bombeada do poço à C.I. - Proporção 90/10 - Vazão 1,25 – Reservatório vazio



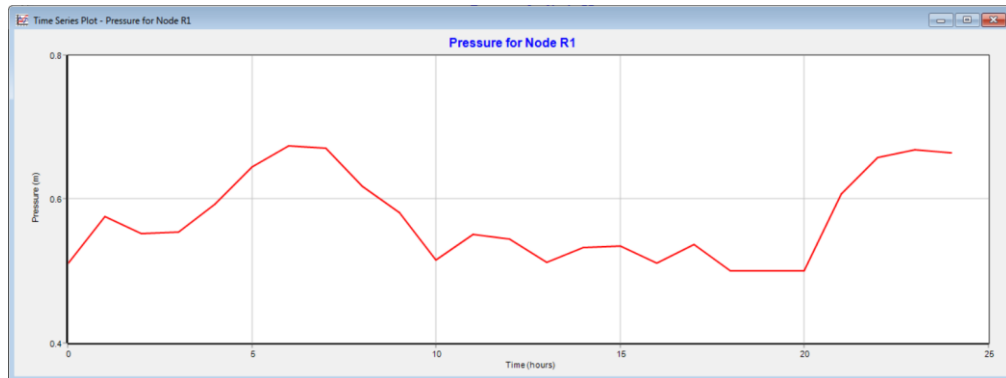
Vazão bombeada entre câmaras do reservatório - Proporção 90/10 - Vazão 1,25 – Reservatório vazio



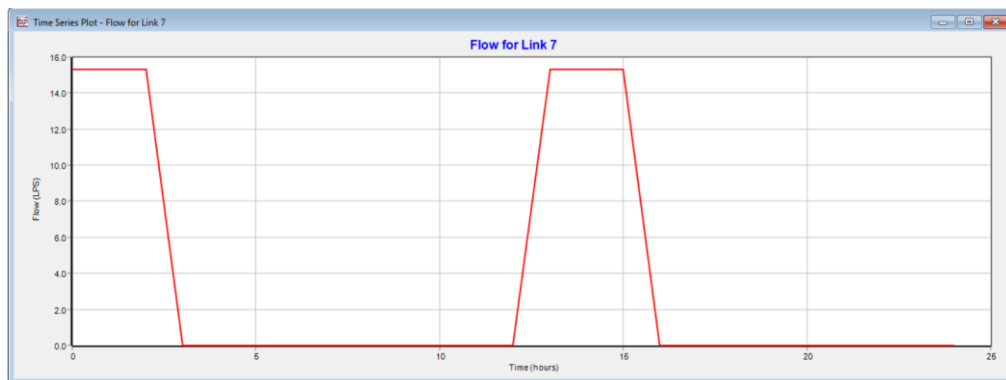
Nível d'água C.I. - Proporção 90/10 - Vazão 1,25 – Reservatório vazio



Nível d'água C.S. - Proporção 90/10 - Vazão 1,25 – Reservatório vazio



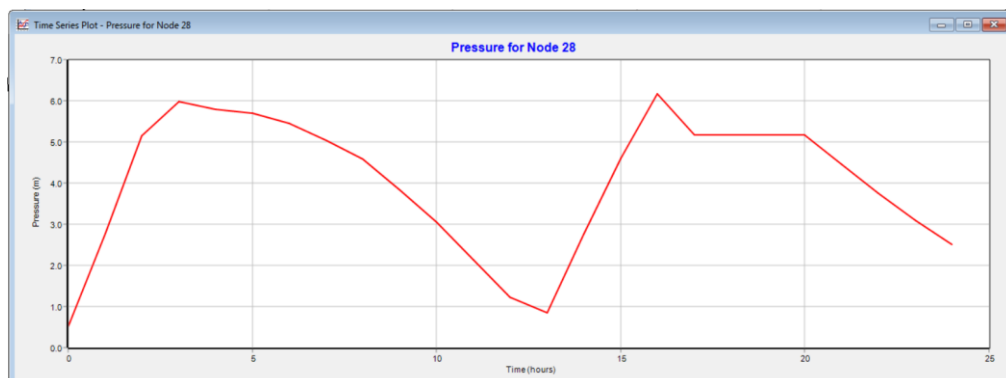
Vazão bombeada do poço à C.I. - Proporção 90/10 - Vazão 1,50 – Reservatório vazio



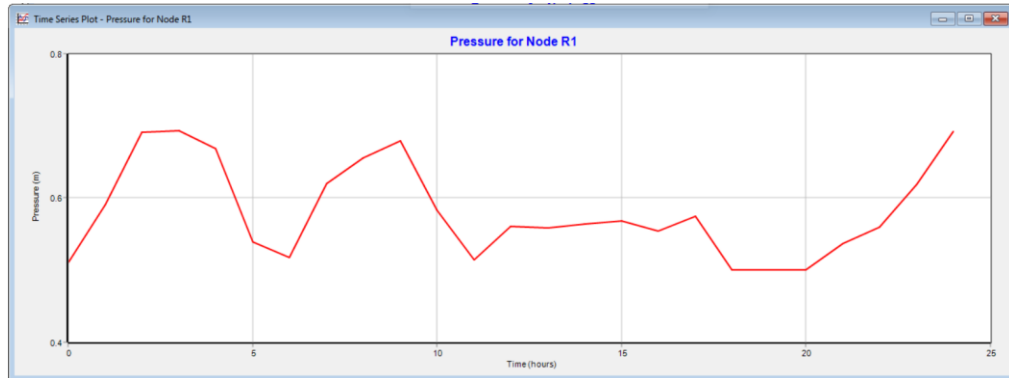
Vazão bombeada entre câmaras do reservatório - Proporção 90/10 - Vazão 1,50 – Reservatório vazio



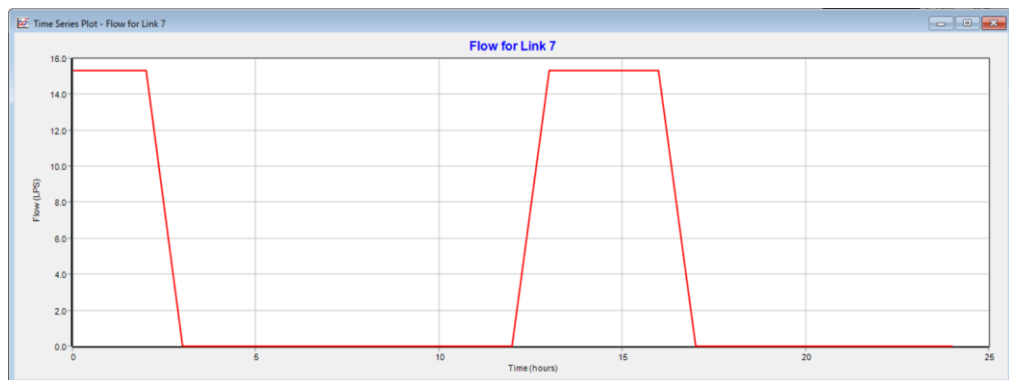
Nível d'água C.I. - Proporção 90/10 - Vazão 1,50 – Reservatório vazio



Nível d'água C.S. - Proporção 90/10 - Vazão 1,50 – Reservatório vazio



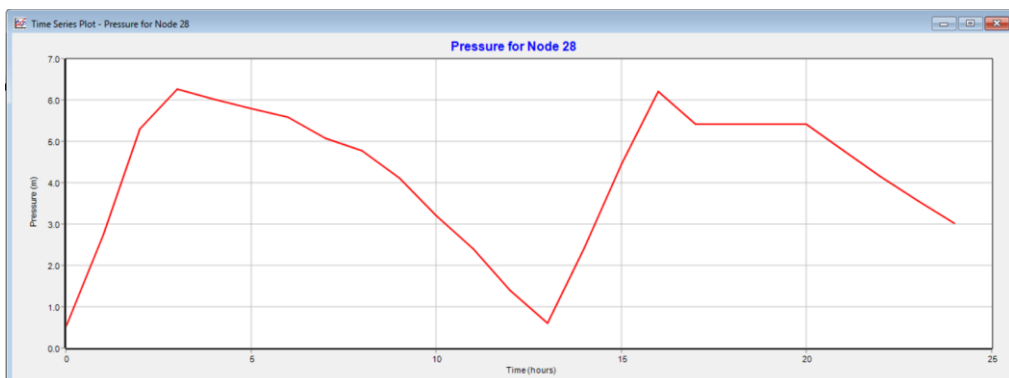
Vazão bombeada do poço à C.I. - Proporção 90/10 - Vazão 2,00 – Reservatório vazio



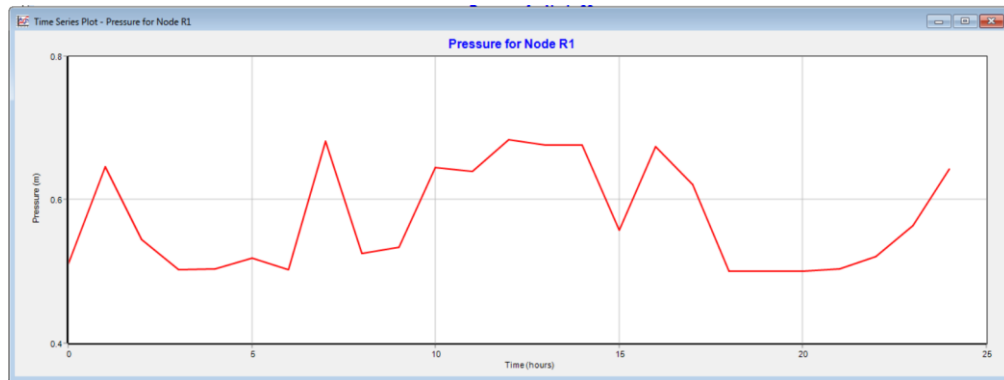
Vazão bombeada entre câmaras do reservatório - Proporção 90/10 - Vazão 2,00 – Reservatório vazio



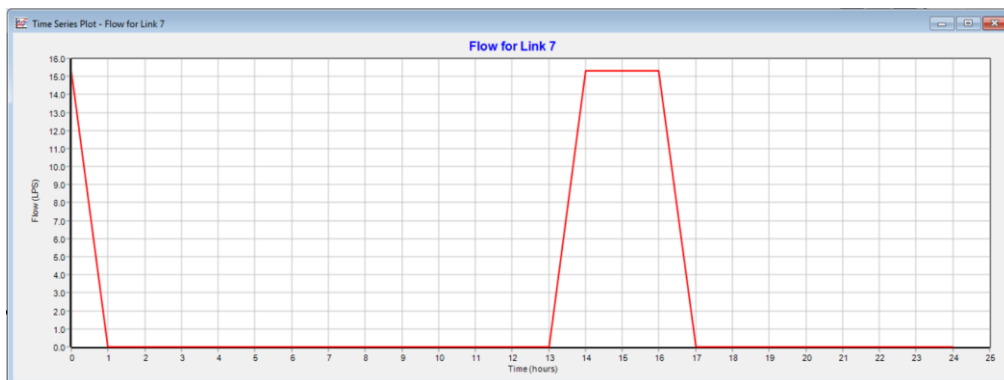
Nível d'água C.I. - Proporção 90/10 - Vazão 2,00 – Reservatório vazio



Nível d'água C.S. - Proporção 90/10 - Vazão 2,00 – Reservatório vazio



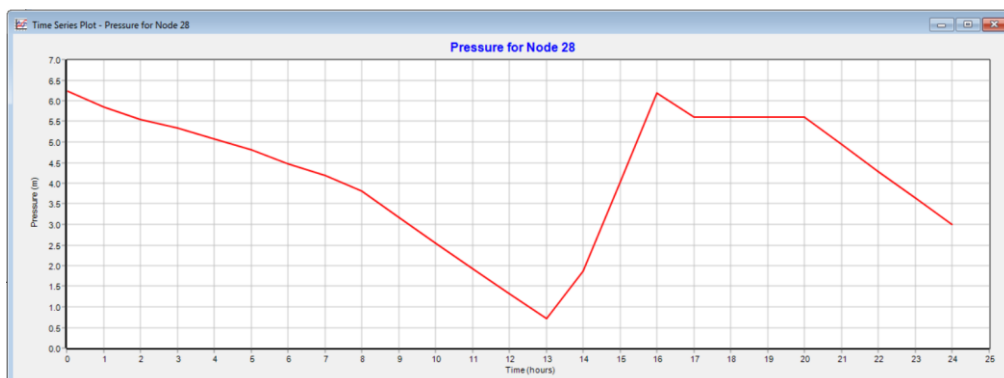
Vazão bombeada do poço à C.I. - Proporção 90/10 - Vazão média – Reservatório cheio



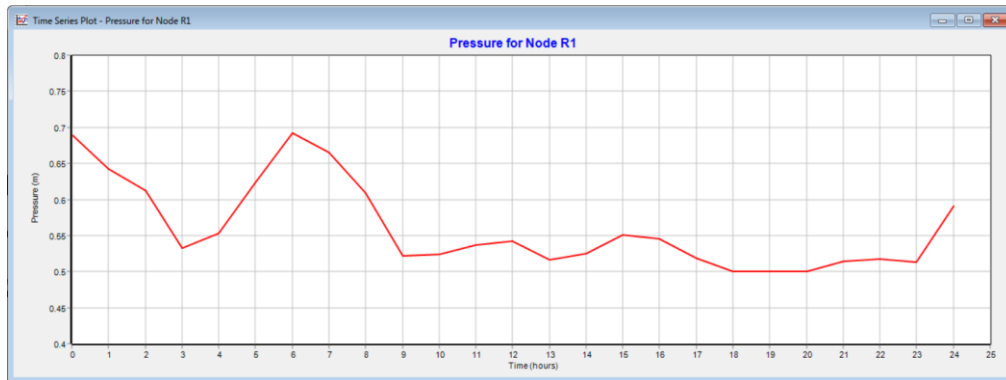
Vazão bombeada entre câmaras do reservatório - Proporção 90/10 - Vazão média – Reservatório cheio



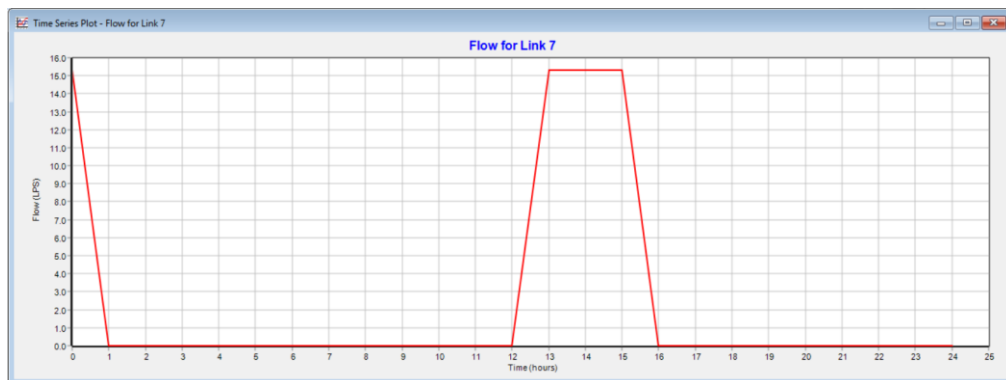
Nível d'água C.I. - Proporção 90/10 - Vazão média – Reservatório cheio



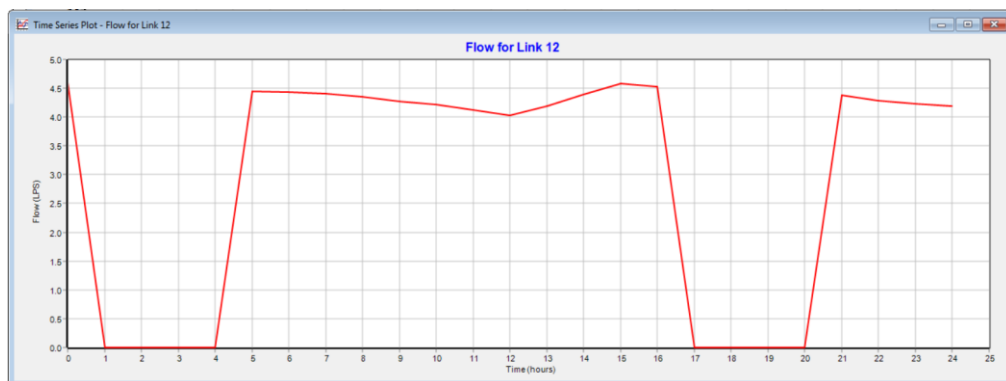
Nível d'água C.S. - Proporção 90/10 - Vazão média – Reservatório cheio



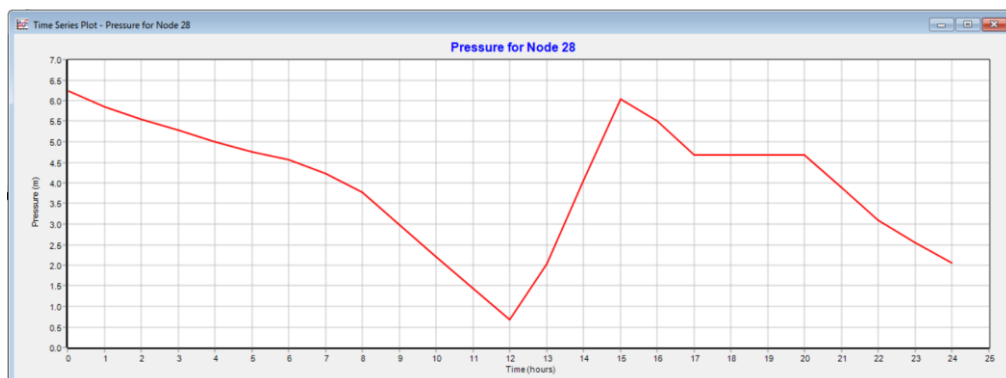
Vazão bombeada do poço à C.I. - Proporção 90/10 - Vazão 1,25 – Reservatório cheio



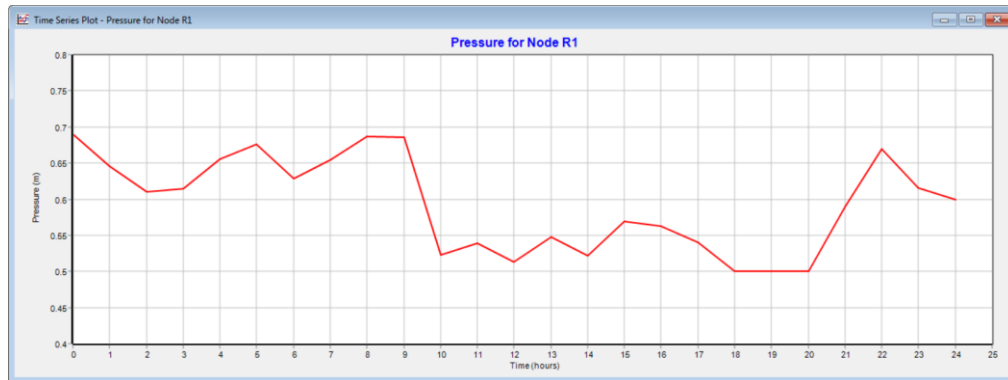
Vazão bombeada entre câmaras do reservatório - Proporção 90/10 - Vazão 1,25 – Reservatório cheio



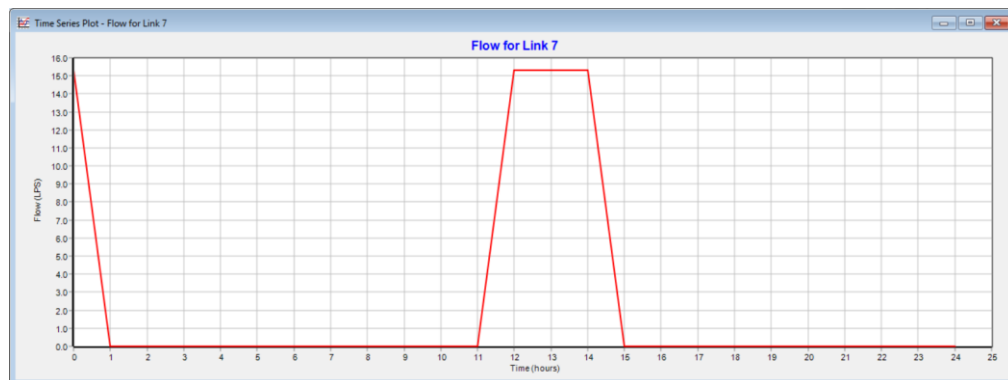
Nível d'água C.I. - Proporção 90/10 - Vazão 1,25 – Reservatório cheio



Nível d'água C.S. - Proporção 90/10 - Vazão 1,25 – Reservatório cheio



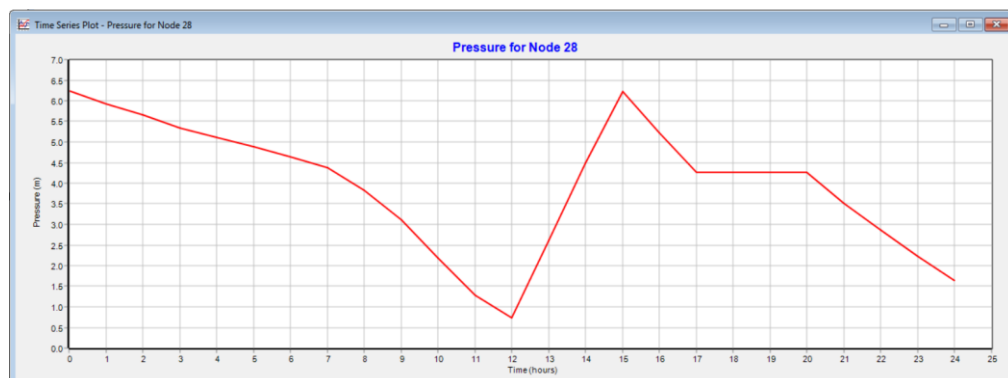
Vazão bombeada do poço à C.I. - Proporção 90/10 - Vazão 1,50 – Reservatório cheio



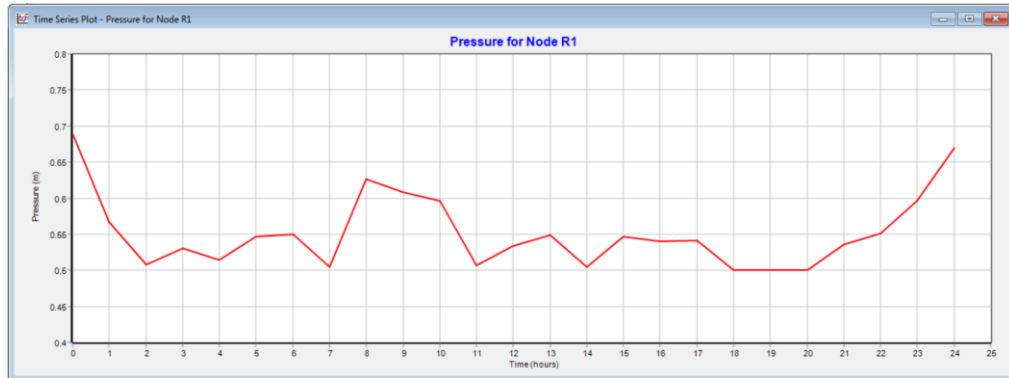
Vazão bombeada entre câmaras do reservatório - Proporção 90/10 - Vazão 1,50 – Reservatório cheio



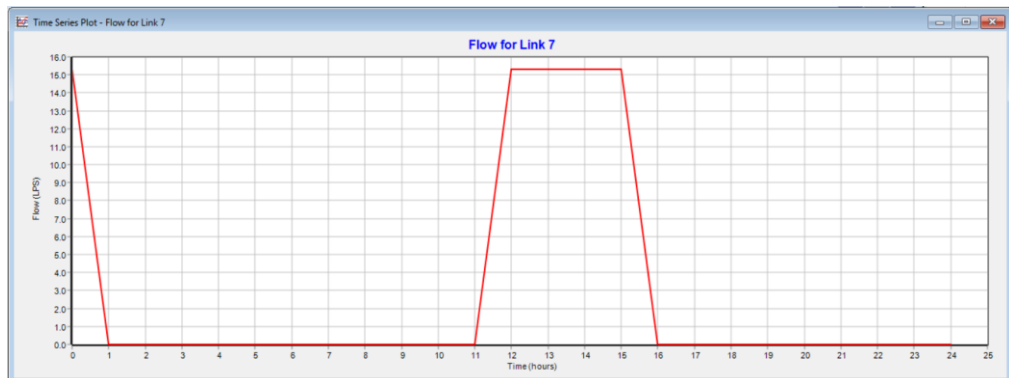
Nível d'água C.I. - Proporção 90/10 - Vazão 1,50 – Reservatório cheio



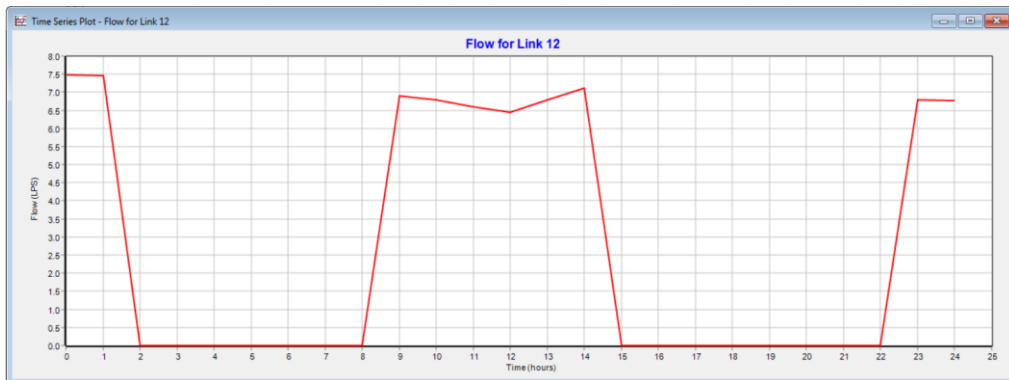
Nível d'água C.S. - Proporção 90/10 - Vazão 1,50 – Reservatório cheio



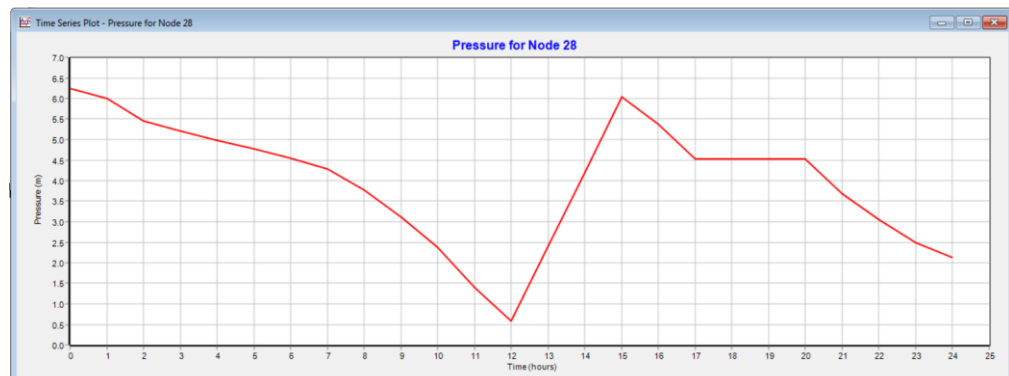
Vazão bombeada do poço à C.I. - Proporção 90/10 - Vazão 2,00 – Reservatório cheio



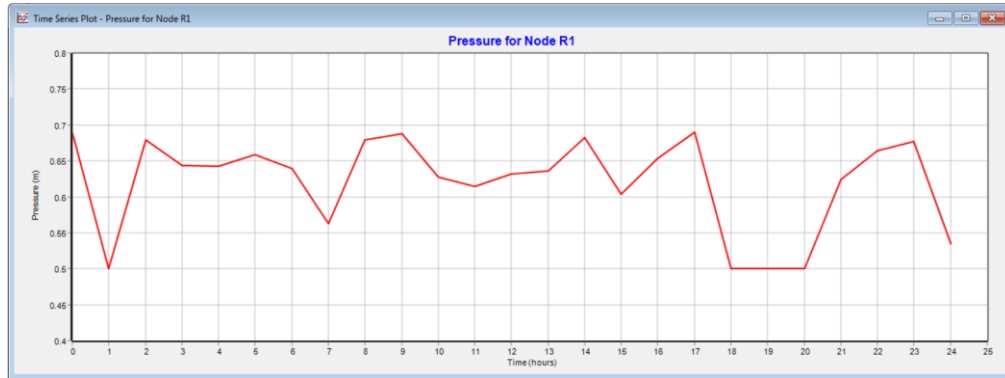
Vazão bombeada entre câmaras do reservatório - Proporção 90/10 - Vazão 2,00 – Reservatório cheio



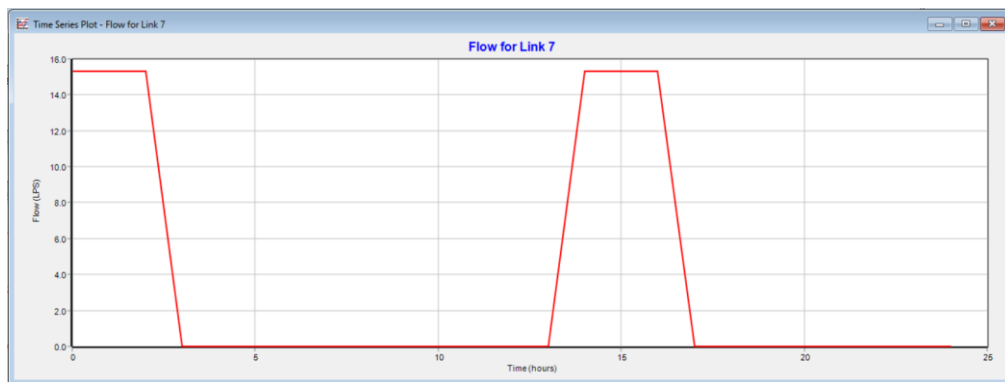
Nível d'água C.I. - Proporção 90/10 - Vazão 2,00 – Reservatório cheio



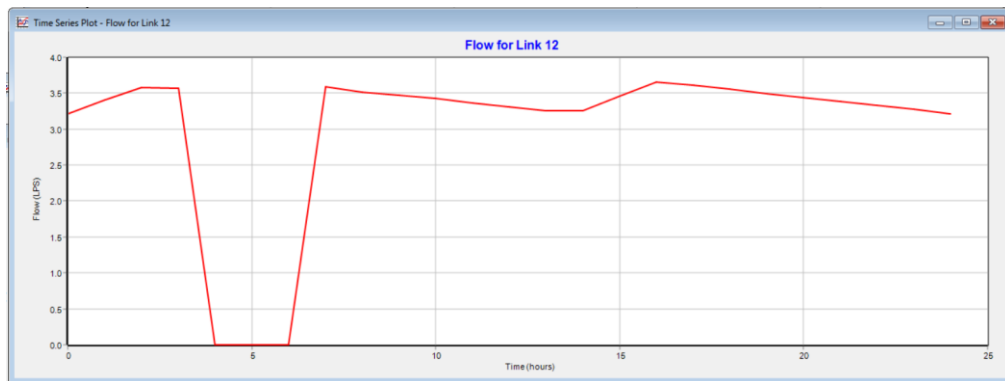
Nível d'água C.S. - Proporção 90/10 - Vazão 2,00 – Reservatório cheio



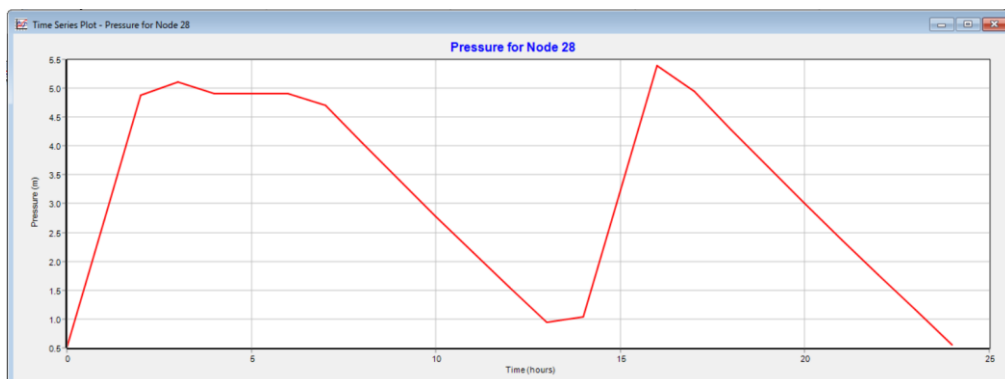
Vazão bombeada do poço à C.I. - Proporção 80/20 - Vazão média



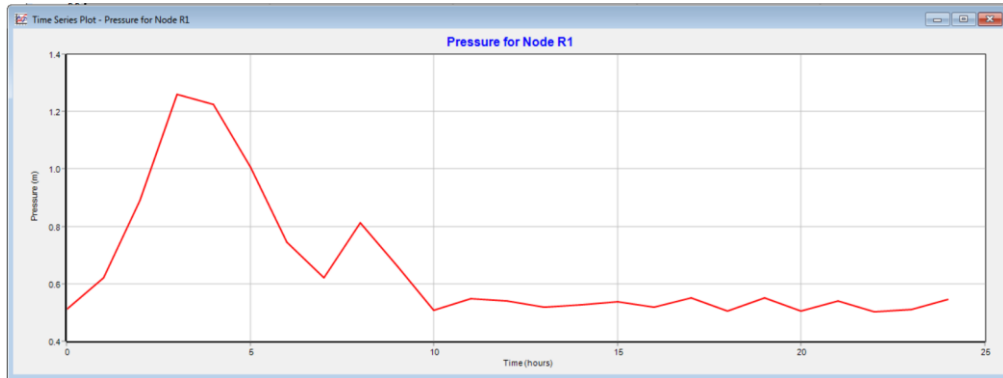
Vazão bombeada entre câmaras do reservatório - Proporção 80/20 - Vazão média



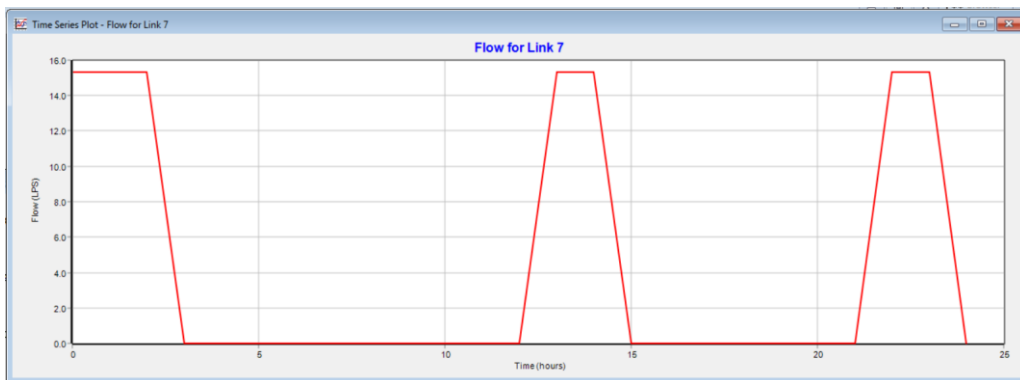
Nível d'água C.I. - Proporção 80/20 - Vazão média



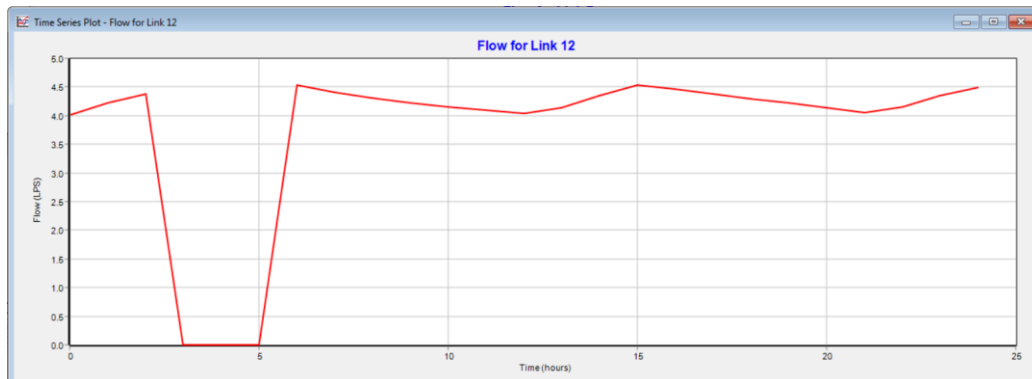
Nível d'água C.S. - Proporção 80/20 - Vazão média



