



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
SERTÃO PERNAMBUCANO

CAMPUS PETROLINA ZONA RURAL

CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO LATO SENSU EM MANEJO DE SOLO E
ÁGUA

ÉRICO DE BARROS CAVALCANTI

**ESTUDO DE REABILITAÇÃO E MODERNIZAÇÃO DE REDES
COLETIVAS DE SISTEMAS PRESSURIZADOS EM PROJETO DE
IRRIGAÇÃO UTILIZANDO O SOFTWARE DE SIMULAÇÃO
HIDRÁULICA EPANET**

ÉRICO DE BARROS CAVALCANTI

**ESTUDO DE REABILITAÇÃO E MODERNIZAÇÃO DE REDES
COLETIVAS DE SISTEMAS PRESSURIZADOS EM PROJETO DE
IRRIGAÇÃO UTILIZANDO O SOFTWARE DE SIMULAÇÃO
HIDRÁULICA EPANET**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao IF Sertão –
PE, Campus Petrolina - Zona Rural, exigido para a obtenção de
título de especialista em Manejo de Solo e Água.

Orientador: Prof. Dr. Luís Fernando de Souza Magno
Campeche.

PETROLINA – PE 2023

C377 Cavalcanti, Érico de Barros.

Estudo de reabilitação e modernização de redes coletivas de sistemas pressurizados em projeto de irrigação utilizando o software de simulação hidráulica EPANET / Érico de Barros Cavalcanti. - Petrolina, 2023.
37 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Manejo de Solo e Água) -Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano, Campus Petrolina Zona Rural, 2023.

Orientação: Prof. Dr. Luís Fernando de Souza Magno Campeche.

1. Hidráulica na agricultura. 2. Desempenho hidráulico. 3. Irrigação. 4. Projeto Salitre. I. Título.

CDD 627.52

ÉRICO DE BARROS CAVALCANTI

**ESTUDO DE REABILITAÇÃO E MODERNIZAÇÃO DE REDES
COLETIVAS DE SISTEMAS PRESSURIZADOS EM PROJETO DE
IRRIGAÇÃO UTILIZANDO O SOFTWARE DE SIMULAÇÃO
HIDRÁULICA EPANET**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao IF Sertão –
PE, Campus Petrolina - Zona Rural, exigido para a obtenção de
título de especialista em Manejo de Solo e Água.

Aprovado em _____ de _____ de _____.

Prof. Dr. Luís Fernando de Souza Magno Campeche (Orientador) IF
Sertão - PE, Campus Petrolina Zona Rural

Prof. Dr. José Sebastião Costa de Sousa IF
Sertão - PE, Campus Petrolina Zona Rural

Prof. Dr. Marlon Gomes da Rocha
IF Sertão - PE, Campus Petrolina Zona Rural

AGRADECIMENTOS

Aos que me acompanharam nesta jornada acadêmica, gostaria de expressar minha gratidão sincera pelos seus apoios fundamentais na conclusão deste curso. À minha amada família, filhos e esposa, sou imensamente grato pelo amor, apoio incondicional e compreensão. Sem a presença de vocês ao meu lado, esta conquista não seria possível. Agradeço por serem minha fonte de motivação e por compreenderem os momentos em que precisei me dedicar exclusivamente aos estudos.

Desejo também agradecer à instituição IF Sertão – PE, Campus Petrolina Zona Rural, professores e orientador, que desempenharam papéis elementares no meu desenvolvimento acadêmico. Sua expertise, dedicação e orientações contribuíram para o meu crescimento intelectual e para a conclusão bem-sucedida deste trabalho. Expresso minha gratidão aos técnicos da Codevasf e do Distrito de Irrigação do Projeto Salitre pela disponibilidade em colaborar com a realização deste estudo em suas instalações. Agradeço a gentileza, compartilhamento de conhecimentos e assistência prestada durante o processo de pesquisa.

Por fim, gostaria de estender meu agradecimento a todos os colegas e amigos que me acompanharam ao longo dessa jornada acadêmica. Suas trocas de experiências, debates e momentos de convivência foram valiosos para manter o equilíbrio emocional durante este desafio. A todos os mencionados, minha profunda gratidão. Seus apoios foram essenciais e contribuíram significativamente para a conclusão deste trabalho. Que este TCC possa agregar conhecimento e inspirar outros estudantes em seus projetos futuros.

RESUMO

Os sistemas de distribuição de água para a irrigação têm apresentado deficiências operacionais devido ao aumento da demanda e à falta de manutenção adequada. Com a ampliação irregular das áreas irrigadas e mudanças nos padrões de consumo dos irrigantes, esses sistemas se tornaram cada vez mais complexos, exigindo uma análise mais precisa do comportamento hidráulico da rede. O objetivo geral foi avaliar o sistema secundário de distribuição de água para irrigação do setor hidráulico SHPpp – 220 do Projeto de Irrigação Salitre, localizado em Juazeiro - BA, verificando o funcionamento da rede pressurizada de distribuição de acordo com as grandezas estabelecidas no projeto executivo. A metodologia utilizada consistiu em quatro etapas, empregando o simulador hidráulico EPANET 2.0 para a realização de simulações estáticas e dinâmicas do comportamento hidráulico no setor SHPpp-220. A aplicabilidade do software EPANET 2.0 na avaliação do desempenho de sistemas de irrigação pressurizados foi verificada com sucesso, demonstrando sua eficácia como uma ferramenta de análise. Além disso, o uso do EPANET 2.0 como uma ferramenta de apoio à tomada de decisões relacionadas à solicitação de mudanças na alocação de vazão individual se mostrou eficiente, proporcionando informações valiosas para o processo de tomada de decisões, permitiu também a realização de análises mais precisas nas distorções causadas por ampliações irregulares das áreas irrigadas e estabilização de pressões, contribuindo para uma melhor compreensão desses fenômenos e possibilitando a implementação de medidas corretivas adequadas. O software EPANET demonstrou ser uma ferramenta eficaz na avaliação do desempenho de sistemas de irrigação pressurizados e no apoio à tomada de decisões.

Palavras-chave: Irrigação Salitre. Simulação dinâmica. Simulação estática. Desempenho hidráulico.

ABSTRACT

Water distribution systems for irrigation have shown operational deficiencies due to increased demand and lack of proper maintenance. With the irregular expansion of irrigated areas and changes in irrigant consumption patterns, these systems have become increasingly complex, requiring a more accurate analysis of the hydraulic behavior of the network. The general objective was to evaluate the secondary water distribution system for irrigation of the hydraulic sector SHPpp – 220 of the Salitre Irrigation Project, located in Juazeiro - BA, verifying the operation of the pressurized distribution network according to the magnitudes established in the executive project. The methodology used consisted of four stages, using the EPANET 2.0 hydraulic simulator to carry out static and dynamic simulations of the hydraulic behavior in the SHPpp-220 sector. The applicability of the EPANET 2.0 software in evaluating the performance of pressurized irrigation systems was successfully verified, demonstrating its effectiveness as an analysis tool. In addition, the use of EPANET 2.0 as a support tool for decision-making related to requesting changes in individual flow allocation proved to be efficient, providing valuable information for the decision-making process, also allowing for more accurate analysis. in distortions caused by irregular expansion of irrigated areas and pressure stabilization, contributing to a better understanding of these phenomena and enabling the implementation of adequate corrective measures. EPANET software has proven to be an effective tool in evaluating the performance of pressurized irrigation systems and in supporting decision-making.

Keywords: Salitre irrigation, Dynamic simulation, Static simulation, Hydraulic performance.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	9
2	OBJETIVOS	10
2.1.	Objetivo geral.....	10
2.2.	Objetivos específicos	10
3	REDES COLETIVAS DE SISTEMAS PRESSURIZADOS	11
3.1.	Modernização e reabilitação de sistemas de condução de água	11
3.2.	Software EPANET	14
4	MATERIAIS E MÉTODOS	15
4.1.	Caracterização do local	16
4.2.	Critérios e parâmetros adotados	16
4.3.	Caracterização das etapas.....	18
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	19
5.1.	Análise após calibração.....	21
6	CONCLUSÕES.....	23
7	RECOMENDAÇÕES E RESULTADOS.....	24
	REFERÊNCIAS.....	26
	ANEXO I – Layout atual do setor hidráulico SHPPP – 220	28
	APÊNDICE A – Distribuição das pressões dos nós na simulação estática do funcionamento hidráulico do setor SHPPP - 220 projetado originalmente	29
	APÊNDICE B – Resultado da simulação dinâmica do funcionamento hidráulico do setor da EP - 220 com o layout reduzido para 73 lotes e redução da vazão dos lotes de 1,44 l/s/ha para 1,10 l/s/ha	30
	APÊNDICE C – Resultado da simulação dinâmica do funcionamento hidráulico do setor da EP - 220 sob situação atual de funcionamento.....	31
	APÊNDICE D – Resultado da simulação estática do funcionamento hidráulico do setor da EP - 220 submetida ao processo de calibração das pressões dos 12 lotes às 08h sob situação atual de funcionamento	32
	APÊNDICE E – Salitre 01: layout original do setor hidráulico SHPPP - 220	33
	APÊNDICE F – Controle programado para atender o planejamento diário da irrigação	33

SUMÁRIO

APÊNDICE G – Pressão primeira simulação dinâmica projetado, vazão individual de 1,44 l/s/há	34
APÊNDICE H – Pressão segunda simulação dinâmica, vazão individual de 1,10 l/s/ha às 06h	34
APÊNDICE I – Pressão segunda simulação dinâmica, vazão individual de 1,10 l/s/ha às 22h	36
APÊNDICE J – Pressão terceira simulação dinâmica, vazão atual às 22h.....	37

1 INTRODUÇÃO

A irrigação no Brasil, especialmente no submédio do São Francisco, passou por uma grande transformação com a adoção de sistemas pressurizados, como os sistemas localizados.

