

INOVAÇÃO EM MONITORAMENTO AMBIENTAL DE RECURSOS HÍDRICOS UTILIZANDO IOT

Calvin Stefan Iost

Engenheiro ambiental pela UNESP, com mestrado em meio ambiente e energia pela USP, pós graduação em segurança do trabalho e áreas contaminadas, com experiência de mais de 14 anos incorporando inovação, transformação digital, tecnologias e digitalização de processos nessas áreas de conhecimento.

Endereço: R. Enxovia, 472 - Conj 1711 - Vila Sao Francisco São Paulo - SP, Brasil CEP: 04711-030 - Tel: +55 (11) 2306-5722 - e-mail: calviniost@cetrel.com.br.

RESUMO

O projeto de inovação em monitoramento ambiental de recursos hídricos utilizando IoT (Internet das Coisas), utiliza a tecnologia para aprimorar o monitoramento ambiental dos recursos hídricos. Este sistema integrado de monitoramento visa melhorar a precisão na medição do nível da água e vazão. Este projeto inclui os seguintes casos de estudo para o monitoramento de: hidrômetros para medição de volume, calhas Parshall para medição de volume, monitoramento de poços piezométricos em barragens para nível d'água, e poços de visita em redes enterradas para nível e volume. Utilizando o conceito de *'Software and Device as a Service'* (SDaaS), os dispositivos são altamente escaláveis e proporcionam acesso à plataforma de dados onde as informações são armazenadas e analisadas a todas as partes interessadas. O projeto destaca-se pela sua capacidade de detecção rápida de anomalias nos padrões de consumo, gestão eficiente dos recursos hídricos e criação de uma base de dados robusta. Os resultados indicam uma melhoria significativa na capacidade de monitoramento e na tomada de decisões mais informadas.

PALAVRAS-CHAVE: Internet das Coisas (IoT), Monitoramento Ambiental, Recursos Hídricos.

INTRODUÇÃO

A gestão eficiente dos recursos hídricos é essencial para a sustentabilidade ambiental e o bem-estar das populações. Com o avanço das tecnologias de Internet das Coisas (IoT), tornou-se possível monitorar de forma mais precisa e eficiente a quantidade e qualidade da água, elementos críticos para a manutenção de ecossistemas saudáveis e a gestão dos recursos hídricos. O projeto é um exemplo inovador do uso de IoT para esse fim, permitindo a coleta de dados em tempo real através de sensores eletrônicos que medem o nível da água e vazão.

A importância da IoT no monitoramento ambiental é amplamente discutida na literatura. Segundo em seu livro "The Internet of Things" (GREENGARD S., 2015), os sensores e dispositivos são componentes fundamentais da Internet Industrial e nos últimos anos, avanços significativos na tecnologia, aliados à miniaturização, abriram novas possibilidades para a detecção de parâmetros ambientais. Atualmente, a gama de pontos de entrada de dados e sistemas conectados abrange uma diversidade de dispositivos, incluindo geolocalizadores e GPS, scanners de código de barras, termômetros, barômetros, higrômetros, sensores de vibração, sensores de pressão, giroscópios, magnetômetros, câmeras, monitores de áudio e vídeo, acelerômetros, sensores de movimento, radar, sonar e LiDAR. Este conceito é central para a abordagem do projeto, que utiliza a ampla variedade de possibilidades de mensurações ambientais, conectividade e a análise de dados para melhorar a gestão dos recursos hídricos.

Uma gestão adequada dos dados é crucial para o gerenciamento ambiental, conforme estabelecido pela Decisão de Diretoria nº 038/2017 (CETESB, 2017), que aprova procedimentos e diretrizes para a proteção da qualidade do solo e das águas subterrâneas, a correta implementação e monitoramento desses procedimentos garantem a identificação e remediação de áreas que estão sob monitoramento ambiental, minimizando riscos à saúde humana e ao meio ambiente. O projeto, com sua capacidade de coletar e analisar dados em tempo real, se alinha perfeitamente com as diretrizes da DD-038. Utilizando sensores conectados via IoT, o projeto permite o monitoramento contínuo de parâmetros críticos,

como nível da água e vazão. Esses dados são essenciais para a implementação eficaz das políticas de gestão ambiental, proporcionando uma base robusta para a tomada de decisões informadas e intervenções rápidas quando necessário.

OBJETIVO

O objetivo geral do projeto é desenvolver e implementar um sistema de monitoramento ambiental, utilizando a tecnologia da Internet das Coisas (IoT), para otimizar a gestão dos dados de recursos hídricos para os casos de monitoramento de hidrômetros, calhas Parshall, poços piezométricos em barragens e poços de visita em redes de distribuição de águas e efluentes. Este sistema visa proporcionar dados em tempo real, permitindo intervenções rápidas e eficazes na preservação dos recursos hídricos e na garantia de sustentabilidade ambiental.

