

**ALTERNATIVAS À CLORAÇÃO CONVENCIONAL EM ETAS DE MÉDIO PORTE UMA
ANÁLISE COMPARATIVA**

**COMPARATIVE ASSESSMENT OF DISINFECTION ALTERNATIVES FOR MEDIUM-SCALE
WATER TREATMENT PLANTS**

 <https://doi.org/10.63330/aurumpub.033-003>

Ricardo Augusto Teixeira Costa

Graduado em Engenharia Civil-RJ

Centro Universitário de Volta Redonda, UniFOA, Brasil.

E-mail: ricardoatcosta@outlook.com

Orcid: <https://orcid.org/0009-0006-5308-7105>

Diego Sebastian Carvalho de Souza

Mestre em Engenharia Urbana e Ambiental, PUC-RJ

Universidade do Estado do Rio de Janeiro

E-mail: dscs.gp@gmail.com

Orcid: <https://orcid.org/0009-0007-3440-8302>

Thiago Sebastian Carvalho de Souza

Graduado em Administração, Universidade Veiga de Almeida

Universidade Federal Fluminense

E-mail: tsebastian@id.uff.br

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-4825-227X>

Danielle Marçal Vilameá de Souza

Graduado em Arquitetura, Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Universidade do Estado do Rio de Janeiro

E-mail: danielle.marcal.souza@uerj.br

Orcid: <https://orcid.org/0009-0002-4288-760X>

RESUMO

A desinfecção é etapa essencial no tratamento de água para consumo humano, sendo a cloração convencional amplamente utilizada em Estações de Tratamento de Água (ETAs) no Brasil. Este estudo apresenta uma análise comparativa entre a cloração convencional e métodos alternativos de desinfecção aplicáveis a ETAs de médio porte, com base em um estudo de caso desenvolvido na ETA Nova, localizada no município de Barra Mansa (RJ), responsável pelo tratamento de água para uma população aproximada de 110.00 habitantes, com vazão média de tratamento da ordem de 350 L/s. A avaliação considerou critérios de eficiência microbiológica, viabilidade operacional, custos, segurança do trabalho e manutenção, com apoio da Matriz GUT e de matrizes de risco. Os resultados indicaram que a cloração convencional apresenta boa eficiência e baixo custo direto, porém envolve elevados riscos operacionais associados ao manuseio e armazenamento de cloro gás. A radiação ultravioleta demonstrou alta eficiência na inativação

microbiológica, entretanto não assegura desinfetante residual na rede, exigindo a adoção de processo complementar. A ozonização apresentou elevado desempenho sanitário, porém com maior complexidade operacional e custos de implantação e operação. A cloração por geração de hipoclorito de sódio in loco apresentou o melhor desempenho global, conciliando eficiência, segurança operacional, menor risco ocupacional, simplicidade de manutenção e garantia de residual desinfetante. De forma geral, os resultados indicam que a geração de hipoclorito in loco constitui a alternativa mais adequada para ETAs de médio porte em contextos operacionais similares.

Palavras-chave: Tecnologias de desinfecção; Avaliação de risco; Viabilidade operacional; Decisão técnica; Estações de tratamento de água.

ABSTRACT

Disinfection is an essential step in drinking water treatment, with conventional chlorination being the most widely adopted method in Water Treatment Plants (WTPs) in Brazil. This study presents a comparative analysis between conventional chlorination and alternative disinfection methods applicable to medium-sized WTPs, based on a case study conducted at the ETA Nova, located in the municipality of Barra Mansa, Rio de Janeiro, Brazil. The plant supplies approximately 110.000 inhabitants and operates with an average treatment flow rate of about 350 L/s. The evaluation was performed through a qualitative and comparative approach, considering criteria related to microbiological efficiency, operational feasibility, costs, occupational safety, and maintenance requirements, supported by the GUT Matrix (Gravity, Urgency, and Trend) and operational risk assessment tools. The results indicate that conventional chlorination provides adequate disinfection efficiency and low direct costs; however, it involves significant operational risks associated with the handling and storage of chlorine gas. Ultraviolet disinfection demonstrated high microbiological inactivation efficiency but does not ensure a disinfectant residual in the distribution network, requiring complementary processes. Ozonation showed high disinfection performance but presented greater operational complexity and higher implementation and operational costs. In contrast, on-site sodium hypochlorite generation achieved the best overall performance, combining effective disinfection, reduced occupational risks, simplified operation and maintenance, lower operational costs, and compliance with residual disinfectant requirements. Overall, the findings indicate that on-site hypochlorite generation represents the most suitable disinfection alternative for medium-sized WTPs under similar operational conditions.

