

## INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA (ETA)

### **Marta Regina Inoue<sup>(1)</sup>**

Doutora em Engenharia Hidráulica e Sanitária pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Engenheira Química da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP) e Gerente da Divisão do Controle Sanitário Centro - MCEC.

### **Agostinho de Jesus Gonçalves Geraldes<sup>(2)</sup>**

Engenheiro Civil pela Universidade Anhembi Morumbi. Gerente de Departamento da Unidade de Negócio Centro - MCE.

### **Mauri Benedito Amaro da Silva<sup>(3)</sup>**

Técnico em Saneamento da Etec Vasco Antônio Venchiarutti de Jundiá. Técnico em Sistema de Saneamento da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP).

### **Silvia Schneider de Souza<sup>(4)</sup>**

Bacharel em Química pela Fundação Santo André e MBA Saneamento Ambiental pela FESP. Química da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP) e Supervisora da Divisão do Controle Sanitário Centro - MCEC.

### **David Albino Cardoso<sup>(5)</sup>**

Bacharel com Atribuições Tecnológicas em Química da Universidade Mogi das Cruzes. Técnico em Sistema de Saneamento da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP) e Supervisor da Divisão do Controle Sanitário Centro - MCEC.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** SABESP – Divisão de Controle Sanitário Centro – MCEC – Rua Dona Antônia de Queirós, 218 - Consolação – São Paulo – CEP: 01307-011 - País - Tel: +55 (11) 3138-5401 - Fax: +55 (11) 3227-4458 - e-mail: [mrinoue@sabesp.com.br](mailto:mrinoue@sabesp.com.br).

## RESUMO

Com o crescente aumento de inovações nos diversos segmentos de mercado, pesquisas sobre novas tecnologias de monitoramento da qualidade da água associadas a inteligência artificial vem se intensificando em diversos países no sentido de ganhar cada vez mais eficiência em seus serviços.

Na área de saneamento, os avanços tecnológicos nas análises laboratoriais para Estações de Tratamento de Água (ETAs) permitem que uma infinidade de dados seja coletada durante toda a atividade. O controle do processo é feito através de sensores e Inteligência Artificial. Esses sensores enviam dados para a nossa plataforma de gerenciamento online, que interpreta toda essa ampla quantidade de informação e proporciona ao usuário em tempo real todas as informações de seu sistema e eficiência, constituindo uma ferramenta importante na gestão dos recursos e financeira.

Como solução para atendimento a à Legislação de uma ETA localizada a uma área afastada, fez-se o estudo para realização de ensaios tanto físico-químicos quanto microbiológicos de forma automatizada.

Implantado o processo de ensaios on line tanto parâmetros físico-químicos como microbiológicos para atendimento a Legislação vigente e controle de processo permitiu a automação total da ETA de forma a garantir a eficiência do sistema e otimização de recursos humanos e financeiros.

**PALAVRAS-CHAVE:** Automação, Monitoramento on Line, Estação de Tratamento de Água

## INTRODUÇÃO

A Estação de Tratamento de Água (ETA) deste estudo é uma estação de tratamento de água que abastece o distrito de um município, beneficiando cerca de 1360 habitantes e 400 ligações de água. A água que abastece a ETA provem de um manancial de uma área preservada, cujas características naturais são preservadas e a água da captação e resguardada em suas características naturais.

A Figura 1 apresenta a área de captação do manancial deste estudo.



**Figura 1 – Captação da água**

O monitoramento da qualidade da água é a ferramenta utilizada na obtenção de dados e geração destas informações tanto para diagnóstico quanto no acompanhamento de medidas mitigadoras e compensatórias previstas nos controles de processo.

Para atendimento a Portaria GM/MS n. 888, de 04 de Maio de 2021 do Ministério da Saúde, legislação vigente, é necessário a coleta e análise de parâmetros para atendimento na saída do tratamento.

O processo de tratamento de água necessita de presença de operadores para realização de análises físico-químicas e microbiológicas para atendimento a legislação.

A rotina de monitoramento da qualidade da água contínuo, ensaios para atendimento a legislação vigente e a localização existente da ETA, tornou-se necessário estudos por meio de tecnologia avançada para obtenção de monitoramento e gestão de processo de forma utilizando a inteligência artificial, substituindo o sistema existente anteriormente, que necessita de operadores, analistas, reagentes e equipamentos de laboratórios, tornando a ETA autônoma gerenciando de forma independente os ensaios físico-químicos e microbiológicos obtendo parâmetros conformes na saída da ETA conforme a legislação vigente e ensaios acreditados de acordo com o Cgcre/INMETRO.

A acreditação é um meio de determinar a competência técnica do laboratório para realizar ensaios.

Ela também oferece reconhecimento formal do laboratório, fornecendo meio para dar maior credibilidade dos resultados.

Para manter este reconhecimento, o laboratório é reavaliado periodicamente pelo Cgcre (INMETRO) para garantir o cumprimento contínuo dos requisitos, e para verificar se o seu padrão de operação está sendo mantido.

O laboratório participa de ensaios de proficiência como uma demonstração de competência técnica.

## **OBJETIVO**

O objetivo deste trabalho é ter uma Estação de Tratamento de Água (ETA) com um sistema de medição em tempo real de processo (ensaios) e com a concessão do Cgcre/INMETRO, tendo a confiabilidade dos resultados obtidos tanto para parâmetros físico-químicos (cloro residual livre, pH, cor, condutividade, turbidez e temperatura), quanto microbiológicos (coliformes totais e e.coli), de forma a garantir a eficiência do sistema e atendimento a legislação vigente totalmente automatizada.

## **METODOLOGIA UTILIZADA**

Com a evolução tecnológica cada vez maior e uso da inteligência artificial no nosso campo de trabalho, torna-se necessário incorporar soluções eficientes de forma a melhorar nosso sistema, onde se não houver este movimento pode ocasionar processos obsoletos, deficiências nos serviços prestados e principalmente falta de dados para evolução do monitoramento da atividade.