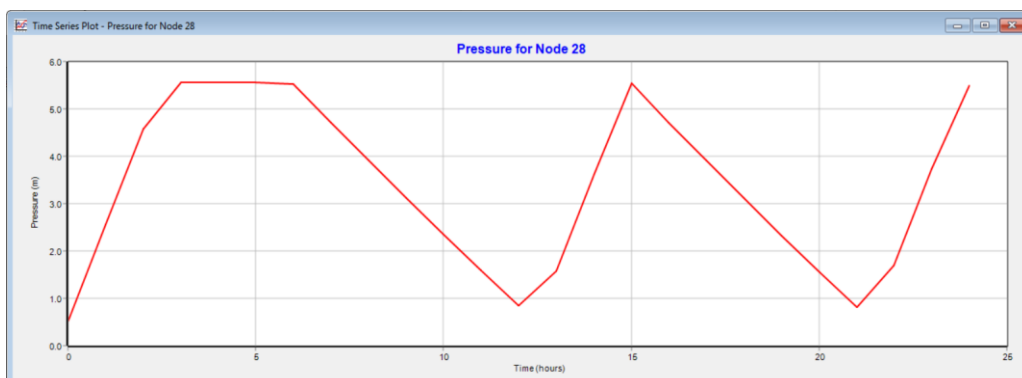
Vazão bombeada do poço à C.I. - Proporção 80/20 - Vazão 1,25



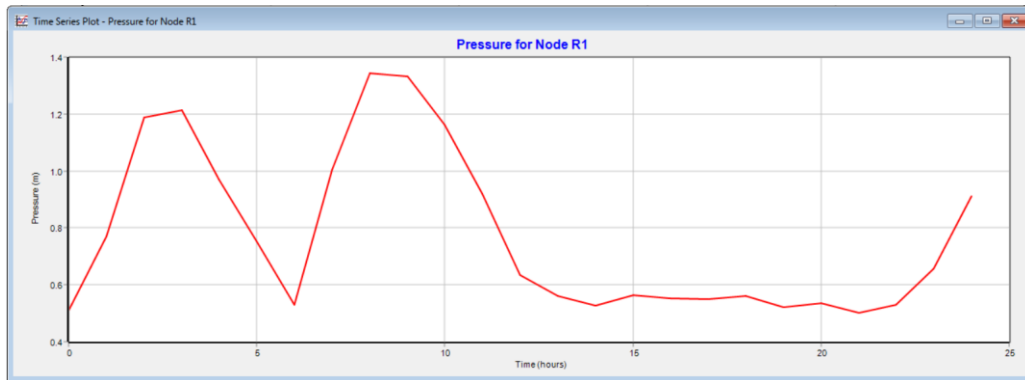
Vazão bombeada entre câmaras do reservatório - Proporção 80/20 - Vazão 1,25



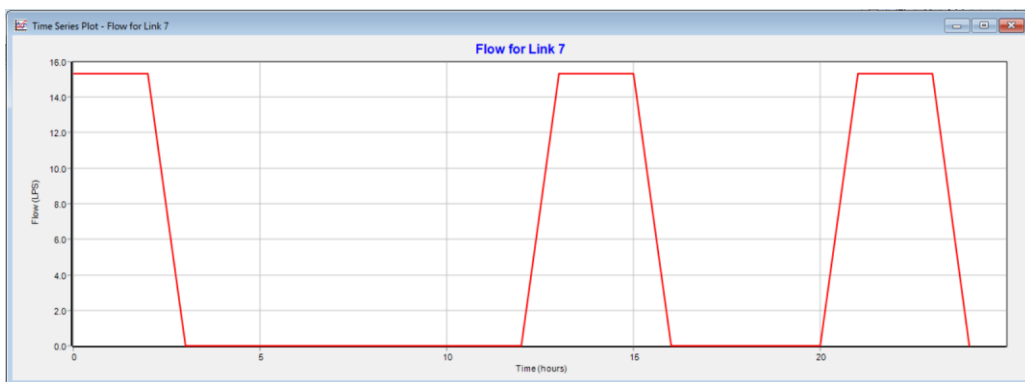
Nível d'água C.I. - Proporção 80/20 - Vazão 1,25



Nível d'água C.S. - Proporção 80/20 - Vazão 1,25



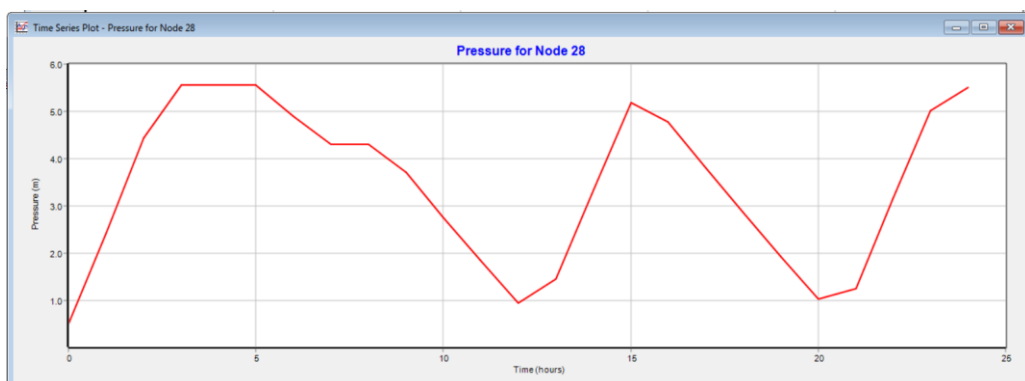
Vazão bombeada do poço à C.I. - Proporção 80/20 - Vazão 1,50



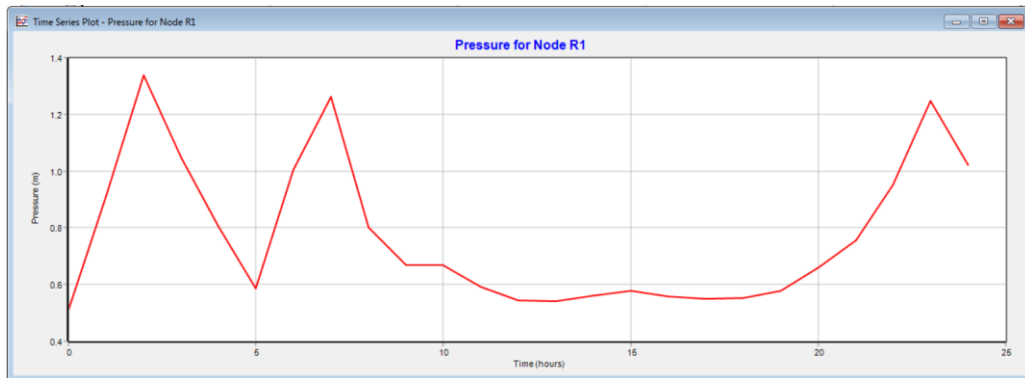
Vazão bombeada entre câmaras do reservatório - Proporção 80/20 - Vazão 1,50



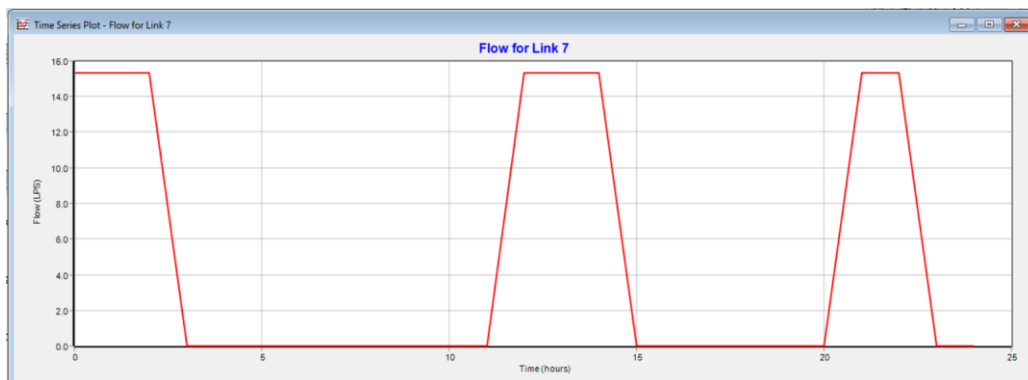
Nível d'água C.I. - Proporção 80/20 - Vazão 1,50



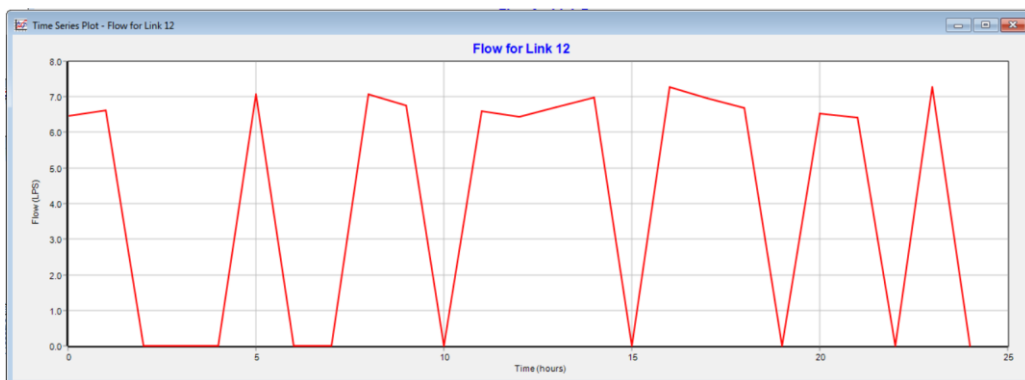
Nível d'água C.S. - Proporção 80/20 - Vazão 1,50



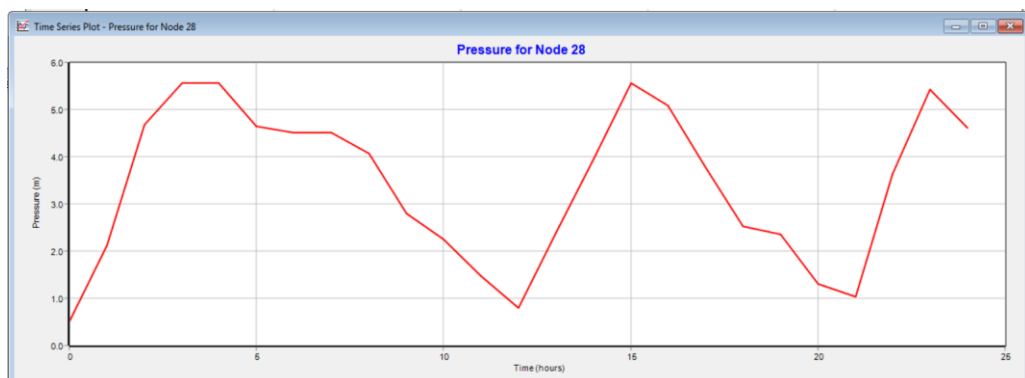
Vazão bombeada do poço à C.I. - Proporção 80/20 - Vazão 2,00



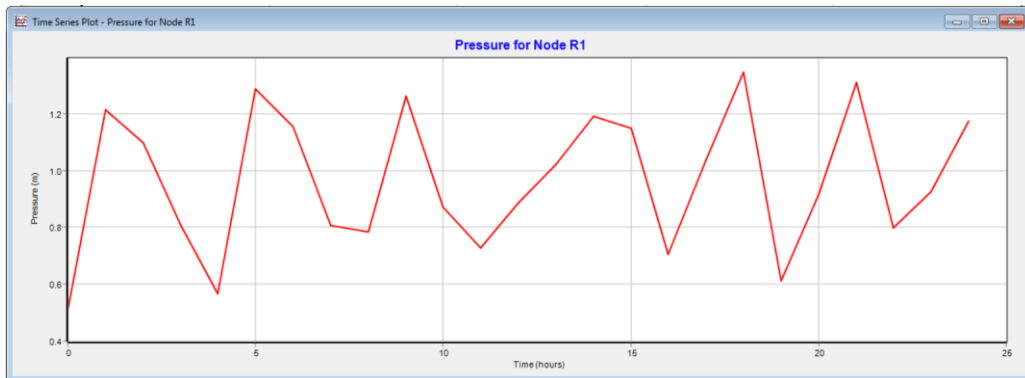
Vazão bombeada entre câmaras do reservatório - Proporção 80/20 - Vazão 2,00



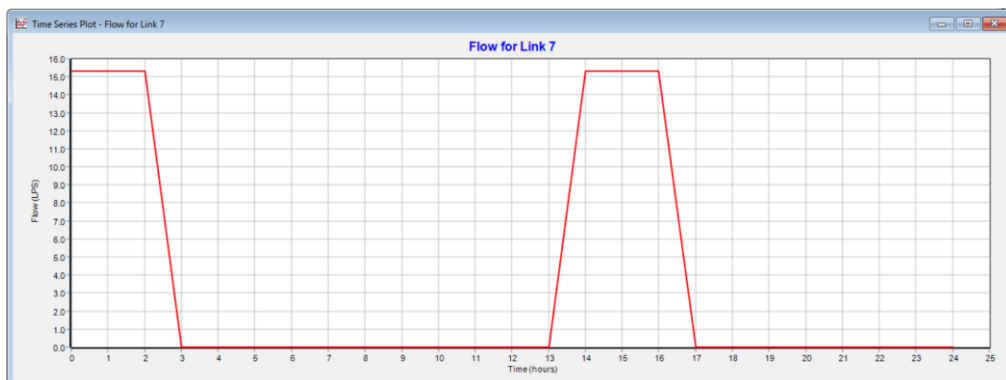
Nível d'água C.I. - Proporção 80/20 - Vazão 2,00



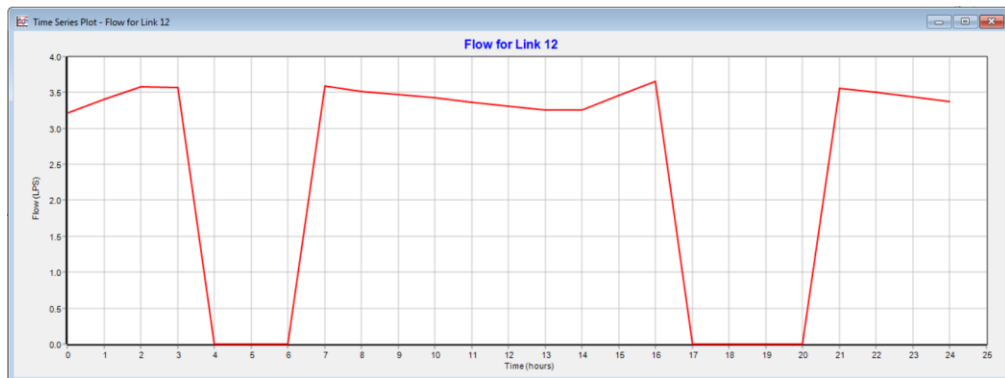
Nível d'água C.S. - Proporção 80/20 - Vazão 2,00



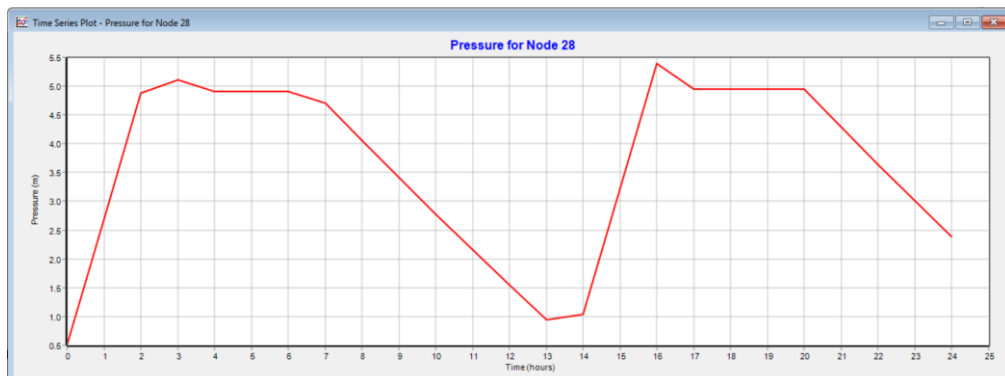
Vazão bombeada do poço à C.I. - Proporção 80/20 - Vazão média – Reservatório vazio



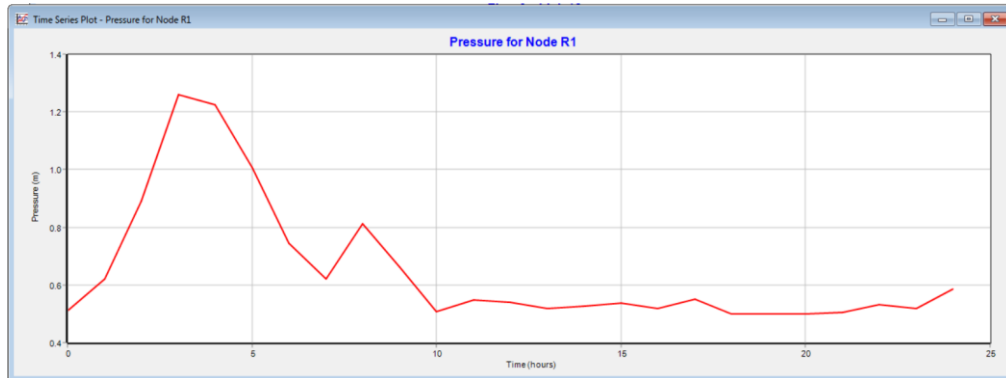
Vazão bombeada entre câmaras do reservatório - Proporção 80/20 - Vazão média – Reservatório vazio



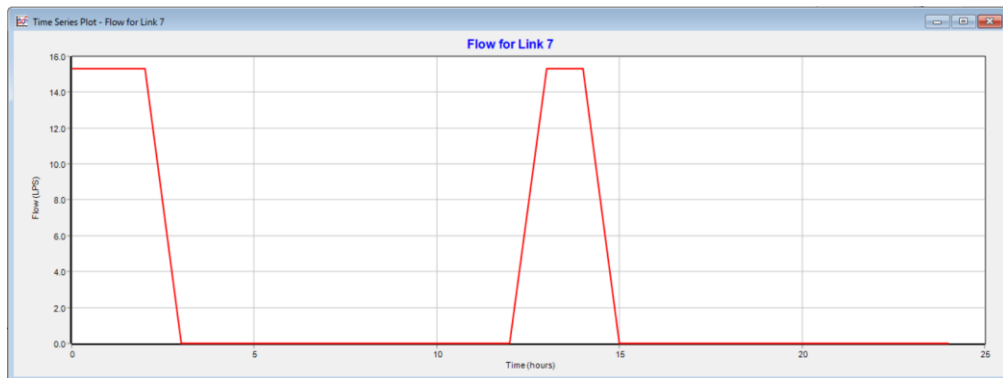
Nível d'água C.I. - Proporção 80/20 - Vazão média – Reservatório vazio



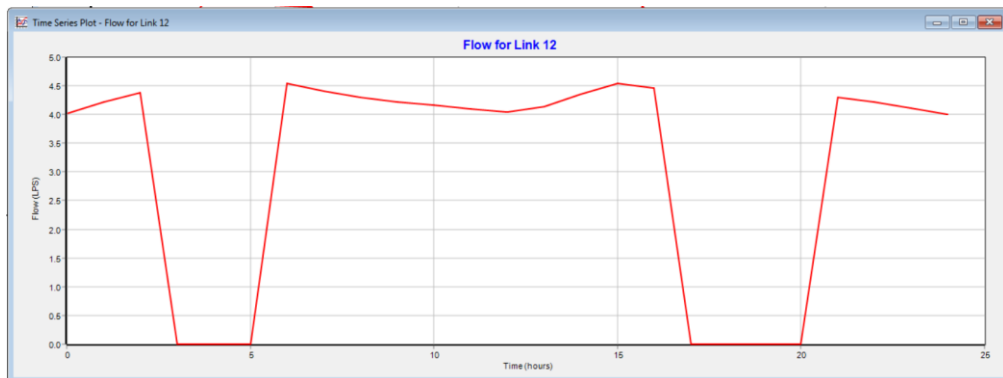
Nível d'água C.S. - Proporção 80/20 - Vazão média – Reservatório vazio



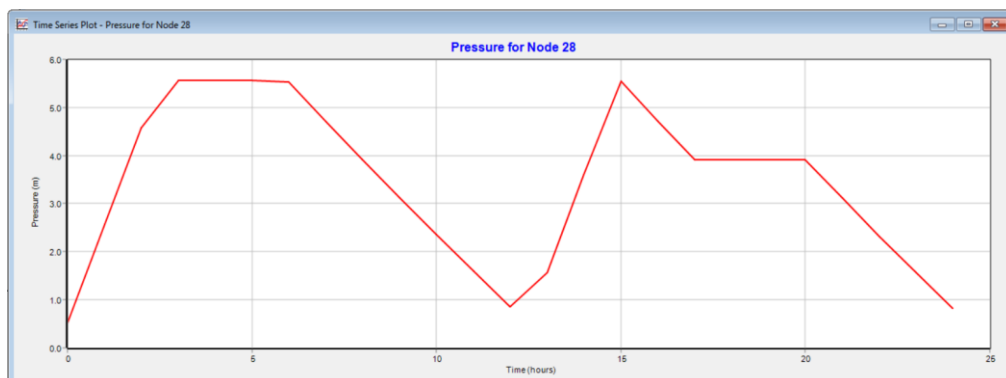
Vazão bombeada do poço à C.I. - Proporção 80/20 - Vazão 1,25 – Reservatório vazio



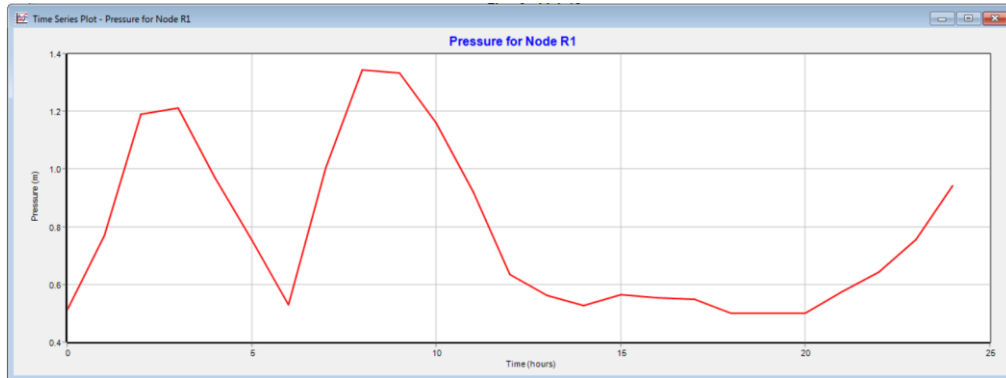
Vazão bombeada entre câmaras do reservatório - Proporção 80/20 - Vazão 1,25 – Reservatório vazio



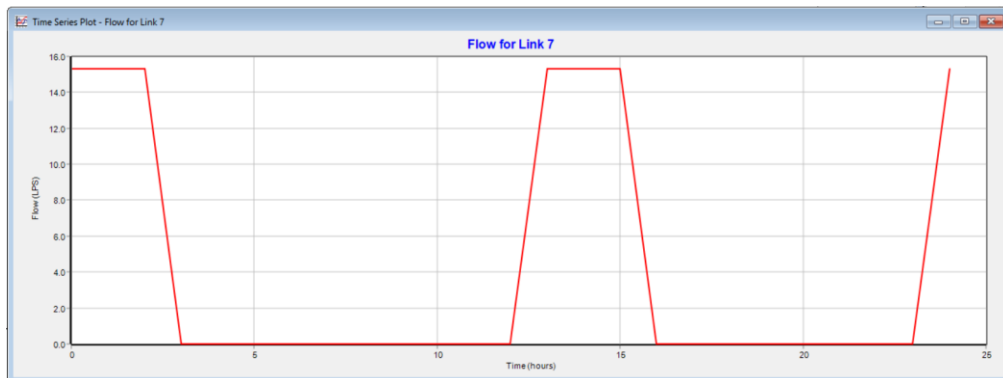
Nível d'água C.I. - Proporção 80/20 - Vazão 1,25 – Reservatório vazio



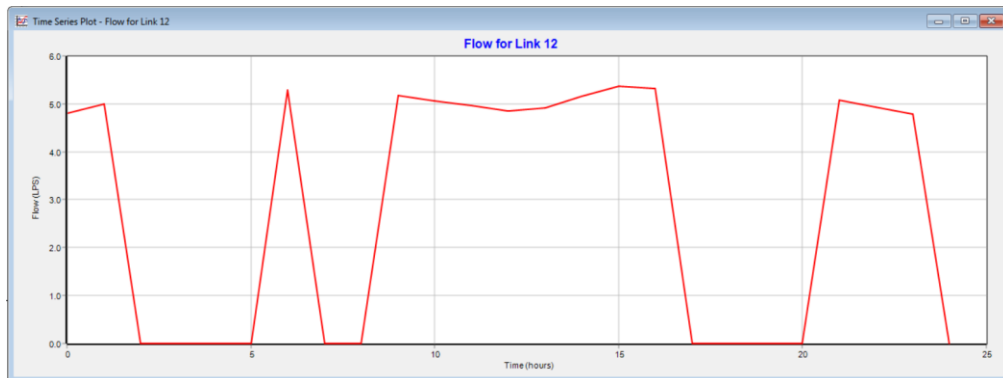
Nível d'água C.S. - Proporção 80/20 - Vazão 1,25 – Reservatório vazio



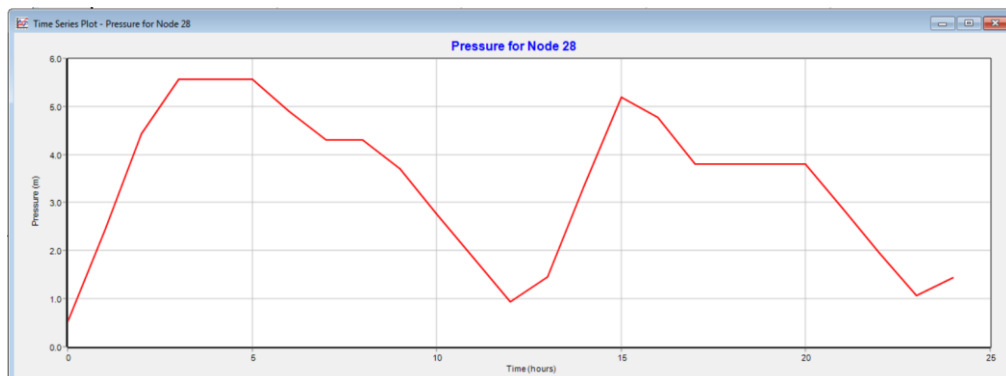
Vazão bombeada do poço à C.I. - Proporção 80/20 - Vazão 1,50 – Reservatório vazio



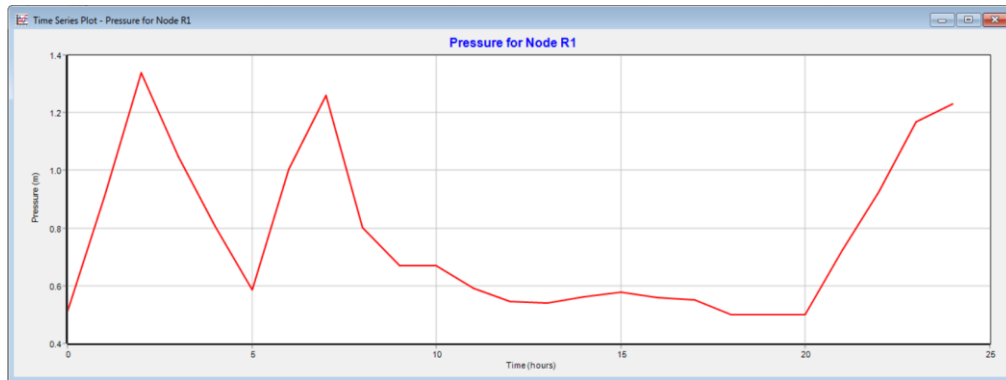
Vazão bombeada entre câmaras do reservatório - Proporção 80/20 - Vazão 1,50 – Reservatório vazio



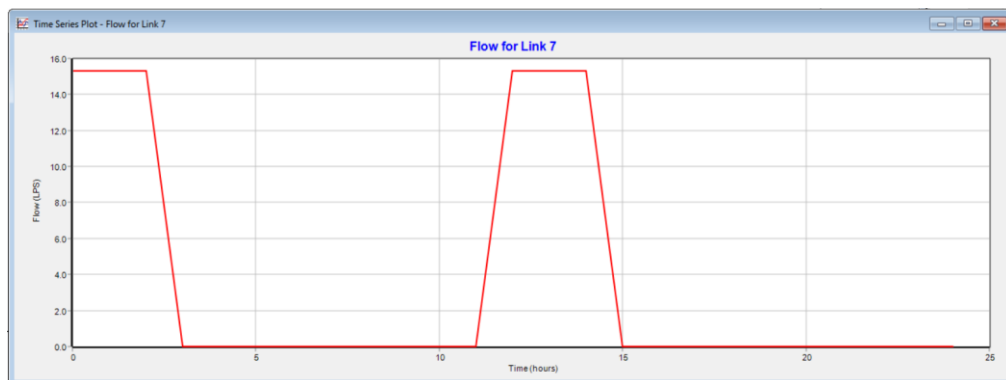
Nível d'água C.I. - Proporção 80/20 - Vazão 1,50 – Reservatório vazio



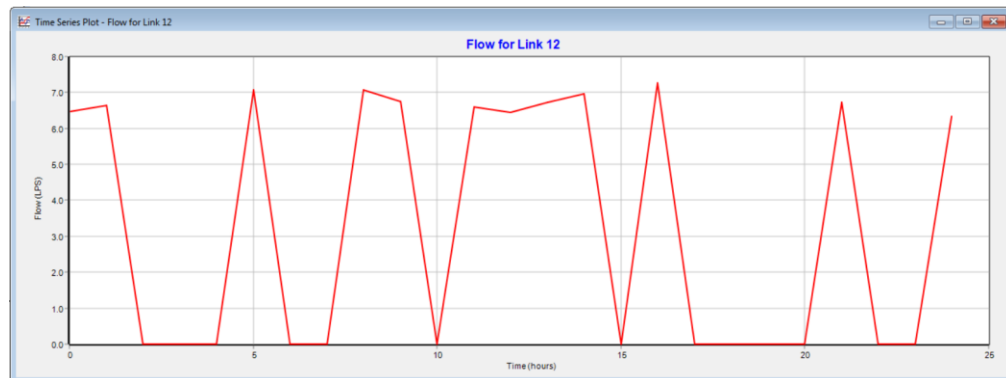
Nível d'água C.S. - Proporção 80/20 - Vazão 1,50 – Reservatório vazio



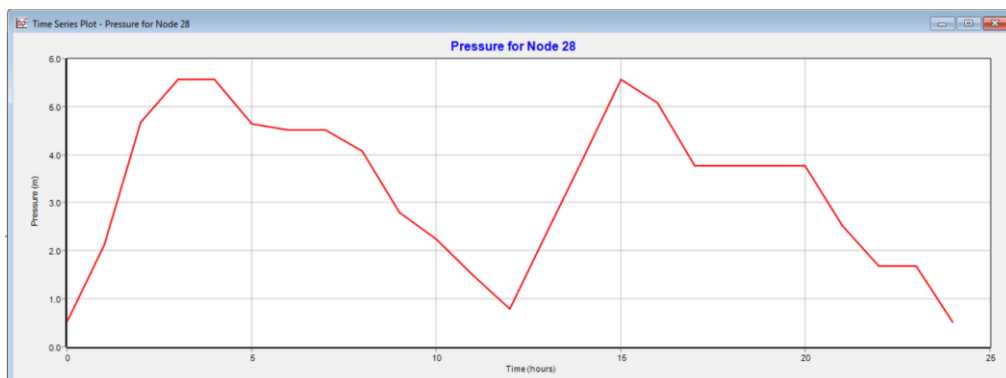
Vazão bombeada do poço à C.I. - Proporção 80/20 - Vazão 2,00 – Reservatório vazio



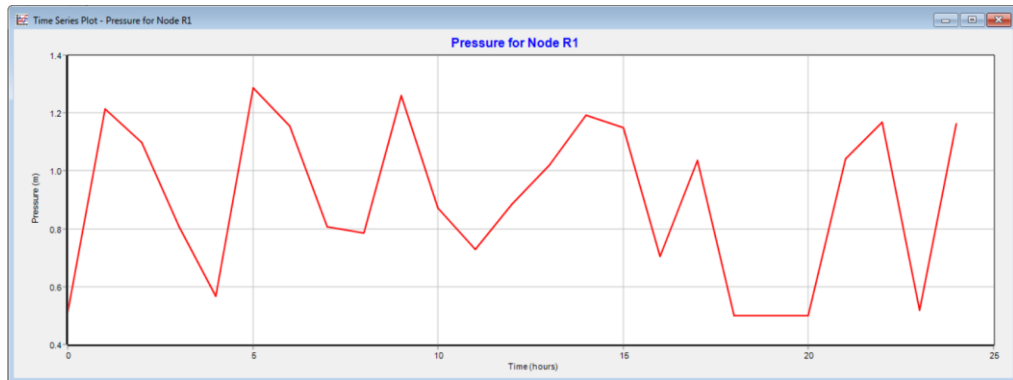
Vazão bombeada entre câmaras do reservatório - Proporção 80/20 - Vazão 2,00 – Reservatório vazio



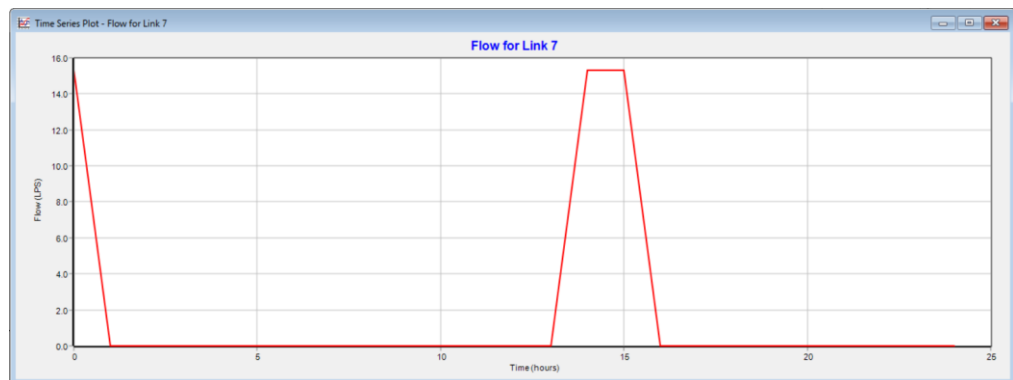
Nível d'água C.I. - Proporção 80/20 - Vazão 2,00 – Reservatório vazio



Nível d'água C.S. - Proporção 80/20 - Vazão 2,00 – Reservatório vazio



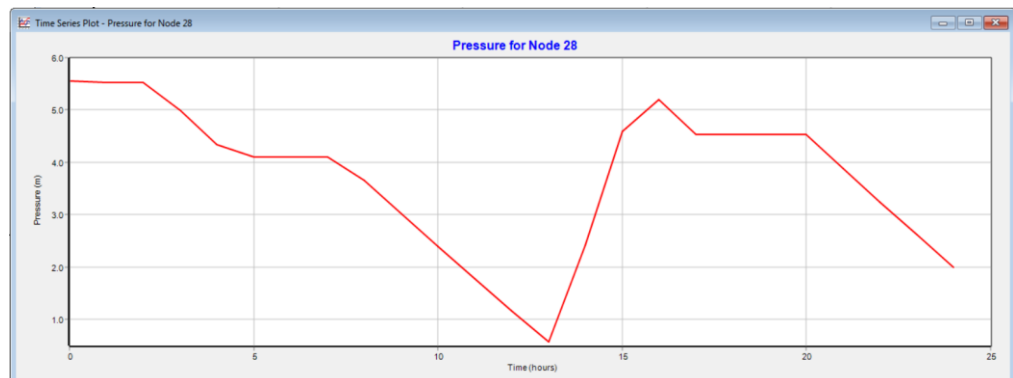
Vazão bombeada do poço à C.I. - Proporção 80/20 - Vazão média – Reservatório cheio



