

Abordagem iWater: uma Contribuição ao Monitoramento da Barragem Santa Bárbara no Cenário da IoT

Gerson Andrade¹, Roger Machado^{2,3}, Juliano Londero¹,
Alexandra Zimpeck¹, Adenauer Yamin^{1,2}

¹Mestrado em Engenharia Eletrônica e Computação (MEEC) - UCPel

²Programa de Pós-Graduação em Computação (PPGC) - UFPEL

³Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense (IFSul)

Abstract. *In Brazil, the monitoring of dams (reservoirs) is often done by manual inspection, which makes several operational procedures difficult and the use of shorter time intervals to acquire information. According to this scenario, this work aims to design an approach called iWater to provide automated sensing in open large dimensions areas. The proposed approach explores a scalable software architecture, as well as the use of LoraWAN technology as an alternative for long-distance wireless communications. The results achieved are promising and point to the continuity of study and research efforts.*

Resumo. *No Brasil, o monitoramento de barragens (reservatórios) muitas vezes é feito por inspeção manual, o que dificulta diversos procedimentos operacionais, bem como o uso de intervalos de tempo menores para aquisição de informações. Considerando este cenário, este trabalho tem por objetivo a concepção de uma abordagem, denominada iWater, direcionada ao provimento de um sensoriamento automatizado em áreas abertas e de dimensões elevadas. A abordagem proposta, explora uma arquitetura de software escalável, bem como o emprego da tecnologia LoraWAN enquanto alternativa para comunicações sem fio, em regime de longa distância. Os resultados atingidos se mostram promissores e apontam para a continuidade dos esforços de estudo e pesquisa.*

1. Introdução

No Brasil, o monitoramento de barragens (reservatórios) é predominantemente realizado de forma manual em alguns pontos considerados estratégicos. O processo de coletar informações se valendo de operadores humanos, pode em certas situações, implicar em intervalos de diversos dias [LACEN 2018]. Embora amplamente adotado, este método vem se tornando inadequado por dois principais motivos: um primeiro que, levando em consideração todos os fatores que podem influenciar a disponibilidade da água em curtos períodos de tempo, é necessário que a captura das informações aconteça em intervalos programáveis e usualmente reduzidos; e um segundo motivo, está associado ao fato das coletas feitas manualmente, poderem expor a riscos o indivíduo responsável pela realização das mesmas, pois usualmente acontecem em ambientes como matas fechadas, lagos ou barragens de grandes dimensões ou difícil acesso.

O Serviço Autônomo de Saneamento de Pelotas (SANEP¹) enfrenta estes desafios, particularmente no que tange ao acompanhamento das condições da Barragem Santa Bárbara, principal recurso regulador para o fornecimento de água na região. Segundo [Piedras et al. 2006], a Barragem Santa Bárbara é uma junção de mananciais onde há a captação para distribuição de água potável para cerca de 45% da população da cidade de Pelotas, no Rio Grande do Sul. Essa barragem foi construída no ano de 1960 pelo Departamento Nacional de Obras de Saneamento (DNOS) [Piedras et al. 2006].

Para prover uma coleta de informações de forma continuada, neste cenário em que se tem uma grande área a ser coberta, torna-se necessário tanto o emprego de dispositivos de baixo consumo de energia, bem como um suporte à comunicação de dados que seja adequado a operação em longas distâncias.

Empregar dispositivos de baixo consumo para sensoriamento dos dados e seu processamento é uma exigência usual neste tipo de cenário. Isto é decorrência, dentre outros aspectos, de não se dispor de acesso a energia elétrica em toda área a ser monitorada, usualmente implicando no uso de células solares. Por sua vez, também a rede para propagação destes dados, necessita operar sem fio e em regime de baixa potência, situação típica para emprego de uma rede do tipo LPWAN (*Low Power Wide Area Network*).