Keywords: Disinfection technologies; Risk assessment; Operational feasibility; Technical decision; Water treatment plants.

1 INTRODUÇÃO

O abastecimento de água potável constitui um sistema complexo e essencial à saúde pública, demandando planejamento, gestão eficiente e a adoção de tecnologias adequadas para garantir o fornecimento seguro à população (Tsutiya, 2024). No Brasil, a Lei nº 11.445/2007 e a 14026/2020 estabelecem as diretrizes nacionais para o saneamento básico, definindo o abastecimento de água como o conjunto de atividades, infraestruturas e instalações responsáveis pelo fornecimento de água potável para consumo humano, industrial e outros usos. Nesse contexto, o tratamento adequado da água é indispensável para o atendimento aos padrões de potabilidade vigentes, especialmente no que se refere ao controle microbiológico.

O tratamento de água compreende um conjunto de processos físicos e químicos destinados à adequação da água bruta aos padrões higiênicos, estéticos e econômicos, visando à remoção de microrganismos patogênicos, substâncias tóxicas, matéria orgânica e impurezas que possam comprometer a saúde humana (Mundo Educação, 2025). Entre essas etapas, a desinfecção destaca-se como a única fase obrigatória, independentemente da origem da água captada, uma vez que os processos físico-químicos convencionais não asseguram a completa remoção de microrganismos (Tsutiya, 2024).

A desinfecção consiste na inativação de microrganismos patogênicos, como bactérias, protozoários e vírus, sendo fundamental para a prevenção de doenças de veiculação hídrica. Segundo Di Bernardo e Dantas (2005) e Heller e Pádua (2010), os desinfetantes atuam por diferentes mecanismos, incluindo a desestruturação celular e a interrupção de processos metabólicos essenciais, não se tratando de esterilização completa. A eficiência desse processo depende de fatores como características do desinfetante, resistência dos microrganismos, concentração aplicada, tempo de contato e qualidade da água, aspectos diretamente relacionados aos custos operacionais e à segurança do sistema (Tsutiya, 2024).

Embora a cloração convencional seja o método mais utilizado no Brasil e no cenário internacional, em razão de sua eficácia e baixo custo, estudos apontam limitações associadas à formação de subprodutos, riscos ocupacionais e necessidade de aprimoramento da gestão operacional (Rossin, 1987; Meyer, 1994). Nesse sentido, métodos alternativos, como a radiação ultravioleta e a ozonização, vêm sendo estudados como opções complementares ou substitutivas, apresentando vantagens e restrições técnicas e econômicas (Tinoco, 2011; Medeiros, 2010; Wright e Cairns, 2010).

Este trabalho sumariza os dados experimentais da monografia de Ricardo Augusto Teixeira Costa (UniFOA, 2026), utilizada como alicerce para a análise comparativa. A integração desses registros autorais ratifica a viabilidade do hipoclorito in situ para unidades de médio porte. Assim, a presente redação converte o estudo acadêmico em síntese técnica para divulgação científica.

Diante desse contexto, o objetivo deste trabalho é avaliar tecnicamente e comparar alternativas à cloração convencional para o sistema de desinfecção da Estação de Tratamento de Água ETA Nova, localizada no município de Barra Mansa (RJ), considerando critérios de eficiência, viabilidade operacional, segurança e custos, com apoio de ferramentas qualitativas de análise, como a Matriz GUT e matrizes de risco, visando subsidiar a tomada de decisão em ETAs de médio porte.