Isso permitiu a irrigação em locais que antes não eram possíveis. Segundo Santana et al. (2020), a modernização dos sistemas de irrigação, com a introdução de tecnologias avançadas, proporcionou maior eficiência no uso da água, especialmente em regiões semiáridas onde os recursos hídricos são limitados.

Nos projetos públicos de irrigação, os sistemas coletivos de distribuição de água são compostos por tubulações ramificadas que atendem às necessidades hídricas das áreas irrigadas, conforme especificado no projeto executivo. Essas redes são importantes, mas também têm custos elevados de instalação, manutenção e operação. De acordo com Andrade e Lima (2018), a complexidade e os altos custos associados à infraestrutura de irrigação coletiva representam um desafio significativo para a sustentabilidade econômica e operacional desses projetos.

Infelizmente, as perdas nas tubulações da rede coletiva têm aumentado, diminuindo consequentemente as pressões disponíveis nas tomadas de água e prejudicando as áreas irrigadas, principalmente as localizadas em cotas elevadas ou nas extremidades dos setores hidráulicos. Silva et al. (2019) destacam que as perdas de água em sistemas de irrigação são um problema recorrente, afetando a eficiência e a eficácia da distribuição de água, especialmente em áreas de difícil acesso.

Além das perdas, os sistemas de distribuição de água para a irrigação têm apresentado deficiências operacionais devido ao aumento da demanda e à falta de manutenção adequada. Com a ampliação irregular das áreas irrigadas e mudanças nos padrões de consumo dos irrigantes, esses sistemas se tornaram cada vez mais complexos, exigindo uma análise mais precisa do comportamento hidráulico da rede. Esse é um problema que ocorre na maioria dos perímetros irrigados em todo o mundo. Segundo Lopes e Almeida (2021), a falta de planejamento e de manutenção contínua contribui para a ineficiência operacional dos sistemas de irrigação, exacerbando os desafios de gestão da água em perímetros irrigados.

Para otimizar a gestão de sistemas de água para irrigação é necessário conhecer, em pormenor, a forma como o consumo de água se processa no tempo e no espaço, assim como os fatores que o afetam e o condicionam. Trata-se de um problema muito abrangente, cuja solução deve se basear na conjugação de

informações inerentes a várias áreas de conhecimento, tais como: a técnica, a operacional, a de manutenção e a de obras. Conforme destacado por Ferreira e Costa (2022), a integração de diferentes áreas do conhecimento é essencial para a implementação de soluções eficientes e sustentáveis na gestão de recursos hídricos destinados à irrigação.

2 OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Avaliar o sistema secundário de distribuição de água para irrigação do setor hidráulico SHPpp – 220 do Projeto de Irrigação Salitre localizado em Juazeiro – BA.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar simulações da rede com um cenário atual e outro em expansão, visando atender aos parâmetros normatizados a partir do software EPANET;
- Comparar por critérios hidráulicos a rede de distribuição atual e sua possível expansão;
- Representar em sua totalidade, por meio de software especializado, o sistema de bombeamento com sistema pressurizado de acordo com as propriedades técnicas e hidráulicas apresentadas no projeto;
- Realizar a análise de pressão em toda a rede, garantindo que atenda aos requisitos mínimos e máximos exigidos pelo projeto executivo;
- Verificar se as válvulas hidráulicas auto operadas e demais acessórios estão devidamente localizados;
- Comparar os dados obtidos com o software escolhido e os resultados obtidos no projeto já construído de acordo com as observações feitas no projeto executivo.

3 REDES COLETIVAS DE SISTEMAS PRESSURIZADOS

3.1. MODERNIZAÇÃO E REABILITAÇÃO DE SISTEMAS DE CONDUÇÃO DE ÁGUA

A reabilitação dos sistemas coletivos de irrigação pressurizados normalmente pode ser dividida em duas etapas: diagnóstico e execução das soluções encontradas para solucionar os problemas identificados. Segundo Gomes e Bezerra (2005), essas etapas são cruciais para garantir a eficiência e a longevidade dos sistemas de irrigação, uma vez que permitem a identificação precisa de falhas e a implementação de correções adequadas.

O diagnóstico do sistema de distribuição envolve a simulação do funcionamento hidráulico do abastecimento, com a calibração de modelos que possam reproduzir o que realmente acontece na prática. É fundamental para identificar os problemas existentes. Após a obtenção do diagnóstico, é necessário estabelecer estratégias de reabilitação, considerando os aspectos técnicos e econômicos para minimização de custos (Gomes & Bezerra, 2005). Valverde e Peralta (2009) corroboram essa abordagem, destacando a importância de uma análise detalhada para a solução efetiva dos problemas.

A rede coletiva é responsável pela captação, armazenamento, regulação e transporte da água desde sua fonte até cada uma das tomadas parcelares, chegando nas condições de pressão e vazão estabelecidas no projeto. A rede de distribuição é onde se concentram a maioria dos problemas existentes nas redes em funcionamento, que podem ser decorrentes de desenho e cálculo inadequados. Valverde e Peralta (2009), destacam que a maioria dos problemas em redes de irrigação está associada a erros no design inicial e na execução dos projetos.

A operação de um projeto de irrigação por turnos ou por demanda livre deve ser executada de acordo com as características particulares de cada setor hidráulico e/ou demandas individuais. O traçado das redes pressurizadas nos sistemas de distribuição de água é uma etapa fundamental no desenvolvimento de um projeto, pois interfere em boa parte da economia financeira do sistema e a futura exploração da área. O objetivo principal é alcançar um projeto hidráulico ideal e eficiente. A adoção de redes fechadas em sistemas de irrigação pode economizar perdas por infiltração e resolver problemas de topografia existentes (Valverde & Peralta, 2009).

Embora possam existir muitas causas para problemas posteriores na operação da rede, a principal causa na fase de execução está relacionada a questões econômicas. No meio rural, há um ditado popular que diz: "A tubulação acaba quebrando, mais cedo ou mais tarde". Esse ditado muitas vezes prevê a realidade das redes, mas não explica os motivos ou causas que levam a isso. Um tubo pode entrar em colapso devido a problemas como sobrepressão, fadiga do material, má qualidade do material ou erro na execução do assentamento dele (García, 2009).

No entanto, a causa mais comum é a execução inadequada do trabalho, combinada em alguns casos com o problema de sobrepressão. Essa causa paradoxalmente teria tido a solução mais fácil durante a fase de execução. Embora existam normas e prescrições para o enterramento dos tubos, na maioria dos casos essas normas não são respeitadas. As principais causas de fracasso são profundidades insuficientes ou excessivas, falta de leito de material granular e refinado no fundo da vala, torneamento de material pétreo sem selecionar diretamente no tubo e falta de ancoragem adequada do tubo ao solo (Valverde & Peralta, 2009).

Os elementos de regulação, proteção e controle são essenciais para garantir o funcionamento correto do sistema de transporte de água. A regulação e a proteção são amplamente alcançadas por meio da instalação de válvulas hidráulicas multifuncionais auto operadas, equipadas com pilotos adequados que permitem o controle e a regulação automática e remota dos dois parâmetros fundamentais que definem o funcionamento de qualquer rede: vazão e pressão (Valverde & Peralta, 2009).

A calibração do modelo computacional é essencial para representar com precisão as condições reais do sistema, garantindo assim a eficácia das intervenções, como a instalação de válvulas redutoras de pressão, que ajudam a otimizar o desempenho hidráulico e a minimizar perdas de água. Ensaio de campo após a calibração são cruciais para validar o modelo e assegurar que as soluções técnicas aplicadas são eficazes, não apenas do ponto de vista técnico, mas também econômico (Tavares, 2020).

As válvulas devem ser instaladas devidamente protegidas em estruturas com ventilação adequada, dimensões suficientes e fácil acesso para permitir a manutenção, reparação e substituição. Em muitas instalações, a localização dos dispositivos de proteção, como ventosas e válvulas, fica completamente oculta pela vegetação ou pelo acúmulo de materiais no local. Segundo Gomes e Bezerra (2005),

a correta instalação e manutenção dessas válvulas é vital para a eficiência e durabilidade do sistema.

A seleção, localização e dimensionamento dos elementos de regulação requerem um conhecimento sólido por parte do técnico sobre o desempenho, condições de funcionamento e limitações desses dispositivos. Um erro comum na fase de projeto e durante a execução é a falta de definição das características técnicas desses dispositivos. Nem todas as válvulas hidráulicas são iguais em termos de desempenho e preço. Portanto, é importante enfatizar a importância desses elementos em toda a rede hidráulica e justificar qualquer estudo técnico sobre o assunto (Gomes & Bezerra, 2005).

Na irrigação, um dos principais problemas é a detecção de anomalias no funcionamento do sistema, geralmente causadas pela pressão insuficiente na entrada ou no hidrante para as vazões demandadas. Quando o número de irrigantes aumenta, esses problemas se multiplicam, podendo chegar a situações extremas em que a irrigação é impossível. Muitas vezes, isso ocorre por causa de um projeto inadequado ou de uma demanda abusiva por unidade de superfície. Nesse caso, uma solução seria a instalação de válvulas limitadoras de vazão na admissão ou no hidrante, que garantiriam um fluxo disponível para cada irrigante de acordo com as necessidades reais da cultura, da variedade, do espaçamento e das condições climáticas. No entanto, essa solução nem sempre é possível, pois exige uma disponibilidade mínima de pressão (Valverde & Peralta, 2009).

Para diagnosticar e solucionar os problemas da rede de irrigação, é necessário modelá-la hidraulicamente, determinando todos os elementos do sistema, como tubos, válvulas, equipamentos de bombeamento e filtragem. Atualmente, as lavouras irrigadas por sistemas pressurizados sofrem com o excesso de água aplicada. Estudos recomendam reduzir as doses, sem efeitos negativos para a planta ou para a produção (Valverde & Peralta, 2009).

Os problemas na rede de irrigação também podem ser causados pela seleção e dimensionamento inadequados do equipamento, como as válvulas redutoras de pressão. Muitas vezes, são instaladas válvulas hidráulicas que não são adequadas para funções de regulação, o que afeta o comportamento das tubulações. Além disso, a falta de manutenção e calibração das válvulas pode cancelar sua funcionalidade, levando a vazamentos e outras consequências (Valverde & Peralta, 2009).

