

## XI-006 – SMART WATER – UMA SOLUÇÃO INTEGRADA QUE IMPLEMENTA TECNOLOGIAS INOVADORAS DA INDÚSTRIA 4.0: ESTUDO DE CASO NUMA REDE DE DISTRIBUIÇÃO NA CIDADE DE SENHOR DO BONFIM-BA

### Jair Costa Lopes Júnior<sup>(1)</sup>

Analista de Tecnologia da Informação, graduado em Processamento de Dados (1995) e pós-graduado em Engenharia de dados (2001) e MBA Gestão de Empresarial (2002) pela Faculdade Ruy Barbosa, Engenheiro de *IoT* (2021), Ciência de Dados/*Big data* e *Analytics* (2023) pela Faculdade Unyleya, Atua desde 2006 na EMBASA em Engenharia de Dados, área de perdas em distribuição de água, segurança patrimonial e gestão de ativos dedicando-se a implementar novas tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0 na área operacional focado no controle de perdas e gestão patrimonial.

### Javan Oliveira de Almeida<sup>(2)</sup>

Graduado em Licenciatura em Ciências da Computação pelo IFBaiano (2018), Especialização em Engenharia de *IoT* (2020) pela Faculdade Unyleya (2022). Atua desde 2011 na EMBASA na área operacional de distribuição de água.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Clarivaldo do Prado Valladares, 85, Apt 308-Torre 1 - Caminho das Árvores - Salvador - Bahia - CEP: 41820-700 - Brasil - Tel: +55 (71) 99903-1215 - Com: +55 (71) 3373-7523 - *e-mail*: jair.lopes@embasa.ba.gov.br.

### RESUMO

Segundo Marcelo Texeira (2017, p. 177), atualmente vive-se uma transformação digital na indústria, que está sendo referenciada como uma nova revolução e conhecida como a quarta revolução industrial que se apoia fortemente nas tecnologias habilitadoras, tais como: *Internet das Coisas (IoT)*, *machine learning*, *big data analytics*, *machine-to-machine (M2M)* e *cloud computing*. Essas tecnologias, trabalhando cooperativamente, são utilizadas para promover a transformação digital nas empresas. Dentre essas aplicações este artigo tem o enfoque no contexto do saneamento básico, tendo a proposta inicial a coleta, transmissão, armazenamento e análises de dados das grandezas hidráulicas (pressão, vazão, nível e volume) aplicada ao estudo de perdas na distribuição de água com o objetivo estabilizar o índice de perdas. O uso de tecnologias como a *Internet das Coisas* está evoluindo significativamente. Atualmente, ela ainda é pouco explorada no ramo do saneamento básico, porém se usada adequadamente, poderá ser uma ferramenta importante para a gestão inteligente da água. Para isso, desenvolveu-se uma solução integrada chamada Smart Water, na qual utiliza sensores, conectividades *IoT* (LoRaWAN) e um *middleware-IoT*, com elevado grau de interoperabilidade tecnológica para fazer o monitoramento das grandezas hidráulicas, com o objetivo de fazer uma gestão mais eficiente dos equipamentos e da distribuição de água.

**PALAVRAS-CHAVE:** LoRaWAN, perdas de água e *Internet das Coisas*.

### INTRODUÇÃO

As concessionárias de água enfrentam desafios únicos em suas operações, incluindo o equilíbrio da demanda crescente, o aumento dos preços da energia, o envelhecimento das tubulações, o aumento da necessidade de melhoria por eficiência e sustentabilidade e em uma perspectiva desafiadora para o abastecimento de água. As empresas de saneamento básico, em particular, convivem com altos índices de perdas de água. Boa parte desta perda é a chamada perda física ou real que é aquela que se refere aquele volume de água desperdiçado por conta de vazamentos ou fraudes. Além disso, as empresas de saneamento básico precisam monitorar diversos ativos e seus respectivos dados visando a qualidade do abastecimento, tais como pressão da rede de abastecimento de água e volume de reservatórios.

A maturidade das soluções orientadas a dados e a rápida evolução das tecnologias e redes de telecomunicações permitem aumentar a instrumentação e a telemetria das redes de água, especialmente de sistemas de distribuição, possibilitando que as concessionárias responsáveis pelo saneamento básico introduzam sensores



nas bombas, tubulações e válvulas em sua rede. Quanto mais fontes de dados, isto é, sensores, mais análises são possíveis de se realizar a posteriori.

O progresso das tecnologias e soluções de *IoT* (*Internet das Coisas*) está gerando novas oportunidades, bem como modelos de negócios no setor de saneamento nunca antes implementados. Grande parte dessa mudança é devido aos novos dispositivos de sensoriamento, geralmente de baixo custo e com consumo de energia reduzido. Assiste-se, atualmente, a uma agregação de tecnologias, conectividade e plataformas que possibilitam a construção de painéis (*dashboards*) para tomadas de decisão mais assertivas e online. Dentre estas tecnologias, podemos citar a *Internet das Coisas*, ou em inglês, *Internet of Things*, computação em Nuvem (*cloud computing*) e as geotecnologias, que permitem localizar de forma exata cada ativo de uma infraestrutura complexa. O conceito de indústria 4.0 se inseriu no contexto do saneamento básico, criando a oportunidade de implementação do Saneamento 4.0. No saneamento 4.0, as empresas são capazes de coletar dados brutos importantes de grandezas hidráulicas, utilizando sensores localizados ao longo da rede de água buscando, geralmente alimentados por bateria, a longas distâncias, através de transmissão e recepção de mensagens por modulação LoRa e GPRS/GSM.

## FUNAMENTAÇÃO TEÓRICA

A fundamentação teórica consiste em embasar, por meio das ideias de outros autores, aspectos teóricos de sua pesquisa. De acordo com Mello (2006, p. 86), “a fundamentação teórica apresentada deve servir de base para a análise e interpretação dos dados coletados na fase de elaboração do relatório final. Dessa forma, os dados apresentados devem ser interpretados à luz das teorias existentes”. Nos capítulos de revisão da literatura, incluem-se tudo o que é importante para “esclarecer e justificar o problema em estudo e o que servir para orientar o método do trabalho e os procedimentos de coleta e análise de dados” (MELLO, 2006, p. 87). Este artigo envolve alguns conceitos relativos a controle de perdas e principalmente de desenvolvimento tecnológico e inovação que introduzem tecnologias habilitadoras que são fundamentais para a compreensão e objetivo proposto.

## INTERNET DAS COISAS

*Internet das Coisas*, do inglês *Internet of Things (IoT)* pode ser descrita como a maneira com que objetos físicos do nosso cotidiano são interconectados, onde muitos destes possuem incorporados uma inteligência ubíqua e são controlados pela *Internet*. (COSTA; OLIVEIRA; MÓTA, 2018). Espera-se que a *Internet das Coisas* seja a próxima revolução quando se trata do ecossistema móvel. É previsto um número em torno de 30 bilhões de dispositivos conectados até 2025, dos quais 7 bilhões, em torno de 23% do total, seriam módulos de Ampla-Cobertura Baixa-Potência (LPWAN) (NOKIA, 2015). Segundo Lee (2015), as aplicações *IoT* devem permitir interações de dispositivos entre si e entre humanos e, devem ser compostas de dispositivos confiáveis e robustos, garantindo a correta transmissão dos dados e permitindo o funcionamento adequado do sistema. O autor complementa dizendo que é importante que as aplicações de *IoT* sejam desenvolvidas com inteligência, de modo que os equipamentos possam monitorar o ambiente, identificar e resolver possíveis problemas com o mínimo de intervenção humana.