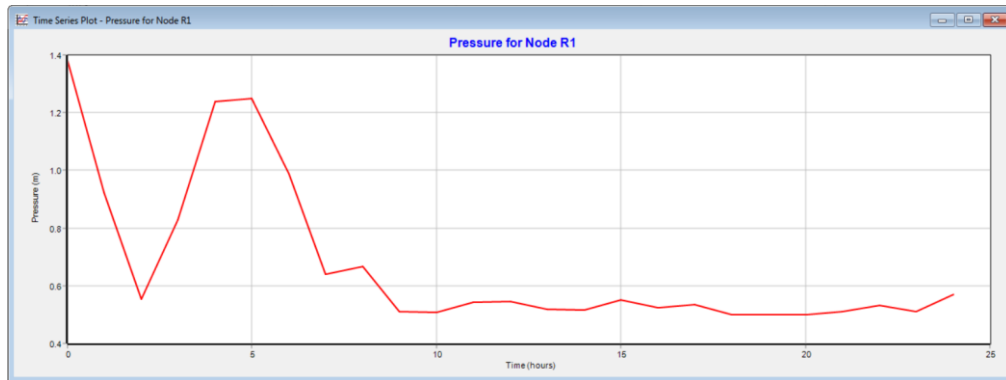
Vazão bombeada entre câmaras do reservatório - Proporção 80/20 - Vazão média – Reservatório cheio



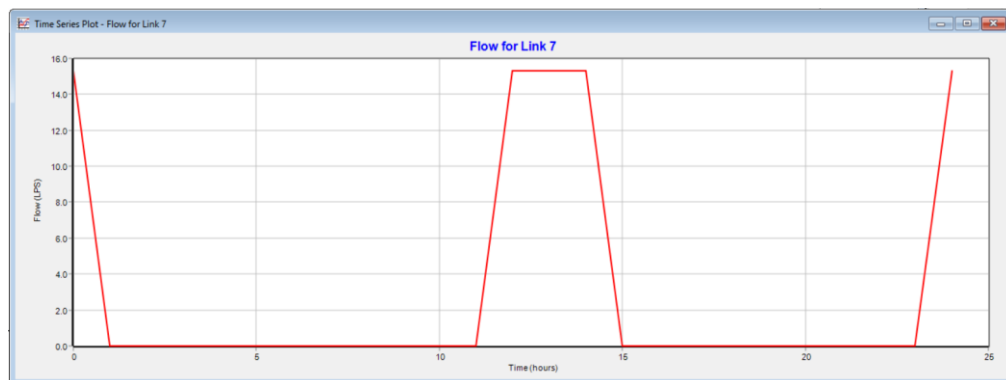
Nível d'água C.I. - Proporção 80/20 - Vazão média – Reservatório cheio



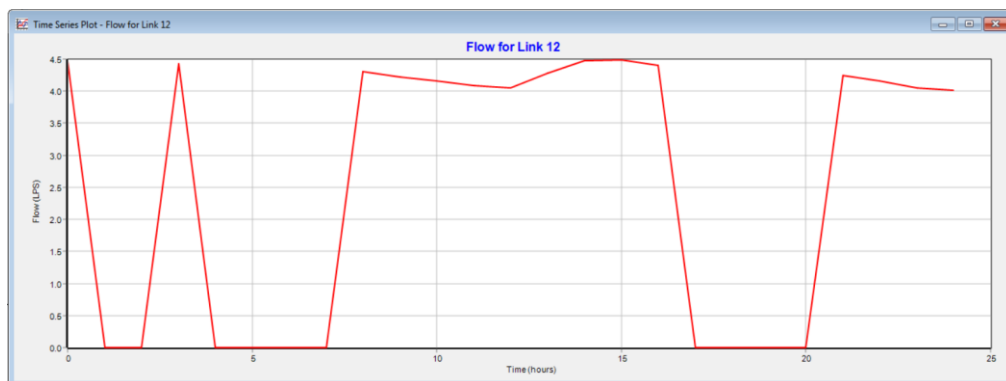
Nível d'água C.S. - Proporção 80/20 - Vazão média – Reservatório cheio



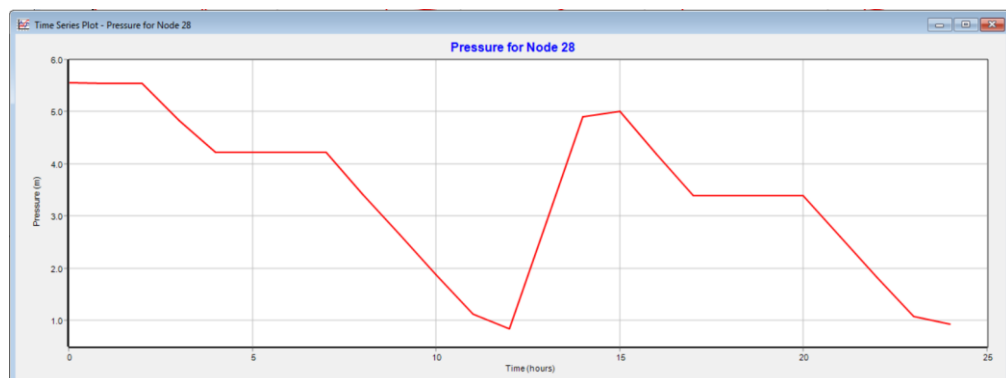
Vazão bombeada do poço à C.I. - Proporção 80/20 - Vazão 1,25 – Reservatório cheio



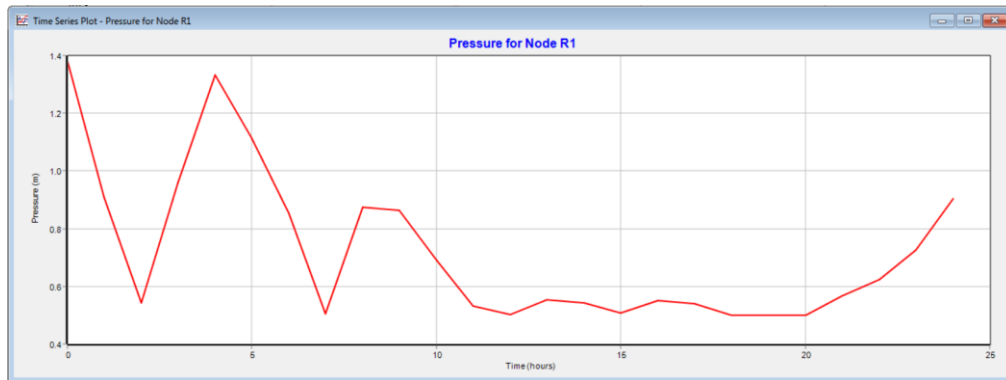
Vazão bombeada entre câmaras do reservatório - Proporção 80/20 - Vazão 1,25 – Reservatório cheio



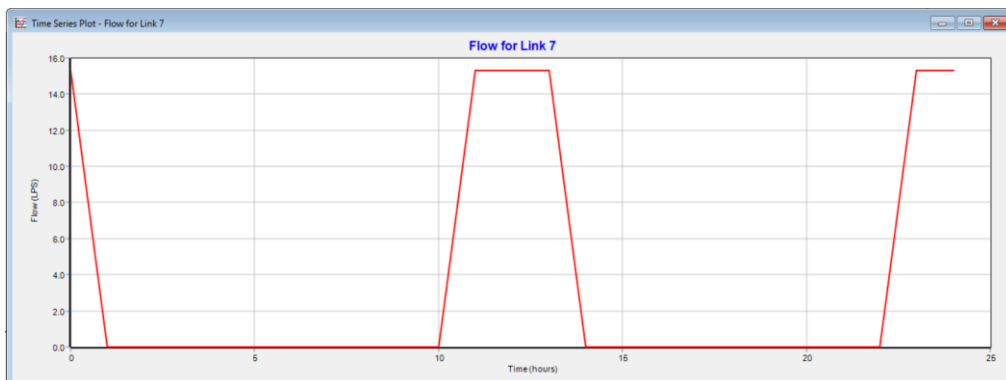
Nível d'água C.I. - Proporção 80/20 - Vazão 1,25 – Reservatório cheio



Nível d'água C.S. - Proporção 80/20 - Vazão 1,25 – Reservatório cheio



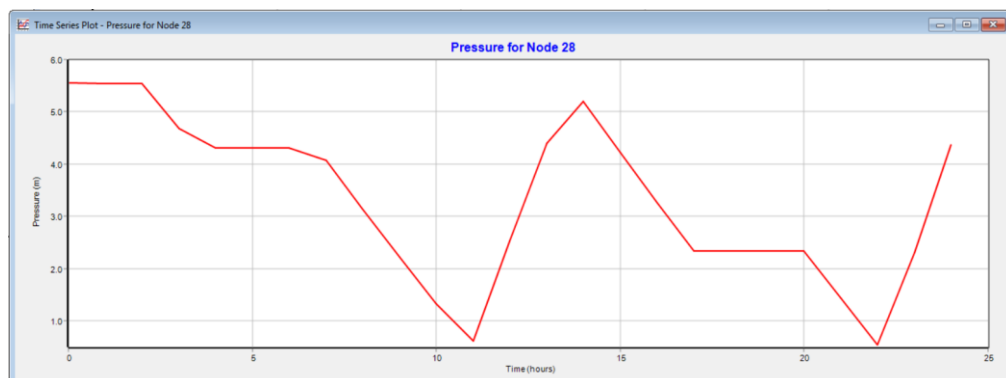
Vazão bombeada do poço à C.I. - Proporção 80/20 - Vazão 1,50 – Reservatório cheio



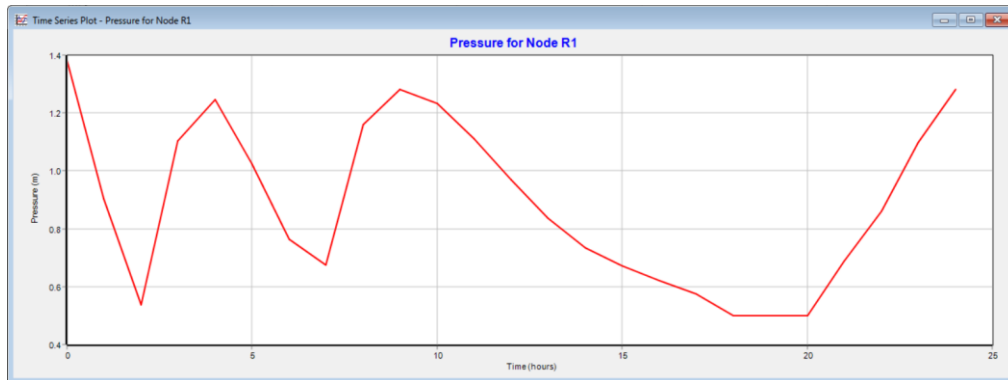
Vazão bombeada entre câmaras do reservatório - Proporção 80/20 - Vazão 1,50 – Reservatório cheio



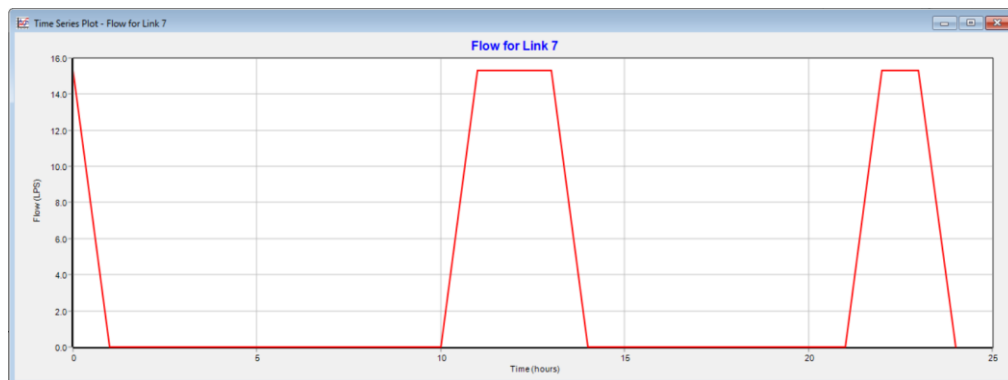
Nível d'água C.I. - Proporção 80/20 - Vazão 1,50 – Reservatório cheio



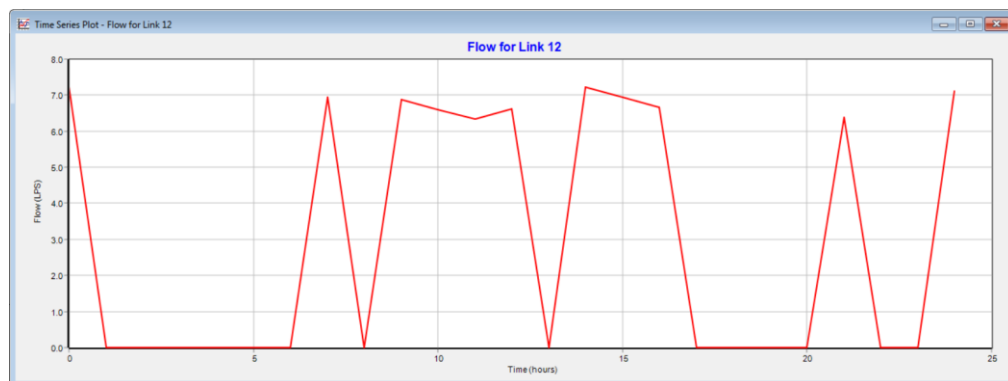
Nível d'água C.S. - Proporção 80/20 - Vazão 1,50 – Reservatório cheio



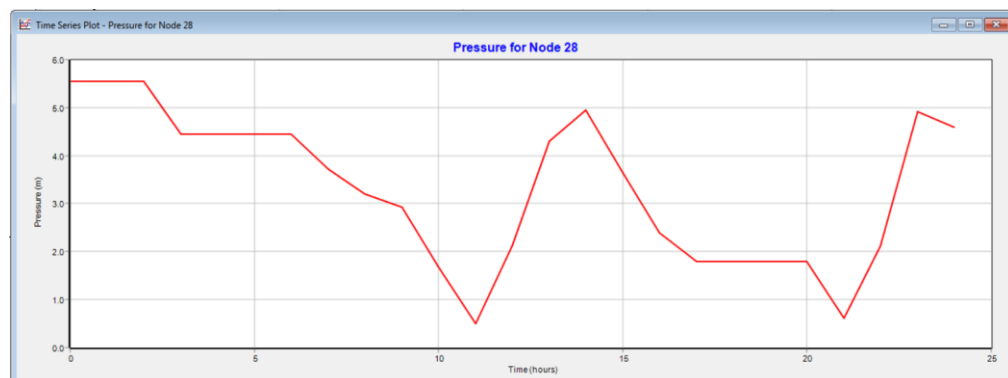
Vazão bombeada do poço à C.I. - Proporção 80/20 - Vazão 2,00 – Reservatório cheio



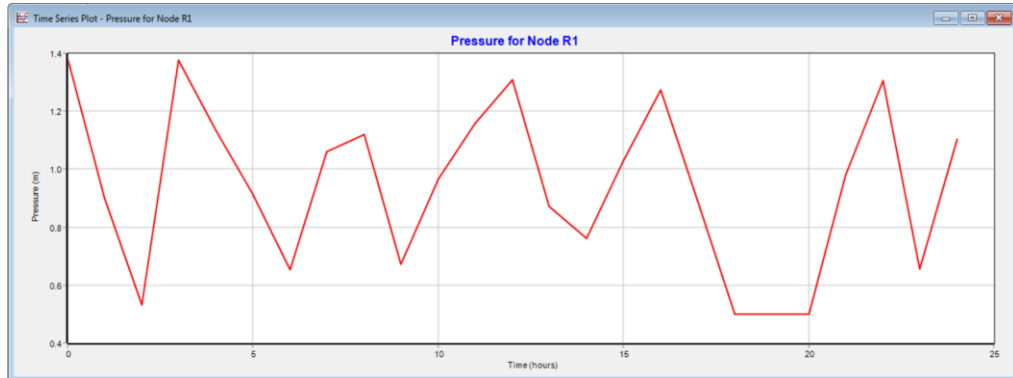
Vazão bombeada entre câmaras do reservatório - Proporção 80/20 - Vazão 2,00 – Reservatório cheio



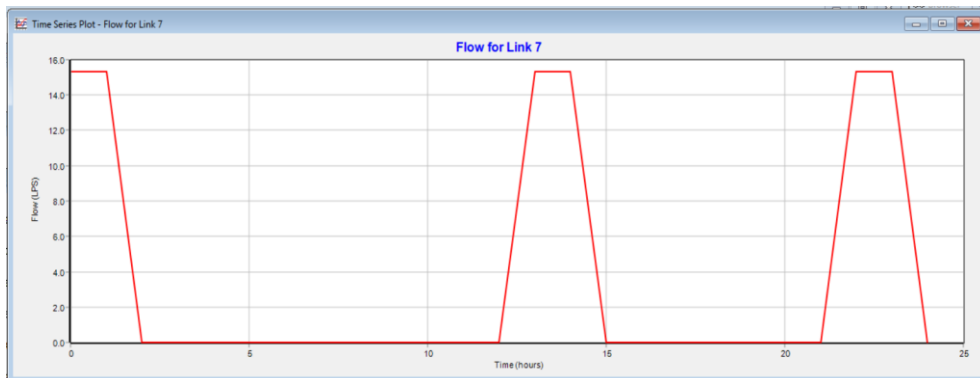
Nível d'água C.I. - Proporção 80/20 - Vazão 2,00 – Reservatório cheio



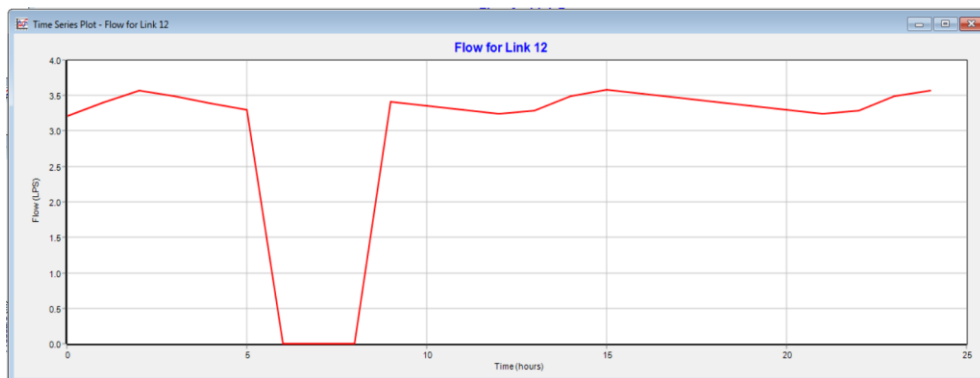
Nível d'água C.S. - Proporção 80/20 - Vazão 2,00 – Reservatório cheio



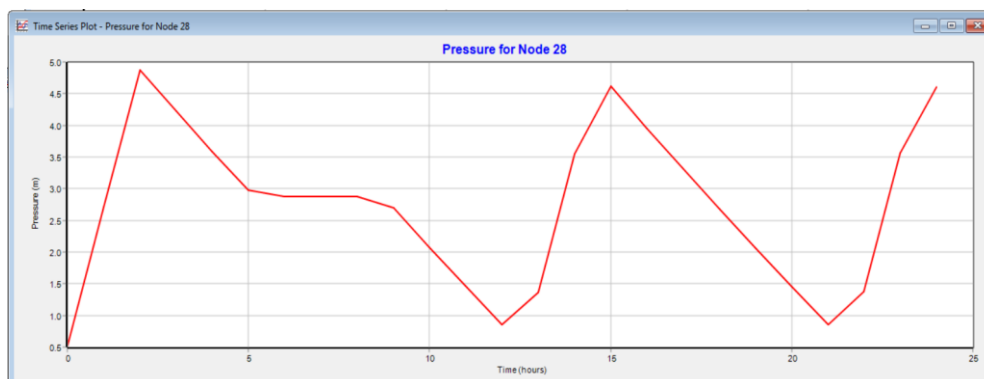
Vazão bombeada do poço à C.I. - Proporção 70/30 - Vazão média



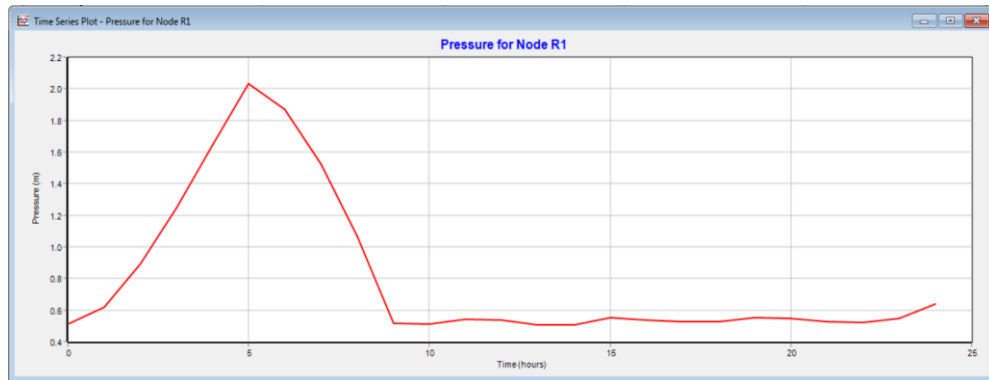
Vazão bombeada entre câmaras do reservatório - Proporção 70/30 - Vazão média



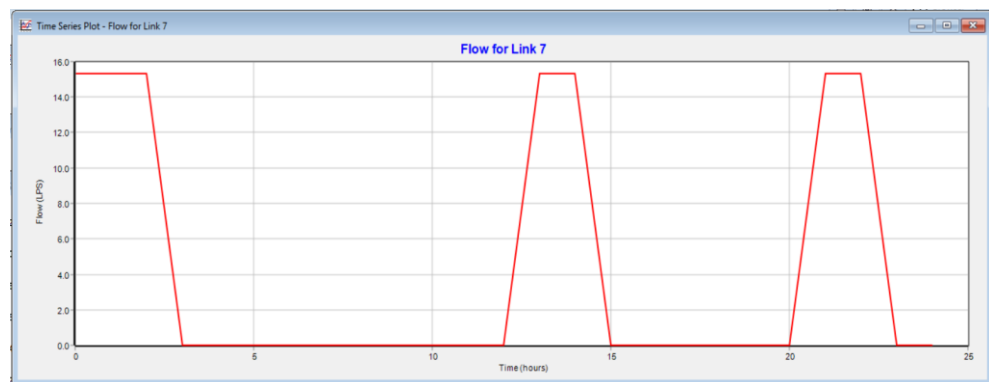
Nível d'água C.I. - Proporção 70/30 - Vazão média



Nível d'água C.S. - Proporção 70/30 - Vazão média



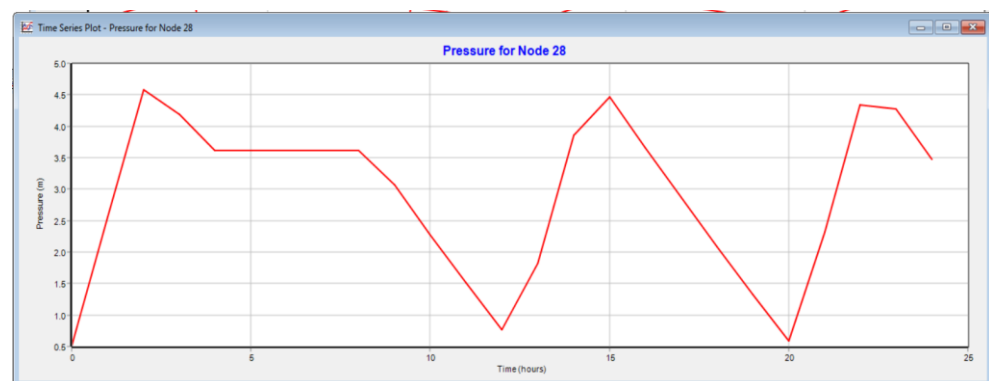
Vazão bombeada do poço à C.I. - Proporção 70/30 - Vazão 1,25



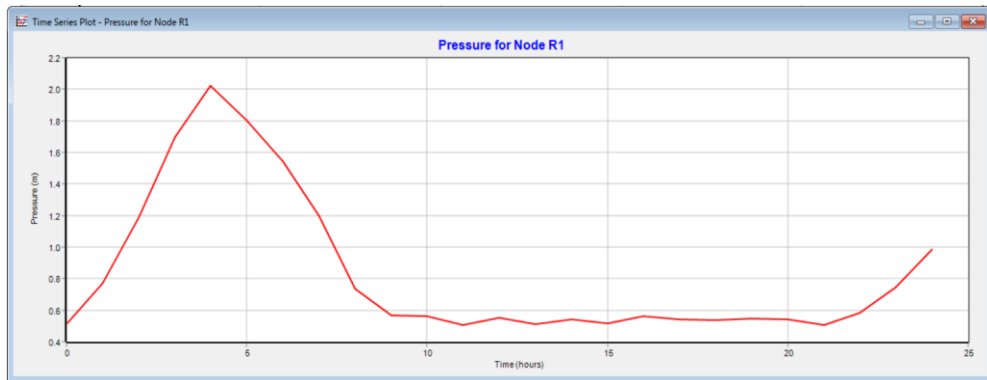
Vazão bombeada entre câmaras do reservatório - Proporção 70/30 - Vazão 1,25



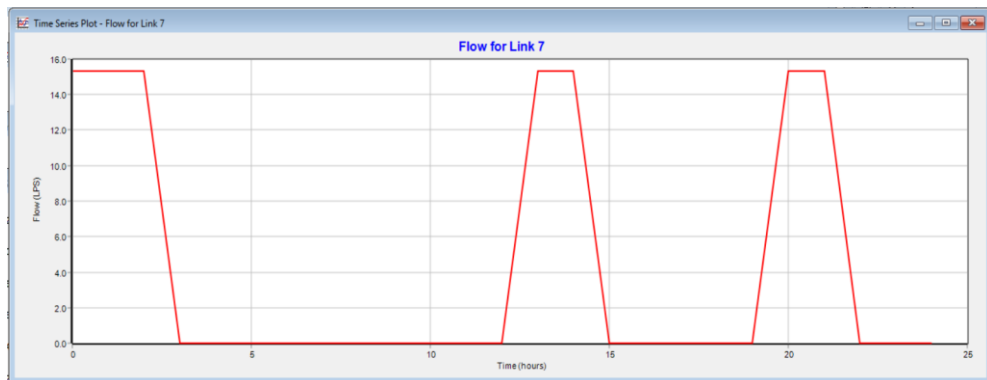
Nível d'água C.I. - Proporção 70/30 - Vazão 1,25



Nível d'água C.S. - Proporção 70/30 - Vazão 1,25



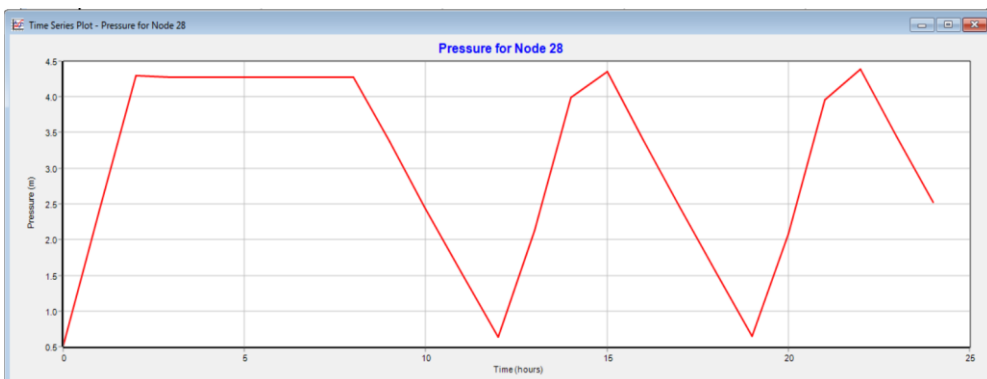
Vazão bombeada do poço à C.I. - Proporção 70/30 - Vazão 1,50



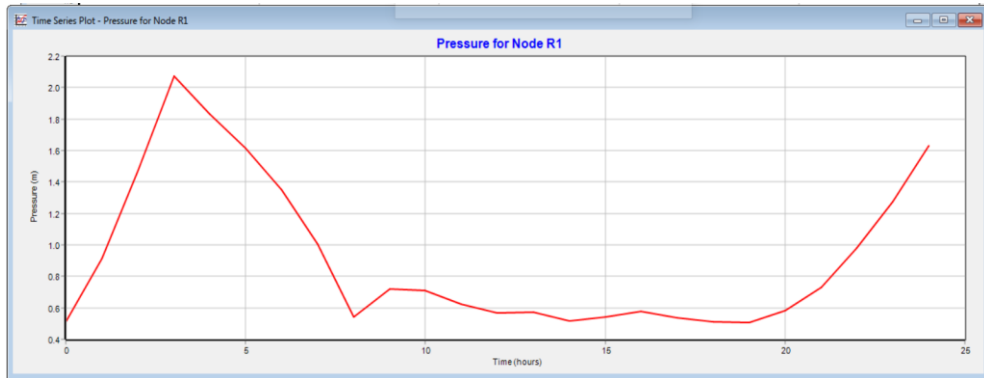
Vazão bombeada entre câmaras do reservatório - Proporção 70/30 - Vazão 1,50



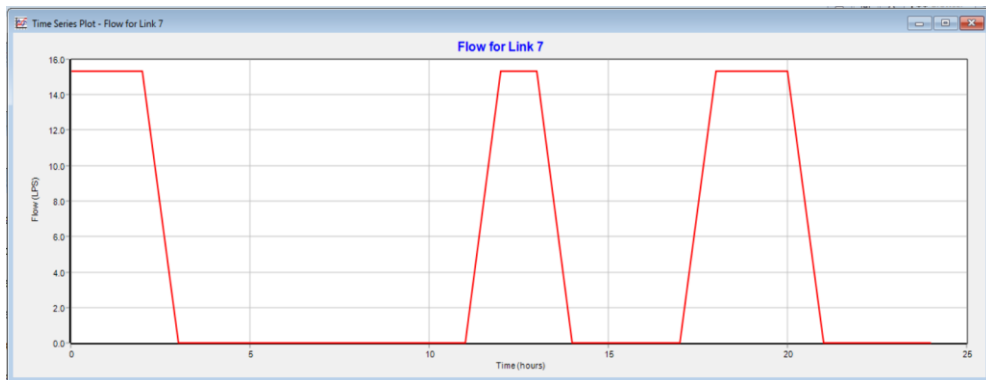
Nível d'água C.I. - Proporção 70/30 - Vazão 1,50



Nível d'água C.S. - Proporção 70/30 - Vazão 1,50



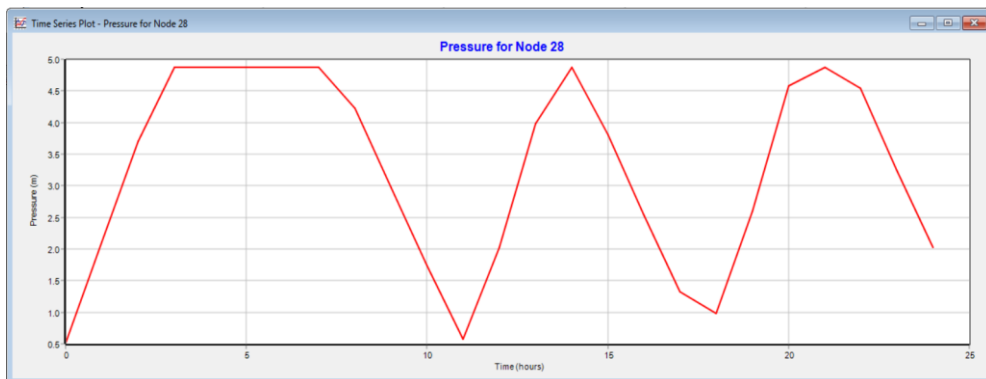
Vazão bombeada do poço à C.I. - Proporção 70/30 - Vazão 2,00



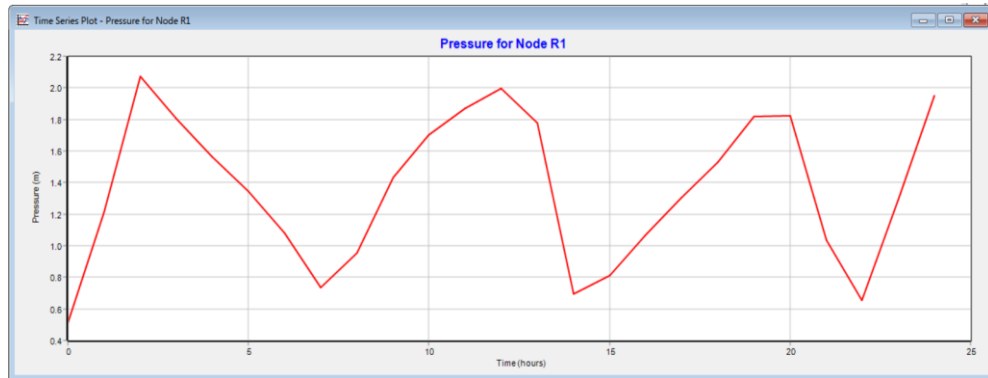
Vazão bombeada entre câmaras do reservatório - Proporção 70/30 - Vazão 2,00



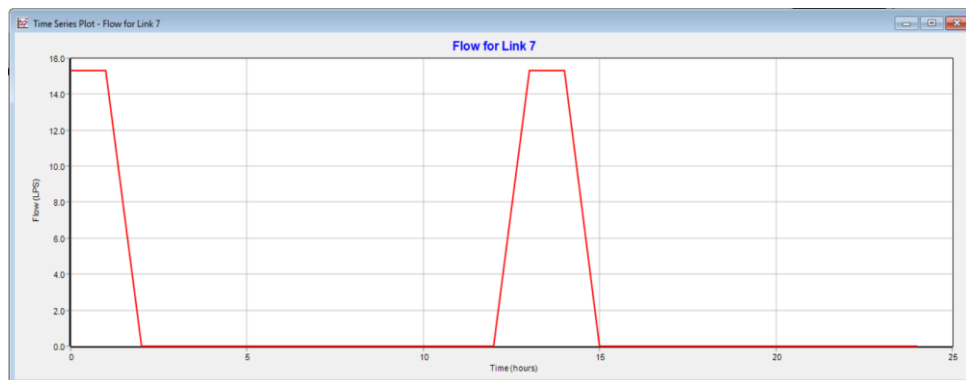
Nível d'água C.I. - Proporção 70/30 - Vazão 2,00



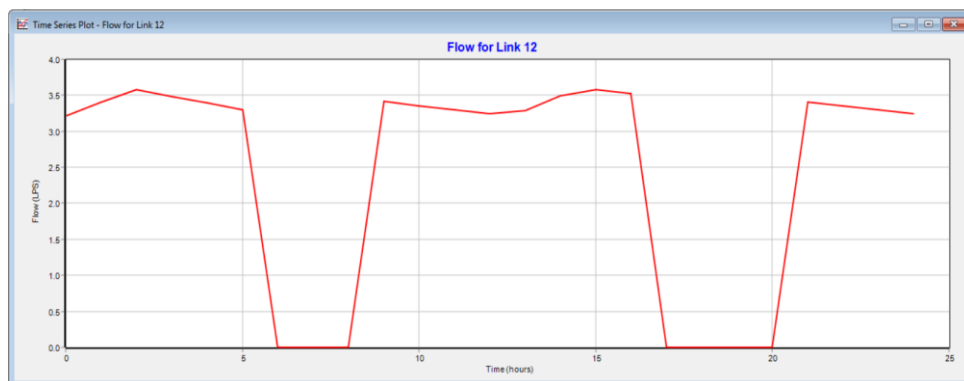
Nível d'água C.S. - Proporção 70/30 - Vazão 2,00



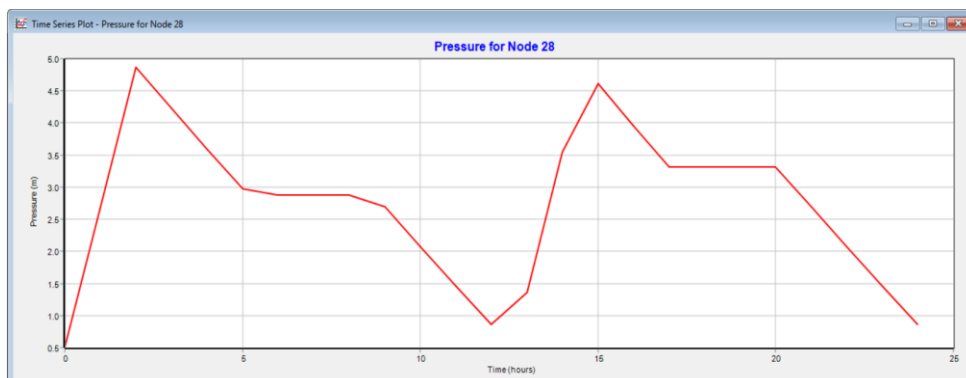
Vazão bombeada do poço à C.I. - Proporção 70/30 - Vazão média – Reservatório vazio