A reabilitação de dutos consiste em restaurar a capacidade de condução

original, sem a necessidade de substituição, o que pode ser menos atraente em termos de custo, a menos que seja tecnicamente indispensável. No México, a reabilitação de tubulações de água para irrigação é uma atividade pouco explorada, mas é um problema de grande relevância para renovar a infraestrutura dos perímetros irrigados, que apresentam níveis preocupantes de deterioração (García, 2009).

Walski (1982 e 1985) propôs uma análise econômica para a tomada de decisão em relação à reabilitação de tubulações, na qual o critério de decisão é reabilitar se o custo for menor do que o custo adicional de energia para bombeamento devido ao aumento das perdas de carga e necessidade de equipamento adicional para impulsionar o fluxo através da tubulação com baixo coeficiente de rugosidade. Existem quatro tipos de falha de tubo: transversal, longitudinal, orifícios e rachaduras, que são classificados de maneira diferente em alguns sistemas americanos.

O envelhecimento das tubulações pode aumentar a frequência de vazamentos e outras consequências, mas também é importante considerar a qualidade e a pressão da água, o índice de perdas e o consumo de energia elétrica no planejamento de reabilitação das redes de abastecimento de água. Alex Orellana (2011) desenvolveu um método analítico para planejar a reabilitação de redes de água na Companhia de Saneamento Básico de São Paulo, que prioriza os pontos de pior desempenho e monta uma planilha de priorização. O estudo mostra que setores com tubulações que seriam substituídas apenas pelo critério da idade da tubulação acabaram caindo na lista de prioridades.

As redes de abastecimento de água instaladas, antes da década de 1970, já sofreram muita deterioração pelo tempo de uso, mas a substituição dessas tubulações é complexa e demanda um planejamento viável. O processo de reabilitação pode ser mais oneroso em alguns casos em comparação com a instalação de um sistema novo, além de exigir tecnologias de ponta (Orellana, 2011).

3.2. SOFTWARE EPANET

Gomes (2013) utilizou o software EPANET 2.0 para a modelagem hidráulica de sistemas de irrigação em um sistema coletivo de irrigação, considerando a rede de distribuição de água para irrigantes e a simulação dinâmica, que permite a simulação da evolução das variáveis do sistema ao longo do tempo. Não foram utilizados aspersores neste estudo. Segundo Silva e Souza (2016), a modelagem hidráulica é

uma ferramenta essencial para o planejamento e a gestão eficiente dos recursos hídricos, possibilitando a identificação e a correção de problemas operacionais em sistemas de irrigação.

O EPANET é um programa de computador que simula o comportamento de redes de tubulações que distribuem água. Ele foi criado pela Divisão de Água e Recursos Hídricos da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos em Cincinnati, Ohio. O programa é gratuito e seu código-fonte é aberto, o que significa que qualquer pessoa pode baixá-lo, usá-lo e modificar seu código. De acordo com Rossman (2000), o EPANET tem sido amplamente utilizado em estudos de modelagem de sistemas de abastecimento de água devido à sua versatilidade e acessibilidade.

A popularização do uso de microcomputadores nas últimas décadas, aliada à simplificação dos instrumentos de simulação hidráulica, como o EPANET, permitiu que essa tecnologia estivesse amplamente disponível e acessível a todos, muitas vezes de forma gratuita (Tavares, 2011). Uma versão brasileira do EPANET 2.0 foi desenvolvida pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB), que inclui um módulo de programação chamado LENHSNET, que pode ajudar a reduzir os custos de investimento na rede de abastecimento de água. Lima et al. (2017) destacam que o LENHSNET tem potencial para otimizar a distribuição de água em sistemas coletivos, proporcionando economia significativa de recursos.

O EPANET é usado, principalmente, para modelar a dispersão de substâncias nas redes de tubulações de água, e pode se integrar a programas CAD, como o AutoCAD. Além disso, há um software chamado EPACAD, que foi desenvolvido pela Universidade Politécnica de Valência, na Espanha, que permite converter arquivos CAD em arquivos compatíveis com o EPANET 2.0. De acordo com García e Herrera (2014), a integração do EPANET com programas CAD como o AutoCAD facilita a criação e a análise de modelos hidráulicos complexos, melhorando a precisão e a eficiência dos projetos de infraestrutura hídrica.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Este estudo utilizou o software EPANET 2.0 para a modelagem hidráulica de um sistema coletivo de irrigação. O EPANET, desenvolvido pela Divisão de Água e Recursos Hídricos da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos, permite a

simulação dinâmica da evolução das variáveis do sistema ao longo do tempo (Rossman, 2000). A escolha pelo EPANET deve-se à sua capacidade de proporcionar uma visão detalhada do comportamento das redes de distribuição de água, crucial para identificar e corrigir problemas operacionais (Gomes, 2013).

Os dados foram coletados em um sistema coletivo de irrigação no submédio do São Francisco, mapeando características hidráulicas como diâmetros das tubulações, comprimentos e altitudes. A modelagem excluiu o uso de aspersores, focando exclusivamente na distribuição de água pelas tubulações principais e secundárias. A calibração dos modelos no EPANET 2.0 foi fundamental para simular diferentes cenários operacionais e analisar a evolução das pressões e vazões ao longo do tempo (Gomes, 2013).

4.1. CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL

Realizado no Projeto de Irrigação Salitre, o estudo tomou como parâmetro a margem direita do Rio São Francisco, no município de Juazeiro, no Estado da Bahia, situando-se entre os paralelos 9°31'43" e 9°52'18" no hemisfério sul, e entre os meridianos 40°15'00" e 40°37'00" a oeste de Greenwich. Sobre o PIS (Projeto de Irrigação Salitre), este foi parcelado em 1.429 lotes, destinados a pequenos produtores e empresários. Observa-se que, de acordo com os critérios básicos adotados, a jornada máxima diária de irrigação dos setores pressurizados será de 18 horas, todas fora do horário de pico do sistema elétrico. Os critérios, parâmetros e premissas adotados para dimensionar as redes seguem abaixo.

4.2. CRITÉRIOS E PARÂMETROS ADOTADOS

Admitiram-se tubos de PRFV (Plástico Reforçado com Fibra de Vidro) para tubulações com diâmetros até 300 mm, e de chapas de aço carbono, revestidos internamente com epóxi betuminoso, para diâmetros superiores a 300 mm; admitiu-se uma velocidade máxima de até 2,5 m/s para o escoamento das vazões de projeto; o dimensionamento foi feito pela fórmula de Hazen & Williams, com coeficientes de rugosidade $C = 140$ para tubos de PRFV e $C = 125$ para tubos de aço carbono.

A pressão mínima na saída da rede para cada lote de pequeno produtor, junto à tomada d'água parcelar, foi pré-estabelecida na faixa de 40 a 60 m.c.a. Ela será

controlada por uma válvula hidráulica auto operada, limitadora de vazão que corresponde à pressão de trabalho dos aspersores convencionais (25 ou 30 m.c.a), acrescida das perdas de carga (distribuídas e localizadas) nas tubulações e equipamentos parcelares, incluindo eventuais desníveis topográficos dentro do lote.

A pressurização das redes de distribuição do setor hidráulico SHPpp-220 (Setor Hidráulico Pressurizado pequenos produtores) é realizada pela estação de pressurização EP-220 sendo operada manualmente. É composta de 04 conjuntos motobombas associadas em paralelo e com sucção afogada, potência unitária de 150 KW, vazão unitária nominal de 553,38 m³/h e altura manométrica de 58,7 m.c.a, sendo que 02 conjuntos motobomba com velocidade fixa e 02 com velocidade variável alimentados por inversores de frequência.

Na descarga dos conjuntos motobombas estão instaladas válvulas de controle de bombas, bem como em todas as saídas da rede, e junto às tomadas parcelares estão instaladas válvulas hidráulicas auto operadas para controle de pressão e vazão à jusante destas. Os reservatórios de operação foram previstos para permitir graus de liberdade entre adução fornecimento x consumo d'água, com volumes úteis mínimos equivalentes às demandas máximas, na área de influência, correspondentes aos períodos de 2,5 horas nos reservatórios dos sistemas de distribuição setorial pressurizados.

O início de operação do sistema é promovido por um sinal proveniente de um relógio com hora pré-determinada, às 21h30, ligando o conjunto motobomba 02 de velocidade variável ajustada em 77% da velocidade nominal. O conjunto motobomba 03 é energizado às 22h também com velocidade ajustada para 77% da sua velocidade nominal. Às 23h os conjuntos motobombas 02 e 03 têm suas velocidades ajustadas para 86% da sua velocidade nominal até às 08h do dia seguinte, quando têm suas velocidades são reguladas outra vez para aproximadamente 94% da sua velocidade nominal ou ajustadas manualmente nos seus respectivos conversores de frequência para se atingir a pressão de 50 m.c.a no barrilete de descarga da estação de bombeamento. Às 06h os conjuntos motobombas 01 e 04 são energizados e assim permanecem até às 15h30, momento este em que a estação de bombeamento é desligada.

A parada programada do sistema, ao final da jornada de rega, ocorre também através do relógio às 15h30, que ativa uma lógica de desligamento das bombas em operação, uma de cada vez, com intervalos pré-estabelecidos de 1 minuto (PROJETO

SALITRE - Etapa I, Projeto Executivo). A metodologia utilizada é constituída por quatro etapas, tomando o simulador hidráulico EPANET 2.0 para a realização de simulações estáticas e dinâmicas do comportamento hidráulico no setor SHPpp-220 destinado aos pequenos produtores, com área útil aproximada de 6,0 ha e sistema de distribuição de água pressurizada. O diagnóstico do sistema foi determinado a partir dos resultados das simulações com base no software EPANET.

