TESTES DE DESEMPENHO DE TRANSMISSÃO DE DADOS EM APLICAÇÕES DE SANEAMENTO VIA REDE LORAWAN PRIVADA EM AMBIENTE URBANO DENSO

Bárbara Lissa de Oliveira Lara[(1)]
Engenheira de Controle e Automação formada pela Universidade Federal de Minas Gerais. Engenheira de Automação na Gerência de Desenvolvimento Tecnológico e Inovação da Copasa MG.
Samuel Rodrigues Oliveira[(2)]
Engenheiro Industrial Eletricista pelo Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. Engenheiro de Automação na Gerência de Desenvolvimento Tecnológico e Inovação da Copasa MG.
Edmar dos Reis Santos[(3)]
Engenheiro Eletricista pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Engenheiro de Controle e Automação pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Técnico de Automação na Gerência de Desenvolvimento Tecnológico e Inovação da Copasa MG.
Gabriela Correia de Castro[(4)]
Engenheira de Controle e Automação pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Engenheira de Automação na Gerência de Desenvolvimento Tecnológico e Inovação da Copasa MG.
Antônio Augusto Mesquita Diniz[(5)]
Engenheiro Mecânico com ênfase em Mecatrônica pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Técnico de Automação na Gerência de Desenvolvimento Tecnológico e Inovação da Copasa MG.

Endereço[(1)]**:** Rua Mar de Espanha, 525 – Santo Antônio – Belo Horizonte – Minas Gerais - CEP: 30270-130 - Brasil - Tel: +55 (31) 3250-1420 - e-mail: barbara.lara@copasa.com.br.

RESUMO

Este trabalho apresenta os resultados de desempenho da comunicação entre dispositivos conectados via rede *LoRaWAN* privada, instalados na região centro-sul de Belo Horizonte, para medição de vazão e pressão em rede de distribuição de água. A iniciativa integra o projeto COPASA 4.0, que busca avaliar a viabilidade de novas tecnologias na companhia. Um dos produtos do projeto é o COPASIS – Sistema Integrado de Supervisão da COPASA, que combina o uso de tecnologias *IoT* aliadas a um sistema *SCADA* para aquisição, tratamento e disponibilização de dados operacionais. Devido à dispersão geográfica das unidades, o COPASIS utiliza predominantemente a transmissão de dados via telefonia celular, que demanda fornecimento de energia por rede elétrica ou sistema fotovoltaico. No entanto, para unidades sem viabilidade técnica-financeira de suprimento de energia, torna-se necessário o estudo de soluções alimentadas por bateria. Neste contexto, este trabalho detalha dois testes realizados pela equipe de automação da COPASA com dispositivos *LoRaWAN*: o monitoramento de hidrômetros de grandes consumidores e monitoramento de variáveis de vazão e pressão da rede de distribuição. A partir dos resultados, é realizada uma avaliação preliminar da viabilidade do uso da tecnologia LoRaWAN, considerando custos de instalação, manutenção, e as características regionais da área de aplicação.

PALAVRAS-CHAVE: Tecnologia *LoRaWAN*, Indústria 4.0, Saneamento.

INTRODUÇÃO

O serviço de abastecimento de água faz parte do conjunto de serviços públicos de saneamento básico, que visam prevenir doenças, proteger o meio ambiente e promover o desenvolvimento social e econômico de uma sociedade. Esse serviço é constituído pelas atividades de captação, tratamento e distribuição de água até as ligações prediais e os seus instrumentos de medição (ANA, 2025).

O serviço de abastecimento possui riscos de operação, como rompimentos ou vazamentos nas tubulações, extravasamento de reservatórios e ligações clandestinas, resultando no desperdício de recursos hídricos, de consumo de energia, dos processos de tratamento e dos custos operacionais envolvidos em todo o serviço de abastecimento de água. Esses riscos podem acarretar na falta d'água para consumidores, diminuição da pressão na linha e redução da qualidade da água distribuída (QI et al., 2018).

Na atividade de distribuição de água, cuja função primordial é garantir o abastecimento dos pontos de consumo com água tratada, atendendo aos requisitos de pressão exigidos, destaca-se ainda uma característica de grande importância: sua ampla abrangência geográfica. Tal característica dificulta o monitoramento e manutenção das redes e o gerenciamento dos riscos de operação.

Por isso, a implementação de estratégias eficazes de monitoramento das redes de distribuição é fundamental para minimizar essas perdas e garantir a utilização eficiente de recursos (LOUSADA et al., 2019). Porém, em sistemas de distribuição atuais, o monitoramento das redes ainda é realizado, muitas vezes, em rotinas periódicas executadas manualmente pelas empresas de saneamento.

Diante desse cenário, o uso de tecnologias de sensoriamento automático e transmissão de dados para monitoramento das principais variáveis de controle em pontos críticos são fundamentais para otimizar o monitoramento das redes de distribuição de água. Porém, a utilização de sensores em sistemas de distribuição apresenta desafios: a necessidade de uma fonte de energia para alimentar os dispositivos, a eficiência da tecnologia de comunicação para transmitir as informações e a localização dos sensores, considerando a distância até o dispositivo de recepção e a necessidade de instalação em locais de difícil acesso, com obstáculos que podem afetar o desempenho da rede, ou até mesmo em redes subterrâneas (IBRAHIM; MAHDI; YAS, 2021).

Atenta a essa necessidade, a equipe de automação da COPASA iniciou, em 2021, os estudos sobre o uso da solução *LoRaWAN* no contexto do projeto COPASA 4.0, que avançaram a partir de 2023. O projeto COPASA 4.0 tem como objetivo fazer a transformação digital da COPASA no ambiente operacional, de forma a trazer as melhores e mais adequadas tecnologias para que a operação da empresa seja realizada de forma inteligente buscando a otimização e eficiência dos processos operacionais. A metodologia do COPASA 4.0 consiste em prospectar e testar novas tecnologias e, verificada a viabilidade financeira e operacional, a solução é implantada de forma corporativa abrangendo toda a empresa.

Essa busca por novas tecnologias é pautada pela avaliação do ciclo de vida da solução, de forma que a mesma possa ser mantida operacional, seja por meio de equipe própria ou por manutenção terceirizada. Outro ponto avaliado é a característica jurídica de contratação que são específicas para empresas estatais em relação a empresas privadas, que é em um fator determinante para a manutenção de uma solução.

Um dos produtos do COPASA 4.0 é o COPASIS – Sistema Integrado de Supervisão da COPASA, que consiste em uma plataforma de *IoT – Internet of Things* para aquisição dos dados de campo aliada a um sistema *SCADA - Supervisory Control and Data Acquisition* para tratamento e disponibilização dos dados coletados aos usuários finais. O COPASIS surgiu da necessidade de se ter um monitoramento em tempo real dos processos operacionais da COPASA. Ele consiste em uma plataforma apta a incorporar novas tecnologias de transmissão disponíveis no universo *IoT*.