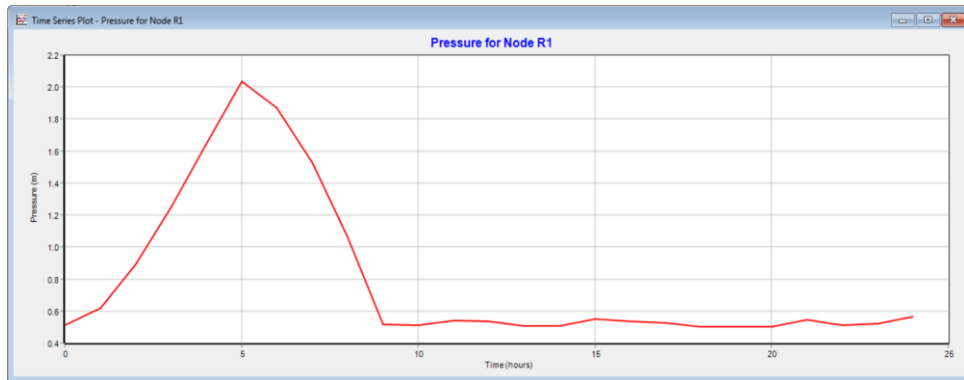
Vazão bombeada entre câmaras do reservatório - Proporção 70/30 - Vazão média – Reservatório vazio



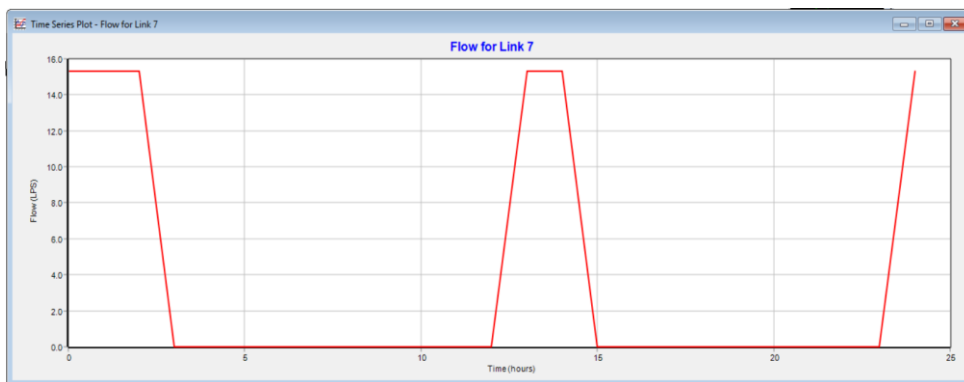
Nível d'água C.I. - Proporção 70/30 - Vazão média – Reservatório vazio



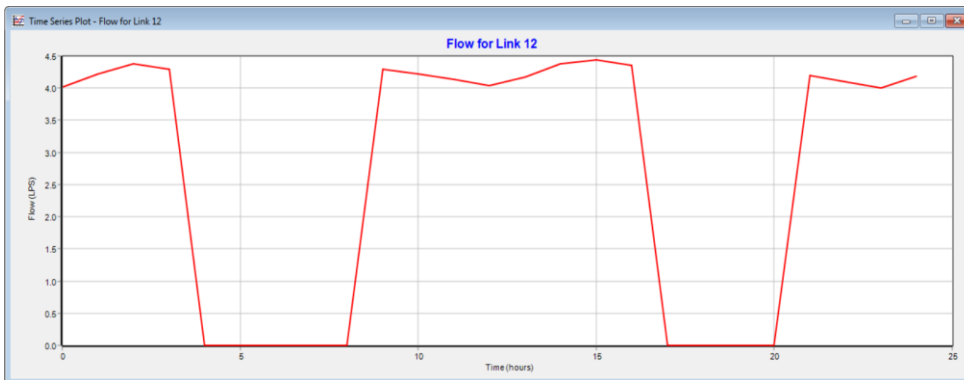
Nível d'água C.S. - Proporção 70/30 - Vazão média – Reservatório vazio



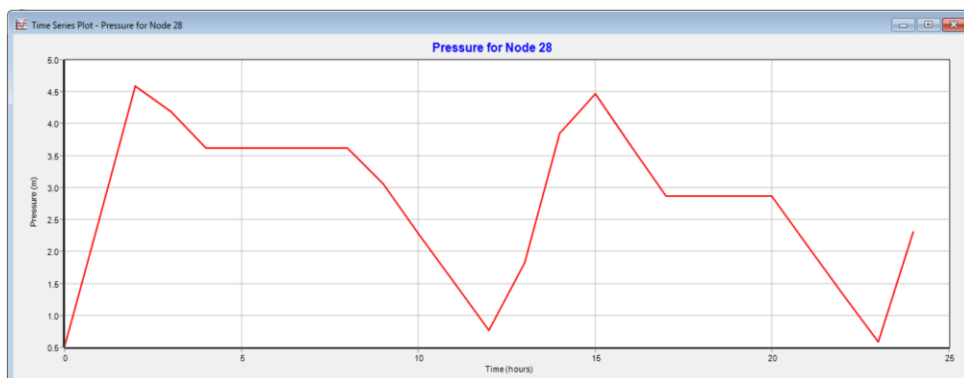
Vazão bombeada do poço à C.I. - Proporção 70/30 - Vazão 1,25 – Reservatório vazio



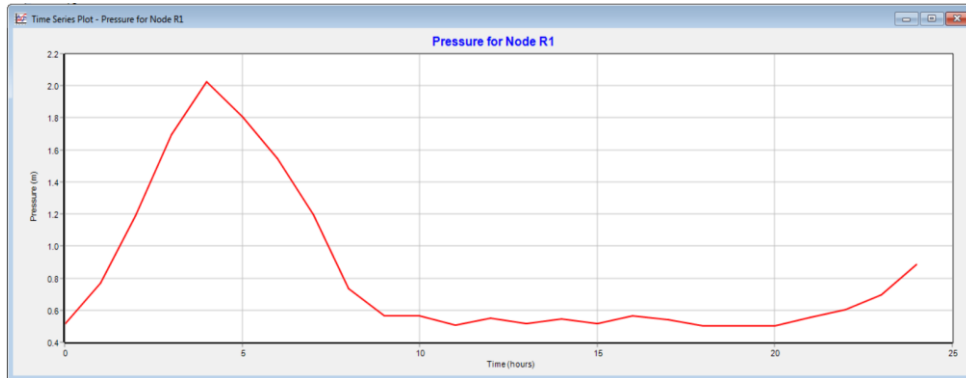
Vazão bombeada entre câmaras do reservatório - Proporção 70/30 - Vazão 1,25 – Reservatório vazio



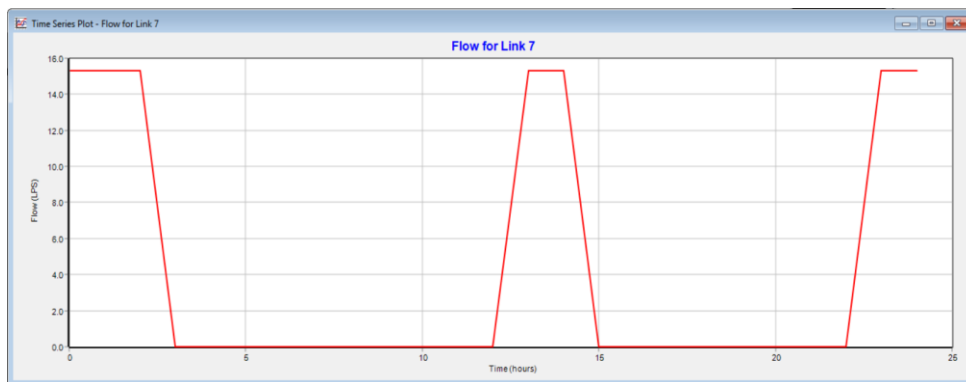
Nível d'água C.I. - Proporção 70/30 - Vazão 1,25 – Reservatório vazio



Nível d'água C.S. - Proporção 70/30 - Vazão 1,25 – Reservatório vazio



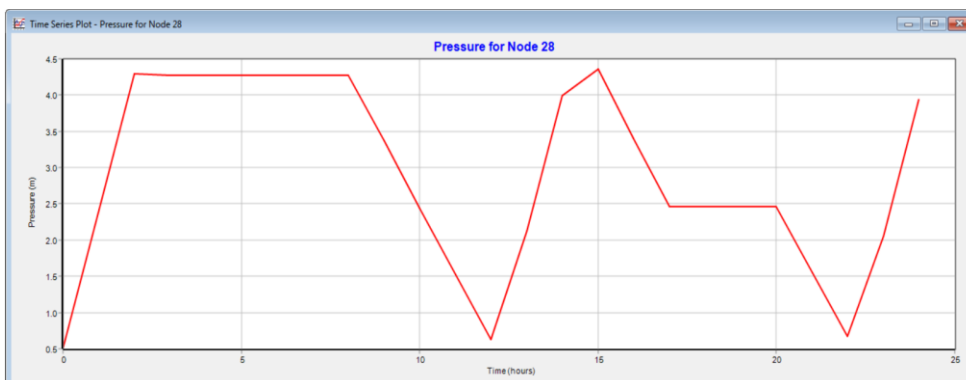
Vazão bombeada do poço à C.I. - Proporção 70/30 - Vazão 1,50 – Reservatório vazio



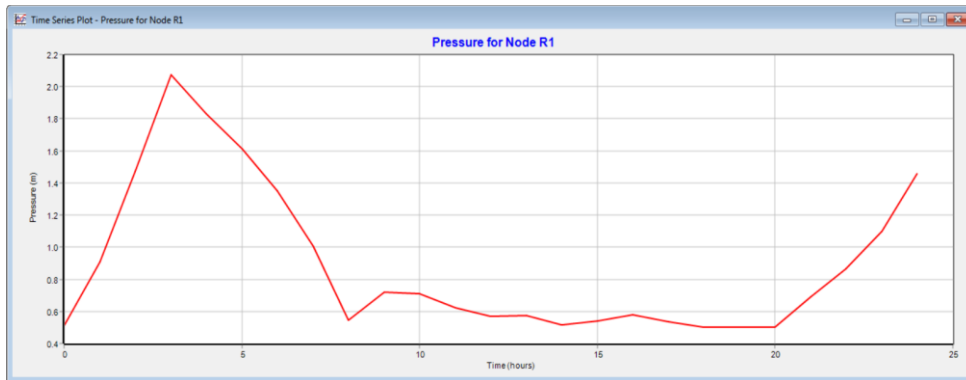
Vazão bombeada entre câmaras do reservatório - Proporção 70/30 - Vazão 1,50 – Reservatório vazio



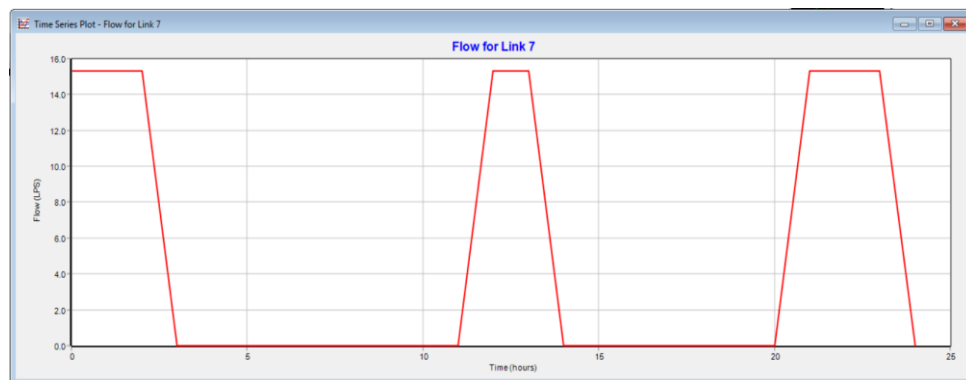
Nível d'água C.I. - Proporção 70/30 - Vazão 1,50 – Reservatório vazio



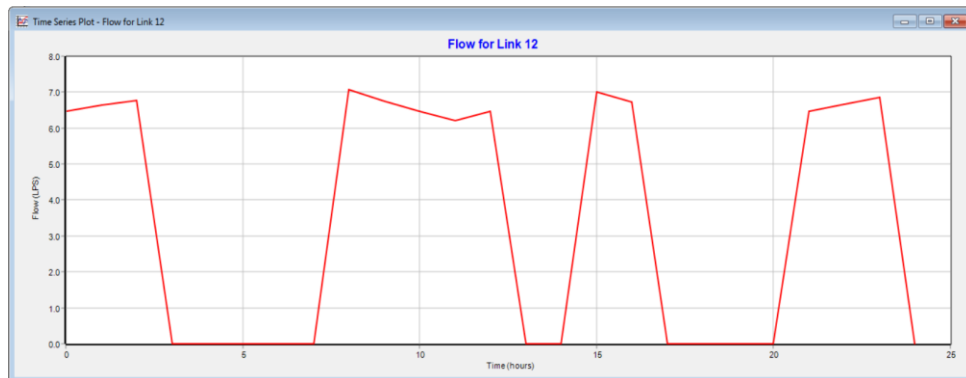
Nível d'água C.S. - Proporção 70/30 - Vazão 1,50 – Reservatório vazio



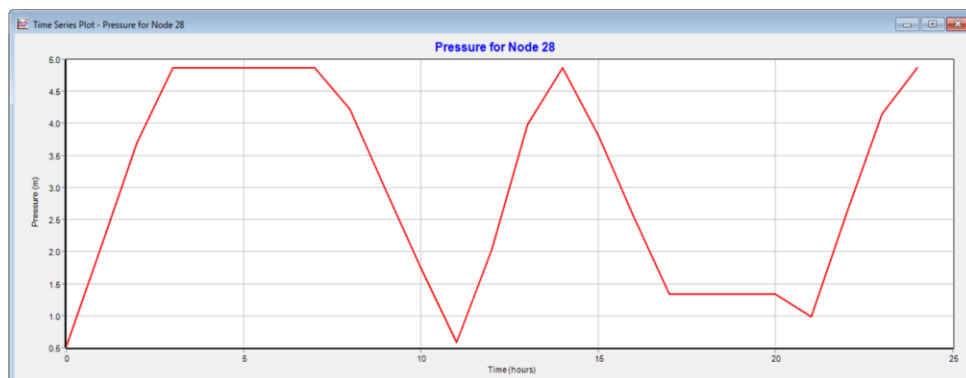
Vazão bombeada do poço à C.I. - Proporção 70/30 - Vazão 2,00 – Reservatório vazio



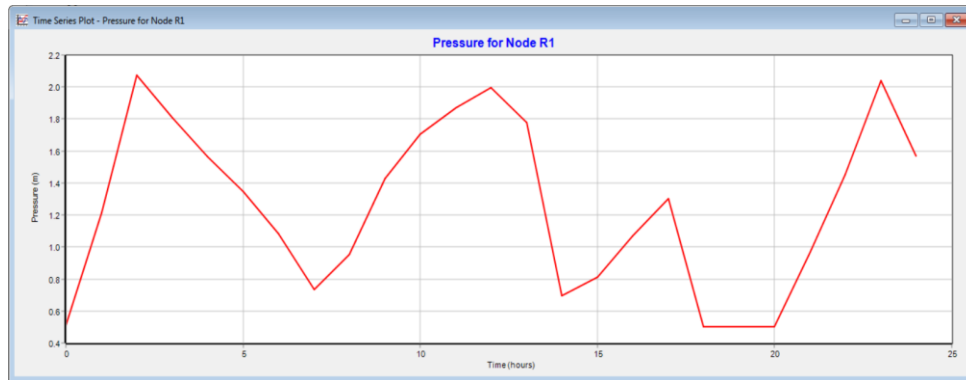
Vazão bombeada entre câmaras do reservatório - Proporção 70/30 - Vazão 2,00 – Reservatório vazio



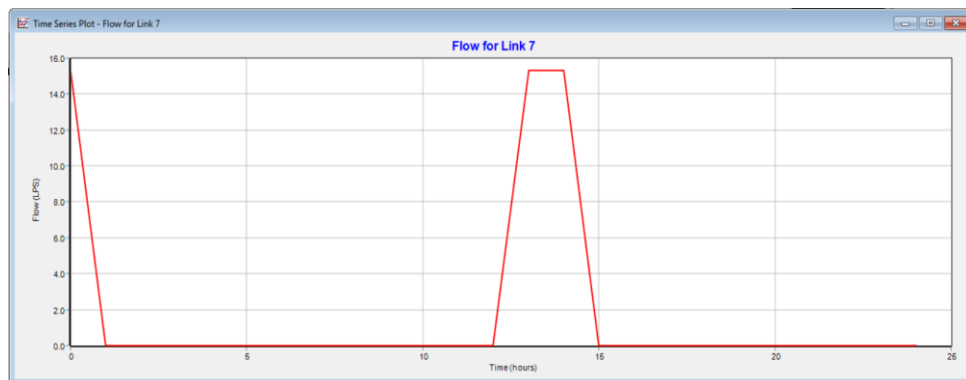
Nível d'água C.I. - Proporção 70/30 - Vazão 2,00 – Reservatório vazio



Nível d'água C.S. - Proporção 70/30 - Vazão 2,00 – Reservatório vazio



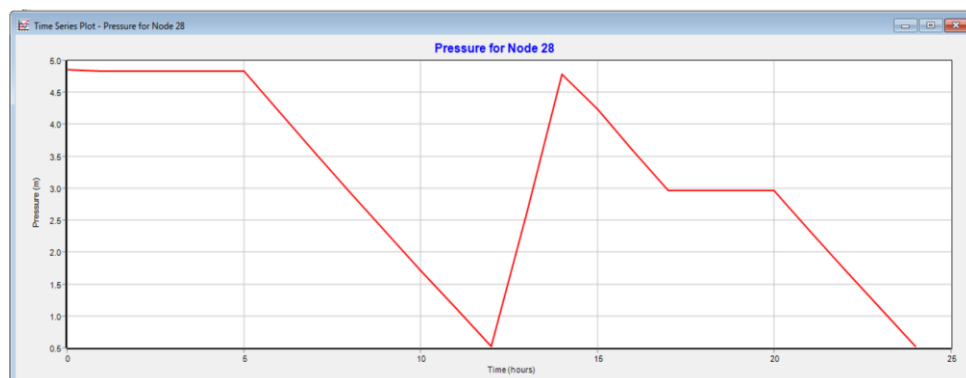
Vazão bombeada do poço à C.I. - Proporção 70/30 - Vazão média – Reservatório cheio



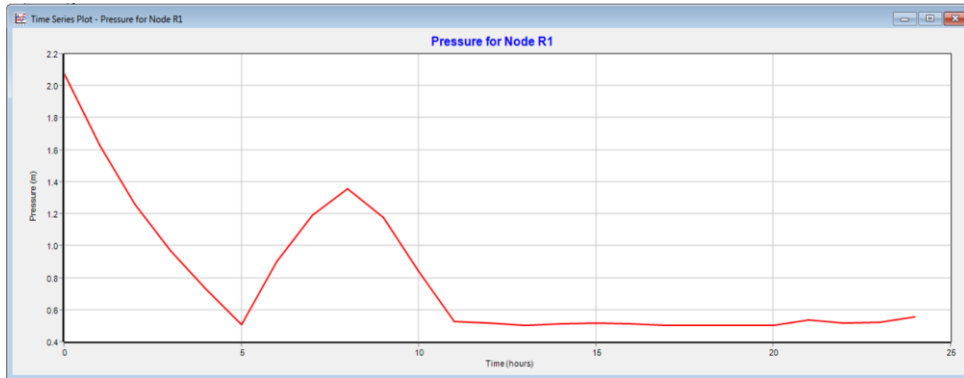
Vazão bombeada entre câmaras do reservatório - Proporção 70/30 - Vazão média – Reservatório cheio



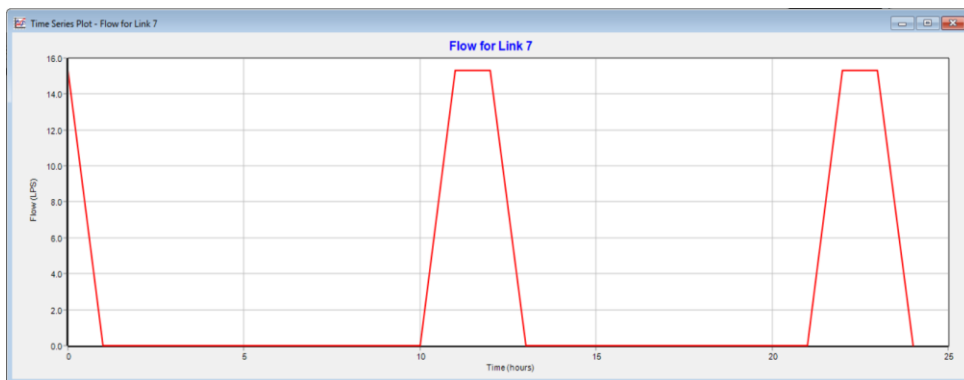
Nível d'água C.I. - Proporção 70/30 - Vazão média – Reservatório cheio



Nível d'água C.S. - Proporção 70/30 - Vazão média – Reservatório cheio



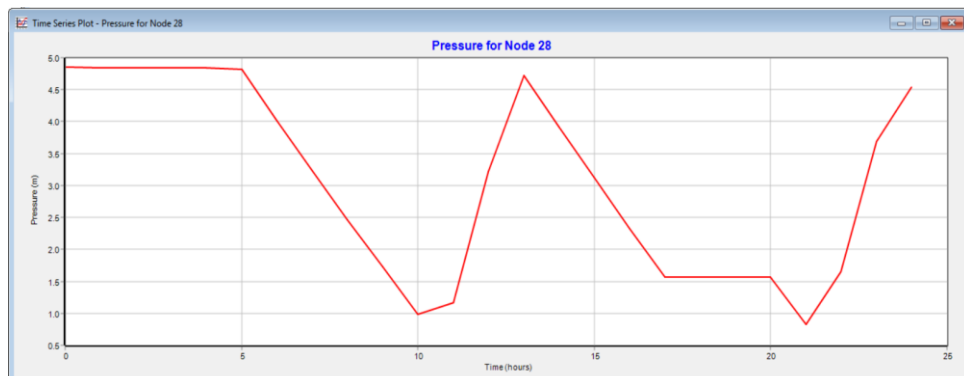
Vazão bombeada do poço à C.I. - Proporção 70/30 - Vazão 1,25 – Reservatório cheio



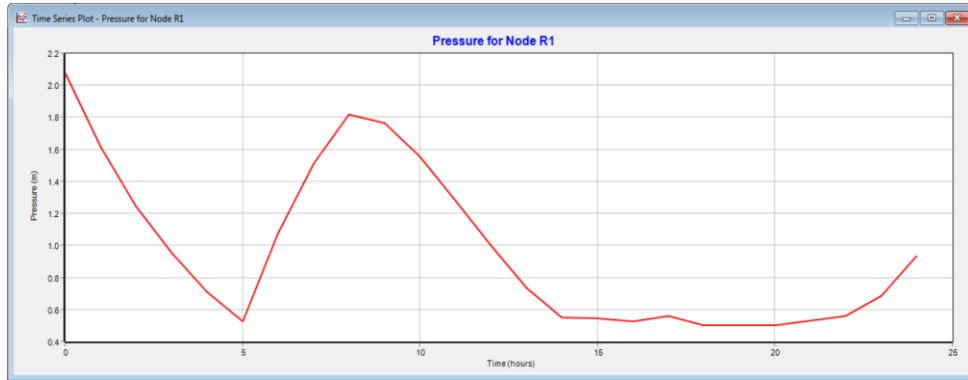
Vazão bombeada entre câmaras do reservatório - Proporção 70/30 - Vazão 1,25 – Reservatório cheio



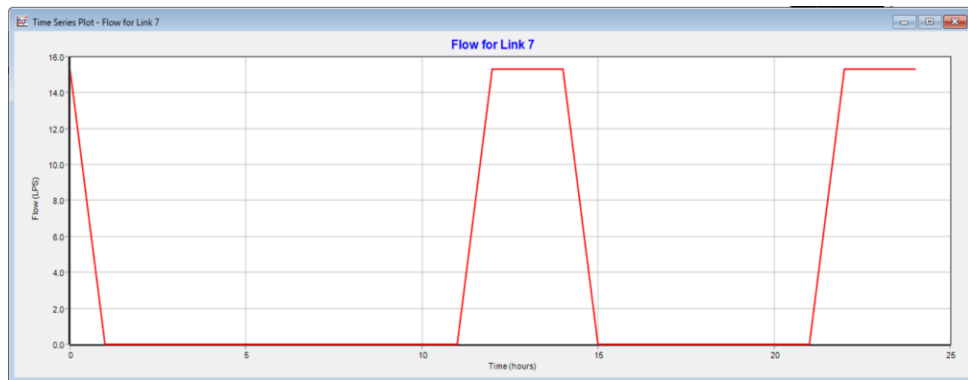
Nível d'água C.I. - Proporção 70/30 - Vazão 1,25 – Reservatório cheio



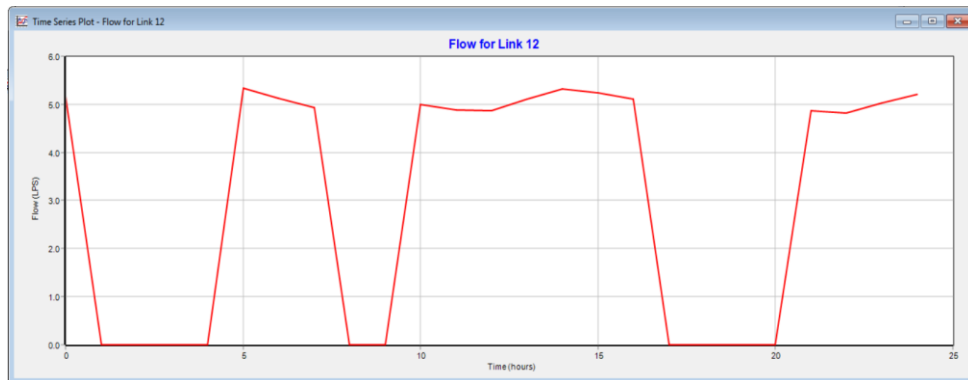
Nível d'água C.S. - Proporção 70/30 - Vazão 1,25 – Reservatório cheio



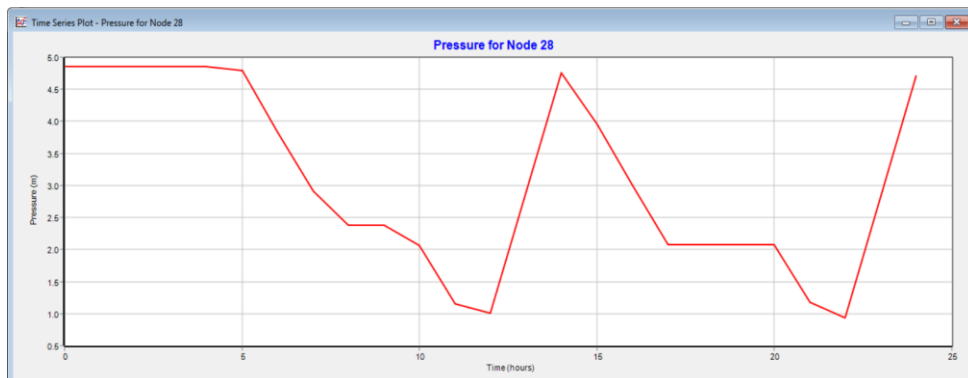
Vazão bombeada do poço à C.I. - Proporção 70/30 - Vazão 1,50 – Reservatório cheio



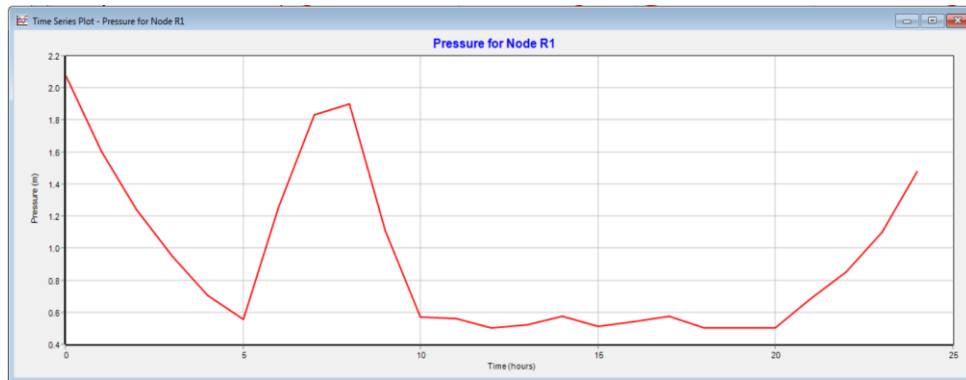
Vazão bombeada entre câmaras do reservatório - Proporção 70/30 - Vazão 1,50 – Reservatório cheio



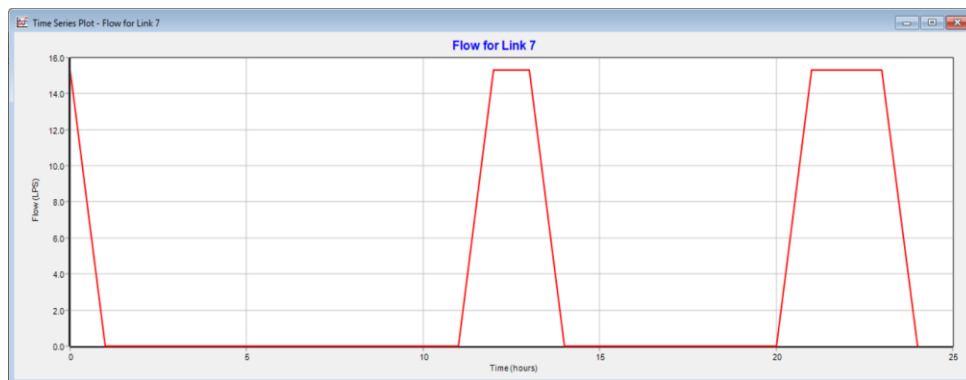
Nível d'água C.I. - Proporção 70/30 - Vazão 1,50 – Reservatório cheio



Nível d'água C.S. - Proporção 70/30 - Vazão 1,50 – Reservatório cheio



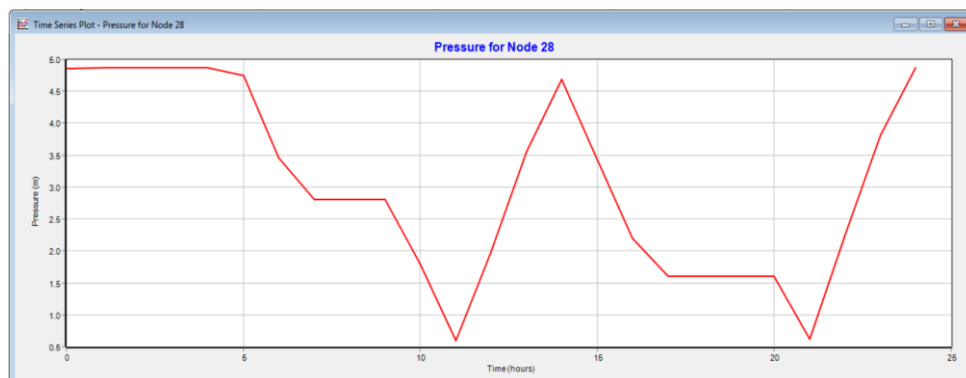
Vazão bombeada do poço à C.I. - Proporção 70/30 - Vazão 2,00 – Reservatório cheio



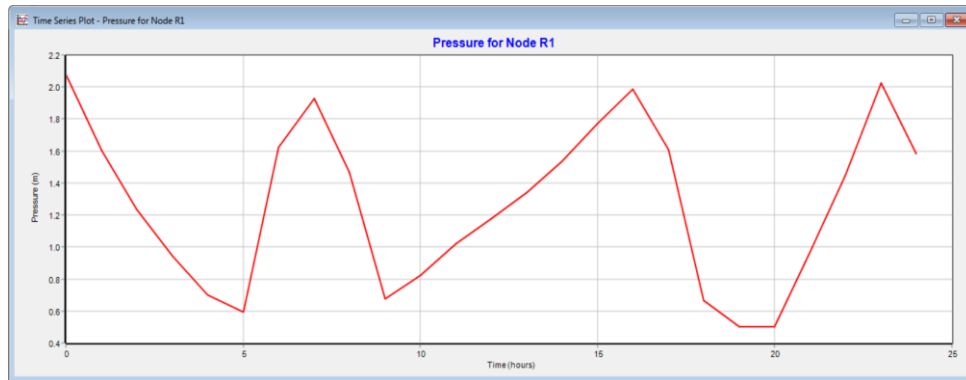
Vazão bombeada entre câmaras do reservatório - Proporção 70/30 - Vazão 2,00 – Reservatório cheio



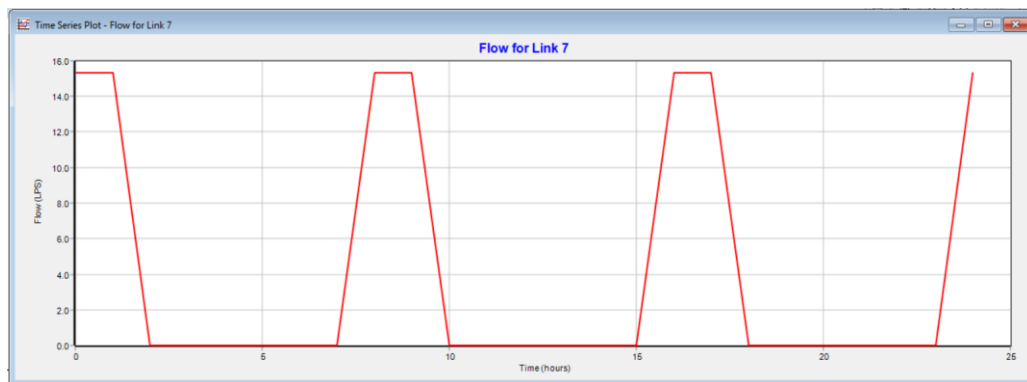
Nível d'água C.I. - Proporção 70/30 - Vazão 2,00 – Reservatório cheio



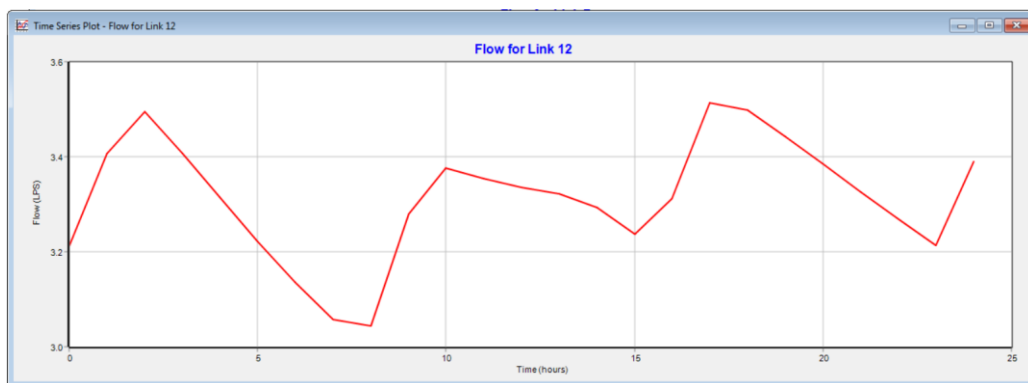
Nível d'água C.S. - Proporção 70/30 - Vazão 2,00 – Reservatório cheio