4.3. CARACTERIZAÇÃO DAS ETAPAS

- 1ª etapa - Simulação estática do setor com dados do projeto original 79 lotes em funcionamento e vazão nominal de 1,44 l/s/ha;
- 2ª etapa - Simulação dinâmica do setor com 73 lotes em funcionamento e vazão nominal de 1,10 l/s/ha;
- 3ª etapa - Simulação dinâmica do setor com 73 lotes em funcionamento e com dados reais de ocupação. Foi mantida constante a pressão de 50 m.c.a, no barrilete de descarga da estação de pressurização EP-220 durante a coleta dos parâmetros de vazão e pressão nas tomadas dos lotes;
- 4ª etapa - Simulação estática realizada com 68 lotes em funcionamento e dados reais de ocupação. Foi mantida constante a pressão de 50 m.c.a, no barrilete de descarga da estação de pressurização EP-220 durante a coleta dos parâmetros de vazão e pressão nas tomadas dos lotes.

Para o processo de calibração realizaram-se medições em campo das pressões nas captações de 12 lotes de um total de 73 existentes em toda rede de distribuição do setor hidráulico SHPpp-220. As pressões foram medidas durante o registro de 10 m³ nos hidrômetros instalados nas tomadas dos lotes às 10h, correspondente ao período de maior consumo. Para a escolha dos locais de medições de pressões existem várias abordagens possíveis, tendo se optado neste estudo pelo método clássico, que se baseou em localizar os medidores de pressão perto de locais com concentrações de consumos e em zonas periféricas da rede, longe dos pontos de abastecimento de forma a aumentar a sensibilidade das perdas de carga às vazões (COELHO *et al.*, 2006).

m.c.a, sendo controlada por uma válvula auto operada, limitadora de vazão que corresponde à pressão de trabalho. Na segunda etapa foi feita uma simulação do funcionamento do setor hidráulico SHPpp-220 com as alterações feitas pela CODEVASF no projeto executivo devido aos problemas apresentados na operação dele. Alteração no layout reduzindo de 79 para 73 lotes e diminuição da vazão nominal de 1,44 l/s/ha para 1,10 l/s/ha.

Nesse segmento, conforme exposto na simulação estática do Apêndice B, todos os 73 lotes do setor hidráulico SHPpp-220 apresentam pressões nos seus respectivos hidrantes maiores que 40 m.c.a. No ramal objeto deste trabalho todos os 17 lotes estão com as pressões também maiores que 40 m.c.a, com valor de pressão média de 41,81 m.c.a, indicando uma alteração exitosa no que se refere à redução de lotes irrigados simultaneamente e da vazão disponibilizada nas tomadas deles para 1,10 l/s/ha e consumo base total dos 17 lotes de 119,03 l/s.

Na terceira etapa foram feitas análises da simulação do setor submetido à situação atual de funcionamento da irrigação desse setor, com informações obtidas *in situ* através de medições de vazões e pressões nos 17 lotes objeto da pesquisa. Na simulação dinâmica, representada pelo Apêndice C, foi observado que 44 lotes do setor hidráulico SHPpp-220 apresentaram pressões nos seus respectivos hidrantes inferiores a 40 mca. No ramal abordado neste estudo, todos os 17 lotes também registraram pressões abaixo de 40 m.c.a, com uma média de pressão de 27 m.c.a. Essa condição foi principalmente atribuída a um aumento de 61,84% na vazão nominal fornecida a esse conjunto de lotes.

Para a realização da quarta simulação, foi realizada a aferição das pressões e coleta vazões *in situ* na tomada d'água dos lotes objeto desse trabalho para fins de calibração da rede de distribuição dos 12 lotes que estavam operando, estes localizados na periferia do setor hidráulico SHPpp-220, em situação mais desfavorável no que se refere às pressões observadas. Pode-se observar na simulação estática apresentados no Apêndice D, que os dados de pressão e vazão dos doze lotes estavam em operação e que dos 73 lotes desse setor hidráulico apenas 19 lotes apresentavam pressões menores que 40 m.c.a.

No ramal objeto desse trabalho, 13 lotes apresentaram pressões inferiores à 40 m.c.a, embora os lotes de números 36 e 37 apresentaram pressões de 41,63 m.c.a e 40,57 m.c.a respectivamente. Esses valores podem ser explicados pelo fato dos lotes 35 e 38 que são confrontantes dos mesmos estavam desligados,

consequentemente numa situação mais favorável no que se refere a perda de carga existente.

5.1. ANÁLISE APÓS CALIBRAÇÃO

A calibração de modelos computacionais em sistemas de irrigação pressurizada desempenha um papel crucial na validação e otimização da representação hidráulica das redes de distribuição. Segundo Herrin (2001), essa prática é essencial para assegurar que o modelo simule com precisão as condições operacionais reais, incluindo variações de pressão e vazão ao longo do tempo e em diferentes pontos da rede. Este processo não apenas aumenta a confiabilidade das previsões do modelo, mas também proporciona uma compreensão aprofundada do comportamento hidráulico do sistema. Essa calibração, portanto, é vital para a gestão eficiente dos recursos hídricos, garantindo que o sistema de irrigação funcione de maneira otimizada, minimizando desperdícios e melhorando a distribuição de água.

A importância da calibração reside não apenas na garantia da precisão dos resultados simulados, mas também na identificação e correção de discrepâncias nos parâmetros de entrada do modelo, como características geométricas das tubulações, coeficientes de rugosidade e demandas de água. Essa metodologia envolve a confrontação sistemática entre dados simulados e medições de campo, ajustando-se os parâmetros do modelo de modo iterativo até que se alcance uma concordância satisfatória entre teoria e prática. Este processo iterativo é necessário para capturar a complexidade das condições reais de operação, permitindo ajustes precisos que refletem a realidade do sistema.

Para o estudo em questão, após a realização da simulação hidráulica no EPANET, recorreu-se ao relatório de calibração para que, visualmente, houvesse a comparação dos dados medidos com os dados calculados. Os relatórios de calibração do ramal do setor hidráulico objeto desse trabalho, considerando 12 dos 17 lotes em operação, constataram um aumento da vazão nominal de 61,84%. Este aumento significativo demonstra a importância de um processo de calibração bem executado, que pode revelar aspectos críticos do desempenho do sistema que não seriam evidentes apenas com a simulação inicial. A figura 02 apresenta o resultado da calibração de pressão que gerou uma correlação entre medidas de 0,813, indicando uma alta precisão na simulação das condições de campo.

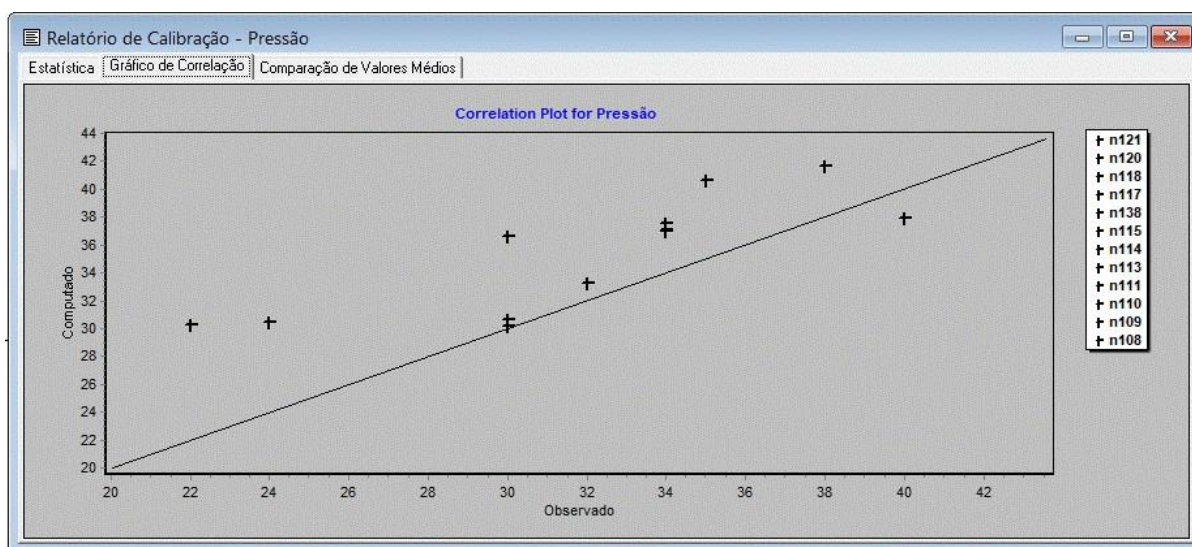
Figura 02 – Relatório de calibração – Pressão – Estatística

Relatório de Calibração - Pressão					
Estatística Gráfico de Correlação Comparação de Valores Médios					
Localização	Num Obs	Méd Obs	Méd Sim	Erro Méd	Desv Pad
n121	1	34.00	37.08	3.082	3.082
n120	1	40.00	37.94	2.059	2.059
n118	1	34.00	37.57	3.569	3.569
n117	1	35.00	40.57	5.570	5.570
n138	1	38.00	41.63	3.632	3.632
n115	1	30.00	36.58	6.579	6.579
n114	1	34.00	37.02	3.016	3.016
n113	1	32.00	33.23	1.234	1.234
n111	1	30.00	30.19	0.188	0.188
n110	1	30.00	30.63	0.633	0.633
n109	1	24.00	30.47	6.473	6.473
n108	1	22.00	30.29	8.286	8.286
Rede	12	31.92	35.27	3.694	4.431
Correlação entre Medidas: 0.813					

Fonte: Própria autoria, 2023.

Na Figura 03 é possível encontrar o gráfico da correlação entre os valores médios de pressão resultantes da simulação do modelo calibrado e as pressões medidas em campo.