De acordo com Fehri (2018), desde o surgimento do conceito de *IoT*, foram propostas diversas tecnologias de comunicação entre aplicações, das quais destacam-se como tecnologia de redes de longo alcance, as Redes de Ampla-Cobertura e Baixa-Potência (LPWAN). As quais trazem como característica, junto ao baixo consumo energético, a baixa taxa de dados, além do fato de que foram construídas especificamente para *IoT*.

## LPWAN

As tecnologias LPWAN se encaixam perfeitamente em situações nas quais os dispositivos precisam enviar pequenas quantidades de dados a longo prazo e, portanto, necessitam de uma bateria de longa duração (LINK LAB'S, 2016). Estas tecnologias alcançam distâncias que variam de 10-15 km em áreas rurais e de 1-5 km em zonas urbanas. Essas distâncias são alcançadas devido às baixas taxas de transmissão, que resultam em uma potência de sinal maior por byte e consomem, por consequência, menos energia. Outro fator que ajuda no



longo alcance é o fato de que frequências sub GHz (geralmente entre 415 MHz e 915 MHz) sofrem menos atenuação por obstáculos, se comparadas às tecnologias WAN que são transmitidas na ordem dos GHz (LIAGKOU; STYLIOS; SALMAS, 2019). Dentre as diversas tecnologias LPWAN as mais conhecidas são a Sigfox e a LoRa. A Sigfox atua como uma operadora para *IoT*, com suporte a uma série de dispositivos, enquanto sua principal função é abstrair as dificuldades de conexão provendo uma API para as implementações de seus usuários. Já a LoRa possui como característica destaque a utilização da modulação de rádio baseada em *chirp spread spectrum* (CSS), suas operações e arquitetura de rede são definidas pelo Protocolo LoRaWAN.

## LORA

A tecnologia LoRa, pertencente a camada física da tecnologia LPWAN, é uma modulação sem fio que oferece uma atraente combinação entre longo alcance, baixo consumo de energia e segurança na transmissão dos dados (SEMTECH, 2019). Seu tipo de modulação se baseia no método de espalhamento espectral *Chirp spread spectrum* (CSS), na qual um símbolo é codificado em uma sequência longa de *bits* (*chirp*), reduzindo assim a relação sinal ruído e a taxa de interferência que o receptor precisa corrigir, sem alterar a largura de banda da frequência do sinal (SEMTECH, 2019).

A modulação CSS foi muito utilizada em aplicações militares devido a sua robustez à interferências e longo alcance de comunicação. Por conta do seu fator de propagação (Spread Factor) ser variável, é possível adaptá-lo em busca de uma taxa de transferência ideal para a aplicação. Sua alteração afeta a taxa de dados, que pode ser diminuída em troca de uma maior área de cobertura ou menor consumo de energia. Diversos parâmetros são customizáveis na modulação LoRa, tais como Largura de Banda (BW), Fator de Propagação (SF) e Taxa de Codificação - *Code Rate* (CR). Tais parâmetros influenciam a taxa de *bits* efetiva da modulação, sua resistência ao ruído e sua facilidade de decodificação, tendo como principal parâmetro a largura de banda.

## LORAWAN

LoRaWAN define o Protocolo de acesso ao meio para que vários dispositivos possam se comunicar com um *gateway* que usa a modulação LoRa, assim como define mecanismos de segurança, como autenticação e criptografia. Os dados em um pacote podem variar até 255 bytes, atingindo taxas de dados de até 50 Kbps. LoRaWAN define também o mecanismo ADR (*Adaptive Data Rate*) em que o servidor LoRa pode alterar parâmetros de configuração dos dispositivos para otimizar a taxa de transmissão, tempo no ar e consumo de energia [Sornin et al. 2016]. A implementação típica de uma rede LoRaWAN é mostrada na Figura 1. O *end node* possui uma aplicação desenvolvida para transmitir dados com a tecnologia LoRa, usando uma camada de abstração de *hardware* (HAL) e o Protocolo SPI (*Serial Peripheral Interface*) para comunicação do microcontrolador com os diversos componentes do sensor. A camada física gera o pacote LoRaWAN e transmite para o *gateway*, que encaminha os dados para o servidor de rede via Protocolo MQTT – um Protocolo típico de *IoT*. O servidor de rede LoRaWAN envia as informações a um servidor de aplicação LoRaWAN.

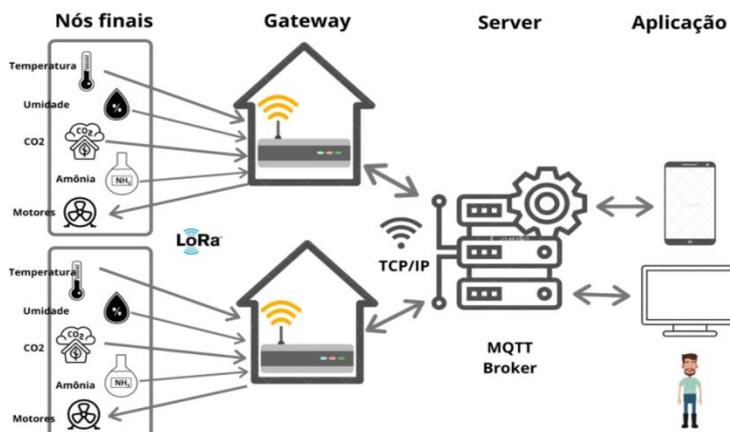


Figura 1 – Estrutura LoRaWAN. Fonte [www.thethingsnetwork.org](http://www.thethingsnetwork.org)

O Protocolo LoRaWAN permite que pacotes sejam autenticados e encriptados com o algoritmo AES [Sornin et al. 2016]. A chave *Network Session Key* (NwksKey) é conhecida pelo nó sensor e o servidor de rede LoRa, sendo usada para verificação de integridade das mensagens. A chave *Application Session Key* (AppSKey) deve ser conhecida pelo nó sensor e o servidor de aplicação LoRaWAN e é usada para encriptação e decriptação dos dados. Existem dois métodos para implementar estas chaves nos dispositivos LoRa: ativação pelo ar (OTAA – *Over-the-Air Activation*) e ativação por personalização (ABP – *Activation by personalization*) [Sornin et al. 2016].

A implementação da arquitetura LoRaWAN com seus servidores de rede e de aplicação pode ser feita de algumas formas diferentes:

- Software de código livre que pode ser instalado na nuvem ou privado de acordo com o cenário desejado;
- The Things Network* (TTN), uma comunidade que implementa os servidores LoRaWAN e os disponibiliza através de um serviço web. No entanto, alguns serviços da TTN são pagos;
- Soluções proprietárias e pagas;
- Desenvolvimento de nova implementação para LoRaWAN, que representaria um retrabalho, uma vez que existem outras opções disponíveis.