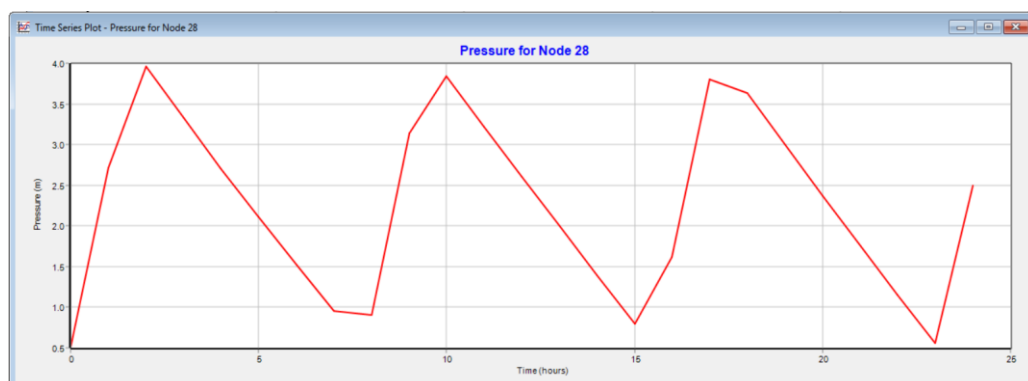
Vazão bombeada do poço à C.I. - Proporção 60/40 - Vazão média



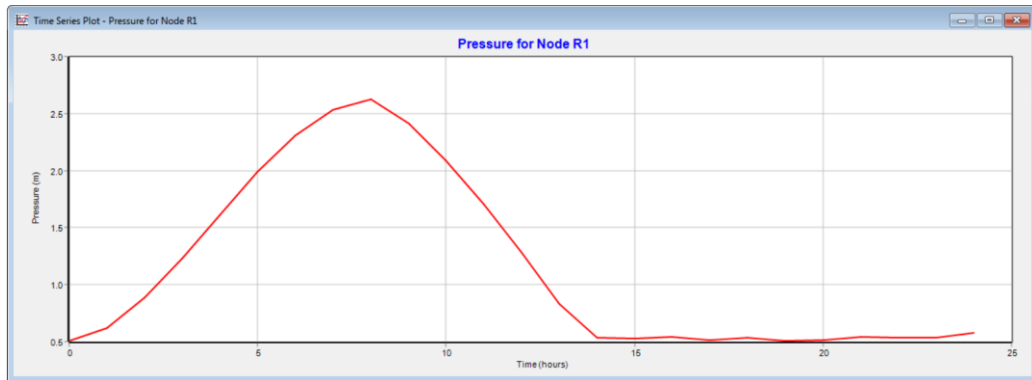
Vazão bombeada entre câmaras do reservatório - Proporção 60/40 - Vazão média



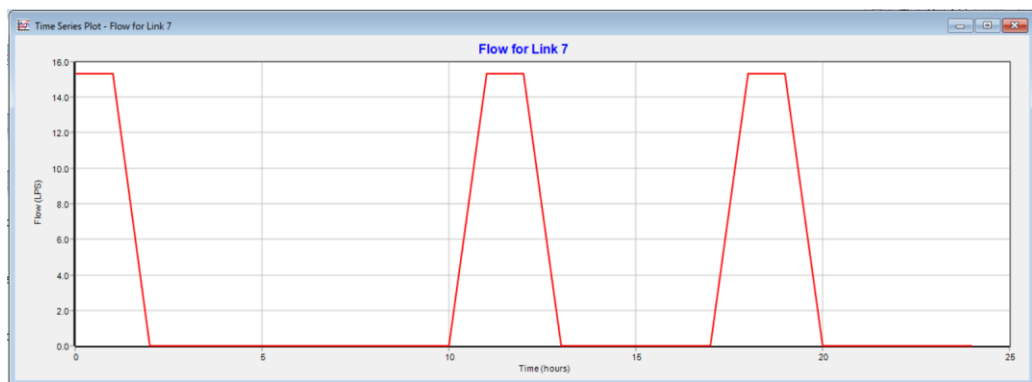
Nível d'água C.I. - Proporção 60/40 - Vazão média



Nível d'água C.S. - Proporção 60/40 - Vazão média



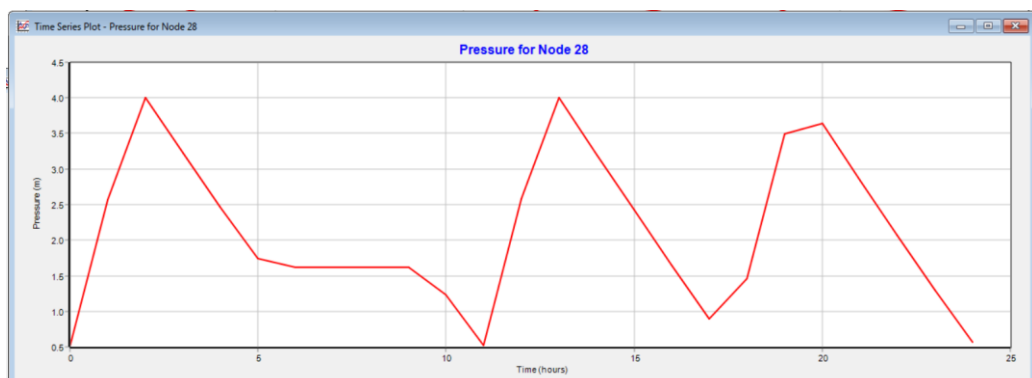
Vazão bombeada do poço à C.I. - Proporção 60/40 - Vazão 1,25



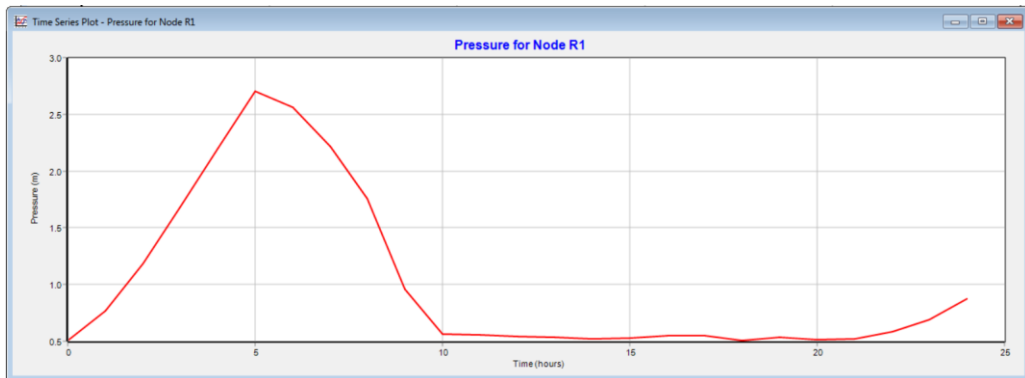
Vazão bombeada entre câmaras do reservatório - Proporção 60/40 - Vazão 1,25



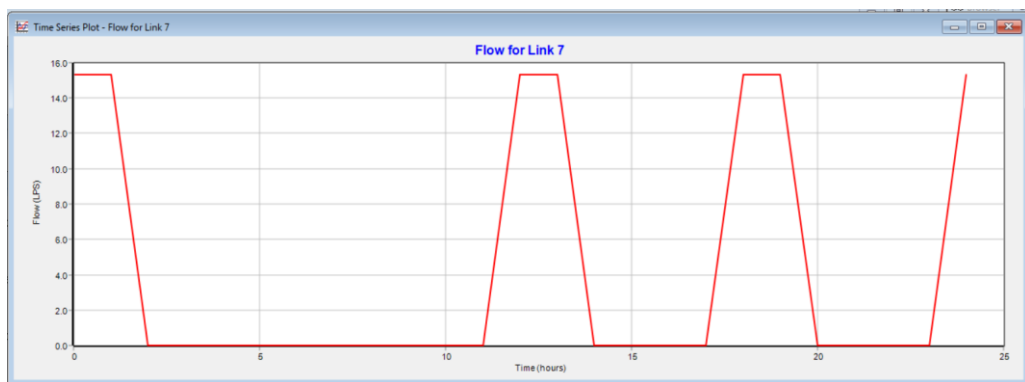
Nível d'água C.I. - Proporção 60/40 - Vazão 1,25



Nível d'água C.S. - Proporção 60/40 - Vazão 1,25



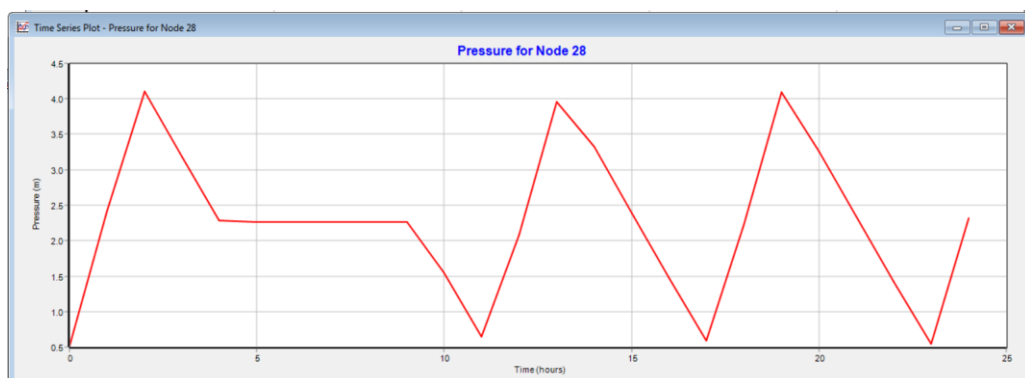
Vazão bombeada do poço à C.I. - Proporção 60/40 - Vazão 1,50



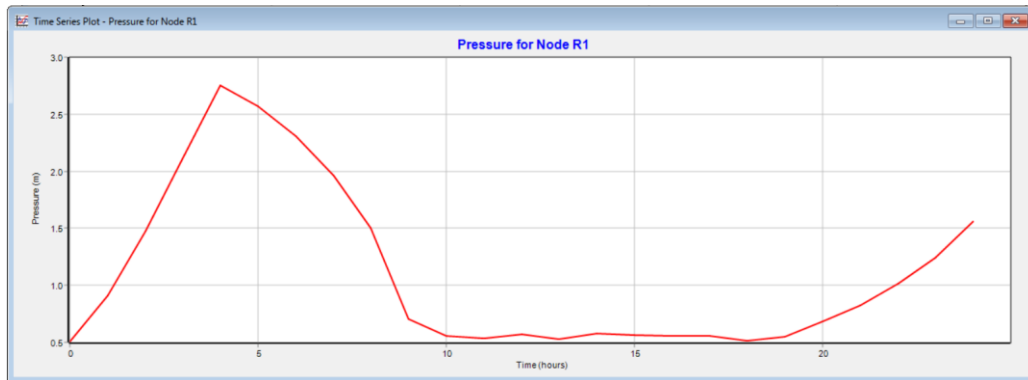
Vazão bombeada entre câmaras do reservatório - Proporção 60/40 - Vazão 1,50



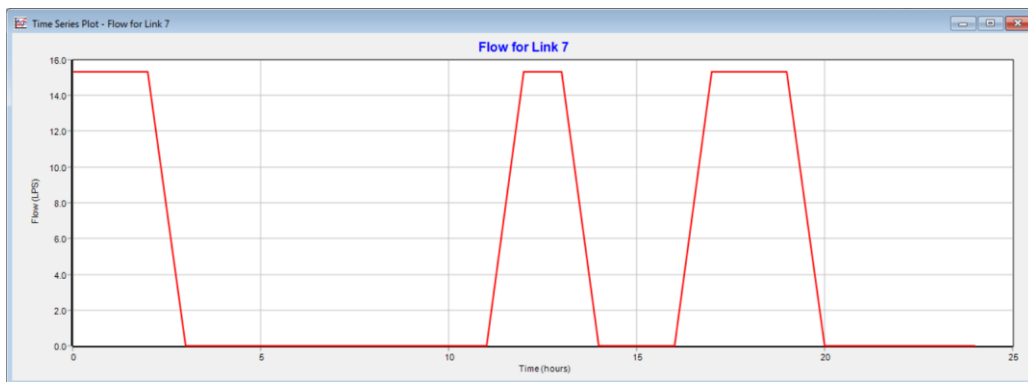
Nível d'água C.I. - Proporção 60/40 - Vazão 1,50



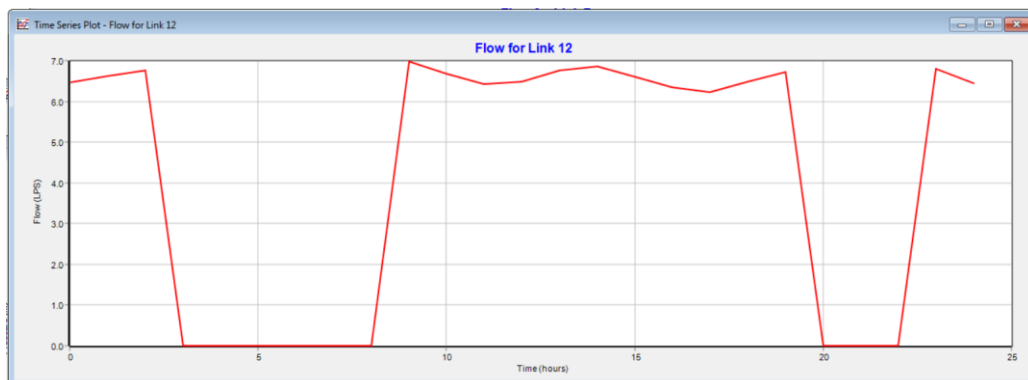
Nível d'água C.S. - Proporção 60/40 - Vazão 1,50



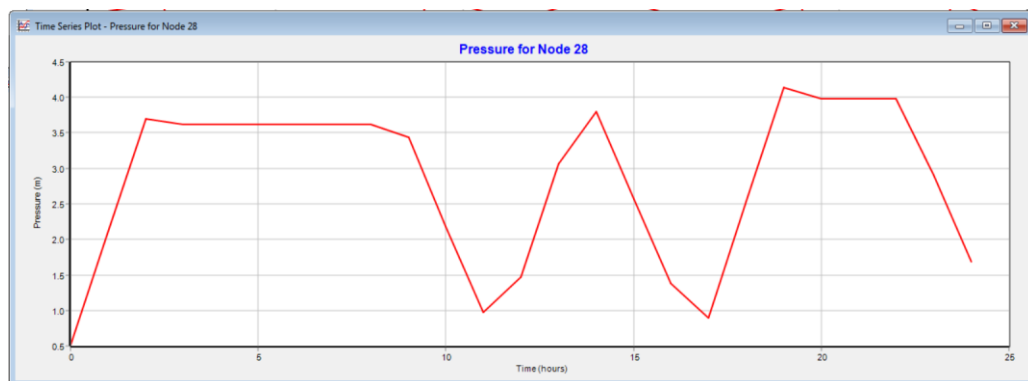
Vazão bombeada do poço à C.I. - Proporção 60/40 - Vazão 2,00



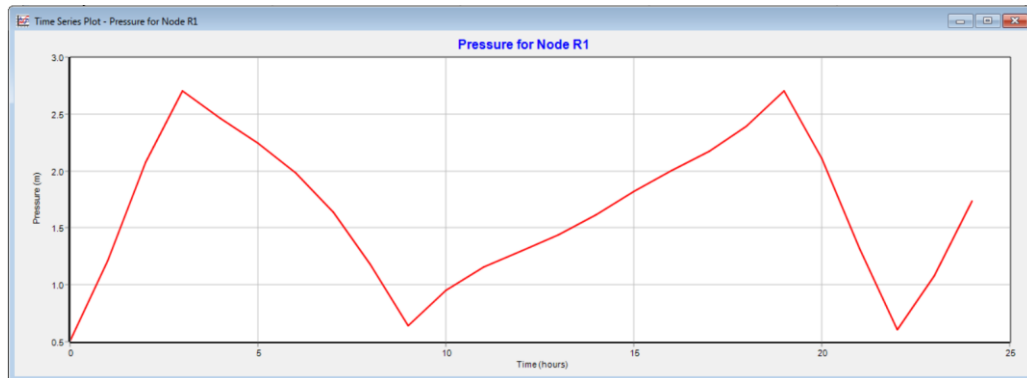
Vazão bombeada entre câmaras do reservatório - Proporção 60/40 - Vazão 2,00



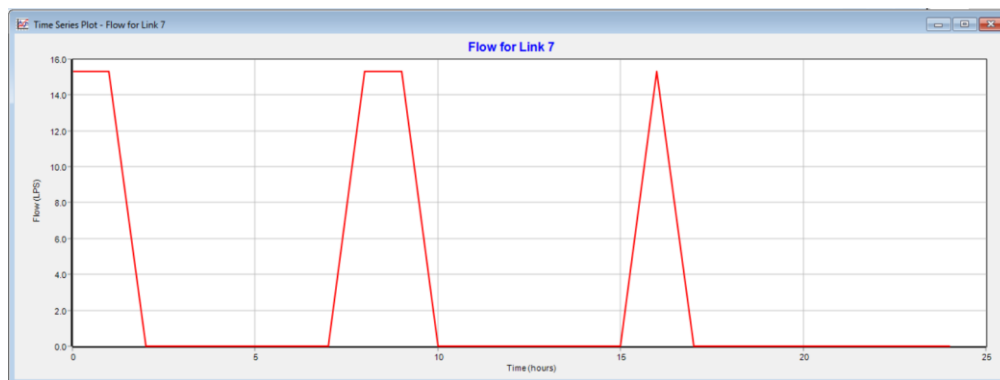
Nível d'água C.I. - Proporção 60/40 - Vazão 2,00



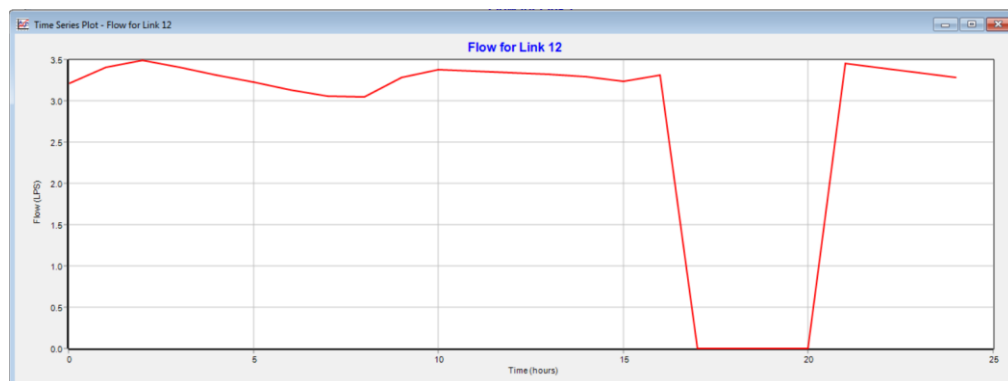
Nível d'água C.S. - Proporção 60/40 - Vazão 2,00



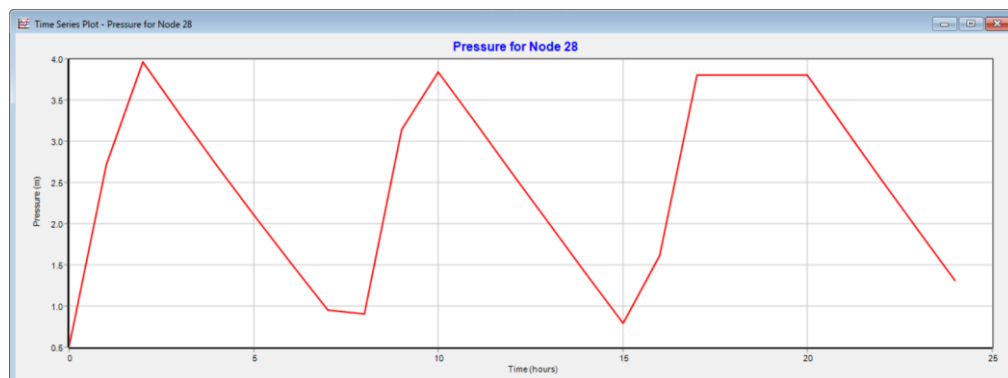
Vazão bombeada do poço à C.I. - Proporção 60/40 - Vazão média – Reservatório vazio



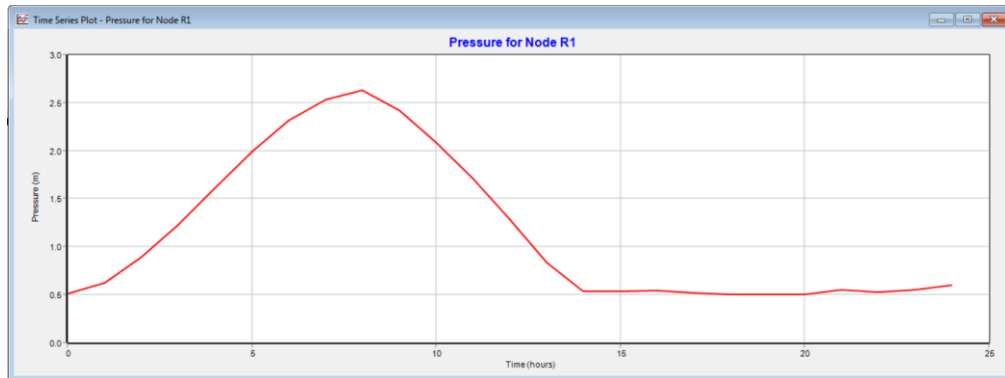
Vazão bombeada entre câmaras do reservatório - Proporção 60/40 - Vazão média – Reservatório vazio



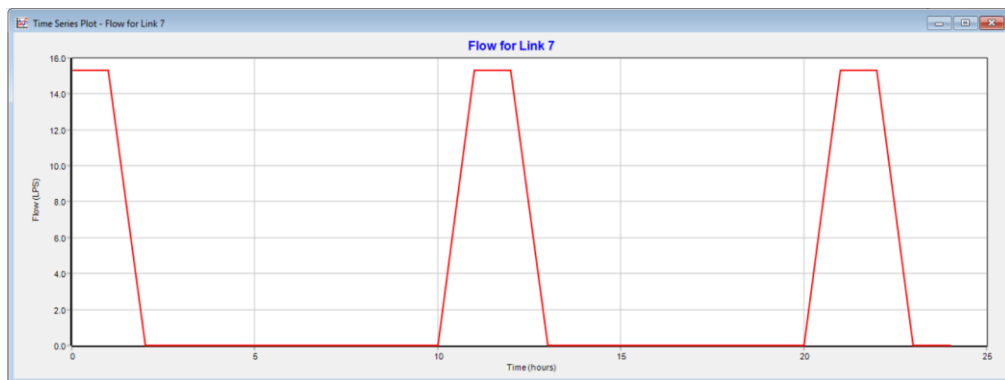
Nível d'água C.I. - Proporção 60/40 - Vazão média – Reservatório vazio



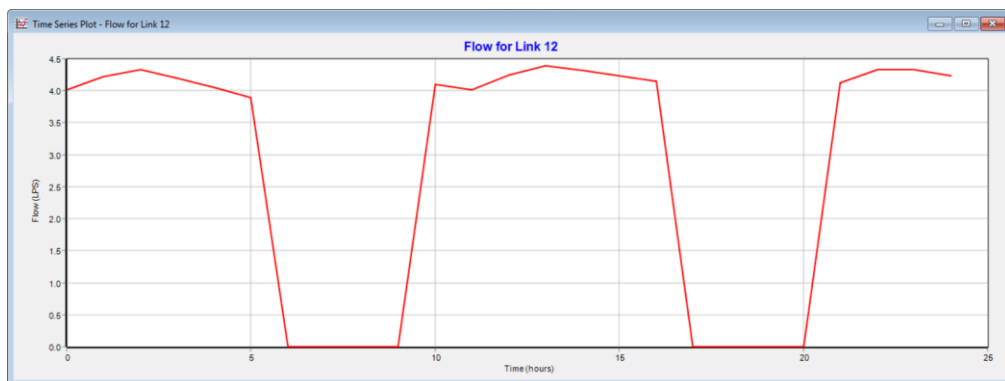
Nível d'água C.S. - Proporção 60/40 - Vazão média – Reservatório vazio



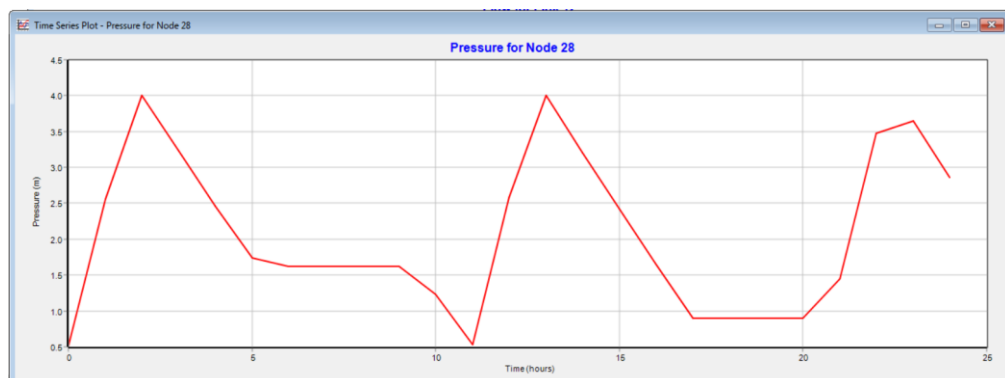
Vazão bombeada do poço à C.I. - Proporção 60/40 - Vazão 1,25 – Reservatório vazio



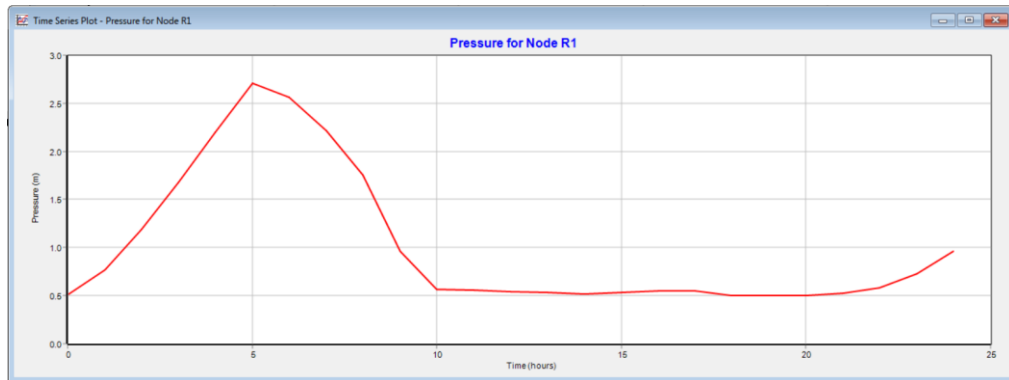
Vazão bombeada entre câmaras do reservatório - Proporção 60/40 - Vazão 1,25 – Reservatório vazio



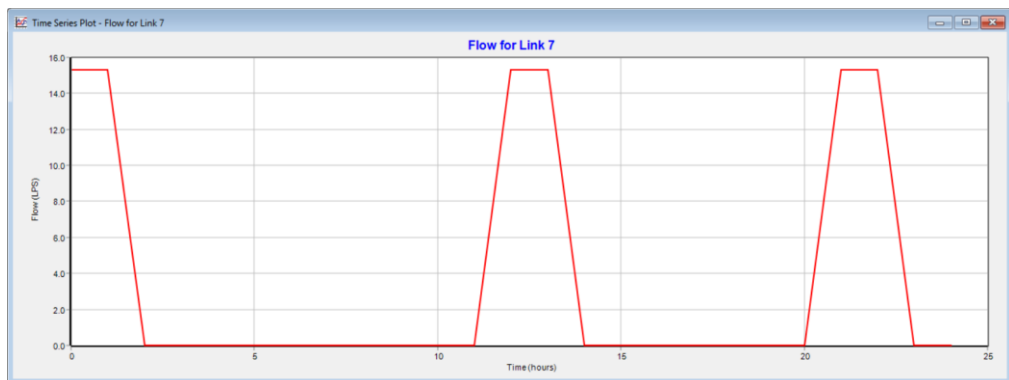
Nível d'água C.I. - Proporção 60/40 - Vazão 1,25 – Reservatório vazio



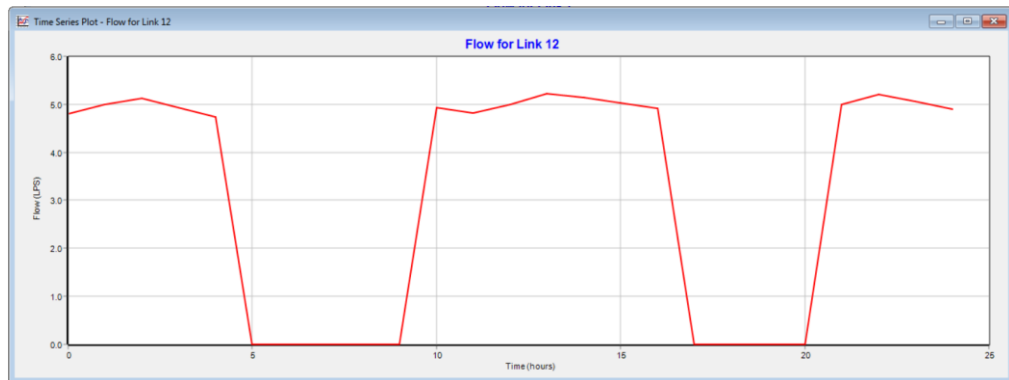
Nível d'água C.S. - Proporção 60/40 - Vazão 1,25 – Reservatório vazio



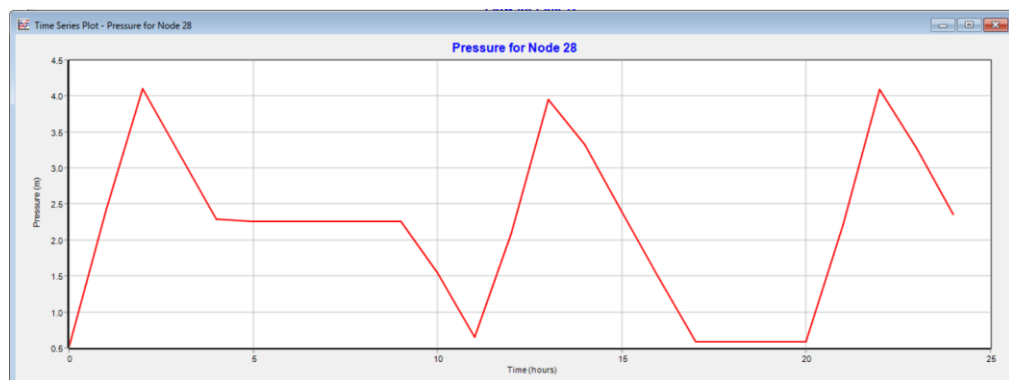
Vazão bombeada do poço à C.I. - Proporção 60/40 - Vazão 1,50 – Reservatório vazio



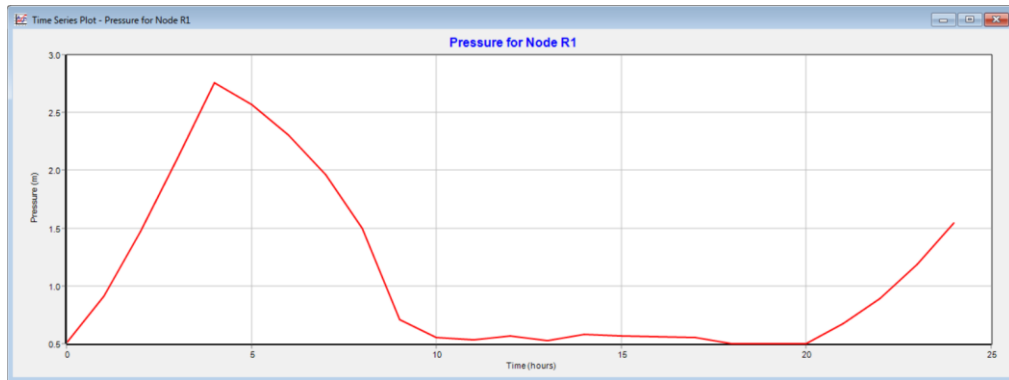
Vazão bombeada entre câmaras do reservatório - Proporção 60/40 - Vazão 1,50 – Reservatório vazio



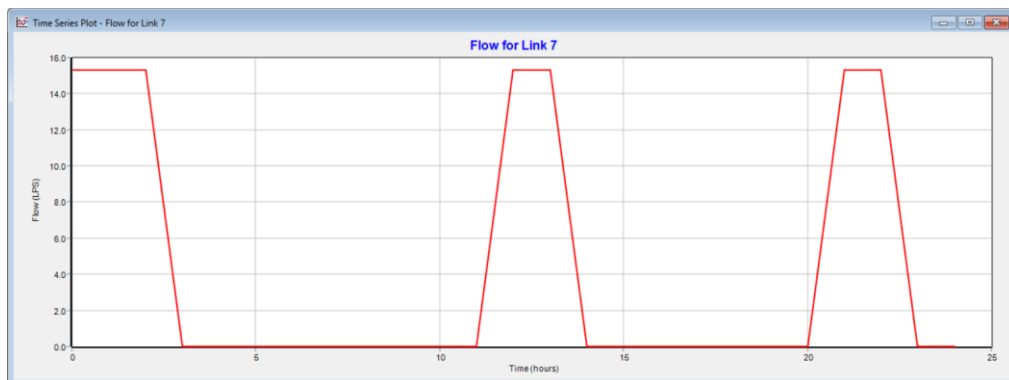
Nível d'água C.I. - Proporção 60/40 - Vazão 1,50 – Reservatório vazio



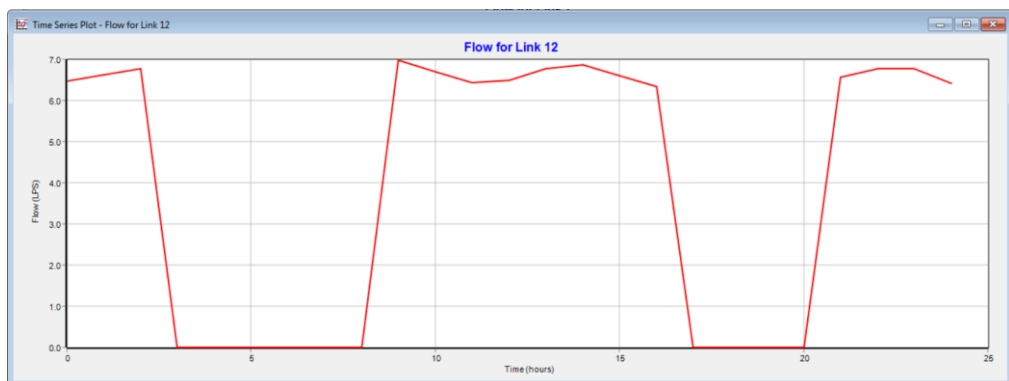
Nível d'água C.S. - Proporção 60/40 - Vazão 1,50 – Reservatório vazio



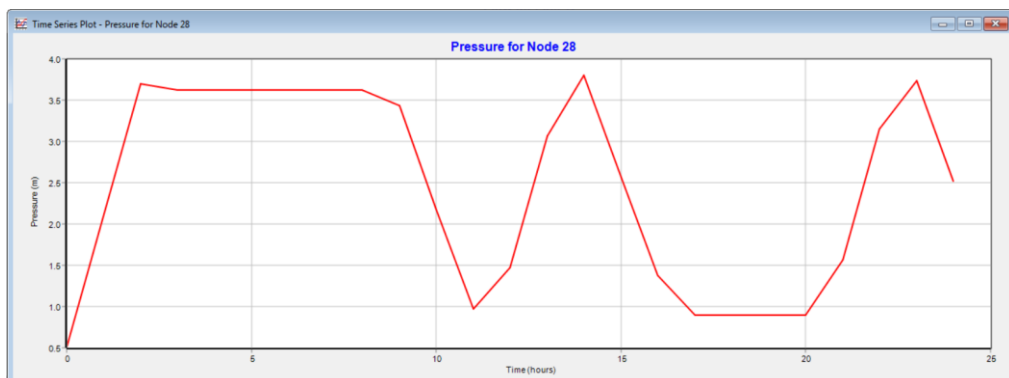
Vazão bombeada do poço à C.I. - Proporção 60/40 - Vazão 2,00 – Reservatório vazio



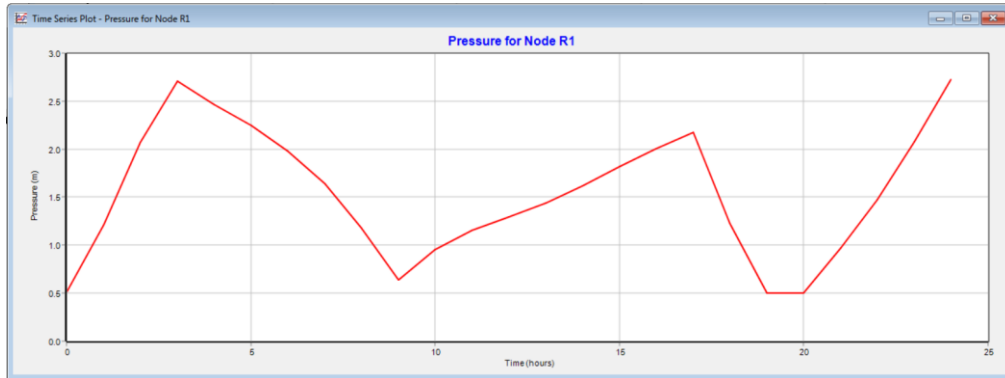
Vazão bombeada entre câmaras do reservatório - Proporção 60/40 - Vazão 2,00 – Reservatório vazio



