



*Universidade Federal da Paraíba
Centro de Tecnologia
Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica
Dissertação de Mestrado*

MONITORAMENTO DA REDE DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DA UFPB

Por

Hudney Guilherme Machado de Hollanda

João Pessoa - Paraíba
Maio – 2025

Hudney Guilherme Machado de Hollanda

MONITORAMENTO DA REDE DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DA UFPB

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal da Paraíba em cumprimento às exigências para obtenção do título de Mestre.

ORIENTADOR: Prof. Dr. Cícero da Rocha Souto

JOÃO PESSOA - PARAÍBA

Maio, 2025

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

H734m Hollanda, Hudney Guilherme Machado de.
Monitoramento da rede de abastecimento de água da
UFPB / Hudney Guilherme Machado de Hollanda. - João
Pessoa, 2025.
66 f. : il.

Orientação: Cícero da Rocha Souto.
Coorientação: Alexsandro José Virgínio dos Santos.
Dissertação (Mestrado) - UFPB/CT.

1. Abastecimento de água - Automação. 2. Poços
artesianos - Eficiência hídrica. 3. Monitoramento
Hídrico. 4. Consumo de água. I. Souto, Cícero da Rocha.
II. Santos, Alexsandro José Virgínio dos. III. Título.

UFPB/BC

CDU 628.1(043)



Universidade Federal da Paraíba
Centro de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica
Mestrado e Doutorado

1 ATA DA DEFESA PÚBLICA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DO ALUNO HUDNEY GUILHERME
2 MACHADO DE HOLLANDA DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA DO CENTRO
3 DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA. Aos nove (9) dias do mês de maio do ano de dois
4 mil e vinte e cinco (2025), às **8h00**, no Auditório do PPGEM/CT/UFPB, teve lugar a apresentação da
5 **Dissertação de Mestrado** intitulada “**MONITORAMENTO DA REDE DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DA UFPB**”,
6 pelo aluno **HUDNEY GUILHERME MACHADO DE HOLLANDA** com vistas à obtenção do título de Mestre em
7 Engenharia Mecânica. A Comissão Examinadora foi composta pelos seguintes professores: Dr. Cícero da
8 Rocha Souto – UFPB (Orientador), Dr. Alexsandro José Virgínio dos Santos - UFPB (Coorientador), Dr. Francisco
9 Ricelly Pereira Feitosa – UFPB (Examinador Interno), Antônio da Silva Sobrinho Júnior – UFPB (Examinador
10 Externo) e Dr. Thiago da Silva Almeida – UNIPÊ (Examinador Externo). Instalada a Banca Examinadora, o Senhor
11 Presidente passou a palavra ao aluno para apresentar a defesa do seu trabalho de dissertação e este iniciou a
12 apresentação declarando perante a Banca Examinadora e o público presente que o trabalho que irá apresentar é
13 original e de sua autoria. A exposição oral iniciou às **8h42min**, sendo concluída às **9h30min**, tendo sido iniciada, logo
14 a seguir, a arguição pelos examinadores, finalizando-a às **11h10min**. Em seguida, o Senhor Presidente convidou a
15 Banca Examinadora a reunir-se reservadamente para deliberação. Concluída a Reunião, o Senhor Presidente
16 convocou o aluno e demais presentes para proclamar o resultado, tendo sido atribuído, por unanimidade, ao
17 mestrando o conceito **Aprovado** nos termos do Regulamento Geral dos Cursos e Programas de Pós-Graduação
18 Stricto Sensu da Universidade Federal da Paraíba (Resolução no 34/2014-CONSEPE) e do Regulamento do
19 Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba
20 (Resolução nº 13/2019-CONSEPE). Ao final da sessão, após os agradecimentos por parte do aluno, o Senhor
21 Presidente, por recomendação dos membros da Banca, estabeleceu um prazo máximo de **30** dias para o mestrando
22 providenciar as correções recomendadas, ficando a emissão do diploma do título de Mestre condicionada a essas
23 retificações que serão verificadas pelo orientador. Às **11h20min**, o Senhor Presidente encerrou os trabalhos,
24 determinando a leitura para fins de aprovação e a lavratura da presente ata que vai assinada por todos os membros
25 da Comissão Examinadora.

Documento assinado digitalmente



Cícero da Rocha Souto
Data: 15/05/2025 07:28:17-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

João Pessoa, 9 de maio de 2025.

Prof. Dr. Cícero da Rocha Souto
Orientador

Documento assinado digitalmente



ALEXSANDRO JOSE VIRGINIO DOS SANTOS
Data: 22/05/2025 20:04:02-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Alexsandro José Virgínio dos Santos
Coorientador

Documento assinado digitalmente



FRANCISCO RICELLY PEREIRA FEITOSA
Data: 21/05/2025 17:59:38-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Francisco Ricelly Pereira Feitosa
Examinador Interno

Documento assinado digitalmente



ANTONIO DA SILVA SOBRINHO JUNIOR
Data: 19/05/2025 16:34:54-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Antônio da Silva Sobrinho Júnior

Documento assinado digitalmente



THIAGO DA SILVA ALMEIDA
Data: 16/05/2025 07:41:48-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Thiago da Silva Almeida
Examinador Externo

DEDICATÓRIA

À Deus, à minha esposa Carol e meus filhos Isaac e Ana Liz, aos meus pais Neto e Hírlona e aos meus irmãos Paulo e Pedro.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradecer a Deus por ser a luz que ilumina meus caminhos.

À minha esposa Carol e aos meus filhos Isaac e Ana Liz por serem a minha motivação diária e por toda paciência e compreensão.

Aos meus pais Neto e Hírlona, aos meus irmãos Paulo e Pedro, pelo apoio diário, mesmo com toda a distância.

Aos meus avós, em especial Simone, por todo o suporte oferecido.

Aos demais parentes e familiares por todo apoio.

Ao meu orientador, o professor Cícero da Rocha Souto, por todas as orientações, por ter me dado a oportunidade, mostrado caminhos e aberto portas.

Aos amigos da SINFRA, em especial Thiago, Junior, Alan, Alysso, Jairo, Phillip e Kenny por terem sido grandes incentivadores.

Aos meus amigos Eduardo, Marcos, Augusto e Victor por de alguma forma terem contribuído para essa etapa da minha vida.

Aos colegas da CAGEPA, Diego e Márcio, por terem contribuído doando materiais e compartilhando conhecimento.

À UFPB por ser uma segunda casa, onde passo boa parte do meu tempo entre trabalho e estudo, além de ter sido o laboratório para o desenvolvimento deste trabalho.

MONITORAMENTO DA REDE DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DA UFPB

RESUMO

A crescente necessidade de melhorar a gestão hídrica em instituições públicas de grande porte, aliada à busca por redução de desperdícios e custos operacionais, motivou este estudo, que teve como foco o campus I da Universidade Federal da Paraíba (UFPB). O trabalho teve como objetivo implantar um sistema de automação e monitoramento no reservatório principal da rede de abastecimento de água da universidade, que até então era operada de forma manual, sujeita a falhas e sem base de dados para tomada de decisão. A proposta visou modernizar a operação, melhorar o controle do sistema e garantir mais segurança hídrica para a instituição.

Foram utilizados sensores de nível e vazão, controladores lógicos programáveis (CLPs) e o sistema supervisório ScadaBR, que permitiram o monitoramento em tempo real e a coleta contínua de dados. O estado da arte abordou temas como automação, eficiência energética, controle inteligente, monitoramento e uso de outras tecnologias aplicadas à automação e ao monitoramento de sistemas de abastecimento de água.

Os resultados mostraram que os poços artesianos forneciam, em média, 66,62% da água consumida pela instituição, redução da dependência da concessionária local e diminuição nas falhas de abastecimento. Também foi possível construir uma base de dados útil para a gestão. A economia gerada com a redução do consumo da concessionária foi estimada em cerca de R\$ 250.000,00 mensais.

O trabalho mostrou que a automação trouxe melhorias significativas para o sistema, tanto no aspecto operacional quanto financeiro.

Palavras-chave: Automação, Monitoramento Hídrico, Poços Artesianos, CLP, Abastecimento de água, Consumo de água, Eficiência hídrica

MONITORING OF THE UFPB WATER SUPPLY NETWORK

ABSTRACT

The growing need to improve water management in large public institutions, combined with the search for reducing waste and operating costs, motivated this study, which focused on Campus I of the Federal University of Paraíba (UFPB). The work aimed to implement an automation and monitoring system in the main reservoir of the university's water supply network, which until then was operated manually, subject to failures and without a database for decision-making. The proposal aimed to modernize the operation, improve system control and ensure greater water security for the institution.

Level and flow sensors, programmable logic controllers (PLCs) and the ScadaBR supervisory system were used, which allowed real-time monitoring and continuous data collection. The state of the art covered topics such as automation, energy efficiency, intelligent control, monitoring and the use of other technologies applied to the automation and monitoring of water supply systems.

The results showed that artesian wells provided, on average, 66.62% of the water consumed by the institution, reducing dependence on the local utility company and reducing supply failures. It was also possible to build a useful database for management. The savings generated by reducing the utility company's consumption were estimated at approximately R\$250,000.00 per month.

The study showed that automation brought significant improvements to the system, both in operational and financial aspects.

Keywords: Automation, Water Monitoring, Artesian Wells, PLC, Water Supply, Water Consumption, Water Efficiency

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| SUMÁRIO | 7 |
| LISTA DE FIGURAS | 8 |
| LISTA DE QUADROS | 9 |
| 1. INTRODUÇÃO | 10 |
| 1.1. OBJETIVOS | 11 |
| 1.1.1. Objetivo Geral | 11 |
| 1.1.2. Objetivos Específicos | 11 |
| 1.2. JUSTIFICATIVA | 11 |
| 2. ESTADO DA ARTE | 13 |
| 3. MATERIAIS E MÉTODOS | 29 |
| 3.1. DESENHO DO ESTUDO | 29 |
| 3.2. METODOLOGIA PARA COLETA E ANÁLISE DOS DADOS | 41 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES | 45 |
| 4.1. CONTRIBUIÇÃO HÍDRICA DOS POÇOS NO ABASTECIMENTO | 45 |
| 4.2. ANÁLISE DO CONSUMO TOTAL E PADRÕES DE DEMANDA | 46 |
| 4.3. COMPORTAMENTO DOS POÇOS E EFICIÊNCIA | 48 |
| 4.4. ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE FONTES DE ABASTECIMENTO | 50 |
| 4.5. REDUÇÃO DE FALHAS E IMPACTOS NO ABASTECIMENTO | 51 |
| 4.6. CONSTRUÇÃO DE BASE DE DADOS PARA AUXÍLIO NAS TOMADAS DE DECISÃO FUTURAS | 53 |
| 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS | 56 |
| 5.1. PROPOSIÇÃO DE OUTRAS MELHORIAS E TRABALHOS FUTUROS | 57 |
| 6. BIBLIOGRAFIA | 58 |
| 7. APÊNDICE | 63 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 - Bancada Experimental..... | 13 |
| Figura 2 - Resultado Sem Controlador..... | 13 |
| Figura 3 - Resultado Com Controlador Descentralizado..... | 13 |
| Figura 4 - Resultado Com Controlador Centralizado..... | 14 |
| Figura 5 - Bancada Experimental..... | 15 |
| Figura 6 - Gráfico da curva da bomba com sistema operando sem controle fuzzy e com o controlador atuando..... | 15 |
| Figura 7 - Bancada Experimental..... | 16 |
| Figura 8 - Sistema Proposto..... | 16 |
| Figura 09 - Resultado com Arduíno..... | 17 |
| Figura 10 - Resultado sem Arduíno..... | 17 |
| Figura 11 - Controlador desenvolvido..... | 18 |
| Figura 12 - Telas do controle por aplicativo..... | 19 |
| Figura 13 - Esquema da bancada para estudo de automação..... | 20 |
| Figura 14 - Perdas ao Longo dos Anos..... | 21 |
| Figura 15 - Consumo diário de 31/10/2018 até 30/04/2019..... | 22 |
| Figura 16 - Protótipo inteligente instalado..... | 23 |
| Figura 17 - Curva de consumo médio com atividades presenciais..... | 24 |
| Figura 18 - Bancada Experimental..... | 25 |
| Figura 19 - Protótipo Estudado..... | 26 |
| Figura 20 - Experimento Sem Controlador, Controlando Pressão e Controlando Pressão e Eficiência Energética..... | 26 |
| Figura 21 - Rede de Abastecimento de Água da UFPB..... | 30 |
| Figura 22 - Legenda da Rede Abastecimento..... | 30 |
| Figura 23 - Esquema do Reservatório Principal..... | 31 |
| Figura 24 - Imagem Real do Reservatório Principal..... | 31 |
| Figura 25 - Esquema do Reservatório Principal em Forma de Fluxograma..... | 32 |
| Figura 26 - Quadro De Comando da Bomba dos Poços..... | 35 |
| Figura 27 - Painel de Automação..... | 37 |
| Figura 28 - Painel de Automação..... | 37 |
| Figura 28 - Painel de Bombas Substituído..... | 39 |
| Figura 30 - Painel de Bombas Auto Comutador..... | 39 |
| Figura 31 - Painel de Bombas Auto Comutador..... | 39 |
| Figura 32 - Macromedidores de Vazão..... | 40 |
| Figura 33 - Sonda de Nível..... | 41 |
| Figura 34 - Tela 1 do Supervisório..... | 43 |
| Figura 35 - Tela 2 do Supervisório..... | 44 |
| Figura 36 - Contribuição por Poço e Média (m ³)..... | 45 |
| Figura 37 - Contribuição Poços x Cagepa em Termos Percentuais..... | 50 |
| Figura 38 - Nível do Reservatório Superior ao Longo do Tempo..... | 52 |
| Figura 39 - Nível do Reservatório Inferior ao Longo do Tempo..... | 53 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|---|----|
| Quadro 1 - Descrição dos Locais e Equipamentos a Serem Controlados e Monitorados..... | 33 |
| Quadro 2 - Lista de Equipamentos Atualmente Instalados no Reservatório Principal..... | 33 |
| Quadro 3 - Painel de Automação..... | 36 |
| Quadro 4 - Painel de Bombas Auto Comutador..... | 38 |
| Quadro 5 - Consumo Médio Diário, Mensal e Anual..... | 47 |
| Quadro 6 - Dados Gerais de Fornecimento..... | 48 |

1. INTRODUÇÃO

A Universidade Federal da Paraíba, anteriormente Universidade da Paraíba, foi fundada em 1955, foi federalizada em 1960 e é uma instituição multicampi, sediada nas cidades de João Pessoa, Areia, Bananeiras, Rio Tinto e Mamanguape, além de unidades em Santa Rita e São João do Cariri (UFPB, 2016).

A instituição possui mais de 30 mil discentes de cursos de graduação e 5 mil de pós-graduação, dentre os discentes, cerca de 1 mil são moradores das residências universitárias. Além disso, há mais de 6 mil servidores entre docentes (2,6 mil), técnicos administrativos (3,2 mil) e contratados terceirizados (1,1 mil), totalizando uma população de aproximadamente 40 mil pessoas. Tudo isso suportado por um orçamento na ordem de 2 bilhões de reais (UFPB, 2019). A título de comparação, se fosse uma cidade, a UFPB estaria entre as 15 cidades mais populosas do estado da Paraíba (IBGE, 2023).

Para suprir a demanda de água para toda essa população, a instituição possui, em seu campus I, na unidade central no bairro do Castelo Branco, João Pessoa/PB, um sistema de adução formado por poços artesianos complementares ao fornecimento de água por parte da concessionária local, esse sistema híbrido também pode ser encontrado também na unidade de Santa Rita/PB e nos Campi II e III, localizado respectivamente nas cidades de Areia/PB e Bananeiras/PB. As águas captadas são aduzidas através de conjuntos motor-bomba até três reservatórios, sendo um principal e dois auxiliares, espalhados em três setores do campus. Dos reservatórios, por meio da gravidade, a água é transportada através de tubos, em sua maioria de ferro fundido (porém, na rede de distribuição há, ainda, tubos de PVC, amianto, entre outros materiais).

Diante de um sistema tão importante e complexo é de se espantar que não haja nenhum tipo de controle e que o monitoramento seja feito de forma arcaica, onde o único tipo de automação é feito através de bóias elétricas ou eletrodos para acionamento dos conjuntos motor-bomba e o monitoramento feito através da observação dos servidores/operadores e troca de mensagens através de aplicativos de celular. Esses aspectos evidenciam a necessidade de se prover a instituição de um melhor controle e monitoramento, a fim de se construir um banco de dados para

auxílio nas tomadas de decisões por parte dos gestores da instituição, além de evitar indisponibilidade hídrica, ainda que temporária.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo Geral

Implantar um sistema de monitoramento, controle e automação voltado para o reservatório principal do sistema de abastecimento de água da Universidade Federal da Paraíba – Campus I.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Determinar o consumo médio da universidade iniciando do reservatório em estudo;
- Determinar a contribuição hídrica de cada poço para o abastecimento da universidade;
- Determinar a relação de fornecimento entre os poços da UFPB e a concessionária CAGEPA.
- Antecipar as possíveis falhas no abastecimento da instituição;
- Construir base de dados para auxílio nas tomadas de decisão futuras;

1.2. JUSTIFICATIVA

Automação é um sistema que verifica seu próprio funcionamento, efetuando medições e correções sem a necessidade de interferência humana. Ogata (2011, p. 12) fala que o controle automático é importante e intrínseco em diversos sistemas e em diversas operações industriais sendo necessário que engenheiros e cientistas estejam familiarizados com a teoria e a prática do controle automático. Através desse controle automático é possível monitorar diversas variáveis em um sistema de abastecimento de água.

Nos sistemas de abastecimento, dentro de seus processos é possível monitorar inúmeras variáveis como níveis de reservatórios e mananciais, vazões de bombeamento, pressões em linhas de adução e distribuição de água, monitoramento de parâmetros de qualidade

da água, temperatura de motores etc. Além do monitoramento é possível também, em um sistema de abastecimento automatizado, controlar diversos equipamentos de forma automática ou remota como, por exemplo, realizar acionamentos de motobombas e controlar posições de abertura de válvulas diversas. Essa flexibilidade contribui para a operação eficiente de um sistema de abastecimento de água. (HENRIQUES, 2018)

Como se percebe, em um sistema de abastecimento de água, como o encontrado na Universidade Federal da Paraíba, existem diversos aspectos a serem monitorados e controlados, sendo inconcebível que esse monitoramento seja todo realizado de forma que não há nenhum tipo de controle eficiente sem nenhuma base de dados sendo formada ao longo do tempo. Dados como vazão, pressão, volume consumido, níveis dos reservatórios entre outros, são, atualmente, totalmente desconhecidos. Ainda, as falhas no sistema de adução só são possíveis de identificar quando há indisponibilidade hídrica em algum ou alguns pontos da instituição.

O estudo em tela propõe a implementação de um sistema de controle e monitoramento nessa rede de distribuição de água de forma que se evite desabastecimento de água e que se forme uma base de dados que auxilie os gestores na tomada de decisões.

