



Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Centro de Tecnologia e Ciências

Faculdade de Engenharia

Shirley Ferreira da Silva Weitzel

**Avaliação de Sistema de Monitoramento *Online* da Rede de
Distribuição de Água para Consumo Humano**

Rio de Janeiro

2023

Shirley Ferreira da Silva Weitzel

**Avaliação de Sistema de Monitoramento *Online* da Rede de Distribuição de
Água para Consumo Humano**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de mestre ao Programa de Pós-Graduação em engenharia ambiental, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Gestão Sustentável de Recursos Hídricos.

Orientadora: Rosane Cristina de Andrade

Coorientadora: Alena Torres Netto

Rio de Janeiro

2023

CATALOGAÇÃO NA FONTE
UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC/B

W436 Weitzel, Shirley Ferreira da Silva.
Avaliação de sistema de monitoramento online da rede de distribuição de água para consumo humano / Shirley Ferreira da Silva Weitzel. – 2023.
83 f.

Orientadora: Rosane Cristina de Andrade.
Coorientadora: Alena Torres Netto.
Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Engenharia.

1. Engenharia ambiental - Teses. 2. Abastecimento de água nas cidades - Teses. 3. Controle de qualidade da água - Teses. 4. Água - Distribuição - Teses. I. Andrade, Rosane Cristina de. II. Torres Netto, Alena. III. Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Engenharia. IV. Título.

CDU 628.161.1: 628.14

Bibliotecária: Júlia Vieira – CRB7/6022

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta tese, desde que citada a fonte.

Assinatura

Data

Shirley Ferreira da Silva Weitzel

Avaliação de Sistema de Monitoramento *Online* da Rede de Distribuição de Água para Consumo Humano

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de mestre ao Programa de Pós-Graduação em engenharia ambiental, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Gestão Sustentável de Recursos Hídricos.

Aprovado em: 10 de Julho de 2023

Banca examinadora:

Rosane Cristina de Andrade

Prof.a Dra. Rosane Cristina de Andrade (Orientadora)
Faculdade de Engenharia – UERJ

Alena Torres Netto

Prof.a Dra. Alena Torres Netto (Coorientadora)
Faculdade de Engenharia – UERJ

gov.br

Documento assinado digitalmente

RIZZIERI PEDRUZZI

Data: 13/09/2023 10:14:19-0300

Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof. Dr. Rizzieri Pedruzzi
Faculdade de Engenharia – UERJ

Eliane M. Vieira

Prof. Dra. Eliane Maria Vieira
Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a meus pais que sempre me incentivaram a estudar, ao meu marido que foi meu apoio nesta jornada e ao meu filho que compreendeu meus períodos de dedicação ao meu crescimento profissional.

AGRADECIMENTOS

À professora Dra. Rosane Cristina de Andrade e a professora Dra. Alena Torres Netto pela confiança, orientação e dedicação.

Aos professores participantes da banca examinadora, pelo tempo dedicado em realizar as correções, pelas valiosas colaborações, sugestões e por terem contribuído para realização deste trabalho.

Aos professores e colaboradores da UERJ, pelo tempo concedido e suporte durante essa jornada, em meio à pandemia, se esforçaram para manter a qualidade das aulas.

Aos colegas de turma Andréia Viana, Vinícius Andrade, Fernanda Geraldo e Karina Alencar, pelas reflexões, críticas e sugestões recebidas.

Aos colegas de trabalho Ricardo Mayworm, André Pinheiro, Emerson Silva, Fábio Fonseca e Caio Grossi e ao colaborador Patrick Bueno da Metta Engenharia, por me ajudarem com o fornecimento de informações.

Aos amigos e colegas que fiz pelo caminho neste processo Andréia Viana, Renata Candido e Luiza Cavalcanti, pelo apoio emocional e incentivo durante essa jornada.

A minha gerente Lais Jeronimo de Santi e a Iguá Saneamento, pela confiança em me permitir dissertar sobre esta temática.

Aos meus pais Irani, Luiz e Wilson, irmãos Thaiz e Carlos André, tias Leila e Marilda, marido Rodrigo e filho Nicolás, cujo companheirismo atemporal ignora as distâncias.

O prazer no trabalho aperfeiçoa a obra.

Aristóteles

RESUMO

WEITZEL, Shirley Ferreira da Silva. *Avaliação de sistema de monitoramento online da rede de distribuição de água para consumo humano*. 2023. 83 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2023.

Dadas as proporções do elevado consumo de recurso hídricos e ocupação urbana desordenada, torna-se essencial a implantação e o controle de um sistema de distribuição de água adequado ao consumo humano. Para eficaz gerenciamento desse recurso em rede, a análise dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos da água permite sua caracterização e aponta eventuais problemas na rede, como ligações clandestinas, que podem impactar na qualidade da água fornecida a população, além de elevar o índice de perdas dos sistemas de abastecimento. Sendo assim, o monitoramento destes parâmetros a longo prazo, com a recepção de dados contínuos, possibilita a detecção célere de anomalias na rede e torna-se uma ferramenta importante na garantia da qualidade. Os parâmetros definidos pela Portaria de Potabilidade do Ministério da Saúde, como os mais representativos, para avaliação de qualidade da água em rede de distribuição são pH, Turbidez, Cor, Residual de Cloro, Fluoreto, Coliformes Totais e *E. Coli*. O presente trabalho tem como objetivo detalhar a implantação, validação e funcionamento do sistema de monitoramento *online* de qualidade da água, instalado a partir de uma ramificação na adutora na Caixa de Transição (CAT) do Catonho, umas das cinco CAT do bloco 2 de distribuição água gerido pela Iguá Saneamento, responsável pelo abastecimento dos bairros Barra da Tijuca, Jacarepaguá e adjacências, no município do Rio de Janeiro. Para tal, estudos anteriores foram apreciados, bem como as etapas de instalações e operação de acordo com o manual dos fabricantes e validação por comparação de dados dos equipamentos de monitoramento da rede e análises de bancada. O equipamento instalado na rede de distribuição possui sensores de medição dos parâmetros de cor aparente, cloro residual livre, fluoreto, pH e turbidez, enviado ao servidor de armazenamento por transmissão em rede de celular. Os dados foram avaliados por métodos estatísticos e validados por comparação com análises de bancada. No entanto, os procedimentos de calibração necessitam de aprimoramento para melhorar a correlação comparativa dos dados e a confiabilidade nos mesmos, principalmente nos instrumentos de fluoreto, cor e turbidez. Ainda assim, o acompanhamento em tempo real permitiu a tomada de decisões mais rápida por parte da companhia responsável pela manutenção da rede de distribuição.

Palavras-chave: Monitoramento *online*. Qualidade da água. Validação de dados. Tratamento de dados. Análises estatísticas.

ABSTRACT

WEITZEL, Shirley Ferreira da Silva. *Evaluation of the online monitoring system of the water distribution network for human consumption*. 2023. 83 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2023.

Given the proportions of the high consumption of water resources and disorderly urban occupation, it is essential to implement and control a water distribution system suitable for human consumption. For effective management of this resource in the network, the analysis of the physical-chemical parameters of the water allows its characterization and points out possible problems in the network, like clandestine connections, which can impact the quality of the water supplied to the population, in addition to increasing the loss rate of the supply systems. Therefore, the monitoring of these parameters in the long term, with the reception of continuous data, allows the rapid detection of anomalies in the network and, therefore, becomes an important tool in quality assurance. The parameters defined by the Potability Ordinance of the Ministry of Health, as the most representative, for assessing the quality of water in the distribution network are pH, Turbidity, Color, Residual Chlorine, Fluoride, Total Coliforms and *E. Coli*. The present work aims to detail the implementation, validation and operation of the *online* water quality monitoring system, installed from a branch in the water supply pipeline at water supply sub-duct of Catonho, one of the five water supply sub-duct of distribution block 2 water managed by Iguá Saneamento, responsible for supplying the Barra da Tijuca, Jacarepaguá and adjacent neighborhoods in the city of Rio de Janeiro. For this, previous studies were evaluated, as well as the installation and operation steps according to the manufacturers' manual and validation by comparing data from equipment in network monitoring and bench analysis. The equipment installed in the distribution network has sensors for measuring the parameters of apparent color, free residual chlorine, fluoride, pH and turbidity, sent to the storage server via transmission over a cellular network. Data were evaluated by statistical methods and validated by comparison with bench analyses. However, the calibration procedures need to be improved to improve the comparative correlation of the data and their reliability, mainly in the fluoride, color and turbidity instruments. Even so, real-time monitoring allowed for faster decision-making by the company responsible for maintaining the distribution network.

Keywords: *Online* monitoring. Water quality. Data validation. Data processing. Statistical analyzes.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ligações clandestinas no bairro do Compensa no estado do Amazonas, 2019.	22
Figura 2 – Etapas do sistema de abastecimento de água.....	26
Figura 3 – Histogramas com curva normal: a) Distribuição normal; b) Distribuição não normal.	38
Figura 4 – Gráfico QQ: a) – Distribuição normal; b) Distribuição não normal.....	39
Figura 5 – Áreas de concessão de saneamento público do Rio de Janeiro no ano de 2022.	41
Figura 6 – Mapa com a localização da ETA Guandu e das saídas de abastecimento.	42
Figura 7 – Localização das CAB do Catonho e Urucuia.	43
Figura 8 – Ponto de picagem na subadutora para alimentação do SMO.	44
Figura 9 – Abrigo dos equipamentos de monitoramento da qualidade da água.	45
Figura 10 – Módulos de análise de fluoreto e turbidez.	46
Figura 11 – Módulos de análise de pH, cloro e cor aparente.	46
Figura 12 – Painel elétrico dos componentes complementares do SMO.	47
Figura 13 – Dashboard dos dados de SMO e laboratório com gráfico de concentração	54
Figura 14 – Dashboard comparativo dos dados dos dados de SMO e laboratório com gráfico de dispersão.	55
Figura 15 – Câmara de fluxo dos instrumentos de medição de cloro e pH.	56
Figura 16 – Filtro instalado nos módulos de análise de pH e cloro.	57
Figura 17 – Componente do sistema ótico do módulo de análise de cor aparente. ...	58
Figura 18 – Filtro instalado na linha de alimentação de água do SMO.	59
Figura 19 – Interior do filtro instalado na linha de alimentação do sistema SMO.....	59

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Dispersão, regressão linear e coeficientes de determinação e correlação para os parâmetros de cloro, cor, fluoreto, pH e turbidez.	63
Gráfico 2 – Comparação entre resultados de análises do SMO e de laboratório por gráfico de linhas.	64
Gráfico 3 – Coeficiente de determinação (a) e correlação (b) entre os resultados de SMO e laboratório ao longo do tempo.....	65
Gráfico 4 – Seletividade dos instrumentos do SMO em gráfico de barras com range.	66
Gráfico 5 – Boxplot dos dados de laboratório e SMO.	67
Gráfico 6 – Histograma com curva normal dos dados de laboratório e SMO.....	68
Gráfico 7 – QQplot dos dados de laboratório e SMO.	69
Gráfico 8 – Comparativo dos vieses e erros entre os dados de SMO e de laboratório.	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Estatística descritiva dos dados de SMO.	60
Tabela 2 – Estatística descritiva dos dados comparativos.	62
Tabela 3 – Teste de Shapiro-Wilks dos dados de laboratório e SMO.	70
Tabela 4 – Teste de hipótese para grupo de dados paramétricos e não paramétricos.	70
Tabela 5 – Teste de comparação, incerteza e erro entre os grupos de dados.	71

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ADASA	Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal
ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
ANTT	Agência Nacional de Transportes Terrestres
ARIP	Aterro de Resíduos Industriais Perigosos
CLP	Controlador Lógico Programável
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COT	Carbono orgânico total
CTF	Certificado de Destinação Final
DBO	Demanda bioquímica de oxigênio
DPD	N,N-dietil-p-fenilendiamina
DQO	Demanda química de oxigênio
DZ	Diretriz
EEAT	Estação Elevatória de Água Tratada
EIA	Estudo de Impacto Ambiental
ETA	Estação de Tratamento de Água
ETE	Estação de Tratamento de Efluente
FEEMA	Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente
GPRS	General Packet Radio Service
GSM	Global System for Mobile Communications (Sistema Global para Comunicações Móveis)
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
INEA	Instituto Estadual do Ambiente
IUPAC	International Union of Pure and Applied Chemistry
MBAS	Methylene Blue Active Substances
MTR	Manifesto para Transporte de Resíduos
MS	Ministério da Saúde

NBR	Norma Brasileira
NT	Norma Técnica
OMS/WHO	Organização Mundial da Saúde / World Health Organization
PNMA	Política Nacional do Meio Ambiente
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
PGR	Programa de gerenciamento de riscos
RIMA	Relatório de Impacto Ambiental
SDT	Sólidos dissolvidos totais
SMO	Sistema de Monitoramento <i>Online</i>
SNIS	Sistema Nacional de Informações para Saneamento
SNS	Secretaria Nacional de Saneamento
SGA	Sistema de Gestão Ambiental
SGI	Sistema de Gestão Integrada
SDT	Sólidos dissolvidos totais
SLAM	Sistema de Licenciamento Ambiental do Estado do Rio de Janeiro
SLAP	Sistema de Licenciamento de Atividades Poluidoras
TKN	Nitrogênio de Kjeldahl total

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	15
1. OBJETIVOS	18
1.1. Objetivo Geral	18
1.2. Objetivos Específicos	18
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	20
2.1. Fontes poluentes e caracterização da água	23
2.2. Sistema de distribuição da água.....	25
2.3. Rede de distribuição de água	27
2.4. Legislação Ambiental.....	27
2.5. Monitoramento de qualidade da água	31
2.5.1. Método da análise de bancada	31
2.5.2. Método da análise por sistema remoto.....	33
2.6. Validação de métodos de análises químicas.....	36
2.7. Análises estatísticas.....	38
2.7.1. Histograma e curva normal	38
2.7.2. Testes de hipóteses.....	39
3. METODOLOGIA.....	41
3.1. Estrutura da rede e localização do ponto de monitoramento.....	41
3.2. Implantação do projeto.....	43
3.3. Calibração dos equipamentos.....	48
3.4. Fonte de dados.....	48
3.5. Metodologia de análises laboratoriais.....	48
3.6. Tratamento dos dados do SMO e validação	49
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	54
4.1. Análise em laboratório	55
4.2. Sistema de Monitoramento <i>Online</i> (SMO).....	55
4.2.1. Ocorrências e ajustes nos instrumentos	56
4.2.2. Análise de dados do SMO.....	60
4.3. Comparativo Laboratório x SMO.....	61
4.3.1. Correlação de dados.....	62
4.3.2. Dispersão da dados e outliers	66
5. CONCLUSÃO	72

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	74
REFERÊNCIAS.....	75

INTRODUÇÃO

O acelerado crescimento populacional em conjunto com a ampliação industrial, foram fatores preponderantes no surgimento das grandes Metrôpoles que também demandou a expansão do agronegócio (ARIEIRA, 2017).

Esses elementos são responsáveis pelos impactos causados aos recursos naturais, principalmente aos recursos hídricos, através de ações que promovem o assoreamento e deterioração da qualidade da água dos mananciais, tornando-o escasso por falta de uma gestão sustentável destes recursos. Tem-se ainda o agravamento da desigualdade social tangível no acesso a esse recurso, principalmente em países em desenvolvimento (CETESB, 2022).

O crescimento da população urbana de forma desordenada é um dos muitos aspectos que prejudicam o meio ambiente, pois geralmente leva ao desmatamento e ocupações em áreas de preservação. Tais ações modificam o solo reduzindo infiltração de chuvas, impactando no ciclo hidrológico e na disponibilidade de água (AMÉRICO-PINHEIRO e BENINI, 2018). Além disso, a difícil missão de atender a população que ocupa irregularmente uma região, geralmente sensível ao acesso de órgãos públicos e privados, impulsiona a ocorrência de ligações clandestinas de água e esgoto, o que implica no risco de contaminação cruzada da água e por conseguinte risco a saúde dos indivíduos que a consomem (PROLAGOS, 2020).

Ademais, o despejo irregular de efluente industrial ou de esgoto doméstico interfere no equilíbrio ecológico, promove a poluição do corpo hídrico e dependendo da capacidade de autodepuração deste, é possível que a água disponibilizada para consumo humano não seja considerada potável de acordo com a legislação (ONU, 2022).

Ações como controle do lançamento de poluentes e adequado manejo da água, solo e resíduos são imprescindíveis para garantia da qualidade de vida e proteção do meio ambiente. No que tange o recurso hídrico, dentre as ações eficazes de gerenciamento encontram-se a caracterização de bacias hidrográficas e o monitoramento da qualidade da água (CUNHA e AUGUSTIN, 2014).

Dos objetivos de desenvolvimento sustentável da ONU, o ODS 6 visa implantação do saneamento básico, etapa fundamental para garantir a dignidade humana em grandes metrôpoles e complementado este objetivo, o ODS11 “Cidades e comunidades sustentáveis” busca uma evolução da qualidade de vida da população.

O desenvolvimento de tecnologias que permitam a inserção de inteligência em diversos sistemas urbanos visa minimizar os desafios relacionados a esse processo de urbanização a fim de garantir a saúde e o bem-estar social, em concomitância com a preservação ambiental. Esta inteligência pode ser empregada na análise de expressiva quantidade de dados e informações a respeito da sociedade facilitando a elaboração de novos projetos.

Os sistemas de abastecimento de água visam suprir as necessidades da população com segurança e eficiência que deve ocorrer desde a captação até a rede de distribuição. A infraestrutura subterrânea de distribuição dificulta a detecção de vazamentos levando a altos índices de perdas (SVSA, 2006). Estas perdas também impactam a população financeiramente, pois a conta de água fica mais cara para todos, além do prejuízo ambiental.

De acordo com os dados disponibilizados no Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) (2022), as perdas de água no estado do Rio de Janeiro em 2020 estiveram em torno de 46,7%. Para mitigar tais perdas é necessário realizar e controlar a manutenção de rede periódica e concomitantemente, utilizar-se dos meios tecnológicos para tais fins. Uma dessas tecnologias é o emprego do Geofone, um equipamento que detecta a ocorrência de vazamentos na rede pelo ruído emitido. No entanto, este equipamento possui limitações como a interferência de ruídos externos e há dificuldade de acesso a rede inteira.

Já para o monitoramento da qualidade, as concessionárias de água seguem as determinações dos parâmetros, pontos prioritários e frequências de coletas definidos pela vigilância de qualidade da água, que por sua vez procedem com a coletas presenciais, onde o operador dirige-se ao local, realiza a coleta em frasco esterilizado e encaminha a mesma para posterior análise em rede de laboratório com finalidade de avaliar a integridade do sistema de distribuição (SVSA, 2016). Este procedimento tanto para a vigilância como para as concessionárias demanda tempo, deslocamento e volume de amostragem limitado a capacidade de coleta e análise do funcionário e seu horário de expediente.

Tendo em vista tais limitações, uma das alternativas mais eficientes para que tal controle ocorra é por meio do uso de instrumentos munidos de sensores. O emprego de tecnologia de controle contínuo de parâmetros em pontos estratégicos, permite uma resposta mais rápida a eventos inesperados e, conseqüentemente, a

correção célere de desvios na rede de distribuição (SHANTHOSAM, LAKSHMI e REVATHI, 2018).