O uso da automação e a inteligência artificial possibilita impulsionar os pontos fortes do processo, reforçar áreas com deficiências e capacitar a força de trabalho para que se concentrem nas tarefas mais importantes.

A não implantação de automação e monitoramento da qualidade da água com uso da inteligência artificial torna o processo ineficiente, porque esta tecnologia proporciona processar grandes volumes de dados em uma fração do tempo que um ser humano levaria para desempenhar a mesma função, conseqüentemente ações são tomadas baseadas nos dados obtidos em tempo real e com resultados robustos, melhorando a performance do sistema.

O sistema convencional de monitoramento da qualidade da água tem um grande impacto financeiro, uma vez que necessita de operadores para verificar a qualidade da água de tempos em tempos e ajuste de processo, técnico de laboratório para realização de análise para cumprimento da legislação e equipamentos e reagentes para realizados de ensaios.

Para tornar a Estação de Tratamento de Água (ETA) totalmente automatizada necessitou de definir algumas etapas para o processo a saber:

Primeiro o local a ser instalado.

A Figura 2 apresenta o local escolhido onde já funcionava um laboratório de realização de ensaios de bancada.



**Figura 2 – Local a ser instalado os equipamentos de monitoramento on line**

A próxima etapa foi procurar no mercado e em feiras tecnológicas equipamentos que realizam ensaios para atendimento a Legislação vigente (Portaria GM/MS n. 888, de 04 de Maio de 2021 do Ministério da Saúde).

A escolha do equipamento e da metodologia, foi baseado visando melhor custo/benefício, isto é, realização de ensaios sem geração de resíduo, sem uso de reagentes, possibilidade de realização de controle estatístico de processo no equipamento, menor tempo de ensaios e acreditação destes ensaios e principalmente do ponto de vista econômico que é a extinção de uso de reagentes para parâmetros físico-químicos e mão de obra para realização de coleta e ensaios laboratoriais e um sistema totalmente automatizado.

Foram escolhidos parâmetros baseado nos critérios para atendimento a legislação vigente, como cloro residual livre (CRL), cor aparente, turbidez, fluoreto e colimetria.

Testou-se equipamentos que atendem requisitos para acreditação dos ensaios de forma a garantir a credibilidade dos resultados.

O equipamento escolhido é robusto, compacto para medição “on line” dos parâmetros de cloro residual livre, pH, cor, condutividade, turbidez, temperatura e fluoreto num único sistema, sem uso de reagentes e sem geração de resíduo.

E outro equipamento para ensaios microbiológicos por batelada.

Após aquisição dos dois equipamentos, um para realizar o monitoramento dos parâmetros físico-químicos e outros para ensaios microbiológicos, adequou-se a área escolhido realizando ajuste de forma a ter os equipamentos instalados, pontos de coleta para checagem e sistema de telemetria para envio de dados.

A Figura 3 apresenta a nova área após realizados os ajustes necessários.



**Figura 3 – Equipamentos de medição físico-químico e microbiológicos on line instalados**

Realizado a instalação, iniciou-se o processo de validação dos ensaios e este processo foi inserido no Sistema de Gestão da Qualidade existente na unidade, elaborando procedimentos operacionais de forma a tornar um processo padronizado.

Por ser um ensaio de método inovador, fez-se necessário à validação destes métodos de forma a garantir a confiabilidade dos resultados obtidos.

A Tabela 1 apresenta os parâmetros validados pelo monitoramento on line.

**Tabela 1: Parâmetros e Técnicas Analíticas Validadas.**

PARÂMETROS	TÉCNICA ANALÍTICA	UNIDADE
<b><u>Físico-Químico</u></b>		
Cloro Residual Livre	Direto, Polarográfico	mg/L
Cor Aparente	Direto, Absorção de Luz Transmitida	UC
pH	Direto, Potenciométrico	-----
Turbidez	Direto, Absorção de Luz Transmitida	NTU
Condutividade	<i>Standard Methods</i> , Potenciométrico	µS/cm
<b><u>Microbiológico</u></b>		
Coliformes Totais	<i>Standard Methods</i> , substrato enzimático	P/A
<i>E.coli</i>	<i>Standard Methods</i> , substrato enzimático	P/A

Realizamos programas interlaboratoriais e ensaios de proficiência obtendo resultado satisfatório nas rodadas inscritas de forma a avaliar o desempenho dos resultados e monitoramento contínuo dos dados, evidenciando desta forma a obtenção de resultados confiáveis.

Após todo o processo o mesmo foi submetido para um organismo responsável, para que os nossos ensaios tenham o reconhecimento formal de que o laboratório está operando com sistema de qualidade documentado e tecnicamente competente segundo critérios estabelecidos por normas internacionais.

O diferencial inovador é que utilizamos o monitoramento on line para processo e para atendimento a Legislação.