2. ESTADO DA ARTE

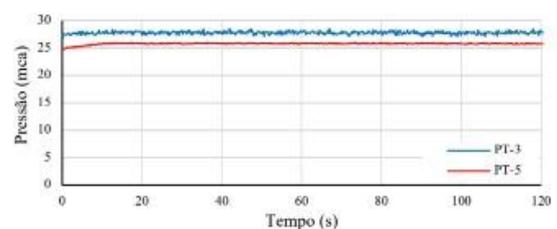
Um sistema de distribuição de água automatizado tem como um de seus objetivos a busca por eficiência energética, nesse contexto Mendonça et al.(2022) aplicou um sistema de controle inteligente baseado em lógica fuzzy de forma centralizada e descentralizada, para controle de pressão utilizando válvulas e inversores de frequência em um sistema simulado em bancada experimental, como pode ser visto na figura 1, contendo conjunto motor-bomba e válvula, que simula duas zonas de pressão sendo uma a 1,5 m (pt3 das figuras 2, 3 e 4) e outra 6 m (pt5 das figuras 2, 3 e 4) de cota. Os autores demonstraram que o sistema centralizado foi mais eficiente em relação ao sistema descentralizado e os dois apresentaram melhores resultados se comparados ao sistema sem atuação dos controladores. Abaixo seguem a bancada experimental (figura 1) e os resultados das pressões medidas nos pontos 3 e 5 em baixa demanda para o sistema sem controlador (figura 2), com controlador descentralizado (figura 3) e centralizado (figura 4), respectivamente.

Figura 1 - Bancada Experimental



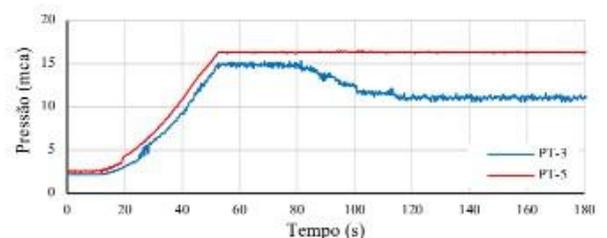
Fonte: Mendonça et al (2022)

Figura 2 - Resultado Sem Controlador



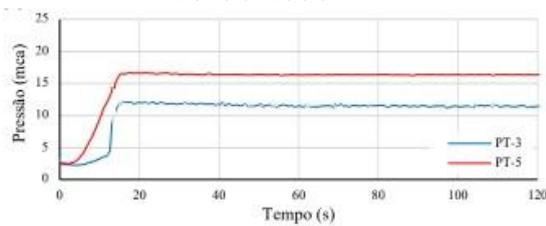
Fonte: Mendonça et al (2022)

Figura 3 - Resultado Com Controlador Descentralizado



Fonte: Mendonça et al (2022)

Figura 4 - Resultado Com Controlador Centralizado



Fonte: Mendonça et al (2022)

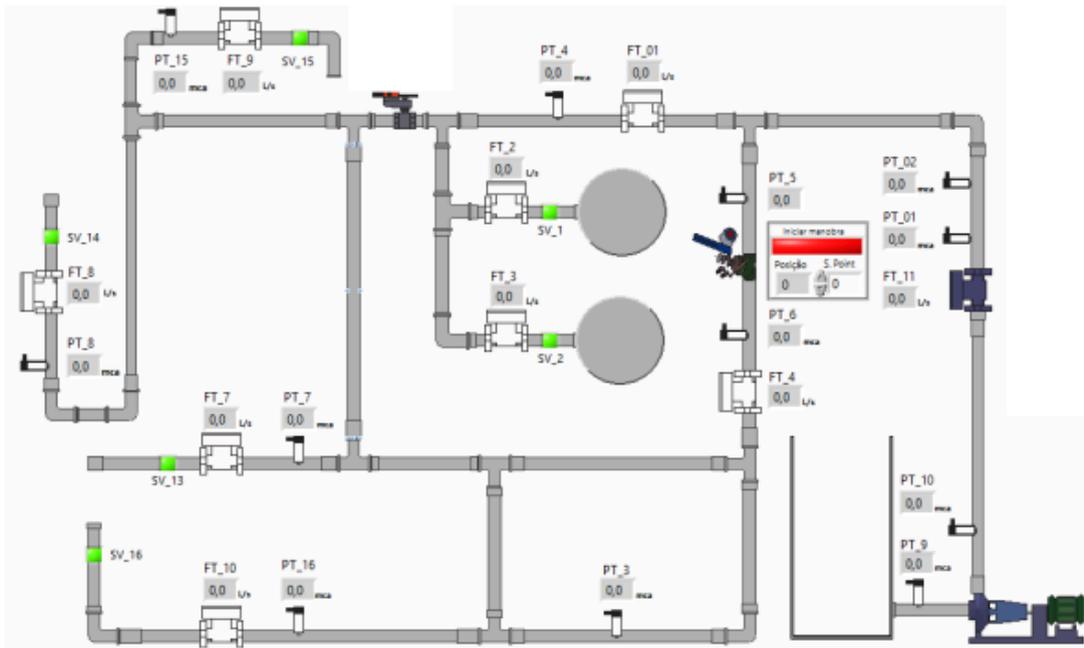
Mendonça, Gomes e Villanueva (2022), também em bancada experimental, desenvolveu um estudo da aplicação da automação através da lógica Fuzzy mas dessa vez aplicada a sistemas de irrigação. O estudo foi realizado em uma bancada de testes totalmente automatizada no laboratório Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento da Universidade Federal da Paraíba (LENHS/UFPB) e simulou um sistema de irrigação controlado por um controlador fuzzy descentralizado. Os resultados mostraram uma redução no consumo de água na ordem de 34,45% e no consumo de energia de até 52,10% sem comprometer o desempenho agrícola.

Outra pesquisa, realizada por Almeida e Silveira (2021), estudou a automação por meio da lógica Fuzzy em linguagem python para controle de nível de reservatório e fez comparações com o uso do controlador PID. Os autores observaram que a lógica fuzzy pode atender problemas complexos de controle automático de processos de forma simples e que é menos complexo de ser desenvolvido em relação do PID, sendo uma boa alternativa ao seu uso. Além disso, o emprego dessas tecnologias computacionais se destaca diante dos outros tipos de automação pelo fato de envolver lógicas simples.

Um outro estudo, desta vez realizado por Souza et al (2016), aplicou a lógica Fuzzy para visando controlar pressões e, conseqüentemente, eficiência energética, além de minimizar os transientes provocados pelo acionamento das bombas ou abertura e fechamento das válvulas. A pesquisa foi realizada em uma bancada experimental, demonstrada na figura 5, simulando uma rede real de distribuição totalmente instrumentalizada. O sistema possui tubulação de pvc e ferro ductil, pontos de consumo controlados por registros ou solenóides, controladores e transdutores de pressão, além de medidores de vazão. Foi utilizado um conjunto motor bomba e um painel elétrico com inversor de frequência onde foi feita a comparação dos cenários operacionais com e sem o controlador fuzzy, medindo

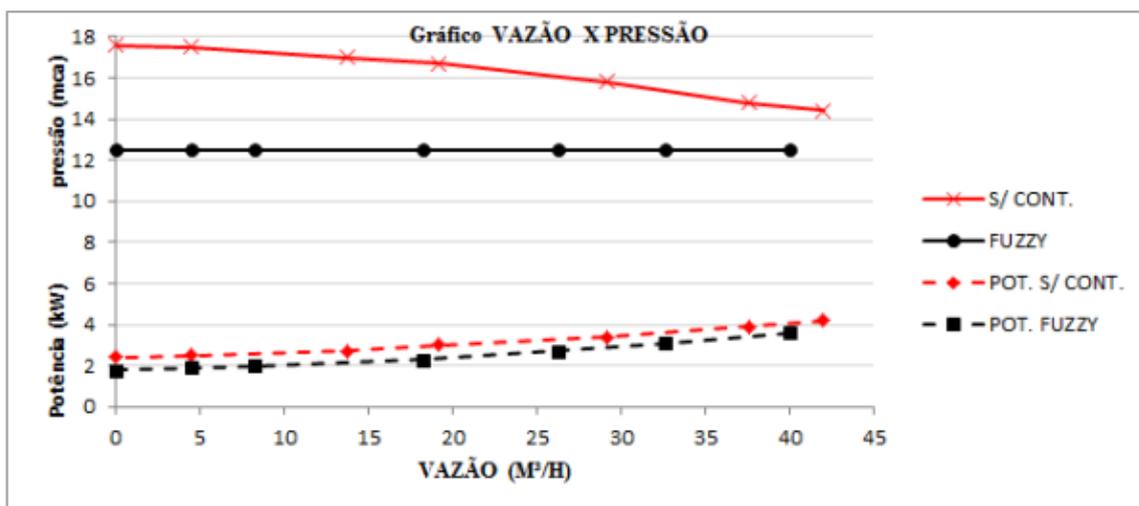
vazão, pressão e potência. A figura 6, apresenta os gráficos comparativos de vazão, pressão e potência para o sistema com ou sem o controle fuzzy. Os resultados apresentaram um ganho de eficiência energética, variando de 14,3% a 25% as reduções no consumo de energia. Além disso, o controle de pressão proporciona uma melhoria no serviço de abastecimento de água, na vida útil da rede e nos equipamentos instalados.

Figura 5 - Bancada Experimental



Fonte: SOUZA ET AL (2016)

Figura 6 - Gráfico da curva da bomba com sistema operando sem controle fuzzy e com o controlador atuando.



Fonte: SOUZA ET AL (2016)

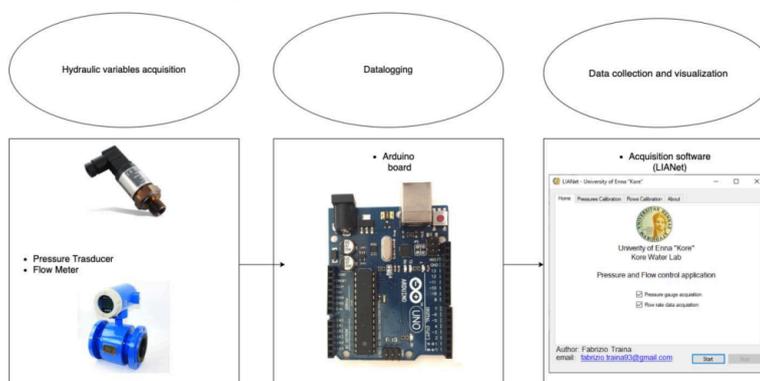
Ainda nessa linha de monitoramento das pressões em redes de distribuição de água, foi proposto por BRUNO et al (2021) um sistema baseado no microcontrolador Arduino visando encontrar um sistema inovador, econômico e de fácil instalação para esse tipo de monitoramento. Em uma rede experimental composta por três malhas, nove nós e onze tubulações de polietileno, com diâmetro nominal (DN) de 63 mm (figura 7), foram instalados oito transdutores de pressão, sendo quatro monitorando conforme o sistema proposto, com placa Arduino e software de aquisição de dados escrito em C# (figura 8) e os demais por sistema SCADA, em todos os nós da rede. O Arduino coleta esses dados e os envia periodicamente por rede para o software simples desenvolvido pelos pesquisadores. O sistema proposto se mostrou capaz de atender as expectativas propostas tendo os resultados das pressões nos pontos monitorados validado em comparação a sistemas de medição industrial, conforme pode ser visto nas figuras 9 e 10.

Figura 7 - Bancada Experimental



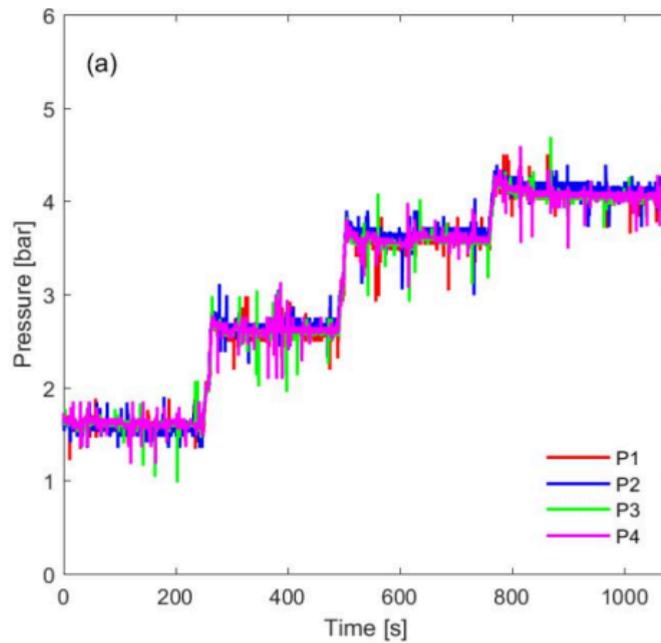
Fonte: BRUNO et al (2021)

Figura 8 - Sistema Proposto



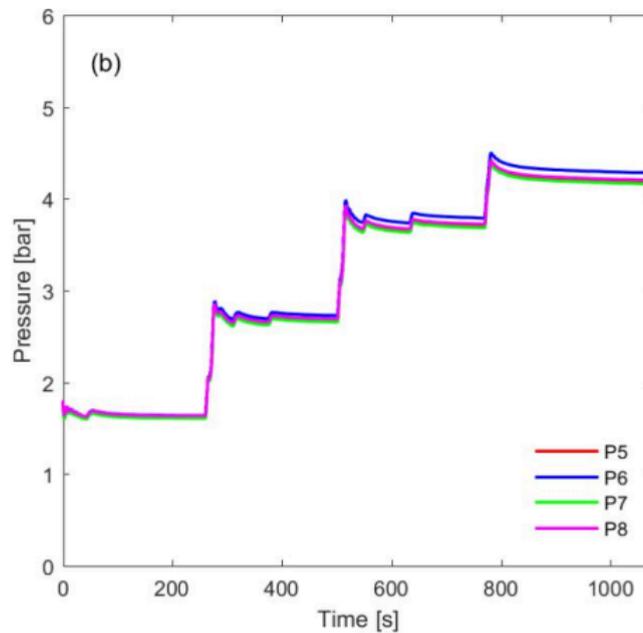
Fonte: BRUNO et al (2021)

Figura 09 - Resultado com Arduíno



Fonte: BRUNO et al (2021)

Figura 10 - Resultado sem Arduíno



Fonte: BRUNO et al (2021)

Um problema que ocorre com certa frequência em reservatórios nas redes de abastecimento de água é o extravasamento, responsável por causar perdas de água e energia. Em SANTOS E OLIVEIRA (2014) foi proposto um sistema de automação de baixo custo com uso de Arduino Uno, um relé shield, uma fonte VCC

e um disjuntor, conforme mostrado na figura 11, para eliminar esse tipo de desperdício em um sistema de abastecimento real no campus de Cajazeiras do IFPB. O controlador desenvolvido executa as tarefas de ligar e desligar o conjunto motobomba de acordo com os níveis dos reservatórios, além de alternar a operação do conjunto. Após a implementação do sistema não foram identificados eventos de extravasamento nem de falta de água no campus em estudo.

Figura 11 - Controlador desenvolvido



Fonte: SANTOS E OLIVEIRA (2014)

Com o objetivo de monitorar e controlar, através da internet, o abastecimento de reservatórios residenciais com água proveniente de poços artesianos, Oliveira e Cavalcanti (2017) desenvolveram um aplicativo chamado AquaControle, mostrado na figura 12 abaixo. Utilizando sensores de nível e fluxo, além de um microcontrolador NodeMCU com ESP8266-12E com conexão Wi-Fi, o sistema oferece monitoramento contínuo via conexão à Internet, através de aplicativo próprio desenvolvido pelos pesquisadores, permitindo o armazenamento e acesso remoto aos dados de funcionamento e consumo.

O sistema conseguiu atingir o objetivo proposto nesse processo de evitar o desperdício de água e a economia de energia.

Figura 12 - Telas do controle por aplicativo

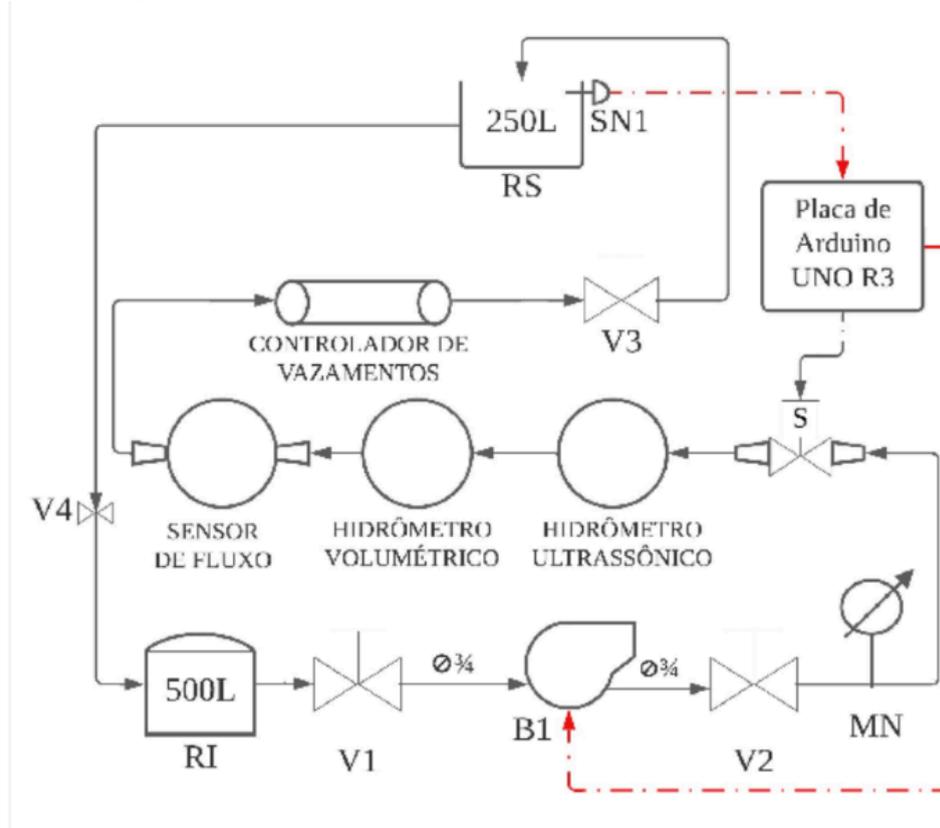


Fonte: Oliveira e Cavalcanti (2017)

Seguindo essa linha de protótipo utilizando o Arduino Uno, SODEK et al (2022) realizou um estudo em bancada com o objetivo de desenvolver um sistema de automação simples e de baixo custo para o controle de reservatórios de redes de distribuição de água, essa bancada, conforme figura 13, contém dois reservatórios, bomba, válvulas, sensores, hidrômetros e etc. Dois métodos foram utilizados para controle e automação do nível do reservatório, o primeiro através de sensor de nível e o segundo através do sensor de vazão.

Os resultados mostraram que a automação através dos sensores de níveis foi mais precisa, já que através do controle de vazão houve um erro aproximado de 14%. O estudo mostrou a viabilidade dos equipamentos para pesquisa e operação.

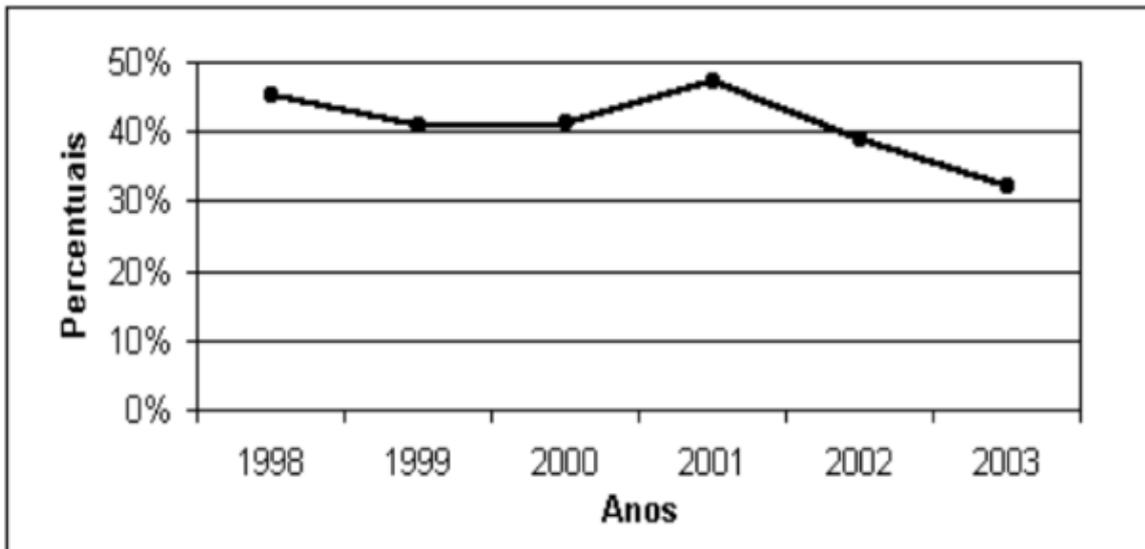
Figura 13 - Esquema da bancada para estudo de automação.