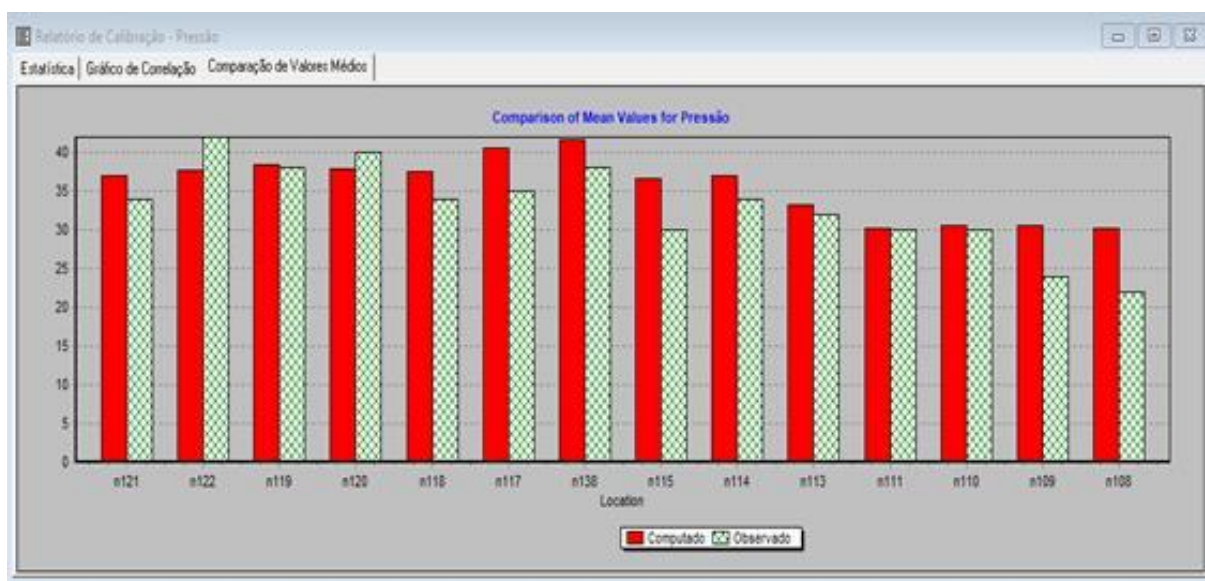
Figura 03 – Gráfico de correlação para pressão: Correlação entre os valores de pressão medidos e calculados (relatório de calibração).



Fonte: Própria autoria, 2023.

A Figura 04 apresenta a comparação entre a variação da pressão medida e da pressão simulada nos pontos de calibração avaliados. A imagem contém os resultados de comparação entre valores aferidos em campo e calculados a partir da simulação, para o parâmetro pressão, nos diversos pontos avaliados no processo de calibração.

Figura 04 – Relatório de calibração (pressão). Comparação de valores médios de pressão (computado e observado).



Fonte: Própria autoria, 2023.

O relatório de calibração de pressão gerou uma correlação de 0,813 entre os valores médios. Esse resultado significa que existe uma relação forte e positiva entre os dados medidos e os valores esperados. A correlação de 0,813 indica que há uma alta probabilidade de que, quando os valores medidos aumentam, os valores esperados também aumentem proporcionalmente. Esse valor está relativamente próximo de 1, o que justifica a relativa confiabilidade dos resultados. Tanto visualmente, quanto estatisticamente é possível perceber que os dados medidos estão relativamente próximos dos dados calculados.

6 CONCLUSÕES

A avaliação dos resultados obtidos nas questões objetivas propostas revelou que todos os itens apresentaram resultados positivos/satisfatórios nos objetivos propostos. A aplicabilidade do software EPANET na avaliação do desempenho de

sistemas de irrigação pressurizados foi verificada com sucesso, demonstrando sua eficácia como uma ferramenta de análise. Desse modo, o uso do software EPANET como uma ferramenta de apoio à tomada de decisões relacionadas à solicitação de mudanças na alocação de vazão individual se mostrou eficiente.

O software permitiu a realização de análises mais precisas nas distorções causadas por ampliações irregulares das áreas irrigadas e estabilização de pressões, contribuindo para uma melhor compreensão desses fenômenos e possibilitando a implementação de medidas corretivas adequadas.

7 RECOMENDAÇÕES E RESULTADOS

- Rever a jornada diária de irrigação do Projeto Salitre, que foi estipulada em 18 horas. Na prática, a operação do sistema estabilizado com as vazões e pressões necessárias ao funcionamento do setor está acontecendo apenas em 9h30 (no período das 06h às 15h30);
- A simulação do funcionamento do setor hidráulico SHPpp-220, conforme o procedimento normatizado para a operação diária desse setor, foi totalmente inconsistente desde o início da energização dos conjuntos motobombas com velocidade variável 02 e 03 às 21h30 e 22h, respectivamente, até às 06h do dia seguinte. A partir daí quando são energizados os conjuntos com velocidade fixa 01 e 04, o sistema se normaliza e permanece assim até às 16h30, quando são desenergizados;
- Calibrar as válvulas hidráulicas limitadoras de vazão já instaladas na tomada dos lotes para os casos de demanda maior do que a projetada. Isso interferirá substancialmente na pressão/vazão dos demais lotes do setor hidráulico, sendo a solução imediata mais econômica;
- A caracterização física dos componentes do sistema em conjunto com as informações pertinentes ao consumo de água do setor é de fundamental importância para a modelagem hidráulica e consequentemente para o diagnóstico do sistema estudado;
- Deve-se reabilitar as válvulas controladoras de bomba da EP-220, visto que estão praticamente inoperantes, sem as funções de partida e parada a vazão zero (pressão de “*shut-off*”) e retenção ativa;
- Instalar o sistema de controle e supervisão da EP-220, visto que o

controle do ponto operacional (vazão x pressão), para atender às condições requeridas pelo consumo do momento (demanda livre), deverá ser feito de modo automático, através de instrumentos, equipamentos, regras, e "softwares" adequadamente definidos;

- A conta/fatura de energia elétrica das estações de pressurização do Projeto Salitre é feita conjuntamente, não sendo possível individualizar os valores referentes ao consumo de energia ativa da EP-220;

- Os hidrômetros instalados nos hidrantes dos lotes são do tipo *Woltmann* horizontal, não recomendados para irrigação, embora exista uma campanha para substituição deles por medidor tangencial desenvolvido para medição do consumo de água em processos de irrigação. Seu grande diferencial está em suportar a presença de até 30% de produtos sólidos na água.

- Não foi possível estabelecer conexão entre os valores de pressão simulados pelo EPANET com os dados obtidos das leituras diretas no barrilete de descarga da EP-220, quando submetida ao procedimento operacional estabelecido para iniciação da jornada diária de irrigação objetivando completar o nível da água na rede de distribuição antes da pressurização dela como uma proteção contra possíveis transientes hidráulicos provocados pelo enchimento rápido da tubulação.

- Foram observadas pressões elevadas, bem como também se verificaram pressões negativas em alguns pontos. Ou seja, dificuldade de abastecimento em boa parte do sistema, notadamente em função de aumento irregular da dotação de vazão nos respectivos lotes.

- Embora, nas primeiras fases de exploração, os problemas não sejam normalmente importantes, à medida que aumenta o número de irrigantes, os problemas multiplicam-se até situações extremas, em que não só a rega é anômala, como é quase impossível regar.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, R. S.; LIMA, J. A. **Sustentabilidade econômica dos projetos de irrigação**. Revista de Recursos Hídricos, v. 24, n. 1, p. 45-57, 2018.
- BEZERRA, S. T. M. **Método de Otimização para a Reabilitação de Redes de Distribuição de Água**. 2005. 125f. Tese (Mestrado) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande – PB, 2005.
- FERREIRA, M. L.; COSTA, P. R. **Gestão integrada de recursos hídricos: uma abordagem multidisciplinar**. Revista de Engenharia Agrícola, v. 36, n. 2, p. 123-137, 2022.
- GARCÍA, P. C. P. **Diseño hidráulico de redes a presión en los sistemas de riego, empleando un modelo matemático**. 2009. 193 f. Tesis (Maestro en ciencias en hidráulica) – Instituto Politécnico Nacional, México D.F. 2009.
- GARCÍA, L. A. **Reabilitação de sistemas de irrigação**. Revista de Engenharia Agrícola, v. 29, n. 2, p. 100-115, 2009.
- GARCÍA, L. A.; HERRERA, F. J. **Integração do EPANET com programas CAD para modelagem de redes hidráulicas**. Revista de Engenharia Hidráulica, v. 29, n. 3, p. 123-135, 2014.]
- GOMES, J. F. **Modelagem hidráulica de sistemas de irrigação utilizando EPANET 2.0**. Revista de Engenharia Agrícola, v. 35, n. 1, p. 65-77, 2013.
- GOMES, J. F.; BEZERRA, A. G. **Diagnóstico e reabilitação de sistemas de irrigação**. Engenharia Hidráulica, v. 17, n. 3, p. 77-89, 2005.
- GOMES, H. P. **Sistemas de Irrigação – Eficiência Energética**. João Pessoa: Editora da UFPB, 2013. P. 191-204.
- GOMES, H. P; BEZERRA, S. T. M. **Reabilitação de redes coletivas de sistemas pressurizados de irrigação**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.9, n.4, p.457-463, 2005.
- HERRIN, G. **The fundamentals of calibration - Current Methods**. Vol. 1, No. 1, Haestad Press Publication, 2001.
- LIMA, M. A.; et al. **Desenvolvimento e aplicação do LENHSNET na otimização de redes de abastecimento de água**. Revista de Recursos Hídricos, v. 32, n. 2, p. 89- 101, 2017.
- LOPES, F. A.; ALMEIDA, T. R. **Desafios operacionais nos sistemas de irrigação coletiva**. Engenharia Hidráulica, v. 19, n. 3, p. 78-89, 2021.
- LUCENA, K. E. I. **Aperfeiçoamento do EPANET para Aplicações em Sistemas de Irrigação**. (2012). Revista Principia, João Pessoa, (20), 9-21.
- ORELLANA, A. **Contribuição ao estudo do planejamento de reabilitação de redes**

de distribuição de água. 2011. 144f. Tese (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas – SP, 2011.

ORELLANA, A. **Planejamento da reabilitação de redes de abastecimento de água:** um estudo de caso na Companhia de Saneamento Básico de São Paulo. *Revista de Engenharia de Saneamento*, v. 35, n. 4, p. 203-219, 2011.