A empresa Iguá Saneamento SA recebeu da Cedae, na concessão, a responsabilidade de suprir as necessidades de abastecimento de água e tratamento do esgoto de parcela da população do Rio de Janeiro nos bairros de Barra da Tijuca, Jacarepaguá e adjacências. Para garantir o fornecimento de água, há cinco caixas de transição que recebem água das adutoras advindas da ETA Guandu fornecida pela Cedae. Como estas ramificações das adutoras estão posicionadas em locais distintos e distantes umas das outras, o monitoramento remoto da qualidade da água nestes pontos seria mais viável e eficiente do que a coleta diária pontual realizada por operadores e, posteriormente analisadas em laboratório (IGUÁ SANEAMENTO SA, 2021).

Portanto, o presente projeto propõe-se detalhar os processos de implantação, operação e validação do equipamento destinado ao monitoramento da qualidade de água à distância a fim de possibilitar a tomada de ações corretivas rapidamente em casos de intercorrências na rede que alterem a qualidade da água.

1. OBJETIVOS

1.1. Objetivo Geral

Avaliar a confiabilidade analítica de medidas dos parâmetros de cloro, cor aparente, fluoreto, pH e turbidez de um sistema desenvolvido para utilização de equipamentos de monitoramento *online* da qualidade da água através da validação dos resultados.

1.2. Objetivos Específicos

- Identificar e descrever as etapas de implantação e operação de um sistema desenvolvido para utilização de equipamentos de monitoramento online da qualidade da água;
- Avaliar, estatisticamente, as diferenças entre os dados obtidos pelo monitoramento *online* e pelas análises em instrumentos certificados de campo e bancada;
- Analisar fatores causadores de instabilidade das medições;
- Propor melhorias no arranjo físico para melhor funcionamento dos equipamentos.

Este estudo é constituído dos seguintes tópicos: revisão bibliográfica, expondo um embasamento teórico dos principais conceitos abordados, aspectos fundamentais, projetos já existentes implantados em variados setores e limitações da tecnologia estudada; metodologia, descrevendo o sistema utilizado, o processo de instalação e funcionamento dos equipamentos e sensores, coleta de amostras para análises de bancadas, os ensaios estabelecidos, análise dos parâmetros das mesmas, cálculos associados ao dimensionamento e metodologias comparadas; resultados, expondo os dados experimentais obtidos nas análises físico-químicas; discussão, informando sobre a confiabilidade dos resultados, dificuldades do processo e comparando ao de outras pesquisas; e por fim, a conclusão apresenta as considerações com base nos

objetivos e os resultados discutidos, bem como possíveis recomendações para continuidade do estudo do tema abordado.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Como é sabido, a água é um recurso indispensável para a existência de qualquer tipo de vida, portanto, torna-se imprescindível que todos compreendam a magnitude de sua importância. A tutela deste recurso não só garante a sobrevivência de espécies como permite o desenvolvimento da sociedade (BAIRD e CANN, 2011).

Segundo Clayton (2006), mais da metade do nosso planeta é constituído por água, no entanto, 97% é água salgada, encontrada em mares e oceanos e apenas 0,01% considerada fonte de água doce, encontra-se em mananciais superficiais e subterrâneos. Desse percentual de água doce a maior parte está no subsolo, em aquíferos e lençóis freáticos (ANA, 2016).

Esses dados evidenciam a importância e a necessidade de utilização dos recursos hídricos de maneira sustentável, uma vez que o desperdício de tal recurso traz impactos sociais, econômicos e ambientais.

A maioria das ações sociais geram resíduos que ao serem descartados incorretamente afetam a saúde do meio ambiente, seja por meio de contaminação do solo, do ar e da água e por consequência prejudica a qualidade de vida e saúde dos seres vivos que dele fazem uso (SEBRAE, 2022).

Em 2021, o Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH) divulgou um estudo sobre o histórico do uso consultivo da água. De acordo com as informações divulgadas, o consumo deste recurso está concentrado principalmente em atividades agrícolas, na irrigação, seguido do consumo em grandes centros urbanos e indústrias. Uma vez que é utilizado amplamente em diversas atividades como construção, indústria, geração de energia, entre outros (SNIRH, 2021).

A ONU reforça, no Relatório de Desenvolvimento Hídrico anual de 2021, que o consumo excessivo já provoca escassez hídrica. E esta, vem sendo enfrentada por aproximadamente quatro bilhões de pessoas pelo menos um mês do ano. Ainda, informa que houve o consumo de água dobrou, direta ou indiretamente, comparado ao crescimento da população nas últimas décadas, ou seja, o consumo se dá também na água virtual (água consumida no processo produtivo) e no desperdício (ONU, 2021). Por conseguinte, no Relatório, salientou-se que até 2030 o planeta poderá sofrer um déficit de água de 40% (ONU, 2021).

Após avaliação das 400 principais bacias hidrográficas no mundo, notou-se que há risco de escassez hídrica em diversos países pelos 5 continentes (ONU, 2021). No Brasil, destaca-se que a região Sudeste possui os maiores problemas de gerenciamento de recurso hídricos devido a densidade demográfica e que a região Nordeste é afetada pela escassez de água devido as condições de aridez (ANA, 2016).

Além do aumento da população que sugere a necessidade do aumento do volume de água para atendê-la, ainda deve-se considerar a ocupação desordenada que modifica o solo, diminui a infiltração de água das chuvas nos solos e impacta no volume de água disponível em lençóis freáticos, prejudicando os níveis de corpos hídricos superficiais e a disponibilidade de água (AMÉRICO-PINHEIRO e BENINI, 2018). Ademais, há a possibilidade do comprometimento da água distribuída por ligações de água e despejo de esgoto irregulares (Figura 1), não havendo seguridade de potabilidade da mesma (SNIS, 2021).

Figura 1 - Ligações clandestinas no bairro do Compensa no estado do Amazonas, 2019.



Fonte: Amazonas Factual (2019).

Sob a ótica da Organização Mundial da Saúde (2023), os governos são responsáveis por salvaguardar tal direito à população e devem comprometer-se com a plano de segurança da água. À vista disso, com o propósito de orientá-los, a OMS publicou o manual do Plano de Segurança da Água composto de recomendações globais a respeito de boas práticas da captação até a distribuição do recurso. (WHO, 2023)

Diante dos dados explicitados e de tal cenário, o acompanhamento em tempo real de reservatórios e do sistema de distribuição de água torna-se imprescindível para possibilitar a redução das perdas de água e garantir a qualidade desta à população.

2.1. Fontes poluentes e caracterização da água

Como o uso da água é amplo, as fontes de poluição também são. Diversas atividades antropogênicas produzem águas residuais que sendo despejadas inapropriadamente em corpos hídricos tem como consequência a alteração da concentração de oxigênio, de nutrientes, possível promoção da eutrofização e contaminação. Já a contaminação no solo, essas substâncias infiltram e assim alteram a composição de águas subterrâneas (DEZOTTI, 2008).

As indústrias geram resíduos sólidos, líquidos e gasosos e devem ser responsáveis por destinar para tratamento e descarte adequado. As atividades agrícolas utilizam-se de pesticidas, constituído de produtos tóxicos, e fertilizantes integrados por substâncias orgânicas e inorgânicas, que devem ser usados em quantidades recomendadas e o descarte deve ser feito de forma adequada (BAIRD e CANN, 2011).

Já as atividades domésticas produzem esgoto sanitário composto de matéria orgânica, além de produtos de limpeza, higiene pessoal e medicamentos que contém substâncias tóxicas, devendo ser direcionadas ao tratamento e / ou locais de descarte consciente (AQUINO, BRAUDT e CHERNICHARO, 2013).

Ao eximir-se destas ações e promover despejos diretos em corpo hídrico, os atores responsáveis infringem a lei e assumem o risco de prejudicar a qualidade da água e de impactar na saúde humana e na vida aquática do meio.

A água possui propriedades físicas, químicas e biológicas particulares independentes de receber ou não contribuição antropológica e para atestar sua capacidade de uso para consumo humano direto, destacam-se os principais parâmetros de caracterização e controle da qualidade de acordo com a Portaria GM/MS nº 888 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2021):

- Temperatura: trata-se da energia térmica de um corpo ou substância, sofrendo alterações em corpo hídrico em caso de despejos contendo matéria orgânica, água advinda de trocadores de calor, etc. A alteração deste parâmetro impacta na disponibilidade de oxigênio do meio, na dissolução de substâncias e por conseguinte afeta a biota aquática (LIBÂNIO, 2010).
- pH: corresponde a concentração de íons hidrogênio em solução, mensura a acidez e alcalinidade de substâncias permitindo a determinação de toxicidade

ou de condição favorável a processos de tratamento como a coagulação, floculação e desinfecção (GIORDANO e SURERUS, 2015).

- Turbidez: refere-se a presença de material particulado, suspenso que por sua vez altera a incidência de luz condicionando a água a uma aparência opaca, turva. Este fenômeno pode ser causado por movimentação do solo próximo ao corpo hídrico, presença de algas, plânctons, despejos carregados de partículas. A alta turbidez prejudica o processo de fotossíntese de plantas aquáticas e atrapalha a visibilidade de espécies áqueas, em água potável pode ser associada a filtração ineficiente e consequente presença de cistos e oocistos de protozoários parasitas como *Giardia* e *Cryptosporidium* (LIBÂNIO, 2010).
- Cor: trata-se de uma análise mais sensível comparado à turbidez por detectar a presença de substâncias dissolvidas e assim como a turbidez, este parâmetro também é mensurado pelo desvio na incidência de luz na alíquota analisada. A ocorrência de rios com cor naturalmente escura não é incomum, pode ocorrer devido a substâncias liberadas por vegetação ou bactérias locais, calcário. Mas é comum também o corpo d'água ser afetado por contribuições antropogênicas como resíduos industriais fortemente coloridos (LIBÂNIO, 2010). A quantificação de matérias em suspensão dá-se pela análise de cor aparente, ao centrifugar e filtrar a amostra restam apenas o materiais dissolvido e portanto analisa-se a cor verdadeira:
 - Verdadeira: determinação de cor sem turbidez.
 - Aparente: resulta da combinação de cor verdadeira com turbidez.
- Cloro: esta substância possui propriedades desinfetantes a partir do processo de oxidação de matéria orgânica, é dosada na água antes de ser distribuída a população. A determinação da quantidade deste composto dissolvido visa avaliar a segurança microbiológica (GIORDANO e SURERUS, 2015).
- Fluoreto: a fluoretação da água é uma medida preventiva contra a cárie dental na população, no entanto em altas concentrações pode ter efeito contrário deteriorando o esmalte dos dentes e favorecer outras doenças (LIBÂNIO, 2010).
- Odor: geralmente associado a diluição de substâncias químicas ou gases dissolvidos na água, pode ser indicador da presença de matéria orgânica

sendo decomposta por microrganismos, sais minerais que percolam das rochas ou contribuição antropogênica por despejo de resíduos ou cloração da água para desinfecção (LIBÂNIO, 2010).

- Coliformes fecais, totais e *Escherichia Coli*: são grupos de bactérias, sua detecção evidencia a presença de microrganismos patogênicos na água (VON SPERLING, 2011).
- Clorofila a: é um pigmento e sua concentração está diretamente relacionada a presença de algas no manancial e por conseguinte, ao aumento de nutrientes como fósforo e nitrogênio no meio (LIBÂNIO, 2010).
- Cianobactérias: são organismos que produzem cianotoxinas que podem afetar altamente à saúde de animais e humanos e geosmina que não prejudica à saúde, mas altera o gosto e odor da água. A proliferação deste microrganismo também é influenciada pela disponibilidade de nutrientes no meio (LIBÂNIO, 2010).
- Epicloridrina: compreendido como um composto organoclorado e tóxico, potencialmente cancerígeno, altamente reativo, utilizado como solvente na produção de plástico (UMBUZEIRO, 2012).
- Dureza: corresponde à presença de sais de cálcio e magnésio na água. Em condições de supersaturação precipitam e causam problemas de incrustação e corrosão em tubulações, resiste a ação de sabões e manchas em objetos (VON SPERLING, 2011).

Para atender as necessidades de abastecimento da população, é exigido pelo Poder Público que concessionárias de água tratem e atestem a potabilidade da mesma e o adequado esgotamento sanitário através de relatórios periódicos constituídos da avaliação dos parâmetros citados e outros.

2.2. Sistema de distribuição da água

O sistema de abastecimento de água (SAA) engloba a captação, tratamento, adução e distribuição de água potável destinada ao atendimento da população. Para atendimento da legislação em vigor, a Estação de Tratamento de Água (ETA), é

constituída de processos físicos e químicos para remoção de partículas, impurezas e desinfecção da água. A Figura 2 ilustra as etapas que compõem estes processos, cuja descrição resumida consta no Quadro 1 (VON SPERLING, 2011).

Figura 2 – Etapas do sistema de abastecimento de água



Fonte: A autora, 2023.

Quadro 1 – Descrição das etapas de sistemas de abastecimento de água .

Etapas	Descrição
Captação	Uma estrutura é instalada no corpo hídrico para direcionamento de parte da água para a estação de tratamento
Gradeamento	Remove sólidos grandes carreado em rios como galhos de árvore
Desarenação	Retirada de areia e outros sólidos grosseiros de densidade maior que da água
Coagulação	Adição de polímero coagulante com propriedade de agrupar partículas finas
Floculação	Processo de agitação mecânica controlada após dispersão do coagulante para promover choque entre as partículas a fim de favorecer a aglutinação e formação dos flocos
Decantação	Os flocos formados na etapa anterior, depositam-se no fundo de tanques de sedimentação devido a diferença de densidade com água e posteriormente são removidos
Filtração	Remoção dos sólidos dissolvidos remanescentes através da passagem da água por filtros constituídos de camadas de areia com diferentes granulometrias
Desinfecção	Processo de cloração para eliminar organismos patogênicos no reservatório de contato
Correção de pH	Adição de cal virgem
Fluoretação	Dosagem de fluoreto na água tratada para reduzir casos de cárie dentária na população abastecida

Fonte: Adaptado de Von Sperling, 2011.

2.3. Rede de distribuição de água

Após o tratamento, inicia-se a fase de distribuição cujo sistema de abastecimento é composto por tubulações conhecidas como adutoras, que direcionam a água até as subadutoras também conhecidas como janela de abastecimento, troncos alimentares e caixas de transição e por sua vez ramificam-se pela rede de distribuição, sendo que sua distribuição ocorre por ação da gravidade e/ou por bombeamento nas unidades de Estações Elevatórias de Água Tratada (EEAT) (SABESP, 2023; IGUÁ SANEAMENTO SA, 2021).

Até 2021, a Cedae, Companhia Estadual de Águas e Esgotos do Rio de Janeiro, era a única empresa responsável pela captação, tratamento e adução da água em todo município e de acordo com o Projeto de Saneamento, a área de extensão da rede de água era de 23.300 km (BNDES, 2020). O referido documento relata que de acordo com dados divulgados pelo SNIS em 2017, 89% da população urbana do Rio de Janeiro era atendida e as perdas na distribuição eram de 29%, no entanto o relatório de diagnóstico de gestão da água referente ao ano de 2020 do SNIS informou que as perdas no estado chegaram a 46,7% e na capital a 54,3% (SNIS, 2022).

Em 2017 a Cedae passava por dificuldades financeiras e entendeu que seria difícil atender às metas do novo Marco do Saneamento. O BNDES elaborou o modelo de concessão em blocos cujos leilões ocorreram entre 2021 e 2022, visando assim atingir a meta de universalização com a contribuição das concessionárias, prevendo alcançar 100% de atendimento urbano de água e 90% de esgoto em 20 anos.

2.4. Legislação Ambiental

A Constituição Federal Brasileira, promulgada em 1988, é o principal instrumento legal nacional, a lei na qual fundamenta-se as demais normativas do Brasil. Ao tratar do direito ambiental do país, o artigo 225 expõe a importância do meio ambiente equilibrado e sadio para a manutenção da qualidade de vida da população e estabelece o dever de todos, tanto do Poder Público quanto da sociedade, de preservar e defendê-lo (BRASIL, 1988).

Dos mecanismos legais voltados para gestão e manutenção deste bem público, destacam-se a Lei Federal nº 6.938/1981 que institui a Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA), tendo como objetivo primordial resguardar a qualidade ambiental bem como a conciliá-la com o desenvolvimento socioeconômico a fim de assegurar os interesses da segurança nacional e salvaguardar a dignidade humana (BRASIL, 1981).

Para tal, a PNMA utiliza-se de diretrizes e instrumentos de preservação, prevenção e recuperação a serem empregados por empreendimentos potencialmente poluidores, define os órgãos responsáveis pela manutenção e apoia a pesquisas sobre a temática visando o alcance destes objetivos (BRASIL, 1981).

Com a finalidade de direcionar a tutela ambiental para o amparo à saúde dos corpos hídricos do país, foi elaborada a Lei Federal das Águas nº 9.433/1997 que dispõe da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) (BRASIL, 1997). Esse documento caracteriza a água como recurso limitado e incluem diretrizes, programas e instrumentos a serem utilizados e órgãos responsáveis por implementar a PNRH, discorre sobre a gestão democrática das águas brasileiras cabendo ao Poder Público aprovar e autorizar a exploração, através do direito de outorga e de, também, fiscalizar a qualidade e quantidade fornecida deste recurso à população em prol do direito equitativo de todo cidadão ao acesso à água de qualidade para consumo.

Com foco na implementação da PNRH, o Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos (SINGREH) delibera sobre a estrutura de governança constituída de órgãos e colegiados para a gestão do referido recurso. Para o mesmo fim foi criada, a Lei Federal nº 9.984 de julho de 2000, a Agência Nacional das Águas, hoje conhecida como Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), uma autarquia regulatória do acesso e uso do recurso hídrico de domínio da União, monitora, planeja, elabora e participa de estudos estratégicos dos rios do Brasil (BRASIL, 2000).

Para garantir adequabilidade da água de acordo com o uso ao qual será destinado, é importante realizar o estudo a respeito da classificação do corpo hídrico de acordo com disposto na Resolução CONAMA nº 357/2005 (BRASIL, 2005).

Conforme estabelecido nesta resolução, os corpos hídricos podem ser definidos como de água doce, salina ou salobra e são classificados de acordo com a qualidade em função do uso. Os corpos mais adequados para abastecimento da

população são de água doce e são classificados de acordo com o explicitado o Quadro 2.

Quadro 2 - Classificação de corpos hídricos de água doce dispostos na Resolução CONAMA n° 357/2005.

Classes	Destinação de uso
<i>Especial</i>	Abastecimento para consumo humano, com desinfecção; Preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas e; Preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral.
<i>Classe 1</i>	Abastecimento para consumo humano, após tratamento primário; Proteção das comunidades aquáticas; Recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA n° 274, 2000; Irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película e; Proteção das comunidades aquáticas em Terras Indígenas.
<i>Classe 2</i>	Abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional; Proteção das comunidades aquáticas; Recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA n° 274, 2000; Irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campo de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto e; Agricultura e atividade de pesca.
<i>Classe 3</i>	Abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado; Irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas, forrageiras; Pesca amadora; Recreação de contato secundário e; Dessedentação de animais.
<i>Classe 4</i>	Navegação e; Harmonia paisagística.