Fonte: SODEK et al (2022)

Um estudo de caso foi realizado por TROJAN e KOVALESKI (2005) na cidade de Ponta Grossa, na área de atuação da Companhia de Saneamento do Paraná analisando os dados das perdas de água no período entre 1998 e 2003, ou seja, antes e depois da instalação do sistema de automação que se deu em 2001. A automação em estudo foi elaborada para atender as características do município e a supervisão foi feita por softwares que reportavam anormalidades. Pode-se perceber que após dois anos de implantação do sistema foi possível controlar as pressões nas tubulações de distribuição e melhorar a velocidade nos reparos dos vazamentos nas tubulações. Observou-se, seguindo o que se pode ver na figura 14, de acordo que as perdas de água caíram após a implantação da automação.

Figura 14 - Perdas ao Longo dos Anos



Fonte: TROJAN e KOVALESKI (2005)

Um outro estudo de caso, publicado por Brandão, Ribeiro E Oliveira (2014), analisou uma ETA (estação de tratamento de água) Região Metropolitana de Fortaleza entre os anos de 2011 e 2012 e descreveu o microssistema de abastecimento de água e o sistema supervisorio usado pela empresa estatal. Através do monitoramento, foi possível identificar que a ETA tem produzido um volume cada vez maior de água para atender à crescente demanda da região. Também foi verificado quais setores que mais consomem e aqueles que mostram uma tendência maior de crescimento do consumo de água, além das perdas que ocorrem no sistema. Concluiu-se que o principal vilão da rede de abastecimento são as perdas que chegam a 50% do que é produzido e que a automação é uma das principais ferramentas que possibilitam uma análise e uma operação mais eficiente.

Vasconcelos, Rocha E De Alexandria (2018), também realizaram um estudo de caso produzido a partir da automação do sistema de tratamento e distribuição de água na Região Metropolitana de Fortaleza. Foram feitas as identificações da instrumentação utilizada, foi conhecido o protocolo de comunicação, observado a topologia e o meio de transmissão da rede especificado e quantificar os Controladores Lógicos Programáveis (CLP) utilizados e identificado o sistema SCADA aplicado. Foi observado que o sistema permite de supervisionar em tempo real os equipamentos que medem a pressão, vazão, níveis, cloro, bombas, o volume diário de água que é distribuído a uma sub-região, além de proporcionar a

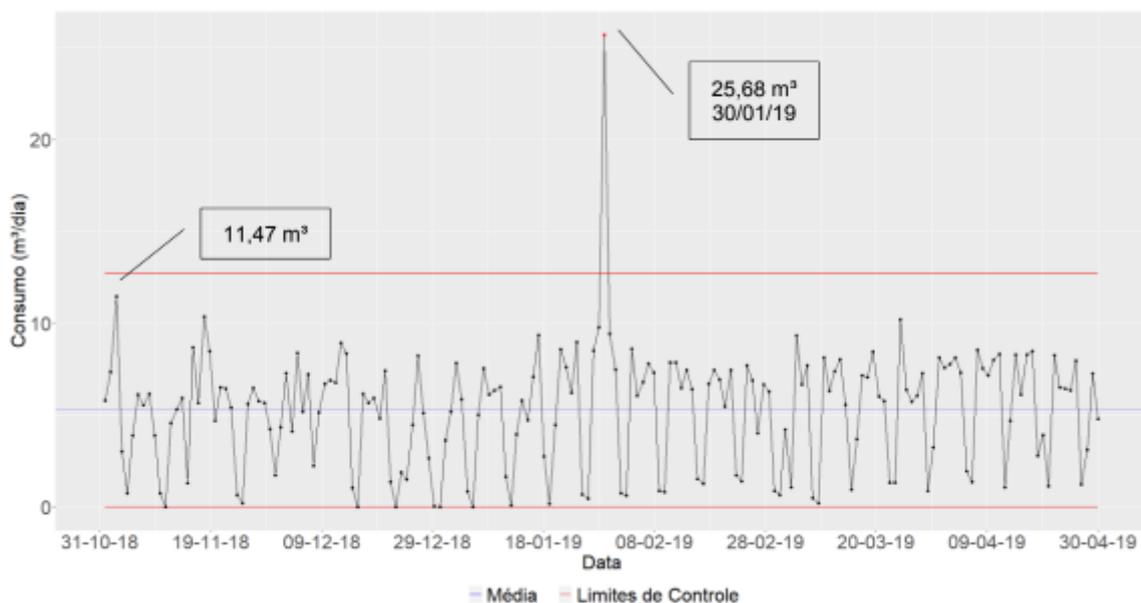
padronização de operações e a agilidade ao atendimento de ocorrências, além de redução de perdas. Concluiu-se que o sistema foi eficiente para o que foi proposto.

Um outro estudo, avaliou a utilização de um medidor inteligente de água em uma agência bancária em Joinville/SC por 6 meses para detecção de excessos de consumo e vazamentos (LIMA et al, 2021).

O sistema foi composto por um hidrômetro multijato, um sensor de leitura por saída de pulsos, um registrador de dados e transmissão via rede de telefonia móvel GPRS para um servidor com acesso via navegador de internet. Esse sensor registrou leituras automáticas com intervalos de 15 minutos.

O monitoramento desse hidrômetro permitiu uma maior agilidade na tomada de decisão quando se observou alguma anomalia no consumo da unidade em estudo, uma vez que deixou de ser necessário aguardar o envio da fatura para observar o volume consumido, reduzindo os desperdícios. A figura 15 mostra o consumo diário em todo o período monitorado, incluindo uma anomalia no dia 30/01/2019.

Figura 15 - Consumo diário de 31/10/2018 até 30/04/2019



Fonte: Lima et al, (2021)

Ainda falando sobre redução de perdas, Tenório, Gimenes e Pina Filho(2020) estudaram a importância da automação para redução das perdas em um sistema de abastecimento de água, uma vez que as taxas de perdas podem chegar a 40% no Brasil. Eles concluíram que os benefícios da automação em sistemas de

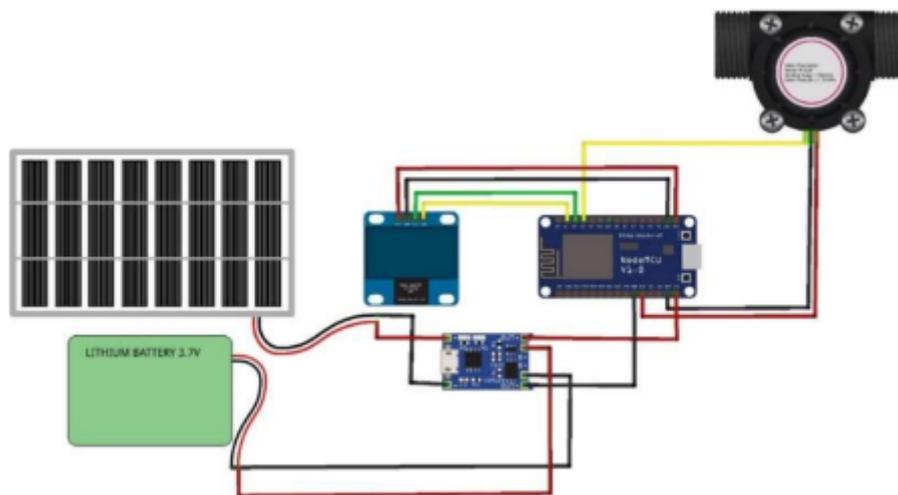
abastecimento incluem a redução de custos, preservação de recursos hídricos e melhoria na qualidade de vida em uma região, aumentando a eficiência na distribuição de água e reduzindo os desperdícios.

Medeiros et al (2021) realizou um estudo na Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) com o objetivo de desenvolver em laboratório um protótipo de baixo custo (R\$159,98) utilizando sensor turbina, alimentado por energia solar e conectado ao microcontrolador Node MCU, conforme figura 16, para monitorar o consumo de água e detecção de vazamentos em uma edificação.

O protótipo faz a leitura dos dados de vazão e envia para uma planilha virtual. Através dos dados coletados a equipe mapeou o padrão de consumo da edificação estudada e com isso, ao encontrar registros fora do padrão, encontram o que pode ser resultante de vazamentos que precisam ser melhor avaliados in loco.

O protótipo desenvolvido se mostrou eficaz para a detecção de vazamentos e medição de consumo, obtendo valores compatíveis com os esperados para consumo na edificação em estudo, conforme figura 17, e identificando perdas de água em dias sem atividades presenciais.

Figura 16 - Protótipo inteligente instalado



Fonte: Medeiros et al (2021)

Figura 17 - Curva de consumo médio com atividades presenciais



Fonte: Medeiros et al (2021)

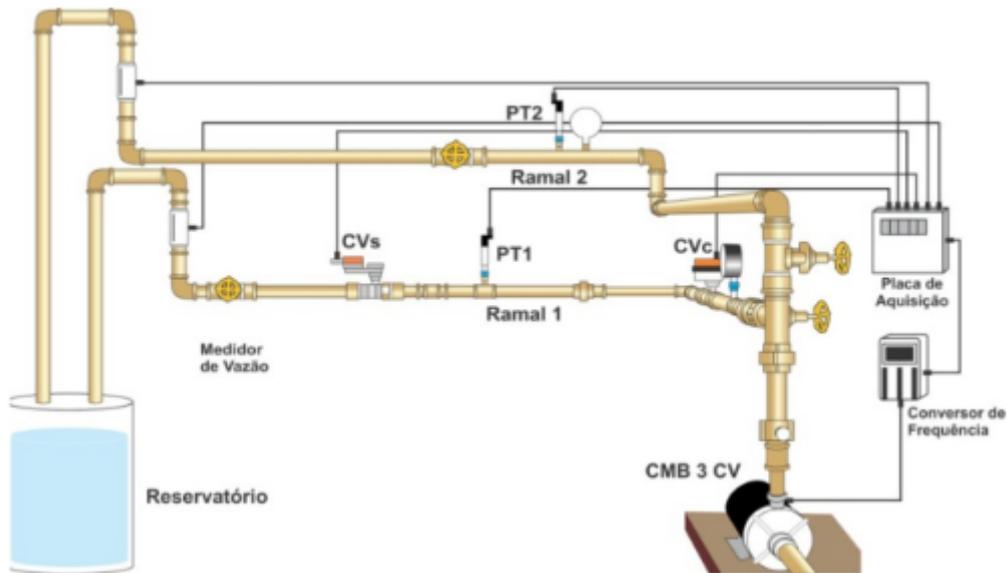
Levando em consideração que a perda de água é um problema a ser levado a sério pelas empresas, Nascimento e Gomes-Jr (2023) propôs aplicar técnicas de AutoML (Aprendizado de máquina automatizado) para melhorar a detecção de vazamentos. Os resultados indicaram que os algoritmos combinados com hiperparâmetros foram eficazes em capturar anomalias. O estudo concluiu que o trabalho pode ser aplicado de forma prática e tem potencial para ter um impacto positivo na redução das perdas de água.

Um sistema utilizando comunicação RS485 e CAN complementado por módulos LoRa para monitoramento remoto de sistemas de abastecimento de água foi proposto por Medeiros et al (2021) visando redução de custos em comparação aos sistemas tradicionais. O sistema opera sem internet e mostrou erro médio de 0,78%. Os testes mostraram que os sinais geram ruídos que podem interferir nos sensores próximos, além de sofrerem interferência de veículos. Isso mostra a importância da escolha do local da instalação do dispositivo.

Um controlador adaptativo de variância mínima generalizada (GMV) autoajustável foi projetado por Silva et al. (2015) em um sistema experimental de distribuição de água, conforme ilustrado na figura 18. O sistema é composto por dois transdutores de pressão, um conjunto motor-bomba, um conversor de frequência e duas válvulas de controle. O objetivo do controlador é regular a pressão nos pontos de distribuição de água, controlar a variação da velocidade de rotação do motor-bomba e ajustar a abertura das válvulas de controle. Os experimentos, conduzidos em condições de malha fechada, realizados para avaliar o controlador adaptativo GMV auto-ajustável demonstraram sua eficácia no controle

da pressão em sistemas de distribuição de água. Os resultados trouxeram uma redução de 19,2% na energia consumida e 16,7% no consumo específico de energia elétrica para o sistema atuando em na situação mais desfavorável, ou seja, em vazão máxima .

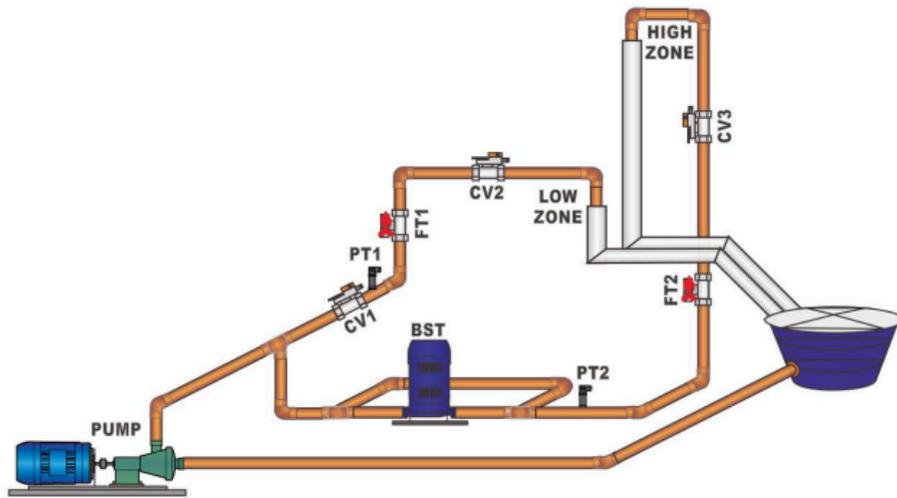
Figura 18 - Bancada Experimental



Fonte: Silva et al (2015)

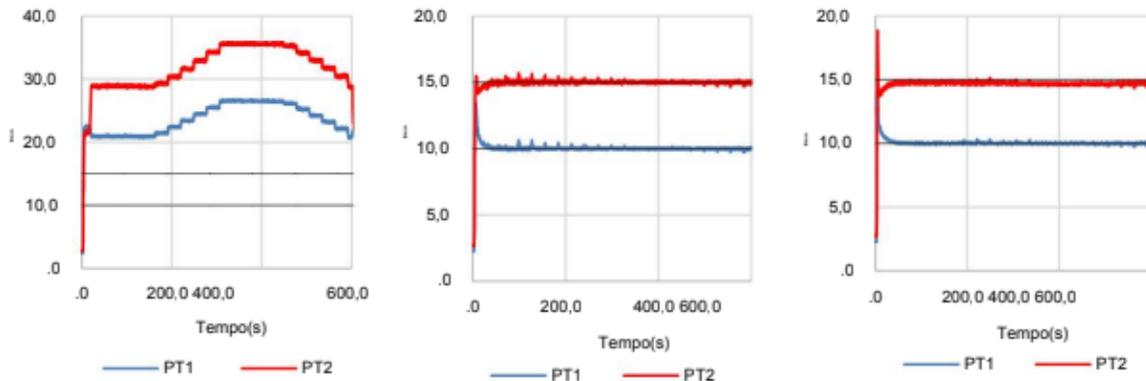
Uma pesquisa elaborada por Salvino, Gomes e Pimentel (2022) verificou o uso de Redes Neurais Artificiais para o controle de uma rede de abastecimento de água, experimental, conforme figura 19, contendo um conjunto motor-bomba, um booster, três válvulas de controle, duas válvulas de fluxo e de pressão, visando a redução de perdas e a eficiência energética. O controlador foi utilizado regulando as pressões em tempo real através da rotação das bombas e do fechamento das válvulas. Os resultados experimentais demonstraram uma redução no consumo de energia (eficiência energética) entre 15,1% e 17,8% em comparação com o sistema não controlado, de 2,5% a 8,1% em comparação com o desempenho de redes neurais baseada apenas no controle de pressão, que pode ser observado na figura .

Figura 19 - Protótipo Estudado



Fonte: Salvino, Gomes e Pimentel (2022)

Figura 20 - Experimento Sem Controlador, Controlando Pressão e Controlando Pressão e Eficiência Energética



Fonte: Salvino, Gomes e Pimentel (2022)

Em uma rede simulada em laboratório, foi proposto por Fais et al (2023) um sistema de baixo custo para avaliar e monitorar dados em tubulações de água utilizando sensores de vazão e temperatura da água, associados à detecção de vazamentos.

Os sensores são lidos através do microcontrolador ATmega328 e do módulo ESP8266 (ARDUINO UNO) e enviados para uma página da web desenvolvida pelos autores para visualização dos dados.

Se alguma leitura dos sensores atinge um nível diferente da normalidade, um buzzer é acionado como alerta sonora, mostrando a eficácia do sistema proposto..

Um protótipo para aquecimento de água através da energia solar e seu monitoramento para uso em casas que possuem encanamento em PVC e seu monitoramento, foi desenvolvido por Pontes, De Menech e Betini (2021).

O sistema é composto por coletores solares, um reservatório térmico e uma caixa d'água. O controle de temperatura é realizado internamente no reservatório para garantir a segurança do sistema e o conforto dos usuários, com a água permanecendo aquecida a 38°, essa temperatura faz com que não seja necessária a substituição do PVC existente.

O sistema monitorou a pressão e a temperatura da água através de sensores e válvulas solenoides, gerenciados por um microcontrolador Arduino Uno e o software Eclipse SCADA e se mostrou viável pois manteve o uso do PVC existente nas casa e trouxe economia de energia.

Aplicando uma abordagem através de algoritmos genéticos, Egito, Azevedo E Bezerra (2023) tentaram aliar o uso eficiente dos reservatórios com o acionamento de sistemas de bombeamento. Para isso, eles utilizaram um algoritmo genético (GA) em conjunto com o simulador hidráulico EPANET para minimizar os custos de energia sem comprometer a qualidade de abastecimento.

A abordagem resultou numa redução dos custos diários de eletricidade em cerca de 21,58% mostrando a sua viabilidade econômica. Embora o estudo tenha sido realizado em redes de teste, ele se mostra aplicável a problemas reais, necessitando apenas de pequenas adaptações para adequação a outras redes.

Targino (2023) desenvolvimento de um protótipo de baixo custo para monitoramento da qualidade da água, através de parâmetros como o pH, turbidez e temperatura. O sistema utilizou o microcontrolador Arduino e a plataforma ThingSpeak e foi implantado em um reservatório da UFCG (Universidade Federal de Campina Grande).

Com um custo total de R\$430,46, o sistema se mostrou viável para o monitoramento da qualidade da água reduzindo a necessidade de inspeções físicas frequentes.