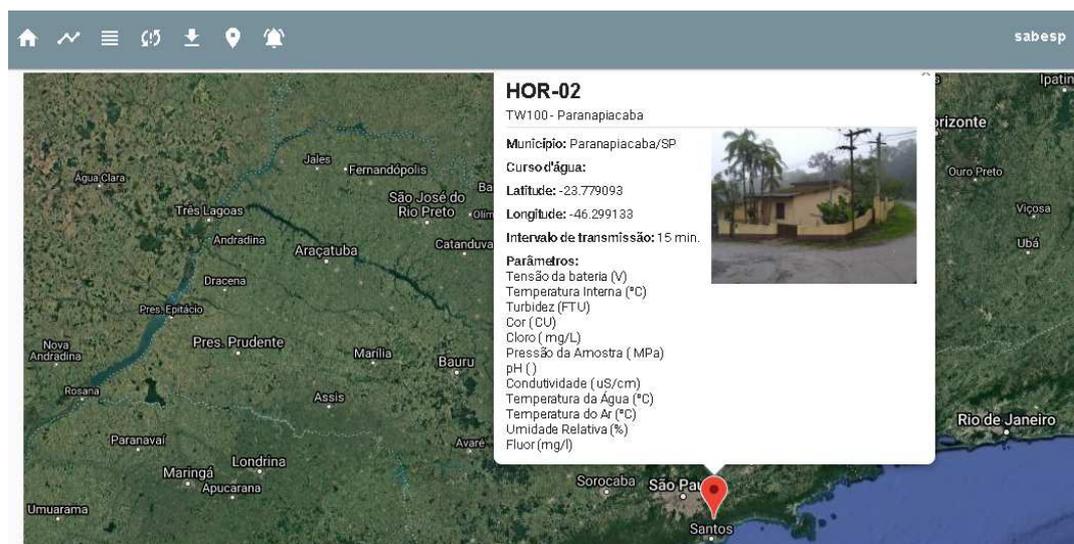
## RESULTADOS OBTIDOS

No sistema de monitoramento on line, os parâmetros físico-químicos podem ser programados no intervalo desejado, no caso foi determinado um intervalo de 15 em 15 minutos há o envio de resultados no sistema de telemetria e para os parâmetros microbiológicos o sistema é por batelada, podendo ser determinado no mínimo a cada 14 h ou ajustado de 24 h (tempo de incubação).

Esses valores foram validados por normas orientativas pela CgCRE (Coordenação Geral de Acreditação do Inmetro), comparando com métodos consagrados, reconhecidos e padronizados do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (AWWA) de forma a ter confiabilidade dos resultados apresentados.

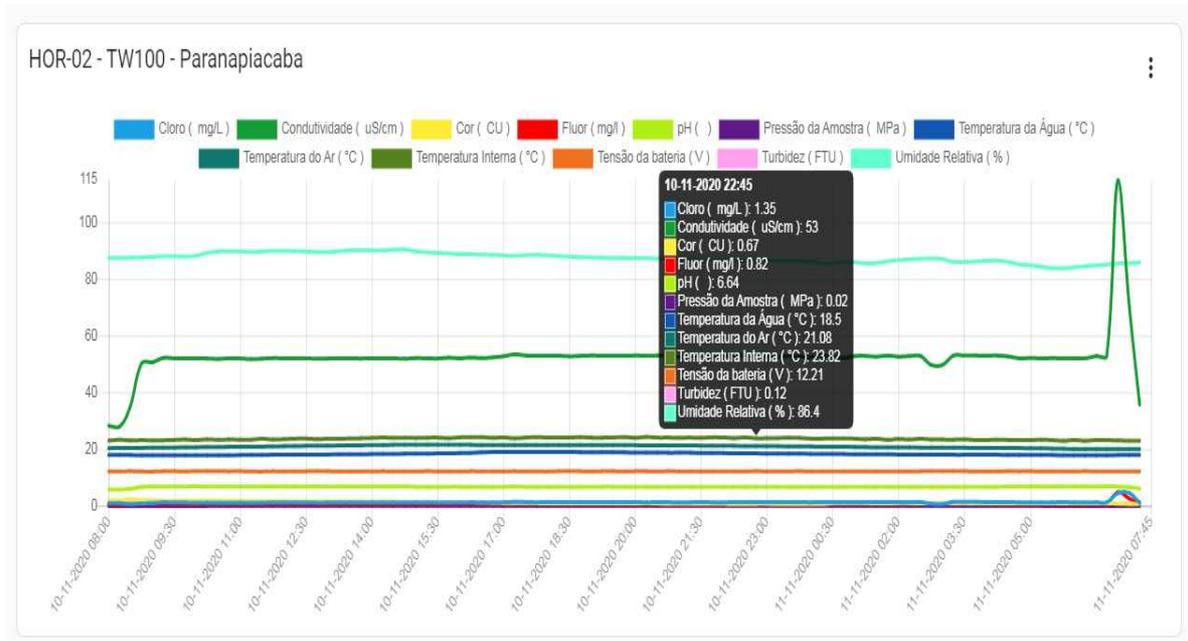
Os resultados físico-químicos e microbiológicos são enviados diretamente para um programa do equipamento em tempo real, de qualquer lugar, podendo ser em excell (parâmetros físico-químicos), pdf, em gráfico e com posição geográfica, tornando uma ferramenta para tomadas de decisões de operação.

A Figura 4 apresenta a localização do sensor on line para parâmetros físico-químicos e os dados.



**Figura 4 – Apresentação Geográfica do Sensor de Monitoramento on line (parâmetros físico-químico)**

A Figura 5 apresenta um exemplo de gráfico dos dados no intervalo solicitado, sendo também possível obter esses valores em pdf e excell.



**Figura 5 – Gráficos do Monitoramento on line dos parâmetros físico – químico**

A Figura 6 apresenta o equipamento para ensaios de colimetria, onde no visor é possível visualizar o resultado e a sua tendência de contaminação ou ausência.



**Figura 6 – Equipamento com visor do resultado para ensaios microbiológicos**

A Figura 7 e 8 apresenta o sistema de envio de resultado de microbiológica para ensaio de coliformes totais ou *e. coli* informando os resultados já a tendência de ausência/presença, onde cada intervalo de é demonstrado por um ensaio por batelada.

Caso haja presença de coliformes totais/*e-coli* o resultado fica no intervalo em vermelho.