A arquitetura LoRa consiste em três principais componentes:

- Dispositivos Finais LoRa: Sensores e Atuadores conectados pela *Interface* de rádio LoRa (Nós) a um ou mais *Gateways*;
- *Gateways* LoRa: Elemento central da rede, ponte entre os dispositivos finais e o servidor LoRa;
- *LoRa Server*: Servidor da rede LoRa, controla toda a rede (gerenciamento de recursos de rádio, controle de admissão, segurança, etc).

## TECNOLOGIA DE COMUNICAÇÃO MQTT

O Protocolo de comunicação *Message Queue Telemetry Transport* (MQTT) foi inventado em 1999 de forma a por Andy Stanford-Clark e Arlen Nipper (IBM e Arcom respectivamente). O objetivo foi criar um Protocolo leve, de forma a conectar transmissão de óleo através de comunicação pela *Internet*. Os objetivos para esta tecnologia, eram, basicamente, um Protocolo capaz de estabelecer comunicação de dados com seção contínua, simples de implementar, com boa qualidade de serviço e com boa utilização de largura de banda. Mesmo que o foco deste Protocolo tenha mudado para implementações em *IoT*, estas continuam sendo suas características principais (VELEZ et al.,2018). O Protocolo MQTT se baseia em um modelo de comunicação de publicação e subscrição de dados e é atualmente um modelo estado da arte para a transmissão de mensagem publicador/assinante. Existem neste Protocolo três principais elementos, a serem descritos: Assinante, Publicante e *Broker* (JAMBORSALAMATI et al.,2017).

O principal aspecto do sistema publicação/assinante é o desacoplamento entre o publicador e o assinante. Os dois podem trabalhar simultaneamente sem conhecer a existência um do outro e a operação de cada componente não é interrompida. O terceiro elemento, o *Broker*, é responsável por distribuir as mensagens e fazer com que cheguem ao destino correto.

O compartilhamento de dados através de MQTT, figura 2, acontece via tópicos específicos e customizáveis. Assim, o publicante envia dados para um tópico pré-determinado e o assinante deve conhecer previamente quais tópicos pretende assinar. Em suma, pode-se dizer que o MQTT é um Protocolo bidirecional, o que significa que um dispositivo pode ser tanto um assinante quanto um publicador. Outro ponto importante é que a conexão MQTT é realizada através de *Transmission Control Protocol/Internet Protocol* (TCP/IP), assim, tanto o cliente quanto o *Broker* devem possuir conexão TCP/IP. A conexão é sempre realizada entre um cliente e o *Broker*, e nunca entre dois clientes (VELEZ et al., 2018).

### MQTT (Message Queuing Telemetry Transport)

Protocolo para comunicação com a nuvem / Comunicação M2M

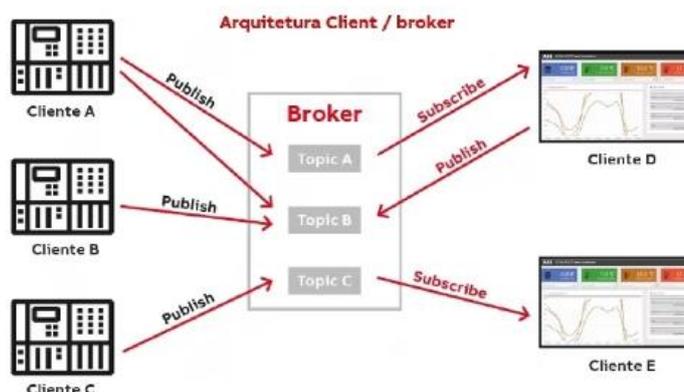


Figura 2 – Protocolo MQTT. Fonte JAMBORSALAMATI et al.,2017

### CLOUD COMPUTING

Existem diversas propostas de definição para o paradigma da computação em nuvem, sendo a definição do *National Institute of Standards and Technology* (NIST) uma das mais aceitas na comunidade: "Modelo que permite o acesso através de rede ubíqua, de acordo com a demanda, a um pool compartilhado de recursos computacionais que podem ser rapidamente provisionados e liberados com um esforço mínimo de gerenciamento ou interação com o provedor de serviços" (MELL et al., 2011).

Nesse contexto, essa tecnologia emerge como uma opção capaz de reduzir custos através de uma abordagem onde os recursos computacionais são pagos quando utilizados (RAMAKRISHMAN et al., 2010). Tal fato tem atraído os olhares de gigantes como a Amazon, Google, Salesforce, Microsoft, IBM, HP, entre outros. Estas organizações oferecem serviços como Amazon EC2, Google App Engine, Salesforce, Windows Azure e Dropbox, que oferecem soluções com promessas de baixo custo, através das quais seus usuários podem ter acesso aos serviços de maneira ubíqua. Os ambientes de computação em nuvem podem ser distribuídos de quatro formas diferentes, nos quesitos acesso e disponibilidade:

- Nuvem Pública: a infraestrutura da nuvem é disponibilizada ao público geral, acessível a qualquer usuário que tenha conhecimento da localização do serviço.
- Nuvem Privada: a infraestrutura é de utilização exclusiva de uma organização, sendo disponibilizada local ou remotamente, administrada pela própria empresa ou terceiros.
- Nuvem Comunitária: a infraestrutura é compartilhada por uma comunidade de organizações com interesses comuns.



Nuvem Híbrida: a infraestrutura é composta por duas ou mais nuvens de quaisquer tipos mencionados acima. A conexão entre elas é feita via tecnologia proprietária ou padronizada e permite a portabilidade de dados e aplicações.

## PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O presente estudo tem como metodologia uma pesquisa bibliográfica, baseada em artigos científicos, revistas, *design thinking* (desenvolvimento de soluções eficientes), prova de conceitos realizadas dentro da EMBASA e livros. Segundo Gil (2002, p. 44) a pesquisa bibliográfica se desenvolve baseada em materiais já elaborados constituídos principalmente de livros e artigos científicos. Para Cervo e Bervian (1983, p. 55), ela explica um problema a partir de referenciais teóricos publicados em documento. Com essa afirmação podemos concluir então que quando o pesquisador se dispõe a realizar uma pesquisa bibliográfica, está seguro de que deverá explicar ou apresentar uma determinada situação baseado nessa pesquisa, que será a sua contribuição para a ciência ou sua área de atuação.

## RESULTADOS

Neste projeto foram feitos estudos de propagação de radiofrequência realizados na região urbana da cidade de Senhor do Bonfim. Este foi o município escolhido para o projeto, a fim de avaliar a implantação de uma rede LPWAN, utilizando a tecnologia LoRaWAN para resolver problemas na coleta dos dados e na ampliação dos pontos de monitoramento na rede de distribuição. Esta solução foi composta por:

- Sensores (pressão, vazão, volume, pH, vibração, energia, temperatura, umidade e nível);
- Transmissores LoRa;
- Gateway LoRaWAN;
- Computação em Nuvem;
- Aplicações *Web* e *Mobile/Android* responsáveis por exibir informações das vazões, pressão e volumes em tempo real.