Diante das abordagens apresentadas nessa revisão literária, é possível notar que a maioria dos estudos se concentra em protótipos em bancada ou soluções de baixo custo com foco em experimentação controlada. Este trabalho, por outro lado, adota uma abordagem aplicada, com implementação em ambiente real, utilizando

CLP industrial, sensores de campo e supervisor SCADA. A proposta se diferencia por ser validada diretamente em um sistema de abastecimento em operação, com coleta de dados reais e impacto prático imediato, reforçando a viabilidade de soluções industriais em sistemas públicos complexos como o da UFPB.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo foram apresentados os materiais e equipamentos utilizados no sistema de automação implementado na rede de abastecimento de água da UFPB, seus componentes e suas funcionalidades. Além disso, serão descritos os procedimentos adotados para a coleta e análise dos dados, incluindo a integração dos sensores, controladores lógicos programáveis (CLPs) e o sistema supervisor ScadaBR.

3.1. DESENHO DO ESTUDO

O estudo se deu na rede de abastecimento de água do campus I, unidade Castelo Branco, da Universidade Federal da Paraíba, cujo projeto se encontra apresentado na figura 21, com destaque para o reservatório em estudo e sua legenda, para melhor clareza, se encontra na figura 22. A rede é composta por três reservatórios elevados (ou superior, reservatório que é executado em torre ou em cima de uma edificação) e três reservatórios apoiados (ou inferior, reservatório que é executado enterrado, semi-enterrado ou no nível do piso). O reservatório apoiado e o elevado localizado ao lado do Restaurante Universitário (RU) são os reservatórios principais e os demais, são auxiliares, sendo um de cada situado no Centro de Ciências da Saúde (CCS) e os outros no Centro de Ciências Sociais Aplicadas (CCSA). Esses, no momento, não fazem parte do estudo.

Cada reservatório conta com um motor-bomba responsável pelo recalque da água do reservatório apoiado até o elevado, com exceção do reservatório auxiliar do CCSA, onde o poço artesiano abastece diretamente o reservatório superior, enquanto o reservatório inferior encontra-se momentaneamente desativado. O reservatório principal, objeto desse estudo, é abastecido tanto pela concessionária quanto por três poços artesianos, enquanto cada um dos demais reservatórios auxiliares é alimentado por um poço artesiano próprio.

A rede de abastecimento é totalmente interligada, ou seja, todos os reservatórios alimentam a mesma rede. Para evitar que os reservatórios auxiliares sejam abastecidos pelo reservatório principal, eles possuem válvulas de retenção.

A rede de distribuição é composta por tubulações de ferro, PVC e amianto. As bombas de recalque dos poços artesianos eram controladas por bóias elétricas e eletrodos de nível, respectivamente, além de contarem com proteções elétricas. No local que será estudado, os poços captam água para abastecer o reservatório apoiado, que também é abastecido pela concessionária local. Essa água é recalçada para o reservatório elevado que, por gravidade, distribui para o campus.

Figura 21 - Rede de Abastecimento de Água da UFPB



Fonte: Superintendência de Infraestrutura/UFPB

Figura 22 - Legenda da Rede Abastecimento

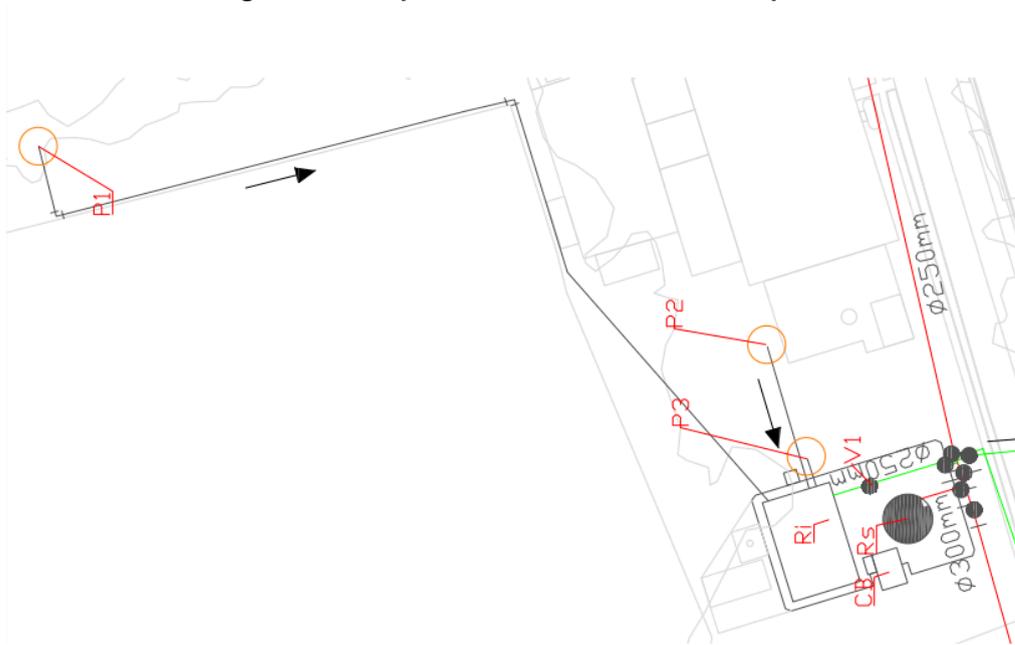
| | |
|---------------------------------|--|
| Rede de Distribuição em PVC | |
| Rede de Distribuição em Amianto | |
| Rede de Distribuição em Ferro | |
| Sentido do fluxo de água | |
| Registro de gaveta | |
| Tê 90° | |
| Joelho 90° | |
| CAP ou bujão | |
| Hidrante | |
| Caixa d'água | |
| Poço | |

Fonte: Superintendência de Infraestrutura/UFPB

A fim de otimizar o estudo, visando resultados mais robustos, e também a redução de custos, o estudo se dará predominantemente no reservatório principal, destacado na figura 23, onde o impacto dos resultados poderá ser sentido mais rapidamente por toda a comunidade e as possibilidades de coleta de dados serão maiores. Nessa figura, é destacado o reservatório principal com três poços artesianos P1, P2 e P3 que extraem água para abastecer o reservatório inferior (Ri) que também é abastecido através da concessionária local (CAGEPA), que fornece água através de duas tubulações que sai do ramal predial. Cada tubulação possui uma válvula, sendo que uma delas é totalmente manual e a outra válvula (V1) pode, no futuro, ter acionamento automático e ser integrada ao sistema de automação. A

casa de bombas (Cb) possui duas bombas de recalque que succiona a água do reservatório inferior e recalca para reservatório superior (Rs - elevado), dele, a água é distribuída para a instituição por gravidade. No Quadro 1 há uma breve descrição da figura 23 com algumas possibilidades de controles que poderão ser implementados através do controle e do monitoramento desse reservatório. A figura 24 é a imagem real do reservatório em estudo enquanto a figura 25 retrata em forma de fluxograma o que está demonstrado em planta na figura 23.

Figura 23 - Esquema do Reservatório Principal



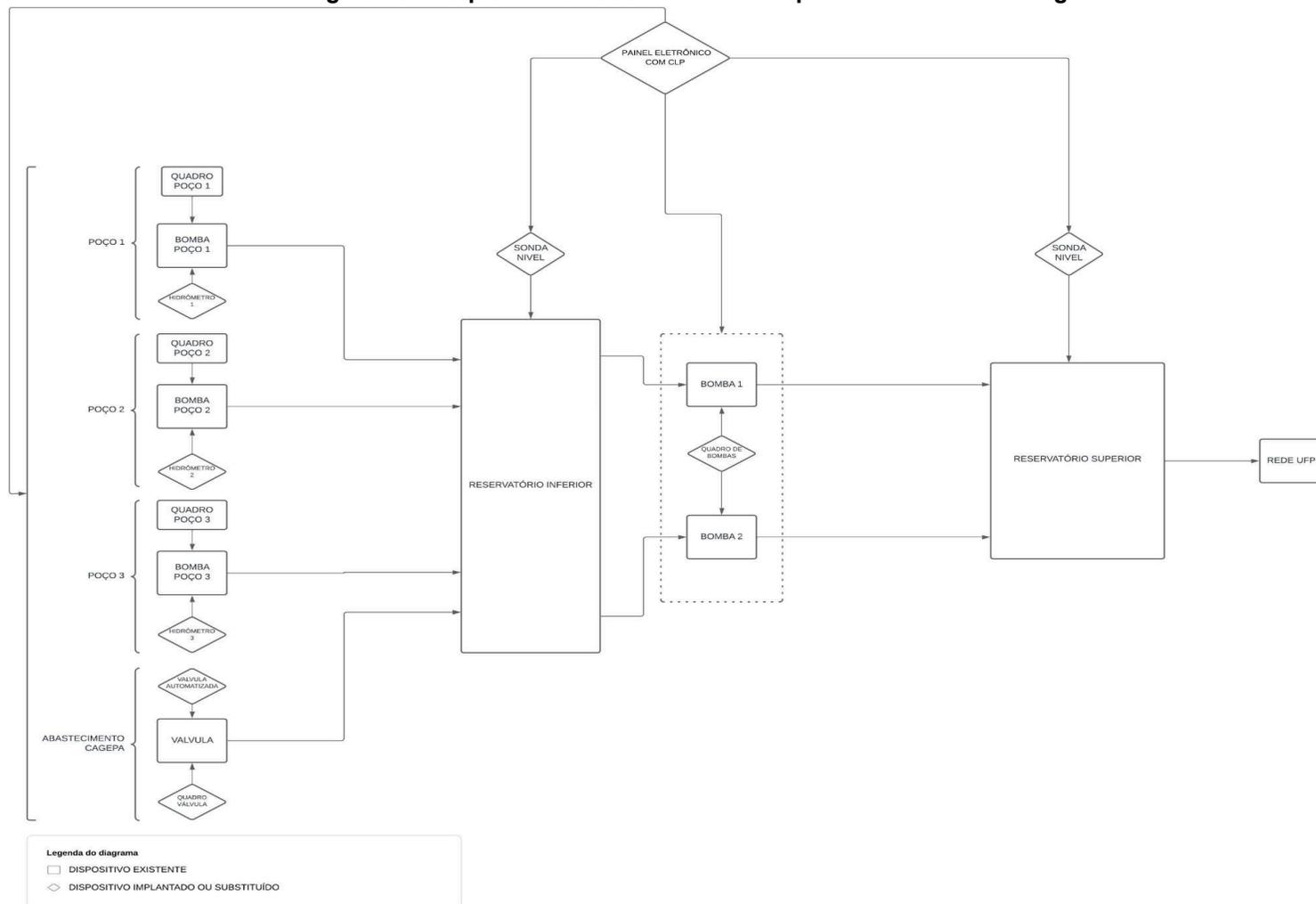
Fonte: Própria (2025) - Editado de UFPB

Figura 24 - Imagem Real do Reservatório Principal



Fonte: Própria (2025)

Figura 25 - Esquema do Reservatório Principal em Forma de Fluxograma



Fonte: Própria (2025)

Quadro 1 - Descrição dos Locais e Equipamentos a Serem Controlados e Monitorados

| ID | Local | Equipamento | Possibilidades de Controle |
|-------------|------------------|-------------------------------|---|
| P1, P2 e P3 | Poços | Bombas | Acionamento (liga, desliga), Vazão, Funcionamento |
| Ri | Reservatório Inf | Reservatório | Nível |
| CB | Casa de Bombas | Bombas de Recalque | Acionamento e Funcionamento |
| Rs | Reservatório Sup | Reservatório | Nível |
| | | Coluna de água fria (adutora) | Vazão |

Fonte: Própria (2025)

No Quadro 2 estão demonstrados os equipamentos atualmente disponíveis no reservatório em estudo e os equipamentos que foram levantados para iniciar a automação e o controle do reservatório principal da UFPB, sendo estes últimos destacados em amarelo.

Quadro 2 - Lista de Equipamentos Atualmente Instalados no Reservatório Principal

| Local | Equipamentos |
|--------|--|
| Poço 1 | Conjunto motobomba trifásica, Ebara BHS 512 8 estágios 10cv 380v |
| | Eletrodos para relé de nível |
| | Quadro de comando contendo monitor de tensão e corrente, disjuntor trifásico c50, contactor, rele de nivel, relé de falta de fase e relé de sobrecarga |
| | Macro Medidor de Vazão |
| | Chave de boia de nível no reservatório inferior |
| Poço 2 | Conjunto motobomba trifásica, 380V, 5,5 cv, Q= 6m ³ /h |
| | Eletrodos para relé de nível |
| | Quadro de comando contendo monitor de tensão e corrente, disjuntor trifásico c50, contactor, rele de nivel, relé de falta de fase e relé de sobrecarga |
| | Macro Medidor de Vazão |
| | Chave de boia de nível no reservatório inferior |
| Poço 3 | Conjunto motobomba trifásica, Ebara 4BPS13I-22 om4a 7,5CV Trifásica |
| | Eletrodos para relé de nível |
| | Quadro de comando contendo monitor de tensão e corrente, disjuntor trifásico |

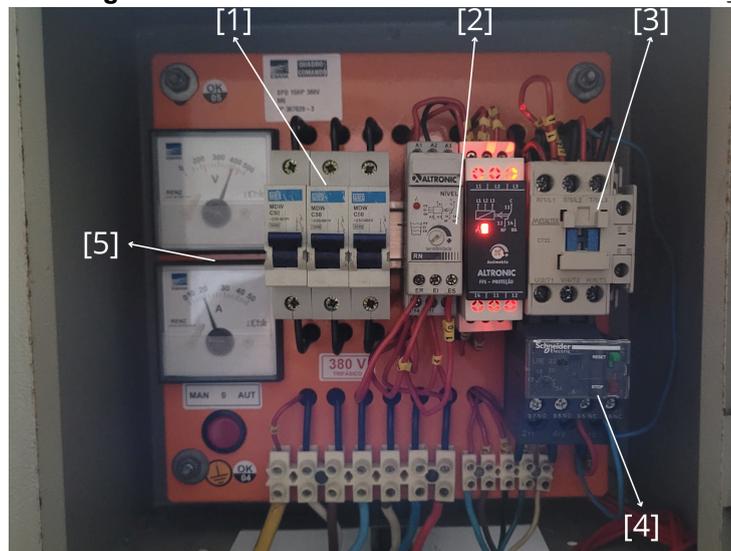
| | |
|-----------------------|--|
| | c50, contactor, rele de nível, relé de falta de fase e relé de sobrecarga |
| | Macro Medidor de Vazão |
| | Chave de boia de nível no reservatório inferior |
| Casa de Bombas | Duas bombas trifásicas, 380V, 10cv,, Q= 25,6 a 50,8m³/h, Hm = 38 a 52mca |
| | Chave de boia de nível |
| | Quadro de comando contendo duas botoeiras sendo uma para acionamento das bombas e a outra para seleção das bombas, disjuntor trifásico, relé de nível, relé de falta de fase, relé de sobrecarga |
| | Quadro contendo módulo lógico, fonte do módulo e disjuntores de proteção. |
| | Painel de Automação |
| | Painel de Bombas de Recalque |
| | Quadro geral alimentador dos quadros das bombas |
| Reservatório Inferior | Válvula para entrada de água da concessionária com atuador elétrico ainda fora funcionamento |
| | Sonda de Nível 5 MCA |
| Reservatório Superior | Sonda de Nível 5 MCA |
| SINFRA | Software ScadaBR |

Fonte: Própria (2025)

Na figura 26 está ilustrado o quadro de comando da bomba de um poço, esse quadro já estava disponível e não foi substituído, responsável por controlar e proteger o funcionamento das bombas que retiram água de poços. As bombas de todos os poços tem um quadro similar a esse. Ele é o quadro responsável pela partida e parada da bomba, proteção elétrica, automação e proteção contra operação a seco. Esse quadro é composto por disjuntores responsáveis pela proteção das fases contra sobrecargas e curtos-circuitos [1], relés de nível [2-a esquerda] e falta de fase [2-a direita], o relé de nível controla o funcionamento da bomba de acordo com o nível dos poços e do reservatório inferior, ou seja, quando o reservatório está com o nível baixo e há água suficiente no poço, o relé envia o comando para o contactor [3] acionar a bomba que faz a extração da água para encher o reservatório inferior. Esse contactor é o responsável pelo acionamento e desligamento da bomba. Já o relé falta de fase desativa o sistema caso haja queda ou desequilíbrio entre as fases. O item [4] trata-se do relé de sobrecarga que protege o motor contra sobrecargas, desativando o sistema caso a corrente

ultrapasse o que foi projetado. No quadro em questão ainda existe um voltímetro e amperímetro analógicos [5] para a medição dessas grandezas.

Figura 26 - Quadro De Comando da Bomba dos Poços



Fonte: Própria (2025)

Para fazer a automação do sistema, foi instalado um painel de automação, ilustrado nas figuras 27 e 28, que é o responsável por controlar o sistema através de um Controlador Lógico Programável (CLP) TM200CE24R SCHNEIDER. De acordo com a IEC 61131-1 (INTERNATIONAL STANDARD, 2023), o CLP [1] é um “sistema eletrônico de operação digital, projetado para uso em um ambiente industrial, que usa uma memória programável para o armazenamento interno de instruções orientadas ao usuário para implementar funções específicas, como lógica, sequenciamento, temporização, contagem e aritmética, para controlar, por meio de entradas e saídas digitais ou analógicas, vários tipos de máquinas ou processos”, neste trabalho o CLP irá controlar o funcionamento das bombas, nível dos reservatórios e hidrômetros. Além do CLP, este painel possui disjuntores [2] e relés de nível [3]. O relé neste painel é responsável por receber o sinal proveniente das sondas de nível hidrostático dos reservatórios elevado e apoiado, interpretar o sinal (nível dos reservatórios) e informar ao CLP que irá agir para ligar ou desligar as bombas de acordo com os níveis programados. Para receber ou enviar sinais para os equipamentos a serem controlados, o quadro é dotado de relés de interface [4]. Além disso, o quadro possui uma fonte de 24VDC [5] para transformar a tensão da rede elétrica para a tensão especificada para distribuir essa tensão para os

componentes do quadro que trabalham nessa tensão (CLP e relés de interface) e um switch de rede [6] para fazer a conexão do CLP com o supervisor utilizado. Na porta do painel, figura 26, existe um led para indicar visualmente que o sistema está em pleno funcionamento. Abaixo a listagem dos itens que constituem esse painel, bem como a imagem (figuras 27 e 28) dele instalado. O quadro 3 traz a lista de materiais contidos no painel de automação.