Como objetivos específicos do projeto temos:

- Melhorar a Precisão no Monitoramento: Desenvolver e instalar sensores eletrônicos capazes de medir com alta precisão o nível da água e vazão de água para os casos Hidrômetros – Volume, Calhas Parshall – Volume, Poços Piezométricos em Barragens - Nível d'Água e Poços de Vistoria - Nível e Volume.
- Aumentar a Eficiência na Detecção de Anomalias: Implementar um sistema de detecção de anomalias nos parâmetros monitorados, permitindo ações corretivas imediatas.
- Fornecer Dados em Tempo Real para Decisões Informadas: Integrar os sensores a uma plataforma IoT que coleta e analisa os dados continuamente, oferecendo relatórios e dashboards interativos para a tomada de decisões baseadas em dados concretos.

METODOLOGIA UTILIZADA

As etapas de implementação do projeto foram estruturadas iniciando pela identificação das necessidades, compreendendo as exigências dos stakeholders, incluindo gestores ambientais e técnicos das partes interessadas. Foram realizadas reuniões e workshops para coletar os requisitos funcionais e não funcionais para os quatro casos selecionados. Em seguida, definiu-se os parâmetros críticos a serem monitorados, como nível da água e vazão, com base em normas ambientais e na experiência técnica dos especialistas envolvidos no projeto.

As especificações técnicas dos sensores e dispositivos foram elaboradas, selecionando-se os tipos de sensores necessários para a coleta de dados, considerando precisão, durabilidade, compatibilidade com a plataforma IoT, cobertura de sinal e as condições ambientais das áreas de instalação.

Os sensores foram instalados em diversos pontos de monitoramento de interesse, selecionados com base em critérios técnicos que consideraram a representatividade e a acessibilidade das áreas monitoradas. Todos os sensores foram integrados a uma rede IoT, permitindo a transmissão contínua e segura dos dados para uma central de monitoramento. A infraestrutura de comunicação utilizada incluía redes de longa distância de baixa potência (LPWAN) e conectividade via celular.

Os dados coletados pelos sensores foram transmitidos em tempo real para a plataforma IoT, onde foram armazenados em bancos de dados robustos e seguros. A integridade e a disponibilidade dos dados foram asseguradas por meio de políticas de backup e recuperação. Os dados foram analisados utilizando ferramentas de análise para identificar padrões, tendências e possíveis anomalias.

Os resultados das análises foram apresentados através de dashboards interativos e relatórios, que facilitaram a interpretação dos dados e apoiaram a tomada de decisões informadas pelos gestores ambientais. Com base nos dados e nas análises, foram implementadas ações corretivas imediatas quando necessário.

Finalmente, todos os componentes do sistema foram submetidos a rigorosos testes de validação para garantir sua precisão, confiabilidade e durabilidade. Os testes incluíram simulações de condições ambientais extremas e avaliações de desempenho em campo.

Para a implementação do projeto, foram utilizados os seguintes materiais:

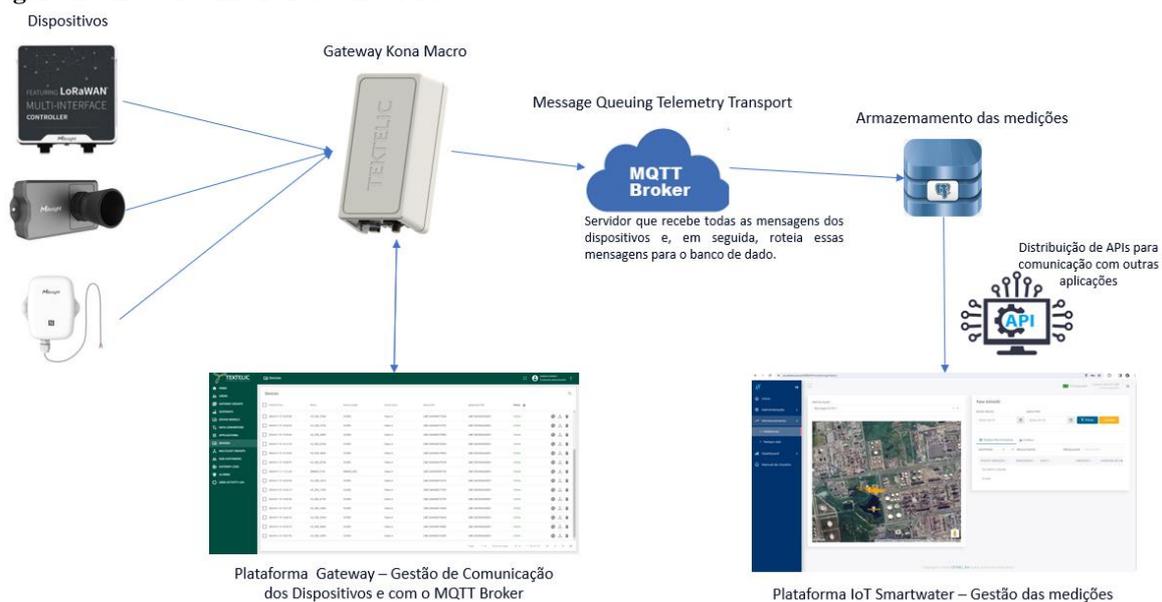
- Sensores de Nível de Água: Dispositivos eletrônicos precisos para medir a altura da coluna de água em poços piezométricos de 1 (uma) polegada.
- Sensores de Vazão: Equipamentos telemétricos instalados em hidrômetros pré-existent, com características de contagem de pulso bem como vazão instantânea, configurados para realizar a conversão dos sinais em volume de água.