Os testes foram realizados na cidade de Senhor do Bonfim/Ba, medindo algumas grandezas (pressão, vazão, volume, pH, vibração, energia e nível), temperatura e umidade do ambiente dos equipamentos seguindo o seguinte fluxo:

- Os sensores e equipamentos com as seguintes saídas/entradas, conforme tabela 1, capturam os dados dos dispositivos, por conexão aos dispositivos operacionais, tais como bombas, hidrômetros, medidores de pressão manométrica, nível de reservatório, temperatura e muitos outros, desde que possuam a sinalização elétrica nos padrões seguintes:

**Tabela 1 - Tipo de saídas usadas nos sensores dos equipamentos. Sistema de Abastecimento de Água de Senhor do Bonfim, Bahia, 2022**

Vazão/Volume	Pressão	Nível	Energia	Vibração
RS485  Pulso	4-20mA	4-20mA	Tensão (V) e Corrente (A)	Hertz (Hz)

- Os módulos que lêem os dados dos sensores e os transmitem para as estações base (*gateway*) a quilômetros de distância;
- Os concentradores recebem os dados de todos os sensores da região e os encaminham para a plataforma *IoT* segura no servidor de rede dentro da empresa ou na nuvem;
- O servidor de rede *IoT* coleta os dados de todas as estações base;
- O processo da plataforma *IoT* transforma sinais brutos em leituras significativas do sensor, como nível medido em metros, volume medido em litros ou m<sup>3</sup>, pressão em mca, energia em kwh, corrente ou voltagem, e vazão l/s ou m<sup>3</sup>/h;
- Os sistemas corporativos da EMBASA que dão apoio operacional e integram com a Nuvem *IoT* através de *Interfaces* (APIs) no servidor de aplicação ou processos de cargas;

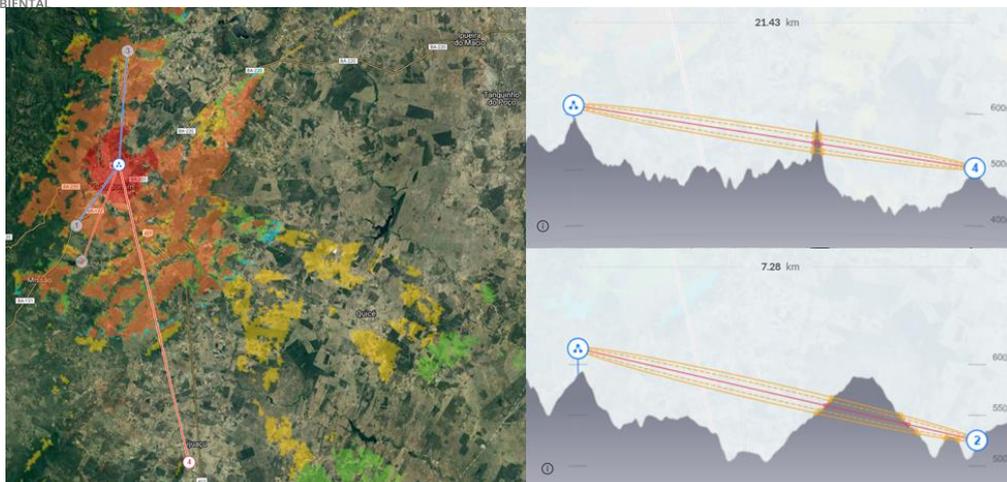
- Os portais, Supervisório, GIS, soluções analíticas (BI) e aplicativos diversos disponibilizam dados com essas novas informações utilizáveis, dando suporte para a tomada de decisão na rede de distribuição de água.

### RESULTADOS DO ALCANCE DA TRANSMISSÃO DOS DADOS PELA REDE LORAWAN

Foi instalado um dispositivo que permite enviar e receber mensagens através de uma rede LoRaWAN chamado *Gateway*, cuja sua topologia é uma rede estrela, onde os rádios de aplicação, ou *endpoints*, LoRa se comunicam única e exclusivamente com o LoRaWAN *Gateway*. O local definido para a instalação foi um reservatório na área do RAD2000, localizado no bairro da Rainha, por ser o ponto mais elevado e estratégico na cidade de Senhor do Bonfim. O equipamento foi instalado em uma haste telescópica de 12 metros, figura 4. O conjunto ficou aproximadamente com uma altura de 17 metros visto que a haste telescópica, já existente, fica sobre a laje do reservatório. Este equipamento foi configurado para que os dados que estavam sendo enviados para a plataforma de Nuvem *IoT*, fossem enviados pela *Interface* GPRS. Pelo estudo realizado, obteve um alcance máximo de 21 km, inclusive com uma barreira topográfica entre o *gateway* e o *end point* LoRa, conforme figura 4.



Figura 3 – *Gateway* LoRaWAN instalado no reservatório apoiado na cidade de Senhor do Bonfim.  
Fonte: Autores do artigo.



**Figura 4 – Cobertura de sinal da rede LoRa na cidade de Senhor do Bonfim. Fonte: Autores do artigo.**

## RESULTADOS DA LEITURA DO CONSUMO DE ÁGUA

Foram instalados alguns hidrômetros, conforme figura 6, para medição do volume e análises de consumo. Segue abaixo as informações do hidrômetro e dos dados coletados:

- Hidrômetros ultrassônicos com radiofrequência padrão AU915 Mhz (LoRa) e velocimétricos com saída pulsada;
- Resultados de registros em 2 em 2 horas permitindo obter análises de vazão noturna e histórico do consumo;
- A rotina executa a análise da vazão noturna das 01 às 05 hrs.



**Figura 5 – Hidrômetros de consumidores instalados para os testes. Fonte: Autores do artigo.**

Na aferição da leitura, verificou-se que na coleta dos dados e no hidrômetro os dados chegaram a 100%. Verificou-se que a utilização desse hidrômetro com a tecnologia proposta obteve ganhos em:

- A frequência de leitura aumentou de uma vez por mês para uma vez a cada 2 horas;
- A frequência dos dados permitiu a construção de painéis para análise do perfil de consumo;
- Possibilidade de evitar o erro de leituras manuais com precisão de dados aprimorada com leituras automatizadas;
- A análise de dados permitiu a detecção de padrões e irregularidades, como vazamentos e anomalias de um grande consumidor (figura 6), acompanhamento da vazão por faixa de operação  $m^3/h$ , vazão Noturna entre 1-5 hrs e previsão de consumo.



Figura 6 – Anomalia gerada pela análise dos dados na nuvem de um grande consumidor. Fonte: Autores do artigo.

### RESULTADOS DOS SENSORES DE PRESSÃO, VAZÃO E VOLUME

No ponto de pressão, conforme figura 7 a seguir, foi instalado o equipamento LoRa que permite ler sinais digitais, 4-20mA e 0-10v. Neste ponto, enfrentávamos um problema de perda de sinal por conta da copa da árvore que estava na direção do sinal. Antes era usado um Arduino para fazer a leitura da pressão da rede e enviava a informação por rádio ethernet de 5Ghz. Esse rádio é eficaz para campo aberto e com visada sem obstáculo. No entanto, com o crescimento da árvore, o sinal chegou a ser interrompido de modo definitivo, enquanto no mesmo sistema havia antenas com cerca de 5km com sinal excelente e visada direta. Este ponto possui uma distância de 1,7km do reservatório.