Quadro 3 - Painel de Automação

| Especificação do Produto |
|--|
| PAINEL COMANDO 60X40X25 BRUM |
| CONTROLADOR TM200CE24R SCHNEIDER |
| MODELO DE EXPANÇÃO TM3AM6 |
| Fonte Schneider De Alimentação 10a 24v 240w Ab1s1a24100 |
| TRILHO DIM 35mm 1 METRO |
| CONECTOR PARAFUSO 4mm ² 2 PONTOS CINZA |
| CONECTOR PORTA FUSIVEL 4mm |
| BOTAO DE COMANDO 22 mm VERDE COM 1 NA |
| BOTÃO DE COMANDO VERMELHO COM 1NF |
| TERMINAL TIPO TUPO 2,5 mm ² ZUL |
| TERMINAL TIPO TUPO 1,0 mm ² |
| POSTE FINAL PARA CONECTOR SAK |
| RELE INTERFACE 2NA+NF 8A 24 VDC COM SINALIZAÇÃO EM LED |
| BASE P/ RELE ACOPLADOR RSB2A |
| SINALIZADOR LED 22mm 220VCA VERDE BHS OU METALTEXE |
| SINALIZADOR LED 22mm 220VCA VERMELHO BHS OU METALTEXE |
| ABRAÇADEIRA DE NYLON 10 CENTIMETROS PRETA |
| COMUTADOR 22MM PLAST COM MANOPLA CURTA 3P COM 2 NA |
| CANALETA PLÁSTICA RANHURADA CINZA 30x30 |
| CANALETA PLÁSTICA RANHURADA CINZA 60x40 |
| DISJUNTOR SCHNEIDER 6A BIPOLAR SCHNEIDER |
| CONECTOR PARAFUSO 2,5 mm ² SCHNEIDER |
| FONTE 220/24 VDC SCHNEIDER 10 A |
| BARRAMENTO (VD) DIN FIX. PARAF. COM 6 BORNES LUKMA |
| BARRAMENTO (AZ) DIN FIX. PARAF. COM 6 BORNES LUKMA |
| CABO FLEXIVEL 1 MM PRETO |
| SWITCH REDE INDUSTRIAL TRILHO DIN, ETHERNET |
| SUPORTE PARA TRILHO DIN 45° COM PARAFUSO REPUXADO EM AÇO |

Fonte: Própria (2025)

Figura 27 - Painel de Automação



Fonte: Própria (2025)

Figura 28 - Painel de Automação



Fonte: Própria (2025)

- Painel da Bombas Auto Comutador

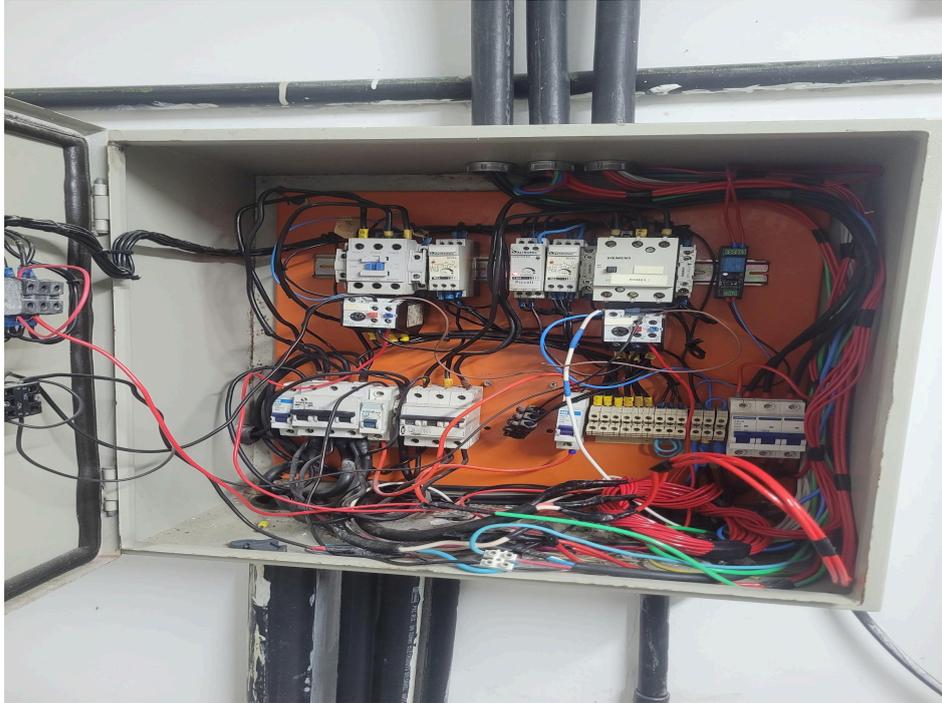
Além do painel de automação, foi necessário fazer um novo painel de bombas auto comutador, pois o anterior, mostrado na 29, necessitava de melhorias, faltava sinalização e adequação aos normativos. O novo painel, ilustrado nas figuras 30 e 31, e contava, já na sua porta, com sinalizações, indicando em [1] qual bomba estava ativa ou em falha, além de uma chave seletora de automático e manual, em caso de escolha por manual, as botoeiras que ligam cada bomba. Em [2], tem alguns leds com alertas de nível de caixa d'água baixo (reservatório elevado), subtensão, sistema pronto e botoeiras que resetam o sistema e um cala sirene. Quando o reservatório está com o nível baixo acendendo o led, o cala sirene não é utilizado porque não há necessidade de uma sirene uma vez que foi usado um supervisor no trabalho e o alerta será recebido por ele. O quadro também é dotado de disjuntores [3], contadores [4], relés de interface [6], além de relés eletromecânicos [5], que auxiliam no acionamento e no rodízio das bombas, e relé falta de fase e sequência e interface [7], para detectar a falta de uma das fases e a sequência incorreta delas e comunicar ao CLP. O quadro 3 traz a lista de materiais contidos no painel de automação.

Quadro 4 - Painel de Bombas Auto Comutador

| Especificação do Produto |
|--|
| CAIXA PARA QUADRO D COMANDO 80X60X20 |
| CONTATOR TRIPOLAR TESYS E 32A 1NA 220VAC |
| CONTATO AUXILIAR TESYS E FRONTAL 2NA+2NF |
| RELE FALTA DE FASE E SEQUENCIA 1NANF |
| CANALETA RANHURADA 50X50 CINZA |
| TRILHO DIM 35 MM 1 METRO |
| RELE TERM TESYS E 16-24A 1NA+1NF |
| CONECTOR SAK 4MM CINZA |
| CONECTOR SAK 4MM BEGE FUSIVEL |
| BOTAO 22MM PLASTICO A IMPULSO 1NA VD |
| BOTAO 22MM PLASTICO A IMPULSO 1NF VM |
| SINALIZADOR 22MM PLASTICO 220V VD |
| SINALIZADOR 22MM PLASTICO 220V VM |
| COMUTADOR 22MM PLASTICO M.CURTA 3P FIXA |
| CANALETA RANHURADA 25X40 CINZA |
| CONECTOR SAK 10MM CINZA |
| CABO FLEXIVEL 1,0 MM2 100M PT |
| CONTATOR AUXILIAR TESYS K 4NA 220VCA |
| CONTATO AUXILIAR TESYS K INST. 2NA2NF |
| POSTE P/ CONECTOR SAK EW 35 |
| DISJUNTOR TRIFASICO 50A CURVA C |
| CABO FLEXIVEL 4,0 MM2 AM |
| DISJUNTOR MONOFASICO 6A CURVA C |
| CONECTOR SAK 2,5MM CINZA |
| BARRAMENTO NEUTRO AZUL FIX PARAF P/12 |
| BARRAMENTO TERRA VERDE FIX PARAF P/12 |
| DISJUNTOR TRIFASICO 50A CURVA C |
| DISJUNTOR TRIFASICO 25A CURVA C |
| rele plugin com base e diodo 220v |
| rele plugin com base e diodo 24v vdc |
| Terminal tubular 1,0mm |
| Terminal tubular 4,0mm |
| Terminal tubular 2,5mm |
| Terminal tubular 6,0mm |

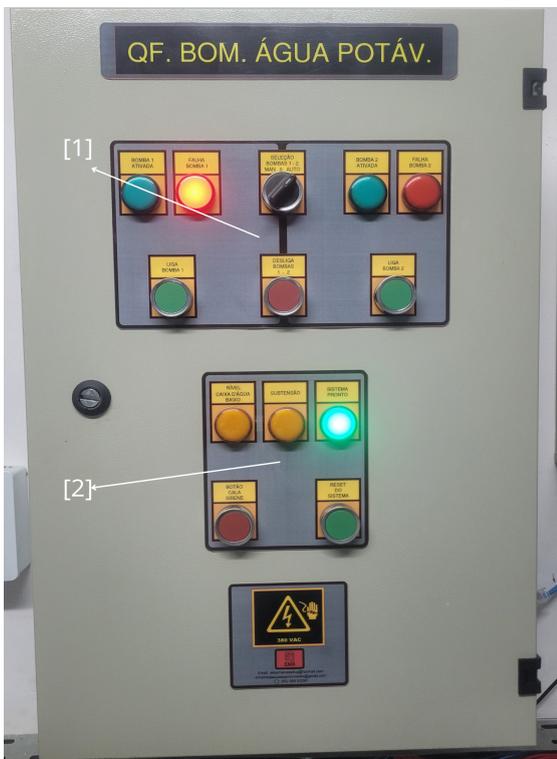
Fonte: Própria (2025)

Figura 28 - Painel de Bombas Substituído



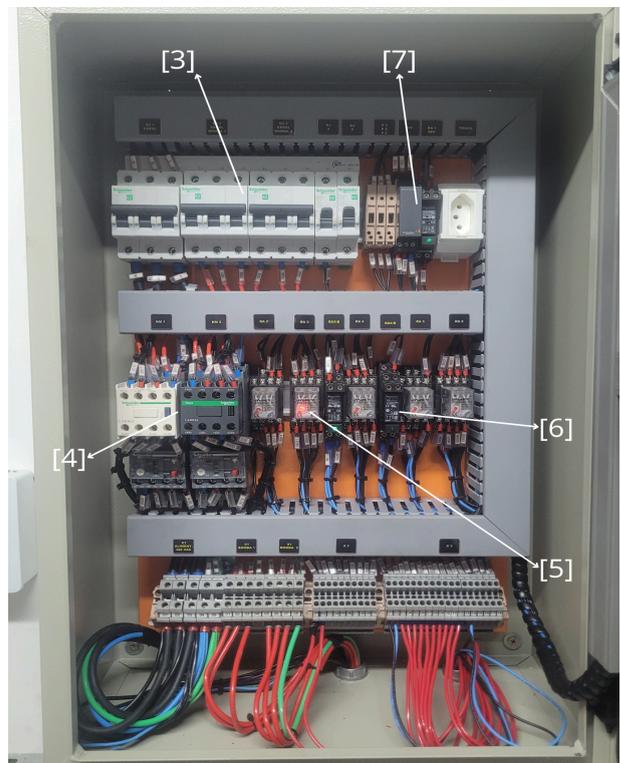
Fonte: Própria (2025)

Figura 30 - Painel de Bombas Auto Comutador



Fonte: Própria (2025)

Figura 31 - Painel de Bombas Auto Comutador



Fonte: Própria (2025)

- Macromedidor De Vazão

Foram instalados em cada um dos poços, em complementação aos quadros de comando já existentes, um medidor tangencial (figura 32) água bruta com sensor de pulso. Esses medidores, também chamados de hidrômetros, têm como objetivo conhecer o volume de água que cada um dos poços fornece para a instituição. O sensor instalado emite um pulso elétrico a cada 100 litros de água medida, sendo esse pulso transmitido por um cabo elétrico PP de 2 x 1,5 mm² interligado entre os hidrômetros e o painel de automação. Esse sinal é recebido pelo painel de automação através de um relé de interface que encaminha esse sinal para o CLP que interpreta, registra e faz a totalização que é mostrada através do supervisor.

Figura 32 - Macromedidores de Vazão



Fonte: Própria (2025)

- Sonda de nível hidrostática

Em cada um dos reservatórios, superior (elevado) e inferior (apoiado) foi instalado uma sonda de nível hidrostática (figura 33) que será responsável pela

medição do nível de água nos reservatórios em tempo real. Ela funciona através do princípio hidrostático, onde a pressão medida na parte inferior do líquido é proporcional à altura da coluna de líquido acima do sensor. A pressão é convertida em sinal elétrico que será interpretado pelo CLP para obtermos a altura da coluna da água. Também foi necessário fazer o lançamento de um cabo elétrico PP de 2 x 1,5 mm² para conectar a sonda ao painel de automação.

Figura 33 - Sonda de Nível



Fonte: Própria (2025)

3.2. METODOLOGIA PARA COLETA E ANÁLISE DOS DADOS

Neste tópico será detalhado o processo de coleta e análise dos dados do sistema de automação da rede de abastecimento de água da UFPB com o objetivo de descrever de forma prática e direta como os dados são capturados do sistema.

O supervisor ScadaBR recebe, processa e exibe os dados operacionais do sistema de abastecimento. Ele foi estruturado para garantir um monitoramento contínuo. O CLP é responsável por receber e processar os sinais dos sensores e acionar bombas e válvulas conforme necessário. Os sensores de nível, compostos por sondas de nível hidrostática, instaladas nos reservatórios e eletrodos instalados nos poços, garantem o controle adequado do nível da água. Já os macromedidores de vazão monitoram a vazão da água dos poços, enquanto que os dados de

consumo da CAGEPA são coletados através das contas de consumo mensal, permitindo uma análise detalhada do consumo.

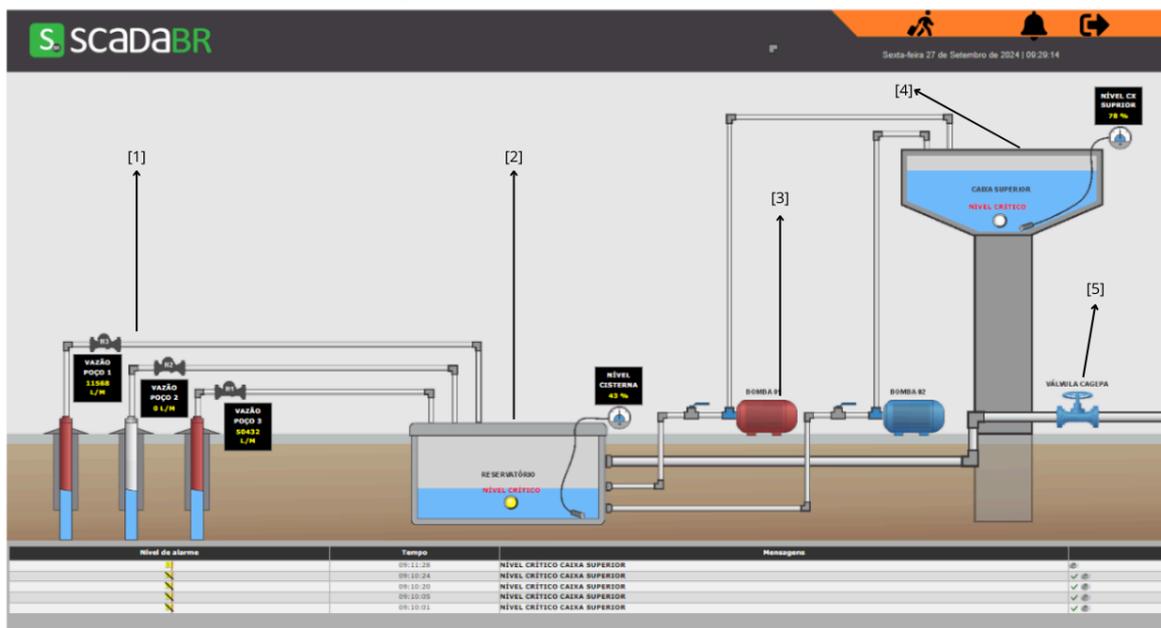
A automação funciona da seguinte forma:

1. As sondas de nível instaladas nos reservatórios serão utilizadas para medir o nível de água em tempo real.
2. O CLP vai coletar o sinal das sondas para ativar e desligar as bombas para garantir que os níveis de água estejam sempre controlados, evitando tanto o transbordamento quanto a falta de água.
3. O reservatório superior tem profundidade de 2,9m e o CLP foi programado da seguinte forma buscando o melhor funcionamento do sistema:
 - a. A bomba de recalque será acionada quando a coluna d'água tiver abaixo de 2,1m e será desligada quando tiver acima de 2,3m. Caso os níveis de água fiquem abaixo de 1,8m, o sistema entrará em emergência e acionará as duas bombas ao mesmo tempo para que o abastecimento seja normalizado o mais rápido possível, essas cotas de acionamento foram utilizadas por já serem as cotas de operação do sistema.
4. No caso do reservatório inferior, que tem profundidade de 4,0m, quando a coluna d'água estiver abaixo 3,05m, as bombas dos poços serão acionadas. As bombas dos poços serão desligadas quando o nível do reservatório inferior atingir 3,3m e por segurança, evitando cavitação das bombas de recalque, o CLP irá desligar essas bombas quando o nível do reservatório estiver abaixo de 0,7m, assim como no reservatório superior, as cotas de acionamento foram utilizadas por já serem as cotas de operação do sistema. A cota de segurança foi definida com base na altura da válvula de retenção que existe na tubulação de sucção das bombas.

O supervisório é então integrado ao sistema exibindo informações através das telas que estão nas figuras 34 e 35 em tempo real e ativando alertas para falhas ou anomalias. Na figura 34 estão representados as bombas dos poços artesianos [1] e de recalque [3], quando elas estão acionadas a figura fica vermelha indicando que está em funcionamento, no caso dos poços, o quadro preto indica a

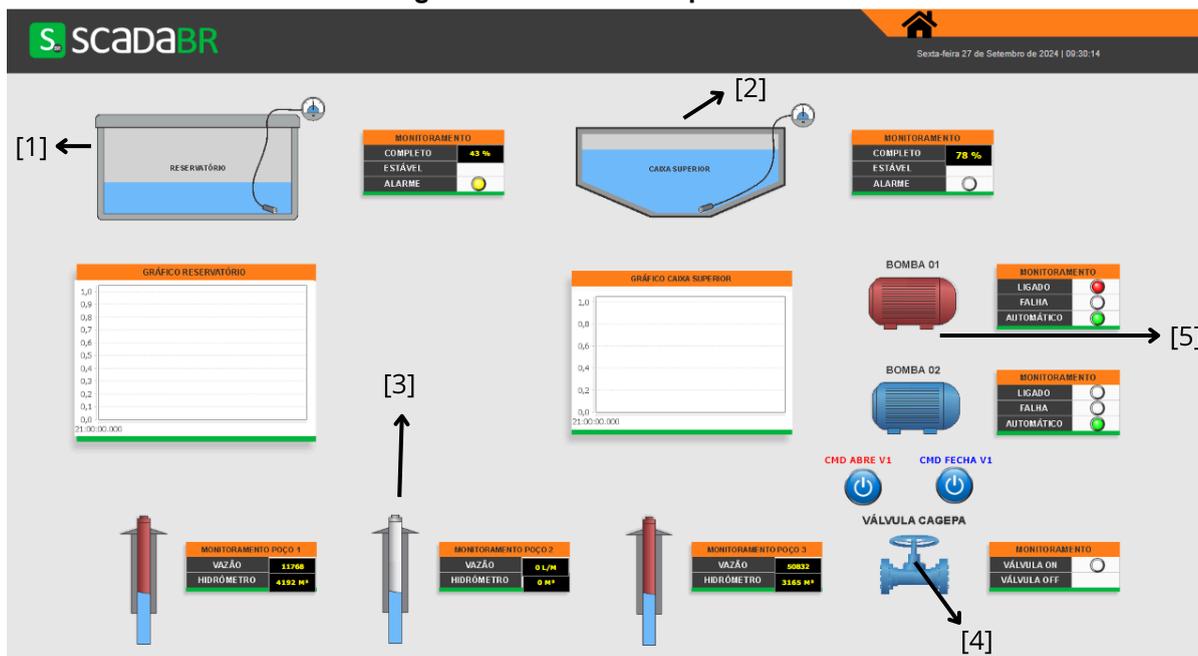
vazão. Em [2] e [4] mostram os níveis dos reservatórios em tempo real, no quadro preto indica o nível em termos percentuais e dentro da figura dos reservatórios há um indicativo de alerta de nível crítico. Já o item [5] mostra a válvula automática que será acoplada à automação mas que já está prevista no supervisório. A figura 35 traz os mesmos dispositivos apresentados de outra forma. Nos reservatório [1] e [2] estão presentes as mesmas informações da figura anterior, nas bombas dos poços [3], tem a vazão e o volume fornecido, nas bombas recalque [5], além da informação que a bomba está ligada, é possível ver alerta de falhas e se a automação está ligada (no quadro de bombas, é possível desativar o automático passando para o modo manual). Essa figura também trás a válvula automática que será acoplada à automação.

Figura 34 - Tela 1 do Supervisório



Fonte: Própria (2025)

Figura 35 - Tela 2 do Supervisório



Fonte: Própria (2025)

Os dados do supervisão são coletados através dos relatórios emitidos pelo ScadaBR, armazenados e analisados conforme as discussões do capítulo 4. Os dados coletados permitem identificar padrões de consumo, avaliar o desempenho dos poços, comparar o abastecimento próprio com o fornecimento da CAGEPA e detectar falhas e anomalias no sistema.