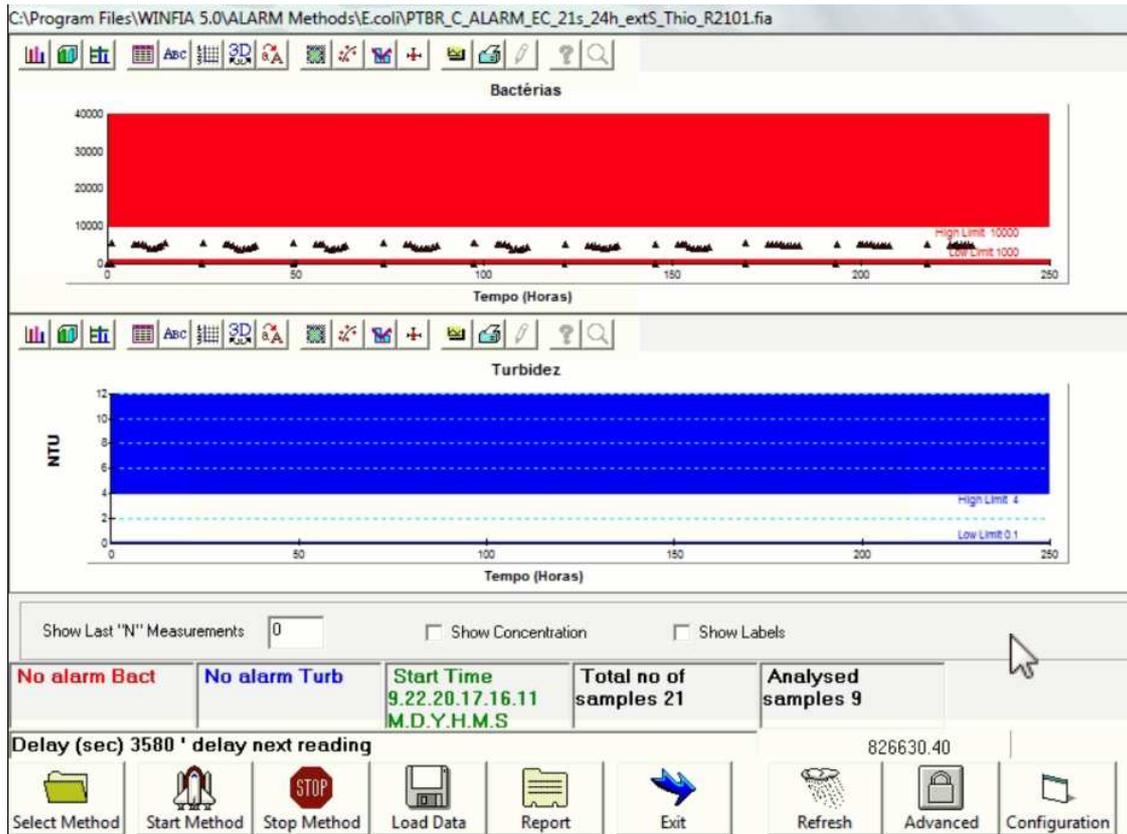


Figura 7 – Resultado dos ensaios de *e.coli* – resultados – ausentes

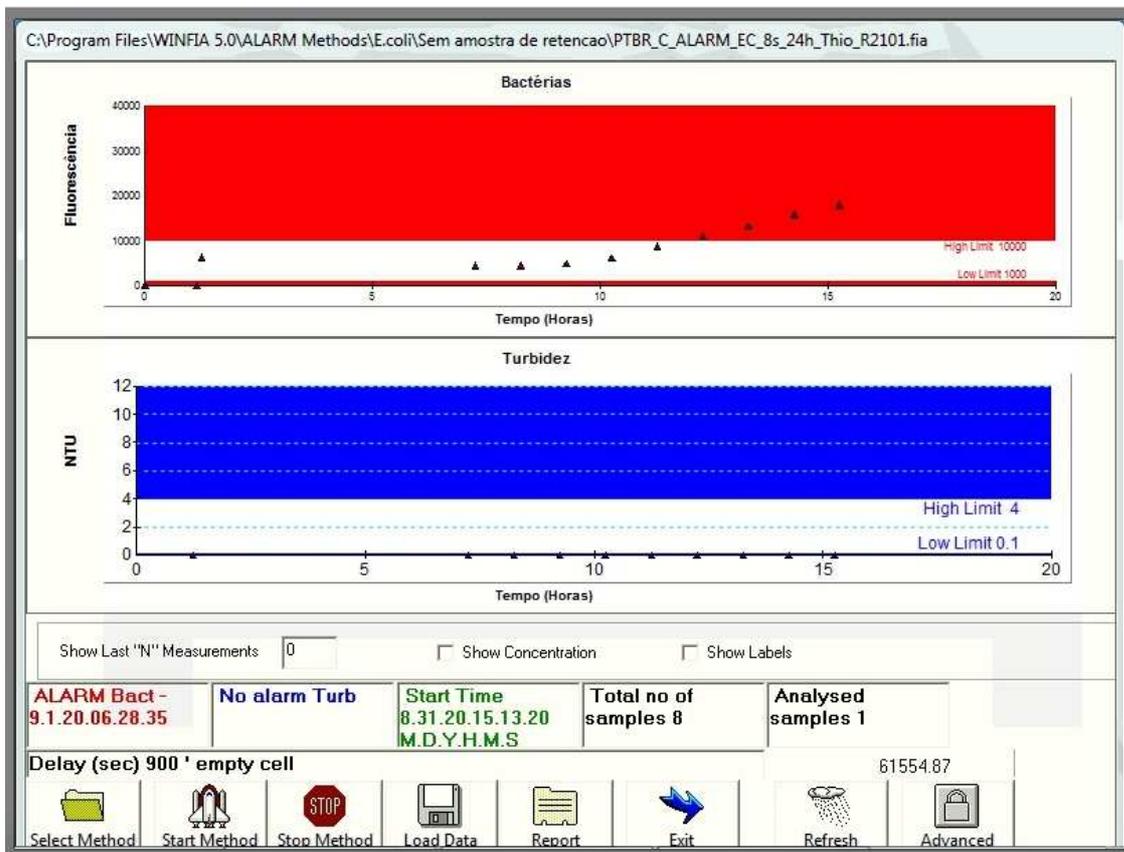


Figura 8 – Resultado dos ensaios de *e.coli* – resultados – presente

A Figura 10 e 11 apresenta o visor dos dados do equipamento para medição on line dos parâmetros físico-químico.