Fonte: BRASIL, 2005.

De acordo com o artigo 42, nos casos em que o corpo hídrico ainda não foi classificado, as águas doces devem ser enquadradas na classe 2. Compõe também o texto desta resolução, os parâmetros para avaliação da qualidade dos corpos hídricos superficiais com tal classificação, dos quais destacam-se por contribuir na determinação do Índice de Qualidade da Água (IQA):

- Oxigênio Dissolvido igual ou superior de 5 mg/L de O₂;
- Turbidez de até 100 UNT;
- DBO₅ a 20 °C de até 5 mg/L de O₂;
- Fósforo total de até 0,030 mg/L;
- pH de 6,0 a 9,0;
- Coliformes termotolerantes;
- Temperatura da água;
- Nitrogênio total de até 3,7 mg/L (limite varia com o pH);
- Resíduo total virtualmente ausentes.

O IQA foi criado nos Estados Unidos e implantado no Brasil a partir de 1975. Este indicador mensura a partir de dados físicos, químicos e biológicos e seus respectivos pesos a qualidade da água bruta para uso com finalidade de abastecimento público (ANA, 2021).

Para a mesma finalidade, voltado para classificação e estabelecimento de diretrizes ambientais de águas subterrâneas, padrões foram estabelecidos na Resolução CONAMA nº 396/2008 (BRASIL, 2008).

Visando a garantia do padrão de potabilidade da água para atendimento da população, o Programa Nacional de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano (VIGIAGUA) estabelece e executa ações preventivas e corretivas sob possíveis contaminações da água em prol da saúde humana. São de competência da Vigilância Sanitária ações como:

- Monitoramento da qualidade da água e subsequente análise dos dados;
- Capacitação de inspetores de sistema de abastecimento;
- Disponibilização do Sistema de Informação de Vigilância da Qualidade da Água (SISAGUA) e
- Publicação de boletins periódicos.

A ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária) se fundamenta na Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021, para controlar a qualidade da água e fiscalizar as concessionárias responsáveis pelo tratamento deste recurso e/ou distribuição do mesmo à população (BRASIL, 2021).

Com base na Portaria GM/MS nº 888/2021, há mais de 80 parâmetros a serem analisados, com frequências que variam de horária a semestral, para avaliar a qualidade da água. No entanto, destacam-se como os mais representativos com maior frequência de análise os seguintes parâmetros indicadores de qualidade: Cor aparente, Cloro residual livre, Fluoreto, pH, Turbidez, Odor, Coliformes Totais e *Escherichia Coli* (BRASIL, 2021).

Além da Vigilância Sanitária, a AGENERSA (Agência Reguladora de Energia e Saneamento Básico do Estado do Rio de Janeiro) também fiscaliza as concessionárias e requisita relatórios mensais a despeito da qualidade da água na saída do tratamento das ETA para controle de conformidade das unidades.

Apesar dos inúmeros esforços das empresas responsáveis pelo tratamento e/ou distribuição da água para garantir que a população receba água potável em quantidade e qualidade adequada, a ocorrência de interferências não autorizadas como ligações clandestinas, neste sistema de distribuição intervém no alcance deste objetivo. Eventos como este devem ser mitigados através de três fatores: fiscalização, prevenção e punição (WERNECK e RIBEIRO, 2019).

2.5. Monitoramento de qualidade da água

Como já abordado em tópicos anteriores, para determinar as características da água a ser consumida, é imprescindível que o monitoramento da qualidade se dê por meio de uma combinação de práticas. O método clássico envolve as etapas de coleta de amostra em campo e análise em laboratório. Já o monitoramento *online* precisa de instalação de sensores na rede por equipe especializada.

2.5.1. Método da análise de bancada

Este método é composto de cinco etapas: coleta, transporte, preparação da amostra, análise e registro de acordo com a NBR 15847 (ABNT, 2010). Cuja execução deve ser desempenhada conforme Procedimento Operacional Padrão (POP) do empreendimento, mediante a utilização de mão de obra especializada e fundamentado segundo as metodologias normalizadas constantes no *Standard Methods* (APHA et al, 2022), EPA SW 846 (Environmental Protection Agency), normas ABNT, normas internas, normas diversas aplicáveis, metodologias de análise e

legislação pertinente. Tais normativas preconizam aspectos relevantes para a garantia da idoneidade dos resultados.

As técnicas de quantificação adotadas à luz das normas de padronização são (APHA, 2022):

- Cloro residual livre: a medição do teor residual após o processo de desinfecção da água cumpre-se por método iodométrico, o amperométrico ou colorimétrico com uso de DPD, um indicador químico de oxirredução. O DPD reage com cloro livre desenvolvendo uma coloração vermelha, a intensidade da cor é proporcional a concentração de cloro. Esta análise deve ocorrer imediatamente após a coleta, a variação de temperatura, incidência de luz e bolha de ar podem interferir na leitura.
- Cor: mensura-se a intensidade de cor por comparação da amostra com a solução padrão de cloroplatinato de potássio em cloreto de cobalto, mas usualmente denominado padrão de platina-cobalto através de método colorimétrico ou por espectrofotometria. Este parâmetro é dependente proporcionalmente do pH e esta análise em equipamento digital pode sofrer interferência se houver bolha de ar na amostra.
- Fluoreto: os níveis deste íon podem ser quantificados pelos métodos cromatográfico, eletrométrico ou espectrofotométrico com uso do reagente SPANDS. Assim como na análise de cloro, o indicador SPANDS reage com fluoreto e desenvolve coloração vermelha, no entanto a intensidade e a concentração de fluoreto são inversamente proporcionais.
- pH: este parâmetro varia de 0 a 14, classifica-se como neutra a amostra com pH 7, abaixo deste valor categoriza-se como ácida e acima de 7 abarcam as amostras básicas. Os aparelhos mais comuns disponíveis no mercado quantificam por potenciometria ou colorimetria. Variação de temperatura e presença de óleos e graxas interferem nesta análise.
- Turbidez: o espalhamento de luz é mensurado pelo método visual ou a partir da comparação da amostra com o padrão para calibração de instrumento, geralmente composto por polímero formazina pela técnica nefelométrica e detectores fotoelétricos. Materiais grosseiros, bolhas de

ar e condensação da superfície da cubeta podem prejudicar a precisão de leitura.

Apesar do método de bancada exigir deslocamento de técnico capacitado, tendo em vista a inviabilidade financeira e logística da implantação de equipamentos de monitoramento dos parâmetros de água em cada residência, este método é essencial para garantir a representatividade da rede, para o acompanhamento periódico da qualidade da água.

2.5.2. Método da análise por sistema remoto

O monitoramento *online* é composto por diversos equipamentos, associado a tecnologia que permite o acompanhamento constante com o objetivo de digitalizar sistemas e de oportunizar o gerenciamento inteligente. Pode ser aplicado em situações como: monitoramento preditivo, estabilidade de barragem, fenômenos naturais como abalos sísmicos, condições climáticas, comportamento de cursos d'água e avaliação da qualidade da água em rede de distribuição (JESUS, 2019; SILVA, 2019; VENDEMIATTI, 2020).

Este método evita o deslocamento frequente de um profissional ao local de coleta e a possível contaminação de amostras. Em sistemas de monitoramento mais avançados, o intervalo entre análises é de minutos, a detecção de interferência na rede dá-se em tempo real, seja por tratamento indevido da água, seja por vazamento que podem ocorrer por problemas estruturais na tubulação ou por tentativa de ligação clandestina. Possibilitando a ação sobre esses e outros contratempos mais rapidamente (VENDEMIATTI, 2020).

Este sistema de monitoramento é comumente composto por painéis controladores de carga e sensores de medição de fluxo contínuo. Os painéis controladores de carga são responsáveis por determinar o tempo em que se encontra ligado os sensores, assim podendo selecionar o tempo de operação dos sensores, aumentando a vida útil do mesmo (THOMAZINI e ALBUQUERQUE, 2020).

Referências como Thomazini e Albuquerque (2020) et al., Warkentin e Benedito (2015), Vendemiatti (2020), Monteiro (2020) e Leal Junior (2019) relatam que os painéis de medição e controle de carga são constituídos por:

- Controlador Lógico Programável (CLP): Responsável por sustentação e controle da carga de energia;

- HUB: local em que os dados são centralizados para posterior redistribuição e compartilhamento de modo contínuo.
- Nobreak: dispositivo de proteção a sobrecarga elétrica, compensa as variações de energia através do uso de bateria própria para fornecer energia elétrica estável de backup para computadores, servidores e outros dispositivos eletrônicos.
- Comunicação e distribuição de dados: uma das alternativas é o GPRS (Serviço de Rádio de Pacote Geral), trata-se de um serviço comunicação em modos gerais, é o método de transmissão de dados por pacote para a rede Global System for Mobile Communications (GSM) para fornecer acesso à Internet, atualmente aos utilizadores de terminal móvel. As formas de comunicação por cabeamento apresentam melhor confiabilidade de transmissão de dados, mas são inviáveis para longas distâncias por necessitar de estruturação. Há também a passagem de informação por Wi-Fi, porém a transmissão pode ser prejudicada mais facilmente por interferências e instabilidades.
- Dentre os métodos de comunicação por GPRS podemos destacar os chips a comunicação M2M (machine-to-machine) é o sistema de comunicação podendo ser utilizado por GPRS ou cabeamento utilizando chips de melhor forma de comunicação, comumente chamados chips em branco é específico para área de automação, pois possui maior confiabilidade de comunicação e geração de uma rota através do ICCID do chip, sendo possível protocolar a comunicação do mesmo através de quaisquer operadora de forma independente, e comunica-se apenas com máquina que tenha registrado este ICCID. Em caso de perda de comunicação com o CLP por oscilação ou falta de energia, a automação programa o direcionamento dos dados para o M2M cujo sistema armazena e comunica informações de localização por GPS por este e os dados analisados também através de um acesso ao data logger do equipamento. Por tratar-se de um chip em branco, independente da operadora que o forneça, o mesmo aceita sinal (rota) de qualquer operadora a fim de manter a comunicação constante.

- VPN: estabelece conexão segura em rede sem fio ao usar em rede públicas. Protege a rede ocultando o endereço IP do usuário.
- Hardware de armazenamento de dados: HD, cartão de memória ou micro SD.
- Data logger: Armazena informações sobre preferências de desligamento do sistema em caso de falha de energia, ou seja, define a ordem de desligamento dos equipamentos de acordo com a importância e relevância dos dados enquanto aguarda o reestabelecimento a energia antes do desligamento total.
- File Transfer Protocol (FTP): servidor em nuvem para o qual os resultados das medições são enviados.
- Debouce: hardware ou software que desempenha a função de amortecer oscilações indevidas de sinal.

Já os medidores são constituídos de sensores, conversor analógico-digital.

Em suma, os dados registrados no equipamento são guardados em dispositivo de armazenamento e por vias de comunicação, são direcionados para um sistema que permita o acesso a essas informações.

Na literatura, diversos trabalhos contribuem para o tema com o intuito de avaliar parâmetros remotamente através de medidores eletrônicos.

Em consonância com informações sobre comunicação já citadas, a empresa Fondriest (2014) enuncia sobre a telemetria (comunicação sem fio) empregada no monitoramento ambiental, inclusive da qualidade da água via satélite, rádio ou rede de celular. A aplicação da comunicação por rádio é viável para curtas distâncias entre o equipamento e a unidade receptora dos dados, além disso esta forma de comunicação depende de estação base de rádio que funciona como um Hub transferindo os dados ao servidor em nuvem no qual o monitoramento é visualizado. Para sanar o infortúnio da distância geográfica, uma alternativa seria o sistema de telemetria via celular que apesar da dependência de um plano de pacote de dados, este recurso possibilita o envio de dados de qualquer lugar que receba sinal de celular.

Daigavane e Gaikwad (2017) dissertam a respeito do monitoramento de qualidade da água por um sistema de baixo custo constituído da combinação de um conjunto de hardwares e softwares conhecido como Internet das Coisas ou IoT (*Internet of Things*). Em seu experimento, foram utilizados sensores que mediam os

parâmetros temperatura, pH, turbidez e vazão. Sendo os sensores conectados a um microcontrolador responsável pela coleta de dados e envio via internet por módulo Wi-Fi através do protocolo TCP/IP.

Vendemiatti (2020) desenvolveu um estudo sobre detecção de vazamento em rede de distribuição residencial. Sistema constituído por 18 microcontroladores, para medir pressão e vazão. Considerou como a melhor via de comunicação a rede LoRaWAN devido ao baixo custo e consumo energético, mas a tecnologia dependia de equipamento específico para tráfego de dados que estava indisponível, então utilizou a rede Wi-Fi, uma alternativa para a comunicação via internet para que o estudo fosse aproveitado posteriormente no desenvolvimento de sistema capaz de identificar a localização de vazamentos associado a um geofone. O autor também destaca que foram detectadas falhas no recebimento de dados ao empregar servidor baseado em Windows e Linux e que o sistema ainda precisa de melhorias para aplicar o consumidor industrial.

No âmbito do monitoramento da qualidade da água em tempo real, Monteiro (2020) propôs um sistema com base em nuvem de telecomunicações de IoT para acompanhamento contínuo dos parâmetros pH, temperatura, turbidez, oxigênio dissolvido, sólidos totais dissolvidos e condutividade. A comunicação deu-se por rede de celular por módulo GPRS/GSM. Empregou servidor Linux com banco de dados Firebird e SQLite. Além disso, o sistema proposto possui aplicativo em versão Android para celular capaz de emitir alerta caso alguma das medições exceder os limites pré-determinados.

Portanto, o emprego viável do monitoramento remoto está consolidado em diversos estudos, no entanto a busca por implantação a baixo custo, confiável e em larga escala segue em contínuo aprimoramento.

2.6. Validação de métodos de análises químicas

Validação nada mais é que determinação por exame e evidências do atendimento de requisitos específicos para o uso programado. Para a garantia da qualidade dos resultados, o processo de validação de determinado método analítico consiste em assegurar a confiabilidade dos resultados obtidos através da comparação

dos mesmos com resultados obtidos por meio de métodos previamente validados (INMETRO, 2020).

A ISO é um dos órgãos internacionais que estabelecem as condicionantes de uma análise eficaz, as normas brasileiras da ANVISA e do INMETRO baseiam-se na norma ISO 17025 (ABNT, 2005) do referido órgão para definir os requisitos de validação nacional, a validação de metodologia analítica.

Para tal, deve-se contar com profissional habilitado, capacitado e qualificado, padrões e reagentes de calibração dentro da validade, equipamentos calibrados, ambiente laboratorial com devida assepsia e controle de temperatura.

Faz-se assim necessário cálculos estatísticos para avaliação dos métodos, sejam quais:

- Seletividade: Demonstra a capacidade de determinar o analito de importância de forma inequívoca em meio a outras substâncias da amostra. Caso este não seja qualitativamente assegurado, a linearidade, exatidão e precisão ficam comprometidos.
- Linearidade: Corresponde à capacidade do método de quantificar resultados diretamente proporcionais a concentração do analito na alíquota.
- Exatidão: Os demais parâmetros de validação convergem para obter a exatidão. Refere-se a comparação os valores obtidos de análises de amostra com os valores quantificados na análise da amostra de referência.
- Precisão: Demonstra quantitativamente a repetibilidade, dispersão dos resultados em amostras com diferentes concentrações. Há ocorrência de erros aleatórios em processos de validação, a consistência nas condições de execução das análises mitiga-os.
- Limite de quantificação: Representa a menor quantidade de analito que o equipamento consegue mensurar com precisão e exatidão.
- Limite de detecção: Refere-se a menor concentração do analito de interesse que o equipamento consegue detectar.
- Robustez: corresponde a sensibilidade do equipamento face a pequenas variações até de fatores externos. Uma das maneiras de avaliar é através do gráfico de dispersão por comparação de dados teóricos e dados experimentais.

Comparação das análises de amostra com as análises de solução padrão é procedimento adequado para processo de validação.

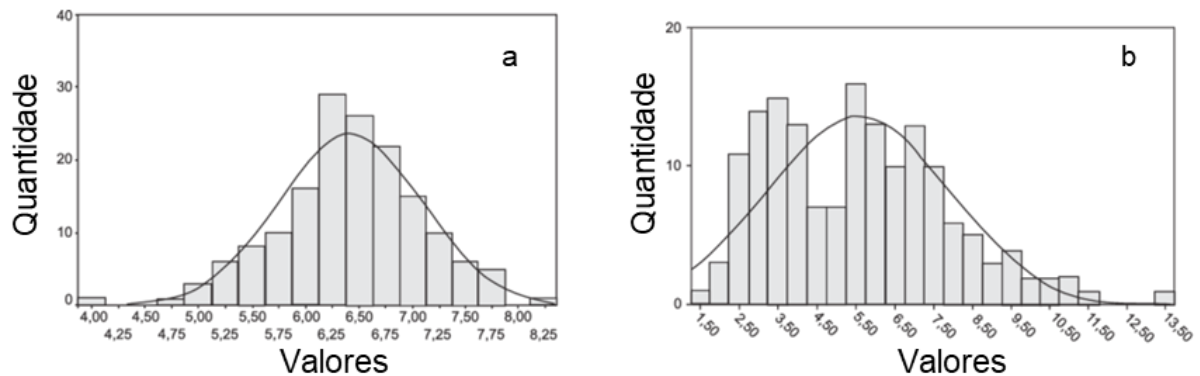
2.7. Análises estatísticas

2.7.1. Histograma e curva normal

A distribuição normal ou Gaussiana é a probabilidade de grande quantidade de dados quantitativos de um certo grupo estarem concentrados em torno da média dessas amostras. Possui proporções com o desvio padrão. Já a representação da distribuição de frequências dos dados pode ser estruturada por meio de gráficos a fim de expô-los de maneira rápida e concisa como o gráfico de barras, quando este é constituído de intervalos proporcionais as classes fica conhecido como histograma (LOPES, 2003; MORETTIN e BUSSAB, 2017).