Uma característica importante do COPASIS é que esta plataforma foi desenvolvida para ser uma solução corporativa da COPASA, atendendo a toda a empresa. Os cuidados com segurança cibernética adotados com a implantação da solução, e que estão em constante melhoria, permitem que as informações coletadas sejam disponibilizadas a partir da rede corporativa da empresa, além de possibilitar a integração com os sistemas corporativos, promovendo a democratização dos dados coletados.

A principal tecnologia de transmissão de dados utilizada pelo COPASIS é a telefonia celular, por se tratar de uma tecnologia com ampla cobertura nas áreas de concessão da empresa (atualmente o COPASIS monitora em tempo real mais de 3000 unidades operacionais, entre *boosters*, elevatórias, reservatórios e medidores de vazão). Uma característica desta tecnologia e que a grande maioria dos equipamentos de comunicação via telefonia celular requer é o suprimento de energia, seja por meio de rede de distribuição pública ou por meio de sistema fotovoltaico *off grid*.

No entanto, verifica-se a necessidade de ampliação do alcance do COPASIS para as unidades operacionais que não possuem a viabilidade técnica e/ou financeira de suprimento de energia via concessionária pública ou sistema fotovoltaico, sendo necessário o estudo de soluções de baixo consumo energético, que permitem ser alimentados por bateria. A incidência de furtos e vandalismos também é um fator determinante para o uso de soluções alimentadas por bateria.

A tecnologia *LoRaWAN* é um protocolo de comunicação de baixo consumo de energia. O protocolo permite conectar dispositivos alimentados por bateria utilizando uma tecnologia de comunicação sem fio de longo alcance

(*LoRa*) em uma rede de Internet das Coisas (ITU, 2025). De acordo com alguns fabricantes, o alcance de uma rede *LoRaWAN*, em condições ideais, poderia chegar a cerca de 15 km em áreas rurais e, em ambientes urbanos, os obstáculos reduzem esse alcance para cerca de 4 a 5 km (ALL CONECTA e KORE WIRELESS, 2025).

OBJETIVOS

O objetivo deste artigo é descrever os testes iniciais realizados pela equipe de automação da COPASA utilizando equipamentos com tecnologia de transmissão *LoRaWAN* e alimentados a bateria para aquisição de dados de campo em aplicações sem disponibilidade de energia elétrica na região centro-sul de Belo Horizonte e apresentar os resultados obtidos.

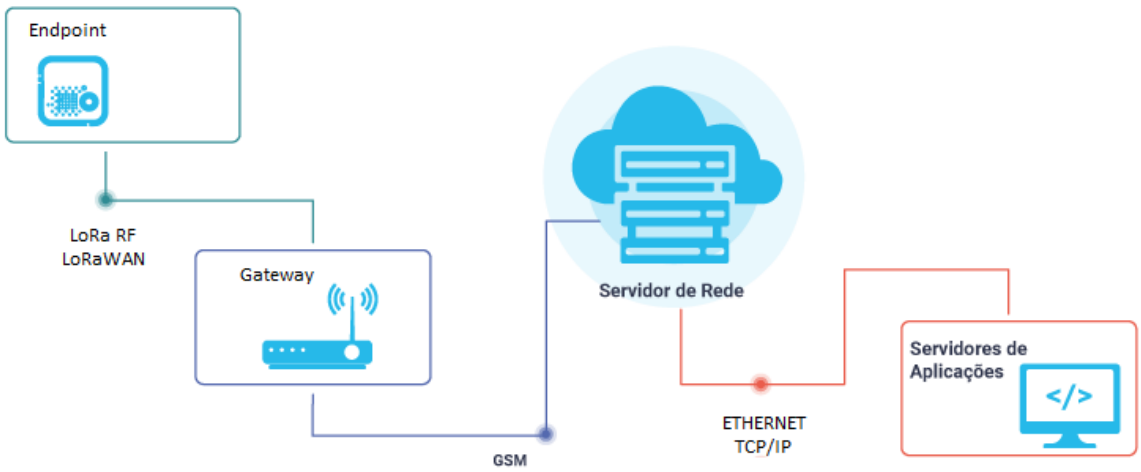
As duas primeiras aplicações em teste foram o monitoramento de hidrômetros de grandes consumidores (micromedição) e monitoramento de variáveis de vazão a pressão da rede de distribuição (rede operacional) da região centro-sul de Belo Horizonte.

A partir dos resultados dos testes realizados, é apresentada a avaliação inicial da viabilidade da utilização da tecnologia *LoRaWAN* nas diferentes aplicações em teste, tendo em vista os custos envolvidos com instalação e manutenção e as características da região de aplicação (perfil topográfico, densidade predial e características dos pontos de medição).

METODOLOGIA UTILIZADA

A arquitetura de rede LoRaWAN utilizada nos testes realizados é mostrada na Figura 1. Nela, os dispositivos de transmissão de dados (*endpoints*) enviam os dados para os *gateways LoRaWAN*, que transmitem os dados a um servidor de rede (*chirpstack*) via sinal de telefonia celular (GSM). Esse servidor gerencia os dados coletados e faz interface com outras aplicações, como o broker MQTT Mosquitto. Foi configurada também a comunicação do *broker* MQTT com a aplicação do COPASIS utilizando de *driver* de comunicação específico.

Figura 1 - Arquitetura de rede *LoRaWAN* utilizada nos testes



Fonte: Elaboração própria, adaptado de: LoRaWAN - O que é, 2025 - Zenzor Control.

As aplicações de servidores de rede e de aplicação foram instaladas na infraestrutura de servidores da COPASA. E os equipamentos de campo utilizados nos testes foram:

- *Gateway LoRaWAN* modelo ITG 200 LoRa outdoor do fabricante Khomp,
- *Gateway LoraWAN* modelo UG67 do fabricante Milesight,
- *Endpoint LoRaWAN* multivariável, modelo NIT20LI, fabricante Khomp,Endpoint LoRaWAN para sensor de pressão, modelo EM500-PP, fabricante Milesight,
- *Endpoint LoRaWAN* para leitura de pulsos, modelo ITC100SZ, fabricante Khomp,
- *Endpoint LoRaWAN* para leitura de pulsos, modelo ITC200 (com antena externa), fabricante Khomp.

Nos testes, os *endpoints* e *gateways* foram instalados em campo. Os dados do teste foram observados em interface *web* do servidor de rede *chirpstack*.

Foram instalados 3 (três) *gateways* em unidades da COPASA com elevada altitude e com disponibilidade de energia elétrica. A localização dos *gateways* é mostrada na Figura 2 e na Tabela 1.

Tabela 1 - *Gateways LoRaWAN* instalados em unidades da COPASA na região centro-sul de Belo Horizonte

Nome da Unidade	Endereço
Prédio da Regional	Rua Mar de Espanha, 525 - Santo Antônio
Reservatório Santa Maria	Rua do Mercado, 126 - Conjunto Santa Maria
Reservatório Barroca	Rua Rio Negro, 1235 - Barroca

Fonte: elaboração própria.