Tendo estas premissas em conta, foram organizados dois estudos: um para seleção do hardware embarcado e dos sensores; e outro para definição da rede sem fio a ser empregada. O hardware embarcado selecionado foi a ESP32S², a qual tem diversos recursos *low power*, dentre eles a possibilidade de operação em baixíssimo consumo entre monitoramentos (*deep sleep*). Por sua vez, a tecnologia de comunicação escolhida foi a LoRaWAN³, considerando sua elevada propagação em campo aberto, bem como a operação em regime de baixa potência.

Considerando esta perspectiva, para atender as demandas do SANEP, este trabalho tem como objetivo central prover uma abordagem, denominada iWater, capaz de monitorar a Barragem Santa Bárbara, enquanto ambiente aberto de grandes dimensões. Para tanto, a iWater irá explorar a infraestrutura de *software* do *middleware* EXEHDA (*Execution Environment for High Distributed Application*) [Machado et al. 2017] para prover Ciência de Situação a partir de um monitoramento distribuído. Este *middleware* está em desenvolvimento no Grupo de Pesquisa G3PD (Grupo de Pesquisa em Processamento Paralelo e Distribuído), que também participa da concepção do iWater.

Este artigo foi estruturado em cinco seções, caracterizadas a seguir. Nesta seção de Introdução é caracterizado o escopo do trabalho, suas motivações e objetivos. Na seção 2 são apresentados os trabalhos relacionados. Na seção 3 são discutidas os diferentes aspectos relacionados a concepção do iWater. Na seção 4 é feita uma instanciação sobre a infraestrutura de *software* do iWater, do protótipo desenvolvido para monitoramento da Barragem Santa Bárbara. Por fim, na seção 5 são as elencadas as considerações finais referentes ao trabalho desenvolvido.

¹<https://portal.sanep.com.br/>

²<https://www.espressif.com/en/products/socs/esp32>

³<https://lora-alliance.org/>

2. Trabalhos Relacionados

Tanto as decisões de concepção, como as diferentes tecnologias contempladas nos trabalhos apresentados nesta seção, contribuíram para a concepção do iWater. Quando da busca junto a repositórios científicos (IEEE Xplore, ACM Digital Library, Science Direct, Springer Link e Scopus), os principais critérios considerados foram: emprego no monitoramento de água; cenário de aplicação envolvendo áreas de grandes dimensões e o uso de recurso de processamento nos pontos de coleta, garantindo alguma autonomia operacional no caso de interrupções temporárias no serviço de interconexão.

Xie (2021) propôs um sistema onde o consumo de potência é significativamente reduzido com a inserção do módulo ARM LPC1788 e do módulo de comunicação LoRa SX1278 [Xie 2021]. O sistema foi constituído para medições de longos períodos, com pouca intervenção humana, utilizando baterias de lítio e contando com alguns circuitos de proteção e isolamento de sinais circulantes entre blocos. O *gateway* utilizado para este trabalho foi o RG-IBS6120(E), que utiliza um algoritmo de *sleep*, do qual é um modo de operação onde o *gateway* não funciona até que receba um sinal do nodo.

Manoharan e Rathinasabapathy (2018) colocaram a escalabilidade como fator determinante para o trabalho, com a inserção de até 200 nodos em um raio de 15 km de um *gateway* [Manoharan and Rathinasabapathy 2018]. Neste trabalho, os sensores embarcados já definidos limitam parâmetros dos próprios dispositivos perante obstáculos de transmissão e recepção. Alguns sensores embarcados específicos são ativados se a aplicabilidade for em barragens e não em tanques. A distribuição dos nodos leva em consideração o ponto central que é o *gateway*.

Wu e Khan (2019) levantaram a possibilidade de inserção de um veículo não tripulado para monitoramento da qualidade da água em áreas alagadas. Neste trabalho é utilizado uma placa ATmega32U4 como hardware embarcado e um transceptor RN2903 para comunicação LoRa [Wu and Khan 2019]. Neste trabalho, foi levantada a curva da relação sinal ruído (SNR) com *Received Signal Strength Indication (RSSI)*. O servidor utilizado para gravação de dados durante sete dias foi o TTN Cloud e por conseguinte os dados são baixados para um servidor para dados históricos. No entanto, o trabalho não forneceu informações sobre consumo de energia ou eficiência de bateria.