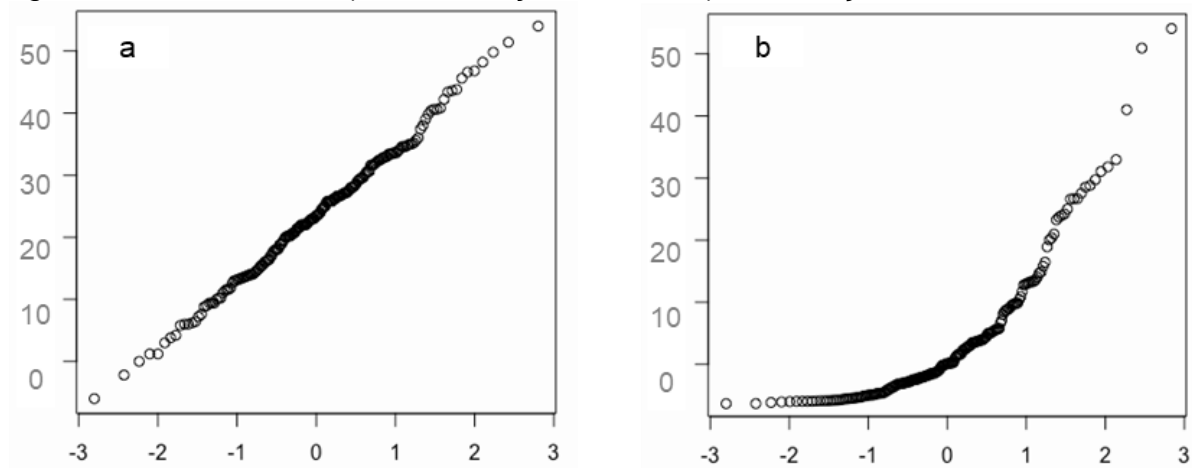
Para determinar a normalidade ou não de um grupo de informações, visualmente dá-se por meio da comparação do histograma com a curva normal (Figura 3) ou ainda pelo gráfico QQ considerando a linearidade de valores reais e esperados comparativamente (Figura 4) (MORETTIN e BUSSAB, 2017).

Figura 3 – Histogramas com curva normal: a) Distribuição normal; b) Distribuição não normal.



Fonte: Adaptado de MORETTIN e BUSSAB, 2017.

Figura 4 – Gráfico QQ: a) – Distribuição normal; b) Distribuição não normal.



Fonte: A autora, adaptado de MORETTIN e BUSSAB, 2017.

No entanto, os gráficos são métodos subjetivos e sendo assim imprecisos, e quando apoiados em métodos quantitativos evita interpretação equivocada, um dos testes disponíveis estatisticamente recomendado para reduzir os erros é o de Shapiro-Wilk, como exemplo, o mesmo foi aplicado por Luo e Yang (2017) na avaliação de distribuição dos dados, bem como testes de hipóteses no estudo de detecção de poluição da água. A hipótese avalia comparativamente o desvio com relação a distribuição normal. Caso o valor calculado p seja maior que 0,05 significa que as amostras vêm de uma distribuição normal, a hipótese alternativa indica que a distribuição em estudo é significativamente diferente da distribuição normal (MORETTIN e BUSSAB, 2017).

2.7.2. Testes de hipóteses

Os testes de hipóteses determinam se há diferença entre os dois grupos de amostras através do intervalo de confiança. Para este teste, caso a distribuição seja normal, ou seja, a média representa bem o grupo de valores, utiliza-se modelos paramétricos para dar sequência às análises estatísticas como teste T-Student e análise de variância. Caso não seja uma distribuição normal, há ferramentas estatísticas como teste de Fried e Kruskal-Wallis (LOPES, 2003).

Posteriormente, para correlacionar dois grupos de dados, caso ambos obedeçam a parâmetros normais de distribuição pode-se usar a correlação de Pearson, caso não se utilize a correlação de Sperman (LOPES, 2003).

Além disso, a diferença do valor indicado no sistema e o valor esperado pode representar erro de medição de caráter sistemático (precisão sem exatidão), aleatório (sem precisão) ou grosseiro (sem precisão e exatidão). Esta análise dá-se pelos indicadores de desempenho comparativo de condições de contorno (BORGE et al., 2010).

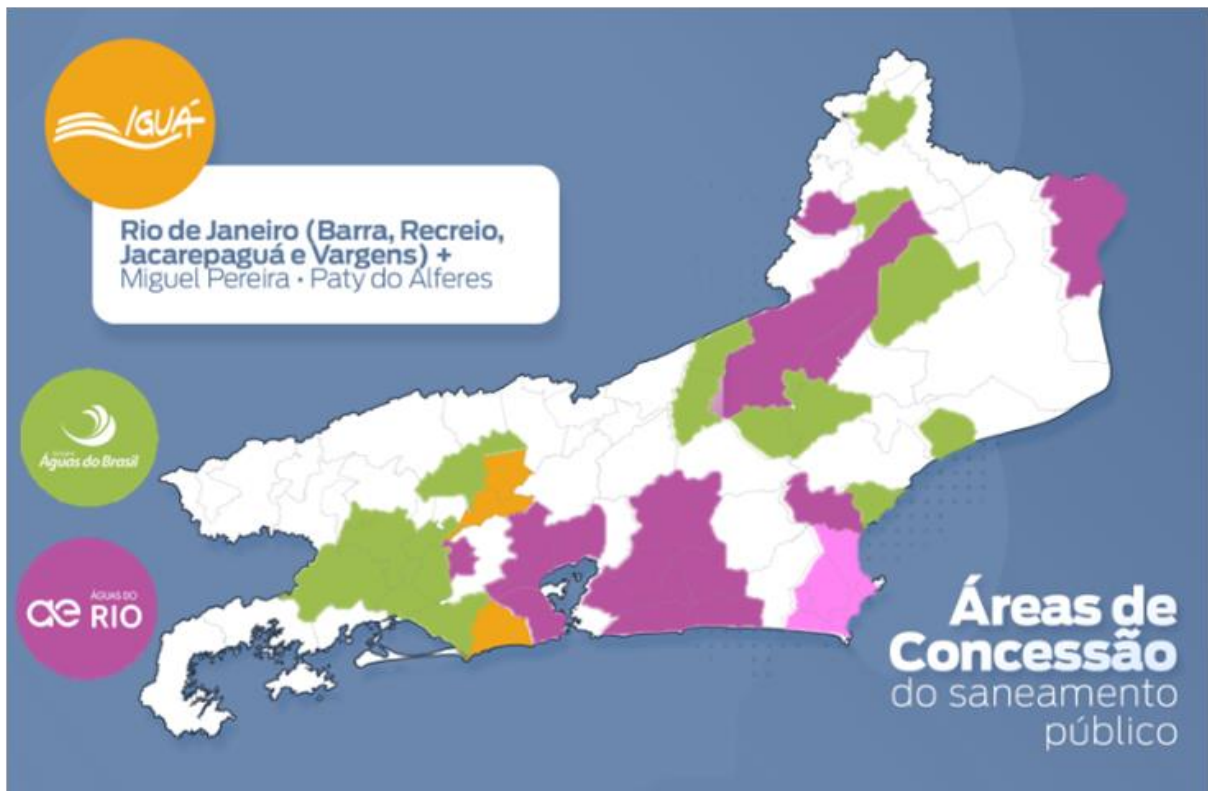
3. METODOLOGIA

O exposto trabalho configura uma pesquisa exploratória de natureza quantitativa e qualitativa através de estudo de casos do sistema de monitoramento *online* do sistema de rede de distribuição do bloco 2 do Rio de Janeiro, apoiando-se na técnica experimental para a obtenção de dados.

3.1. Estrutura da rede e localização do ponto de monitoramento

Com a concessão do serviço de água e esgoto, a área de atuação da Cedae foi dividida em quatro blocos e cada bloco abastece alguns bairros da região metropolitana e outros municípios do estado do Rio de Janeiro: O bloco 1 e o bloco 4 são, atualmente, operados pela empresa Águas do Rio. O grupo Águas do Brasil o bloco 3 e o bloco 2 pela Iguá Saneamento SA (Figura 5).

Figura 5 – Áreas de concessão de saneamento público do Rio de Janeiro no ano de 2022.



Fonte: adaptado de Cedae, 2022.

No bloco 2, há 5 saídas na adutora principal como pontos focais da condução da água ao sistema de distribuição. São estas: Teixeira, Boiuna, Catonho, Urucuia e Albano. Cujas janelas de abastecimento são o ponto inicial da distribuição de água neste bloco, atendendo a cerca de 1.200.000 de pessoas nos bairros de Jacarepaguá, Barra da Tijuca, Recreio do Bandeirantes, Freguesia, Taquara, Praça Seca, Pechincha, Cidade de Deus, Vargem Grande, Vargem Pequena, Tanque, Boiúna, Gardênia Azul, Curicica, Camorim, Grumari, Itanhangá, Joá e Anil.

As caixas de transição (CAT) Catonho e Urucuia são responsáveis por 80% do abastecimento da rede de distribuição do Bloco 2, então a implantação do monitoramento foi iniciado nestas unidades. Além disso, as janelas Teixeira, Boiuna e Albano estão localizadas em pontos sensíveis e de difícil acesso, no entanto estudos para a implantação do sistema na Janela Boiuna já foram iniciados (Figura 6).

Figura 6 – Mapa com a localização da ETA Guandu e das saídas de abastecimento.



Fonte: A autora, 2023 (Data de acesso: 30 de agosto de 2023).

A CAT do Catonho está localizada na Estrada do Catonho no bairro de Jardim Sulacap, foi escolhido como o primeiro dos pontos a receber o sistema de monitoramento *online* por ser o ponto de mais fácil acesso. A adutora neste ponto

possui o diâmetro nominal DN1500 cujo sistema está devidamente instalado e em fase de validação e na CAT de Urucuaia ainda está em fase de instalação (Figura 7).

Figura 7 – Localização das CAT do Catonho e Urucuaia.

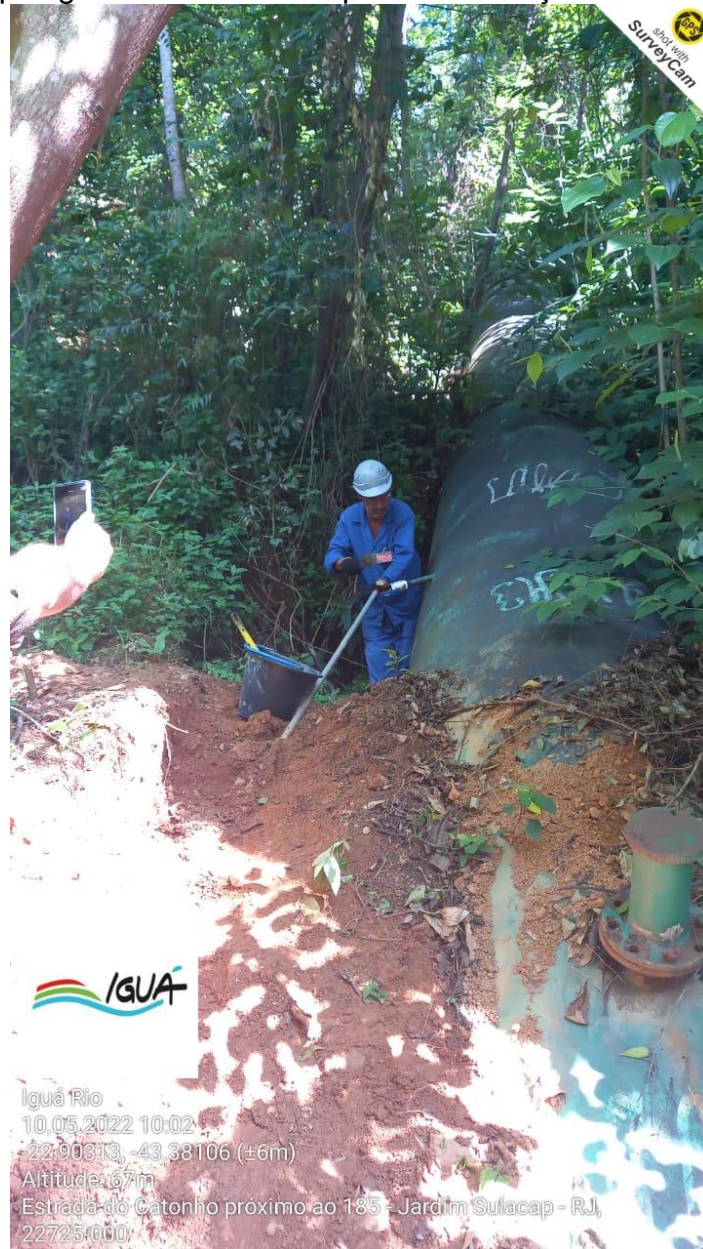


Fonte: A autora, 2023 (Data de acesso: 30 de agosto de 2023).

3.2. Implantação do projeto

A empresa Metta Engenharia foi contratada pela Iguá para buscar no mercado o sistema de monitoramento mais adequado às especificidades da empresa. A primeira fase foi constituída de reuniões de definição, plano de gerenciamento e o desenvolvimento do projeto de engenharia executado pela empresa prestadora de serviços, Metta Engenharia. A segunda fase consistiu na construção de estrutura de alvenaria para a proteção do painel elétrico e dos equipamentos que seriam instalados posteriormente na quarta fase. Nesta fase, foi instalada a parte hidráulica, uma saída de água na adutora para alimentar o sistema (Figura 8). A quarta etapa consistiu na automatização, garantindo a disponibilidade dos dados no servidor para expô-los à distância. A quinta etapa está em vigência, abarca a fase de validação dos equipamentos, cuja coletas são realizadas por um colaborador da empresa Iguá e analisadas por equipamentos de campo e de bancada já calibrados.

Figura 8 – Ponto de picagem na subadutora para alimentação do SMO.



Fonte: Iguá Saneamento, 2023.

A Metta optou por equipamentos de cloro, fluoreto, pH e turbidez da marca Swan® e o equipamento para medição de cor da marca Quest® para atender as especificações do projeto, montaram e testaram em bancada previamente. Em 18 de agosto de 2022 foi finalizada a instalação dos instrumentos em um espaço coberto e ligado a CAT por tubulação, trata-se de um painel de eletrodos e medidores químicos. Após alguns dias os dados estabilizaram e para este estudo foram considerados os dados a partir do dia 26 de agosto de 2022 até 19 de abril de 2023. Tal sistema é

composto pelos módulos de monitoramento de pH, turbidez, cor, cloro e fluoreto dispostos como nas Figuras 9, 10 e 11.

Figura 9 – Abrigo dos equipamentos de monitoramento da qualidade da água.



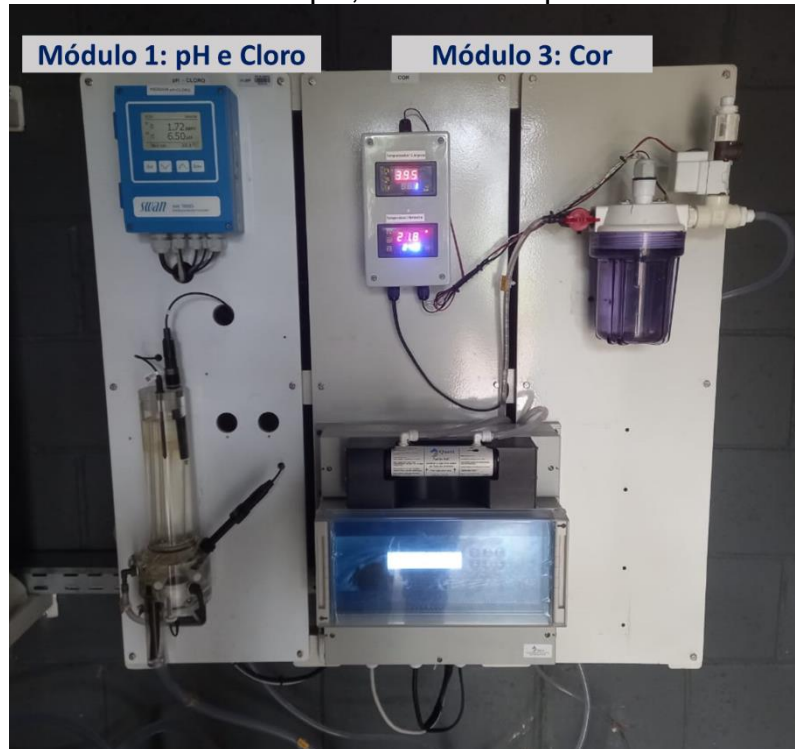
Fonte: Silva, 2022.

Figura 10 – Módulos de análise de fluoreto e turbidez.



Fonte: Silva, 2022.

Figura 11 – Módulos de análise de pH, cloro e cor aparente.



Fonte: Silva, 2022.

No painel elétrico disposto contém CLP, HUB, nobreak. Utiliza-se o GPRS para comunicação via internet (Figura 12). No entanto, esta tecnologia pode apresentar problemas de instabilidade de sinal caso esteja a longa distância do sistema de automação.

Para solucionar esta possível instabilidade, o painel conta também com o sistema M2M considerado uma rota de segurança. Porém, é um sistema vulnerável pois qualquer usuário que tiver a informação do número ICCID, pode acessar os dados contidos no M2M. Entretanto, a rede depois de montada foi fechada para sanar o problema de vulnerabilidade do sistema M2M e apenas duas máquinas podem ter acesso ao sistema de automação.

Não tem o cartão de memória, HD ou micro SD, o que impede não só o armazenamento de dados local como a montagem do data log.

Figura 12 – Painel elétrico dos componentes complementares do SMO.



Fonte: Silva, 2022.

3.3. Calibração dos equipamentos

Como os equipamentos ainda não utilizam padrão para calibração, este procedimento deu-se pelo método denominado *Tristimulus*. *Offset* é um recurso de ajuste da curva frente a amostra em qualquer valor da faixa de medição, na rotina de trabalho sem a necessidade de ajuste com os padrões. A correção do resultado ocorre com base nas amostras analisadas em campo e laboratório como amostras de referências.

3.4. Fonte de dados

As análises de laboratório são registradas no programa de gerenciamento UniLIMS®. Os dados registrados do Sistema de Monitoramento *Online* são armazenados no HUB e através de um modem são direcionados para um sistema que permita o acesso a essas informações. Através do servidor Above®, acessado através do site <https://bridgometer.telemedicao.com.br/>, é possível acompanhar as análises realizadas pelo sistema de monitoramento em tempo real. Posteriormente, os dados são extraídos de ambos os sistemas por meio de planilhas de Excel® que são utilizadas como base para alimentar a ferramenta Power BI® no qual foi elaborado um Dashboard personalizado para melhor visualização e tratamento dos dados.

3.5. Metodologia de análises laboratoriais

O Laboratório de Controle de Qualidade de Água da Iguá Rio de Janeiro SA opera sob um sistema de gestão da qualidade baseado na ISO 17025 (ABNT, 2005) e com procedimentos operacionais padrão (POP) elaborados de acordo com o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA et al., 2023), tanto para execução das coletas como processo de análises a fim de garantir a confiabilidade dos resultados obtidos. A metodologia empregada para análise dos parâmetros de potabilidade sucedeu-se sequencialmente da seguinte maneira:

A Coleta ocorreu com frasco previamente esterilizado, o coletor foi até sala de monitoramento onde há um ponto de coleta, higieniza as mãos e a torneira do local. Após, ele coloca as luvas, abre a torneira e deixa a água escoar por 2 minutos. Em seguida, o mesmo utiliza o frasco para coletar a amostra de água saída desta torneira,

fecha o recipiente cuja amostra está contida e a armazena em um cooler que contém gelox (Gelo Reutilizável Rígido que substitui o gelo, usado para transporte e conservação de produtos que exigem refrigeração) para preservação da amostra. Posteriormente a amostra é então transportada para o laboratório.