Figura 2 - *Gateways LoRaWAN* instalados em unidades da COPASA na região centro-sul de Belo Horizonte



Fonte: Elaboração própria com utilização do software Google Earth, 2024.

Foram realizados testes em duas diferentes aplicações das redes de distribuição: o monitoramento de hidrômetros de grandes consumidores (micromedição) e monitoramento de variáveis de vazão a pressão da rede de distribuição (rede operacional) da região centro-sul de Belo Horizonte.

- **Monitoramento de hidrômetros – Grandes consumidores**

O teste de monitoramento de hidrômetros de grandes consumidores consistiu na instalação de 5 (cinco) *endpoints LoRaWAN*, modelos ITC100SZ e ITC200 do fabricante Khomp, em diferentes clientes da COPASA. O *gateway*

utilizado nesse teste foi o instalado no prédio da regional, modelo UG67 do fabricante Milesight A identificação dos clientes envolvidos nos testes é feita através das suas respectivas matrículas e sua localização é mostrada na Figura 3 e na Tabela 2. Os clientes selecionados para esse teste ficam localizados dentro de um raio de 1 (um) km do prédio da regional.

Tabela 2 - *Endpoints* instalados em hidrômetros de grandes consumidores

Matrícula	Endereço	Distância até o gateway (m)
21647976	Rua Carangola, 460 - Santo Antônio	158
11192917	Rua Congonhas, 809 - Santo Antônio	198
11032600	Rua Sergipe, 1415 - Savassi	822
11032499	Avenida Getúlio Vargas, 1640 - Savassi	839
12260673	Avenida do Contorno, 7613 - Cidade Jardim	1.070

Fonte: elaboração própria.

Figura 3 - *Endpoints instalados em hidrômetros de grandes consumidores*



Fonte: Elaboração própria com utilização do software Google Earth, 2024.

Os *endpoints* modelo ITC do fabricante Khomp são alimentados a bateria. Esses equipamentos são capazes de realizar a contagem e totalização de pulsos em hidrômetros com saída pulsada e transmitir o valor acumulado a um gateway utilizando protocolo *LoRaWAN*. A taxa de transmissão desses equipamentos é configurável e foi mantida como 1 (uma) transmissão por hora apenas para efeito de testes pois, em aplicação final, recomenda-se maior espaçamento nas transmissões para aumento da vida útil da bateria.

A instalação dos *endpoints* foi realizada em 04 e 05/04/2024 e foi registrada a medição no momento da instalação. A primeira análise dos dados recebidos no servidor *chirpstack* foi a qualidade do sinal recebido pelos *endpoints* instalados em campo e a perda de pacotes na transmissão de dados.

Como não houve sucesso no teste de comunicação com o *endpoint* ITC100SZ no consumidor de matrícula 11032499, foi realizado um segundo teste com *endpoint* ITC200. Esse *endpoint* não foi conectado ao hidrômetro, apenas instalado no nicho de medição. Instalação realizada em 10/06/2024.

Por fim, foi realizada análise dos dados de consumo enviados pelos *endpoints* do durante 2 (dois) meses para verificação da acurácia do sistema de medição de pulsos. Nos dias 08 e 09 de maio de 2024, às 14:00h, foi feita a 1ª verificação da leitura dos hidrômetros dos clientes contemplados nos testes e leituras recebidas via telemetria. No dia 11 de junho de 2024, às 10:00h, foi feita a 2ª verificação da leitura, seguindo o mesmo padrão da 1ª verificação.

- **Variáveis da rede de distribuição (pressão e vazão)**

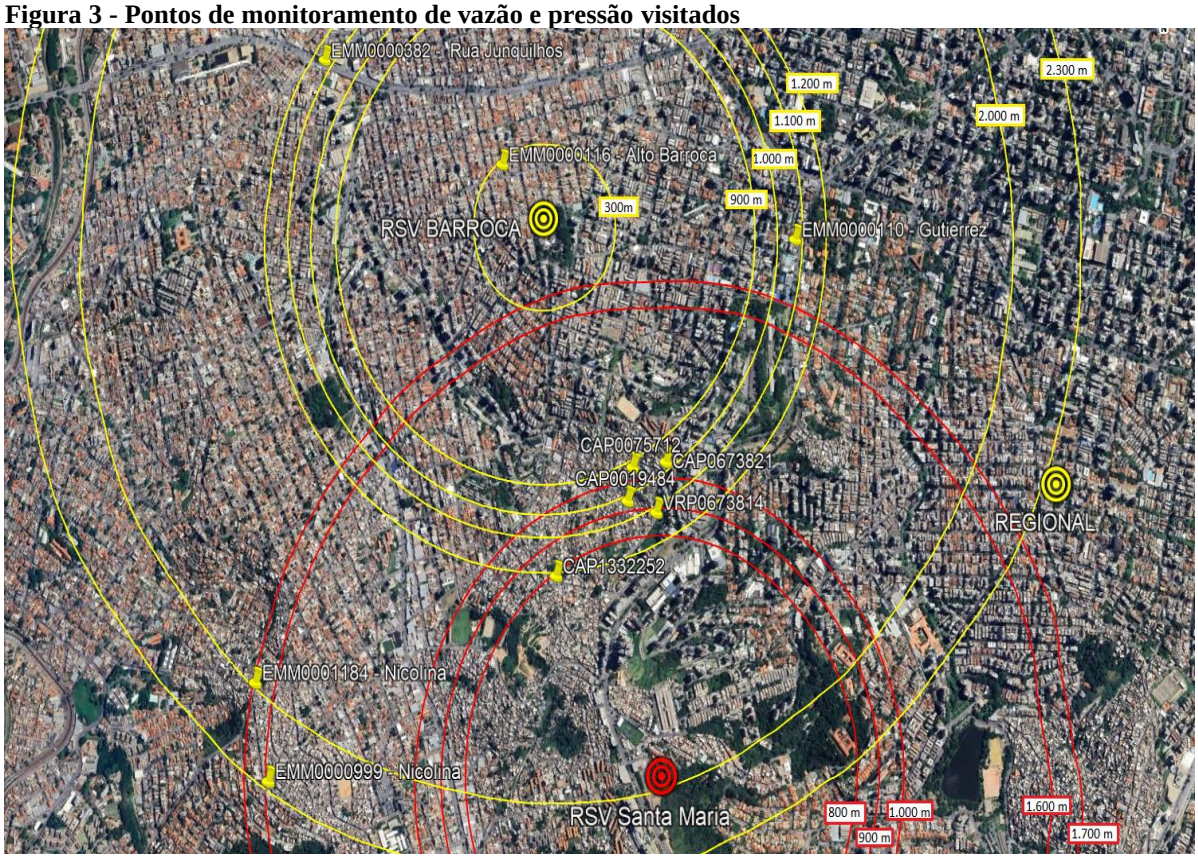
O segundo teste consistiu na visita a 10 (dez) pontos de monitoramento de vazão e pressão da rede de distribuição com os *endpoints LoRaWAN* modelos ITC100SZ do fabricante Khomp (para monitoramento de vazão) e modelo EM500-PP do fabricante Milesight (para monitoramento de pressão). Os gateways utilizados nos testes foram os instalados nos reservatórios Barroca e Santa Maria, modelo UG67 do fabricante Milesight. Os testes em campo foram realizados no dia 17/05/2024. Nesse teste foi avaliada a capacidade de transmissão dos *endpoints* acima do nível do solo até os gateways da COPASA. Os *endpoints* não foram instalados nos pontos de medição (enterrados). A identificação dos pontos de monitoramento é o tag no sistema COPAGIS e sua localização é mostrada na Figura 4 e na Tabela 3. Os pontos de medição selecionados para esse teste ficam localizados dentro de um raio de 2 (dois) km dos gateways.