Madeo et al. (2020) mostraram um veículo encapsulado capaz de realizar medições com sensores a prova d'água de forma autônoma, utilizando dispositivos como Arduino UNO, GPS, Módulo LoRa *Libelium SX1272*, *XBee*, além de motores que permitem o transporte do veículo sem intervenção humana [Madeo et al. 2020]. Um ponto a ser ressaltado é que o veículo por ter motores para o seu deslocamento apresenta um maior consumo de energia, tendo uma autonomia de vinte minutos. Pode ser utilizado em áreas alagadas, barragens, rios, lagos, mas as áreas de cobertura ficam limitadas pelo tempo de operação do dispositivo.

Reduzan et al. (2021) propuseram um dispositivo embarcado que é encapsulado para resistir a fenômenos meteorológicos a fim de realizar medições em torno da qualidade da água com capacidade para escalabilidade [Redzuan et al. 2021]. O dispositivo utilizado como nodo foi o HTIT-WB32LA e o *gateway* é o HT-HM01 com gerenciamento de dados providos por uma *Raspberry Pi 4 Model B*. O que é mais avaliado nesta aplicação é o *RSSI* em relação a distância entre nodo e o *gateway* avaliando o melhor e o

pior cenário. O gerenciamento de recursos de energia se dá pela aplicação de uma célula fotovoltaica e baterias de lítio.

A principal contribuição que o iWater traz para o cenário de monitoramento de reservatórios (barragens) de grande porte, é integrar um *middleware* na sua concepção, provendo deste modo mecanismos com suporte para atender demandas de elevadas escalabilidade e heterogeneidade. Outrossim, com o emprego de um *middleware* são disponibilizados diferentes recursos de gerência, dentre os quais destacamos a atualização via OTA (*Over The Air*) dos sensores embarcados utilizados para coleta de informações, os quais estão distribuídos na área alagada.

3. Abordagem iWater: Concepção

Nesta seção são apresentados os principais aspectos relacionados a concepção do iWater, com destaque a sua visão geral, recursos de sensoriamento, bem como sua integração com o Serviço de Reconhecimento de Contexto e Adaptação do *middleware* EXEHDA [Machado et al. 2017].

3.1. Visão Geral do iWater

No tocante ao desenvolvimento de software, o iWater na premissa de promover sua adoção em uma perspectiva de larga escala, particularmente no que diz respeito ao número de sensores instalados, foi concebido considerando a exploração da arquitetura de software do EXEHDA, cujos principais componentes estão resumidos a seguir.

Dentre os quatro subsistemas que compõem o EXEHDA, o iWater se vincula ao Subsistema de Reconhecimento de Contexto e Adaptação. O Subsistema de Reconhecimento de Contexto e Adaptação inclui serviços que tratam desde a obtenção de informações provenientes de sensores, sobre as características dinâmicas e estáticas dos recursos que compõem a infraestrutura monitorada, passando pela identificação em alto nível das informações coletadas, culminando no disparo de ações em reação às modificações no estado das mesmas.

Considerando a perspectiva de promover a computação de aplicações na Internet das Coisas (do inglês *Internet of Things* - IoT), atendendo a critérios de distributividade, escalabilidade, heterogeneidade, mobilidade e adaptabilidade ao contexto, este ambiente é constituído por células de execução. Deste modo os dispositivos computacionais são distribuídos entre as células, sendo cada célula constituída dos seguintes componentes:

- EXEHDAbase, o elemento central da célula, sendo responsável por todo serviços e constituindo referência para os demais elementos;
- EXEHDA nodo que corresponde aos dispositivos computacionais responsáveis pela execução das aplicações;
- EXEHDA nodo móvel, que é um subcaso do anterior, que corresponde aos dispositivos tipicamente móveis que podem se deslocar entre as células do ambiente ubíquo, como *notebooks*, *tablets* ou *smartphones*;
- EXEHDAborda, responsável por fazer a interoperação entre os serviços do *middleware* e os diversos tipos de *gateways*; e
- EXEHDAgateway, que consiste no elemento responsável por setorizar pontos de coleta e/ou atuação distribuídos, disponíveis no meio físico, realizando a interação destes com os outros componentes do *middleware*.