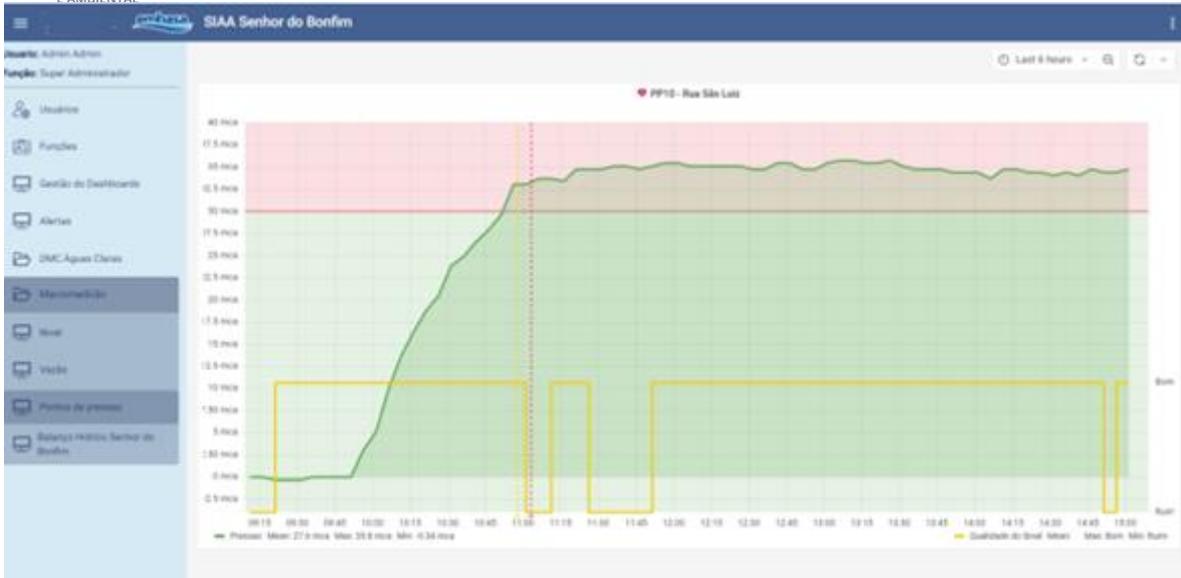


Figura 7 – Estrutura de monitoramento de pressão. Fonte: Autores do artigo

Os dados capturados permitiram a construção de dashboards (painéis) com gráficos e mapas com pontos georreferenciados dos pontos de pressão monitorados conforme figuras 8 e 9.



Figura 8 – Dashboard na plataforma de nuvem exibindo os dados de pressão, qualidade de sinal e geolocalização do ponto de pressão na cidade de Senhor do Bonfim. Fonte: Autores do artigo.



**Figura 9 – Dashboard de pressão para análise e alertas de anomalias. Fonte: Autores do artigo.**

A linha tracejada em laranja é a hora que o alarme começa a contabilizar o tempo e a linha tracejada vermelha é a hora que o alarme é disparado. Com essas análises dos dados, podemos acompanhar as pressões e diminuir a incidência de vazamentos. Percebe-se quando as pressões ultrapassaram o limite esperado, aciona um alerta em tempo real para o usuário. Segue abaixo as características técnicas dos sensores de pressão:

- Faixa de pressão: 0 a 100 mca;
- Sinal: 4 a 20 mA.

Também foi colocado três sensores de pressão (jusante, montante e ponto médio) para fazer o monitoramento da VRP, na DMC de Águas Claras, a fim de avaliar as condições da válvula e consequentemente alertar para possíveis ajustes que se façam necessários para manter a pressão da DMC, analisando possíveis vazamentos e com isso evitar perdas. Após a instalação dos sensores de pressão de montante e jusante no macromedidor, e no ponto médio no bairro de Águas Claras, verificou-se uma anomalia na regulação da válvula de controle de pressão (VRP) através de um dashboard (painel), conforme figura 10, criado para analisar os dados de pressão. Neste dashboard os pontos de pressões estavam sendo acompanhados com uma frequência de 5 e 5 min. Após detectado que a pressão ultrapassou 30 mca, foi enviado um alerta por *e-mail* e pelo *Telegram*, que a variação da pressão estava inadequada no setor de abastecimento.



**Figura 10 – Dashboard de pressão na entrada da DMC (jusante, montante e ponto médio). Fonte: Autores do artigo.**

Para capturar a vazão e volume ofertado desta zona de abastecimento, foi instalado um macromedidor ultrassônico com saída pulsada e um contador de pulso para que pudesse capturar o volume a cada 30 min. Os cálculos da vazão e volume ofertado foram calculados dentro da plataforma de aplicação na Nuvem conforme figura 11.

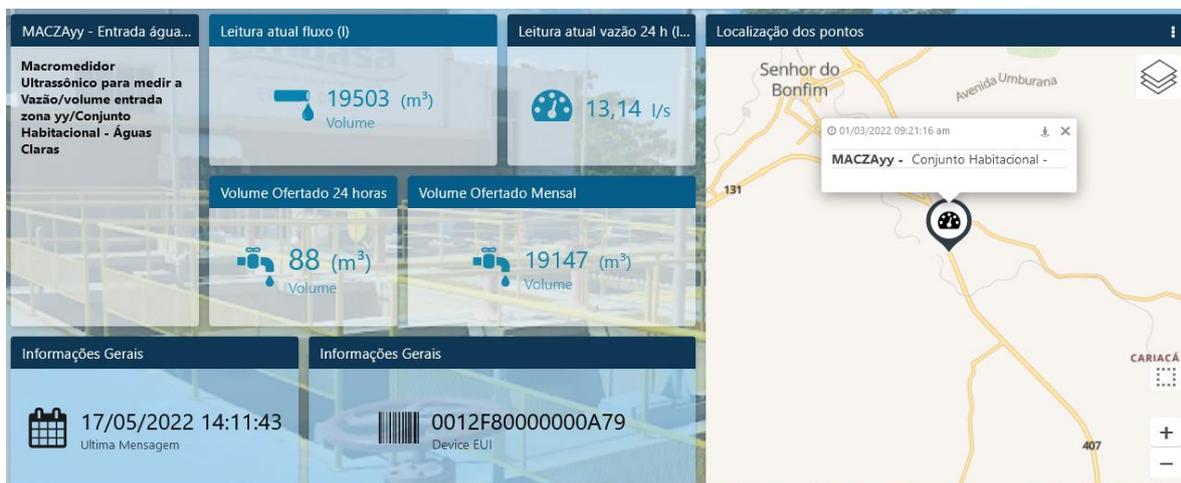


Figura 11 – Dashboard de vazão/volume na entrada da DMC. Fonte: Autores do artigo.