Tabela 3 - Pontos de monitoramento de vazão e pressão visitados

TAG COPAGIS	Endereço
EMM0000110	Rua General Dionísio Cerqueira, 42 - Gutierrez
EMM0000116	Rua Catete, 356 - Barroca
CAP0673821	Rua Porto Carrero, 226 - Gutierrez
VRP0673814	Rua Gastão da Cunha, 471 - Gutierrez
CAP1332252	Rua Estrada Nova, 220 - São Jorge
CAP0019484	Beco Fernandes
CAP0075712	Rua Jorge de Assis, 260 - São Jorge
EMM0000382	Rua Junquilhas, 276 - Jardim das Alterosa
EMM0000999	Rua Dona Nicolina de Lima, 352 - Havaí
EMM0001184	Rua Dona Nicolina de Lima, 122 - Havaí

Fonte: elaboração própria.

Figura 3 - Pontos de monitoramento de vazão e pressão visitados



Fonte: Elaboração própria com utilização do software Google Earth, 2024.

RESULTADOS OBTIDOS

- **Monitoramento de hidrômetros – Grandes consumidores**

Os resultados dos testes para cada matrícula instalado são mostrados a seguir. As figuras 4 a 13 mostram os nichos de instalação do hidrômetro de cada consumidor e o perfil de elevação dos hidrômetros até o *gateway* instalado no prédio da regional.

Matrícula 21647976 - Rua Carangola, 460 - Santo Antônio, Belo Horizonte – MG

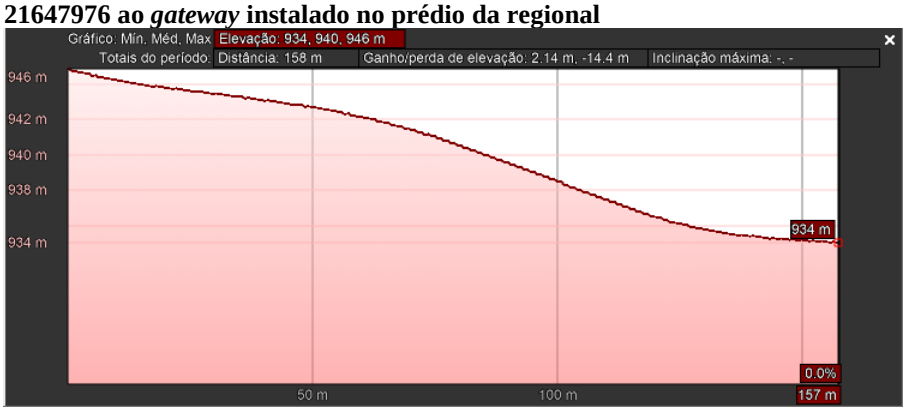
Característica do ponto de medição: nicho em parede com tampa metálica fina.
Distância ao prédio da regional: 158 m.
Endpoint instalado: ITC100SZ, fabricante Khomp.

Figura 4 - Nicho de medição do hidrômetro com *endpoint* instalado - matrícula 21647976



Fonte: Elaboração própria.

Figura 5 - Perfil da elevação na faixa de transmissão do *endpoint* instalado no consumidor de matrícula 21647976 ao *gateway* instalado no prédio da regional



Fonte: Elaboração própria com utilização do software Google Earth, 2024.

Classificação do Sinal: Bom.
Máxima perda de pacotes = 4 pacotes (4 horas).
Data da instalação do endpoint: 05/04/2024.
Leitura do hidrômetro no momento da instalação: 2095.787 m³.
Leitura do hidrômetro em 09/05/2024: 2136.435 m³ / Δ = 40.648 m³.
Leitura endpoint em 09/05/2024: Δ = 40.666 m³.
Leitura do hidrômetro em 11/06/2024: 2178.264 m³ / Δ = 82.477 m³.
Leitura endpoint em 11/06/2024: Δ = 82.482 m³.

Na primeira e segunda verificação, a pequena diferença entre as leituras manuais e as enviadas pelo *endpoint* pode ser atribuída à diferença de horário de registro da leitura manual dos hidrômetros e o exato momento do envio do pacote de dados.

- **Matrícula 11192917 - Rua Congonhas, 809 - Santo Antônio, Belo Horizonte – MG**

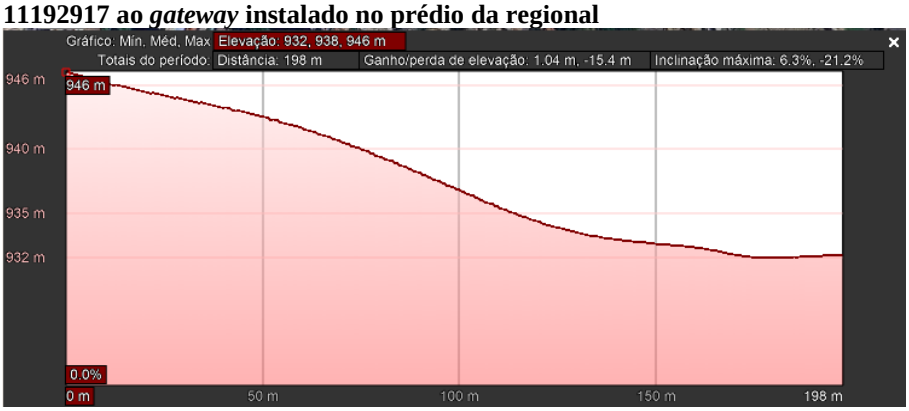
Característica do ponto de medição: nicho em parede sem tampa.
Distância ao prédio da regional: 198 m.
Endpoint instalado: ITC100SZ, fabricante Khomp.

Figura 6 - Nicho de medição do hidrômetro com *endpoint* instalado - matrícula 11192917



Fonte: Elaboração própria.

Figura 7 - Perfil da elevação na faixa de transmissão do *endpoint* instalado no consumidor de matrícula 11192917 ao *gateway* instalado no prédio da regional



Fonte: Elaboração própria com utilização do software Google Earth, 2024.