De modo mais específico, para provimento de ciência de contexto no ambiente ubíquo, o EXEHDA se vale de um Servidor de Contexto. O Servidor de Contexto é alocado no EXEHDAbase e atua no armazenamento e no processamento das informações contextuais, integrando dados históricos e dados provenientes do ambiente.

Do ponto de vista do hardware embarcado para uso junto aos sensores, após ampla revisão, foi adotado o SOC ESP32S. A escolha desta plataforma teve como premissas sua capacidade operação em modo *low power*, bem como seu potencial para interoperar com diferentes tipos de sensores. Por outro lado, sua possibilidade de programação em MicroPython, potencializou sua sinergia de integração com a arquitetura de software do EXEHDA.

Os padrões de comunicação sem fio de longa distância denominados de SigFox e ZigBee foram avaliados no contexto deste trabalho. Porém, a escolha recaiu sobre o padrão LoRaWAN [Alliance 2015], já que permite alta escalabilidade (diversos dispositivos conectados) e trabalha sob baixo consumo, aumentando a vida útil das baterias. A principal estratégia que o LoRa utiliza para ter eficiência energética é a sua modulação denominada *Frequency Shift Key (FSK)*. Além disso, o LoRaWAN é uma tecnologia com grande difusão no meio acadêmico e científico.

3.2. Operação do iWater

Na Figura 1 é apresentada uma visão geral de como o sistema realiza sua operação. O Nodo de Sensoriamento coleta os dados dos sensores seleccionados e encaminha os mesmos através da rede *LoRaWAN* para a *gateway LoRa - TCP/IP*. O *gateway LoRa TCP/IP* tem a missão de receber os dados e encaminhar-los para o EXEHDA através da API do EXEHDA utilizando a comunicação *Wi-Fi*. Foram priorizados para esta etapa do trabalho pelo SANEP três sensores: (i) temperatura (DS18B20); (ii) umidade (SHT20) e (iii) anemômetro (SV10). Na continuidade do trabalho, serão contemplados sensores para medição do nível de água, sua turbidez, pH dentre outros.

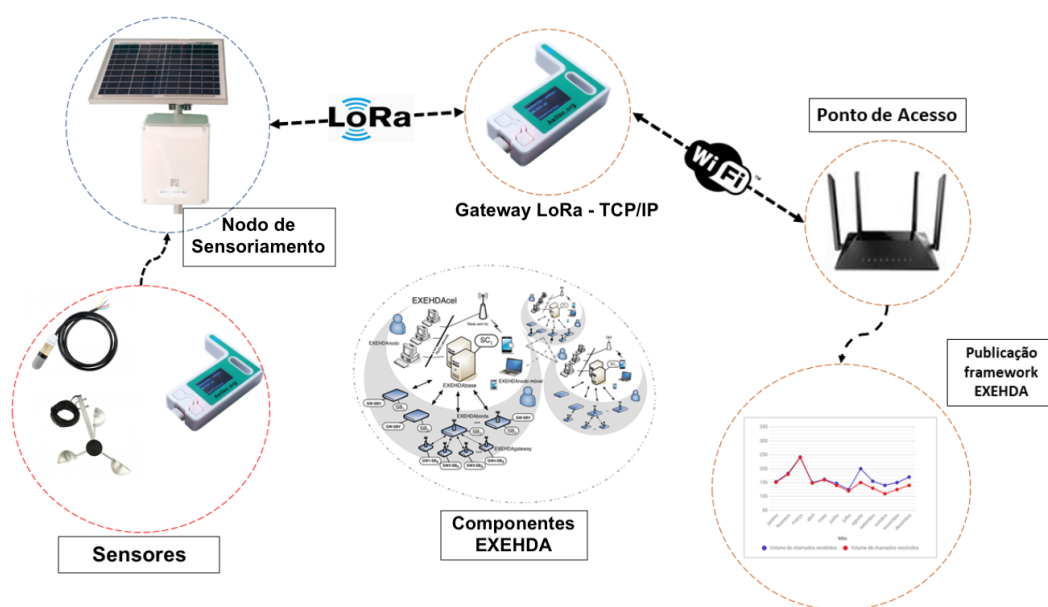


Figura 1. Visão Geral da Abordagem iWater.