## RESULTADOS DOS SENSORES DE NÍVEL

Foi instalado no reservatório de distribuição um *device* LoRa, com a finalidade de monitorar o nível do mesmo. Este ponto está localizado a uma distância de aproximadamente 5,2km, numa área de difícil acesso e sem energia elétrica. Por estas peculiaridades o sistema de alimentação adotado foi de alimentação por energia solar. Os dispositivos adotados nesta configuração foram: um sensor hidrostático, um *device* LoRa, e um sistema solar composto pela bateria, placa solar e controlador de carga. Este equipamento é de suma importância por conta da dificuldade extrema de acesso e a não visualização, caso haja algum extravasamento. Neste cenário, antes da instalação deste equipamento, era necessário tomar o máximo de cuidado ao fechar uma válvula mais à frente. A válvula é usada para abastecer algumas residências derivadas desta linha. Pelo fato da não facilidade de checar o nível neste local, mesmo com os cuidados para não extravasar, era verificado que em algum momento o reservatório extravasava. Ao instalar esta verificação do nível do reservatório, pode-se perceber que o nível subia rapidamente e ao verificar que estava próximo para atingir o nível máximo, o operador em campo liberava o fluxo da válvula para que o extravasamento não ocorresse. Vale ressaltar a importância deste reservatório, pois fornece um volume de mais de 2,5 mil m<sup>3</sup> de água diários para a rede de distribuição.

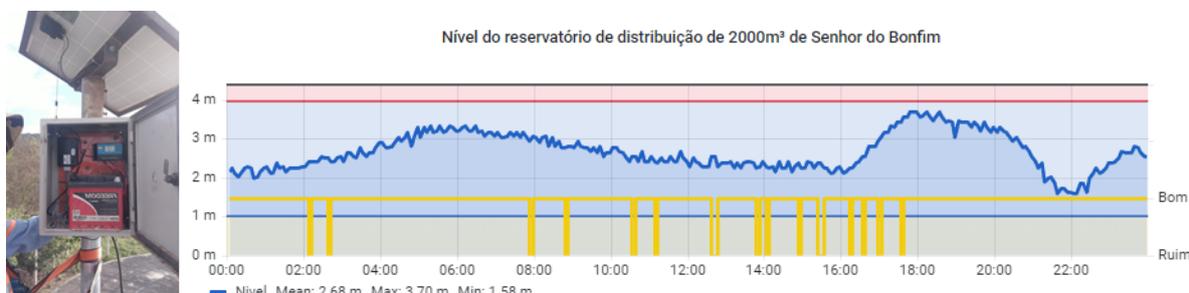


Figura 12 – Dashboard e ponto de medição do nível reservatório. Fonte: Autores do artigo.



## RESULTADOS DOS SENSORES DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E VIBRAÇÃO

Foi instalado um sensor de vibração e de energia com transmissor LoRa em uma das bombas da estação de tratamento para capturar os dados de parâmetros de vibração (RMS, pico, fator crista, curtose e temperatura), conforme figura 13 e de energia (corrente e voltagem), conforme figura 14, para acompanhamento e ações necessárias do conjunto motor-bomba. O equipamento de análise de vibrações permite dizer quando uma vibração normal excede os níveis aceitáveis e pode acabar se tornando um problema. Ele também permite determinar a fonte e a causa da vibração, por isso ele se torna um auxílio na manutenção preventiva e no solucionamento de falhas.



Figura 13 – Dashboard dos dados de vibração do motor/bomba. Fonte: Autores do artigo.

A geração distribuída para o conjunto motor-bomba, que é a geração de energia próxima à carga consumidora, tem a grande vantagem de reduzir perdas na distribuição de energia, independente da potência, aproveitando o potencial energético local e operando na sua melhor faixa de operação. Dentro do estudo realizado, observou-se que o parâmetro fator potência estava fora do nível aceitável, conforme figura 14, e ações corretivas foram efetuadas, como a troca do inversor de frequência para reajustar o indicador de fator de potência. Este indicador é um índice que relaciona a energia ativa e reativa de uma instalação elétrica, sendo um dos principais indicadores de eficiência energética. O fator de potência próximo de 1 indica pouco consumo de energia reativa em relação à energia ativa.



Figura 14 – Dashboard dos dados de energia do motor/bomba. Fonte: Autores do artigo.

## PLATAFORMA DE NUVEM

Para os estudos realizados, foi adquirido uma plataforma de Nuvem *IoT* chamada TagoIO, que pudesse receber os dados via Protocolo HTTP ou MQTT dos dispositivos, além de testes feitos em uma plataforma de análise de dados chamada EIIoT *Cloud*, que implementa uma solução integrada com a *Internet* das Coisas - tecnologia "*IoT*", para um controle mais eficiente da gestão do sistema de abastecimento de água e controle das perdas de água, por meio de:

- Customização e desenvolvimento de aplicações seguras à análise qualitativa e quantitativa dos dados por meio de sensores instalados em unidades do Sistema Integrado de Abastecimento de Água de Senhor do Bonfim;
- Integração de dados com os Sistemas de Gerenciamento de Informações da Embasa.

## ALERTAS

Na plataforma em Nuvem foram construídas alertas de algumas anomalias do comportamento da rede de distribuição. Estes eventos foram disparados por *e-mail* e por *Telegram*, conforme figuras 15 e 16, caso alguma anomalia do comportamento do sistema acontecesse. Os alertas encurtam os tempos de resolução, às vezes até mesmo acionando fluxos de trabalho de resolução automática para a operação do sistema de abastecimento.



De	Assunto	Recebido em
embasa.elliottcloud.com	[Alerting] Nível poço de sucção Estação Elevatoria de Água para cidade de Caldeirão Grande alert <https://grafana.com/assets/img/logo_new_transparent_200x48.png>	sex 05/08/2022 14:03
embasa.elliottcloud.com	[Alerting] Nível do reservatório de distribuição de 1000m³ de Senhor do Bonfim alert <https://grafana.com/assets/img/logo_new_transparent_200x48.png>	sex 05/08/2022 12:13
alert@elliottcloud.com	Avisos de perda de sinal do equipamento Perda de sinal nos últimos 120 minutos em	sex 05/08/2022 12:00
embasa.elliottcloud.com	[Alerting] PP13 > Jusante <https://grafana.com/assets/img/logo_new_transparent_200x48.png>	sex 05/08/2022 10:09
embasa.elliottcloud.com	[Alerting] Nível do reservatório de distribuição de 2000m³ de Senhor do Bonfim alert <https://grafana.com/assets/img/logo_new_transparent_200x48.png>	sex 05/08/2022 09:13
embasa.elliottcloud.com	[Alerting] Nível poço de sucção Estação Elevatoria de Água 1 alert <https://grafana.com/assets/img/logo_new_transparent_200x48.png>	sex 05/08/2022 08:41
alert@elliottcloud.com	Avisos de perda de sinal do equipamento Perda de sinal nos últimos 120 minutos em	sex 05/08/2022 08:00
embasa.elliottcloud.com	[Alerting] Nível poço de sucção Estação Elevatoria de Água 1 alert <https://grafana.com/assets/img/logo_new_transparent_200x48.png>	sex 05/08/2022 06:42
embasa.elliottcloud.com	[Alerting] Nível poço de sucção Estação Elevatoria de Água 3 alert <https://grafana.com/assets/img/logo_new_transparent_200x48.png>	sex 05/08/2022 00:38

Figura 15 – Eventos disparados na plataforma de Nuvem e enviados via e-mail. Fonte: Autores do artigo.



Figura 16 – Eventos disparados na plataforma de Nuvem e enviados via Telegram. Fonte: Autores do artigo.