2 METODOLOGIA

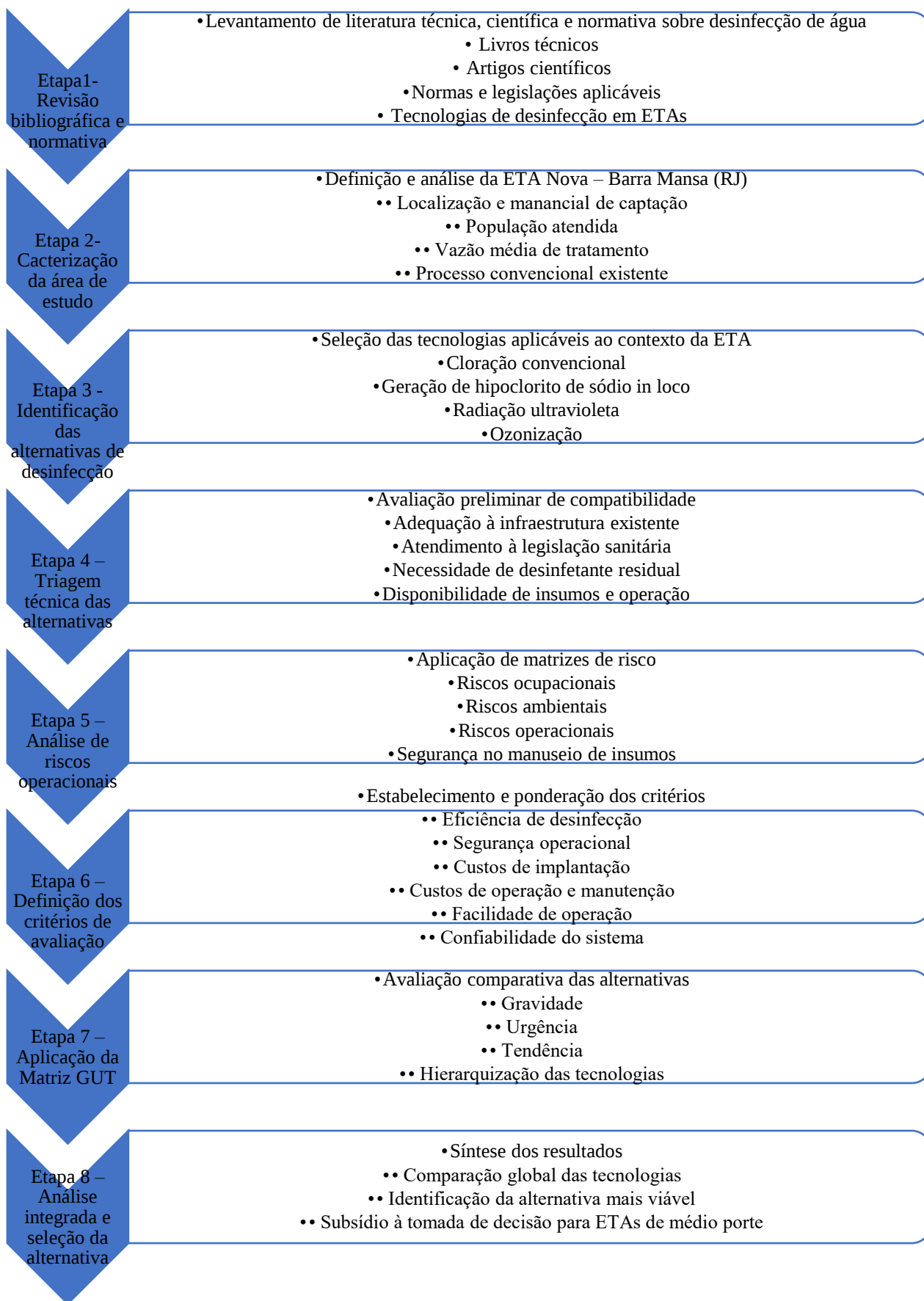
O presente trabalho caracteriza-se como um estudo aplicado, de natureza qualitativa e analítica, com enfoque técnico-operacional, desenvolvido a partir de revisão bibliográfica especializada e de um estudo de caso em sistema real de abastecimento de água. A pesquisa teve como objetivo subsidiar a proposição e a avaliação comparativa de alternativas de desinfecção para uma Estação de Tratamento de Água (ETA) de médio porte, considerando critérios técnicos, operacionais, econômicos e de segurança do trabalho.