Figura 10 – Resultado físico-químico (pH, cor aparente, turbidez, cloro residual livre e condutividade) on line visualizado no equipamento

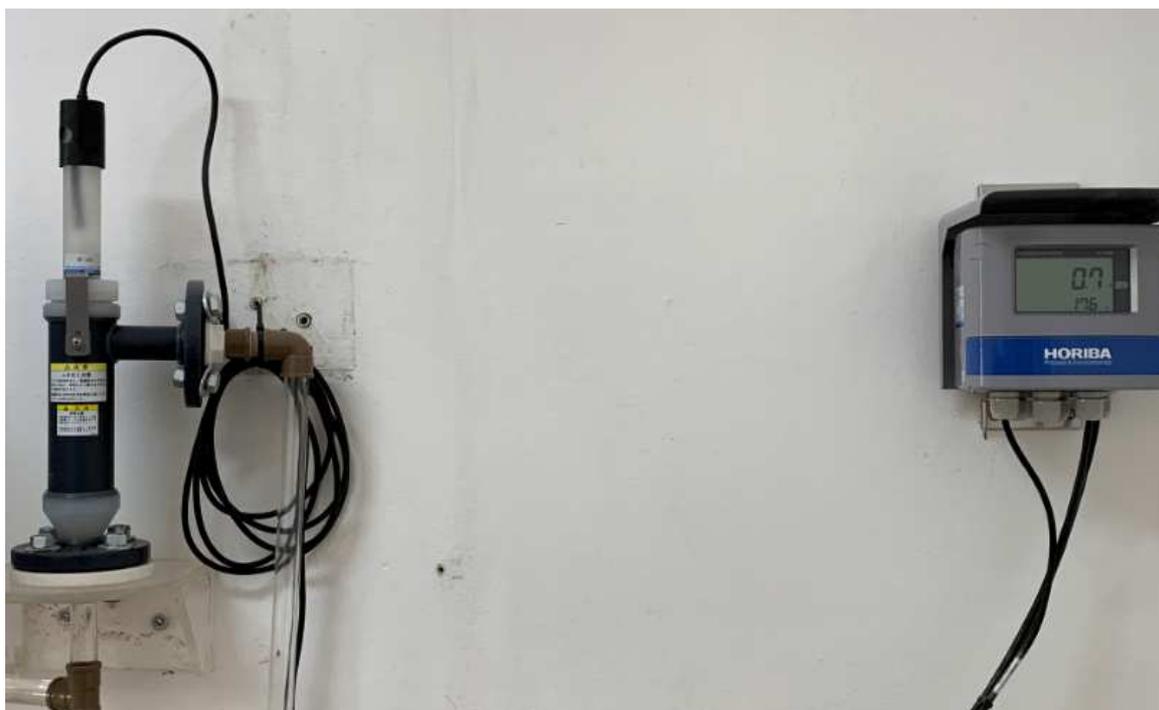


Figura 11 – Resultado de fluoreto on line visualizado no equipamento

Com a implantação dos equipamentos para realização de ensaios e tempo real, houve redução de 100 % custo de mão de obra para realização coleta, transporte e análise para atendimento a Portaria GM/MS n. 888, de 04 de Maio de 2021 do Ministério da Saúde.

Eliminou 100 % de custo provenientes para realização de ensaios de processo.

Para os ensaios físico-químicos, tem-se a mais 800 % de resultados de monitoramento da qualidade da água, onde anteriormente cada analista realizava ensaio a cada duas horas (quantitativo mínimo exigido pela legislação) e agora são registrados resultados a cada 15 minutos.

Para os ensaios microbiológicos houve um aumento de 300 % de resultados, anteriormente realizava-se 2 ensaios semanais (quantitativo mínimo exigido pela legislação) e agora são registrados 36 ensaios mensais.

Um aspecto positivo dos ensaios físico-químico on line é a não geração de resíduo e nem uso de reagente para a realização do ensaio.

Além disso, após a implantação da automação na ETA a obtenção do resultado garante maior segurança e qualidade em toda a rede de tratamento e de distribuição de água.

## ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

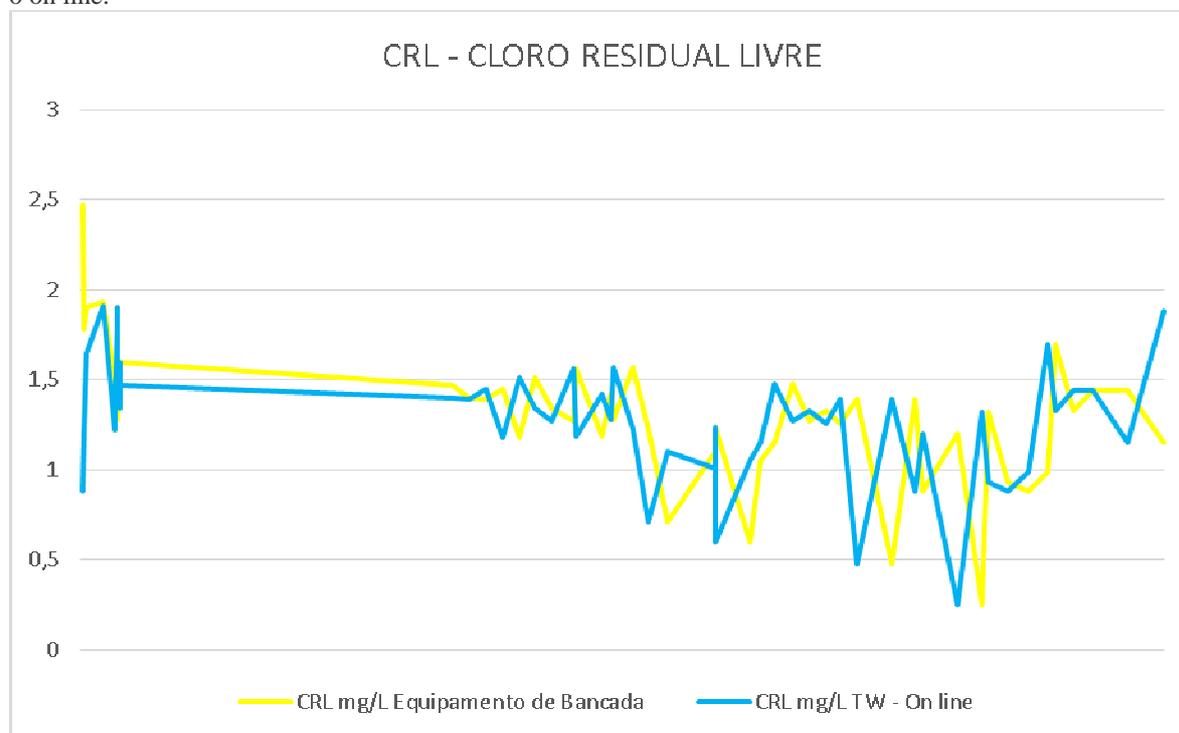
Para a garantia de qualidade dos ensaios realizados on line (físico-químico) utilizamos a metodologia de realizar ensaios paralelos com equipamentos de bancada e metodologia do Standard Methods Examination of Water and Wastewater (AWWA) executado por outro laboratório com reconhecimento formal que está operando com sistema de qualidade documentado e tecnicamente competente segundo critérios estabelecidos por normas internacionais (Cgcre/INMETRO) e metodologia de referência.