Tanto o *gateway LoRa - TCP/IP* como o Nodo de Sensoriamento, são constituídos pelo dispositivo HTIT-WB32LA⁴ que apresenta uma boa relação custo-benefício e ampla adoção pela comunidade atuante na área. O mesmo é disponibilizado na forma de um kit para desenvolvimento de soluções em IoT, produzido pela *Heltec Automation* (TM). O kit é baseado nos hardwares embarcados ESP32 e SX127x, carregando consigo os módulos para *Wi-Fi*, BLE, LoRa, bem como um display OLED de 0.96”.

Considerando a falta de energia elétrica no entorno da barragem (reservatório), após avaliação com a equipe de campo do SANEP, a escolha para a alimentação dos dispositivos embarcados utilizados, foi o emprego de um painel solar de 6V, 5W, juntamente com uma bateria de íon de Lítio para suporte dos períodos sem radiação solar. Cada Nodo de Sensoriamento tem sua alimentação foto-voltaica independente.

4. Cenário de Uso do iWater

Um poço de inspeção da barragem (reservatório) que fica próximo a área de captação foi o local escolhido para fixação do Nodo de Sensoriamento, com os respectivos sensores. Na Figura 2 pode ser vista a distribuição do hardware embarcado e dos sensores utilizados. O *gateway LoRa - TCP/IP* foi instalado a uma distância de 400 m do Nodo de Sensoriamento, na parte superior de um prédio de 11 metros, tendo apenas árvores como obstáculo.

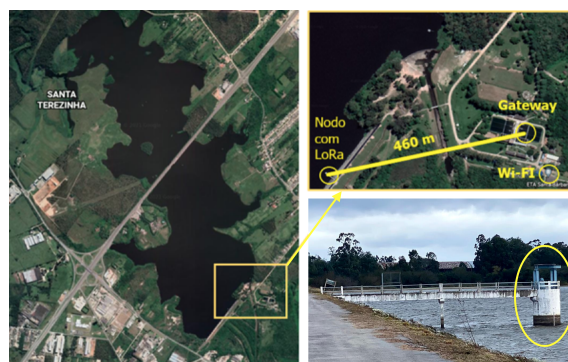


Figura 2. Local de inserção do dispositivo na Barragem Santa Bárbara

Fonte: Google Earth

Na Figura 3, na esquerda, pode-se ver a instalação dos dispositivos nas áreas propostas. O Nodo de Sensoriamento (vide parte esquerda da Figura) foi aparafusado no teto do poço de inspeção juntamente com os sensores, com o intuito de garantir as medições de temperatura, umidade e velocidade do vento sem interferência da estrutura construtiva do poço. Na parte da direita da Figura, pode-se ver a instalação do *gateway LoRa - TCP/IP*. Também nesta parte direita da Figura pode-se ver as árvores de Eucalipto, as quais interferem na transmissão e recepção dos sinais LoRa.

Na perspectiva arquitetural este *framework* compreende as diferentes funções oferecidas pelo iWater. O mesmo se destina a fazer interface com o usuário permitindo o registro de configurações (Cadastro de Usuários, Regras, Valores de Referência, etc.), bem como a visualização textual e gráfica das diferentes informações manipuladas.

⁴<https://heltec.org/project/wifi-lora-32/>



Figura 3. Instalação do hardware embarcado com nodo e gateway

A primeira funcionalidade disponibilizada para os usuários é a possibilidade de *login*. Estão previstos diferentes tipos de usuários, cada um com suas permissões específicas para a configuração e manuseio do iWater.