- Plataforma IoT: Sistema de gerenciamento de dados que conecta os sensores e processa as informações coletadas em tempo real.
- Caixa de Conexão: Dispositivo que conecta os sensores adquiridos no mercado, transmite os dados para os gateways e possui baterias para garantir as funcionalidades elétricas necessárias.
- Gateways: Dispositivos para conectividade das caixas de conexão com a internet, podendo ser via cabeamento ethernet ou chips de telefonia convencional.

RESULTADOS OBTIDOS

O ecossistema IoT desenvolvido está apresentado de forma simplificada na Figura 1 a seguir, considerando os dispositivos de coleta de dados em campo, transmissão de dados, gateway de comunicação, MQTT Broker, armazenamento de informações, APIs para aplicações, plataforma IoT / dashboards de consultas e relatórios.

Figura 1 – Ecossistema IoT desenvolvido.



Fonte: Acervo do autor, 2024. Em processo de patente.

Serão apresentados a seguir os resultados obtidos pelos diferentes cases de monitoramento utilizadas: hidrômetros para volume, calhas Parshall para volume, monitoramento de poços piezométricos em barragens para nível d'água e poços de vistoria para nível e volume.

Hidrômetros - Volume

Para os hidrômetros, foi realizado um levantamento abrangente dos pontos de maior relevância no monitoramento dos pontos de faturamento de custódia da área de estudo. Este levantamento focou nos pontos de distribuição de água clarificada e água desmineralizada, que já possuem hidrômetros pré-existentes monitorando a vazão instantânea. Esses hidrômetros têm a capacidade de acoplamento com dispositivos IoT para a transmissão de dados elétricos de 4 a 20 mA para o gateway, conforme apresentado na Figura 2. No caso dos hidrômetros pré-existentes de água potável, identificou-se a possibilidade de inclusão de sensores com contagem de pulso conforme apresentado na Figura 3.

Figura 2 – Dispositivo IoT acoplado em hidrômetros de monitoramento de vazão instantânea.



Fonte: Acervo do autor, 2024. Alguns dados foram ocultados de forma a garantir a confidencialidade das informações e áreas de estudo.

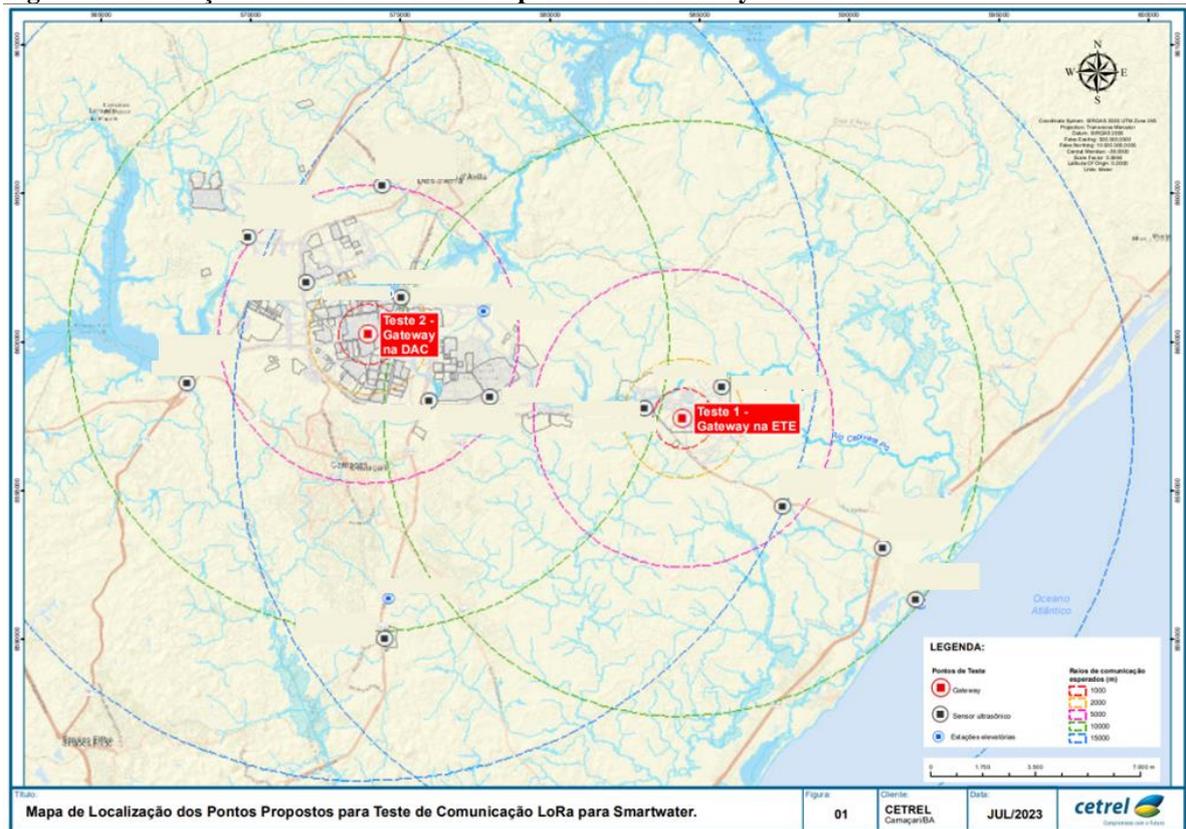
Figura 3 – Dispositivo IoT acoplado em hidrômetros de monitoramento a partir de contagem de pulso.