De posse dos dois resultados é realizado a análise crítica dos dados de ambos os métodos e caso ocorra desvios ações são tomadas de forma a mitigar o problema.

Para isso, utiliza-se o DPR (Desvio-padrão relativo percentual) que representa o desvio padrão relativo em termo de percentagem. Estima a precisão de uma medida.

Todos os resultados analisados obtiveram-se  $DPR < 20$ , valor estimado pelo laboratório para critério de aceitação.

As Figuras 12, 13, 14, 15 e 16 apresenta os resultados realizados no equipamento físico-químico de bancada e o on line.



**Figura 12 – Resultado de Cloro Residual Livre com o equipamento de bancada e o On line**

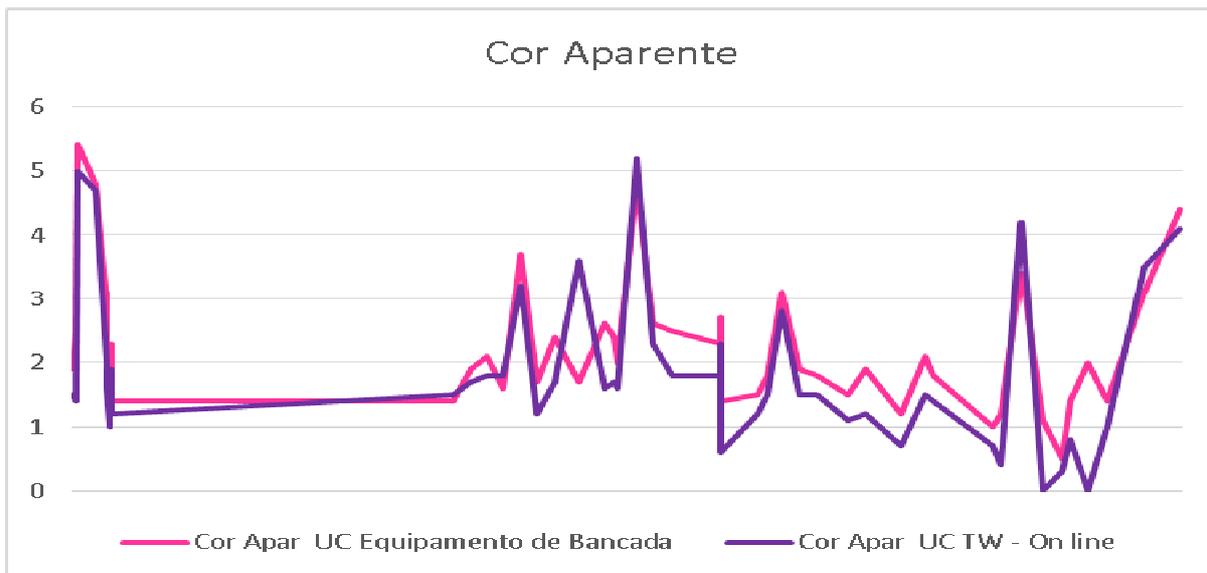