Dentre as diferentes informações de configuração, o iWater disponibiliza uma visão dos *gateways* que estão coletando informações a partir dos sensores (vide Figura 4). Existem comandos (vide botões à direita) para suspender a operação do *gateway*, editar seus parâmetros operacionais ou mesmo suprimi-lo. A suspensão das operações é muito oportuno em momentos de manutenção, ou outros quaisquer, cuja coleta feita pelos sensores fique descaracterizada.

The screenshot shows the iWater Framework web interface. At the top, there are navigation tabs for 'I2MF', 'Visualização', and 'Gerenciamento'. The main header includes the 'iWater Framework' logo and the 'sanep' logo. Below the header, there is a navigation menu with items like 'Início', 'Servidor de Contexto', 'Servidores de Borda', 'Ambientes', 'Sensores', 'Agendamento', and 'Administração'. The main content area displays 'Gateways Cadastrados - 2 Registro(s)' and a table with the following data:

UUID	NOME	MODELO	FABRICANTE	SERVIDOR DE BORDA	STATUS
65ed453f-228d-4c5a-8037-c39f77cf644	GW-iWater-Barragem	ESP32 Lora	G3PD	Edge_Server-iWater	Ativo
65ed453f-228d-4c5a-8037-c39f77cf699	GW-iWater-Centro	ESP32	G3PD	Edge_Server-iWater	Ativo

Figura 4. Visão dos gateways em Operação no Framework iWater

Fonte: <http://sanep.exehda.org/iwater/>

Na Figura 5 podemos ver os sensores em operação no iWater no momento da escrita deste artigo. Dentre as suas especificações, oportuno destacar que todo dispositivo na abordagem iWater é unicamente identificado por um UUID⁵. Os sensores também contam com recurso de serem suspensos, editados ou removidos de forma remota, por meio da interface oferecida pelo *framework* do iWater.

⁵<https://www.ietf.org/rfc/rfc4122.txt> - <https://www.uuidgenerator.net/>

UUID	NOME	DESCRIÇÃO	TIPO	AMBIENTE	GATEWAY	SERVIDOR DE BORDA	
76342aa3-4468-4907-8113-fd8b6edca644	Temperatura do Ar na Barragem	Sensor de Temperatura do Ar na Barragem	Temperatura	Barragem Santa Bárbara	GW-iWater-Barragem	Edge_Server-iWater	✎ ✖
76342aa3-4468-4907-8113-fd8b6edca699	Temperatura do Ar no Centro	Sensor de Temperatura do Ar no centro de Pelotas	Temperatura	Centro de Pelotas, RS	GW-iWater-Centro	Edge_Server-iWater	✎ ✖
c08042cf-8610-4bd4-8bea-6320ce7c6144	Umidade do Ar na Barragem	Sensor de Umidade do Ar na Barragem	Umidade	Barragem Santa Bárbara	GW-iWater-Barragem	Edge_Server-iWater	✎ ✖
a08042cf-8610-4bd4-8bea-6320ce7c6144	Velocidade do Vento na Barragem	Sensor de Velocidade do Vento na Barragem	Velocidade do Vento	Barragem Santa Bárbara	GW-iWater-Barragem	Edge_Server-iWater	✎ ✖

Figura 5. Visão dos Sensores em Operação no Framework iWater

A premissa de automatizar procedimentos quando da ocorrência de situações de interesse da comunidade usuária, é operacionalizada no iWater pelo emprego de regras. Estas regras são disparadas quando os sensores relacionados as mesmas tem seus dados publicados. Uma visão geral da criação de regras pode ser vista na Figura 6, na qual estão associadas condições aos sensores, bem como as decorrentes ações. Podem ser criadas tantas condições, quanto a situação a ser controlada exigir. As diferentes condições podem ser agrupadas por conectivos lógicos E ou OU.