Para validar o funcionamento, o sistema passou por testes de verificação do acionamento das bombas, dos pulsos dos hidrômetros, simulação de falhas para avaliar a resposta do sistema, testes de comunicação entre CLP e o supervisão. Com isso, o sistema foi validado para operação contínua, garantindo um monitoramento confiável.

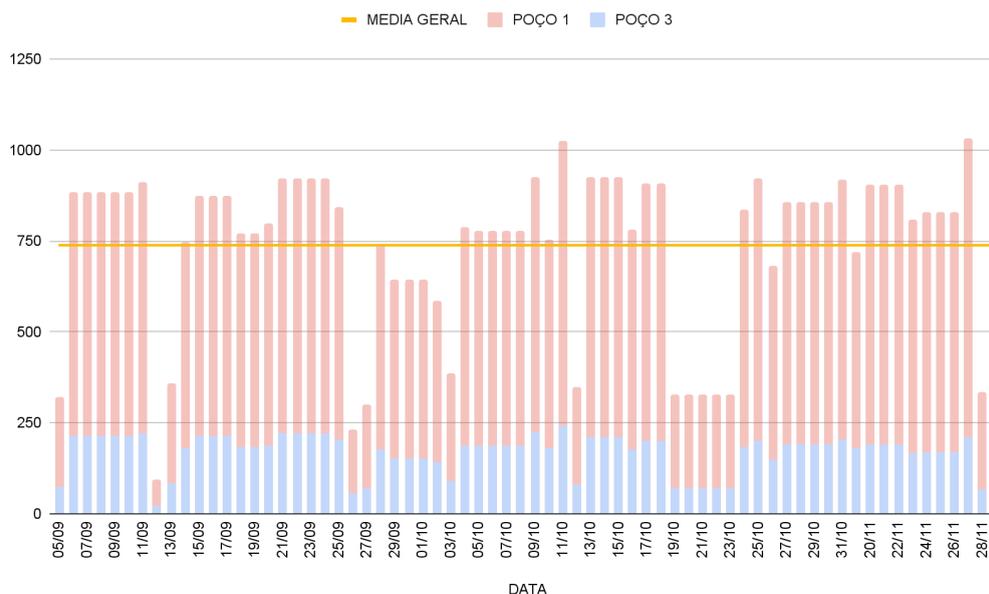
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. CONTRIBUIÇÃO HÍDRICA DOS POÇOS NO ABASTECIMENTO

Os poços artesianos monitorados se destacam estrategicamente no fornecimento de água para a UFPB. Essa conclusão se dá a partir da coleta de dados referentes ao fornecimento de água diário dos poços em comparação com os dados coletados nas faturas de água e esgoto da Cagepa, isso permite uma avaliação detalhada do comportamento hídrico no período em estudo.

Os poços artesianos estudados são responsáveis por uma média de 66,62%, ou 738 m³ (figura 36), do fornecimento total de água partindo do reservatório da principal e representam a principal fonte de abastecimento da instituição. A figura é um gráfico de barras do período em estudo (de 5 de setembro a 30 novembro) onde as barras vermelhas representam o poço 1 e as barras azuis o poço 3, a média é representada pela linha amarela. Essa fonte se torna ainda mais relevante nos meses de baixa atividade acadêmica e administrativa, como janeiro, onde geralmente há férias, quando o consumo total reduz significativamente, e os poços chegam a responder por 93% do fornecimento. Em períodos de alta demanda, a dependência da Cagepa aumenta, chegando a fornecer até 48% do consumo mensal.

Figura 36 - Contribuição por Poço e Média (m³)



Fonte: Própria (2025)

Essa variação é influenciada, principalmente, pela sazonalidade no uso das instalações da instituição e flutuações nas condições climáticas.

Além disso, na figura 36, é possível observar uma diferença significativa entre os dois principais poços: o Poço 1 apresenta uma média de contribuição diária de 568m³, enquanto o Poço 3 contribui com 170m³. Esses valores são reflexo de suas capacidades de fornecimento, principalmente por possuírem bombas submersas com capacidades diferentes. Também foi possível notar que no período em estudo o poço 2 não apresentou contribuição, o que pode indicar esgotamento do aquífero (o poço 2 é raso enquanto os demais são profundos).

Apesar de seu papel altamente relevante, os poços apresentam limitações que podem comprometer a confiabilidade do abastecimento, uma vez que por si só, não conseguem suprir toda a demanda da instituição, além de não haver poços sobressalentes no reservatório principal para suprir eventuais falhas em algum dos poços.

Em termos econômicos, a utilização de poços apresenta vantagens claras, como a redução da dependência da concessionária e, conseqüentemente, os custos associados à compra de água tratada. Por outro lado, há necessidade de investimentos contínuos em manutenção preventiva e corretiva para evitar paradas não planejadas e garantir a sustentabilidade do sistema.

Do ponto de vista da gestão hídrica, os resultados evidenciam a necessidade desse monitoramento, incluindo, no futuro, os reservatórios auxiliares no sistema de monitoramento e automação, ampliando o nível de conhecimento e precisão do sistema. Essas medidas irão garantir ainda mais eficiência e reduzirão a vulnerabilidade do sistema a adversidades.

Por tanto, a contribuição hídrica dos poços artesianos é essencial para o abastecimento da UFPB, mas sua eficiência operacional e integração com outras fontes de abastecimento precisam ser continuamente aprimoradas para atender às crescentes demandas da instituição.

4.2. ANÁLISE DO CONSUMO TOTAL E PADRÕES DE DEMANDA

O consumo de água da UFPB não reflete apenas as demandas operacionais da universidade, mas também os desafios na gestão dos recursos hídricos em uma

instituição de grande porte e com múltiplas funções, como a extensa rede com tipos diferentes de tubulação, tanto em diâmetro como em material, elevado número de edificações com as mais variadas demandas por consumo, prédios com abastecimento direto e indireto, recursos financeiros limitados para arcar com os custos de abastecimento e manutenção, expansão do campus (cerca de 10 prédios inaugurados e outros 30 previstos para os próximos anos). Com um consumo médio de 33.242 m³ por mês, equivalente a 1.096 m³ por dia, sendo 11.097 m³ vindo da concessionária e o restante dos poços como mostra o quadro 5, o abastecimento é influenciado por fatores como as condições climáticas mas principalmente pelo calendário acadêmico.

Quadro 5 - Consumo Médio Diário, Mensal e Anual

| CONSUMO MÉDIO | POÇO 3 (M ³) | POÇO 1 (M ³) | CONCESSIONÁRIA (m ³) | TOTAL (m ³) |
|---------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------------|-------------------------|
| DIÁRIO | 170 | 568 | 358 | 1.096 |
| MENSAL | 5.096 | 17.048 | 11.097 | 33.242 |
| ANUAL | 61.152 | 204.581 | 133.168 | 398.901 |

Fonte: Própria (2025)

Nos meses de recesso acadêmico, como janeiro (PRG, UFPB, 2023), greve como em junho (ADUFPB, 2024), além do período de inverno o consumo caiu significativamente. Em janeiro de 2024, por exemplo, foram registrados, através da medição da concessionária, apenas 1.613 m³ de consumo no mês inteiro, refletindo a redução no número de usuários e na atividade do campus. Já em períodos como setembro, quando as atividades estão em sua totalidade, além do início do clima mais quente, registram picos expressivos, chegando a 20.671m³ no mês.

Essas oscilações são um desafio para a gestão do sistema de abastecimento, que precisa ser acompanhada para evitar um aumento nos custos com o uso da água fornecida pela CAGEPA. Os dados coletados por sensores e macromedidores nessa pesquisa têm importância fundamental para identificar padrões e embasar decisões. Uma das descobertas, por exemplo, foi a falta de atividade do poço 2, onde a administração deverá decidir por seu tamponamento e por sua eventual substituição.

Também foi observado que, como os poços tem um padrão de fornecimento constante, durante os meses de maior consumo, a dependência da água fornecida pela Cagepa aumenta consideravelmente, enquanto nos períodos de baixa

demanda, como em janeiro, os poços fornecem quase toda a água necessária para o abastecimento da instituição. Isso permite a realização de manutenções nos poços nesses períodos, sem comprometer o abastecimento e sem causar grande aumento no consumo da Cagepa, contribuindo para a redução de falhas e desperdícios.

A sazonalidade impacta diretamente o planejamento de manutenção do sistema. Períodos de menor consumo são ideais para intervenções preventivas e corretivas, evitando o risco de falhas em épocas de maior necessidade. Com a análise detalhada dos dados, é possível até mesmo implementar manutenções preditivas, antecipando demandas futuras e ações planejadas com mais precisão, redução de riscos e custos.

O sistema de monitoramento contínuo, em conjunto com a implementação de um programa de manutenções preditivas, pode aumentar a eficiência do sistema, minimizando desperdícios de recursos hídricos, humanos e financeiros, e garantindo a regularidade no abastecimento da unidade em estudo.

4.3. COMPORTAMENTO DOS POÇOS E EFICIÊNCIA

Os poços artesanais do sistema de abastecimento da UFPB têm um papel importantíssimo na garantia da autonomia hídrica da universidade. No entanto, o desempenho de cada poço tem variações, o que impacta diretamente na eficiência geral do sistema.

O quadro 6 demonstra que o Poço 1, por exemplo, é a principal fonte de contribuição hídrica, com uma média diária de 568m³, respondendo por cerca de 77% da vazão total fornecida pelos poços estudados. Esse volume reflete uma maior capacidade de fornecimento ao sistema de abastecimento da instituição. Já o Poço 3 contribui com 170m³ por dia, o equivalente a 23% da vazão total.

Quadro 6 - Dados Gerais de Fornecimento

| CONTRIBUIÇÃO | POÇO 3 (M ³) | POÇO 1 (M ³) | POÇOS (M ³) | CAGEPA (M ³) |
|---------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|
| MÍNIMO | 23 | 72 | 95 | 52 |
| MÁXIMO | 241 | 819 | 1031 | 667 |
| MÉDIA | 170 | 568 | 738 | 358 |
| DESVIO PADRÃO | 53 | 170 | 223 | 155 |

Fonte:Própria

Os dados também apontam uma diferença na regularidade do desempenho dos poços. O desvio padrão da vazão diária do Poço 1 foi de 170m³, indicando maior variabilidade, enquanto no Poço 3 esse valor foi de 53m³. Essa flutuação se relaciona com fatores como oscilações na demanda, frequência de acionamento das bombas e dinâmica do consumo nas áreas atendidas, uma vez que quando os reservatórios atingem níveis satisfatórios, o CLP desliga o bombeamento, cessando o fornecimento. Isso reforça a necessidade de um monitoramento contínuo para identificar possíveis inconsistências.

Apesar de serem uma alternativa mais econômica em comparação ao fornecimento da Cagepa, a operação dos poços exige uma manutenção preventiva rigorosa para evitar problemas e minimizar gastos com reparos. Com base nos dados analisados, a implementação de uma manutenção preditiva, apoiada por histórico e tendências de operação, pode ser uma solução eficaz para antecipar falhas e garantir maior confiabilidade do sistema.

Dada a relevância dos poços existentes, a ampliação desse modelo para incluir novas unidades aparece como uma solução interessante para a instituição. A instalação de novos poços artesianos para abastecer o reservatório em estudo pode não apenas aumentar a capacidade total de abastecimento, mas também trazer maior flexibilidade operacional. Essa abordagem permitiria o atendimento a criação de redundâncias no sistema para mitigar falhas e a redução significativa da dependência da Cagepa, que atualmente responde em média por 33,38% do fornecimento de água para UFPB, partindo do reservatório em estudo.

Além disso, a expansão da rede de poços favorece uma gestão hídrica mais eficiente, uma vez que poços adicionais poderiam ser utilizados para suprir necessidades sazonais ou emergenciais, sem sobrecarregar os recursos existentes, principalmente em meses de maior demanda.

Para a UFPB, o investimento em novos poços também representa uma oportunidade de economia a longo prazo, considerando que o custo de implantação e de operação dos poços é inferior às tarifas aplicadas pela concessionária.

Portanto, os poços artesianos desempenham um papel fundamental no abastecimento da UFPB, mas há oportunidades para melhorias tecnológicas e

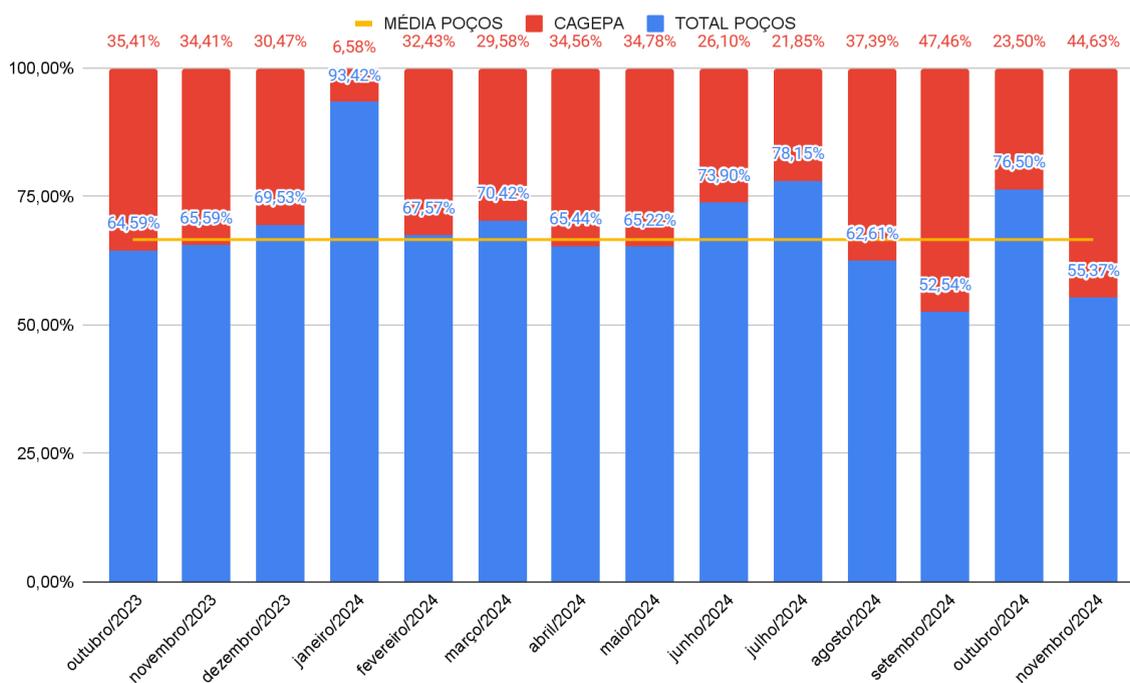
gerenciais que visem aumentar a eficiência, a sustentabilidade do sistema e também o preparem para atender às demandas futuras de forma mais robusta.

4.4. ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE FONTES DE ABASTECIMENTO

A UFPB conta com duas importantes fontes de abastecimento de água: os poços artesianos e o fornecimento da Cagepa. Essa combinação traz uma grande vantagem ao sistema, permitindo flexibilidade operacional e redução dos riscos em caso de falhas em uma das fontes. No entanto, para aproveitar ao máximo essa configuração, é essencial adotar uma gestão eficiente, que equilibre os aspectos hídricos e econômicos.

Os dados analisados mostram que, em média, os poços artesianos são responsáveis por 66,62% do abastecimento, enquanto a Cagepa complementa com 33,38% (figura 37). Essa proporção não é fixa e varia ao longo do ano. Nos meses de menor consumo os poços chegam a atender mais de 90% da demanda. Por outro lado, em períodos de maior necessidade, a participação da Cagepa aumenta significativamente, chegando a suprir até 48% do total, o que evidencia a importância das duas fontes.

Figura 37 - Contribuição Poços x Cagepa em Termos Percentuais



Fonte:Própria

Ao comparar as duas fontes, percebe-se diferenças claras em termos de custo, confiabilidade e impacto no sistema. Os poços artesianos representam uma alternativa mais econômica, já que evitam os custos das tarifas da Cagepa. No entanto, essa vantagem vem acompanhada da necessidade de manutenção regular para evitar que se haja falhas e o custo de abastecimento da universidade aumente consideravelmente. Por outro lado, a Cagepa se destaca pela estabilidade e previsibilidade, embora os custos sejam mais elevados, especialmente em períodos de maior consumo.

Segundo dados da própria CAGEPA (2024), o custo por m³ de fornecimento de água para órgãos públicos é de R\$ 17,30 (Dezessete reais e trinta centavos), sendo este valor também o custo da coleta de esgoto e o volume coletado de esgoto é considerado 100% do volume de água fornecido. Considerando que os poços em estudo fornecem em média 738 m³ de água por dia, é possível afirmar que os poços atualmente representam uma economia média diária de aproximadamente R\$ 25.500,00 (Vinte e cinco mil e quinhentos reais).

Diante desse cenário, a ampliação da rede de poços artesianos é uma solução estratégica para reduzir a dependência da Cagepa e os custos atrelados a ela. A implantação de novos poços fornecendo água para o reservatório principal do campus aumentaria a capacidade de abastecimento e, ao mesmo tempo, garantiria maior resiliência em casos de emergência ou falhas no sistema. Além disso, poderia ser feito um remanejamento de bombas afim de melhorar a vazão do poço 3. Os poços auxiliares possuem bombas similares ao poço 1, mas seu uso é menos frequente, o que poderia gerar um aumento de vazão do poço 3 e a redução do uso da cagepa.

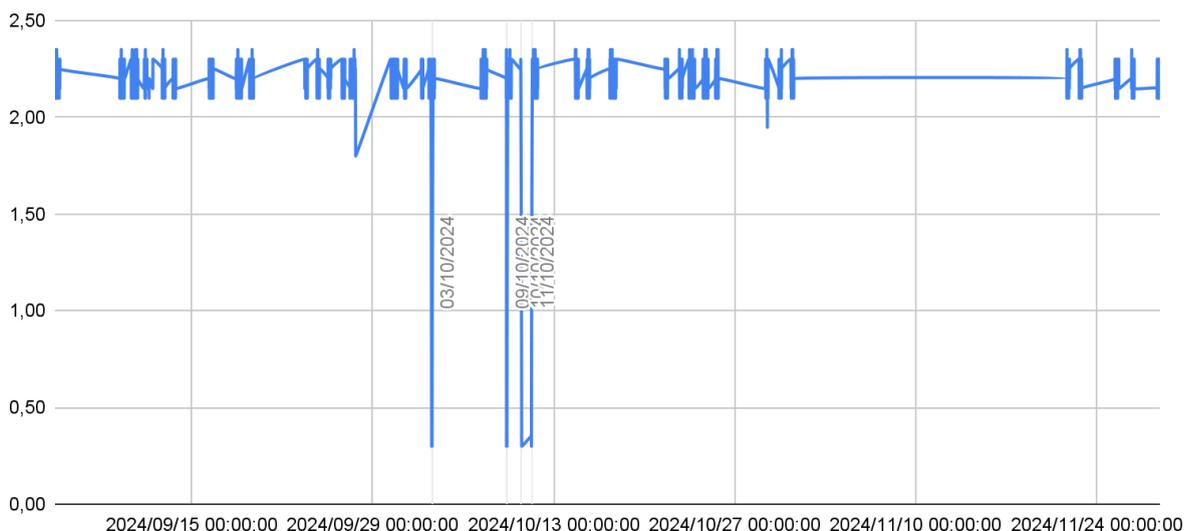
Diante disso, a comparação entre os poços artesianos e a Cagepa reforça a importância dos poços como principal fonte de abastecimento e aponta para a previsão de expansão da rede de poços. A instalação de novos poços podem aumentar a eficiência e reduzir a dependência da concessionária, fortalecendo a autonomia hídrica da UFPB.