Classificação do Sinal: Bom.
Máxima perda de pacotes = 4 pacotes (4 horas).
Data da instalação do *endpoint*: 05/04/2024.
Leitura do hidrômetro no momento da instalação: 1161.999 m³.
Leitura do hidrômetro em 09/05/2024: 1227.940 m³ / Δ = 65.941 m³.
Leitura *endpoint* em 09/05/2024: Δ = 65.944 m³.
Leitura do hidrômetro em 11/06/2024: 1283.708 m³ / Δ = 121.709 m³.
Leitura *endpoint* em 11/06/2024: Δ = 121.710 m³.

Na primeira e segunda verificação, a pequena diferença entre as leituras manuais e as enviadas pelo *endpoint* pode ser atribuída à diferença de horário de registro da leitura manual dos hidrômetros e o exato momento do envio do pacote de dados.

- **Matrícula 11032600 - Endereço Rua Sergipe, 1415 - Savassi, Belo Horizonte – MG**

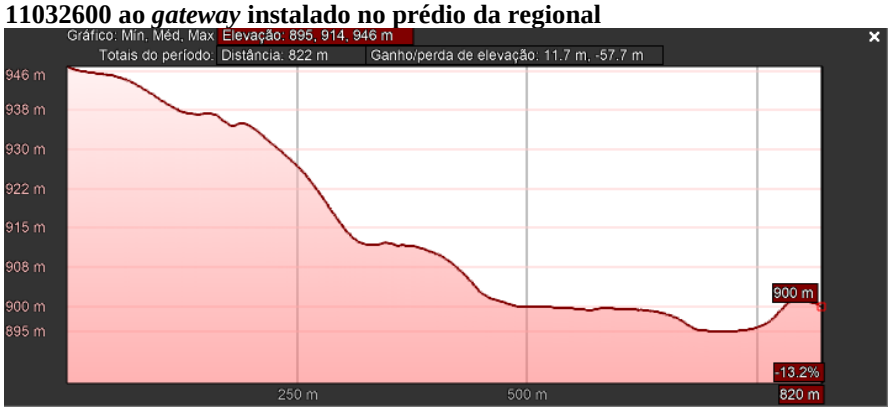
Característica do ponto de medição: nicho em parede com tampa metálica fina.
Distância ao prédio da regional: 822 m.
Endpoint instalado: ITC100SZ, fabricante Khomp.

Figura 8 - Nicho de medição do hidrômetro com *endpoint* instalado - matrícula 11032600



Fonte: Elaboração própria.

Figura 9 - Perfil da elevação na faixa de transmissão do *endpoint* instalado no consumidor de matrícula 11032600 ao *gateway* instalado no prédio da regional



Fonte: Elaboração própria com utilização do software Google Earth, 2024.

Classificação do Sinal: Operável a não operável.
Máxima perda de pacotes = 340 pacotes (2 semanas).
Data da instalação do *endpoint*: 04/04/2024.
Leitura do hidrômetro no momento da instalação: 4096.984 m³.
Leitura do hidrômetro em 08/05/2024 às 14h: 4358.135 m³ / Δ = 261.151 m³.
Leitura *endpoint* em 08/05/2024 às 09:20h: Δ = 245.309 m³.
Leitura do hidrômetro em 11/06/2024 às 10h: 4631.270 m³ / Δ = 534.286 m³.
Leitura *endpoint* em 10/06/2024 às 23:52h: Δ = 529.142 m³.

No exato momento da verificação da leitura do cliente com matrícula 11032600, não foi possível estabelecer a comunicação entre o endpoint e o gateway. Dessa forma, foi registrado o último dado recebido do endpoint antes da verificação em campo. Como a diferença entre as leituras não podem ser avaliadas criteriosamente, observa-se apenas que está correta a indicação de consumo menor pelo endpoint do que a leitura manual, uma vez o dado do endpoint é anterior à leitura, e com valor próximo ao esperado considerando a média diária de consumo do cliente.

- **Matrícula 12260673 - Avenida do Contorno, 7613 - Cidade Jardim, Belo Horizonte – MG**

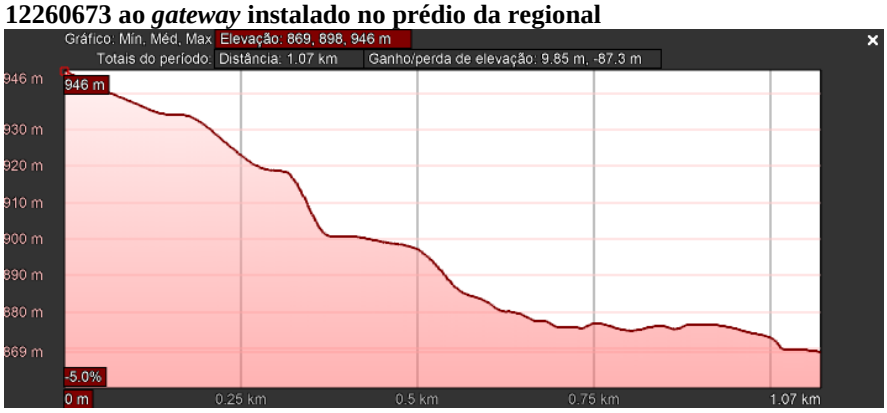
Característica do ponto de medição: nicho em parede sem tampa.
Distância ao prédio da regional: 1.070 m.
Endpoint instalado: ITC100SZ, fabricante Khomp.

Figura 10 - Nicho de medição do hidrômetro com *endpoint* instalado - matrícula 12260673



Fonte: Elaboração própria.

Figura 11 - Perfil da elevação na faixa de transmissão do *endpoint* instalado no consumidor de matrícula 12260673 ao *gateway* instalado no prédio da regional



Fonte: Elaboração própria com utilização do software Google Earth, 2024.

Classificação do Sinal: Operável.
Máxima perda de pacotes = 24 pacotes (1 dia).
Data da instalação do *endpoint*: 04/04/2024.
Leitura do hidrômetro no momento da instalação: 1945.453 m³.
Leitura do hidrômetro em 08/05/2024: 2207.813 m³ / Δ = 262.360 m³.
Leitura *endpoint* em 07/05/2024 às 00:40h: Δ = 259.622 m³.
Leitura do hidrômetro em 11/06/2024: 2466.206 m³ / Δ = 520.753 m³
Leitura *endpoint* em 11/06/2024: Δ = 520.711 m³

Assim como no teste no cliente com matrícula 11032600, no exato momento da primeira verificação da leitura do cliente com matrícula 12260673, não foi possível estabelecer a comunicação entre o *endpoint* e o gateway. Dessa forma, foi registrado o último dado recebido do *endpoint* antes da verificação em campo. Observa-se que também está correta a indicação de consumo menor pelo *endpoint* do que a leitura manual, uma vez o dado do *endpoint* é anterior à leitura, e com valor próximo ao esperado considerando a média diária de consumo do cliente.