Figura 13 – Resultado de Cor Aparente com o equipamento de bancada e o On line

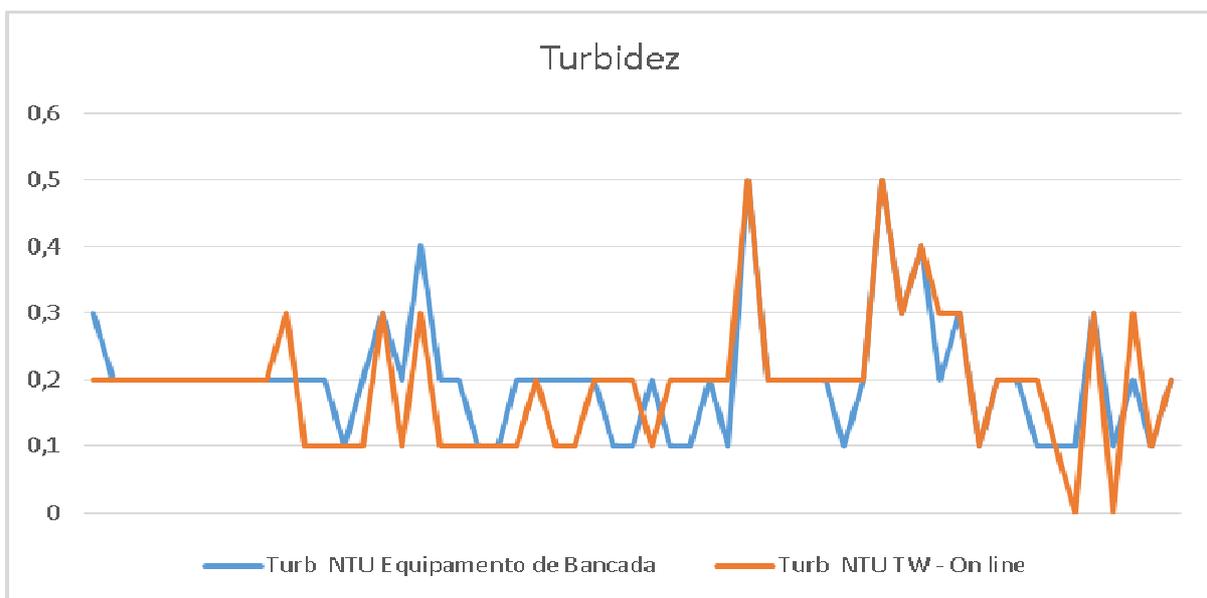
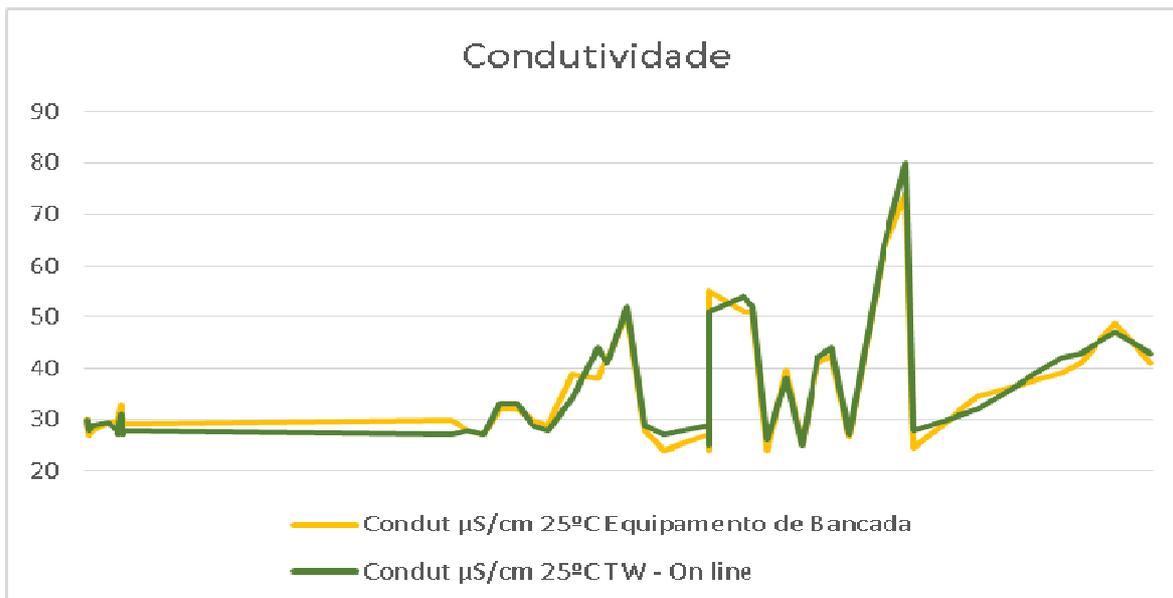
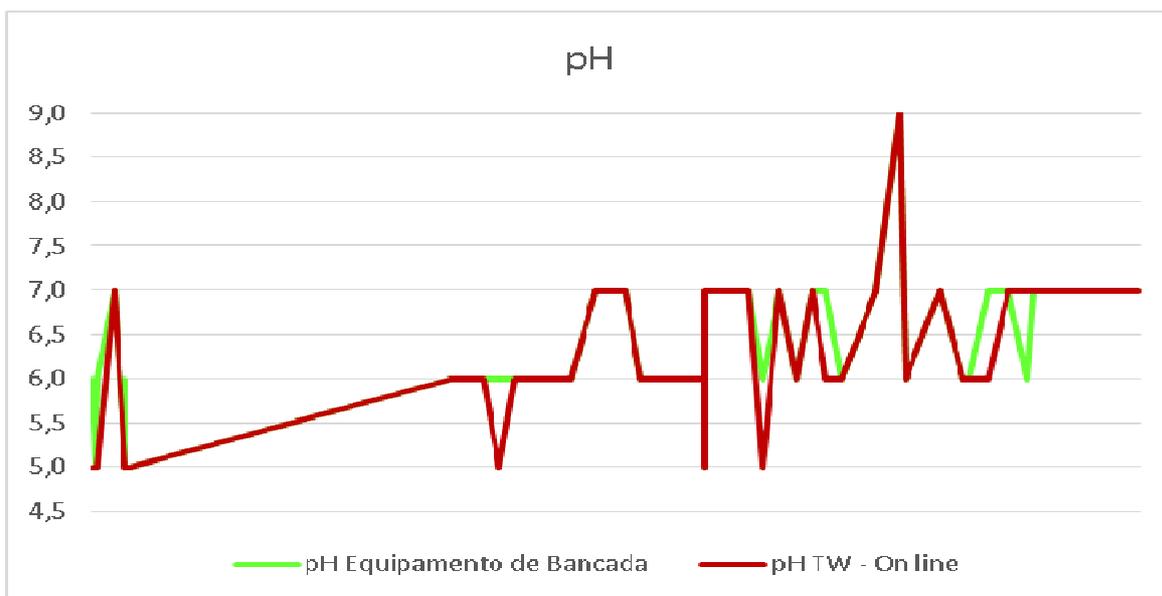


Figura 14 – Resultado de Turbidez com o equipamento de bancada e o On line



**Figura 15 – Resultado de Condutividade com o equipamento de bancada e o On line**



**Figura 16 – Resultado de pH com o equipamento de bancada e o On line**

Nota-se os a diferença entre os resultados do de bancada e o on line são pequenas, demonstrando que os resultados têm confiabilidade.

A Tabela 2 apresenta a quantidade de ensaios realizados no mesmo período de ensaios microbiológicos (*e.coli*) realizados no laboratório e os por batelada e quanto obtiveram resultados positivos.