4.5. REDUÇÃO DE FALHAS E IMPACTOS NO ABASTECIMENTO

Analisando os níveis dos reservatórios ao longo do período estudado foi possível notar que os volumes de água se mantiveram dentro das faixas operacionais pré definidas na maior parte do tempo, mostrando que os níveis incluídos no sistema estão coerentes. Tal estabilidade reflete a capacidade do sistema em atender às demandas da UFPB de forma confiável.

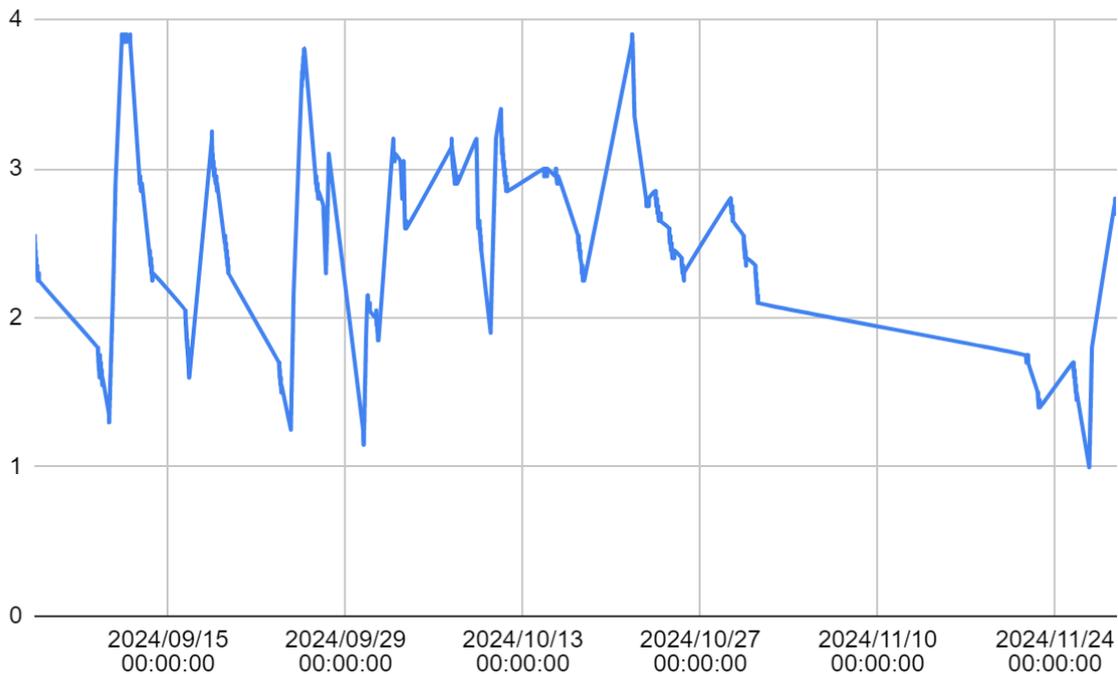
Os dados coletados mostram que os níveis dos reservatórios se mantiveram quase sempre dentro dos intervalos especificados para o acionamento e desligamento das bombas. Durante os dias monitorados, ocorreram falhas pontuais, conforme é possível observar nas figuras 38 e 39 que mostram os níveis dos reservatórios superior e inferior ao longo dos dias em análise, que resultaram em níveis mais baixos que o esperado. Na figura 38, foi possível notar que em quatro dias (dias 3, 9, 10 e 11 de outubro de 2024) o nível do reservatório superior chegou ao seu mínimo demonstrando que o sistema está bem preparado para atender às demandas da universidade mas evidencia a importância de realizar ajustes e manutenções periódicas para evitar que pequenos desvios comprometam a operação como nos dias citados, onde houve um problema em uma das bombas de recalque que superaqueceu e o sistema de proteção dela atuou desligando-a para que ela não tivesse outros danos. Na figura 39, observou-se que no período em estudo não houve dias em que o reservatório inferior atingiu o nível mínimo.

Figura 38 - Nível do Reservatório Superior ao Longo do Tempo



Fonte:Própria

Figura 39 - Nível do Reservatório Inferior ao Longo do Tempo



Fonte:Própria

Falhas esporádicas como as que ocorreram nos dias mostrados na figura 38, bem como falha em algum dos poços ou interrupções no fornecimento da Cagepa podem gerar interrupções temporárias no abastecimento da instituição e trazer transtornos para comunidade universitária. Essas situações reforçam a importância de se manter um monitoramento contínuo e uma comunicação eficiente entre os responsáveis pela gestão do sistema de abastecimento, para que medidas corretivas possam ser implementadas rapidamente.

Apesar dos bons resultados em termos de estabilidade dos níveis, é importante continuar expandindo a automação do sistema, bem como a implementação de novas fontes conforme mencionado no item anterior para que o sistema se torne cada vez mais seguro.

O sistema de abastecimento da UFPB, do ponto de vista dos níveis dos reservatórios, tem se demonstrado eficaz na maior parte do tempo, com poucas oscilações que indicam vulnerabilidades pontuais que precisam ser combatidas.

4.6. CONSTRUÇÃO DE BASE DE DADOS PARA AUXÍLIO NAS TOMADAS DE DECISÃO FUTURAS

A formação de uma base de dados robusta é um dos maiores avanços obtidos pela automação do sistema de abastecimento de água da UFPB. Essa base permite o monitoramento contínuo das operações e fornece suporte para decisões mais assertivas, contribuindo diretamente para a eficiência da gestão hídrica da instituição.

Com o uso do sistema supervisório ScadaBR, os dados coletados pelos sensores instalados nos poços e reservatórios, tais como as sondas de nível e medidores de vazão, são exibidos em tempo real no servidor que fica localizado na Superintendência de Infraestrutura. Entre as variáveis monitoradas estão os níveis dos reservatórios, as vazões dos poços e a operação das bombas (se e quais bombas estão em funcionamento). Essa integração tecnológica reduz a necessidade de intervenções manuais e melhora significativamente a capacidade de análise e resposta da equipe de manutenção.

Os dados armazenados serão particularmente úteis, com o passar do tempo, para a identificação de padrões de consumo. Por exemplo, será possível prever com maior precisão os períodos de alta demanda e os períodos de baixa demanda, quando o consumo reduz drasticamente. Essa informação é importante para o planejamento de intervenções, como manutenção preventiva nos meses de menor uso para reduzir a possibilidade de falhas nos períodos de grandes demandas.

Além disso, a base de dados permite a geração de relatórios e gráficos que facilitam a visualização de tendências e a identificação de anomalias, antecipando falhas no abastecimento. Esses relatórios são fundamentais para que os gestores tomem decisões baseadas em informações precisas e atualizadas.

Uma aplicação prática dessa base de dados é a identificação de anomalias com base em indicadores simples, como variações inesperadas nos níveis dos reservatórios. Essas análises permitem que a equipe tome decisões rápidas e embasadas para corrigir problemas, como, por exemplo, falhas nos equipamentos, garantindo a continuidade ou a rápida retomada do abastecimento. Esses dados também podem ser utilizados para fundamentar ações de médio e longo prazo, como o planejamento de expansão dos poços ou da rede como um todo ou a implementação de novas tecnologias.

A base de dados formada a partir da automação do monitoramento do sistema é um recurso estratégico que tende a aprimorar a gestão hídrica da UFPB.

Além de otimizar as operações diárias, ela oferece meios para planejar ações de longo prazo, garantindo um abastecimento eficiente e sustentável, atendendo às crescentes demandas da instituição.

A análise dos dados obtidos permitiu, em janeiro de 2025, durante a realização de manutenção nos poços da universidade, a implementação de uma intervenção prática para a otimização do sistema de abastecimento de água. A partir da análise do desempenho dos poços, foi identificado um padrão que indicava a necessidade de reconfiguração na operação das bombas. A intervenção envolveu o remanejamento das bombas, com a instalação de bombas mais potentes nos poços mais utilizados, ajustando-se assim à demanda de cada um. O poço 1 passou a contar com uma bomba de 15 cv que estava no poço do CCS, anteriormente era 10 cv, e o poço 3 passou a contar com uma de 10 cv que estava no poço 1, anteriormente este poço possuía uma bomba de 7,5 cv que foi remanejada para o poço do CCS. Como resultado, o fornecimento médio de água pelos poços aumentou para 772 m³ por dia, reduzindo significativamente a dependência da água fornecida pela concessionária e gerando uma economia aproximada de R\$ 250.000,00 mensais na fatura de água nos meses seguintes. O consumo médio diário da universidade também foi reduzido para 805 m³, em grande parte devido ao Hospital Universitário (HU), que passou a utilizar mais seu próprio poço e, assim, diminuiu a demanda pela água da UFPB. A operação dos poços (anteriormente ininterrupta), passou a funcionar entre 2 a 4 horas e ficando desligados de 1 a 2 horas diariamente, revelando um potencial de ampliação da capacidade de fornecimento hídrico, destacando a importância de uma base de dados para a tomada de decisões estratégicas na operação do sistema.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo principal implementar um sistema de controle e automação no reservatório principal da rede de abastecimento de água da UFPB, abordando questões como redução de falhas, suporte à gestão dos recursos hídricos e levantamento de dados. A seguir, tem-se uma síntese dos resultados obtidos em relação aos objetivos específicos:

1. Determinação do consumo médio da universidade: O consumo médio diário foi calculado em 1.096 m³, com uma média mensal de 33.242 m³. Os dados mostram uma variação sazonal clara, com menor consumo em períodos de recesso acadêmico.
2. Determinação da contribuição hídrica de cada poço: Os poços artesianos fornecem 66,62% da água consumida na instituição, sendo o Poço 1 contribuindo com 568 m³/dia e o Poço 3 com 170 m³/dia. O Poço 2, inativo durante o período estudado, revelou um possível esgotamento do aquífero.
3. Relação de fornecimento entre os poços da UFPB e a concessionária: Foi constatado que os poços artesianos são responsáveis, em média, por 66,62% do abastecimento, enquanto a Cagepa complementa com 33,38%.
4. Redução de falhas no abastecimento: A automação manteve os níveis dos reservatórios dentro das faixas operacionais, com poucas falhas pontuais, como o superaquecimento de uma bomba, reforçando a importância de manutenções regulares.
5. Construção de base de dados: A coleta de dados pelo sistema supervisório ScadaBR se mostrou eficiente, registrando níveis dos reservatórios, vazões e status das bombas em tempo real, o que auxilia no planejamento e na tomada de decisões por parte das equipes envolvidas.

Os resultados comprovam a eficácia da automação na melhoria da gestão hídrica da UFPB, atendendo aos objetivos propostos e apontando caminhos para o aprimoramento contínuo do sistema.

5.1. PROPOSIÇÃO DE OUTRAS MELHORIAS E TRABALHOS FUTUROS

- Estudo da viabilidade da captação de água da chuva para usos não potáveis;
- Estudo da viabilidade técnica e operacional de redirecionar os poços que abastecem os reservatórios auxiliares para o reservatório principal;
- Expansão da automação no sistema de abastecimento para incluir os reservatórios auxiliares e dos poços artesianos associados;
- Implementação da válvula automática no ramal da concessionárias;
- Monitoramento de pressões em pontos independentes da rede para identificar para identificar áreas de baixa pressão e perdas e vazamentos;
- Implementação de sistemas de controle nas bombas, como inversores de frequência e soft start com finalidade de otimizar o consumo energético.

6. BIBLIOGRAFIA

ABIGAIL TRINDADE DE ALMEIDA; CARLOS R. DA SILVEIRA. LÓGICA FUZZY APLICADA AO CONTROLE DE NÍVEL DE RESERVATÓRIO DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA. *In: Procedings do XV Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente*. Rio Grande, RS, Brasil: SBA Sociedade Brasileira de Automática, 2021. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.20906/sbai.v1i1.2690>>. Acesso em: 28 Jun. 2024.

ADUFPB. **Docentes da UFPB aprovam fim da greve e retomam atividades na segunda-feira (1º)**. ADUFPB. Disponível em: <<https://www.adufpb.org.br/site/docentes-da-ufpb-aprovam-fim-da-greve-e-retomam-atividades-na-segunda-feira-1o/>>. Acesso em: 17 Dec. 2024.

BRANDÃO, André Schramm; RIBEIRO, Marcel de Medeiros ; OLIVEIRA, Francisco Diego Araújo . Automação Em Um Sistema de Abastecimento de Água: Análise de Dados Operacionais.

BRUNO, Federica; DE MARCHIS, Mauro; MILICI, Barbara; *et al.* A Pressure Monitoring System for Water Distribution Networks Based on Arduino Microcontroller. **Water**, v. 13, n. 17, p. 2321, 2021.

CAGEPA. **Estrutura Tarifária**. CAGEPA. Disponível em: <<https://www.cagepa.pb.gov.br/outras-informacoes/estrutura-tarifaria/>>. Acesso em: 18 Dec. 2024.

CESÁRIO, Jonas Magno dos Santos; FLAUZINO, Victor Hugo de Paula; MEJIA, Judith Victoria Castillo. Metodologia científica: Principais tipos de pesquisas e suas características. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**, v. 5, n. 11, p. 23–33, 2020.

EGITO, Tuane Batista do ; AZEVEDO, José Roberto Gonçalves de ; BEZERRA, Saulo de Tarso Marques . Optimization of the operation of water distribution systems with emphasis on the joint optimization of pumps and reservoirs. **Water Supply**,

v. 23, n. 3, p. 1094–1105, 2023.

FAIS, Laura Maria Canno Ferreira ; FEITOSA, Thiago; MARTIM, André Luís Sotero Salustiano; *et al.* LOW-COST SYSTEM FOR LEAK DETECTION IN WATER SUPPLY NETWORKS. **HOLOS**, v. 5, n. 39, 2023.

FERREIRA DE LIMA, Marcio; LEPINSKI GOLIN FREITAS, Lucas; HENNING, Elisa; *et al.* Avaliação da utilização de hidrômetros com aquisição de dados por telemetria para monitoramento do consumo de água de uma agência bancária em Joinville/SC. *In: SIMPÓSIO NACIONAL DE SISTEMAS PREDIAIS*. [s.l.]: Antac, 2021. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.46421/sispred.v1i.1578>>. Acesso em: 21 Jun. 2024.

HENRIQUES, Kenny Rogers da Silva. **Repositório Institucional da UFPB: Diagnóstico hidroenergético e otimização operacional pela aplicação de algoritmos genéticos, de uma estação elevatória de água**. Disponível em: <<https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/12952>>.

IBGE. **Todas as Pesquisas e Estudos**. IBGE. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/todos-os-produtos-estatisticas.html>>. Acesso em: 10 Jun. 2023.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. Programmable controllers - Part 1: General information. IEC 61131-1.

MEDEIROS, Emmanuel Leite de; CARVALHO, Fabricio Braga Soares de; VILLANUEVA, Juan Moises Mauricio; *et al.* Data Acquisition System Using Hybrid Network Based on LoRa for Hydraulic Plants. **IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement**, v. 70, p. 1–12, 2021.

MEDEIROS, Luísa Eduarda Lucena de; BARBOSA, Dayse Luna; RODRIGUES, Andrea Carla Lima; *et al.* Desenvolvimento de um protótipo inteligente utilizando sensor turbina para detecção de vazamentos em edificações. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 12, n. 11, p. 126–134, 2021.

MENDONÇA, Kamilla Henrique; GOMES, Heber Pimentel; BEZERRA, Saulo de Tarso Marques; *et al.* Aplicação de Sistemas de Controle Fuzzy para Sistemas de Distribuição de Água. **Revista DAE**, v. 70, n. 236, p. 93–106, 2022.

MENDONÇA, Kamilla Henrique; GOMES, Heber Pimentel; VILLANUEVA, Juan Moisés Mauricio. Automation and control of a pressurized collective irrigation system based on fuzzy logic. **Water Practice and Technology**, v. 17, n. 8, p. 1635–1651, 2022.

MUNIZ DO NASCIMENTO, Willian; GOMES-JR, Luiz. Enabling low-cost automatic water leakage detection: a semi-supervised, autoML-based approach. **Urban Water Journal**, v. 20, n. 10, p. 1471–1481, 2022.

OGATA, Katsuhiko. **Engenharia de controle moderno**. [s.l.]: Pearson, 2011.

OLIVEIRA, Adailton Medeiros Rodrigues de; CAVALCANTI, Gustavo Oliveira. Sistema Automatizado de Controle de Abastecimento de Água Proveniente de Poços Artesianos com Monitoramento Remoto. **Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada**, v. 2, n. 2, 2017.

PONTES, Aline Dos Santos; DE MENECH, Everton Luiz; BETINI, Roberto Cesar. Sistema para controle da temperatura da água em canos de PVC via SCADA. **Revista Tecnologia e Sociedade**, v. 17, n. 48, p. 315, 2021.

SALVINO, Laís Régis; GOMES, Heber Pimentel; BEZERRA, Saulo de Tarso Marques. Design of a Control System Using an Artificial Neural Network to Optimize the Energy Efficiency of Water Distribution Systems. **Water Resources Management**, v. 36, n. 8, p. 2779–2793, 2022.

SANTOS, Maraiza Prescila dos; OLIVEIRA, José Kleber Costa de. Automação de baixo custo para reservatórios de água. **Revista Principia - Divulgação Científica e Tecnológica do IFPB**, v. 2, n. 25, p. 58, 2014.

SILVA, Magno José Gomes da; ARAÚJO, Clivaldo Silva de; BEZERRA, Saulo de Tarso Marques; *et al.* Sistema de controle adaptativo aplicado a um sistema de distribuição de água com ênfase na eficiência energética. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 20, n. 3, p. 405–413, 2015.

SILVA, Magno Jose Gomes; ARAUJO, Clivaldo Silva ; BEZERRA, Saulo Tarso Marques ; *et al.* Generalized Minimum Variance Control for Water Distribution System. **IEEE Latin America Transactions**, v. 13, n. 3, p. 651–658, 2015.

SODEK, Daniela Bonazzi; GALHARDO, Victor ; ROCHA, Jéssica Oliveira; *et al.* Bancada Para O Estudo de Automação de Sistemas de Abastecimento de Água Utilizando Arduino. **Congresso Latinoamericano de Hidraulica**, 2022.

SOUZA, Renato de; OLIVEIRA, José Kleber Costa de ; GOMES, Heber Pimentel ; *et al.* Lógica Fuzzy Aplicada Na Otimização Operacional de Rede Setorizada de Distribuição de Água Para Economia de Energia Elétrica. **CILAMSE**, 2016.

TARGINO, Igor Furtado; FEITOSA, Patricia Herminio Cunha; BARBOSA, Dayse Luna; *et al.* Sistema de baixo custo para monitoramento remoto da qualidade da água. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 12, n. 6, p. 665–680, 2021.

TENÓRIO, Rodrigo; GIMENES, Julia ; PINA FILHO, Armando Carlos. Um estudo da automação para redução de perdas na rede de distribuição de água. *In*: **Blucher Engineering Proceedings**. São Paulo: Editora Blucher, 2019. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.5151/singeurb2019-81>>. Acesso em: 6 Jul. 2024.

TRIPP, David. Pesquisa-ação: uma introdução metodológica. **Educação e Pesquisa**, v. 31, n. 3, p. 443–466, 2005.

TROJAN, Flavio; KOVALESKI, João Luiz . Automação no abastecimento de água: Uma ferramenta para redução de perdas e melhoria nas condições de trabalho. **XII**

SIMPEP, 2005.