ROSSMAN, L. A. **EPANET 2 Manual do usuário.** Tradução Heber Pimentel Gomes e Moisés Menezes Salvino. Universidade Federal da Paraíba – UFPB, 2009.

SANTANA, V. M.; et al. **Transformações tecnológicas na irrigação do submédio São Francisco.** *Tecnologia & Inovação*, v. 5, n. 2, p. 34-46, 2020.

SILVA, R. T.; SOUZA, C. R. **Aplicações da modelagem hidráulica na gestão de recursos hídricos.** *Engenharia Ambiental*, v. 20, n. 4, p. 225-239, 2016.

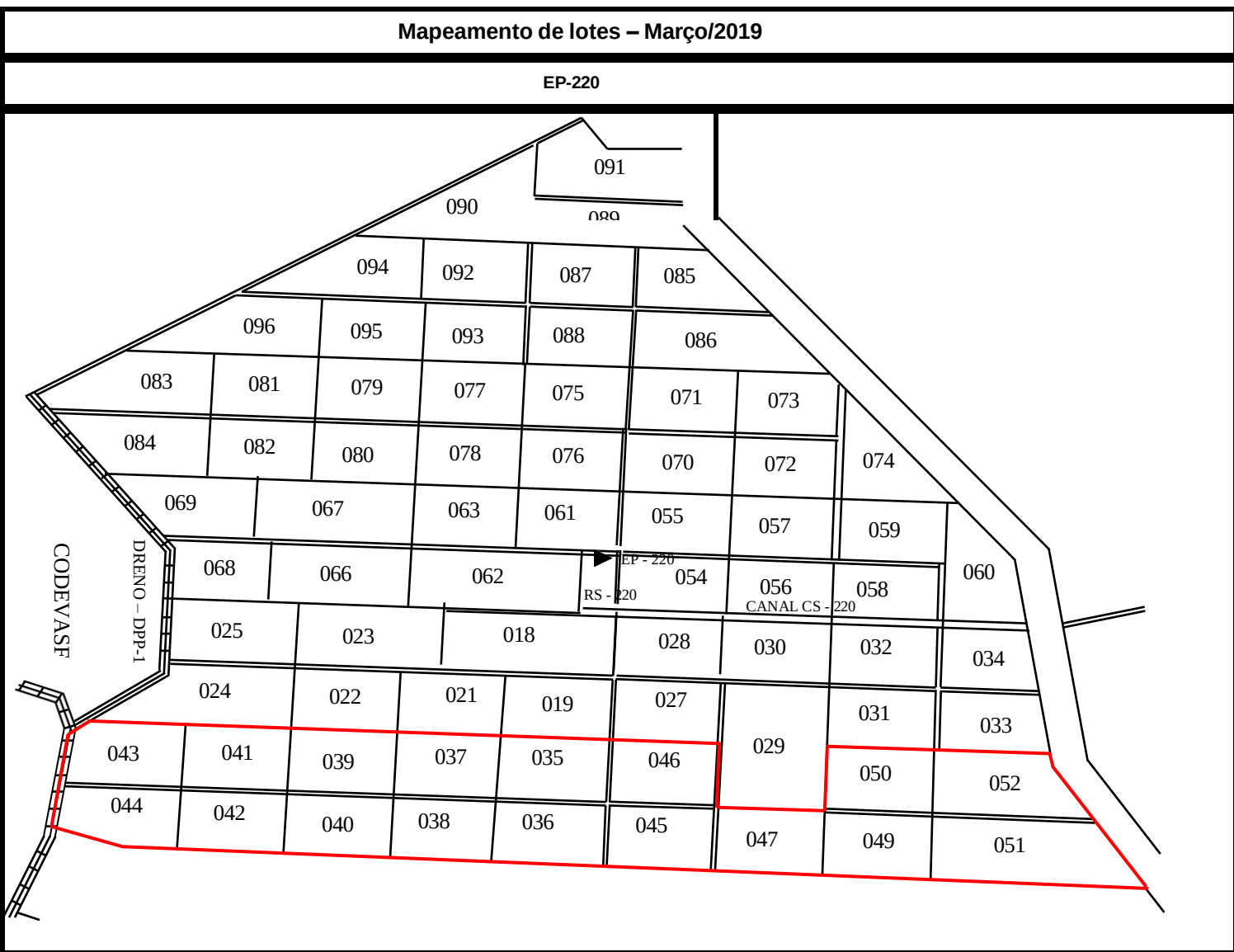
SILVA, J. P.; et al. **Eficiência e perdas em sistemas de irrigação.** *Agricultura Sustentável*, v. 11, n. 1, p. 65-79, 2019.

TAVARES, Ioland de Pina. **Gestão da Pressão na Modelação Hidráulica e Exploração de Sistemas de Distribuição de Água (Introdução de Válvulas Redutoras de Pressão).** 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade da Beira Interior.

VALVERDE, J. A; PERALTA, I. B. **Redes colectivas de riego. Problemática general. Resolución de conflictos.** DPTO. Ingeniería Rural Y Agroalimentaria. Universidad Politécnica de Valencia. <http://www.agroambient.gva.es/documents>.

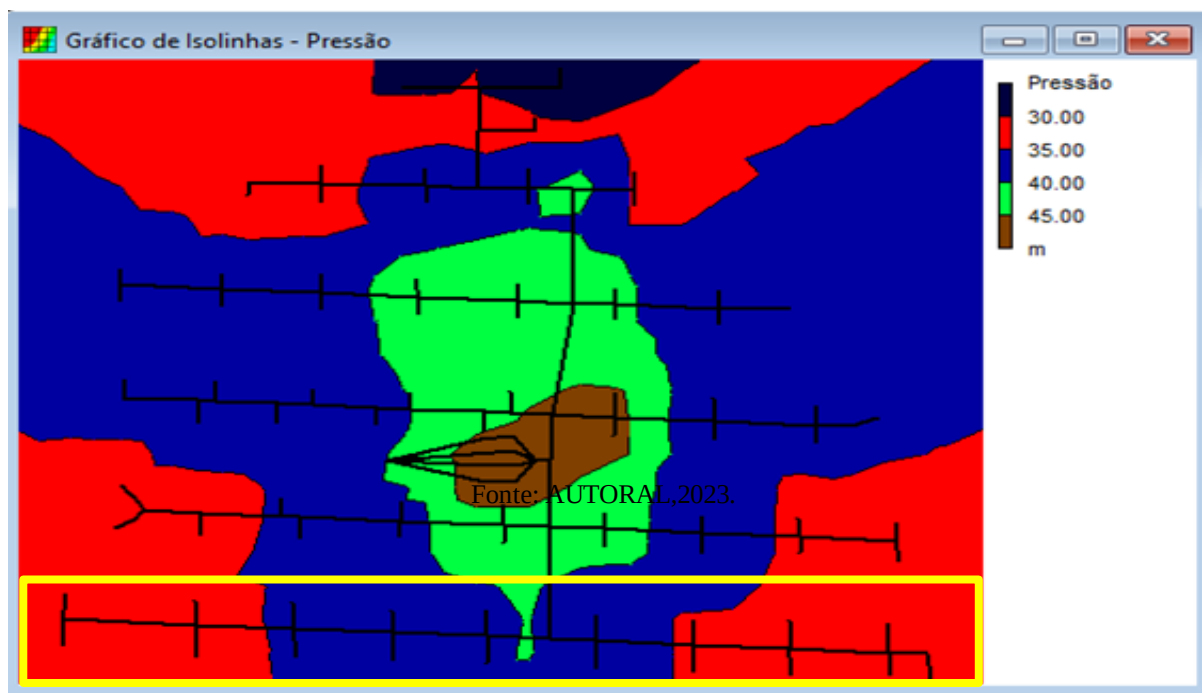
VALVERDE, R.; PERALTA, A. **Desafios na operação e manutenção de redes de irrigação.** *Revista de Recursos Hídricos*, v. 21, n. 1, p. 65-80, 2009.

WALSKI, T. M. **Cost of Water Distribution System Infrastructure Rehabilitation, Repair, and Replacement.** Army engineer waterways experiment station vicksburg ms environmental lab, 1985.



ANEXO I – LAYOUT ATUAL DO SETOR HIDRÁULICO SHPPP – 220
(destaque para o ramal objeto deste trabalho com 17 lotes)

APÊNDICE A – DISTRIBUIÇÃO DAS PRESSÕES DOS NÓS NA SIMULAÇÃO ESTÁTICA DO FUNCIONAMENTO HIDRÁULICO DO SETOR SHPPP - 220 PROJETADO ORIGINALMENTE