Fonte: Acervo do autor, 2024.

Um dos grandes desafios do projeto foi assegurar que a cobertura de sinal fosse eficaz em um ambiente industrial caracterizado por grandes estruturas metálicas e limitações de cobertura de telefonia/GPRS. O Polo Industrial de Camaçari foi selecionado como caso de estudo para esta análise. Para garantir a cobertura adequada do sinal, foram instalados dois gateways estrategicamente posicionados. Esta configuração permitiu a transmissão ininterrupta de dados, superando as barreiras impostas pelo ambiente industrial. A disposição dos gateways e a cobertura obtida são ilustradas na Figura 4.

Figura 4 – Avaliação da cobertura de sinal esperada dos Gateways instalados.



Fonte: Acervo do autor, 2024. Alguns dados foram ocultados de forma a garantir a confidencialidade das informações e áreas de estudo.

O acompanhamento em tempo real dos dados foi realizado por meio de dashboards, conforme ilustrado na Figura 5. Esta abordagem permitiu uma melhoria significativa na frequência das medições em comparação com as medições manuais bimensais executadas convencionalmente.

Figura 5 – Resultados obtidos a partir da implantação dos dispositivos IoT (roxo) frente à dinâmica convencional de leitura manual dos hidrômetros (laranja).



Fonte: Acervo do autor, 2024. Alguns dados foram ocultados de forma a garantir a confidencialidade das informações e áreas de estudo.

Foram implementados 53 pontos de monitoramento, sendo que até o momento aproximadamente 70% funcionaram sem nenhuma restrição operacional. A totalização do cálculo de volume a partir dos dados recebidos de vazão instantânea de 1 em 1 minuto foi realizada diretamente via banco de dados sem a necessidade imediata de instalação de dispositivos de totalização adicionais, sendo com isso operacionalizar boa parte dos pontos de monitoramento de forma custo efetiva.

Calhas Parshall - Volume

Para o case das calhas Parshall foram utilizados sensores e dispositivos para medir a coluna seca de água, e a partir de conversões chegar nos dados de volume de água em fluxo contínuo, fornecendo informações sobre a vazão nesses pontos de monitoramento.

Para os resultados das calhas, foi realizada a instalação de sensores ultrassônicos de IoT, em conjunto com sensores de telemetria convencional, que se comunicam com o sistema PI System – AVEVA de forma a possibilitar a comparação entre as tecnologias, conforme apresentado na Figura 6. A avaliação dos dados foi realizada em uma calha Parshall na saída de uma estação de tratamento de efluentes e mostrou resultados satisfatórios em comparação com a telemetria convencional, apresentando apenas alguns desvios menores, mas mantendo consistência nas oscilações previstas. Além disso, foi instalado um sensor de nível convencional com um sensor barométrico de pressão para medição da coluna de água a partir do fundo da calha. No entanto, esse sensor não é o mais adequado para essa aplicação, pois os efluentes podem possuir características que afetam o desempenho do sensor. A equação de Manning foi utilizada em conjunto com os valores das dimensões padronizadas das calhas Parshall.