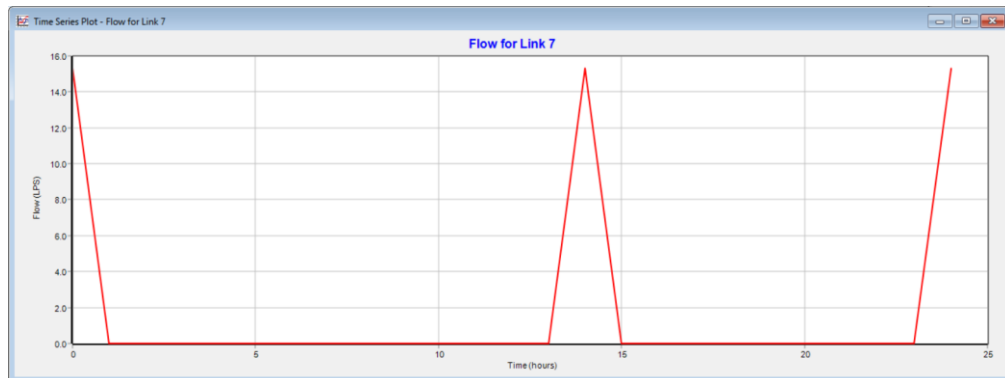
Nível d'água C.I. - Proporção 60/40 - Vazão 2,00 – Reservatório vazio



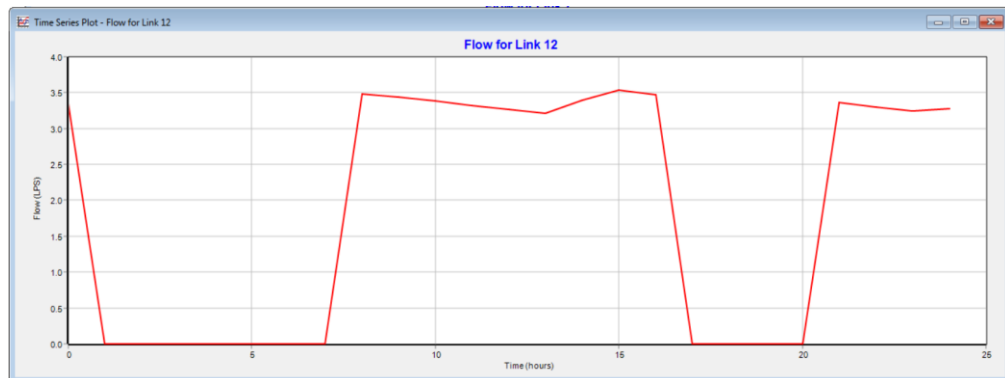
Nível d'água C.S. - Proporção 60/40 - Vazão 2,00 – Reservatório vazio



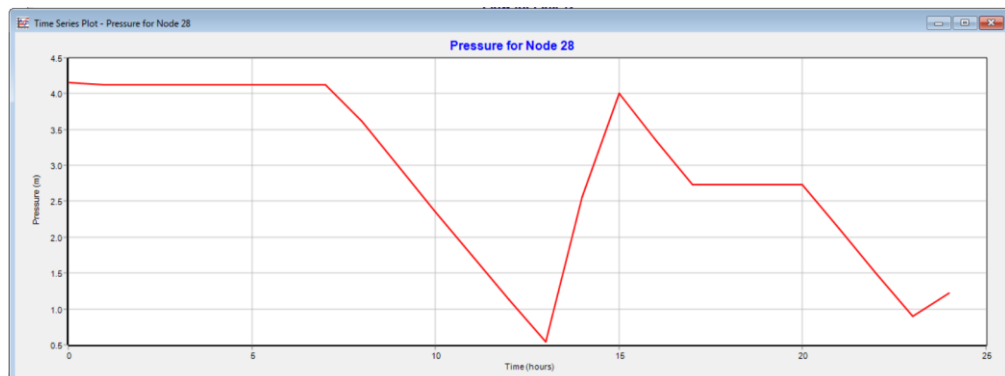
Vazão bombeada do poço à C.I. - Proporção 60/40 - Vazão média – Reservatório cheio



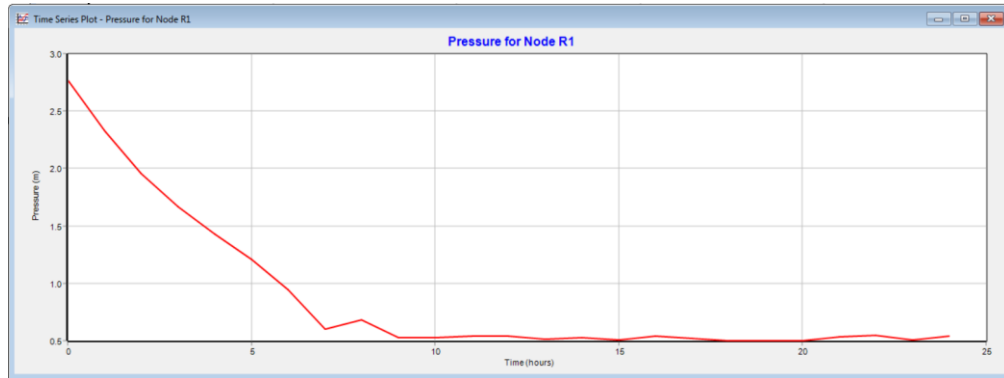
Vazão bombeada entre câmaras do reservatório - Proporção 60/40 - Vazão média – Reservatório cheio



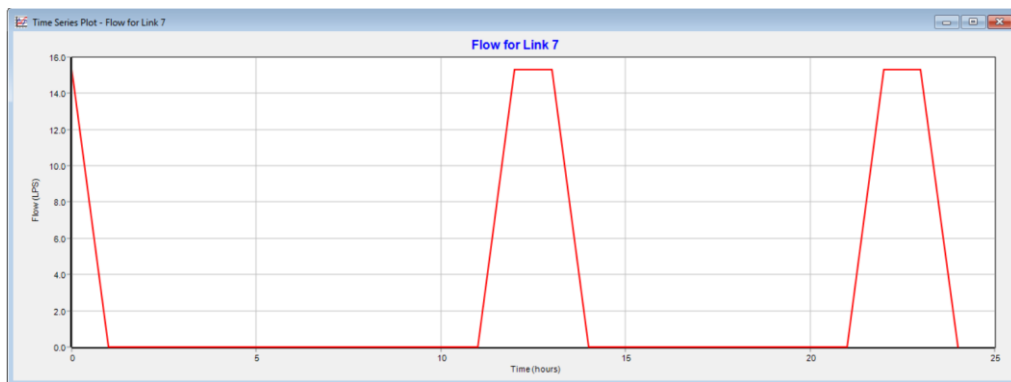
Nível d'água C.I. - Proporção 60/40 - Vazão média – Reservatório cheio



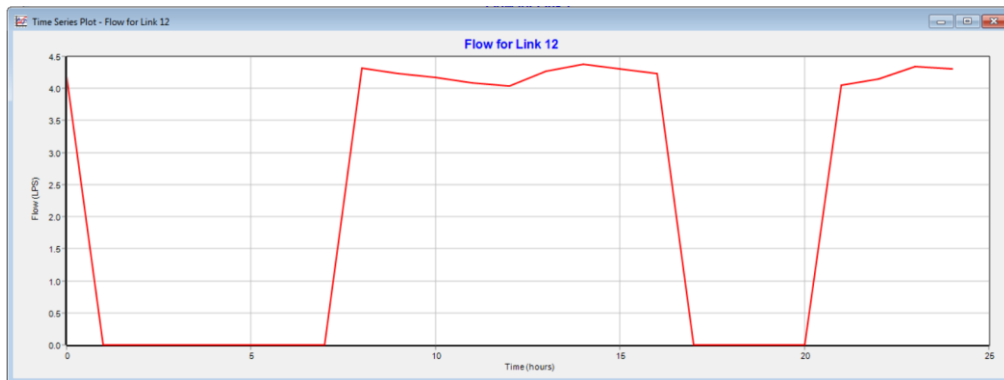
Nível d'água C.S. - Proporção 60/40 - Vazão média – Reservatório cheio



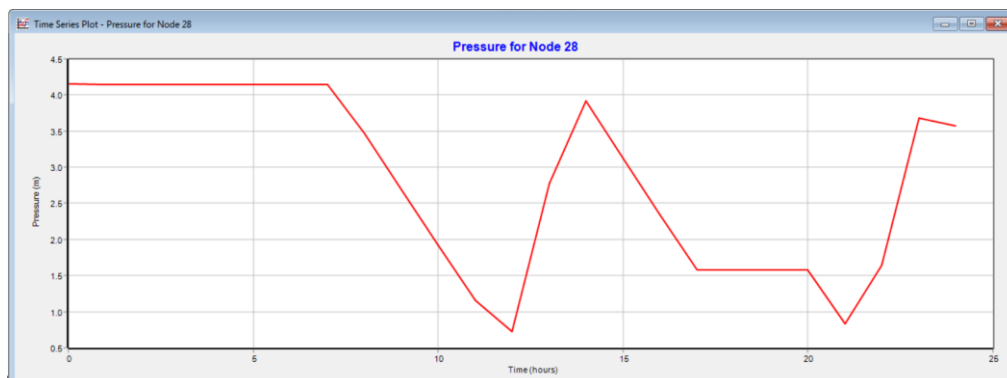
Vazão bombeada do poço à C.I. - Proporção 60/40 - Vazão 1,25 – Reservatório cheio



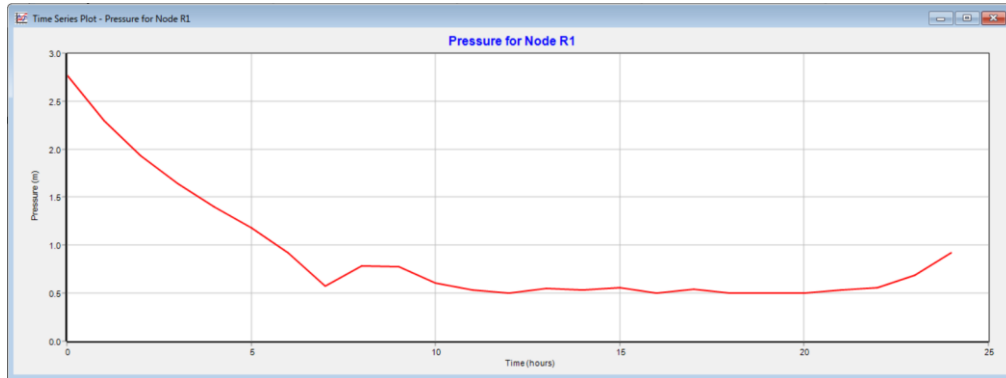
Vazão bombeada entre câmaras do reservatório - Proporção 60/40 - Vazão 1,25 – Reservatório cheio



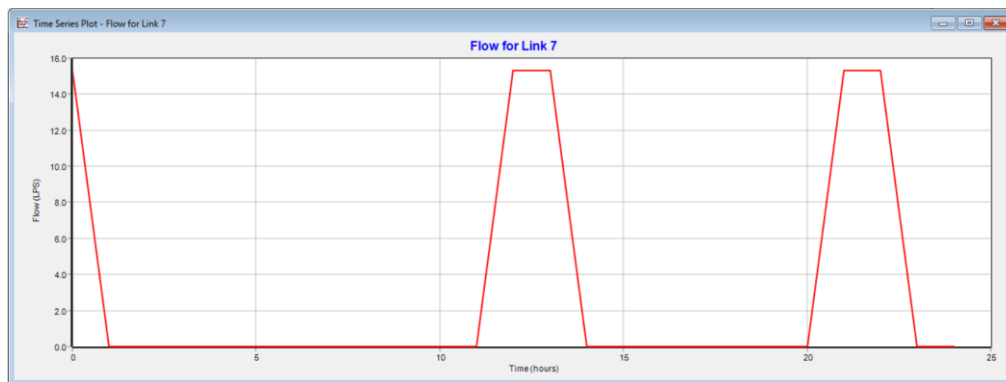
Nível d'água C.I. - Proporção 60/40 - Vazão 1,25 – Reservatório cheio



Nível d'água C.S. - Proporção 60/40 - Vazão 1,25 – Reservatório cheio



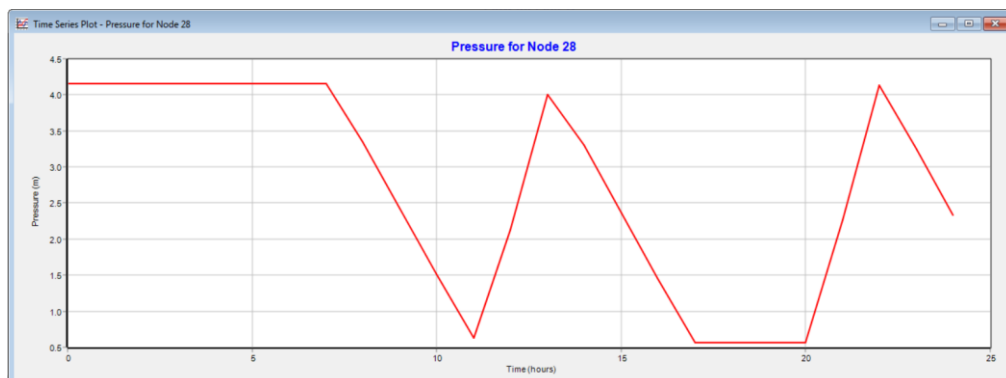
Vazão bombeada do poço à C.I. - Proporção 60/40 - Vazão 1,50 – Reservatório cheio



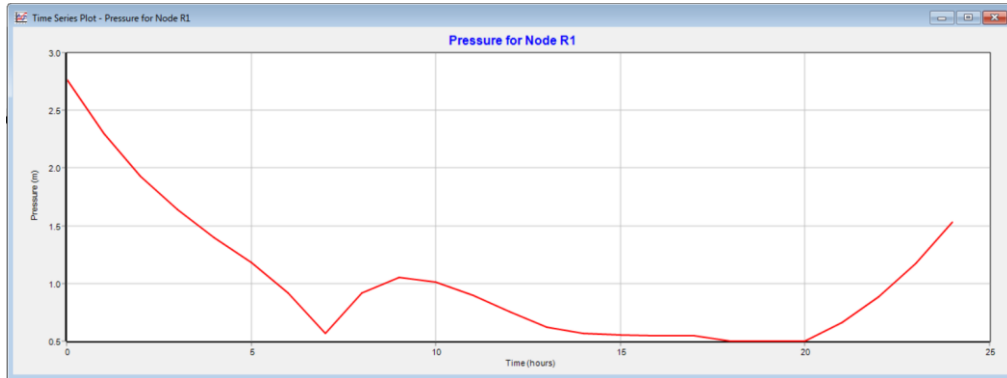
Vazão bombeada entre câmaras do reservatório - Proporção 60/40 - Vazão 1,50 – Reservatório cheio



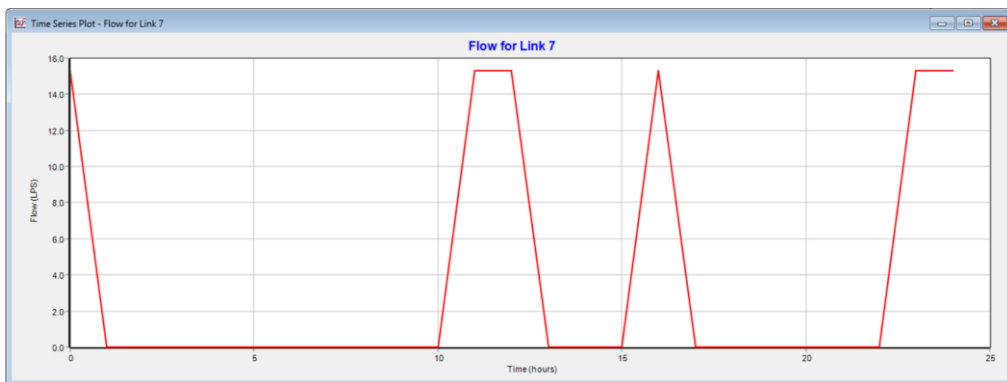
Nível d'água C.I. - Proporção 60/40 - Vazão 1,50 – Reservatório cheio



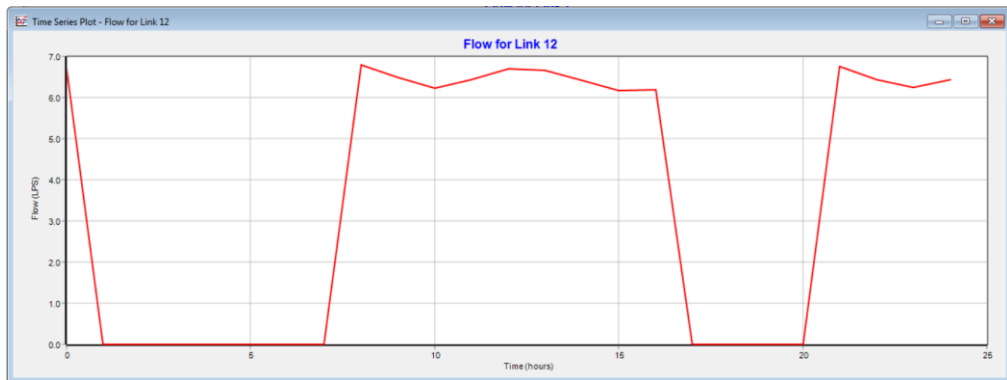
Nível d'água C.S. - Proporção 60/40 - Vazão 1,50 – Reservatório cheio



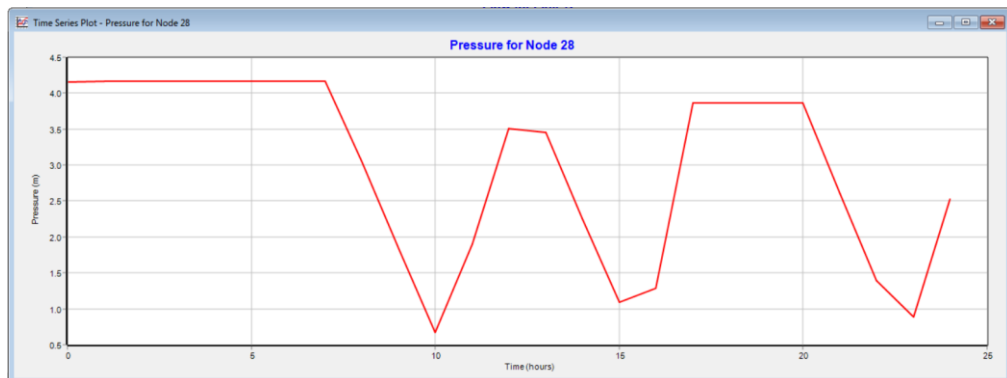
Vazão bombeada do poço à C.I. - Proporção 60/40 - Vazão 2,00 – Reservatório cheio



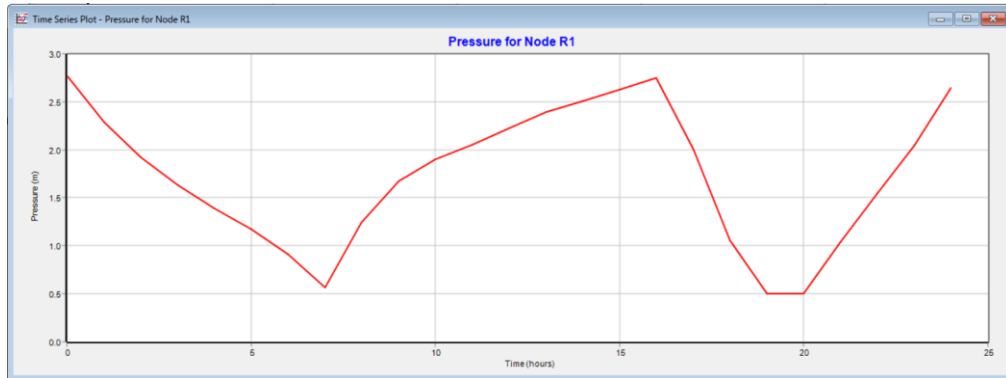
Vazão bombeada entre câmaras do reservatório - Proporção 60/40 - Vazão 2,00 – Reservatório cheio



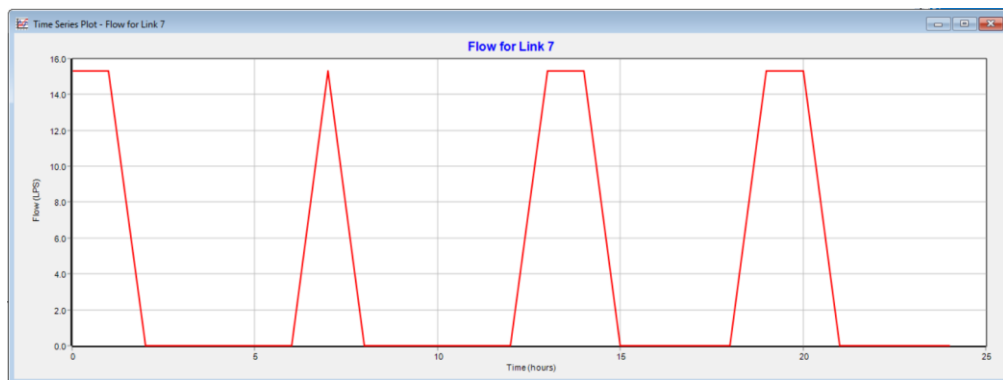
Nível d'água C.I. - Proporção 60/40 - Vazão 2,00 – Reservatório cheio



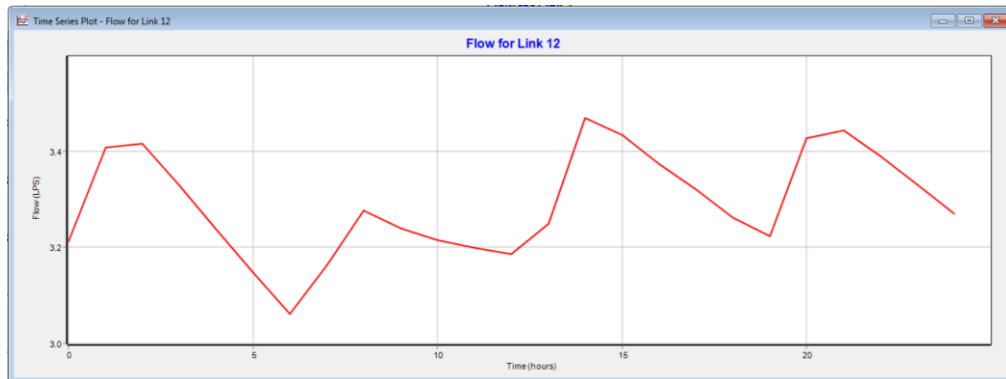
Nível d'água C.S. - Proporção 60/40 - Vazão 2,00 – Reservatório cheio



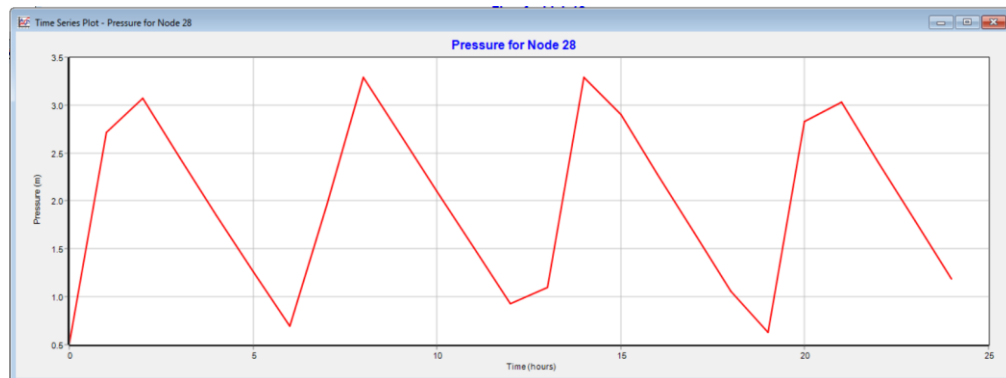
Vazão bombeada do poço à C.I. - Proporção 50/50 - Vazão média



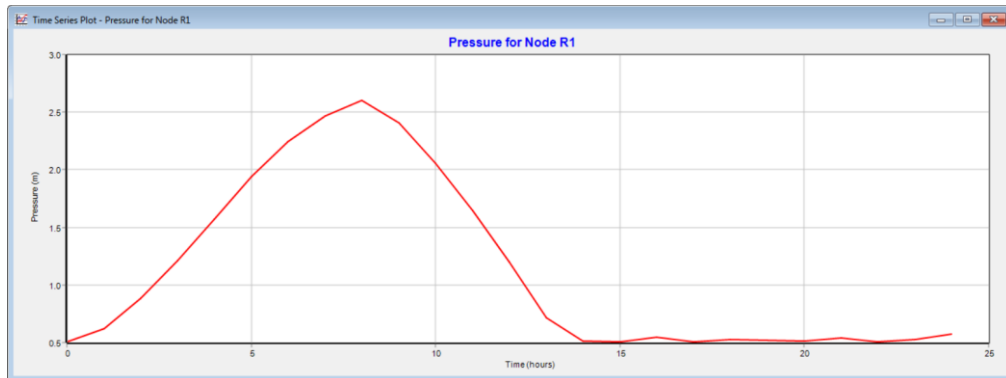
Vazão bombeada entre câmaras do reservatório - Proporção 50/50 - Vazão média



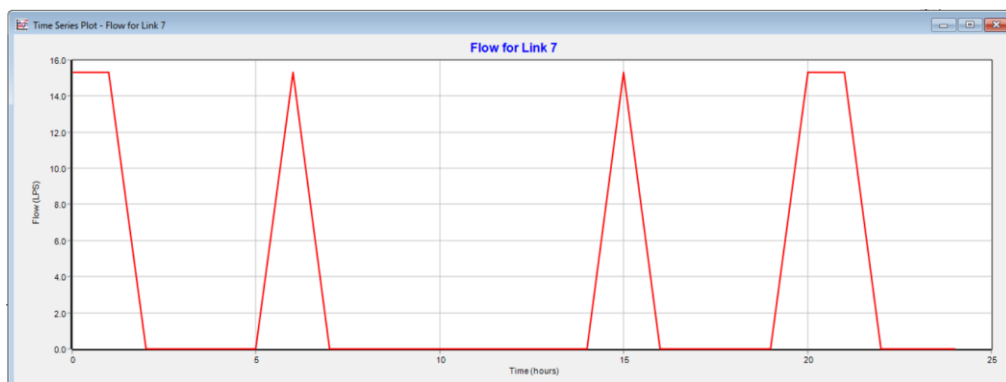
Nível d'água C.I. - Proporção 50/50 - Vazão média



Nível d'água C.S. - Proporção 50/50 - Vazão média



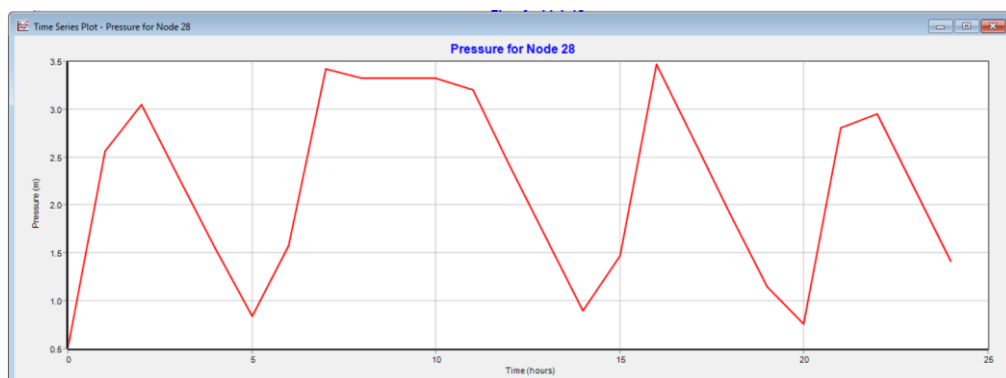
Vazão bombeada do poço à C.I. - Proporção 50/50 - Vazão 1,25



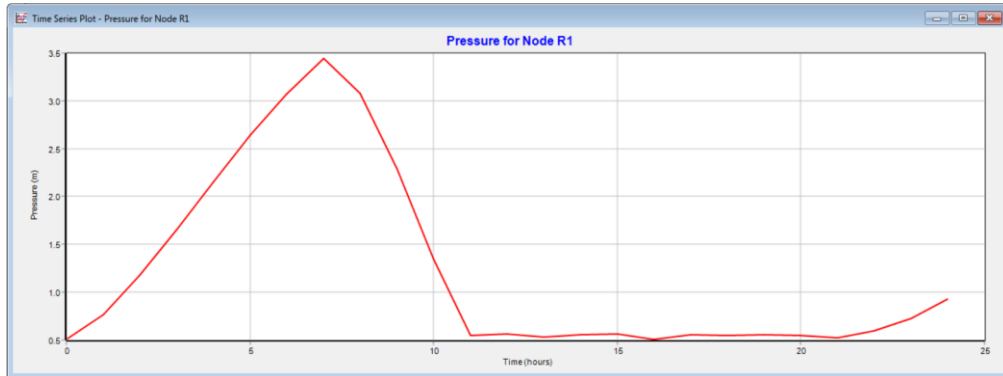
Vazão bombeada entre câmaras do reservatório - Proporção 50/50 - Vazão 1,25



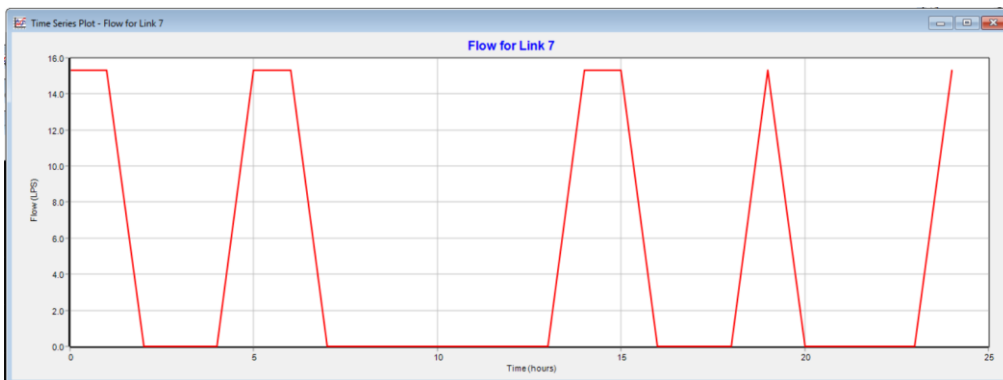
Nível d'água C.I. - Proporção 50/50 - Vazão 1,25



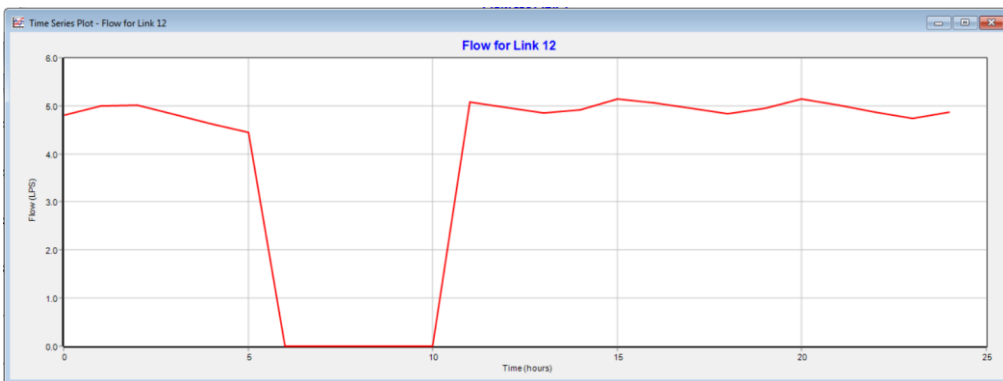
Nível d'água C.S. - Proporção 50/50 - Vazão 1,25



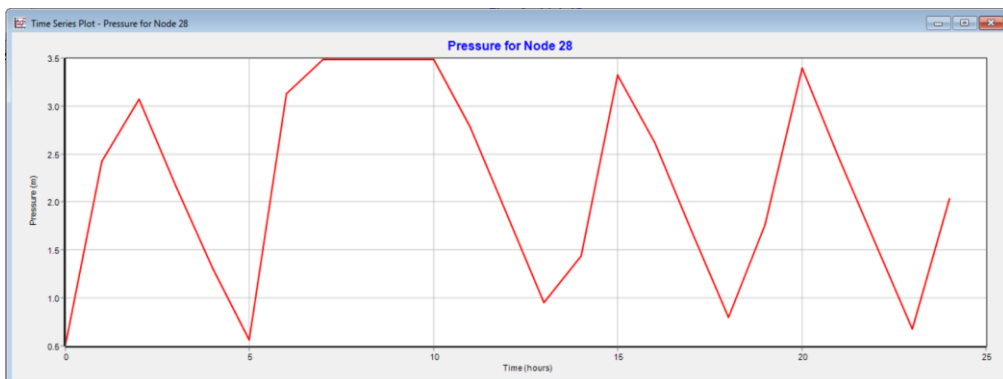
Vazão bombeada do poço à C.I. - Proporção 50/50 - Vazão 1,50



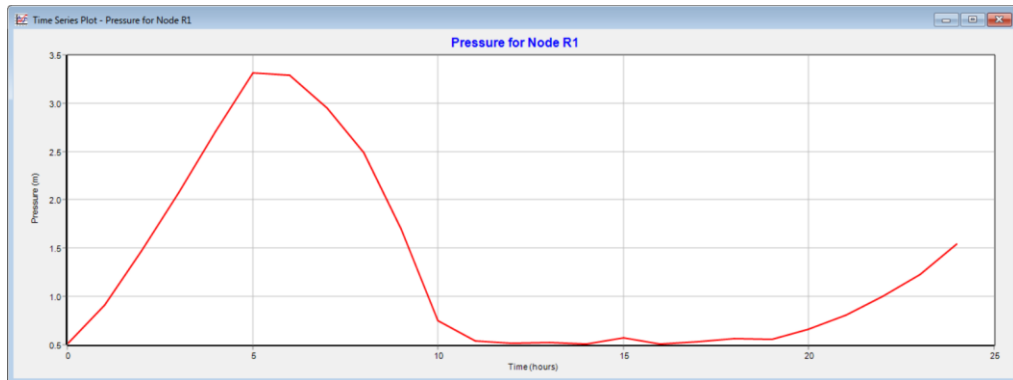
Vazão bombeada entre câmaras do reservatório - Proporção 50/50 - Vazão 1,50



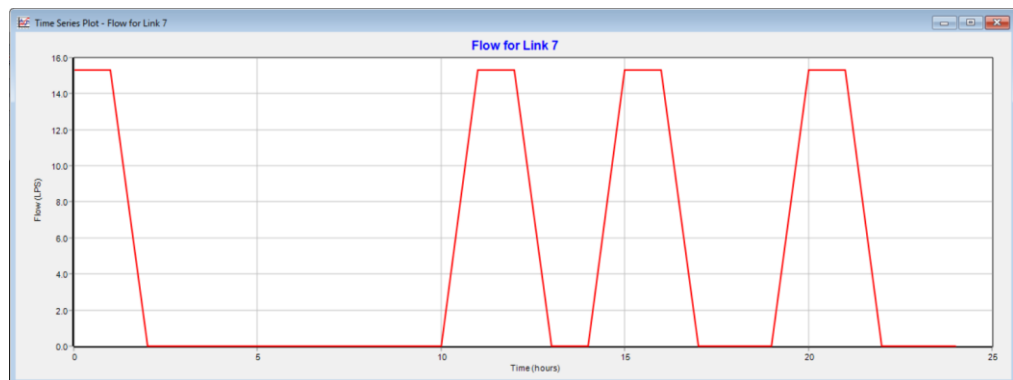
Nível d'água C.I. - Proporção 50/50 - Vazão 1,50