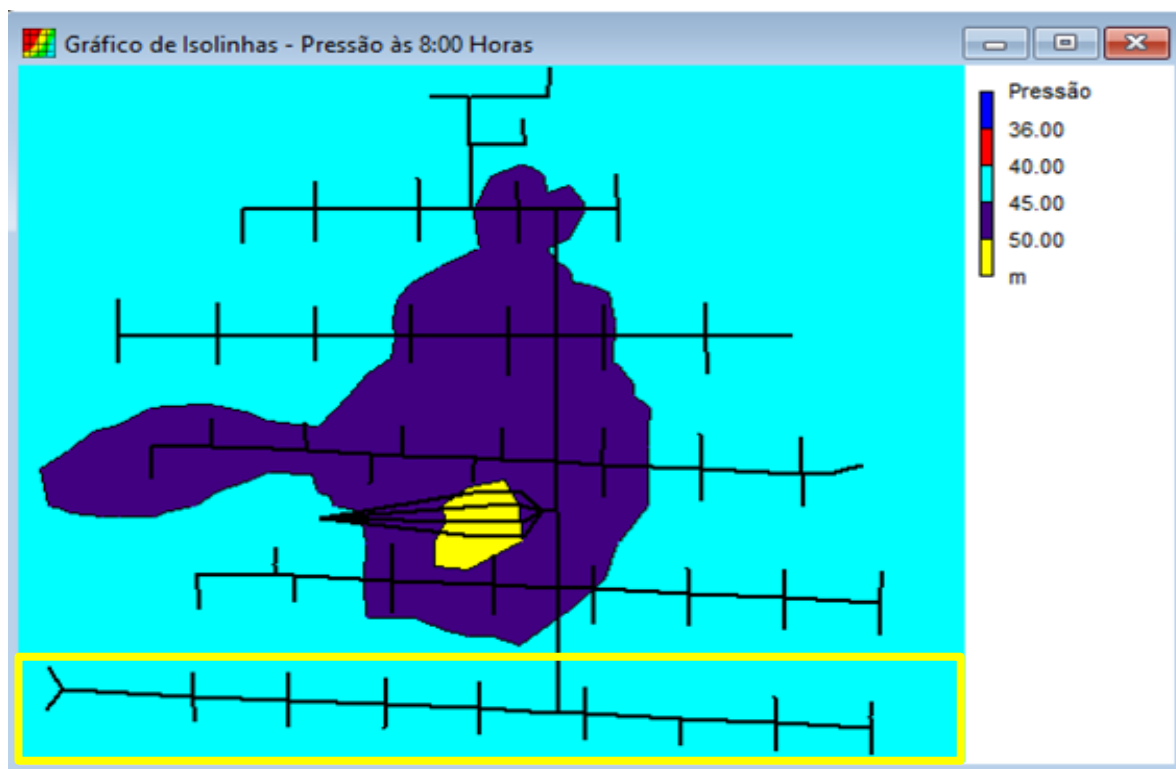


Distribuição das pressões dos nós na primeira simulação dinâmica do setor hidráulico SHPpp-220 com 79 lotes e vazão de 1,44 l/s/ha.

Nº LPP teste 1	10	19	9	18	8	17	7	16	6	4
Consumo base área com 79 lotes (l/s)	5,6	8,6	8,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,5
Pressão (mca) área com 79 lotes	34,2	32,3	32,3	32,4	32,4	34,5	34,5	37,6	37,6	38

Nº LPP teste 1	14	3	2	12	1	11	15	5	13	-
Consumo base área com 19 lotes (l/s)	7,5	7,5	7,6	7,6	10,7	10,7	8	8	7,6	Total 151,26
Pressão (mca) área com 19 lotes	38	35	34,5	34,5	32,2	32,2	39,4	39,4	35	Média 35,06

APÊNDICE B – RESULTADO DA SIMULAÇÃO DINÂMICA DO FUNCIONAMENTO HIDRÁULICO DO SETOR DA EP - 220 COM O LAYOUT REDUZIDO PARA 73 LOTES E REDUÇÃO DA VAZÃO DOS LOTES DE 1,44 L/S/HA PARA 1,10 L/S/HA



Resultados da segunda simulação dinâmica com vazão individual reduzida para 1,10l/s/ha às 08h.

Nº LPP teste 2	XXX	52	51	50	49	XXX	47	46	45	44
Consumo base área com 73 lotes (l/s)	XXX	5,97	6,93	6,6	6,9	XXX	6,9	6,8	6,9	7,1
Pressão (mca) área com 73 lotes	XXX	41,5	41,5	41,0	41	XXX	42,1	43	43,1	40,1

Nº LPP teste 2	43	42	41	40	39	38	37	36	35	-
Consumo base área com 17 lotes (l/s)	10,2	6,9	7	6,6	7	6,7	6,7	7,3	6,8	Total 119,03
Pressão (mca) área com 17 lotes	40	41,0	41,0	41	41	42,9	42,9	43,6	43,6	Média 41,81

APÊNDICE C – RESULTADO DA SIMULAÇÃO DINÂMICA DO FUNCIONAMENTO HIDRÁULICO DO SETOR DA EP - 220 SOB SITUAÇÃO ATUAL DE FUNCIONAMENTO



Resultados da terceira simulação dinâmica com vazão atual em 17 lotes às 08h.

Nº LPP teste 3	XXX	52	51	50	49	XXX	47	46	45	44
Consumo base área com 73 lotes (l/s)	XXX	13,2	10	7,3	15,4	XXX	12,7	12,5	18,5	15,5
Pressão (mca) área com 73 lotes	XXX	26,5	26,6	26,8	25,3	XXX	29,4	33,2	32,7	23

Nº LPP teste 3	43	42	41	40	39	38	37	36	35	-
Consumo base área com 17 lotes (l/s)	10,2	6,9	13,8	18	6,7	7,7	10,6	7,5	6,9	Total 192,47
Pressão (mca) área com 17 lotes	23,3	26,9	26,5	27,7	28,4	34	33,8	36,6	36,6	Média 27,28

APÊNDICE D – RESULTADO DA SIMULAÇÃO ESTÁTICA DO FUNCIONAMENTO HIDRÁULICO DO SETOR DA EP - 220 SUBMETIDA AO PROCESSO DE CALIBRAÇÃO DAS PRESSÕES DOS 12 LOTES ÀS 08H SOB SITUAÇÃO ATUAL DE FUNCIONAMENTO

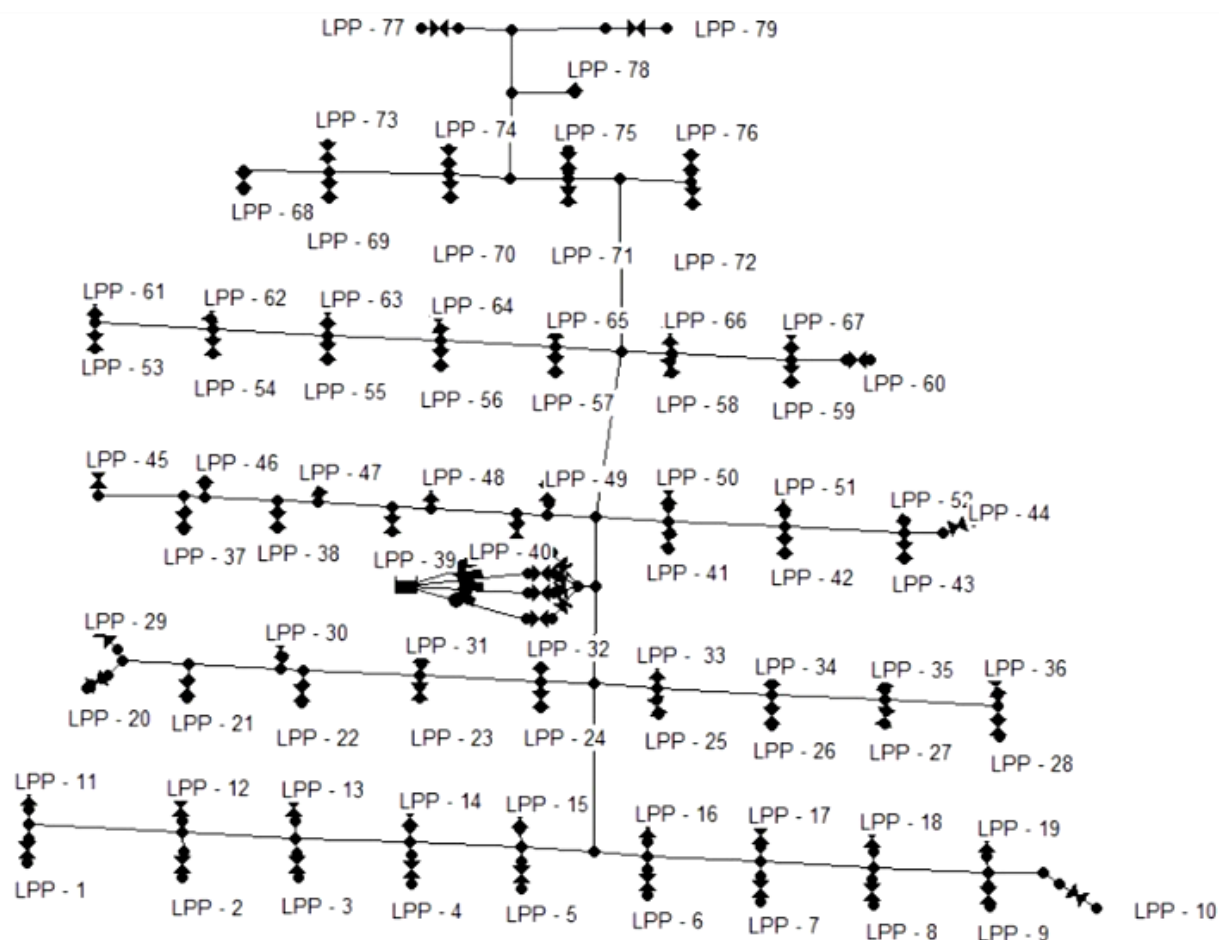


Resultados da quarta simulação estática com vazão atual em 12 lotes às 08h.