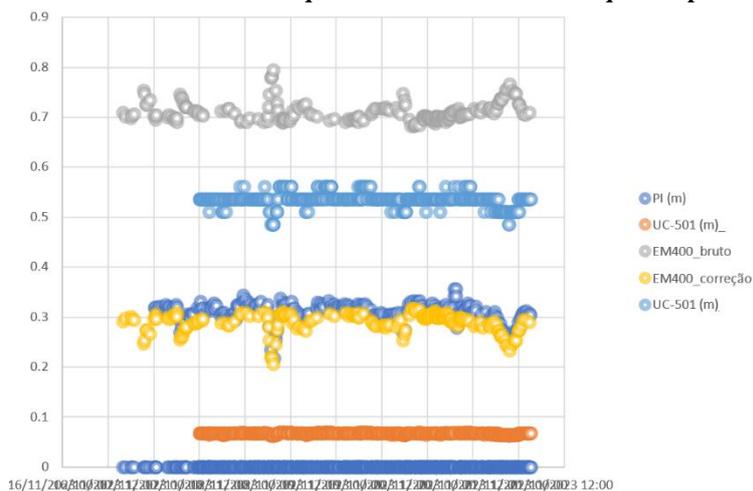
Figura 6 – Instalação de sensores IoT ultrassônicos e de medição de pressão para monitoramento da coluna d’água em conjunto com sensores de automação industrial convencionais.



Fonte: Acervo do autor, 2024. Alguns dados foram ocultados de forma a garantir a confidencialidade das informações e áreas de estudo.

Os dados dos sensores ultrassônicos foram corrigidos para as dimensões e distâncias de instalação e mostraram uma boa correlação com os dados obtidos por sensores mais robustos de automação industrial convencional, conforme ilustrado na figura a seguir.

Figura 7 – Resultados do monitoramento automação industrial convencional (indicados em azul escuro) comparados com os dados dos sensores ultrassônicos corrigidos (indicados em amarelo), bem como dados brutos e demais sensores que não se mostraram adequados para a aplicação.



Fonte: Acervo do autor, 2024.

A partir dos testes realizados, identificou-se a possibilidade de incluir os dispositivos de telemetria diretamente nos painéis dos sensores já existentes em instalações industriais, conforme apresentado pelo painel da Figura 8. Embora esses sensores já estejam implementados, atualmente eles não possuem comunicação com a rede de dados, precisando ser avaliados de forma manual. Este teste revelou-se promissor para casos onde já existe uma infraestrutura local, facilitando a integração e comunicação dos dispositivos com a rede de monitoramento a partir dos sensores pré-existentes.

Figura 8 – Painel para monitoramento de calha Parshall sem comunicação com a rede de dados.



Fonte: Acervo do autor, 2024. Alguns dados foram ocultados de forma a garantir a confidencialidade das informações e áreas de estudo.

Poços Piezométricos em Barragens - Nível d'Água

O monitoramento dos níveis de água em poços piezométricos em barragens foi utilizado para avaliar a estabilidade estrutural das barragens, processo que convencionalmente é feito de forma manual a partir de idas a campo por um técnico com equipamentos próprios para detecção do nível d'água nesses pontos de monitoramento.

Para as barragens, foram utilizados dispositivos de transmissão de dados em conjunto com sensores com medição barométrica para monitorar a pressão, permitindo a aquisição de um sinal de 4 a 20 mA correspondente à altura da coluna d'água sobre esses dispositivos. Uma das limitações identificadas nos poços piezométricos foi o diâmetro reduzido dos poços. Devido a esses diâmetros menores, os sensores precisaram ser adaptados para se ajustarem adequadamente. Optou-se, portanto, por dispositivos de medição de coluna d'água com calibres inferiores a 1 polegada, garantindo assim a compatibilidade e a eficácia das medições nos poços piezométricos, tal como apresentado na Figura 9.

Figura 9 – Exemplo de aplicação de IoTs para poços piezométricos de barragens.



Fonte: Acervo do autor, 2024.

Os resultados obtidos para as barragens foram bastante promissores, pois foi possível integrar os dispositivos de IoT com os modelos BIM (Building Information Model) das barragens, criando assim um gêmeo digital (digital twin) desses ambientes. Essa integração permite uma avaliação clara e detalhada de condições como topografia, ativos construídos e níveis de água dos poços piezométricos. Dessa forma, torna-se possível monitorar com precisão o nível de risco dessas instalações, proporcionando uma ferramenta eficaz para a gestão e a segurança das barragens, tal como apresentado na Figura 10.

Figura 10 – Gêmeo digital de uma barragem integrando dados de IoT com tecnologia BIM.



Fonte: Acervo do autor, 2024. Alguns dados foram ocultados de forma a garantir a confidencialidade das informações e áreas de estudo.

Uma das grandes preocupações do projeto para barragens localizadas em áreas externas era a alta incidência de violações de segurança patrimonial na região de estudo, tal como furtos de cabos e dispositivos. Para mitigar esse risco, foi implementada uma solução utilizando sensores IoT de menores dimensões, com o objetivo de torná-los menos visíveis e reduzir a possibilidade de acesso não autorizado. Adicionalmente, foi empregada a tecnologia de impressão 3D para fabricar tampas adaptadas, capazes de acomodar os dispositivos IoT.