Para os ensaios de laboratório são realizadas 2 coletas semanais enquanto no do colifast é a cada 24 horas.

Verificou-se que todos os ensaios realizados no laboratório (coletados 2 vezes na semana) deram ausentes e no do colifast, duas amostras apresentou resultado positivo.

Os dias que o resultado deu presente não foi coletado no mesmo horário da amostra a ser levada no laboratório.

Pelos resultados apresentados demonstra que quanto maior é o controle maior é possível ter a visão sistêmica do processo.

Isto porque, para os ensaios no colifast, como as coletas são a cada 24 horas de forma automatizada, isto é, não é necessária uma pessoa para ir no local, transportar e levar para o laboratório para analisar, no caso do local

onde foi instalado o equipamento; é possível ter um maior controle do processo e ter um histórico de dados do sistema, auxiliando na tomada de decisão do processo a fim de maximizar seu processo.

**Tabela 2: Quantidade de amostras analisadas**

ENSAIO	Colifast (batelada)	Laboratório ( <i>Standard Methods</i> )
<i>E.coli</i>	221	68
Resultado Positivo – <i>e.coli</i>	2	0

Para monitorar os resultados de processo e atendimento a legislação de forma automática usa-se a indicadores a saber:

- Incidência das análises de aferição da qualidade da água fora do padrão - obter o mínimo de resultado fora do padrão.
- Incidência das análises de cloro residual fora do padrão - verificar e ações são tomadas imediatamente para mitigar resultados anômalos.
- Incidência das análises de turbidez fora do padrão - verificar e ações são tomadas imediatamente para mitigar resultados anômalos.
- Incidência das análises de *e.coli* fora do padrão - verificar e ações são tomadas imediatamente para mitigar resultados anômalos.
- Incidência das análises fora do padrão para aferição da qualidade da água tratada - tomar ações de forma imediata

Estes indicadores mensuram as ações desempenhadas no processo de forma a avaliar o rendimento e sua eficiência.

No mínimo anualmente, o laboratório participa de Programas de Ensaio de Proficiência que são estudos interlaboratoriais utilizados como ferramentas de avaliação externa e demonstração da confiabilidade dos resultados analíticos laboratoriais e caso constante desvios são tomadas ações de correção.

## CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Com base nos resultados obtidos, pode-se concluir que:

- Resultados em tempo real dos dados da Estação de Tratamento de Água (ETA) tanto para parâmetros físico-químicos como microbiológicos;
- Otimização da força de trabalho;
- Minimização de custos operacionais (serviços extraordinários e hora/homem, laboratório);
- Eliminação de custo de reagentes para os ensaios físico-químicos;
- Não geração de resíduo de ensaios físico-químico;
- Transparência dos ensaios para o cliente
- Maior controle do processo, pois tem maior quantidade de dados;
- Confiabilidade nos resultados, obtidos através da acreditação ISO/IEC 17025:2017.

O diferencial inovador é que muitas ETAs usam monitoramento on line para processo e tem ensaios laboratoriais para atendimento a Legislação.

Com estes equipamentos e com o Sistema de Gestão implantado foi possível realizar ensaios em tempo real e com resultados que podem ser utilizados para controle de processo e atendimento a Legislação vigente (Laboratório e Ensaio acreditado).

Com um sistema de medição em tempo real de processo (ensaios) e concessão do Cgcre/INMETRO, garantimos a confiabilidade dos resultados obtidos tanto para parâmetros físico-químicos (cloro residual livre, pH, cor, condutividade, turbidez e temperatura), quanto microbiológicos (coliformes totais e *e.coli*).

Esta automação de processo permitiu estabelecer os parâmetros de processos utilizados para a automação da estação de tratamento de água para abastecimento, de forma a garantir a eficiência do sistema e a otimização de recursos humanos e financeiros.

Recomenda-se também o uso deste sistema em unidades móveis de forma a realizar os mesmos ensaios em rede de distribuição de água, minimizando custo e problema de transporte, armazenamento, coleta de amostra, sem geração de resíduo, com a transparência do resultado obtido no momento do atendimento ao cliente, gerando informação, melhorando a imagem da empresa, ou mesmo em locais de grande circulação de pessoas, como escolas, hospitais, saída de reservatório de água de distribuição, monitorando este pontos para atendimento a Portaria GM/MS n. 888, de 04 de Maio de 2021 do Ministério da Saúde e informando em tempo real os parâmetros de qualidade de água que está sendo distribuídos à população.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. SPOLAOR, A.S. *Automação nos Sistemas de Abastecimento de Água - Caso do Controle da Reservação de Distribuição*, 2011. Dissertação de mestrado-Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas, 2011.
2. HENRIQUES, J.A., *Proposição de Modelos de Predição de Desempenho de Estações Convencionais de Tratamento de Água Utilizando Redes Neurais Artificiais*, 2019. Dissertação de doutorado-Universidade Federal de Minas Gerais, 2019.
3. TOMMASI, L.R., *A degradação do Meio Ambiente*, 1979.
4. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION - APHA; American Water Works Association - Awwa; Water Environment Federation - WEF. *Standard methods for the examination of water and wastewater. 23 rd.* Washington: American Public Health Association; American Water Works Association; Water Environment Federation, 2017.
5. EURACHEM, CITAC, *Quantifying uncertainty in analytical measurement*, Guide CG4, 3rd ed., Eurachem, 2012.
6. EVALUATION OF MEASUREMENT DATA — *Guide to the expression of uncertainty in measurement*, 2008.
7. INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL – INMETRO, *DOQ-CGCRE-008 - Orientação sobre a validação de métodos de ensaios químicos*, Revisão 09, junho de 2020.
8. INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL – INMETRO, *Avaliação de dados de medição: guia para a expressão de incerteza de medição – GUM 2008*.
9. INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL – INMETRO, *NIT-DICLA-021 – Expressão da incerteza de medição por laboratórios de calibração*. Revisão 10, julho de 2020.