Para as análises de pH, turbidez e cor, não é necessária preparação, no entanto para realizar a análise de fluoreto precisa inserir um pó de SPANDS, no caso da análise de cloro é inserido o pó DPD antes de iniciar a análise. As amostras foram analisadas em temperatura ambiente, por instrumentos devidamente calibrados por empresa especializada e com certificado.

O cloro é analisado no local. O coletor retira parte da amostra e a introduz na cubeta de vidro própria para o instrumento de campo, insere o pó de DPD na amostra da cubeta, tampa, agita até a dissolução completa do reagente. Na próxima etapa a cubeta é introduzida no equipamento conhecido como colorímetro, coloca a tampa do instrumento e o resultado apresentado é registrado no aplicativo Pocket Lab no celular do coletor. Para a análise de pH, não é necessária preparação, o equipamento chamado de pHmetro é inserido no recipiente contendo a amostra e o resultado aparece no leitor. A cor aparente é analisada em colorímetro digital DM-COR no laboratório com 10 mL de amostra em cubeta de vidro. Para mensurar a concentração de fluoreto, adiciona-se a cubeta 10 mL de amostra e 2 mL de SPANDS e agita até a dissolução completa. Um turbidímetro que analisa por método nefelométrico foi utilizado para quantificar a turbidez das amostras. A amostra precisa ser homogeneizada antes de ser inserida na cubeta de vidro.

3.6. Tratamento dos dados do SMO e validação

Os resultados do SMO foram analisados pelo programa Excel a partir da análise descritiva. Os resultados de amostras comparativas dos 5 instrumentos de SMO e do laboratório foram avaliados no Excel por aplicação de equações pertinentes e por estatística descritiva compostas de medidas de posição e de dispersão. Os dados foram explicitados através de gráficos de dispersão com regressão linear, de linhas e Boxplot para exibição dos resultados e determinação da seletividade, linearidade, exatidão e precisão.

A seletividade foi abordada pela comparação entre os valores experimentais e teóricos que se deu pela razão entre os mesmos (Eq. 1). O método é considerado

seletivo caso os valores obtidos forem entre 80% e 120%. Tal parâmetro pode ser averiguado a partir da seguinte fórmula:

$$Rz(\%) = \frac{x_v}{x_t} \cdot 100 \quad (\text{Eq. 1})$$

Rz : razão entre valores

x_v : valor verdadeiro

x_t : valor teórico

A linearidade é expressa pela equação da reta, também chamada curva analítica ou regressão linear (Eq.2). O coeficiente de correlação R e o coeficiente de determinação R^2 obtidos a partir da curva analítica evidencia o grau de incerteza dos dados. Quanto mais próximo o R de ± 1 e o R^2 de 1, menor a dispersão dos dados plotados em um gráfico de dispersão, menor o desvio padrão e maior a correlação entre os resultados comparativos. O INMETRO (2020) recomenda R maior que 0,90 para confirmação da linearidade dos dados.

$$y = ax + b \quad (\text{Eq. 2})$$

x : variável independente

y : variável dependente

a : coeficiente angular

b : coeficiente linear

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{x}_i - \bar{x})^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (\text{Eq. 3})$$

R^2 : coeficiente de determinação

x_i : valor individual de cada elemento

\bar{x} : média aritmética dos elementos

\hat{x}_i : valor individual preditivo para cada elemento

n : quantidade de elementos

Afim de avaliar a melhora da correlação entre os métodos ao longo do tempo, foi calculado R e R^2 considerando os oito meses de observação dos dados, depois foram retirados os resultados referentes ao primeiro mês (setembro) e recalculou os coeficientes apenas com dados dos últimos 7 meses, posteriormente retirou-se os

valores dos dois primeiros meses (setembro e outubro) e considerou-se somente os dados dos últimos 6 meses para recalculer os coeficientes e assim sucessivamente até a última avaliação com dados apenas dos 3 meses mais recentes (fevereiro, março e abril).

Para mensurar a exatidão, estima-se o desvio padrão (Eq. 5) e o coeficiente de variação, também conhecido como desvio padrão relativo (Eq. 6).

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1} \text{ (Eq. 5)}$$

S : desvio padrão

x_i : valor individual de cada elemento

\bar{x} : média aritmética dos elementos

n : quantidade de elementos

$$CV(\%) = \frac{S}{\bar{x}} \cdot 100 \text{ (Eq. 6)}$$

CV : Coeficiente de variação

Definiu-se os grupos de dados de distribuição normal a partir da construção do histograma com curva normal e do gráfico QQ e execução o teste de Shapiro-Wilk para averiguar a precisão, exatidão e distribuição dos dados, adotando-se o nível de confiança de 95%.

Posteriormente, utilizou-se o teste T-Students para os grupos de dados paramétricos (com distribuição normal) e para os dados alternativos fez-se uso do teste de Kruskal-Wallis para análises de variância e representatividade dos dados do SMO, ou seja, para reconhecimento de variáveis sistemáticas ou aleatórias.

Por fim, o teste de confiabilidade e exatidão deu-se por meio indicadores estatísticos descritos por Borge et al. (2010). Vide Quadro 3:

Quadro 3 – Indicadores estatísticos de confiabilidade

Indicadores	
MB	$\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_{t_i} - x_{v_i})$
NMB	$\frac{\sum_{i=1}^N (x_{t_i} - x_{v_i})}{\sum_{i=1}^N x_{v_i}}$
MFB	$\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{(x_{t_i} - x_{v_i})}{\frac{x_{t_i} + x_{v_i}}{2}}$
ME	$\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_{t_i} - x_{v_i} $
NME	$\frac{\sum_{i=1}^N x_{t_i} - x_{v_i} }{\sum_{i=1}^N x_{v_i}}$
MFE	$\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{ x_{t_i} - x_{v_i} }{\frac{x_{t_i} + x_{v_i}}{2}}$
RMSE	$\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_{t_i} - x_{v_i})^2}$

Fonte: Adaptado de Borge et al, 2010.

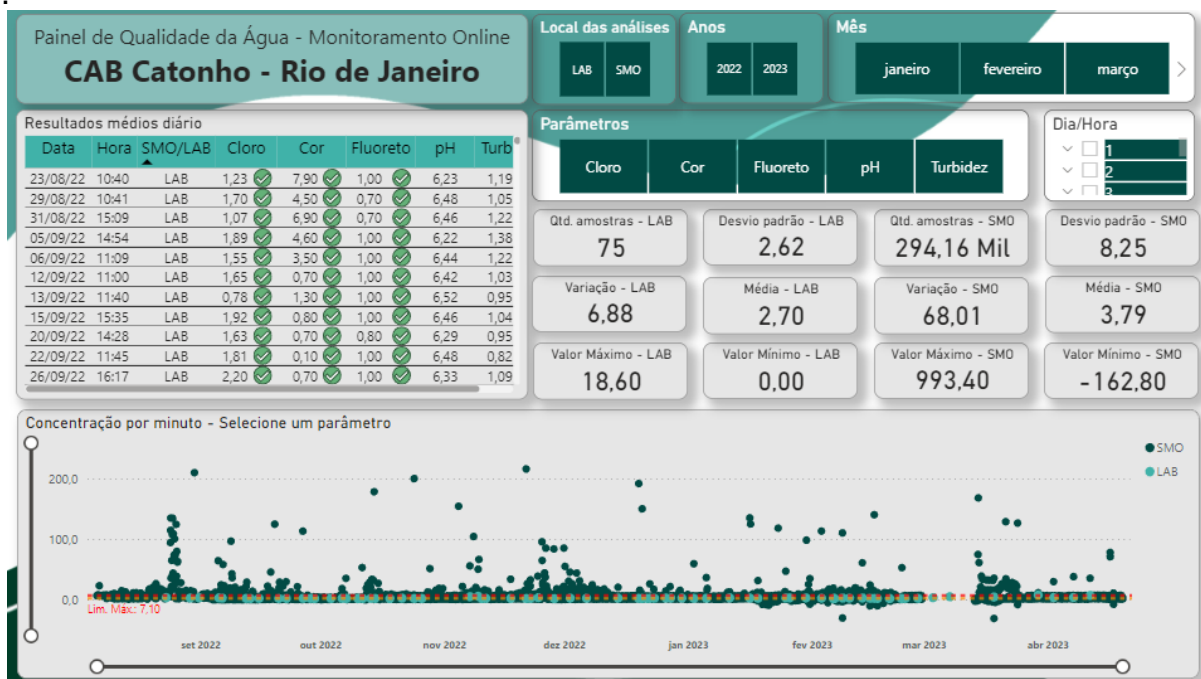
- Viés Médio (Mean Bias – MB): grau de correspondência entre o valor médio verdadeiro e o valor médio teórico, quanto menor o valor maior a correspondência.
- Viés Médio Normalizado (Normalized Mean Bias – NMB): grau de superestimação ou subestimação dos valores teóricos em relação aos verdadeiros, com normalização pela média dos valores verdadeiros. Variação de -100% a $+\infty$.
- Viés Fracionado Médio (Mean Fractional Bias – MFB): grau de superestimação ou subestimação dos valores quando comparado com dados medidos e é uma normalização do MB pela média entre os valores teóricos e verdadeiros. Essa normalização reduz a interferência de valores extremos ou quando as concentrações tendem a zero. Variação de -200% a +200%.

- Erro Médio (Mean Error – ME): nível de incerteza entre o valor médio verdadeiro e o valor médio teórico, quanto menor o valor maior a correspondência.
- Erro Médio Normalizado (Normalized Mean Error – NME): nível de incerteza normalizada pela média dos valores verdadeiros. Variação de 0% a $+\infty$.
- Erro Fracionado Médio (Mean Fractional Error – MFE): nível de incerteza entre os dados teóricos e verdadeiros. A normalização da incerteza é feita pela média das concentrações teóricos e verdadeiros, com objetivo de evitar valores excessivamente elevados do erro normalizado quando as concentrações tendem a zero. Variação de 0 a +200%.
- Raiz do Erro Médio Quadrático (Root Mean Square Error – RMSE): mostra o desvio dos dados verdadeiros em relação aos teóricos. quanto menor o valor menor o erro.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

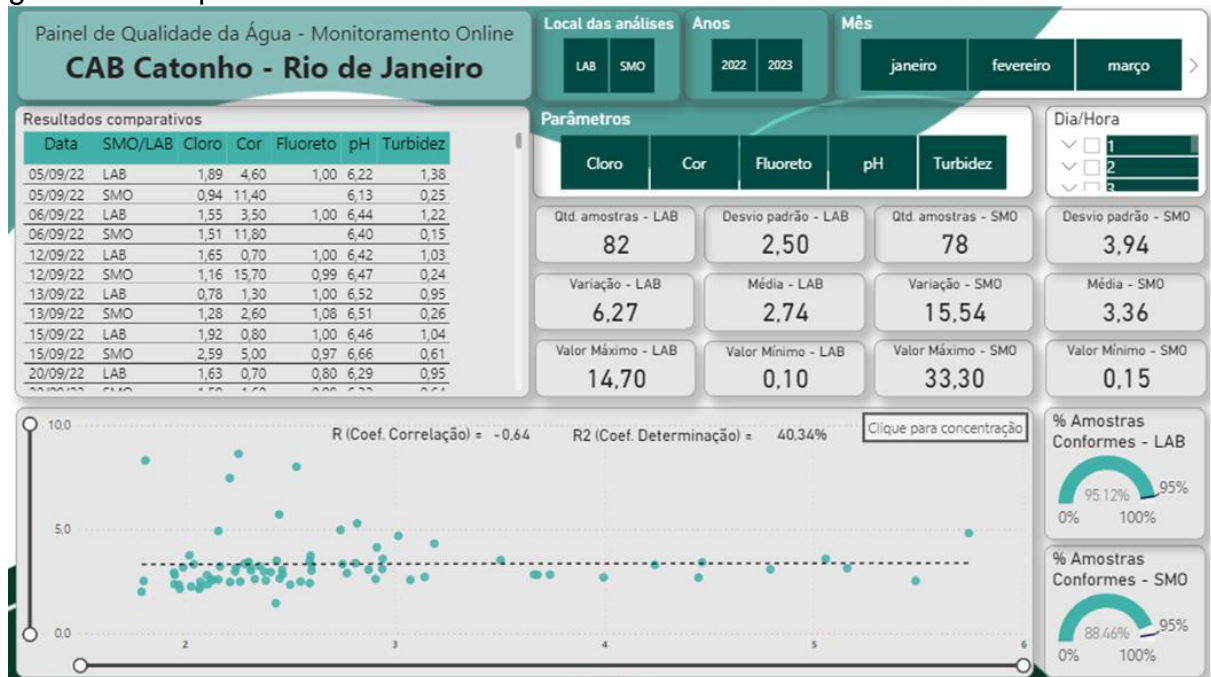
Os dados são divulgados e analisados pelo programa da Microsoft Power BI®, através de dois dashboards, com todos os resultados recebidos do SMO e os dados comparativos do SMO e do laboratório (Figuras 13 e 14).

Figura 13 – Dashboard dos dados de SMO e laboratório com gráfico de concentração



Fonte: A autora, 2023.

Figura 14 – Dashboard comparativo dos dados dos dados de SMO e laboratório com gráfico de dispersão.



Fonte: A autora, 2023.

4.1. Análise em laboratório

Das 82 amostras coletadas para análises em campo e laboratoriais, 77 correspondiam ao momento em que houve algum registro no SMO, das quais conferem a conformidade de 95,1% das amostras (Figura 14).

4.2. Sistema de Monitoramento Online (SMO)

O sistema instalado na CAT Catonho no dia 18/08/2022, realizou medições com intervalo de 1 a 5 minutos dos parâmetros de pH, turbidez, cor, cloro e fluoreto. Desde o início deste monitoramento, há um problema de acúmulo de resíduo na tubulação que alimenta o sistema, esta situação causou a deterioração de sensores e por consequência, afetou as análises (Figura 15).

Figura 15 – Câmara de fluxo dos instrumentos de medição de cloro e pH.



Fonte: Silva, 2023.

4.2.1. Ocorrências e ajustes nos instrumentos

No dia 09/09/2022 constatou que o instrumento de cloro não estava permitindo a calibração por *offset*, apresentava a mensagem “erro de slope”. A pista magnética do sensor foi danificada e por recomendação do fabricante (Swan), além da troca do sensor, foi instalado um filtro (Figura 16) na entrada da água dos medidores de cloro e pH para que não houvesse mais interferência pela passagem de partículas sólidas que pudessem vir danificar o componentes internos novamente.

Figura 16 – Filtro instalado nos módulos de análise de pH e cloro.



Fonte: Silva, 2022.

As oscilações nas medições do instrumento do parâmetro de cor foram notadas desde a instalação. Após visita técnica, a Metta emitiu um relatório informando a respeito da interferência ter ocorrido por possível vazamento no sistema e o vapor proveniente do contato da água que vazou com o sistema de aquecimento. Posteriormente este vapor condensou sobre a lente do sistema ótico do instrumento (Figura 17). Para evitar tal ocorrência futura, a vedação foi reforçada em juntas e reduziu o fluxo de água através de uma válvula do sistema e por conseguinte diminuiu a pressão no sistema que ocasionava o vazamento, portanto a vazão passou de 3 L/min para 400 mL/min (o ideal é entre 60 e 500 mL/min). Apesar da notável melhora na oscilação de dados após tais procedimentos, ainda ocorreram oscilações consideráveis nos dados.

Figura 17 – Componente do sistema ótico do módulo de análise de cor aparente.



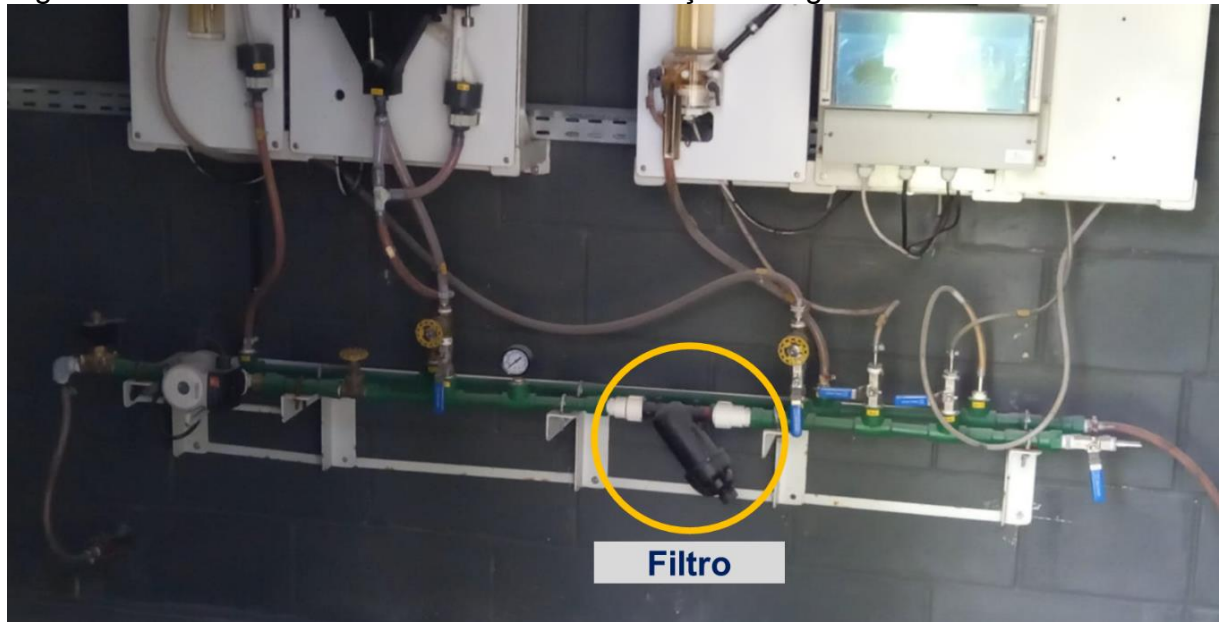
Fonte: Silva, 2022.

Do dia 05/09/2022 às 14:00h até o dia 12/09/2022 às 9:30h, o instrumento de fluoreto não registrou corretamente as análises, todas as medições possuíam o valor zero e o display não permitia alteração deste valor ou procedimento de *offset* do equipamento. O problema foi solucionado durante visita técnica já mencionada, com a ação de reset do equipamento.

As visitas técnicas para diagnóstico e ações corretivas ocorreram entre os dias 12 e 20 de setembro de 2022.

Os sensores danificados foram trocados e o filtro que ficava na entrada dos instrumentos de cloro e pH foi substituído por um filtro instalado na tubulação para alimentar todo o sistema no dia 28 de outubro de 2022 (Figura 18).

Figura 18 – Filtro instalado na linha de alimentação de água do SMO.



Fonte: Silva, 2022.

O filtro instalado na linha de alimentação do sistema SMO é composto por esta proteção preta vista na figura 18 e dentro desta está o módulo do filtro, uma peça constituída por uma malha fina e porosa e uma estrutura vermelha plástica que segura a malha, cuja função é reter os sólidos (Figura 19). Este procedimento mitigou o problema, mas não solucionou. A descarga de rede que antes ocorria semanalmente passou a ter uma frequência em torno de 3 vezes por mês.