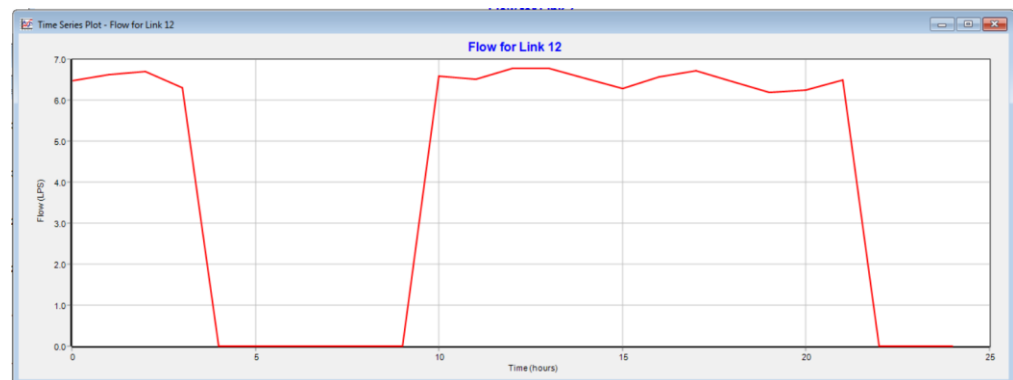
Nível d'água C.S. - Proporção 50/50 - Vazão 1,50



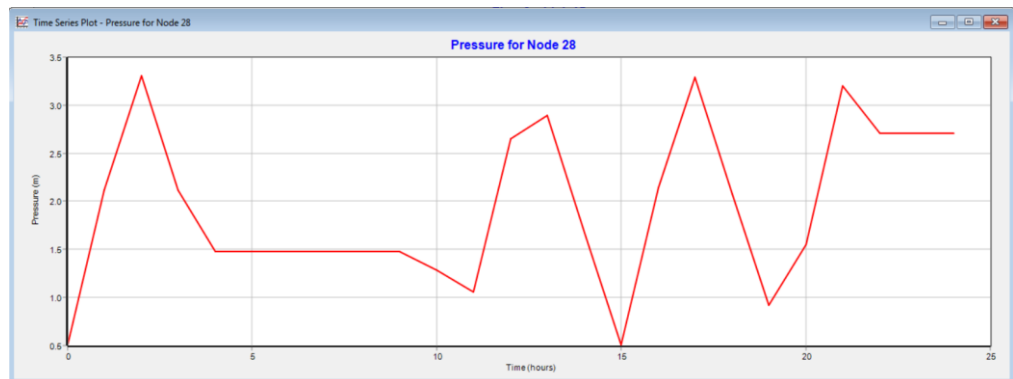
Vazão bombeada do poço à C.I. - Proporção 50/50 - Vazão 2,00



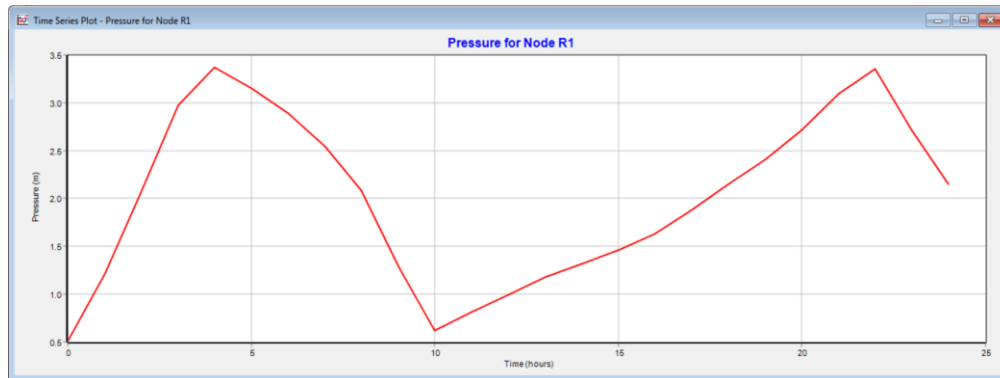
Vazão bombeada entre câmaras do reservatório - Proporção 50/50 - Vazão 2,00



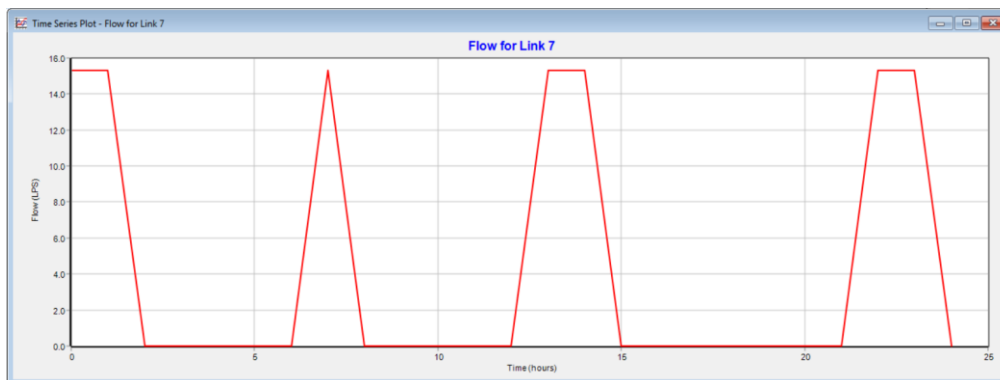
Nível d'água C.I. - Proporção 50/50 - Vazão 2,00



Nível d'água C.S. - Proporção 50/50 - Vazão 2,00



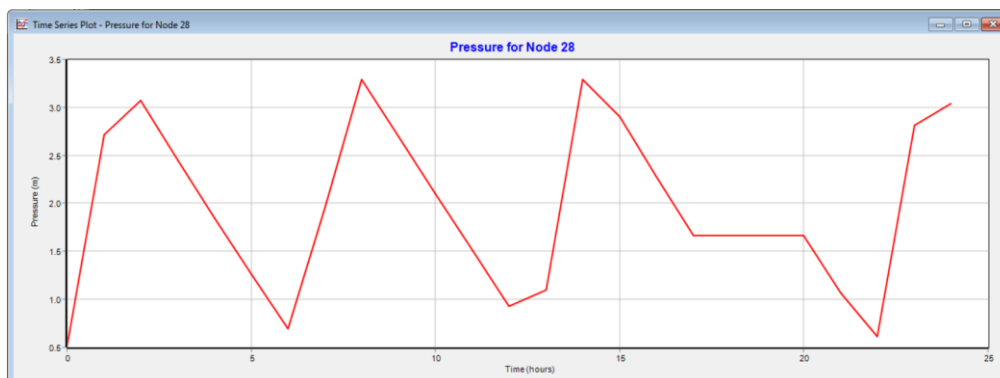
Vazão bombeada do poço à C.I. - Proporção 50/50 - Vazão média – Reservatório vazio



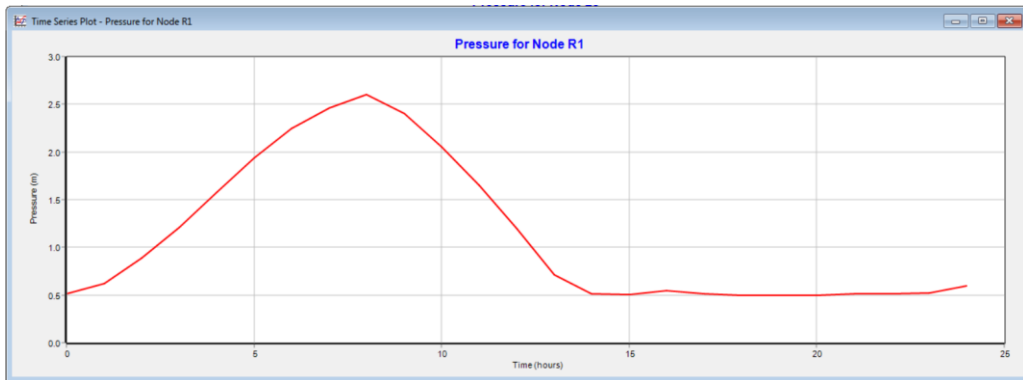
Vazão bombeada entre câmaras do reservatório - Proporção 50/50 - Vazão média – Reservatório vazio



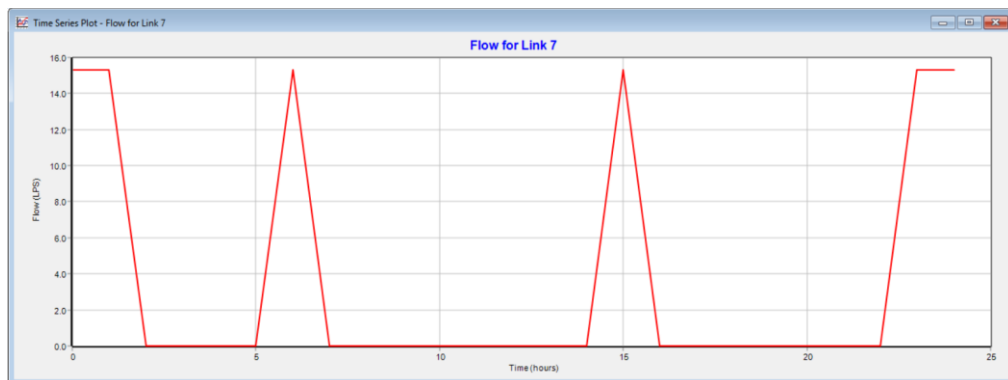
Nível d'água C.I. - Proporção 50/50 - Vazão média – Reservatório vazio



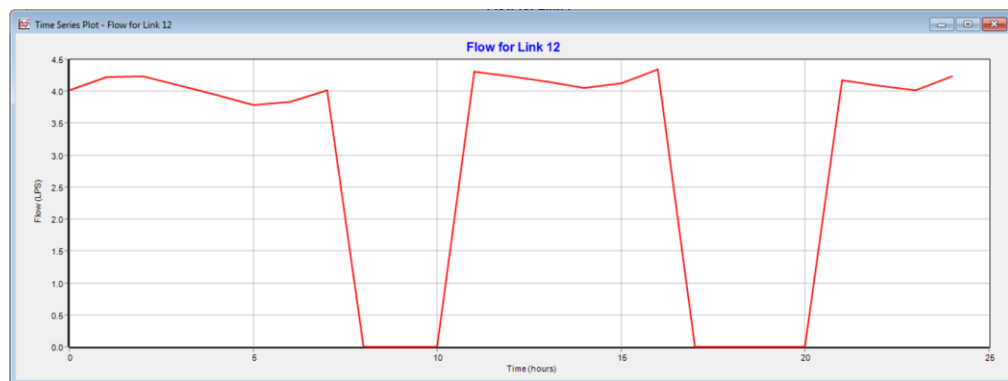
Nível d'água C.S. - Proporção 50/50 - Vazão média – Reservatório vazio



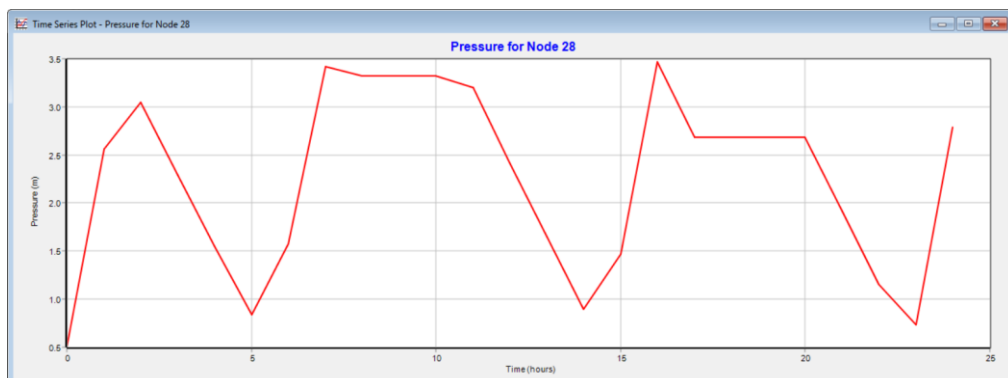
Vazão bombeada do poço à C.I. - Proporção 50/50 - Vazão 1,25 – Reservatório vazio



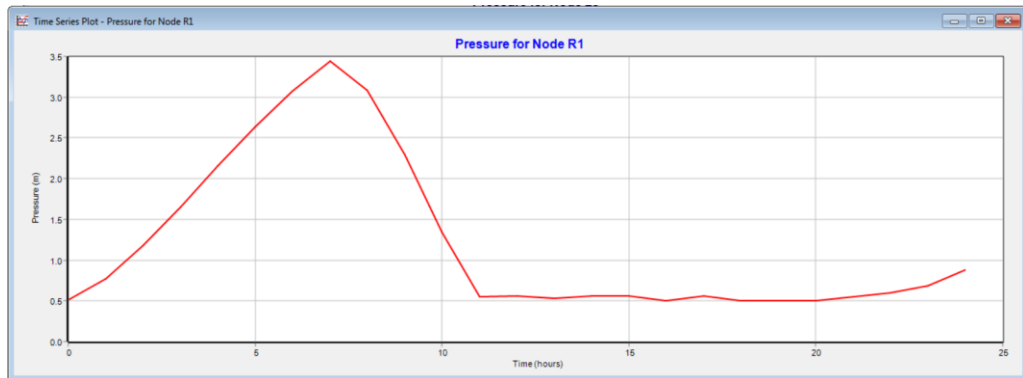
Vazão bombeada entre câmaras do reservatório - Proporção 50/50 - Vazão 1,25 – Reservatório vazio



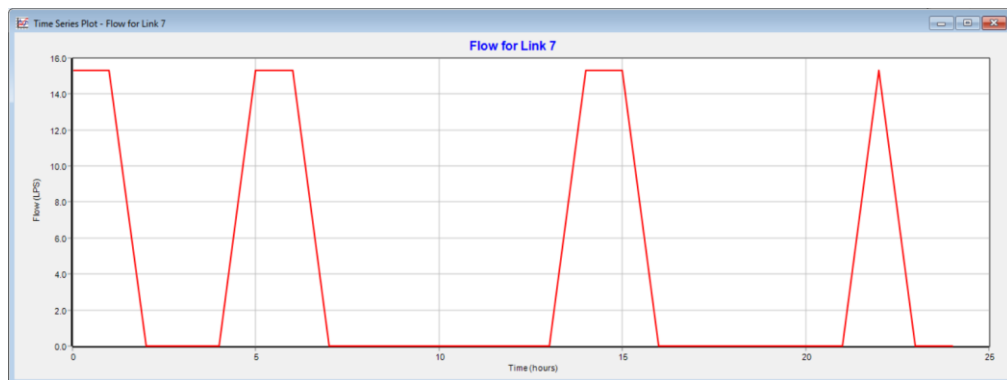
Nível d'água C.I. - Proporção 50/50 - Vazão 1,25 – Reservatório vazio



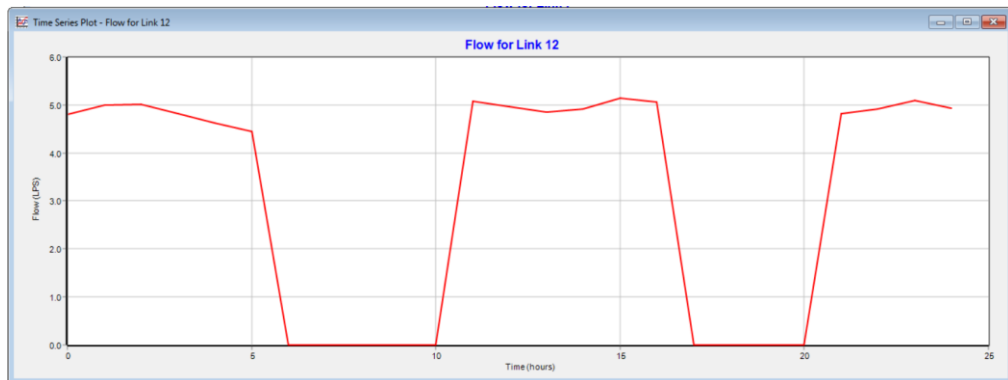
Nível d'água C.S. - Proporção 50/50 - Vazão 1,25 – Reservatório vazio



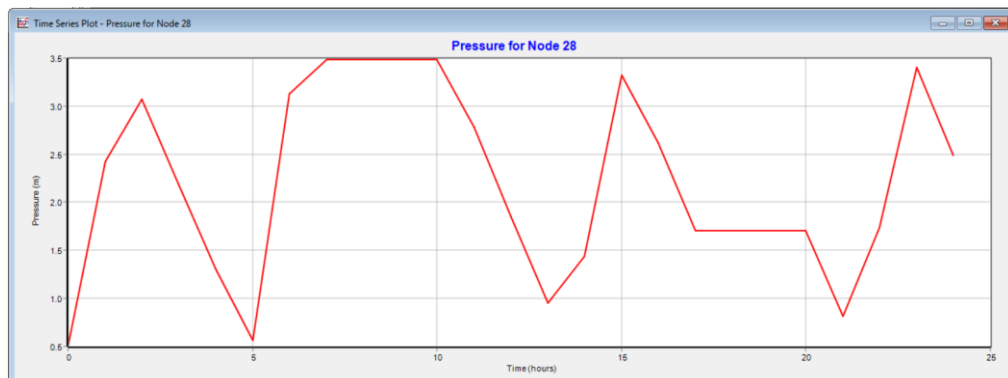
Vazão bombeada do poço à C.I. - Proporção 50/50 - Vazão 1,50 – Reservatório vazio



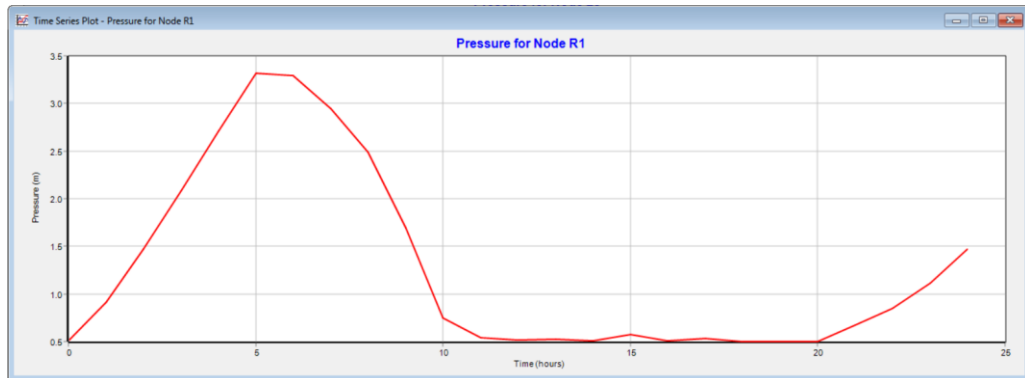
Vazão bombeada entre câmaras do reservatório - Proporção 50/50 - Vazão 1,50 – Reservatório vazio



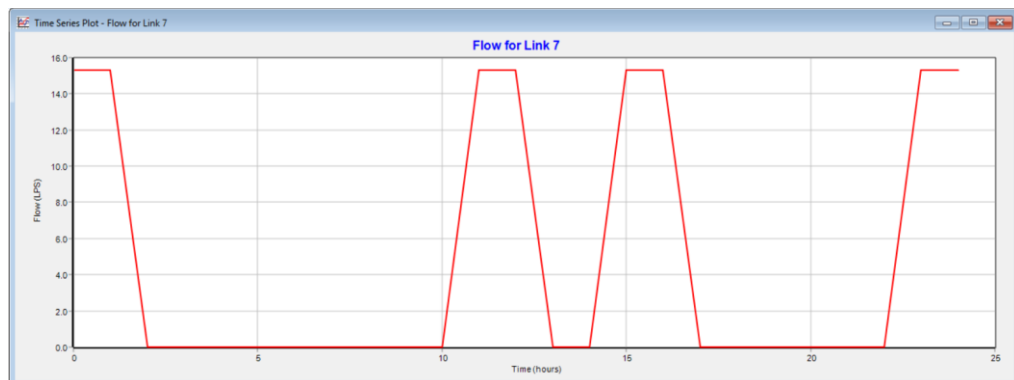
Nível d'água C.I. - Proporção 50/50 - Vazão 1,50 – Reservatório vazio



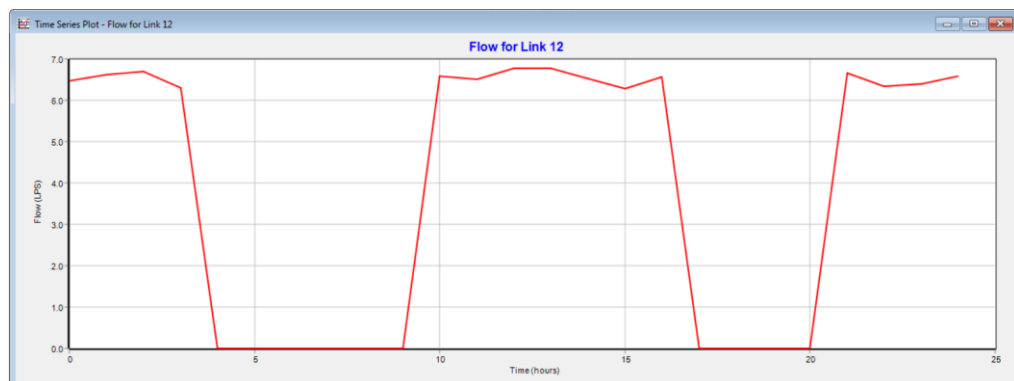
Nível d'água C.S. - Proporção 50/50 - Vazão 1,50 – Reservatório vazio



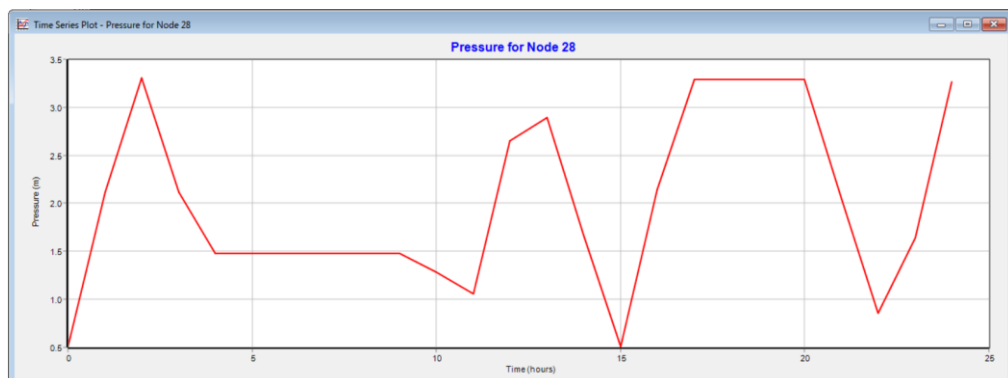
Vazão bombeada do poço à C.I. - Proporção 50/50 - Vazão 2,00 – Reservatório vazio



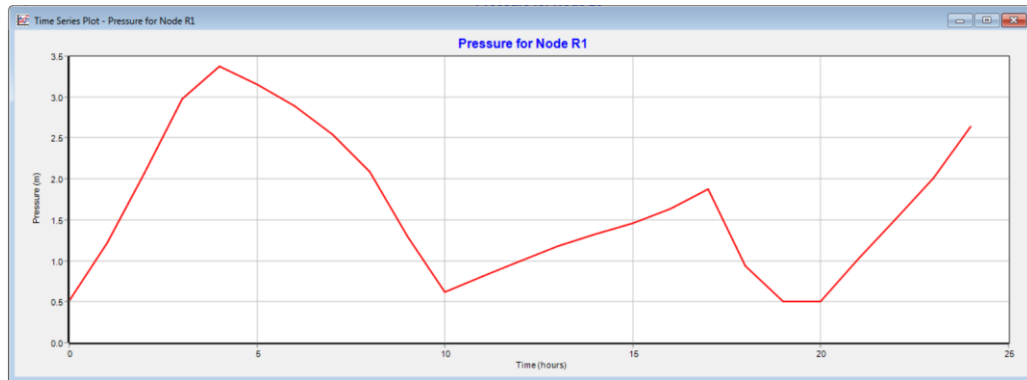
Vazão bombeada entre câmaras do reservatório - Proporção 50/50 - Vazão 2,00 – Reservatório vazio



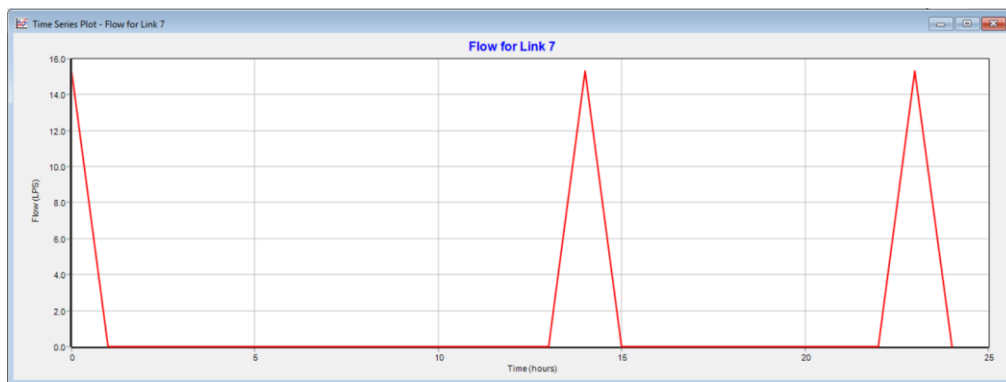
Nível d'água C.I. - Proporção 50/50 - Vazão 2,00 – Reservatório vazio



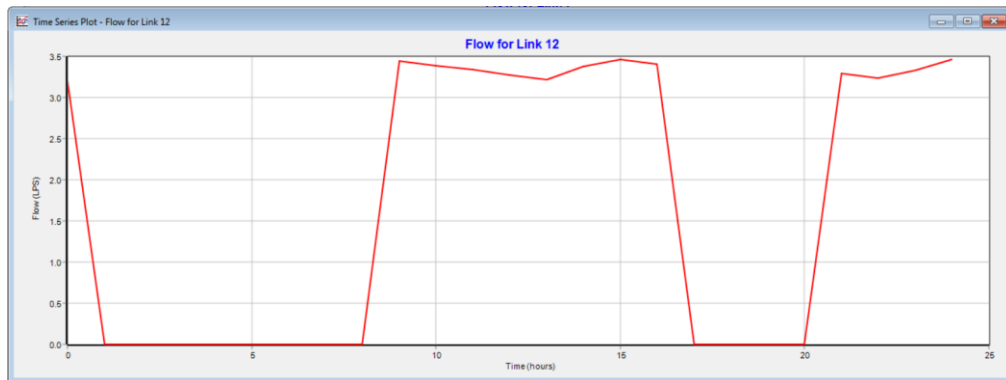
Nível d'água C.S. - Proporção 50/50 - Vazão 2,00 – Reservatório vazio



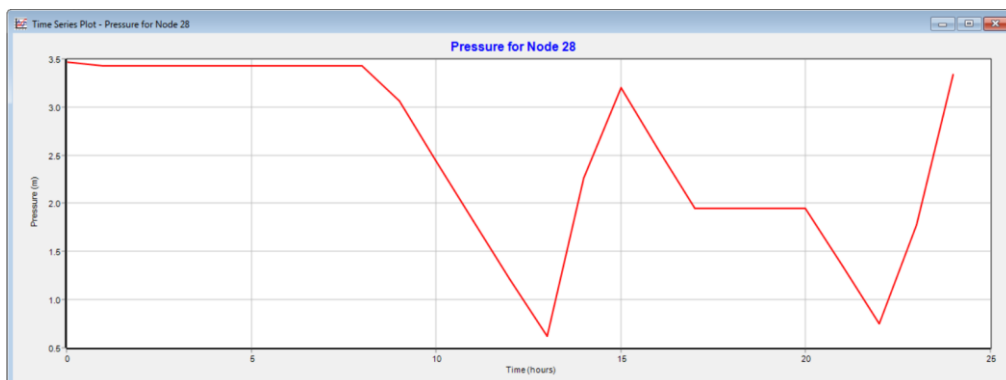
Vazão bombeada do poço à C.I. - Proporção 50/50 - Vazão média – Reservatório cheio



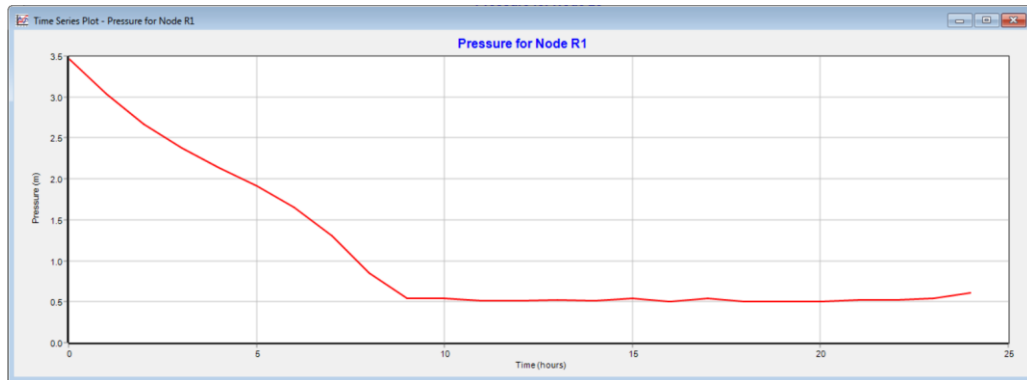
Vazão bombeada entre câmaras do reservatório - Proporção 50/50 - Vazão média – Reservatório cheio



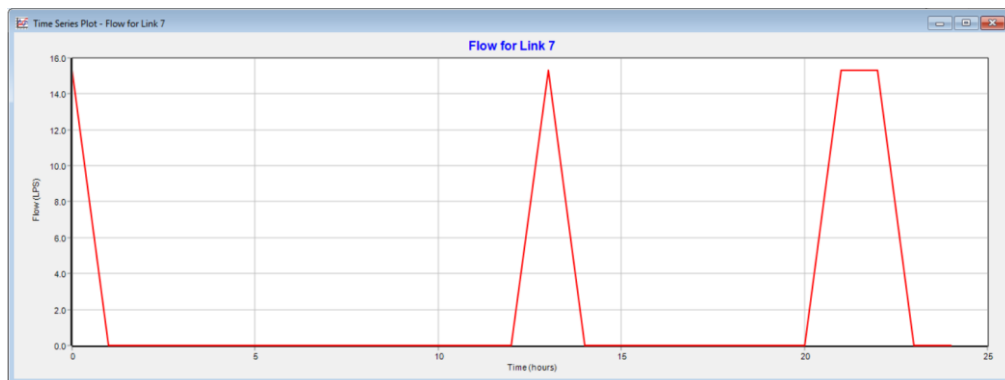
Nível d'água C.I. - Proporção 50/50 - Vazão média – Reservatório cheio



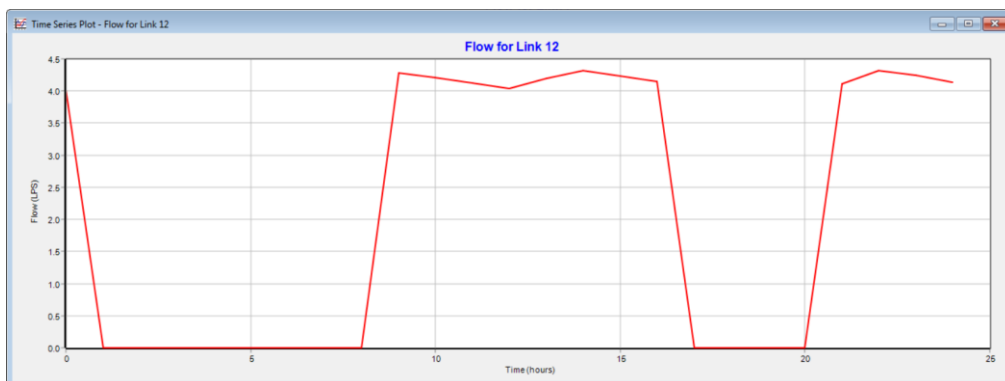
Nível d'água C.S. - Proporção 50/50 - Vazão média – Reservatório cheio



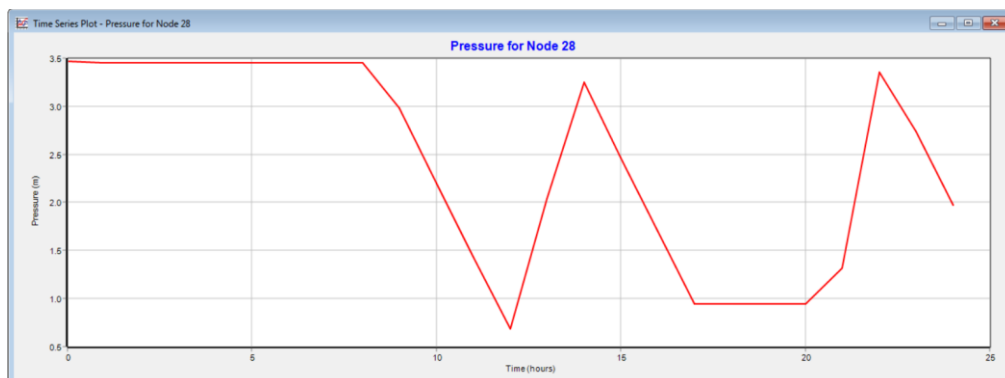
Vazão bombeada do poço à C.I. - Proporção 50/50 - Vazão 1,25 – Reservatório cheio



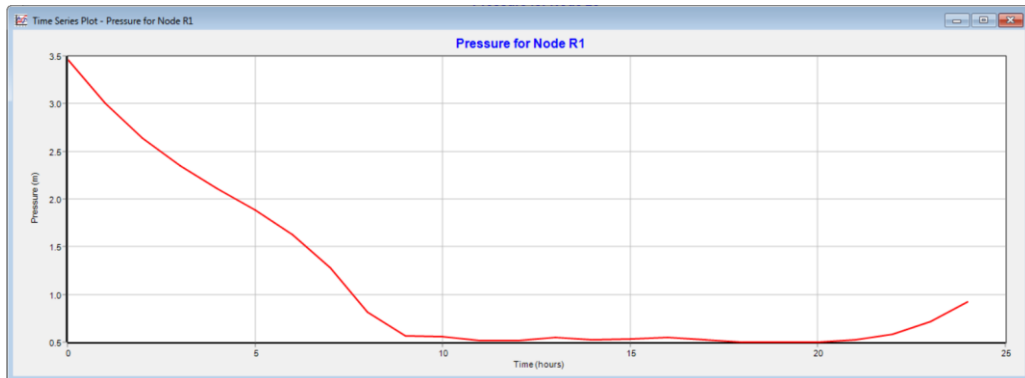
Vazão bombeada entre câmaras do reservatório - Proporção 50/50 - Vazão 1,25 – Reservatório cheio



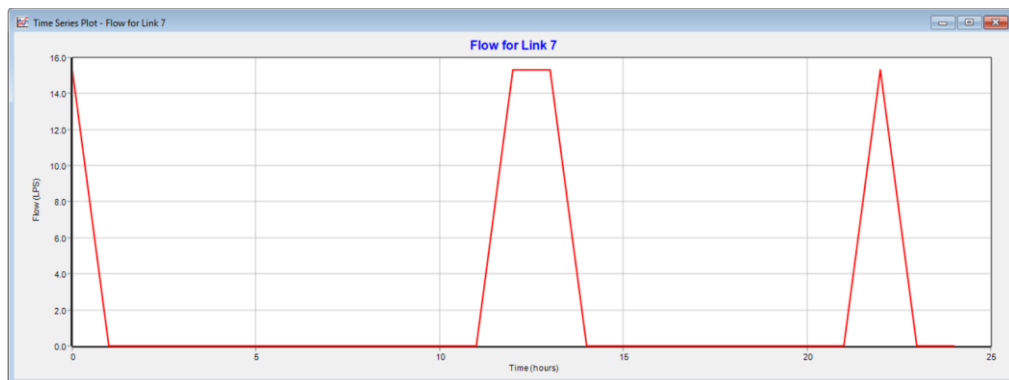
Nível d'água C.I. - Proporção 50/50 - Vazão 1,25 – Reservatório cheio