Inicialmente, foi realizada uma revisão sistematizada da literatura técnica e científica, contemplando livros, artigos científicos, trabalhos acadêmicos, relatórios técnicos e normas aplicáveis à desinfecção de água para consumo humano. As fontes consultadas incluíram bases de dados como Periódicos CAPES, SciELO, Google Scholar e busca manual em publicações consolidadas da área de saneamento. Foram priorizados trabalhos publicados nos últimos dez anos, em língua portuguesa, com foco em sistemas públicos de abastecimento de água, além da legislação sanitária vigente no Brasil. Essa etapa permitiu identificar as principais tecnologias de desinfecção empregadas em ETAs, suas vantagens, limitações e condições de aplicabilidade.

Para reduzir o trecho mantendo o rigor técnico e a clareza, utilize a seguinte redação:

A pesquisa foca na ETA Nova, em Barra Mansa (RJ), que capta água do Rio Paraíba do Sul para abastecer 110.000 pessoas (62% do município). A caracterização incluiu aspectos locacionais, populacionais e operacionais, detalhados na Figura 1. A metodologia para avaliar as alternativas de desinfecção seguiu cinco fases principais, conforme o diagrama metodológico.

Figura 1 – Processo Metodológico



O presente trabalho caracteriza-se como uma pesquisa aplicada, de natureza qualitativa e abordagem técnico-operacional, desenvolvida a partir de revisão bibliográfica especializada e de um estudo de caso em sistema real de abastecimento de água. A metodologia foi estruturada de forma sequencial em oito etapas, conforme o processo metodológico apresentado na Figura 1, permitindo a avaliação comparativa de alternativas de desinfecção aplicáveis a Estações de Tratamento de Água (ETAs) de médio porte.

Inicialmente, na Etapa 1, realizou-se o levantamento da literatura técnica, científica e normativa relacionada aos processos de desinfecção de água para consumo humano, incluindo livros técnicos, artigos científicos, normas e legislações aplicáveis, bem como estudos sobre tecnologias de desinfecção empregadas em ETAs.

Na sequência, a Etapa 2 compreendeu a definição e caracterização da área de estudo, correspondente à Estação de Tratamento de Água ETA Nova, localizada no município de Barra Mansa, no estado do Rio de Janeiro, contemplando aspectos como localização, manancial de captação, população atendida, vazão média de tratamento e processo convencional existente.

A partir dessa caracterização, procedeu-se, na Etapa 3, à identificação das alternativas de desinfecção aplicáveis ao contexto da ETA, considerando-se a cloração convencional, a geração de hipoclorito de sódio in loco, a radiação ultravioleta e a ozonização.

Em seguida, na Etapa 4, foi realizada a triagem técnica das alternativas selecionadas, por meio de uma avaliação preliminar de compatibilidade com a infraestrutura existente, atendimento à legislação sanitária vigente, necessidade de manutenção de desinfetante residual na rede de distribuição e disponibilidade de insumos e condições operacionais.

Posteriormente, a Etapa 5 consistiu na análise de riscos operacionais associados a cada alternativa de desinfecção, utilizando matrizes de risco para a identificação de riscos ocupacionais, ambientais e operacionais, com ênfase na segurança no manuseio e armazenamento de insumos, na complexidade das rotinas operacionais e na exposição dos operadores.

Paralelamente, na Etapa 6, foram definidos os critérios de avaliação das alternativas, contemplando eficiência de desinfecção, segurança operacional, custos de implantação, custos de operação e manutenção e facilidade de operação, estabelecidos com base na literatura especializada e na experiência prática em sistemas de abastecimento de água.

Na Etapa 7, aplicou-se a Matriz GUT (Gravidade, Urgência e Tendência) como ferramenta de apoio à tomada de decisão, permitindo a avaliação comparativa e a hierarquização das tecnologias analisadas. A priorização dos riscos associados às tecnologias de desinfecção foi realizada por meio da Matriz GUT (Gravidade, Urgência e Tendência), ferramenta de apoio à decisão amplamente utilizada em análises multicritério e gestão de riscos, conforme abordagem contemporânea apresentada por Gomes, Gomes e Almeida (2020).