Figura 19 – Interior do filtro instalado na linha de alimentação do sistema SMO.



Fonte: Silva, 2022.

Do dia 28/02/2023 às 12:03h até o dia 13/03/2023 às 16:44h, houve ausência na comunicação dos dados do SMO com o servidor, após visita técnica e reinicialização de todo o sistema, os dados voltaram a serem visualizados remotamente, no entanto o instrumento de cor registrava somente resultados negativos. Após procedimentos de retirada de bolhas no sistema, limpeza e calibração por *off set*, o SMO voltou a registrar resultados em todos os parâmetros sem resultados negativos ou falhas de comunicação a partir do dia 19 de março de 2023.

4.2.2. Análise de dados do SMO

A estatística descritiva dos dados brutos está elucidada na Tabela 1.

Tabela 1 – Estatística descritiva dos dados de SMO.

	<i>Cloro</i>	<i>Cor</i>	<i>Fluoreto</i>	<i>pH</i>	<i>Turbidez</i>
Média	1,026127	6,065356	1,423423	6,668656	2,340438
Erro padrão	0,000761	0,019922	0,001818	0,000534	0,013577
Mediana	0,96	3,8	0,89	6,64	1,31
Modo	0,94	0	3,2	6,58	0,89
Desvio padrão	0,471084	12,33855	1,126049	0,330879	8,408514
Variância da amostra	0,22192	152,2399	1,267987	0,109481	70,7031
Curtose	6,902112	984,4223	-0,25334	0,176218	567,7455
Assimetria	1,563145	19,25859	1,155612	-0,07974	19,90681
Intervalo	9,65	1156,2	5,61	4,65	381,36
Mínimo	0	-162,8	0	4,25	0
Máximo	9,65	993,4	5,61	8,9	381,36
Soma	393608,9	2326622	546007,9	2558137	897728,7
Contagem	383587	383592	383588	383606	383573

Fonte: A autora, 2023.

No caso de cloro, fluoreto e pH, o erro padrão e desvio padrão estiveram baixos, mostrando a tendência de correlação entre os dados.

De acordo com a análise estatística, nota-se que mesmo para grupos de dados com grande variação e saltos como no caso de cor e turbidez, a média e a mediana possuem valores próximo, ou seja, são dados pouco representativos destas séries por tratar-se de medidas de tendência central. A curtose e assimetria alta nesses parâmetros expõem a não distribuição normal, baixa precisão e a dispersão grosseira dos dados.

Para os dados de cor, o desvio padrão calculado foi igual a 12,34 e a variação de 152,24 e apresentou valores de -162,8 até 993,4 mgPtCo/L. Assim como no estudo

de Lee e Hwang (2019), esta variação deu-se pela grande quantidade de dados que não foram acertadamente processados. Nota-se a ocorrência de resultados negativos, oscilação brusca de sinal e sequências de falsos zeros. As duas primeiras ocorrências podem ser resolvidas com calibração por padrão e limpeza, a última tem como solução ajuste na configuração no instrumento para que, assim como no estudo de Kim et. al. (2022), seja executado o pré-processamento dos dados que abarca as etapas de retirada de valores discrepantes (*outliers*) automaticamente e os falsos zeros são substituídos por métodos de imputação apropriados ou através do Debounce, que possibilita programar para que o resultado zero seja registrado pelo sistema apenas quando houver 5 medições deste valor em sequência (padrão brasileiro) (SILVA, 2022).

Kim et. al. (2022) aponta que a avaliação de dados medidos em um nó oferece estimativa das condições do sistema, mas nunca informações sobre o consumo individual de cada usuário e portanto estudos anteriores não conseguiram identificar por meio do monitoramento em tempo real eventos inoportunos na qualidade da água, além disso, inconsistências em medições também podem atrapalhar nesta identificação (MUHAREMI et. al., 2019; RIBEIRO et. al., 2020). Há a possibilidade de adir dados não estruturados, como reclamações de usuários do serviço por plataformas de mídia social, bem como adotado por Lee e Hwang (2019), que utiliza a combinação de dados estruturados e não estruturados. Outra solução estudada por Zhang et. al. (2017) foi a aplicação um algoritmo de detecção de anomalias por padrões históricos utilizando janelas móveis de tempo duplo com atuação em tempo real.

4.3. Comparativo Laboratório x SMO

Selecionados apenas os resultados em que coincidiram a data e a hora da amostragem presencial com o momento de mensuração do SMO. Nesta etapa foram comparados 77 amostras. A estatística descritiva de cada parâmetro para cada metodologia está apresentada na Tabela 2.

Tabela 2 – Estatística descritiva dos dados comparativos.

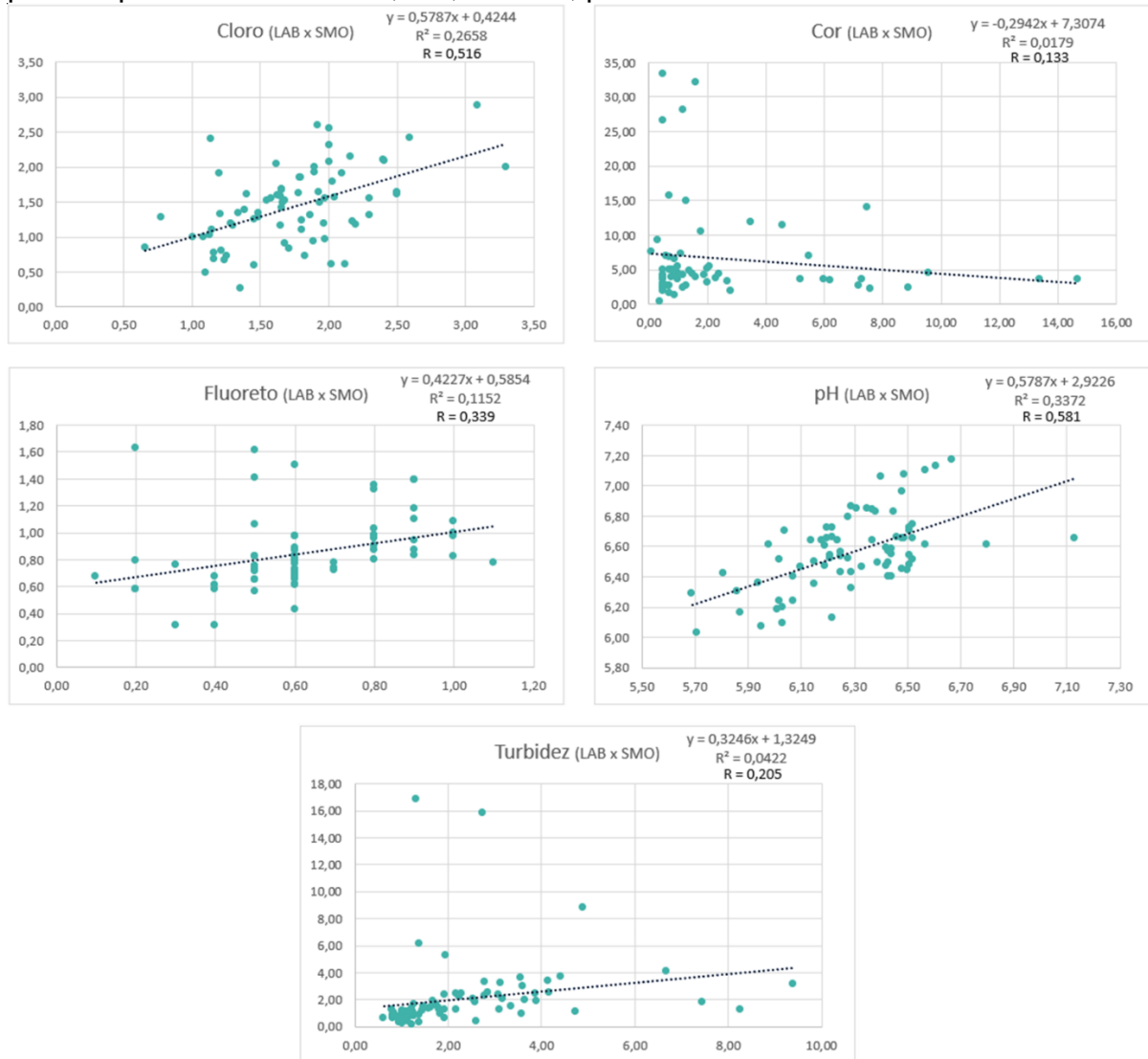
	Dados do laboratório					Dados do SMO				
	Cloro	Cor	Fluoreto	pH	Turbidez	Cloro	Cor	Fluoreto	pH	Turbidez
Contagem	76	73	77	78	78	76	67	74	76	76
Média	1,751	2,475	0,634	6,290	2,316	1,423	6,337	0,847	6,564	2,081
Desv. P	0,491	3,070	0,217	0,242	1,707	0,536	6,750	0,265	0,244	2,728
Varição	0,253	9,967	0,051	0,064	2,794	0,287	45,566	0,070	0,059	4,598
Mín	0,660	0,100	0,100	5,690	0,620	0,260	0,400	0,310	6,030	0,150
Máx	3,300	14,700	1,100	7,130	9,390	2,880	33,300	1,630	7,170	16,840
Perc 25	1,383	0,700	0,500	6,153	1,143	1,075	2,800	0,690	6,430	0,835
Perc 50	1,745	1,200	0,600	6,290	1,780	1,360	4,200	0,790	6,555	1,270
Perc 75	2,013	2,400	0,800	6,458	3,033	1,708	6,600	0,968	6,670	2,340

Fonte: A autora, 2023.

4.3.1. Correlação de dados

Para determinar a correlação da medição dos dados do SMO e de laboratório, estes foram inseridos em gráficos de dispersão com dados de laboratório no eixo X e do SMO no eixo Y (Gráfico 1). O gráfico de linhas (Gráfico 2) é uma forma de representação que permite atestar visualmente a correlação dos dados.

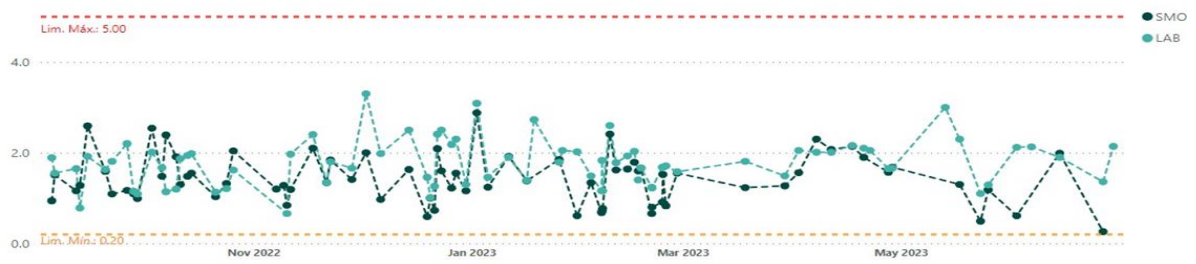
Gráfico 1 – Dispersão, regressão linear e coeficientes de determinação e correlação para os parâmetros de cloro, cor, fluoreto, pH e turbidez.



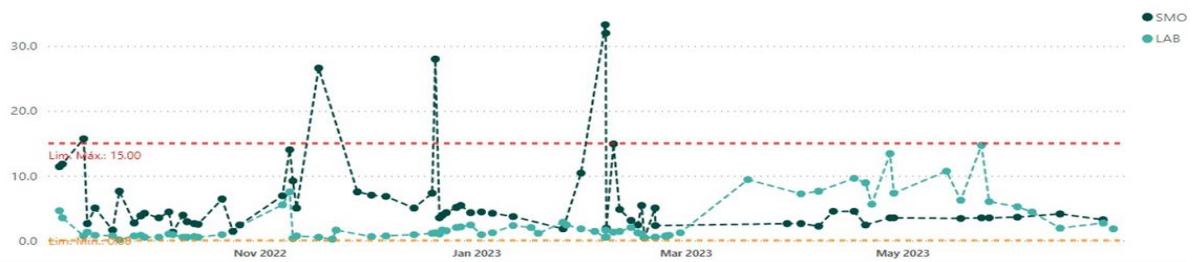
Fonte: A autora, 2023.

Gráfico 2 – Comparação entre resultados de análises do SMO e de laboratório por gráfico de linhas.

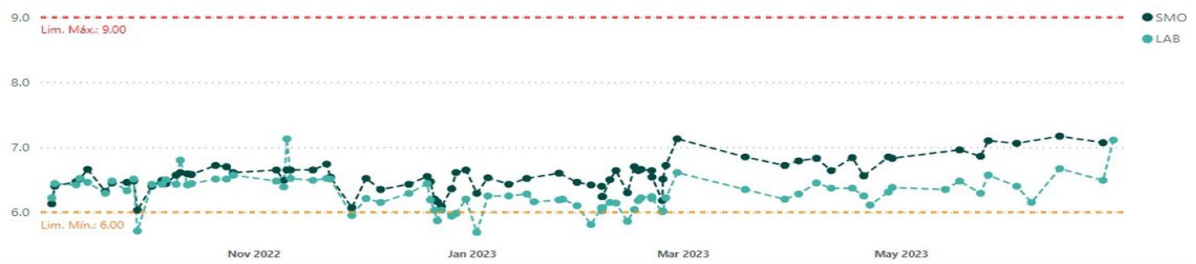
Concentração - Cloro



Concentração - Cor



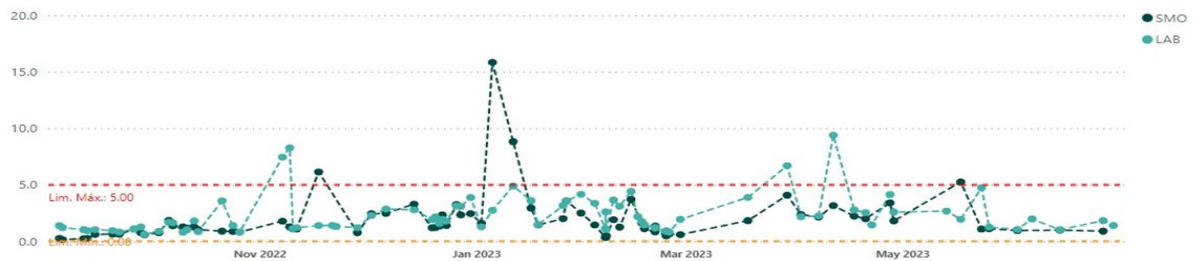
Concentração - pH



Concentração - Fluoreto



Concentração - Turbidez



Fonte: A autora, 2023.

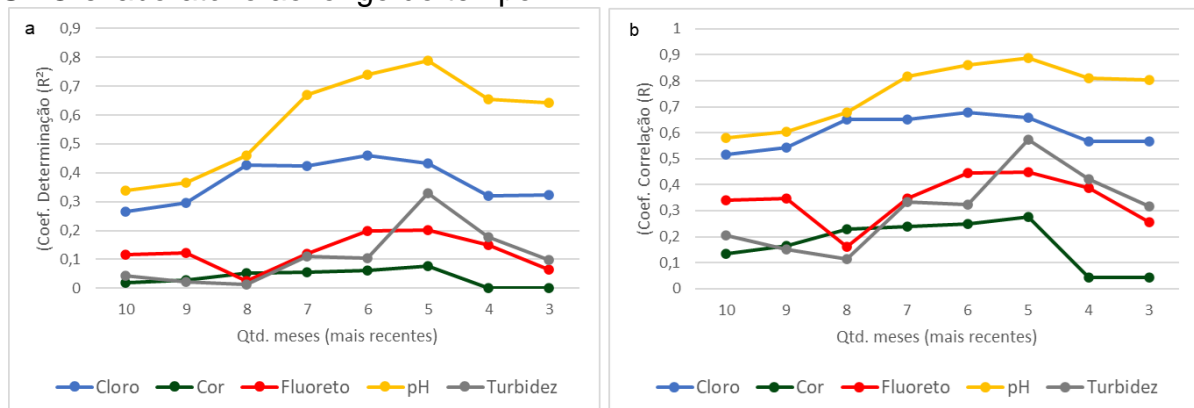
O coeficiente de correlação (R) dos parâmetros de pH e cloro são considerados fortes pois estão entre 0,5 e 1,0. O valor calculado de R para cloro foi de 0,516 e de pH foi 0,581.

No entanto, para cor, fluoreto e turbidez, os valores de R, foram de 0,133, 0,339 e 0,205 respectivamente, ficaram abaixo de 0,5, ou seja, a partir da interpretação do R calculado, a correlação dos dados foi classificada como fraca.

Para todos os parâmetros, o coeficiente de determinação (R^2) ficou abaixo de 0,5. Para considerar que a equação advinda de regressão linear prediz o comportamento dos dados do SMO com base nos dados das amostras coletadas, esta variável precisaria estar acima de 0,97. E todos os coeficientes de correlação (R) não atenderam ao limite de correlação estabelecido pelo INMETRO de no mínimo 0,9. Assim como no estudo de Dissanayake et. al. (2017) que observou desvio nos dados comparativos para os parâmetros de fluoreto e condutividade em amostras de água.

Levando em consideração que os instrumentos passaram por ajustes e substituições, uma análise expurgando dados mais antigos e mantendo os registros dos meses mais recentes (Gráfico 3).

Gráfico 3 – Coeficiente de determinação (a) e correlação (b) entre os resultados de SMO e laboratório ao longo do tempo.



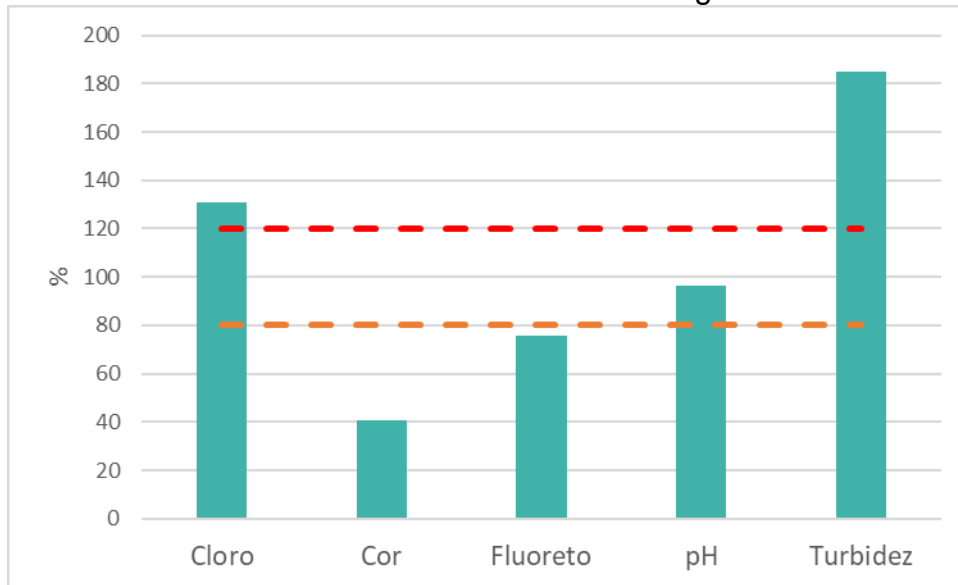
Fonte: A autora, 2023.