Essas tampas foram impressas e pintadas, aumentando a discrição e a segurança, conforme apresentado na Figura 11. A impressão 3D revelou-se uma solução eficaz, pois além de proteger os dispositivos contra intempéries como chuva e sol, também permitiu a passagem do sinal, o que não seria possível com tampas metálicas ou dispositivos enterrados. Este método garantiu que os dispositivos IoT permanecessem operacionais e seguros, mesmo em condições adversas.

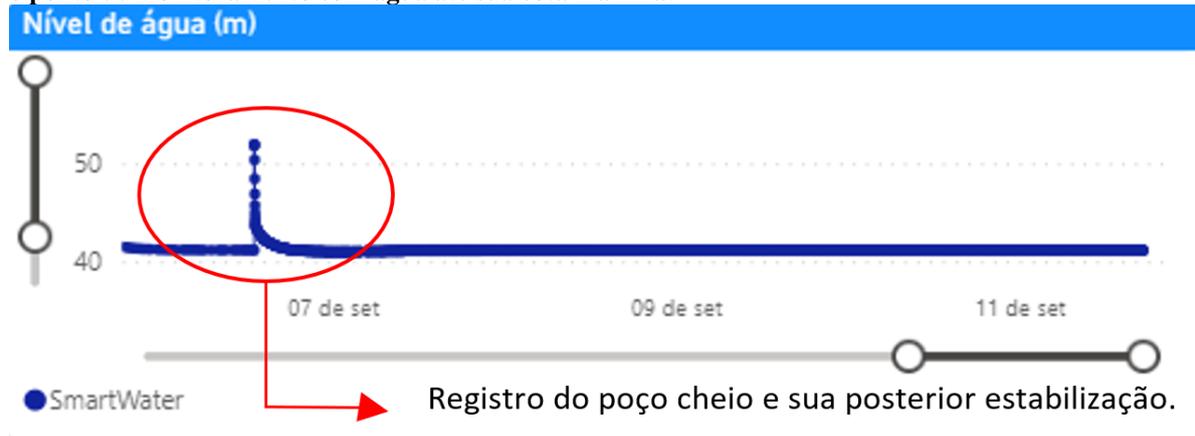
Figura 11 – Aplicação de impressão 3D no contexto do projeto para criação das tampas de proteção.



Fonte: Acervo do autor, 2024.

Para avaliar a precisão dos testes, conforme apresentado na Figura 12, foi realizado um procedimento de preenchimento dos poços com água e monitoramento da estabilização, comparando os sinais do sistema com os sinais medidos em campo. Observou-se uma elevada precisão nesses sinais, caracterizando um desempenho adequado dos dispositivos IoT para o monitoramento contínuo de barragens, bem como elevada frequência de coleta dos dados, garantindo com isso uma boa confiança na detecção contínua de anomalias.

Figura 12 – resultados do monitoramento de nível d’água em poços piezométricos após teste de completar o ponto de monitoramento com água até sua cota máxima.



Fonte: Acervo do autor, 2024.

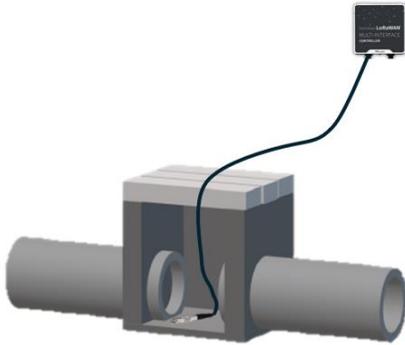
Poços de Visita - Nível e Volume

Para os poços de visita, o desafio foi maior em comparação aos demais casos devido às características específicas destes pontos de monitoramento, tal como a profundidade, a quantidade significativa de pontos de interesse, a distância destes pontos de infraestruturas de suporte, bem como a dificuldade de acesso aos pontos. O objetivo era estabelecer uma metodologia que permitisse calcular o balanço hídrico de volume entre dois ou mais poços de visita, possibilitando a avaliação de desvios ou mudanças na tendência dos dados históricos de volume, o que poderia indicar eventuais pontos de atenção operacional ao longo das malhas de distribuição de água e efluentes.

Esses poços, em sua maioria, estão enterrados a mais de 5 metros de profundidade e operam de forma despressurizada sob influência da gravidade, o que limita o uso de sensores de pressão mais precisos, como os utilizados em dutos para monitoramento de vazões de líquidos ou gases pressurizados. Optou-se, portanto, por monitorar o nível da coluna de líquido dentro desses poços de visita, tal como representação esquemática simplificada apresentada pela Figura 13.

A partir desses dados, utilizando equações de escoamento, foram estabelecidas bases para o cálculo do volume durante o período de monitoramento, permitindo desta forma calcular a diferença entre os volumes entre pontos a montante e jusante.