[Início](#) | [Servidor de Contexto](#) | [Servidores de Borda](#) | [Ambientes](#) | [Sensores](#) | [Agendamento](#) | [Administração](#)

Nome da Regra

Tópicos

Criar grupo de regra

Eventos

Ativar Regra

Adicionar Condição

Adicionar Ação

Condições

Op Lógico	Variável de condição	Operador Comparativo	valor	
	<input type="text" value="Temperatura do Temperatura do Ar na Barragem"/>	<input type="text" value="Maior que"/>	<input type="text" value="40"/>	✖

Ações

<input type="text" value="Enviar email"/>	<input type="text" value="Oculto - Blind Review"/>	✖
---	--	---

Concluir e Criar Regra

Figura 6. Exemplo de criação de regras no Framework iWater

O iWater oferece diferentes recursos para acompanhamento das informações capturadas pelos sensores em operação. Na Figura 8 está disponível um recorte de informações textuais e gráficas oferecidas aos usuários. A interface oferecida é responsiva, permitindo seu acesso otimizado tanto por smartphones ou equipamentos de mesa.

Com o objetivo de permitir comparações entre as grandezas sendo capturadas, é oferecida a possibilidade de exibição em um mesmo gráfico de diferentes séries históricas de sensoriamento. As grandezas são selecionadas a partir da interface gráfica, a critério do usuário.

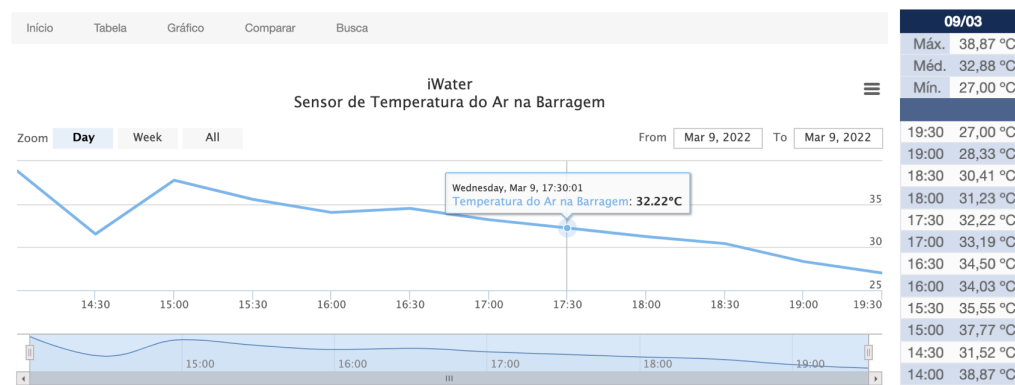


Figura 7. Gráfico e tabela da temperatura do ar na Barragem Santa Bárbara

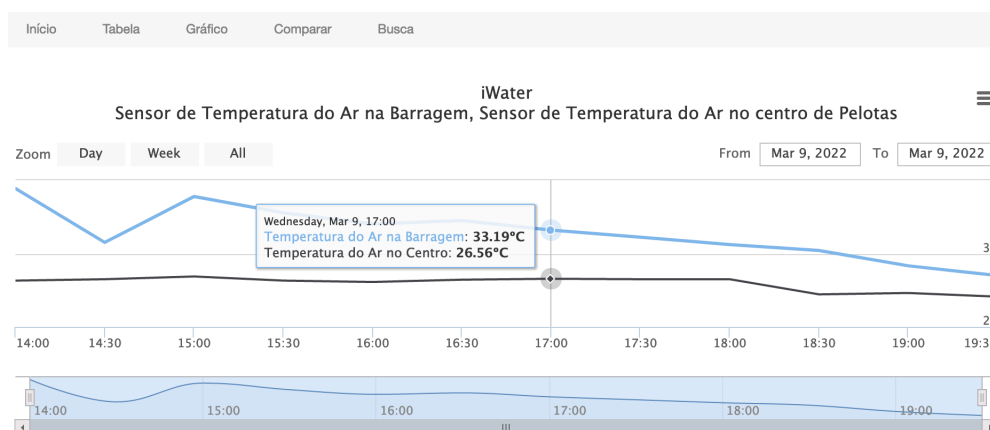


Figura 8. Comparação da temperatura do ar na Barragem Santa Bárbara e no Centro de Pelotas

5. Conclusões

A revisão de literatura na área aponta que a IoT, apresenta soluções para o mundo real, empregando a combinação de sensores e atuadores, capazes de fornecer e receber informações digitalizadas como no caso do iWater, deverá ser cada vez mais adotada em diferentes segmentos da sociedade.