Nota-se uma melhora significativa na correlação dos dados ao longo do tempo até o mês de março em todos os parâmetros exceto cor. Inclusive, a correlação do parâmetro turbidez passa a ser classificada como forte, no entanto, nenhum coeficiente de determinação alcançou o range de confiabilidade. Ao considerar os 4 últimos meses de avaliação dos dados (março, abril, maio e junho), nota-se um decaimento na correlação dos dados, tal questão pode ser explicada pela instabilidade

ocorrida no SMO em março de 2023 mencionada anteriormente, ou seja, a falta do acompanhamento remoto frequente do sistema, prejudica a detecção de instabilidade e determinação do momento adequado da execução de ações de ajustes neste.

A seletividade, ou seja, a capacidade de detecção do analito de interesse, dos instrumentos de SMO, foi avaliada pela razão entre o dado experimental e teórico (Gráfico 4).

Gráfico 4 – Seletividade dos instrumentos do SMO em gráfico de barras com range.



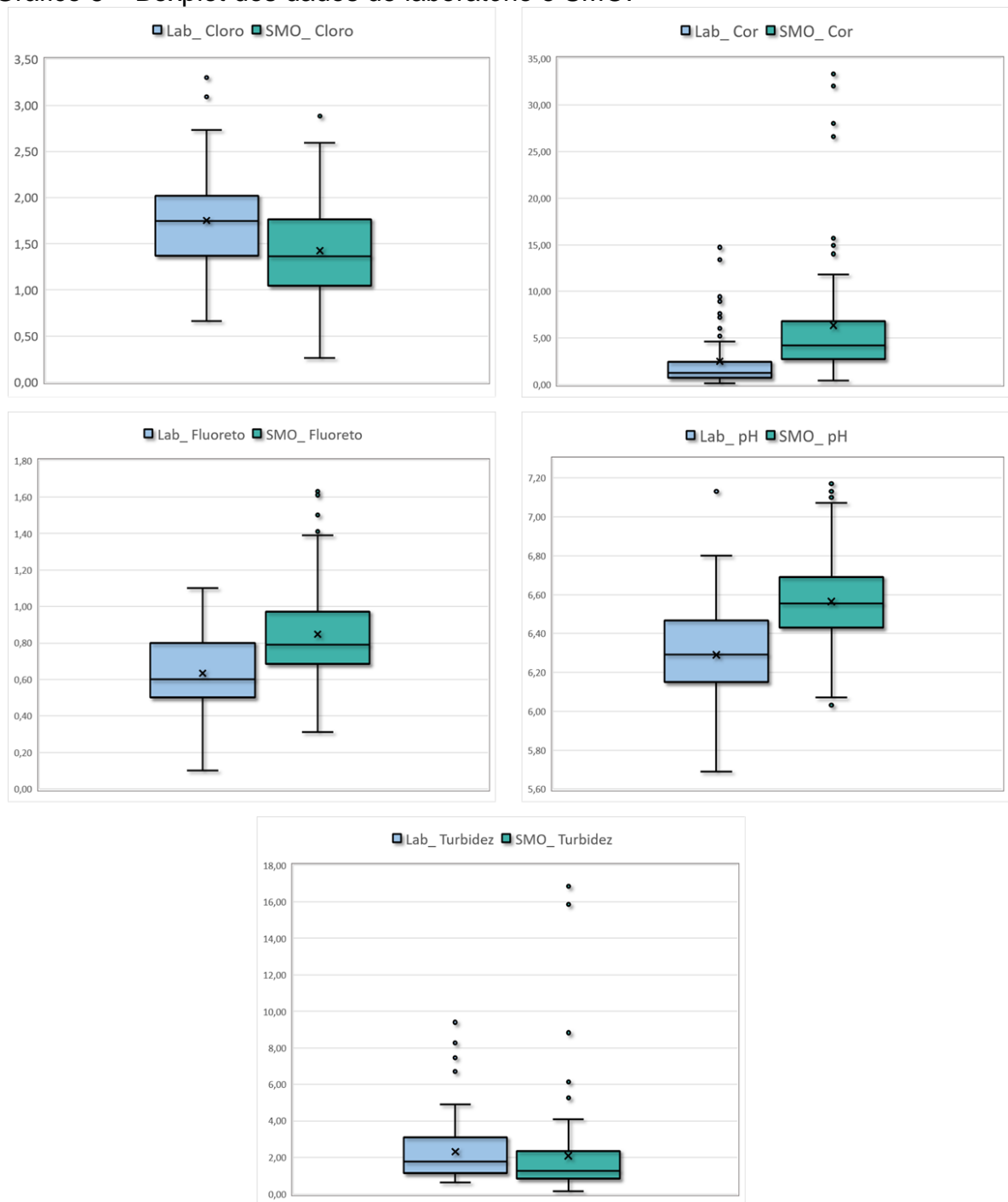
Fonte: A autora, 2023.

Com base no Gráfico 4, constatou-se que o parâmetro pH foi o único que ficou dentro da faixa de 80 a 120% representada no gráfico pela área entre as linhas pontilhadas.

4.3.2. Dispersão da dados e outliers

Esta etapa fora iniciada pela avaliação da dispersão e discrepância dos dados nos Boxplots (Gráfico 5), histogramas com curva normal (Gráfico 6), QQplots (Gráfico 7) e teste de Shapiro-Wilk (Tabela 3) a seguir.

Gráfico 5 – Boxplot dos dados de laboratório e SMO.

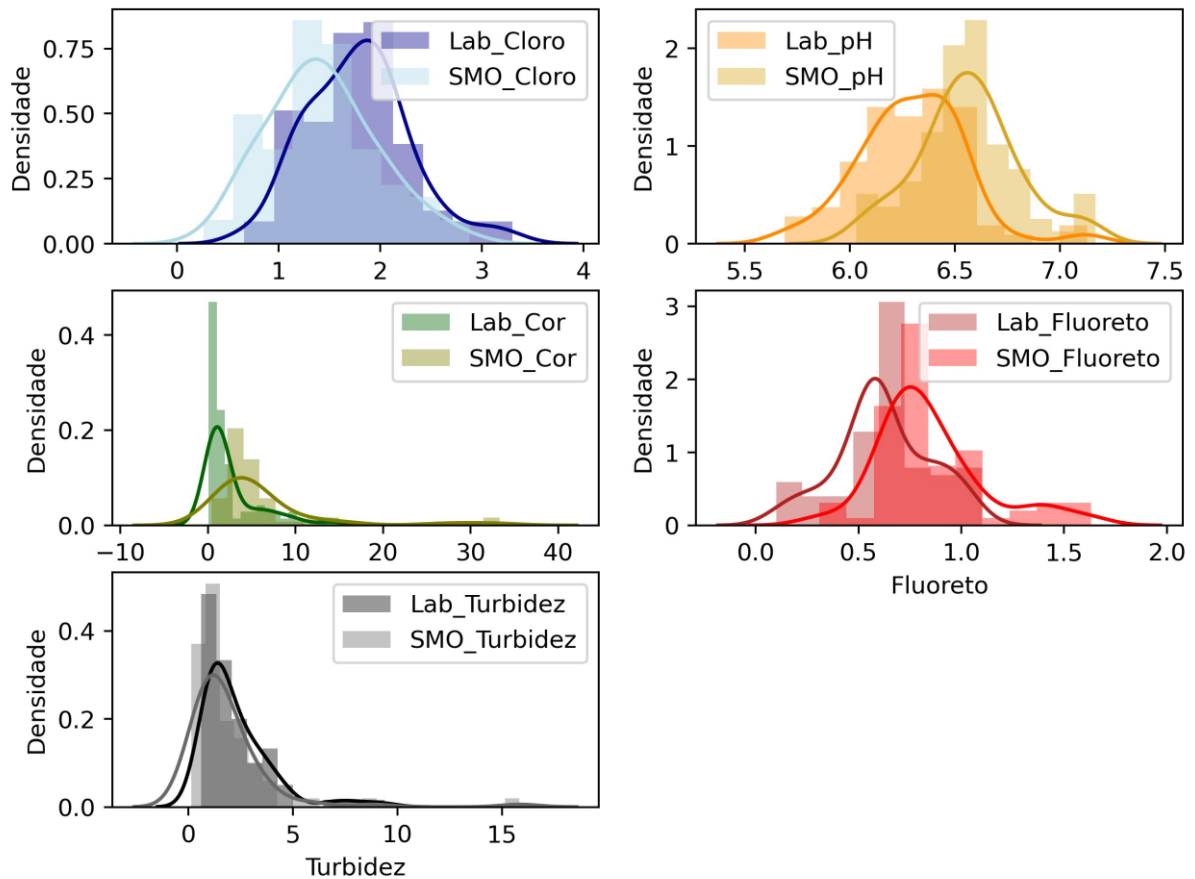


Fonte: A autora, 2023.

Quanto a análise de valores discrepantes (Gráfico 5), nos dados de laboratório do parâmetro fluoreto, não houveram registrados e poucos valores fora do limite de detecção para dados de laboratório de cloro, pH e de SMO de cloro. Os demais apresentação muitos dados discrepantes. Com a presença dos outliers, contribui para a distorção da simetria do Boxplot.

No que tange a variabilidade, o SMO destacou-se o parâmetro de cloro em comparação com os dados de laboratório, assemelhou-se para fluoreto, pH e turbidez e no caso do parâmetro cor a variabilidade no SMO foi significativamente maior.

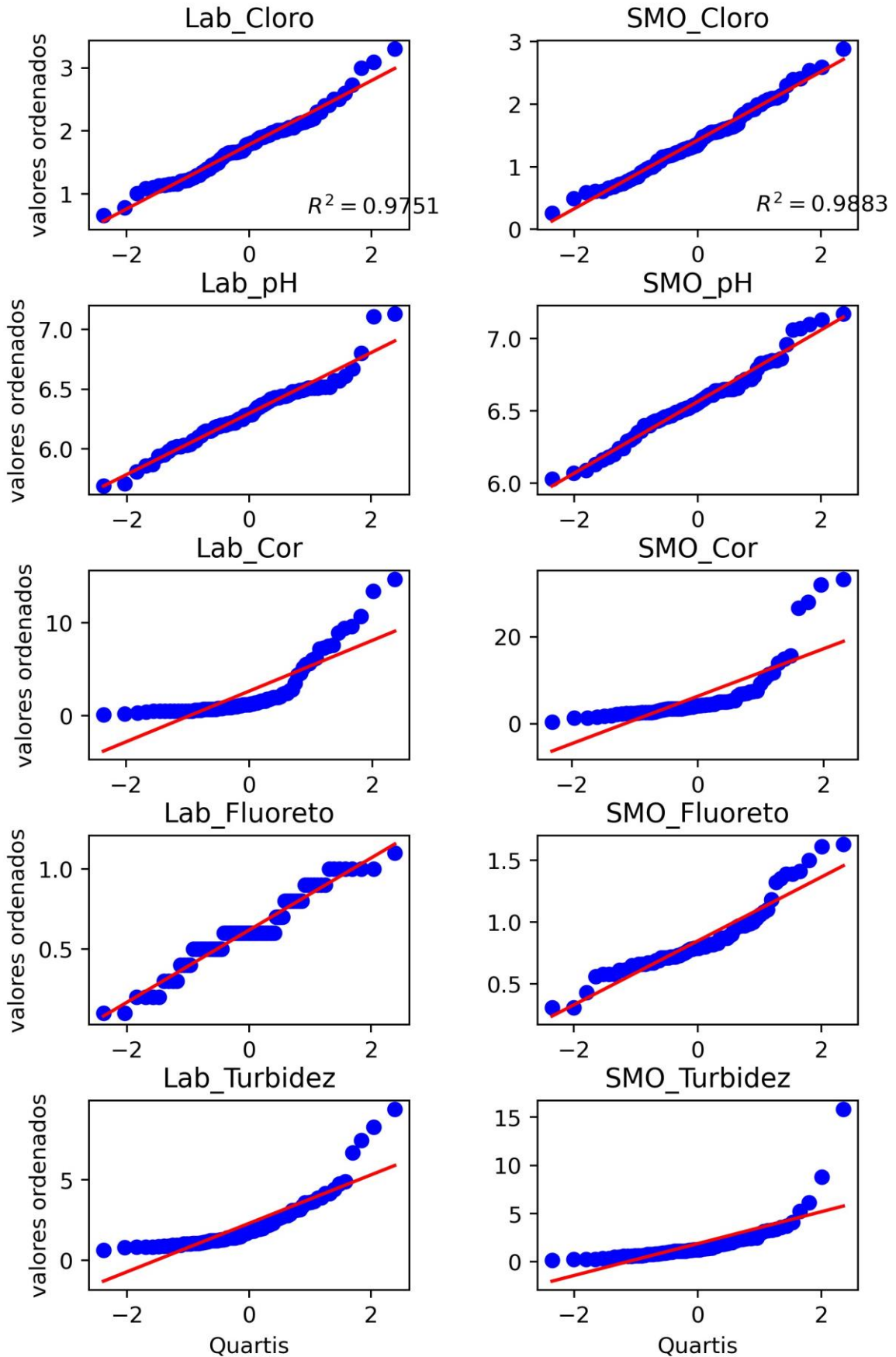
Gráfico 6 – Histograma com curva normal dos dados de laboratório e SMO.



Fonte: A autora, 2023.

A análise pelos histogramas (Gráfico 6) mostra como os dados *outliers* influenciam na avaliação da distribuição de dados. A curva normal de cor dos dados de laboratórios e de SMO são bem distintas, reforçando a falta de correlação entre os instrumentos destes métodos.

Gráfico 7 – QQplot dos dados de laboratório e SMO.



Fonte: A autora, 2023.

Nos QQplots, pode-se notar que os dados de turbidez e cor de ambos os métodos não tendem a uma distribuição linear.

Tabela 3 – Teste de Shapiro-Wilks dos dados de laboratório e SMO.

Dados do laboratório					
Teste de SW	Cloro	Cor	Fluoreto	pH	Turbidez
valor-p	1,58E-01	4,94E-11	3,17E-03	1,54E-02	7,70E-10
Dados do SMO					
Teste de SW	Cloro	Cor	Fluoreto	pH	Turbidez
valor-p	6,45E-01	7,99E-12	3,47E-05	2,29E-01	2,85E-13

Fonte: A autora, 2023.

Com o teste estatístico de Shapiro-Wilk (Tabela 3), a hipótese de que a série de amostras de laboratório e do SMO para cloro e pH vêm de uma distribuição normal se confirma de forma objetiva e as demais enquadram-se sob a hipótese alternativa indicando que a distribuição significativamente diferente da distribuição normal, também considerada não paramétrica.

A seguir foi aplicado o teste de hipótese T-Student para variáveis de cloro e pH, nos demais, que não possuem distribuição normal, foi executado o teste Kruskal-Wallis (Tabela 4). Os testes confirmam que não são da mesma família ou mesma amostragem.

Tabela 4 – Teste de hipótese para grupo de dados paramétricos e não paramétricos.

Teste	T-Student		Kruskal-Wallis		
	Cloro	pH	Cor	Fluoreto	Turbidez
valor-p	3,46E-05	3,46E-10	1,36E-09	5,77E-08	4,23E-03

Fonte: A autora, 2023.

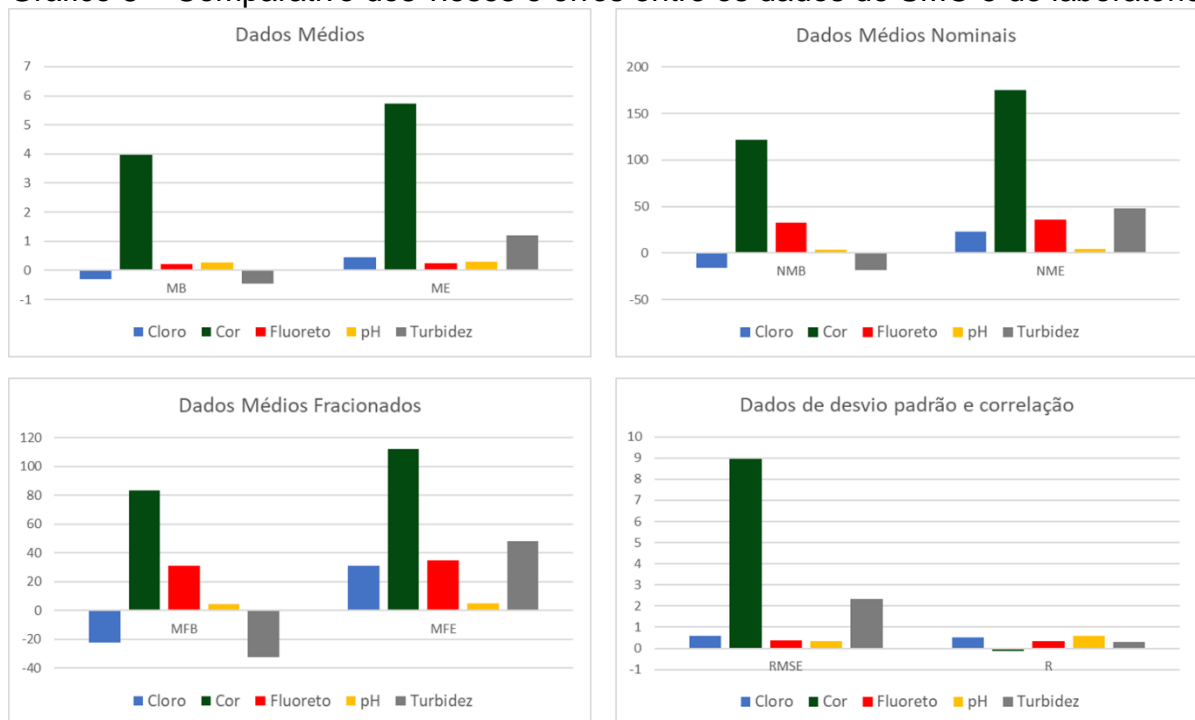
Após avaliar a existência de relação entre os dados do SMO e do laboratório, para avaliar as variações entre os métodos, foram calculados indicadores de superestimação e subestimação, nível de incerteza e/ou o erro médio normalizado (Tabela 5 e Gráfico 8).

Tabela 5 – Teste de comparação, incerteza e erro entre os grupos de dados.

Variável	MB	ME	RMSE	NMB	NME	MFB	MFE	R
Cloro	-0,3059	0,4451	0,5924	-15,9011	23,1353	-22,4833	31,0179	0,5155
Cor	3,9823	5,7371	8,9426	121,5059	175,0492	83,2109	112,0135	-0,1338
Fluoreto	0,2248	0,2495	0,3584	32,7545	36,3473	31,1737	34,6728	0,3394
pH	0,2716	0,2968	0,3517	3,9976	4,3695	4,2306	4,6083	0,5807
Turbidez	-0,4588	1,2009	2,3338	-18,2905	47,8765	-32,5123	48,1767	0,3184

Fonte: A autora, 2023.

Gráfico 8 – Comparativo dos vieses e erros entre os dados de SMO e de laboratório.



Fonte: A autora, 2023.