Por fim, na Etapa 8, procedeu-se à análise integrada dos resultados obtidos, reunindo as informações técnicas, operacionais, econômicas e de segurança, possibilitando a comparação global das alternativas e a identificação da tecnologia de desinfecção mais viável para a realidade da ETA Nova, fornecendo subsídios técnicos para a tomada de decisão em ETAs de médio porte com características operacionais semelhantes.

Adicionalmente, foram utilizados dados laboratoriais da água tratada, obtidos por empresa especializada contratada pelo operador do sistema, a Oceanus Centro de Biologia Ambiental, de modo a verificar a conformidade com os padrões microbiológicos estabelecidos pela Portaria de Consolidação nº 5 do Ministério da Saúde. Esses dados reforçaram a necessidade de um sistema de desinfecção eficiente e seguro, compatível com a demanda populacional e com as condições operacionais da ETA Nova. Os resultados são apresentados no Quadro 1.

Tabela 1 – Análises de Campo					
Parâmetros	Unidade	LD	LQ / Faixa	Resultados	Portaria GM/MS nº 888 – SAASAC (Reservatório, Rede ou Ponto de Consumo)
pH	N.A.	N.A.	1 – 13	6,95	Entre 6,0 e 9,5
Cloro Residual	mg/L	0,003	0,01	1,48	Entre 0,2 e 5,0
Turbidez	NTU	—	0,1	3,64	5,0

Fonte: Oceanus (2025)

Tabela 2 - Ensaios de Recuperação				
Parâmetros	Unidade	Método	Resultados (%)	Faixa Aceitável de Recuperação (%)
Ácido 2,3-dibromopropiônico (surrogate de ácidos haloacéticos)	%	Ácidos Haloacéticos (mg/L)	70	70 – 130
Ácido 2,3-dibromopropiônico (surrogate de herbicidas clorados)	%	Herbicidas Clorados (µg/L)	79	70 – 130
p-Bromofluorobenzeno (surrogate)	%	Voláteis (µg/L)	115	70 – 130
p-Terfenila-d14 (surrogate de SVOC)	%	SVOC (µg/L)	80	70 – 130
p-Terfenila-d14 (surrogate de acrilamida)	%	Acrilamida (µg/L)	80	70 – 130
p-Terfenila-d14 (surrogate de agrotóxicos)	%	Agrotóxicos (µg/L)	77	70 – 130

Fonte: Oceanus (2025)

A integração das etapas metodológicas descritas permitiu uma avaliação comparativa consistente das alternativas de desinfecção, fundamentada em critérios técnicos e operacionais, fornecendo subsídios objetivos para a proposição da alternativa mais viável para ETA(s) de médio porte com características semelhantes à área de estudo.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos neste estudo decorrem da aplicação sequencial das etapas metodológicas descritas anteriormente e sintetizadas na Figura X, permitindo uma análise integrada das alternativas de desinfecção avaliadas para a Estação de Tratamento de Água ETA Nova, localizada no município de Barra

Mansa (RJ). A discussão apresentada considera tanto os aspectos qualitativos e operacionais das tecnologias analisadas quanto os dados analíticos obtidos por meio de ensaios laboratoriais, apresentados nas Tabelas 1 e 2, assegurando coerência entre a metodologia aplicada e os resultados obtidos.

A caracterização da área de estudo (Etapa 2) evidenciou que a ETA Nova opera como sistema de médio porte, atendendo parcela significativa da população urbana do município e adotando processo convencional de tratamento, no qual a desinfecção assume papel central para a garantia da potabilidade da água distribuída. Nesse contexto, os resultados das análises de campo apresentados na Tabela 1 indicam conformidade dos parâmetros pH, cloro residual e turbidez com os limites estabelecidos pela Portaria GM/MS nº 888/2021, demonstrando que o sistema atual é capaz de atender aos padrões regulatórios. Entretanto, a simples conformidade normativa não esgota a análise, uma vez que aspectos relacionados à segurança operacional, riscos ocupacionais e viabilidade a longo prazo também devem ser considerados, conforme proposto na metodologia adotada.