UFPB. **CALENDÁRIO ACADÊMICO 2023.2 (PERÍODO REGULAR) - CURSOS PRESENCIAIS - Atualizado em 18-12-2023.pdf — UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA - UFPB PRG - PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO**. Disponível em: <<https://www.prg.ufpb.br/prg/codesc/documentos/calendario-academico/calendario-academico-2023-2-periodo-regular-cursos-presenciais-atualizado-em-18-12-2023.pdf/view>>. Acesso em: 17 Dec. 2024.

UFPB. **Ufpb Em Números**. Universidade Federal Da Paraíba - Ufpb Ufpb Em Números. Disponível em: <<http://www.ufpb.br/ufpbemnumeros>>. Acesso em: 10 Jun. 2023.

UFPB. **Histórico — UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA**. UFPB. Disponível em: <<https://www.ufpb.br/ufpb/menu/institucional/apresentacao/historico>>. Acesso em: 20 Jan. 2025.

VASCONCELOS, Felipe Bandeira; ROCHA, Matheus Xavier; DE ALEXANDRIA, Auzuir Ripardo. Automação em um Sistema de Tratamento e Distribuição de Água: Um Estudo de Caso. **Conexões - Ciência e Tecnologia**, v. 12, n. 3, p. 25–39, 2018.

7. APÊNDICE

Automação e Monitoramento dos Poços Artesianos da UFPB

Hudney Guilherme Machado de Hollanda^{#1}, Cícero da Rocha Souto^{*2}, Thiago da Silva Almeida^{*3},
Alysson Luiz Batista Ferreira Da Costa^{#4}

PPGEM, UFPB

¹hudney@sinfra.ufpb.br

²cicerosouto@cear.ufpb.br

³thiago.almeida@sinfra.ufpb.br

⁴alysson@sinfra.ufpb.br

Resumo — Este trabalho aborda a implementação de um sistema automatizado para os poços artesianos da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), utilizando tecnologias como Controladores Lógicos Programáveis (CLP), sensores e o supervisão SCADABR. O estudo evidencia a importância da automação para melhorar a eficiência na gestão hídrica, reduzir custos operacionais e garantir maior confiabilidade no abastecimento do campus.

Palavras chaves — Automação, Monitoramento Hídrico, Poços Artesianos, CLP, sonda de nível, hidrômetro.

I. INTRODUÇÃO

A Universidade Federal da Paraíba (UFPB), instituição fundada em 1955 e federalizada em 1960, é uma universidade que conta com mais de 30 mil alunos de graduação e 5 mil de pós-graduação, além de aproximadamente 6 mil funcionários, totalizando cerca de 40 mil usuários diretos [1].

Toda essa população gera uma grande demanda hídrica, onde a UFPB, para fazer frente a esse desafio, possui um sistema de adução que integra poços artesianos e o fornecimento da concessionária local. No campus I, a água para distribuição é armazenada em três reservatórios elevados, sendo um principal e dois auxiliares. No reservatório principal, a água é captada através de três poços artesianos, os quais serão objetos neste estudo, mais o fornecimento da concessionária local. O comando desses poços é feito através de comandos de bóia e o monitoramento é inexistente.

A automação em sistemas de abastecimento de água permite o monitoramento de variáveis como níveis de reservatórios e vazões [2] [3]. A implementação de um sistema automatizado na UFPB, em particular a

automação dos poços, trará benefícios inúmeros tais como evitar desabastecimento e conhecer dados críticos para uma gestão mais inteligente dos recursos hídricos e financeiros.

Diversos estudos destacam a eficácia de sistemas automatizados. Referência [4] e [5] aplicaram controle inteligente com lógica fuzzy, obtendo eficiência energética superior a sistemas não automatizados, enquanto que [6] demonstraram que a lógica fuzzy é uma alternativa eficaz ao controle PID, também proporcionando ganhos de eficiência energética. Além disso, Referência [7] desenvolveu um sistema com Arduino para monitorar pressões, enquanto [8] também utilizaram uma solução com arduíno para eliminar o extravasamento em reservatórios. Referência [9] criou um sistema de monitoramento que monitora e controla o abastecimento de reservatórios residenciais com água proveniente de poços artesianos.

Enquanto [10] e [11] verificaram que a automação é capaz de reduzir perdas em sistemas de abastecimento de grandes municípios, [12] e [13] observaram a importância da automação na eficiência hídrica e na detecção de vazamentos.

Dessa forma, a implementação de um sistema automatizado nos poços da UFPB se mostra essencial para otimizar o uso da água e melhorar a eficiência do sistema.

II. MATERIAIS E MÉTODOS

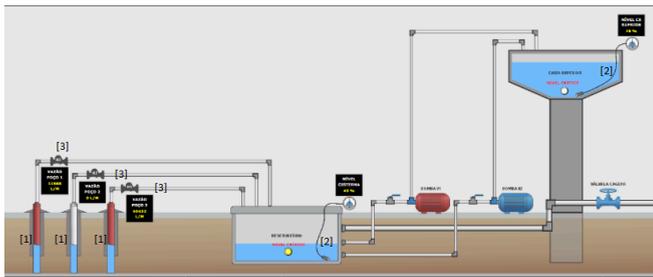


Fig. 1 Tela do supervisório com indicação dos equipamentos citados no item II.D

A. Abordagem da Pesquisa

A pesquisa foi classificada como quantitativa, uma vez que as variáveis monitoradas serão apresentadas numericamente [14]. Trata-se de uma pesquisa aplicada, útil para resolver problemas reais e impactar a comunidade. O objetivo é exploratório, visando compreender o funcionamento do sistema de abastecimento de água. A metodologia utilizada é a pesquisa-ação, que inclui um ciclo de planejamento, ação, monitoramento e avaliação dos resultados [15].

B. Desenho do Estudo

O estudo foi realizado na rede de abastecimento de água do campus I, da Universidade Federal da Paraíba, que compreende três reservatórios: um principal ao lado do Restaurante Universitário e dois auxiliares no Centro de Ciências da Saúde e no Centro de Ciências Sociais Aplicadas. Cada reservatório possui um conjunto motor-bomba e poços artesianos, sendo que o principal conta com três poços artesianos e além do complemento via concessionária local. A rede é em malha e é composta por tubulações de ferro, PVC e amianto.

C. Amostra

As amostras estudadas serão os poços artesianos do reservatório principal onde os resultados têm possibilidade de impactar diretamente a comunidade, além de facilitar a coleta dos dados.

D. Equipamentos

Os equipamentos já disponíveis para a pesquisa incluem três conjuntos motobomba, três eletrodos de nível e três quadros de comando que garantem a operação [1] e proteção do sistema de cada um dos poços. Para a automação e controle, o sistema será equipado com sonda de nível [2], três macromedidores de vazão [3], e um painel de automação e de controle elétrico das bombas dos poços.

A automação será realizada com um Controlador Lógico Programável (CLP), que de acordo com [16], o CLP é um “sistema eletrônico de operação digital,

projetado para uso em um ambiente industrial, que usa uma memória programável para o armazenamento interno de instruções orientadas ao usuário para implementar funções específicas, como lógica, sequenciamento, temporização, contagem e aritmética, para controlar, por meio de entradas e saídas digitais ou analógicas, vários tipos de máquinas ou processos”.

III. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A. Visão Geral dos Dados de Consumo

Os dados de consumo dos poços artesianos foram coletados diariamente, no período de 5 de setembro a 29 de setembro de 2024, através do supervisório SCADABR. Esse monitoramento permitiu registrar o fornecimento de água para a universidade através dos poços em estudo. Em dias em que não foi possível realizar a leitura dos dados, o valor acumulado foi registrado no dia seguinte.

Em complementação a isso, os dados de consumo via concessionária foram coletados através das contas de consumo durante o período de um ano. Com base nesses dados, foram calculadas as médias mensais e anual, para que se possa ter dados comparativos para entender a contribuição dos poços no sistema de abastecimento da universidade.

Na tabela abaixo, são apresentados os valores médios de abastecimento através dos poços e concessionária.

TABELA 01
CONTRIBUIÇÃO POR FONTE DE ABASTECIMENTO

| CONTRIBUIÇÃO | POÇO1 (M ³) | POÇO 3 (M ³) | POÇOS (M ³) | CAGEPA (M ³) |
|--------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|
| MÍNIMO | 23 | 72 | 95 | 52 |
| MÁXIMO | 241 | 819 | 1031 | 667 |
| MÉDIA | 170 | 568 | 738 | 358 |

B. Análise do Consumo Diário dos Poços Artesianos

Através do monitoramento diário do consumo dos poços artesianos da UFPB foi possível observar que o consumo diário variou entre os dias, de forma a refletir as variações nas demandas de abastecimento do campus. Sendo o poço 1 contribuindo com volumes diários de 23m³ a 241m³ e o poço 3 trazendo contribuições de 72m³ a 819m³. O poço 2 não apresentou contribuição no período estudado, o que pode indicar esgotamento do aquífero (o poço 2 é raso enquanto os demais são profundos).

Analisando o consumo diário evidenciou-se que há diferenças entre os dois poços monitorados. O Poço 1 apresentou picos de consumo mais baixos em comparação ao Poço 3, que registrou volumes de extração mais de três vezes maiores em média do que o outro Poço. Esse desequilíbrio indica que há diferença significativa na capacidade de adução dos poços.

Em termos de sazonalidade, foi possível, através do gráfico abaixo, observar que os poços tendem a realizar uma contribuição constante durante o período estudado. Em alguns dias, foi possível observar uma baixa contribuição dos poços, fugindo da média observada, isso pode acontecer em dias onde o reservatório atinge o seu nível máximo.

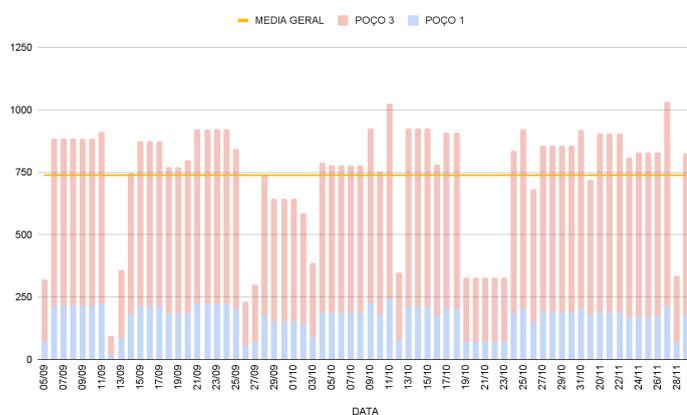


Fig. 2 Contribuição Diária dos Poços

Esses dados iniciais reforçam a relevância do monitoramento dos poços, garantindo que as informações sejam registradas e auxiliando na tomada de decisões informadas para o gerenciamento do consumo de água no campus.

C. Consumo Total Mensal e Comparação com o Abastecimento pela Concessionária (Cagepa)

Os dados mensais de consumo de água fornecidos pela concessionária local (Cagepa) e o consumo fornecido pelos poços artesianos permitem uma análise comparativa que mostra o papel relevante dos poços no sistema de abastecimento da UFPB. Foi coletado os dados de consumo da concessionária ao longo de um ano e calculado seu consumo médio. Foi possível observar que o consumo diário médio da concessionária foi de aproximadamente 357,98 m³, conforme gráfico abaixo.

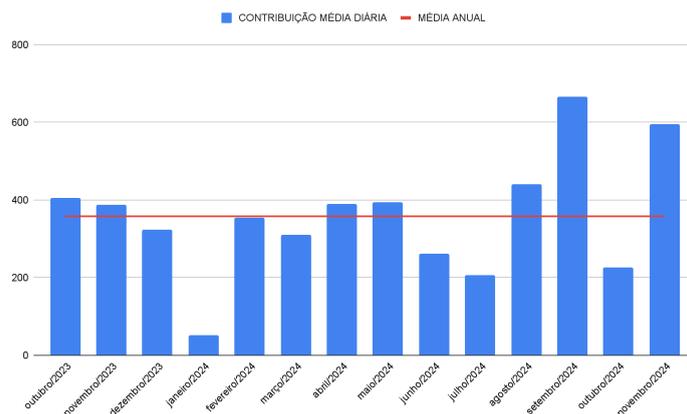


Fig 2 - Contribuição Média Diária Mensal e Anual Da Concessionária

Analisando o consumo total através dos poços artesianos em estudo, com uma média de 738m³ ao dia, é possível destacar uma contribuição, relativamente, contínua e estável ao sistema de abastecimento da UFPB. Esse volume representa uma quantidade significativa de água disponível para o campus, reduzindo a dependência e os os custos relacionados ao abastecimento via concessionária. Comparando os volumes fornecidos pelas duas fontes, evidencia-se que o volume fornecido pela Cagepa é consideravelmente menor que o dos poços, o que demonstra o papel dos poços como principal fonte de abastecimento e da Cagepa como uma fonte de complemento essencial para garantir a segurança hídrica. Além disso, essa estrutura de abastecimento híbrido traz benefícios significativos para a UFPB como economia em meses de baixa demanda e segurança hídrica nos meses de alta demanda.

D. Eficiência Operacional e Sustentabilidade do Sistema

A constância no volume de água fornecido pelos poços artesianos contribui para a eficiência operacional e sustentabilidade do sistema de abastecimento da UFPB. Esse fornecimento atende uma parcela importante da demanda hídrica do campus, reduz a dependência da água fornecida pela concessionária e assegura maior controle sobre a gestão de seus recursos hídricos.

A automação do sistema, implementada com o CLP, possibilita um monitoramento contínuo e preciso do consumo. Com ela, a universidade pode acompanhar em tempo real o desempenho dos poços, identificar qualquer anomalia no funcionamento e agir rapidamente para realizar correções.

A automação dos poços permite, ao longo do tempo, que o fornecimento se mantenha sempre próximo da média diária, proporcionando uma base segura para o

abastecimento do campus, inclusive em situações de pico de consumo.

Esse modelo de abastecimento, baseado na integração entre o fornecimento pela Cagepa e o uso de poços artesianos, permite que a UFPB atenda suas demandas sem comprometer o uso racional dos recursos locais. A estabilidade e previsibilidade dos volumes extraídos dos poços tornam o sistema menos suscetível a oscilações externas, embora ainda não seja possível que o abastecimento seja totalmente independente da concessionária.

IV. CONCLUSÃO

A automação e monitoramento dos poços artesianos no sistema de abastecimento de água da UFPB se mostrou um avanço muito importante na gestão dos recursos hídricos, principalmente devido à alta demanda da instituição. Com a implementação dessa tecnologia, a UFPB agora obtém dados precisos e em tempo real sobre o comportamento dos seus poços e o nível dos reservatórios, o que é fundamental para garantir a eficiência operacional do sistema.

Ao longo deste estudo foi possível constatar que a utilização dos poços artesianos, além de complementar o fornecimento pela concessionária, também reduz os custos e a dependência da concessionária, tornando o campus menos vulnerável a interrupções. Além disso, o volume de água disponibilizado pelos poços demonstra sua importância como fonte primária, com a concessionária atuando como um complemento essencial.

A automação implementada permite uma melhor gestão dos recursos hídricos, onde é possível identificar rapidamente as falhas, o que possibilita intervenções mais ágeis. Esse sistema híbrido permite maior previsibilidade e controle, além de minimizar o risco de desabastecimento.

Portanto, este trabalho reforça a viabilidade e os benefícios da automação dos poços artesianos da UFPB para o abastecimento de água e reforça a necessidade de expansão dessas tecnologias para toda a rede da universidade. Em síntese, o estudo evidencia como a modernização dos sistemas de abastecimento é essencial para atender as demandas de uma instituição de grande porte como a UFPB, promovendo uma operação mais eficiente, sustentável e segura.

REFERÊNCIAS

- [1] UFPB. Ufpb Em Números. Universidade Federal Da Paraíba - Ufpb Ufpb Em Números. Disponível em: <<http://www.ufpb.br/ufpbemnumeros>>. Acesso em: 10 Jun. 2023.
- [2] OGATA, Katsuhiko. Engenharia de controle moderno. [s.l.]: Pearson, 2011.
- [3] HENRIQUES, Kenny Rogers da Silva. Repositório Institucional da UFPB: Diagnóstico hidroenergético e otimização operacional pela aplicação de algoritmos genéticos, de uma estação elevatória de água. Disponível em: <<https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/12952>>.
- [4] MENDONÇA, Kamilla Henrique; GOMES, Heber Pimentel; BEZERRA, Saulo de Tarso Marques; et al. Aplicação de Sistemas de Controle Fuzzy para Sistemas de Distribuição de Água. Revista DAE, v. 70, n. 236, p. 93–106, 2022.
- [5] SOUZA, Renato de; OLIVEIRA, José Kleber Costa de ; GOMES, Heber Pimentel ; et al. Lógica Fuzzy Aplicada Na Otimização Operacional de Rede Setorizada de Distribuição de Água Para Economia de Energia Elétrica. CILAMSE, 2016.
- [6] ALMEIDA, Abigail Trindade de; SILVEIRA, Carlos R. da. LÓGICA FUZZY APLICADA AO CONTROLE DE NÍVEL DE RESERVATÓRIO DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA. In: Proceedings do XV Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente. Rio Grande, RS, Brasil: SBA Sociedade Brasileira de Automação, 2021. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.20906/sbai.v1i1.2690>>. Acesso em: 28 Jun. 2024.
- [7] BRUNO, Federica; DE MARCHIS, Mauro; MILICI, Barbara; et al. A Pressure Monitoring System for Water Distribution Networks Based on Arduino Microcontroller. Water, v. 13, n. 17, p. 2321, 2021.
- [8] SANTOS, Maraiza Prescila dos; OLIVEIRA, José Kleber Costa de. Automação de baixo custo para reservatórios de água. Revista Principia - Divulgação Científica e Tecnológica do IFPB, v. 2, n. 25, p. 58, 2014.
- [9] OLIVEIRA, Adailton Medeiros Rodrigues de; CAVALCANTI, Gustavo Oliveira. Sistema Automatizado de Controle de Abastecimento de Água Proveniente de Poços Artesianos com Monitoramento Remoto. Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada, v. 2, n. 2, 2017.
- [10] TROJAN, Flavio; KOVALESKI, João Luiz . Automação no abastecimento de água: Uma ferramenta para redução de perdas e melhoria nas condições de trabalho. XII SIMPEP, 2005.
- [11] VASCONCELOS, Felipe Bandeira; ROCHA, Matheus Xavier; DE ALEXANDRIA, Auzuir Ripardo. Automação em um Sistema de Tratamento e Distribuição de Água: Um Estudo de Caso. Conexões - Ciência e Tecnologia, v. 12, n. 3, p. 25–39, 2018.
- [12] TENÓRIO, Rodrigo; GIMENES, Julia ; PINA FILHO, Armando Carlos. Um estudo da automação para redução de perdas na rede de distribuição de água. In: Blucher Engineering Proceedings. São Paulo: Editora Blucher, 2019. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.5151/singeurb2019-81>>. Acesso em: 6 Jul. 2024.
- [13] MEDEIROS, Luísa Eduarda Lucena de; BARBOSA, Dayse Luna; RODRIGUES, Andrea Carla Lima; et al. Desenvolvimento de um protótipo inteligente utilizando sensor turbina para detecção de vazamentos em edificações. Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais, v. 12, n. 11, p. 126–134, 2021.
- [14] CESÁRIO, Jonas Magno dos Santos; FLAUZINO, Victor Hugo de Paula; MEJIA, Judith Victoria Castillo. Metodologia científica: Principais tipos de pesquisas e suas características. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento, v. 5, n. 11, p. 23–33, 2020.
- [15] TRIPP, David. Pesquisa-ação: uma introdução metodológica. Educação e Pesquisa, v. 31, n. 3, p. 443–466, 2005.
- [16] INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. Programmable controllers - Part 1: General information. IEC 61131-1.