## ANÁLISE E DISCURSÃO DOS RESULTADOS

### ANÁLISE DMC

Distritos de Medição e Controle (DMC) é uma técnica para analisar e controlar um sistema de distribuição de água, os quais são amplamente difundidos e usados em alguns sistemas para monitorar demandas fora do comum (anomalias), que geralmente são ocasionadas por vazamentos. O DMC é uma porção de um sistema de abastecimento no qual todos os volumes de entrada e saída são monitorados e variações nos níveis de reservação se existirem reservatórios neste DMC.

Os DMCs podem reduzir as perdas de diversas maneiras:

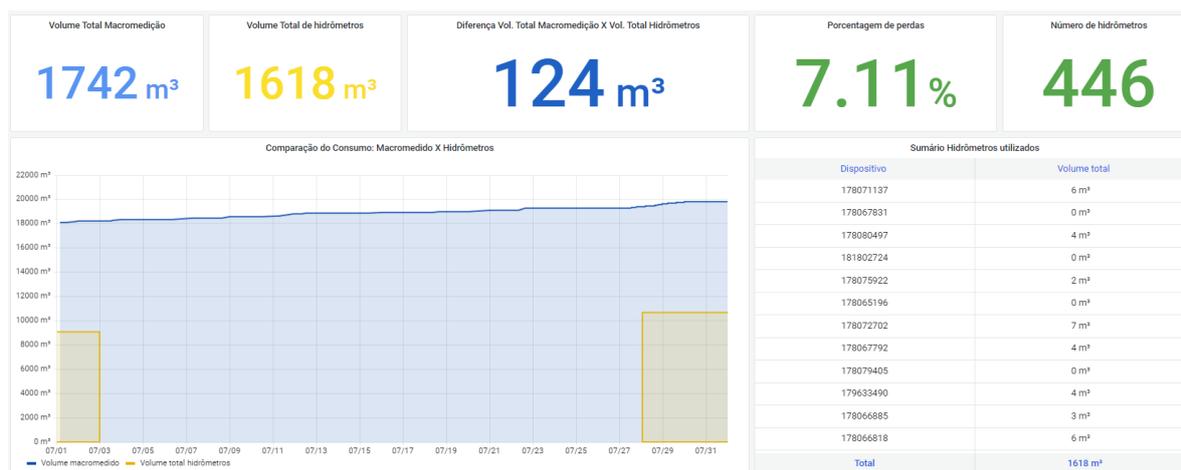
- Rastreamento a vazão total de um DMC e comparando-o com o consumo medido, é possível identificar onde a perda real e a perda aparente está alta.
- Monitorando a vazão mínima noturna de um DMC, é possível identificar a perda real de maneira rápida.
- Uma vez que um DMC for criado, através de um pequeno esforço extra na instalação de VRP (válvula redutora de pressão), é possível reduzir os vazamentos não visíveis.

A escolha da priorização de áreas para implantação de DMCs é atrelada aos seguintes critérios: setores de abastecimento com maiores perdas, grau de facilidade de isolamento da rede e até mesmo possibilidade de acesso às áreas para as equipes.

Informação da DMC de Águas Claras conforme tabela 2:

**Tabela 2 – Informações do Distrito de Medição e Controle de Águas Claras, Senhor do Bonfim/Ba.**

Número de ligações	Comprimento Total Tubulação (m)	Área de Abrangência
448	1850m	43.900m <sup>2</sup>



**Figura 17 – Dashboard com informações da DMC de águas claras. Fonte: Autores do artigo.**

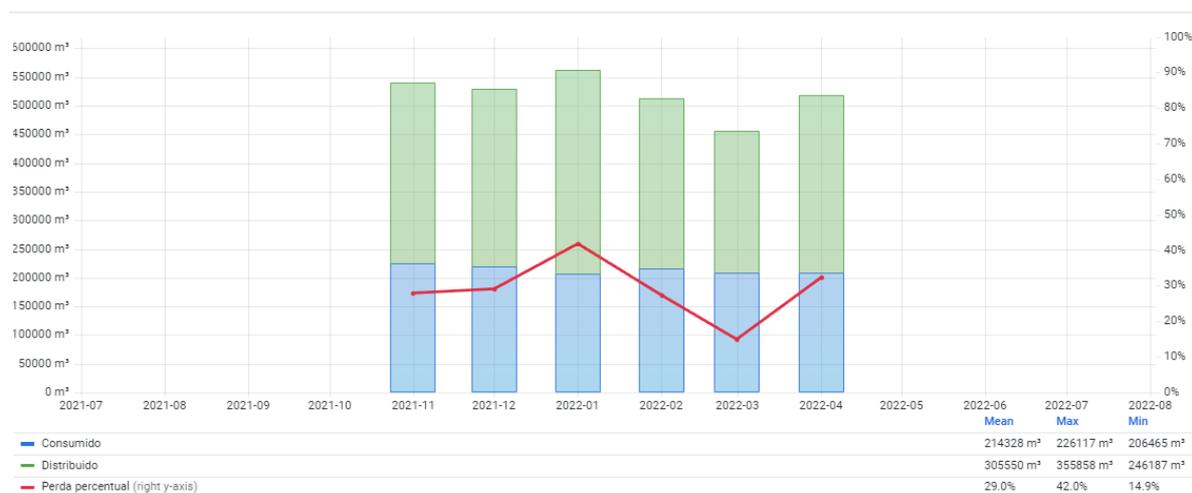
### ANÁLISE DO BALANÇO HÍDRICO

A metodologia do Balanço Hídrico, também denominada “top down”, permite chegar ao volume de perdas reais no sistema a partir da estimativa de volumes de perdas aparentes. Torna-se interessante a divisão das parcelas do volume disponibilizado para um melhor direcionamento das ações de combate a perdas. Os dados devem ser de um período de 12 meses para que não haja interferência da sazonalidade de consumos.



Importante ressaltar que o Balanço Hídrico é visto pela ótica da infraestrutura, ou seja, os volumes computados devem ser os efetivos. O modelo existente na EMBASA não representa fielmente a realidade, mas chega ao mais próximo possível. A obtenção inversa das parcelas de perdas reais e aparentes aumenta a imprecisão das informações, pela difícil quantificação de volumes perdidos por vazamentos, principalmente pelo desconhecimento do surgimento destes e até mesmo pelos vazamentos inerentes (não detectáveis).

Dentro do estudo realizado, foi criado na plataforma de Nuvem, um dashboard, com o objetivo de demonstrar o balanço hídrico geral da localidade de Senhor do Bonfim/Ba (figura 18). Foi realizado o processo de integração dos dados com os sistemas comercial e operacional da EMBASA com a plataforma de Nuvem da prova de conceito. A forma de importação dos dados foi realizada através de cargas de arquivos (formato csv), com periodicidade mensal, mesmo sabendo que o ideal era que os dados fossem coletados utilizando redes IoT, proposto neste artigo e APIs (*Interface* de Programação de Aplicação).