Os ensaios de recuperação apresentados na Tabela 2 reforçam a confiabilidade analítica dos resultados laboratoriais, uma vez que todos os valores obtidos se situam dentro da faixa aceitável de recuperação (70–130%). Esses resultados indicam adequado desempenho dos métodos analíticos empregados e asseguram a validade dos dados utilizados como base para a avaliação da eficiência do sistema de desinfecção existente e para a comparação com as alternativas propostas.

A partir da identificação das alternativas de desinfecção (Etapa 3) e da triagem técnica preliminar (Etapa 4), constatou-se que a cloração convencional, embora eficiente do ponto de vista microbiológico, apresenta riscos operacionais relevantes, especialmente associados ao manuseio e armazenamento de cloro gás. A geração de hipoclorito de sódio *in loco* surge como alternativa tecnicamente viável, mantendo a eficiência da cloração e reduzindo significativamente os riscos ocupacionais. Por sua vez, a radiação ultravioleta e a ozonização demonstram elevada eficiência de inativação microbiológica, porém apresentam limitações relacionadas à ausência de desinfetante residual, maior complexidade operacional e custos mais elevados, o que impacta sua aplicabilidade em ETAs de médio porte.

A análise de riscos operacionais (Etapa 5) evidenciou diferenças significativas entre as tecnologias avaliadas. A cloração convencional foi associada a maior gravidade potencial dos impactos em caso de falhas operacionais, enquanto a geração de hipoclorito *in loco* apresentou perfil de risco reduzido. As tecnologias de radiação ultravioleta e ozonização, embora mais seguras do ponto de vista químico, demandam maior controle operacional e sistemas complementares para garantir a segurança sanitária da água distribuída.

Com base nesses resultados, procedeu-se à definição dos critérios de avaliação (Etapa 6), atribuindo-se maior peso aos critérios de segurança operacional e eficiência de desinfecção, em função da relevância desses fatores para sistemas de abastecimento público de água. Os custos de implantação e de operação e

manutenção receberam peso intermediário, considerando as restrições orçamentárias típicas de sistemas públicos, enquanto a facilidade de operação foi ponderada como critério complementar, porém relevante para a sustentabilidade operacional do sistema. Esses pesos refletem a prioridade conferida à proteção da saúde pública e à redução de riscos, sem desconsiderar a viabilidade econômica das alternativas.

Na aplicação da Matriz GUT, os critérios Gravidade, Urgência e Tendência foram avaliados de forma ponderada, adotando-se pesos diferenciados em função da relevância de cada parâmetro para a segurança sanitária e operacional de Estações de Tratamento de Água de médio porte. O critério Gravidade recebeu o maior peso relativo (peso 3), considerando que falhas no processo de desinfecção podem resultar em impactos diretos e severos à saúde pública, incluindo o risco de veiculação de doenças de origem hídrica.

O critério Urgência foi atribuído com peso 2, refletindo a necessidade de intervenção em curto prazo diante de situações que envolvem riscos operacionais, especialmente aquelas associadas ao manuseio e armazenamento de produtos químicos perigosos, bem como à possibilidade de interrupções no processo de desinfecção. Já o critério Tendência recebeu peso 1, sendo utilizado para avaliar a probabilidade de agravamento dos riscos ao longo do tempo, considerando aspectos como envelhecimento dos equipamentos, aumento da complexidade operacional e possíveis mudanças nas exigências regulatórias. A adoção dessa ponderação (Gravidade = 3, Urgência = 2 e Tendência = 1) permitiu uma hierarquização mais realista e conservadora das alternativas de desinfecção avaliadas, priorizando a proteção da saúde pública e a redução de riscos operacionais, conforme os resultados apresentados na Tabela 3.