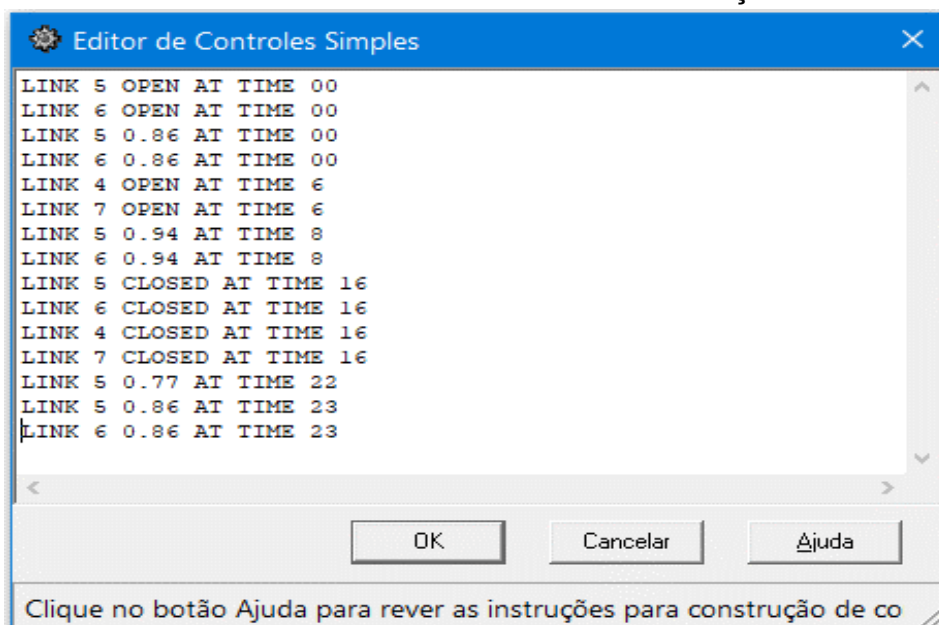
Nº LPP teste 4	XXX	52	51	50	49	XXX	47	46	45	44
Consumo base área com 73 lotes (l/s)	XXX	13,2	10	7,3	15,4	XXX	12,7	12,5	18,5	15,5
Pressão (mca) área com 73 lotes	XXX	30,3	30,5	30,6	30,2	XXX	33,2	37	36,6	37,1

Nº LPP teste 4	43	42	41	40	39	38	37	36	35	-
Consumo base área com 17 lotes (l/s)	XXX	XXX	13,8	18	XXX	XXX	10,6	7,5	XXX	Total 155,15
Pressão (mca) área com 17 lotes	XXX	XXX	37,9	37,6	XXX	XXX	40,6	41,6	XXX	Média 37,02

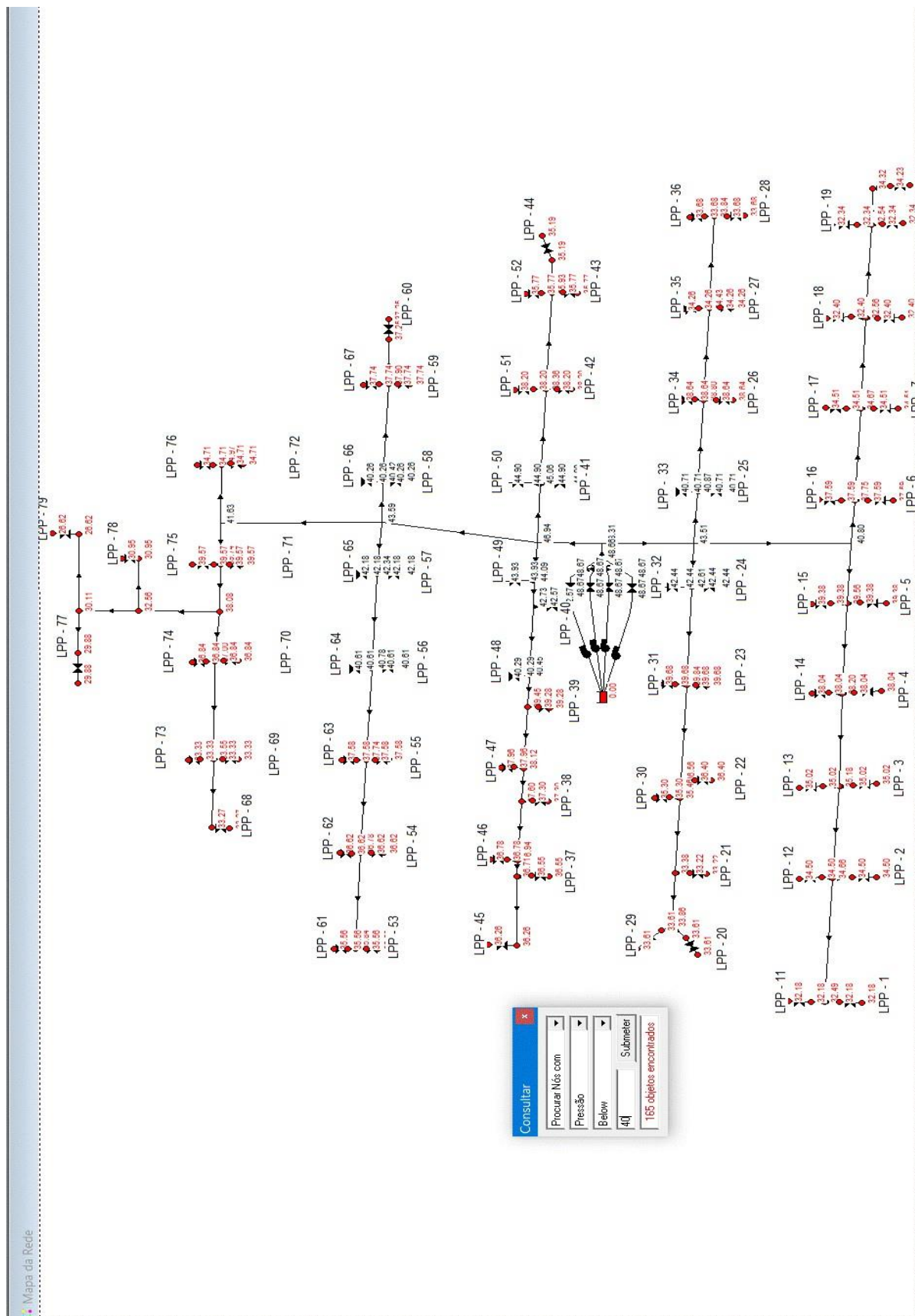
APÊNDICE E – SALITRE 01: LAYOUT ORIGINAL DO SETOR HIDRÁULICO SHPPP - 220



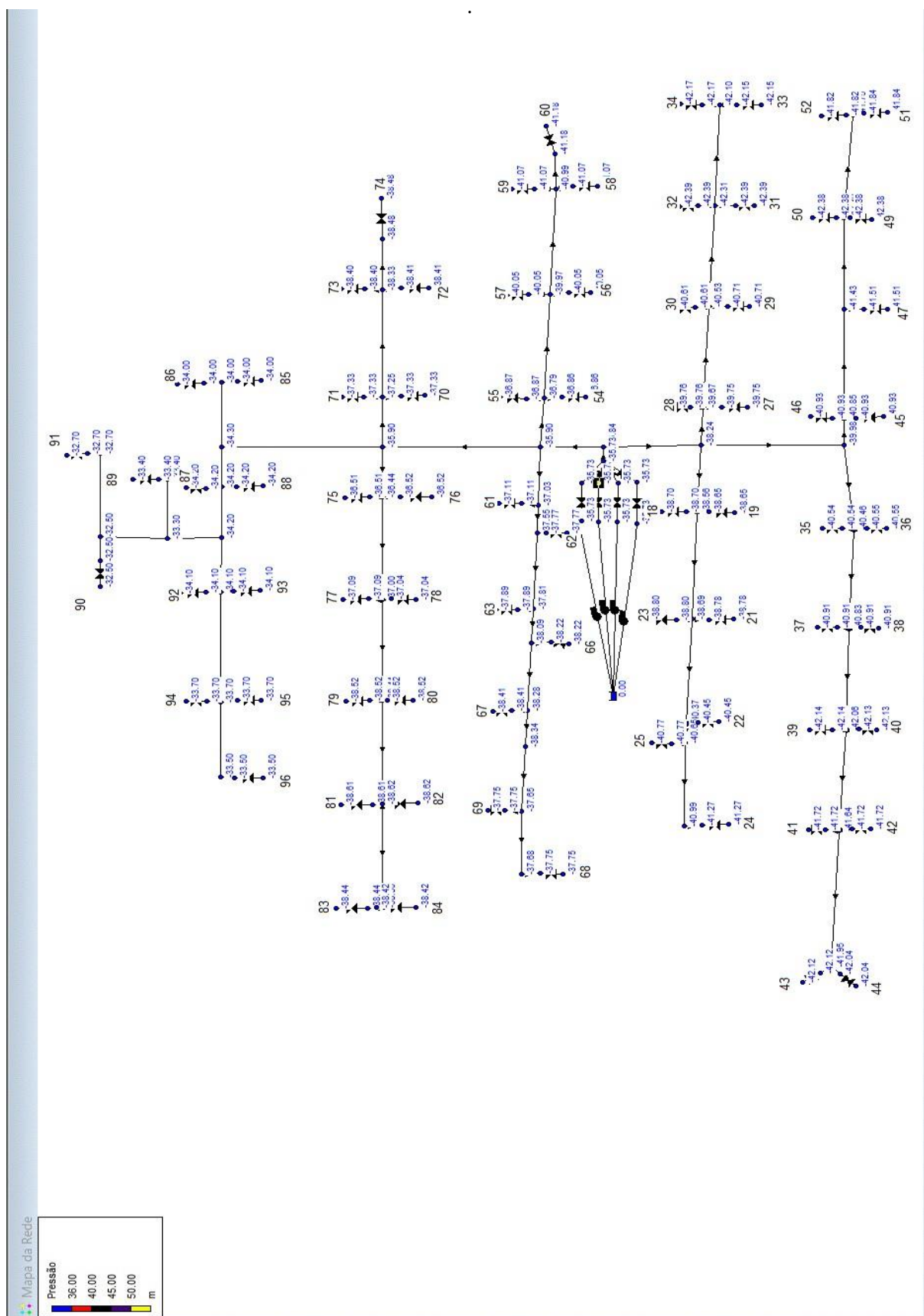
APÊNDICE F – CONTROLE PROGRAMADO PARA ATENDER O PLANEJAMENTO DIÁRIO DA IRRIGAÇÃO



APÊNDICE G – PRESSÃO PRIMEIRA SIMULAÇÃO ESTÁTICO PROJETADO, VAZÃO INDIVIDUAL DE 1,44 L/S/HÁ



APÊNDICE I – PRESSÃO SEGUNDA SIMULAÇÃO DINÂMICA, VAZÃO INDIVIDUAL DE 1,10 L/S/HA ÀS 22H



APÊNDICE J – PRESSÃO TERCEIRA SIMULAÇÃO DINÂMICA, VAZÃO ATUAL ÀS 22H