Com base na representação gráfica dos valores da Tabela 5 (Gráfico 8), dados os valores negativos de viés para cloro e turbidez denota que os dados do SMO são subestimados em relação aos dados de laboratório e os dados de erro representam uma correlação entre os métodos, porém há a necessidade de revisão dos dados de SMO. Já o parâmetro de pH apresentou baixos valores de viés e de erro, corroborando a boa correlação entre os dados já confirmada em testes anteriores. No entanto, como já previsto, nota-se baixa correlação dos dados de cor, denota a superestimação dos dados do SMO em relação aos dados de laboratório, ou seja, o desempenho do equipamento é insatisfatório e exige uma análise mais detalhada das inconsistências.

5. CONCLUSÃO

À primeira vista um sistema de monitoramento remoto já se destaca como uma inteligência que está acompanhando as evoluções tecnológicas mundiais. No entanto, diante do disposto nesse estudo, o sistema de monitoramento da qualidade da água implantado necessita de ajustes.

Quanto a instalação, foram seguidos os procedimentos estabelecidos nos manuais dos equipamentos e de instalação elétrica, e esta etapa abarcou as fases de projeto, construção da estrutura de alvenaria para proteção dos equipamentos, instalação dos equipamentos no local, ligações hidráulicas e elétricas e por fim, ativação do sistema de comunicação remota. No entanto, o ponto de ramificação hidráulica que permite a passagem da água para o sistema está localizado próximo a um ponto de descarga de rede, estes pontos especificamente acumulam possíveis impurezas na rede para descargas periódicas, então são pontos de alto acúmulo de resíduos o que se tornou um problema para a qualidade das informações de alguns parâmetros na automatização das análises do sistema.

Comparado ao método de bancada, o SMO não depende de um funcionário tempo integral, permitindo que o coletor disponha do seu tempo de trabalho para ocupar-se com as coletas de rede, elimina o gasto com combustível associado ao deslocamento frequente ao local, mitiga a possibilidade contaminação da amostra.

Ao comparar os dados obtidos, há uma forte correlação entre os dados do método de análise de bancada e do SMO para os parâmetros de cloro e pH tal fato é evidenciado pelo fator de correlação (R) que apresentou valores de acima de 0,5. Já o parâmetro turbidez, expressou melhora na correlação ao desconsiderar os dados dos três primeiros meses de funcionamento do sistema, ou seja, os dados anteriores a instalação do filtro na tubulação hidráulica, portanto, este procedimento trouxe uma melhoria ao sistema. A análise de fluoreto apresentou melhora na correlação ao desconsiderar os quatro primeiros meses e ao considerar somente os dados dos três últimos meses a correlação desses dados está na categoria forte. No entanto, o equipamento de cor demonstra instabilidade devido à alta sensibilidade do mesmo, ou seja, possui baixa robustez uma vez que é facilmente afetado por pequenas variações. A falta de calibração por padrão periódica é um fator essencial para garantia da

confiabilidade nos resultados, ou seja, os dados não podem ser credenciados antes da adequação deste procedimento.

A tecnologia de comunicação via rede de celular mostrou-se uma opção bem estruturada e estável para trafegar dados dos medidores. Durante os oito meses de registros de dados, apenas em parte do mês de março houve instabilidade na comunicação.

Há alternativas de equipamento menores, mais compactos e multiparamétricos, como por exemplo o espectro Ramam, no entanto, é preciso avaliar a viabilidade financeira da obtenção de outra tecnologia.

A automação da empresa Metta deve rever as configurações do instrumento de cor para evitar as medições zeradas ou implantar o Debouce para eliminar os zeros medidos erroneamente.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A melhoria na precisão de detecção de anomalias é possível na rede do bloco 2 escolhendo outros pontos a serem monitorados, além das janelas, com base na distribuição espacial de eventos de interferência na qualidade de água informados pelos clientes através dos canais de comunicação. No caso, a Iguá Saneamento conta com o sistema interno conhecido como *Oracle Field Service Cloud* para compilação das reclamações via ligação, internet e presencial. Ou seja, a utilização de informações por detecção corretiva (dados não estruturados) para melhor direcionar a implantação da detecção preventiva.

Recomenda-se para instalações futuras desta e de outras concessionárias, utilizar sistema de divulgação de dados com emissão de alerta visual e sonoro e até mesmo implantação de aplicativo para dispositivos móveis, para casos em que algum dos parâmetros ultrapasse os limites mínimo ou máximo estabelecidos na Portaria GM/MS nº 888 /2021, para agilizar a avaliação de possível intervenção corretiva.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: Qualidade e Quantidade da Água**. Brasília, DF: ANA, 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Mudanças climáticas e recursos hídricos: Avaliações e diretrizes para adaptação**. Brasília, DF: ANA, 2016.

AMAZONAS FACTUAL. **Moradores do Beco do rip-rap, na Compensa, trocam ligações clandestinas por redes regulares de água tratada**. Manaus, AM: Amazonas Factual, 2019. Disponível em: <https://amazonasfactual.com.br/2019/07/08/moradores-do-beco-do-rip-rap-na-compensa-trocam-ligacoes-clandestinas-por-redes-regulares-de-agua-tratada/>. Acesso em: 04 jun. 2023.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA), AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA), WATER ENVIRONMENT FEDERATION (WEF). Lipps WC, Braun-Howland EB, Baxter TE, eds. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 24th ed. Washington DC: APHA Press; 2023.

AMÉRICO-PINHEIRO, J. H. P.; BENINI S. M. **Bacias hidrográficas: fundamentos e aplicações**. 1 ed. Tupã, SP: ANAP, 2018.

ARIEIRA, J. O. **Fundamentos do Agronegócio**. 1 ed. Indaial, SC: Uniasselvi, 2018.

AQUINO, S. F.; BRANDT, E. M. F.; CHERNICHARO, C. A. L. **Remoção de fármacos e desreguladores endócrinos em estações de tratamento de esgoto: revisão da literatura**. Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, RJ, 2013.

AZEVEDO, R. P. **Ciclos Naturais**: Como a Natureza opera a evolução. Jundiaí, SP: Paco e Littera, 2021.

BAIRD, C.; CANN, M. **Química Ambiental**. 4 ed. Porto Alegre, RS: Bookman, 2011.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL (BNDES). **Projeto Saneamento Cedae**. Rio de Janeiro, RJ: BNDES, 2020. Disponível em: https://abes-dn.org.br/pdf/20_02_06_Projeto%20CEDAE.pdf. Acesso em: 07 set. 2022.

BORGE, R.; LÓPEZ, J.; LUMBRERAS, J.; NARROS, A.; RODRÍGUEZ. **Influence of boundary conditions on CMAQ simulations over the Iberian Peninsula**. Madrid: Atmospheric Environment, 2010. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1352231010003511>. Acesso em: 05 mai. 2023.

BRASIL. Ministério da Casa Civil. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília, DF: Ministério da Casa Civil, 1988. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm>. Acesso em: 09 abri. 2021.

BRASIL. Ministério da Casa Civil. **Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997** – Política Nacional de Recursos Hídricos. Brasília, DF: Ministério da Casa Civil, 1997. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm>. Acesso em: 05 jan. 2022.

BRASIL. Ministério da Casa Civil. **Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981** – Política Nacional do Meio Ambiente. Brasília, DF: Ministério da Casa Civil, 1981. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm>. Acesso em: 05 jan. 2022.

BRASIL. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Diretriz Nacional do Plano de Amostragem da Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano**. Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2016. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/diretriz_nacional_plano_amostragem_agua.pdf. Acesso em: 18 nov. 2022.

BRASIL. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano**. Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2006. Disponível em:

https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/vigilancia_controle_qualidade_agua.pdf.

Acesso em: 18 nov. 2022.

CETESB. **O problema da escassez de água no mundo**. São Paulo, SP: CETESB, 2022. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/informacoes-basicas/tpos-de-agua/o-problema-da-escasez-de-agua-no-mundo/>. Acesso em: 18 nov. 2022.

CLAYTON, R. **Desalination for Water Supply FR/R0013**. Review of Current Knowledge, Foundation for Water Research, U.K, 2006.

COMPANHIA ESTADUAL DE ÁGUAS E ESGOTOS DO RIO DE JANEIRO (Cedae). **Sistema Guandu**. Rio de Janeiro, RJ: Cedae. Disponível em: <https://cedae.com.br/sistemaguandu>. Acesso em: 15 mar. 2023.

CUNHA, B. P.; AUGUSTIN, S. **Sustentabilidade ambiental: estudos jurídicos e sociais**. Caxias do Sul, RS: Educs, 2014. Disponível em: https://www.ucs.br/site/midia/arquivos/Sustentabilidade_ambiental_ebook.pdf. Acesso em: 17 fev.2023.

DAIGAVANE, V. V., e GAIKWAD, M. A. **Water Quality Monitoring System Based on IOT**. Sevagram, MH: Advances in Wireless and Mobile Communications, 2017.

DEZOTTI, M. **Processos e técnicas para o controle ambiental de efluentes líquidos**: Volume 5 da Série Escola Piloto de Engenharia Química. Rio de Janeiro, RJ: E-papers, 2008.

DISSANAYAKE, SADAN; PASQUAL, H.; ATHAPATTU, B. C. L. **Economical colorimetric smart sensor to measure water quality of drinking water in CKDu prevalence areas**. IEEE Sensors Journal, v. 17, n. 18, p. 5885-5891, 2017.

FONDRIEST ENVIRONMENTAL, INC. **Telemetria. Fundamentos de medições ambientais.** Great Lakes e River Valley, OH: Fondriest, 2014. Disponível em: <https://www.fondriest.com/environmental-measurements/monitoring-equipment/telemetry/>. Acesso em: 18 nov. 2022.

GIORDANO, G.; SURERUS, V. **Efluentes industriais, volume 1:** estudo de tratabilidade. Rio de Janeiro, RJ: Publit soluções editoriais, 2015.

HOU, D., LIU, S., ZHANG, J., CHEN, F., HUANG, P., & ZHANG, G. **Online monitoring of water-quality anomaly in water distribution systems based on probabilistic principal component analysis by UV-Vis absorption spectroscopy.** Journal of Spectroscopy, v. 2014, 2014.

IGUÁ SANEAMENTO. **Manual de operação do sistema macro adutor de água da RMRJ.** Rio de Janeiro, RJ: Iguá Saneamento. 2021.

JESUS, J. H. D. **Automação do equipamento de coleta de dados do sistema de controle de nível do rio, utilizado no controle de risco de enchente na cidade de Caratinga-MG.** Caratinga, MG: Faculdades Doctum de Caratinga, 2019.

KIM, T.; JUNG, D.; YOO, D. G.; HONG, S.; JUN, S.; & KIM, J. H. **Development of a Water Quality Event Detection and Diagnosis Framework in Drinking Water Distribution Systems with Structured and Unstructured Data Integration.** Energies, v. 15, n. 24, p. 9300, 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1996-1073/15/24/9300>. Acesso em: jul. 2023.

LEAL JUNIOR, W. B. **Modelagem de um sistema multiparâmetro para monitoramento da qualidade da água utilizando internet das coisas.** Palmas, TO: Universidade Federal do Tocantins, 2019.

LEE, J. H.; HWANG, S. H. **Flood monitoring and prediction using online unstructured data.** In Proceedings of the Korea Water Resources Association Conference. Korea Water Resources Association. p. 118, 2019.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de Qualidade e Tratamento de Água**. 3 Ed. Campinas, SP: Átomo, 2010.

LOPES, L. F. D. **APOSTILA ESTATÍSTICA**. Cachoeira do Sul, RS: Universidade Federal de Santa Maria, 2003. Disponível em: <https://www.inf.ufsc.br/~vera.carmo/LIVROS/LIVROS/Luis%20Felipe%20Dias%20Lopes.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2023.

LUO, X., & YANG, J. **Water pollution detection based on hypothesis testing in sensor networks**. *Journal of Sensors*. v. 2017, 2017.

MONTEIRO L. N. **Sistema de monitoramento da qualidade da água em tempo real**. Sorocaba, SP: Universidade Estadual Paulista, 2020. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/202370>. Acesso em: 22 ago. 2022.

MORETTIN, P. A.; BUSSAB, W. O. **Estatística básica**. 9 ed. São Paulo, SP: Saraiva, 2017.

MUHAREMI, F.; LOGOFĂTU, D.; LEON, F. **Machine learning approaches for anomaly detection of water quality on a real-world data set**. *Journal of Information and Telecommunication*, v. 3, n. 3, p. 294-307, 2019. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/24751839.2019.1565653>. Acesso em: jul. 2023.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). **6. Água Potável e Saneamento**. Brasil, 2022. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/ods/ods6.html>. Acesso em: 10 mar. 2023.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). **11. Cidades e Comunidades Sustentáveis**. Brasil, 2022. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/ods/ods11.html>. Acesso em: 17 abr. 2023.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). **A ONU e o meio ambiente**. Brasil, 2019. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/acao/meio-ambiente/>>. Acesso em: 02 nov. 2019.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). **Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos 2015: ÁGUA PARA UM MUNDO SUSTENTÁVEL**. Brasil, 2015. Disponível em: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000232272_por/PDF/232272por.pdf.multi. Acesso em: 25 set. 2022.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). **Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos 2021: VALOR DA ÁGUA**. Brasil, 2021. Disponível em: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000375751_por/PDF/375751por.pdf.multi. Acesso em: 25 set. 2022.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE (OMS). **Water safety plan manual: Step-by-step risk management for drinking-water suppliers**. 2023. Disponível: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240067691>. Acesso em: 06 jun. 2023.

PROLAGOS. **Ligações clandestinas prejudicam sistema de abastecimento de água**. São Pedro da Aldeia, RJ: Prolagos 2020. Disponível em: <https://www.prolagos.com.br/ligacoes-clandestinas-prejudicam-sistema-de-abastecimento-de-agua/>. Acesso em: 05 de mai. 2023.

RIBEIRO, V. H. A.; MORITZ, S.; REHBACH, F.; REYNOSO-MEZA, G. **A novel dynamic multi-criteria ensemble selection mechanism applied to drinking water quality anomaly detection**. Science of The Total Environment , v. 749, p. 142368, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969720358976>. Acesso em: jul. 2023.

SABESP. **Distribuição de água**. São Paulo, SP: SABESP, 2023. Disponível: <https://www.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaold=35#:~:text=Depois%20>

de%20tratada%2C%20a%20%20%20C3%A1gua,at%20C3%A9%20chegar%20ao%20consumidor%20final. Acesso em: 12 dez. 2022.

SECRETARIA DE VIGILÂNCIA EM SAÚDE (SVSA). **Diretriz Nacional do Plano de Amostragem da Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano.** Brasília, DF: SVSA 2016. Disponível: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/diretriz_nacional_plano_amostragem_agua.pdf. Acesso em 25 ago. 2022.

SECRETARIA DE VIGILÂNCIA EM SAÚDE (SVSA). **Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano.** Brasília, DF: SVSA 2006. Disponível: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/vigilancia_controle_qualidade_agua.pdf. Acesso em 25 ago. 2022.

SEBRAE. **O que são resíduos** (e o que fazer com eles). Brasil, 2022. Disponível: <https://sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/o-que-sao-residuos-e-o-que-fazer-com-eles,ca5a438af1c92410VgnVCM100000b272010aRCRD#:~:text=Res%C3%ADduos%20s%C3%A3o%20as%20partes%20que,processos%20industriais%20ou%20por%20motores>. Acesso em: 19 set. 2022.

SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO (SNS). **Panorama do Saneamento Básico no Brasil.** Brasília, DF: SNS, 2021. Disponível: http://www.snis.gov.br/downloads/panorama/PANORAMA_DO_SANEAMENTO_BASICO_NO_BRASIL_SNIS_2021.pdf. Acesso em: 25 set. 2022.

SHANTHOSAM, K. P.; LAKSHMI, G. S. e REVATHI, T. **Design of smart sensors for real time drinking water quality monitoring and contamination detection in water distributed mains.** Jordânia, AM: International Journal of Engineering e Technology, 2018. Disponível em: <https://www.sciencepubco.com/index.php/ijet>. Acesso em: 09 set. 2023.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE RECURSOS HÍDRICOS (SNIRH). **Base Nacional de Referência de Usos Consultivos da Água no Brasil.**

Brasília, DF: SNIRH, 2021. Disponível:
<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrljoiMWE2ZTE1NmItOGUyZS00ZTc1LTljMzUtNDgwYjVhODcyNWl1IiwidCI6ImUwYmI0MDEyLTgxMGItNDY5YS04YjRkLTkyN2ZjZDFiYWY4OCJ9>. Acesso em: 28 fev. 2022.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO (SNIS). **Diagnóstico Temático Serviços de Água e Esgoto**. Brasília, DF: SNIS, 2022. Disponível:
http://antigo.snis.gov.br/downloads/diagnosticos/ae/2020/DIAGNOSTICO_TEMATICO_GESTAO_TECNICA_DE_AGUA_AE_SNIS_2022.pdf. Acesso em: 31 mai.2023.

SILVA, E. J. V. **Instrumentação de motores a diesel de grande porte para medição da temperatura de mancais do virabrequim**. Curitiba, PR: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2022. Disponível em:
<http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/30331/1/instrumentacaomotoresdieselvirabrequim.pdf>. Acesso em: 07 fev. 2023.

SILVA, M. F. S. **Sistema de monitoramento *online* de barragens de mineração**. Ouro Preto, MG: Universidade Federal de Ouro Preto, 2019. Disponível:
https://monografias.ufop.br/bitstream/35400000/1818/11/MONOGRAFIA_SistemaMonitoramentoOnline.pdf. Acesso em: 24 set. 2022.

THOMAZINI, D.; ALBUQUERQUE, P. U. B. **Sensores industriais: Fundamentos e aplicações**. 9 ed. Bela Vista, SP: Saraiva e Érica, 2020.

UMBUZEIRO, G. A. **Guia de potabilidade para substâncias químicas**. São Paulo, SP: ABES, 2012.

VENDEMIATTI, C. **Sistema remoto para monitoramento do consumo de água em tempo real**. Sorocaba, SP: Universidade Estadual Paulista, 2020.

WARKENTIN D. F.; BENEDITO D. **Análise comparativa entre rede cabeada e rede wireless**. Curitiba, PR: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2015. Disponível em: <http://riut.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/9724>. Acesso em: 17 fev. 2022.

WERNECK, G; RIBEIRO, L. **Lama da barragem de Brumadinho já afetou abastecimento de água em 16 municípios**. MG: Jornal Estado de Minas. 2019. Disponível em: <https://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2019/02/26/interna_gerais,1033727/lama-da-barragem-ja-afetou-fornecimento-de-agua-em-16-municipios.shtml>. Acesso em: 03 nov. 2022.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Water safety plan manual: Step-by-step risk management for drinking-water suppliers**. 2023. Disponível: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240067691>. Acesso em: 06 jun. 2023.

ZHANG, J., ZHU, X., YUE, Y., & WONG, P. W. **A real-time anomaly detection algorithm/or water quality data using dual time-moving windows**. 2017 Seventh international conference on innovative computing technology (INTECH). IEEE, p. 36-41, 2017.