O principal diferencial da abordagem iWater em relação aos Trabalhos Relacionados diz respeito a possibilidade de gerenciar a aquisição, armazenamento e o processamento dos dados de contexto, de forma distribuída em uma perspectiva autônoma baseada em regras. Acredita-se que esta característica do iWater o torna propício para contribuir com a gestão do SANEP, no que se refere a Barragem Santa Bárbara.

Por sua vez, no que tange à interoperabilidade entre os dispositivos que compõem a solução distribuída do iWater, ressalte-se que a mesma emprega protocolos padrões para sua implementação, o que é oportuno para sua manutibilidade e crescimento. Particularmente, oportuno destacar que emprego do protocolo LoRaWAN e da sua camada física, LoRa, atenderam plenamente as demandas de operação em regime aberto (*outdoor*), com nodos distantes centenas de metros e em operação continuada. Os resultados atingidos com o protótipo desenvolvido na etapa atual da pesquisa, enseja a continuidade do trabalho, com a instalação de nodos de sensoriamento em locais estratégicos definidos pelo

SANEP, junto a Barragem Santa Bárbara.

A proposta iWater vem atender uma significativa demanda do SANEP, no que diz respeito a um monitoramento automatizado, e deste modo, em intervalos de tempo configuráveis pelas equipes técnicas responsáveis, substituindo métodos manuais para coleta de informações sobre a Barragem Santa Bárbara. O monitoramento periódico, dentre outros aspectos, pode propiciar o emprego de mecanismos de predição, antecipando eventuais problemas de abastecimento, seja por questões de estiagem e/ou deterioração da qualidade da água.

Para trabalhos futuros, destaca-se a implantação de sensores para medição do nível da água, sua turbidez e pH. Outrossim, temos a possibilidade de um monitoramento de parâmetros geológicos com o a intenção de identificar possíveis degradações que podem comprometer toda a infraestrutura instalada pelo SANEP em torno da Barragem Santa Bárbara.

Referências

- Alliance, L. (2015). White paper: A technical overview of lora and lorawan; the lora alliance: San ramon. CA, USA.
- LACEN (2018). Manual de orientação para coleta de Água e amostras ambientais 2018. acessado no link: <http://lacen.saude.sc.gov.br/arquivos/MOCAAAA.pdf>.
- Machado, R., Almeida, R. B., da Rosa, D. Y. L., Lopes, J. L. B., Pernas, A. M., and Yamin, A. C. (2017). EXEHDA-HM: A compositional approach to explore contextual information on hybrid models. *Future Gener. Comput. Syst.*, 73:1–12.
- Madeo, D., Pozzebon, A., Mocenni, C., and Bertoni, D. (2020). A low-cost unmanned surface vehicle for pervasive water quality monitoring. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 69(4):1433–1444.
- Manoharan, A. M. and Rathinasabapathy, V. (2018). Smart water quality monitoring and metering using lora for smart villages. In *2018 2nd International Conference on Smart Grid and Smart Cities (ICSGSC)*, pages 57–61.
- Piedras, S. R. N., Bager, A., Moraes, P. R. R., Isoldi, L. A., Ferreira, O. G. L., and Heemann, C. (2006). Macroinvertebrados bentônicos como indicadores de qualidade de água na barragem santa bárbara, pelotas, rs, brasil. *Ciência Rural*, 36:494–500.
- Redzuan, A. A. A. M., Saparudin, F. A., Shah, N. S. M., Azeb, M. M. A. N., and Shamsuddin, M. K. A. (2021). Wireless ammonia sensor system for distributed wireless monitoring platform using heltec wifi lora 32 (v2). *Progress in Engineering Application and Technology*, 2(1):502–513.
- Wu, N. and Khan, M. (2019). Lora-based internet-of-things: A water quality monitoring system. In *2019 SoutheastCon*, pages 1–4.
- Xie, C. (2021). Research and application of key technologies for dam safety monitoring based on lora. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, volume 768, page 012131. IOP Publishing.