Por fim, na segunda verificação, foi observada diferença de 40 litros entre as leituras manuais e as enviadas pelo *endpoint* referente ao hidrômetro com matrícula 12260673 em um total de 520.711 litros, o que representa 0,008% do consumo no período. Parte dessa diferença pode ser atribuída à diferença de horário de registro da leitura manual dos hidrômetros e o exato momento do envio do pacote de dados. Porém, o maior desvio em relação aos demais resultados pode indicar que falha na contagem de pulsos por esse *endpoint*.

- **Matrícula 11032499 – Avenida Getúlio Vargas, 1640 - Savassi, Belo Horizonte – MG**

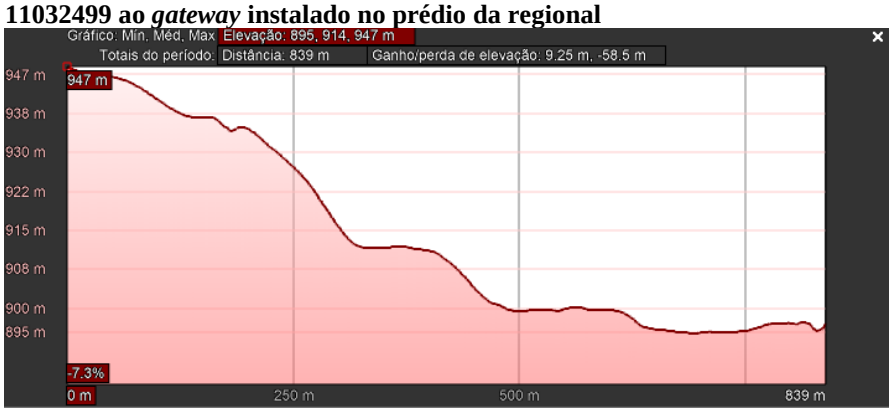
Característica do ponto de medição: nicho subterrâneo com tampa metálica grossa.
Distância ao prédio da regional: 839 m.
Endpoint instalado: ITC200, fabricante Khomp.

Figura 12 - Nicho de medição do hidrômetro com *endpoint* instalado - matrícula 11032499



Fonte: Elaboração própria.

Figura 13 - Perfil da elevação na faixa de transmissão do *endpoint* instalado no consumidor de matrícula 11032499 ao *gateway* instalado no prédio da regional



Fonte: Elaboração própria com utilização do software Google Earth, 2024.

Como não houve sucesso no teste de comunicação com o *endpoint* ITC100SZ no consumidor de matrícula 11032499, foi realizado um segundo teste com *endpoint* ITC200, com utilização de antena externa. Esse *endpoint* não foi conectado ao hidrômetro, apenas instalado no nicho de medição. A instalação foi realizada em 10/06/2024 e a remoção em 13/06/2024. Por se tratar de equipamento de empréstimo pelo fabricante, optou-se por remover o *endpoint* do campo. Foram testados diversos tipos de antena externa com o endpoint ITC200. No teste com sucesso de comunicação, foi utilizada a antena externa mostrada na Figura 14.

Figura 14 - Antena utilizada no teste 2 em conjunto com o endpoint ITC200 do fabricante Khomp



Fonte: Antena Interna 5dBi, 2024 – KHOMP.

Classificação do Sinal: Operável.
Máxima perda de pacotes = 12 pacotes (12 horas).
Data da instalação do endpoint: 10/06/2024

Variáveis da rede de distribuição (pressão e vazão)

Os resultados dos testes para cada ponto de medição de vazão e pressão visitados são mostrados a seguir. As figuras 15 a 31 mostram o perfil de elevação dos pontos de medição até os *gateways* cujo raio de 2 km compreende o local do ponto de medição visitado.

- **Ponto de Medição EMM0000110 – Rua General Dionísio Cerqueira, 42 – Gutierrez**

Distância ao *gateway* do reservatório Barroca: 1.080 m.

Figura 15 - Perfil da elevação na faixa de transmissão do *endpoint* localizado no ponto de medição EMM0000110 ao *gateway* instalado no Reservatório Barroca.



Fonte: Elaboração própria com utilização do software Google Earth, 2024.

- **Ponto de Medição EMM0000116 – Rua Catete, 356 - Barroca**

Distância ao *gateway* do reservatório Barroca: 280 m.

Figura 16 - Perfil da elevação na faixa de transmissão do *endpoint* localizado no ponto de medição EMM0000116 ao *gateway* instalado no Reservatório Barroca.



Fonte: Elaboração própria com utilização do software Google Earth, 2024.

- **Ponto de Medição CAP0673821 – Rua Porto Carrero, 226 – Gutierrez**

Distância ao *gateway* do reservatório Barroca: 1.020 m.
Distância ao *gateway* do reservatório Santa Maria: 1.060 m.

Figura 17 - Perfil da elevação na faixa de transmissão do *endpoint* localizado no ponto de medição CAP0673821 ao *gateway* instalado no Reservatório Barroca.



Fonte: Elaboração própria com utilização do software Google Earth, 2024.

Figura 18 - Perfil da elevação na faixa de transmissão do *endpoint* localizado no ponto de medição CAP0673821 ao *gateway* instalado no Reservatório Santa Maria.



Fonte: Elaboração própria com utilização do software Google Earth, 2024.

- **Ponto de Medição VRP0673814 – Rua Gastão da Cunha, 471 – Gutierrez**

Distância ao *gateway* do reservatório Barroca: 1.160 m.
Distância ao *gateway* do reservatório Santa Maria: 895 m.

Figura 19 - Perfil da elevação na faixa de transmissão do *endpoint* localizado no ponto de medição VRP0673814 ao *gateway* instalado no Reservatório Barroca.



Fonte: Elaboração própria com utilização do software Google Earth, 2024.

Figura 20 - Perfil da elevação na faixa de transmissão do *endpoint* localizado no ponto de medição VRP0673814 ao *gateway* instalado no Reservatório Santa Maria.

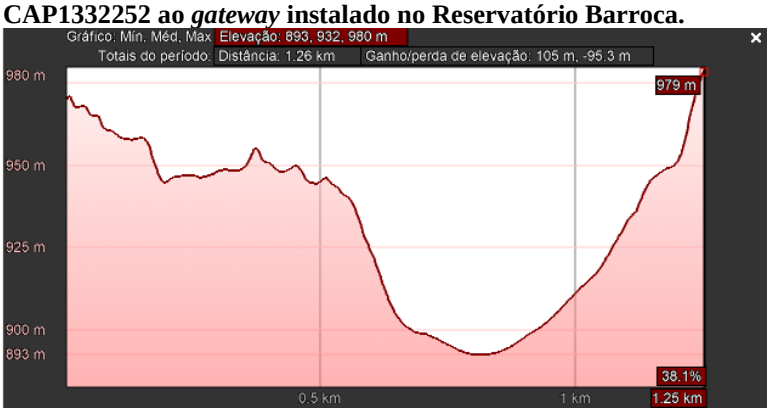


Fonte: Elaboração própria com utilização do software Google Earth, 2024.