Figura 13 – Representação esquemática da aplicação de IoT em poços de visitas para malhas de distribuição de águas e efluentes.



Fonte: Acervo do autor, 2024.

Foi necessário especificar dispositivos em que o sensor fosse desacoplado da caixa de transmissão, o que descartou a possibilidade de uso dos sensores ultrassônicos, que apresentam essa característica, uma vez que a profundidade dos poços dificultava a transmissão de sinal até os gateways. Utilizaram-se sensores barométricos para medição do nível da coluna d'água, convertendo esses dados em vazão e, posteriormente, em volume. A Figura 14 apresenta o caso real de aplicação em campo.

Figura 14 – Uso dos dispositivos IoT em campo para os poços de visita.



Fonte: Acervo do autor, 2024.

Foi desenvolvido um dashboard para a comparação dos pontos de monitoramento IoT a montante e jusante, tal como apresentado na Figura 15, permitindo o cálculo do percentual de variação do volume. Valores experimentais de 10%, 20%, 30%, 40% e 50% foram atribuídos como parâmetros de validação para identificar pontos de atenção no balanço hídrico. O balanço foi acumulado semanalmente, proporcionando uma visão mais ampla e minimizando os impactos de medições pontuais e outliers. Observou-se que, embora as variações esperadas de volume apresentem uma certa constância, há pontos acumulados semanalmente que destoam significativamente das expectativas dos times técnicos e demais sensores de campo, indicando que os métodos utilizados não são os mais adequados para essa aplicação.

Figura 15 – Resultados do balanço hídrico entre dois poços piezométricos.



Fonte: Acervo do autor, 2024. Alguns dados foram ocultados de forma a garantir a confidencialidade das informações e áreas de estudo.

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A seguir serão avaliados os resultados para cada um dos cases implementados.

Hidrômetros - Volume

Em relação à precisão, verificou-se que a leitura dos hidrômetros apresentou alta precisão, com uma variação mínima de $\pm 2\%$ em relação aos volumes medidos manualmente na maioria dos pontos em que as vazões eram mais constantes. No entanto, em pontos onde a vazão apresenta maiores variações, observaram-se desvios superiores a 10%. Essa diferença evidencia uma limitação dos dispositivos IoT em comparação com a automação convencional, especialmente em relação à frequência de coleta de dados. Enquanto a automação convencional permite coletas de vazão instantânea a cada segundo ou menos, os dispositivos IoT coletam dados de no mínimo a cada minuto para preservar a bateria. Essa limitação pode resultar em erros na totalização dos volumes via banco de dados. Para esses casos, identificou-se a necessidade de incluir um dispositivo adicional de totalização do volume, que requer alimentação pela rede elétrica, reduzindo a viabilidade de aplicação desses dispositivos em pontos remotos.

Os dados coletados foram consistentes ao longo do tempo, possibilitando a detecção de variações sazonais e eventuais perdas no sistema de distribuição de água. Com a implementação do projeto, foi possível reduzir o tempo de resposta para a manutenção de hidrômetros em até 15 dias, uma vez que se tornou viável avaliar, em tempo real, se algum hidrômetro parou de transmitir dados. Além disso, o projeto permitiu a análise de padrões temporais de consumo nos pontos monitorados, facilitando adequações operacionais que garantem um melhor atendimento aos parâmetros estabelecidos.

Calhas Parshall - Volume

Para os resultados obtidos com a Calha Parshall, identificou-se que os sensores ultrassônicos são os mais adequados, conforme observado em automações convencionais. No entanto, os dispositivos IoT ultrassônicos apresentaram algumas limitações devido ao tamanho e às características estruturais de algumas calhas Parshall. As paredes dessas calhas podem criar barreiras que impedem a recepção adequada do sinal ultrassônico IoT.

Essa barreira estrutural pode resultar em maiores variações nas medições, comprometendo a precisão dos dados coletados. Além disso, a falta de sinal devido às limitações impostas pelas paredes das calhas pode restringir o uso eficaz dos sensores IoT ultrassônicos. Essas limitações destacam a necessidade de considerar cuidadosamente o ambiente de instalação e, possivelmente, adaptar a tecnologia, como por exemplos sensores a laser, ou adaptar a disposição dos sensores.

Poços Piezométricos em Barragens - Nível d'Água

O uso de IoT para monitoramento de poços piezométricos em barragens revelou-se um dos casos mais promissores entre todos os avaliados. Grande parte desses pontos de monitoramento estão situados em regiões remotas, sem acesso à rede elétrica e sistemas de dados. Nesse contexto, a tecnologia IoT, sendo altamente escalável, compacta e capaz de coletar dados com alta frequência, mostrou-se adequada.