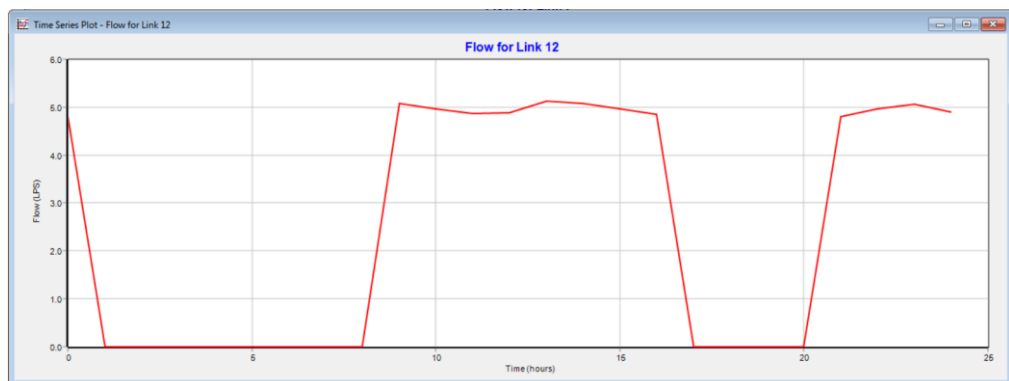
Nível d'água C.S. - Proporção 50/50 - Vazão 1,25 – Reservatório cheio



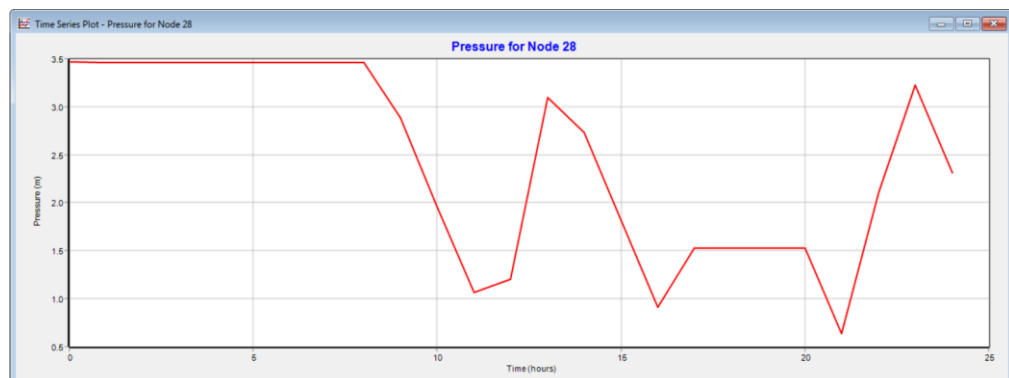
Vazão bombeada do poço à C.I. - Proporção 50/50 - Vazão 1,50 – Reservatório cheio



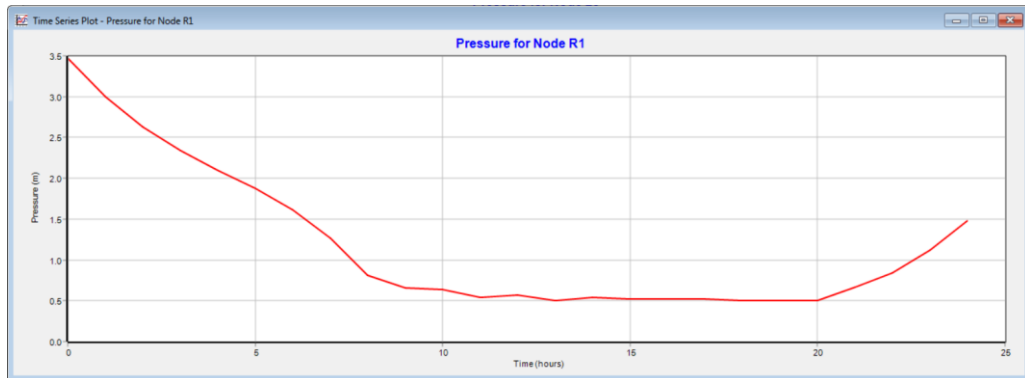
Vazão bombeada entre câmaras do reservatório - Proporção 50/50 - Vazão 1,50 – Reservatório cheio



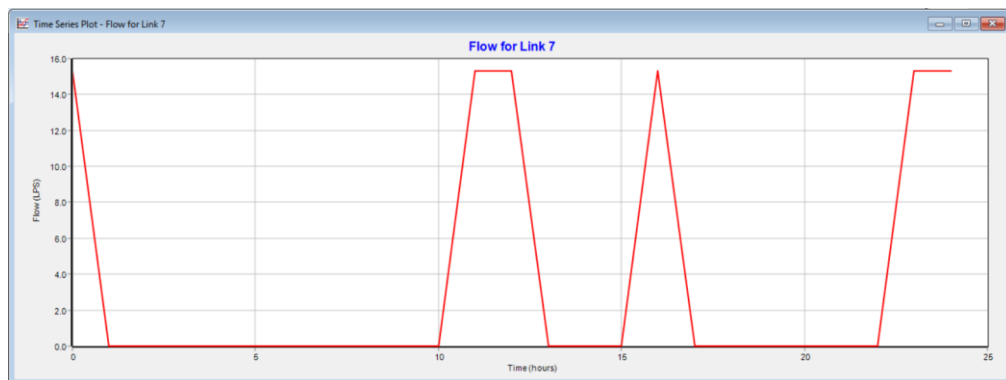
Nível d'água C.I. - Proporção 50/50 - Vazão 1,50 – Reservatório cheio



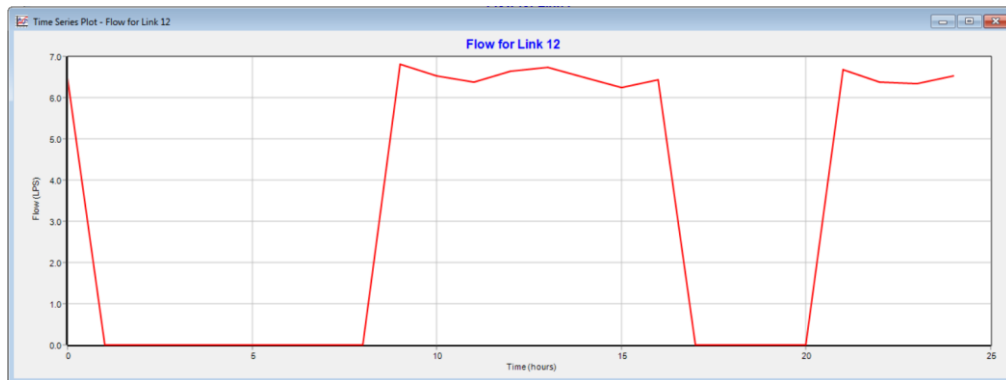
Nível d'água C.S. - Proporção 50/50 - Vazão 1,50 – Reservatório cheio



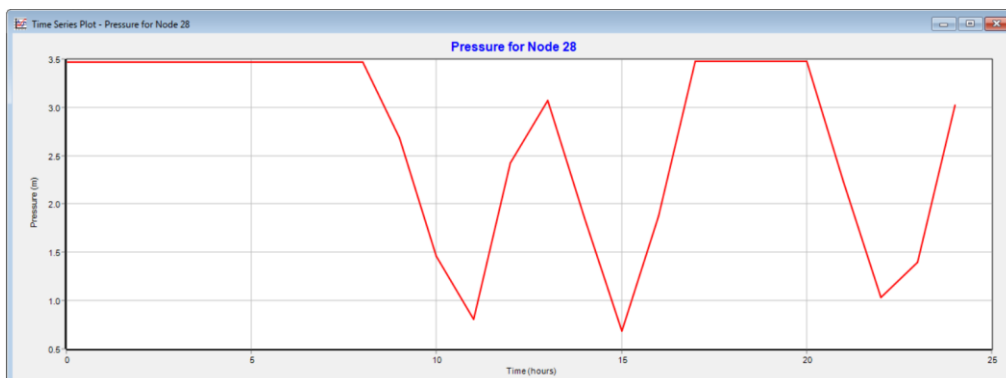
Vazão bombeada do poço à C.I. - Proporção 50/50 - Vazão 2,00 – Reservatório cheio



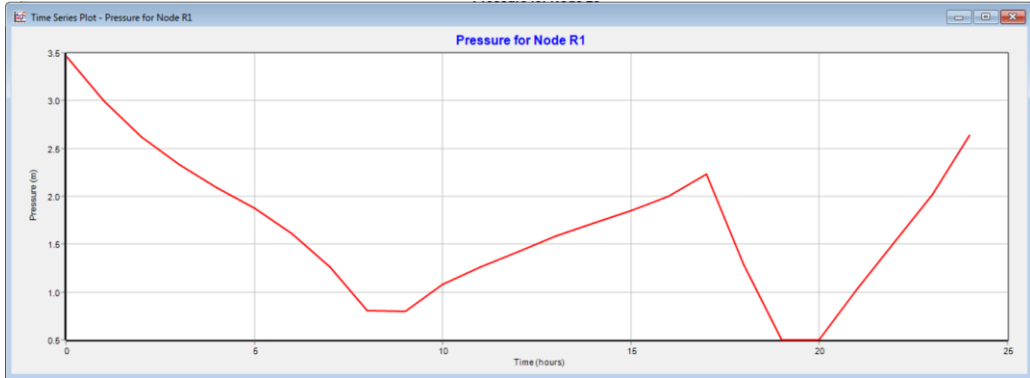
Vazão bombeada entre câmaras do reservatório - Proporção 50/50 - Vazão 2,00 – Reservatório cheio



Nível d'água C.I. - Proporção 50/50 - Vazão 2,00 – Reservatório cheio

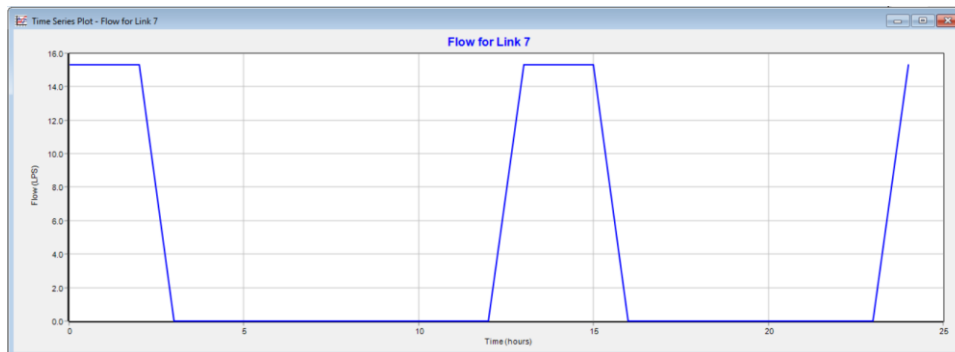


Nível d'água C.S. - Proporção 50/50 - Vazão 2,00 – Reservatório cheio

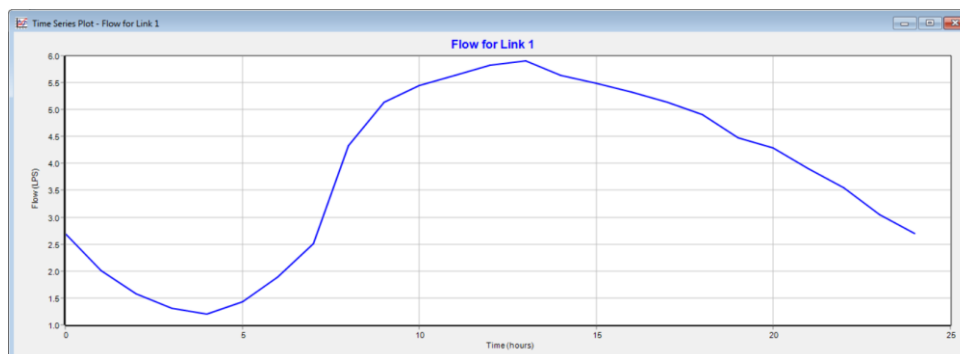


10. APÊNDICE B – GRÁFICOS DAS ANÁLISES DO SISTEMA BOOSTER

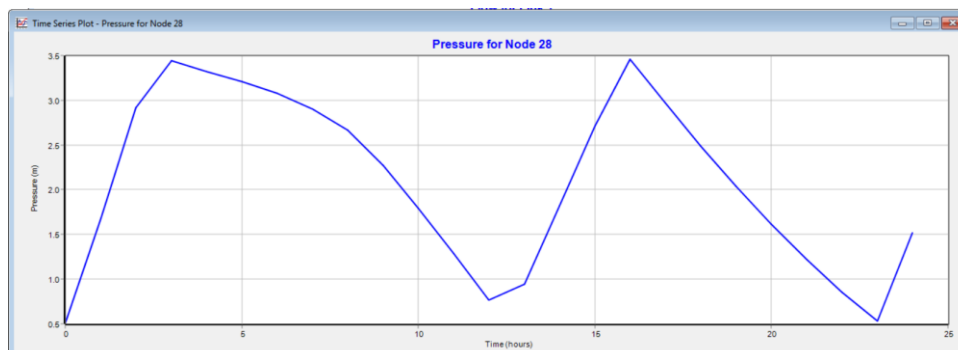
Vazão bombeada do poço ao reservatório – Volume armazenado 136,5m³ - Sem restrição de funcionamento



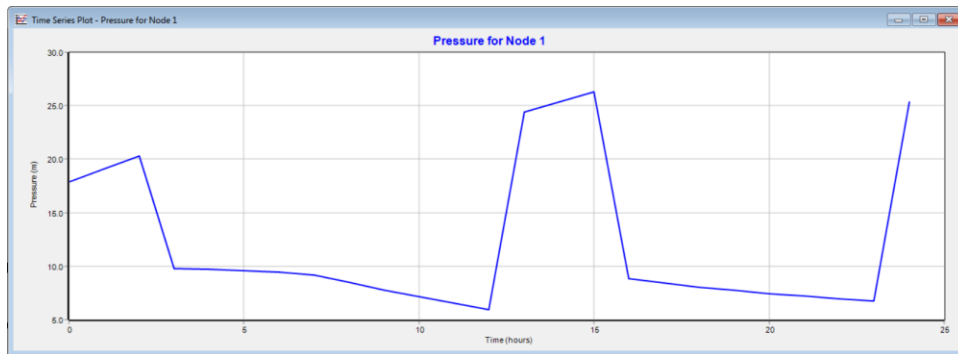
Vazão bombeada pelo *booster* – Volume armazenado 136,5m³ - Sem restrição de funcionamento



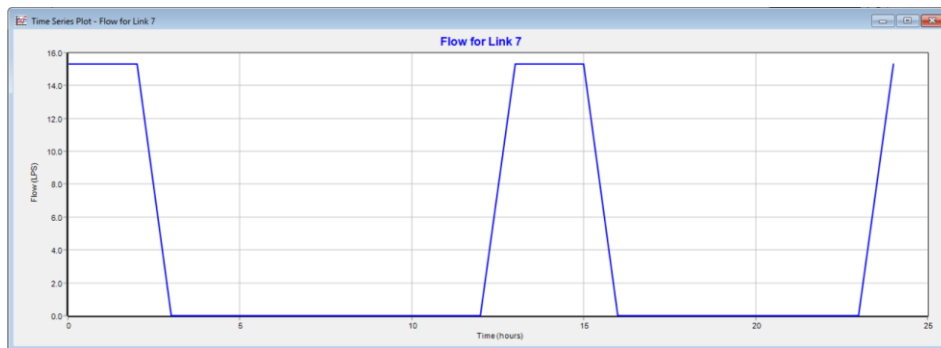
Nível d'água no reservatório – Volume armazenado 136,5m³ - Sem restrição de funcionamento



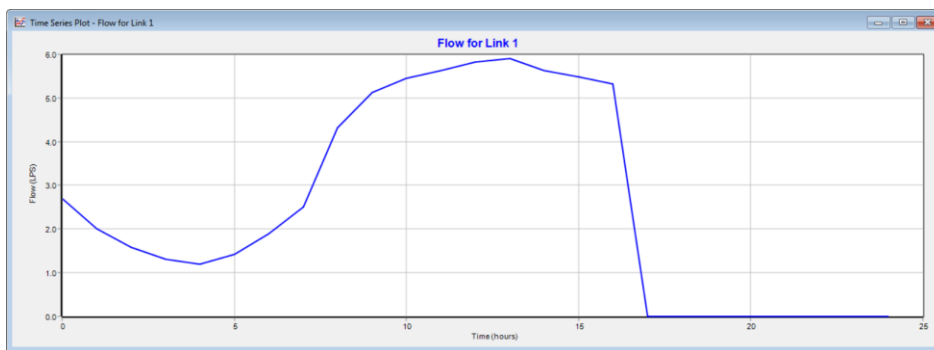
Pressão no ponto mais desfavorável – Volume armazenado 136,5m³ - Sem restrição de funcionamento



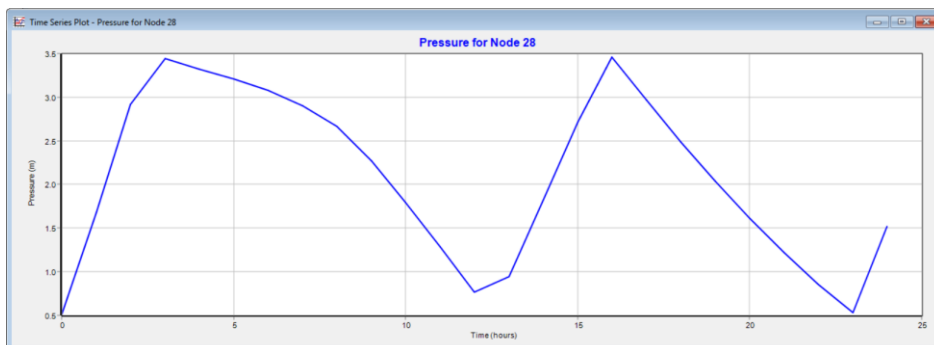
Vazão bombeada do poço ao reservatório – Volume armazenado 136,5m³ - Com restrição de funcionamento



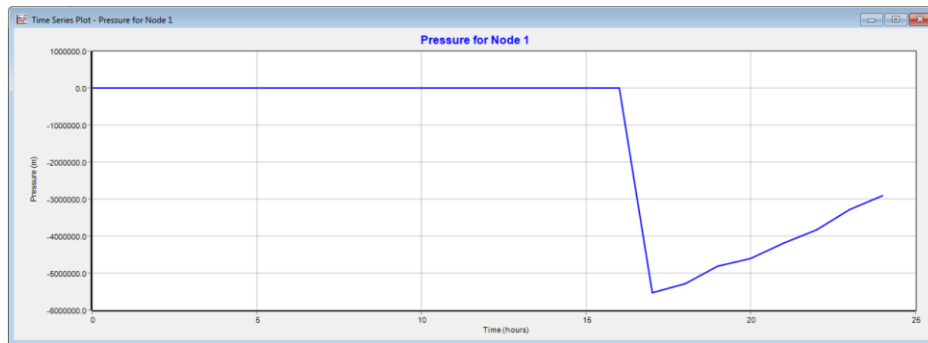
Vazão bombeada pelo booster – Volume armazenado 136,5m³ - Com restrição de funcionamento



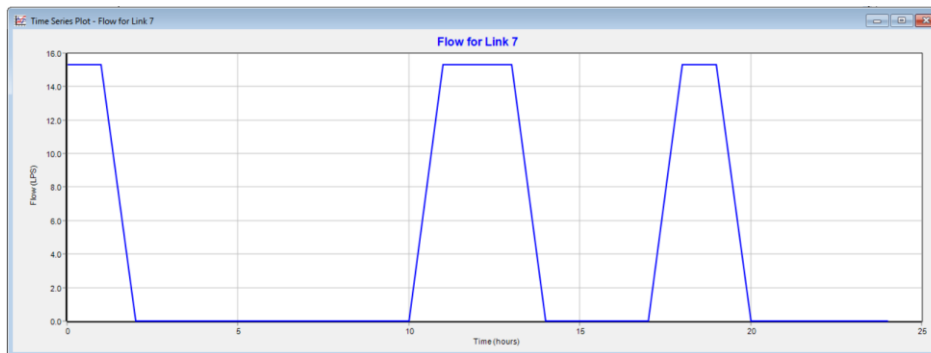
Nível d'água no reservatório – Volume armazenado 136,5m³ - Com restrição de funcionamento



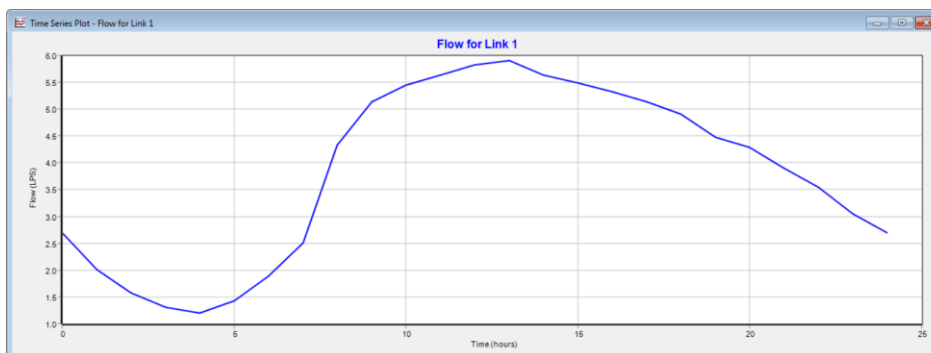
Pressão no ponto mais desfavorável – Volume armazenado 136,5m³ - Com restrição de funcionamento



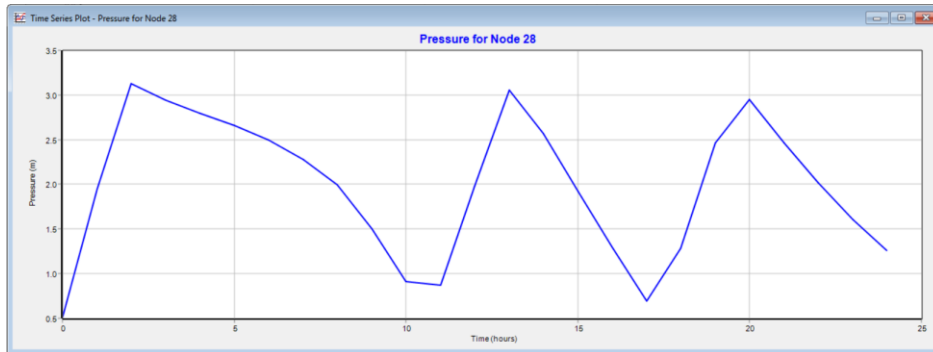
Vazão bombeada do poço ao reservatório – Volume armazenado 100,0m³ - Sem restrição de funcionamento



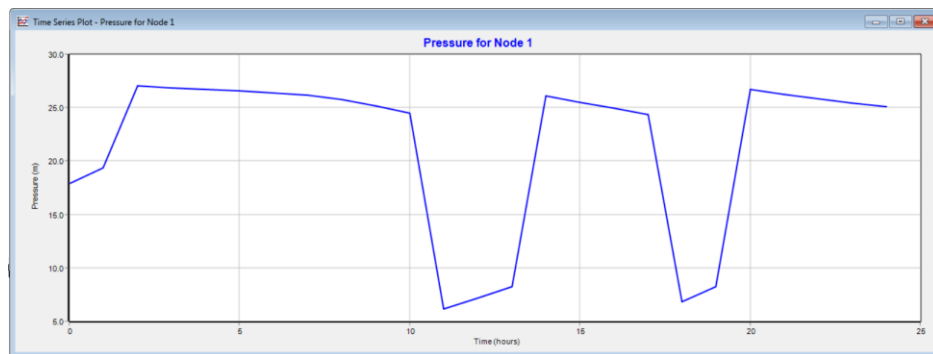
Vazão bombeada pelo *booster* – Volume armazenado 100,0m³ - Sem restrição de funcionamento



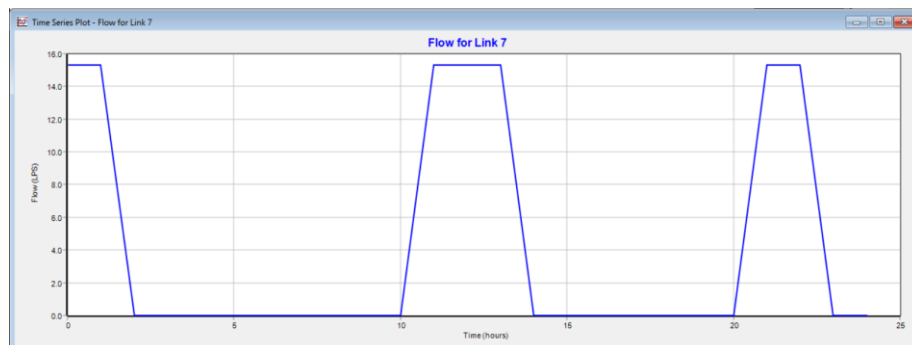
Nível d'água no reservatório – Volume armazenado 100,0m³ - Sem restrição de funcionamento



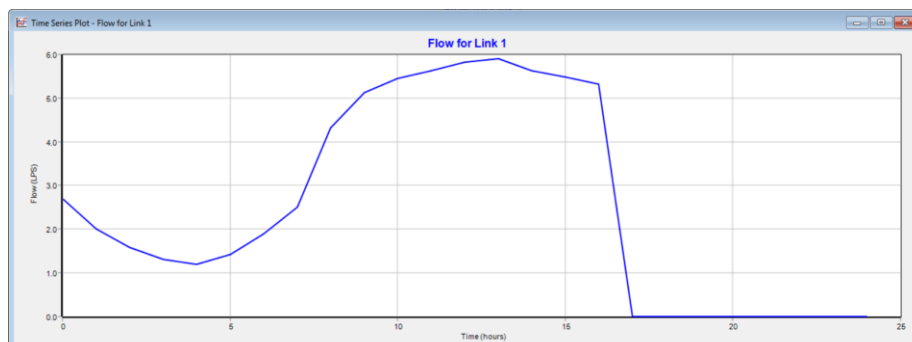
Pressão no ponto mais desfavorável – Volume armazenado 100,0m³ - Sem restrição de funcionamento



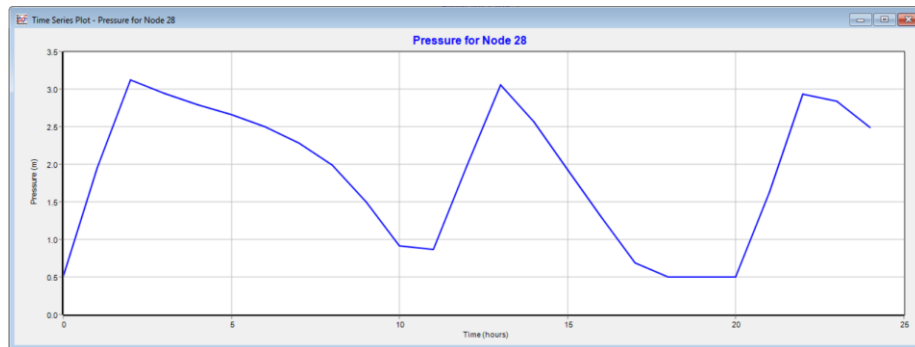
Vazão bombeada do poço ao reservatório – Volume armazenado 100,0m³ - Com restrição de funcionamento



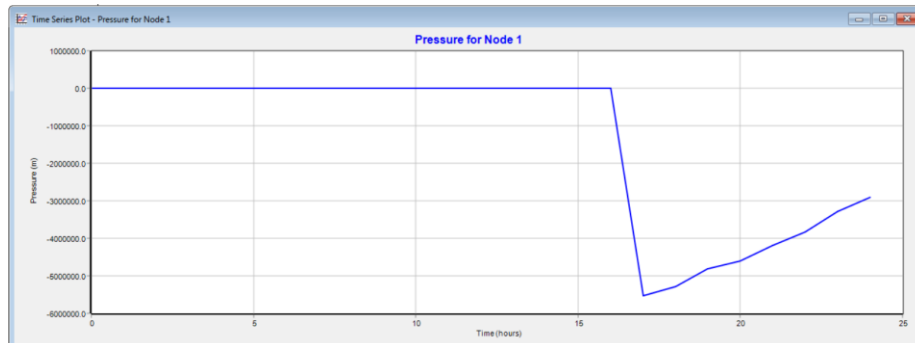
Vazão bombeada pelo booster – Volume armazenado 100,0m³ - Com restrição de funcionamento



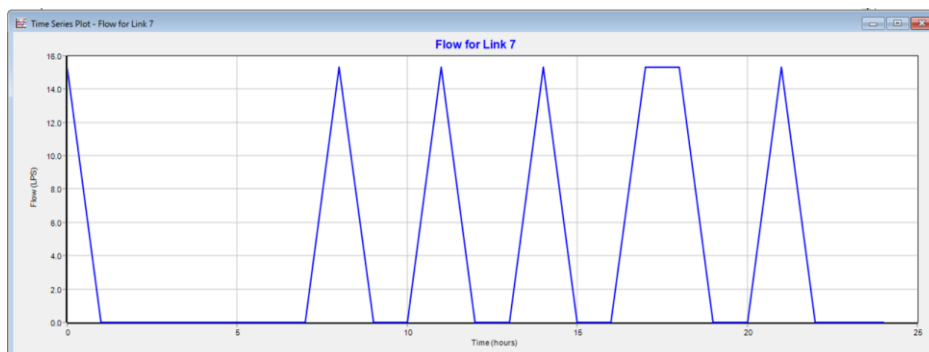
Nível d'água no reservatório – Volume armazenado 100,0m³ - Com restrição de funcionamento



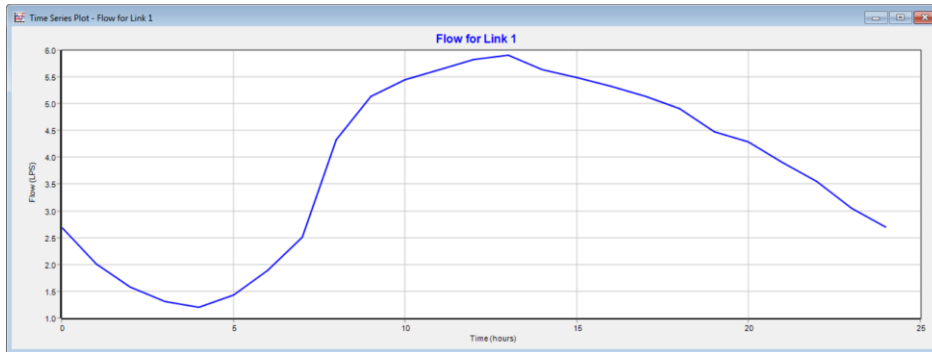
Pressão no ponto mais desfavorável – Volume armazenado 100,0m³ - Com restrição de funcionamento



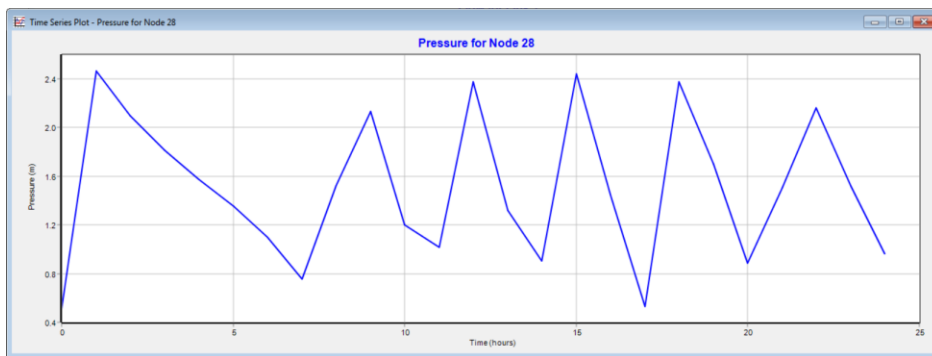
Vazão bombeada do poço ao reservatório – Volume armazenado 50,0m³ - Sem restrição de funcionamento



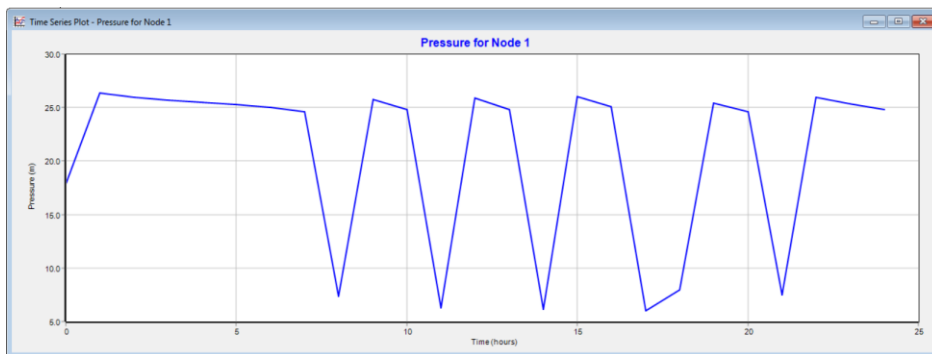
Vazão bombeada pelo booster – Volume armazenado 50,0m³ - Sem restrição de funcionamento



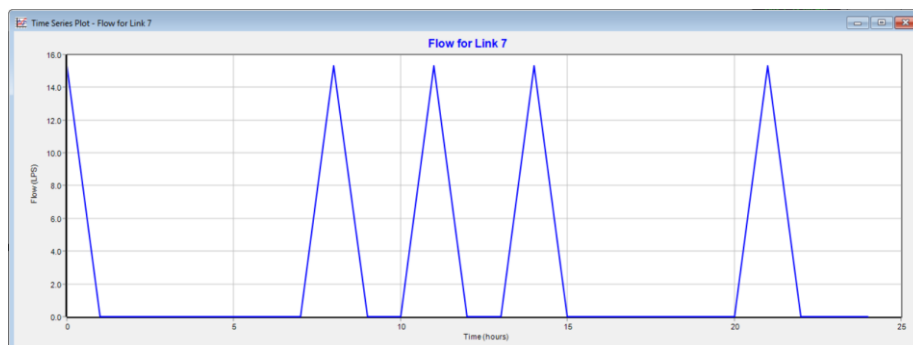
Nível d'água no reservatório – Volume armazenado 50,0m³ - Sem restrição de funcionamento



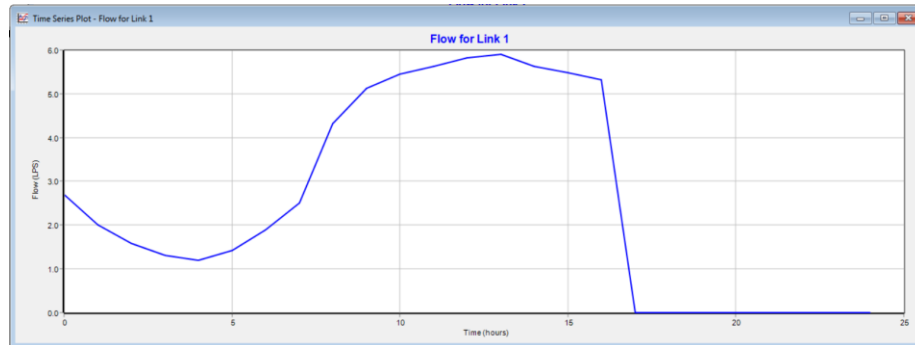
Pressão no ponto mais desfavorável – Volume armazenado 50,0m³ - Sem restrição de funcionamento



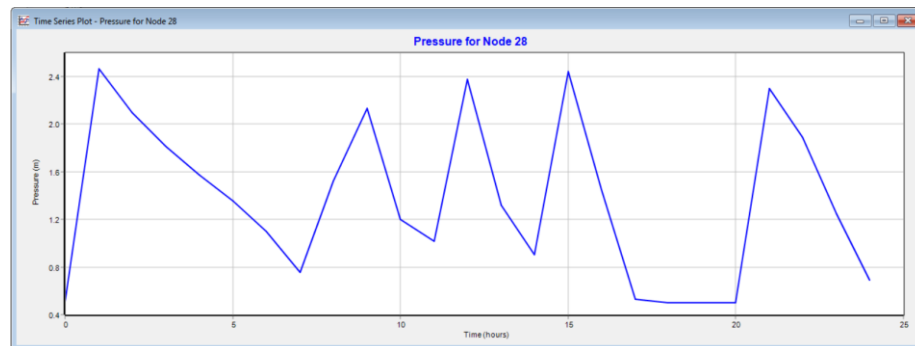
Vazão bombeada do poço ao reservatório – Volume armazenado 50,0m³ - Com restrição de funcionamento



Vazão bombeada pelo *booster* – Volume armazenado 50,0m³ - Com restrição de funcionamento



Nível d'água no reservatório – Volume armazenado 50,0m³ - Com restrição de funcionamento



Pressão no ponto mais desfavorável – Volume armazenado 50,0m³ - Com restrição de funcionamento