- **Ponto de Medição CAP1332252 – Rua Estrada Nova, 220 - São Jorge**

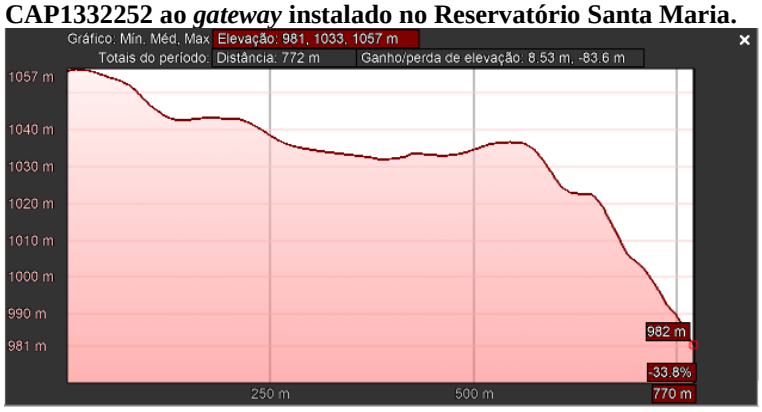
Distância ao *gateway* do reservatório Barroca: 1.260 m.
Distância ao *gateway* do reservatório Santa Maria: 772 m.

Figura 21 - Perfil da elevação na faixa de transmissão do *endpoint* localizado no ponto de medição CAP1332252 ao *gateway* instalado no Reservatório Barroca.



Fonte: Elaboração própria com utilização do software Google Earth, 2024.

Figura 22 - Perfil da elevação na faixa de transmissão do *endpoint* localizado no ponto de medição CAP1332252 ao *gateway* instalado no Reservatório Santa Maria.



Fonte: Elaboração própria com utilização do software Google Earth, 2024.

- **Ponto de Medição CAP0019484 – Beco Fernandes**

Distância ao *gateway* do reservatório Barroca: 1.070 m.
Distância ao *gateway* do reservatório Santa Maria: 938 m.

Figura 23 - Perfil da elevação na faixa de transmissão do *endpoint* localizado no ponto de medição CAP0019484 ao *gateway* instalado no Reservatório Barroca.



Fonte: Elaboração própria com utilização do software Google Earth, 2024.

Figura 24 - Perfil da elevação na faixa de transmissão do *endpoint* localizado no ponto de medição CAP0019484 ao *gateway* instalado no Reservatório Santa Maria.



Fonte: Elaboração própria com utilização do software Google Earth, 2024.

- **Ponto de Medição CAP0075712 – Rua Jorge de Assis, 260 - São Jorge**

Distância ao *gateway* do reservatório Barroca: 976 m.
Distância ao *gateway* do reservatório Santa Maria: 1.050 m.

Figura 25 - Perfil da elevação na faixa de transmissão do *endpoint* localizado no ponto de medição CAP0075712 ao *gateway* instalado no Reservatório Barroca.



Fonte: Elaboração própria com utilização do software Google Earth, 2024.

Figura 26 - Perfil da elevação na faixa de transmissão do *endpoint* localizado no ponto de medição CAP0075712 ao *gateway* instalado no Reservatório Santa Maria.



Fonte: Elaboração própria com utilização do software Google Earth, 2024.

- **Ponto de Medição EMM0000999 – Rua Dona Nicolina de Lima, 352 - Havaí**

Distância ao *gateway* do reservatório Barroca: 2.280 m.
Distância ao *gateway* do reservatório Santa Maria: 1.670 m.

Figura 27 - Perfil da elevação na faixa de transmissão do *endpoint* localizado no ponto de medição EMM0000999 ao *gateway* instalado no Reservatório Barroca.



Fonte: Elaboração própria com utilização do software Google Earth, 2024.

Figura 28 - Perfil da elevação na faixa de transmissão do *endpoint* localizado no ponto de medição EMM0000999 ao *gateway* instalado no Reservatório Santa Maria.



Fonte: Elaboração própria com utilização do software Google Earth, 2024.

- **Ponto de Medição EMM0001184 – Rua Dona Nicolina de Lima, 122 – Havaí**

Distância ao *gateway* do reservatório Barroca: 2.040 m.
Distância ao *gateway* do reservatório Santa Maria: 1.730 m.

Figura 29 - Perfil da elevação na faixa de transmissão do *endpoint* localizado no ponto de medição EMM0001184 ao *gateway* instalado no Reservatório Barroca.



Fonte: Elaboração própria com utilização do software Google Earth, 2024.

Figura 30 - Perfil da elevação na faixa de transmissão do *endpoint* localizado no ponto de medição EMM0001184 ao *gateway* instalado no Reservatório Santa Maria.

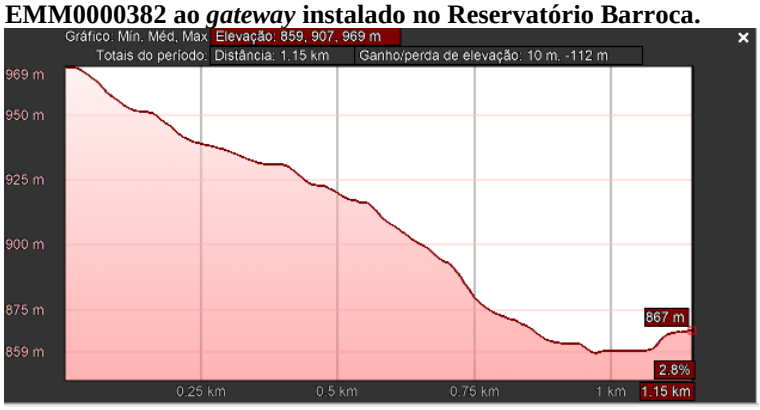


Fonte: Elaboração própria com utilização do software Google Earth, 2024.

- **Ponto de Medição EMM0000382 – Rua Junquilhas, 276 - Jardim das Alterosa**

Distância ao gateway do reservatório Barroca: 1.150 m.

Figura 31 - Perfil da elevação na faixa de transmissão do *endpoint* localizado no ponto de medição EMM0000382 ao *gateway* instalado no Reservatório Barroca.



Fonte: Elaboração própria com utilização do software Google Earth, 2024.

O resumo dos resultados dos testes de transmissão nos pontos de monitoramento da rede de distribuição é mostrado na Tabela 4. Os resultados são apresentados com "SIM" nos casos em que foi estabelecida comunicação entre os *endpoints* e pelo menos um dos *gateways* instalados.