A precisão dos sensores foi adequada para o caso de uso, atendendo aos requisitos técnicos. No entanto, a cobertura do sinal dos gateways apresentou desafios, especialmente em pontos de monitoramento mais distantes. Para superar essa limitação, foi necessário adicionar novos gateways, garantindo assim a continuidade e a qualidade do acesso ao sinal em todas as áreas monitoradas.

Para as barragens, observou-se que as oscilações das colunas d'água são bastante estáveis. Isso permitiu otimizar o consumo de bateria dos dispositivos IoT, reduzindo a frequência de envio de dados para intervalos de hora em hora ou até algumas poucas vezes ao dia. Essa abordagem não comprometeu a qualidade do monitoramento e garantiu a eficiência energética dos dispositivos, tornando-os ainda mais adequados para operações em locais de difícil acesso.

O fornecimento de dados em tempo real aumentou significativamente a segurança e a eficiência na gestão das barragens. Parâmetros críticos agora podem ser identificados precocemente, possibilitando reparos imediatos e prevenindo potenciais falhas estruturais.

Poços de Visita - Nível e Volume

A conversão entre a altura da coluna d'água e a vazão apresentou desafios significativos devido às variações nas características construtivas dos poços de visita, como diâmetros, larguras, espessuras e rugosidades das passagens, que impactam consideravelmente a estimativa de vazão.

Para aprimorar a precisão e o entendimento dos cálculos de escoamento, foram utilizadas metodologias BIM, que fornecem informações detalhadas sobre os ativos construídos. No entanto as características dos ambientes, como o volume morto no fundo dos poços de visita inviabilizou o uso da vazão como parâmetro de monitoramento, uma vez que os poços de visita não foram projetados para tal finalidade (tal como as calhas Parshall).

Dadas as características dos efluentes, foram observados alguns pontos de desgaste nos dispositivos que ficaram em contato direto com os líquidos de estudo. Embora esses desgastes não tenham sido significativos a ponto de impactar a aquisição dos dados no curto prazo, eles levantam a possibilidade de impactos no funcionamento após um longo período de uso.

Entretanto, outros ganhos foram identificados com o uso desses dispositivos em poços de visita, como o monitoramento de poços de visita localizados em regiões com cotas menores ou com maiores pressões operacionais com potencial aumento da cota no interior da tubulação. Esse monitoramento é viável, pois essas situações podem ser detectadas diretamente pelo nível da coluna d'água, permitindo uma tomada de decisão rápida nesses casos específicos.

CONCLUSÕES/RECOMENDAÇÕES

O projeto demonstrou a eficácia da utilização de IoT no monitoramento de recursos hídricos, proporcionando dados precisos e em tempo real. A separação dos resultados por diferentes casos de monitoramento destacou a versatilidade e a aplicabilidade da tecnologia em diversos contextos. Esses resultados não só contribuíram para a sustentabilidade ambiental, mas também para a melhoria da gestão dos recursos hídricos, confirmando o potencial das soluções IoT em aplicações ambientais.

Sobre o atendimento aos objetivos específicos do projeto temos:

- **Melhorar a Precisão no Monitoramento:** A implementação dos sensores de nível de água e vazão no projeto resultou em uma melhoria significativa na precisão do monitoramento dos recursos hídricos. A alta resolução dos dispositivos permitiram a coleta de dados detalhados e consistentes, que são essenciais para a avaliação precisa das condições dos pontos de monitoramento.
- **Aumentar a Eficiência na Detecção de Anomalias:** O sistema de avaliação de dados em tempo real implementado demonstrou uma eficiência elevada na detecção de anomalias. A partir da análise de dados permitiu a identificação precoce de desvios nos parâmetros monitorados, possibilitando respostas rápidas e ações corretivas imediatas. Esta capacidade de detecção eficiente é crucial para prevenir impactos ambientais.
- **Fornecer Dados em Tempo Real para Decisões Informadas:** A plataforma IoT do projeto, com sua capacidade de fornecer dados em tempo real, transformou significativamente a forma como as decisões são tomadas no gerenciamento dos recursos hídricos. Os dashboards interativos e relatórios detalhados permitiram que os gestores tivessem acesso a informações atualizadas e precisas, facilitando a tomada de decisões baseadas em evidências. Esta disponibilidade de dados em tempo real aprimora a eficácia das estratégias de gestão e contribui para a sustentabilidade a longo prazo dos recursos hídricos.

Recomenda-se continuidade nos testes, bem como uso de novos sensores, como por exemplo de qualidade de água (pH, turbidez, entre outros), para projetos futuros.

Desta forma, conclui-se que o projeto atendeu aos propósitos estabelecidos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. GREENGARD, S. *The Internet of Things. The MIT Press Essential Knowledge Series*. 2015.
2. SÃO PAULO. Manual de Parcerias do Estado de São Paulo. Disponível em <https://www.cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/2014/12/DD-038-2017-C.pdf>. Acesso em: 20/05/2024.