**Figura 18 – Demonstração do balanço hídrico geral na plataforma de Nuvem. Fonte: Autores do artigo.**

## SUGESTÃO DE TRABALHOS FUTUROS

Por entender-se que toda a pesquisa não se limita aos resultados nela apresentados e, levando-se em consideração as limitações do presente trabalho, podem-se realizar algumas sugestões para trabalhos futuros de estudo de perdas na distribuição implementando as tecnologias propostas, tais como:

- Coletar os dados do volume ofertado e da vazão instantânea da(s) saída(s) da distribuição para verificação dos índices de perdas da localidade;
- Escolher uma DMC com índices de perdas elevada atendendo às seguintes características: recomenda-se o mínimo 2000 e máximo de 5000 ligações ou extensão máxima de 25km de rede e com sistema com 24 horas de abastecimento;
- Aumentar os pontos de pressão para envio das informações (jusante, montante, entrada, médio e crítico) para análises de pressão na rede dentro da DMC e pontos específicos da rede de distribuição;
- Instalar mais coletores de dados para micromedição através de similaridade de perfil de consumo;
- Desenvolver um modelo de aprendizado de máquina para auxiliar na detecção de fraudes no consumo de água e detecção de vazamentos com os dados coletados;
- Estabelecer regras das anomalias geradas dos dados dos principais ativos, por exemplo: conjunto motor bomba (vibração e energia) para controles e ações;
- Estabelecer indicadores dos dados extraídos das plataformas em nuvem, sistemas comerciais e operacionais para o sistema *Business Intelligence* (BI) para acompanhamento dos índices de perdas.
- Utilizar o método da vazão mínima noturna para avaliar as perdas reais de água em sistemas de distribuição dentro da DMC estabelecida, seguindo os critérios estabelecidos pelo método.



## CONCLUSÃO

O presente artigo permite concluir que as tecnologias da Indústria 4.0, como a *Internet das Coisas (IoT)* e o *Cloud computing* apresentam soluções para o melhor gerenciamento de perdas na distribuição, aplicando sensoriamento desde na saída da distribuição para captura do volume/vazão ofertado para a cidade, pontos de gerenciamento de pressão definidos na rede de distribuição (montante, jusante, ponto entrada, médio e crítico), volume/vazão na entrada de distrito de medição e controle (DMC) e leitura de pontos de consumidores com perfis de ligações e similaridade de consumo. Com esta coleta eficiente dos dados, utilizando redes da *Internet das Coisas (IoT)* para telemedição e análises dos dados na nuvem, são importantes no trabalho da redução das perdas de água, seja ela causada por vazamentos, fraudes ou por erros de medição. Em virtude da centralização destas informações e a possibilidade de fazer análises, pode-se verificar o comportamento da rede através de métodos utilizados como:

- Balanço hídrico;
- Análise de vazão noturna;
- Análises de pressões (jusante, montante, médio e crítico);
- Análises de Vazão;
- Análises de DMC;
- Análises de Indicadores de Perdas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AZEVEDO, MARCELO. Transformação Digital na Indústria: Indústria 4.0 e a Rede de Água Inteligente no Brasil. São Paulo, 2017. Dissertação de Doutorado-Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2017.
2. CARTILHA DE CIDADES (BNDS). Disponível em: <https://www.bndes.gov.br>. Acesso em: 21 dez. 2022.
3. COSTA, C. L.; OLIVEIRA, L.; MOTA, L. M. S. *Internet das coisas (IOT): um estudo exploratório em agronegócios*. VI Simpósio da Ciência do Agronegócio. Faculdade de Agronomia - Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, 2018.
4. CRIANDO CIDADES CONECTADAS COM TECNOLOGIA DE *IoT* NOVAS E EXISTENTES. Disponível em: <https://www.ibm.com/developerworks/br/library/IoT-lp201-IoT-connected-cities/index.html>. Acesso em: 20 dez. 2022.
5. EMBASA. Guia Setorização de Redes de Distribuição de Água. Salvador, 2019.
6. *INTERNET DAS COISAS*. O motor da 4ª revolução indústria. Disponível em: <https://anovaeraonline.com/portal/Internet-das-coisas>. Acesso em 15 dez. 2022.
7. LEE, I. e LEE, K. *A Internet das Coisas (IoT): Aplicações, Investimentos e Desafios para Empresas*. Horizontes de negócios, 2015, vol. 58.
8. LIAGKOU, VASILIKI; STYLIOU, CHRYSOSTOMOS; SALMAS, DIMITRIOS. Modelo de treinamento de RV para explorar a segurança em LPWAN, 2019, VOL. 79.
9. MELL, P.; GRANCE, T. *The NIST Definition of Cloud computing*. National Institute of Standards and Technology (NIST), Gaithersburg, United States, 2011.
10. ORTIZ, F; CRUZ P. Caracterização de uma Rede Sem-fio de Baixa Potência e Longo Alcance para *Internet das Coisas*. Disponível em <https://www.gta.ufrj.br/ftp/gta/TechReports/OCC18.pdf>. Acesso em: 20/01/2023.
11. QUAL É O PAPEL DO *BIG DATA* NA INDÚSTRIA 4.0? Disponível em: <https://www.harbor.com.br/harborblog/2018/08/02/qual-e-o-papel-do-big-data-na-industria-4-0>. Acesso em 24 DEZ. 2022.



12. REFINARIA DE DADOS, DATA ANALYTICS. O que é e como ele pode transformar o seu negócio. Disponível em: <https://refinariadedados.com.br/artigos/data-analytics>. Acesso em 23 dez. 2020.
13. SEMTECH. LoRa and LoRaWAN: A Technical Overview, 2019. Disponível em [https://lora-developers.semtech.com/uploads/documents/files/LoRa\\_and\\_LoRaWAN-A\\_Tech\\_Overview-Downloadable.pdf](https://lora-developers.semtech.com/uploads/documents/files/LoRa_and_LoRaWAN-A_Tech_Overview-Downloadable.pdf). Acesso em: 20/01/2023.
14. SMART WATER. Disponível em: <https://celplan.com.br/mercados/smart-water>. Acesso em 12 DEZ. 2022.
15. UMA ARQUITETURA PARA ORQUESTRAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO BASEADA EM *INTERNET* DAS COISAS E COMPUTAÇÃO EM NUVEM. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/28011/1/DISSERTA%C3%87%C3%83O%20Wilson%20Alves%20da%20Silva.pdf>. Acesso em: 24 dez. 2022.
16. USO DA *IoT*, *BIG DATA* E INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NAS CIDADES DINÂMICAS. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/324076815\\_Uso\\_da\\_IoT\\_Big\\_Data\\_e\\_inteligencia\\_artificial\\_nas\\_capacidades\\_dinamicas](https://www.researchgate.net/publication/324076815_Uso_da_IoT_Big_Data_e_inteligencia_artificial_nas_capacidades_dinamicas). Acesso em: 14 dez. 2022.
17. VELEZ, J.; TRAFFORD R.; PIERCE M.; THOMSON, B.; JASTRZEBSKI, E.; LAU, B. *International Journal of Research in Engineering, Science and Management*. Disponível em [https://www.ijresm.com/Vol\\_1\\_2018/Vol1\\_Iss9\\_September18/IJRESM\\_19\\_89.pdf](https://www.ijresm.com/Vol_1_2018/Vol1_Iss9_September18/IJRESM_19_89.pdf). Acesso em: 20/01/2023.
18. WOOD, T., CECCHET, E., RAMAKRISHNAN, K., SHENOY, P., VAN DER MERWE, J., e VENKATARAMANI, A. Disaster recovery as a *cloud* service: Economic benefits & deployment challenges. Em USENIX Workshop on Hot Topics in *Cloud computing*, 2010.