A aplicação da Matriz GUT (Etapa 7), apresentada na Tabela 3, permitiu a avaliação comparativa ajustada das alternativas de desinfecção, considerando os parâmetros Gravidade, Urgência e Tendência. Os valores atribuídos resultaram na hierarquização das tecnologias analisadas, evidenciando que a cloração por geração de hipoclorito de sódio in loco apresentou a menor pontuação global de risco, seguida pela cloração convencional, pela radiação ultravioleta e, por fim, pela ozonização. Essa hierarquização reflete não apenas a eficiência sanitária, mas também a evolução potencial dos riscos ao longo do tempo, aspecto fundamental para a tomada de decisão em sistemas de médio porte.

Tabela 3 - Avaliação multicritério das técnicas de desinfecção em ETAs de médio porte

Tecnologia	Eficiência Sanitária	Segurança Operacional	Viabilidade Operacional	Viabilidade Econômica	Resultado Final
Cloração Manual	Baixa	Baixa	Média	Média	50
Ozonização	Baixa	Média	Baixa	Média	53
Radiação Ultravioleta	Alta	Alta	Alta	Baixa	69
Gerador In Loco (Salmoura)	Muito Alta	Muito Alta	Alta	Média	97
Bombas Dosadoras Eletromagnéticas	Alta	Média	Média	Média	79
Bombas Dosadoras – Motor de Passo	Muito Alta	Alta	Alta	Alta	92
Cloro Gás (Terceirização)	Alta	Média	Média	Baixa	90

A aplicação da matriz multicritério permitiu consolidar, de forma integrada, os diferentes aspectos técnicos, operacionais, econômicos e de segurança associados às tecnologias de desinfecção avaliadas. Ao considerar simultaneamente eficiência sanitária, risco operacional, viabilidade de manutenção e disponibilidade de recursos, a análise evidenciou que o desempenho global das alternativas não depende exclusivamente da capacidade de inativação microbiológica, mas do equilíbrio entre confiabilidade do processo e adequação ao contexto operacional da ETA estudada.

Os resultados obtidos indicam uma tendência clara de melhor desempenho para tecnologias que reduzem a dependência de insumos perigosos, ampliam a autonomia operacional e oferecem maior controle sobre o processo de desinfecção, especialmente em sistemas de médio porte. Observa-se ainda que soluções tradicionalmente consolidadas, embora eficazes do ponto de vista sanitário, podem apresentar limitações relevantes quando avaliadas sob uma abordagem sistêmica, principalmente no que se refere à segurança do operador e à continuidade operacional.

Nesse sentido, a matriz aplicada cumpre o papel de instrumento de apoio à decisão, permitindo hierarquizar alternativas de forma transparente e tecnicamente fundamentada, sem a pretensão de substituir análises detalhadas de projeto. A interpretação integrada dos resultados fornece subsídios consistentes para orientar escolhas tecnológicas mais alinhadas às exigências atuais de segurança, eficiência e sustentabilidade operacional em sistemas de abastecimento de água.

4 CONCLUSÃO

A literatura técnica analisada aponta a desinfecção como a etapa mais crítica do tratamento de água para consumo humano, sendo fundamental para a proteção da saúde pública. Autores da área de saneamento ressaltam que, embora a cloração convencional seja amplamente utilizada, sua adoção deve considerar não apenas a eficiência microbiológica, mas também aspectos relacionados à segurança operacional, aos riscos ocupacionais e à sustentabilidade do sistema. Estudos recentes reforçam a necessidade de avaliar tecnologias de desinfecção de acordo com o contexto específico de cada Estação de Tratamento de Água, especialmente em sistemas de médio porte.

Com base nesse referencial, este trabalho adotou uma metodologia aplicada, estruturada em etapas que integraram revisão bibliográfica, caracterização da área de estudo, avaliação laboratorial, análise de riscos e aplicação de ferramenta multicritério. O estudo de caso da ETA Nova, em Barra Mansa (RJ), mostrou-se representativo da realidade operacional de ETAs de médio porte, permitindo a comparação consistente entre diferentes tecnologias de desinfecção.