Tabela 4 - Resultados dos testes de comunicação com os *endpoints* modelos ITC100SZ (vazão) e EMM500-PP (pressão) nos pontos de monitoramento da rede de distribuição

TAG COPAGIS	Endereço	ITC100SZ (vazão)	EMM500-PP (pressão)
EMM0000110	Rua General Dionísio Cerqueira, 42 - Gutierrez	**SIM**	NÃO
EMM0000116	Rua Catete, 356 - Barroca	**SIM**	**SIM**
CAP0673821	Rua Porto Carrero, 226 - Gutierrez	NÃO	NÃO
VRP0673814	Rua Gastão da Cunha, 471 - Gutierrez	NÃO	NÃO
CAP1332252	Rua Estrada Nova, 220 - São Jorge	**SIM**	**SIM**
CAP0019484	Beco Fernandes	NÃO	NÃO
CAP0075712	Rua Jorge de Assis, 260 - São Jorge	NÃO	NÃO
EMM0000382	Rua Junquilhas, 276 - Jardim das Alterosa	NÃO	**SIM**
EMM0000999	Rua Dona Nicolina de Lima, 352 - Havaí	NÃO	NÃO
EMM0001184	Rua Dona Nicolina de Lima, 122 - Havaí	NÃO	**SIM**

Fonte: elaboração própria.

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os resultados dos testes apresentados neste relatório permitem avaliar a viabilidade da utilização de rede *LoRaWAN* com equipamentos a bateria para monitoramento de variáveis em locais sem disponibilidade de energia elétrica na região centro-sul de Belo Horizonte.

A partir da análise dos resultados dos testes de monitoramento de hidrômetros de grandes consumidores, conclui-se que o raio de transmissão dos *endpoints* instalados nos nichos de medição é de no máximo 1 (um) km. E, ainda assim, com perda significativa de pacotes de dados. Foi necessário configurar uma maior taxa de transmissão de dados para realização dos testes. Porém, uma maior taxa de transmissão de dados reduz a vida útil das baterias empregadas. O fabricante Khomp informa período de 1 (um) ano e 6 (seis) meses com a taxa de transmissão de dados a cada 1 (uma) hora.

O baixo alcance de transmissão, a elevada perda de pacotes, a alta necessidade de manutenção para troca das baterias e a não garantia de recebimento dos dados demonstram a não viabilidade de implantação de projeto específico utilizando rede *LoRaWAN* para fins de micromedição.

Além da distância ao *gateway*, outras características do ponto de instalação têm forte impacto na qualidade da transmissão de dados. Nos locais em testes, verifica-se grande desnível de relevo, pontos de medição enterrados e enclausurados com cobertura metálica e alta densidade de prédios altos no caminho de transmissão.

Já a análise dos resultados testes de monitoramento variáveis da rede de distribuição (pressão e vazão) permite concluir que o raio de transmissão dos *endpoints* é de no máximo 2 (dois) km. Porém, nesses testes, mesmo com os *endpoints* acima do nível no solo, pôde-se observar o forte impacto da obstrução do caminho de transmissão devido a desníveis do relevo e densidade predial na capacidade de aquisição pelos *gateways* dos dados transmitidos pelos *endpoints*.

CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos nos testes realizados, é importante fazer algumas recomendações para trabalhos futuros utilizando a tecnologia: *LoRaWAN* em aplicações de saneamento:

1. Há dificuldade de criação de rede *LoRaWAN* própria da COPASA devido à necessidade de áreas com elevada altitude, pertencentes à concessionária e com energia elétrica para a instalação de gateways. As principais áreas com essas características na região centro-sul de Belo Horizonte foram objeto de estudo dos testes apresentados neste

relatório. Uma solução para expansão de rede própria de gateways seria a realização de convênios com comércios locais para instalação de gateways. Nesse contexto, de utilização de rede própria de *gateways*, sugere-se também a contratação de parceiros com expertise e facilidade para expansão da rede.

2. Devido às limitações observadas nos testes com arquitetura *LoRaWAN*, para os objetivos de contratação de aquisição remota e automática de dados da micromedição, não é recomendada a indicação da tecnologia de transmissão específica das leituras dos equipamentos de campo para que não sejam limitadas as possibilidades de integração de dados.

3. Entende-se também que não é indicada utilização de rede *LoRaWAN* para aplicações de identificação online de perdas utilizando dados da micromedição devido à não garantia de aquisição dos dados em tempo real.

Através do contato com diferentes fornecedores de tecnologias IoT, foram apresentados protótipos de novos dispositivos de medição com transmissão via telefonia celular e que não requerem suprimento externo de energia elétrica, sendo alimentados a bateria. Porém, esses dispositivos possuem maior custo de fornecimento em comparação aos dispositivos *LoRaWAN* e ainda estão em fase de desenvolvimento e testes. Porém, pode-se justificar a utilização de arquitetura híbrida na composição nas redes de aquisição de dados, utilizando tanto as tecnologias de transmissão via telefonia celular quanto a tecnologia *LoRaWAN* nos pontos de medição sem disponibilidade de energia elétrica.

Por fim, os resultados apresentados nesse relatório demonstram a necessidade na continuidade dos estudos e testes envolvendo o uso de tecnologias IoT com o objetivo de continuar e aprimorar o processo de transformação digital já em curso no ambiente operacional na COPASA levando em consideração a viabilidade financeira e funcional das soluções.

Os testes com a tecnologia *LoRaWAN* terão continuidade em regiões com topografia mais aplanada e menor densidade predial, a exemplo de alguns municípios do interior. Também terão continuidade os testes utilizando diferentes tecnologias *IoT* para monitoramento de variáveis de pressão e vazão das redes de distribuição.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). O Saneamento no Brasil. Disponível em https://www.ana.gov.br/saneamento/. Acesso em: 20/05/2025.

2. QI, Z. et al. A comprehensive framework to evaluate hydraulic and water quality impacts of pipe breaks on water distribution systems. Water Resources Research, Wiley Online Library, v. 54, n. 10, p. 8174–8195, 2018.

3. LOUSADA, S. et al. Modelação de sistemas de abastecimento de água, o caso da ilha da Madeira. Bitácora Urbano Territorial, v. 29, n. 2, p. 89–98, 2019.

4. IBRAHIM,D.S.; MAHDI,A.F.; YAS,Q.M. Challenges and issues for wireless sensor networks: A survey. J. Glob. Sci. Res, v. 6, n. 1, p. 1079–1097, 2021.

5. INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNITON (ITU). ITU-T Y.4480 (11/2021) - Low power protocol for wide area wireless networks. Disponível em: https://www.itu.int/itu-t/recommendations/rec.aspx?rec=14818&lang=en. Acesso em: 20/05/2025.

6. ALL CONECTA. LoRa e LoRaWAN: A Chave para Conectividade de Longo Alcance em IoT. Disponível em: https://allconecta.com/blog/lora-e-lorawan-a-chave-para-conectividade-de-longo-alcance-em-iot. Acesso em: 31/05/2025.

7. KORE WIRELESS. Conheça a rede LoRaWAN. Disponível em: https://br.korewireless.com/blog/conhe%C3%A7a-a-rede-lorawan. Acesso em: 31/05/2025.