As análises laboratoriais realizadas pela Oceanus Centro de Biologia Ambiental indicaram que o sistema atual atende aos padrões de potabilidade da Portaria GM/MS nº 888/2021, com parâmetros dentro dos limites normativos e resultados analíticos confiáveis. Contudo, conforme destacado na literatura, a

conformidade normativa isolada não é suficiente para definir a alternativa mais adequada sob a ótica da segurança e da viabilidade operacional.

A aplicação das matrizes de risco e da Matriz GUT possibilitou uma avaliação integrada, incorporando critérios de gravidade, urgência e tendência dos riscos associados às tecnologias analisadas. A ponderação adotada, com maior peso para a gravidade, mostrou-se coerente com o princípio da precaução, permitindo uma hierarquização mais realista das alternativas.

Embora o gerador de hipoclorito de sódio in loco tenha apresentado a maior pontuação global, a análise integrada dos critérios evidencia que a desinfecção por cloro gás, no modelo de terceirização, configura-se como a alternativa mais adequada ao contexto operacional da ETA estudada. Tal escolha decorre do equilíbrio entre elevada eficiência sanitária, manutenção do residual na rede de abastecimento e redução dos riscos operacionais internos, sem demandar alterações estruturais significativas ou aumento expressivo da complexidade operacional. Assim, a decisão não se fundamenta exclusivamente no maior valor numérico obtido na matriz, mas na compatibilidade da tecnologia com a realidade técnica, econômica e operacional do sistema analisado.

Nesse contexto, a geração de hipoclorito de sódio in loco apresentou o melhor desempenho global, ao conciliar eficiência de desinfecção, manutenção do residual na rede, redução dos riscos ao operador e compatibilidade com a infraestrutura existente. Tecnologias como a radiação ultravioleta e a ozonização demonstraram elevado potencial sanitário, porém com limitações operacionais e econômicas para aplicação isolada em ETA(s) de médio porte, enquanto a cloração convencional evidenciou fragilidades associadas à segurança operacional.

De forma geral, conclui-se que a escolha do método de desinfecção deve ser orientada por uma abordagem integrada e multicritério, capaz de equilibrar eficiência sanitária, segurança e viabilidade operacional, contribuindo para decisões técnicas mais seguras e sustentáveis em sistemas de abastecimento de água.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 8 jan. 2007.

BRASIL. Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 16 jul. 2020.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 7 maio 2021.

COSTA, Ricardo Augusto Teixeira; SOUZA, Diego Sebastian Carvalho de; SOUZA, Thiago Sebastian Carvalho de; SOUZA, Danielle Marçal Vilameá de. Alternativas à cloração convencional em ETAs de médio porte: uma análise comparativa. Barra Mansa: UniFOA, 2026.

GOMES, L. F. A. M.; GOMES, C. F. S.; ALMEIDA, A. T. Tomada de decisão gerencial: enfoque multicritério. 5. ed. Rio de Janeiro: Atlas, 2020.

HELLER, Léo; PÁDUA, Valter Lúcio de (org.). Abastecimento de água para consumo humano. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2010.

MEDEIROS, R. C. Comparação da resistência de protozoários patogênicos – *Giardia* spp. e *Cryptosporidium* spp. – e de microrganismos indicadores à desinfecção sequencial cloro–radiação ultravioleta e ozônio–radiação ultravioleta. 2010. Tese (Doutorado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

MEYER, Sheila T. O uso de cloro na desinfecção de águas, a formação de trihalometanos e os riscos potenciais à saúde pública. Cadernos de Saúde Pública, Brasília, v. 10, n. 1, p. 99–110, 1994.

MUNDO EDUCAÇÃO. Tratamento da água. Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br>. Acesso em: 2025

NETO, J. C.; NEYCOMBE, G. Oxidação de cianobactérias e seus metabólitos em sistemas de tratamento de água: o estado da arte. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 23, n. 4, p. 817–827, out./dez. 2018.

ROSSIN, A. C. Desinfecção. In: Técnica de Abastecimento e Tratamento de Água. São Paulo: CETESB/ASCETESB, 1987. v. 2.

TINOCO, J. D. Desinfecção por radiação ultravioleta: estudo do desempenho do processo e avaliação econômica. 2011. Tese (Doutorado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

TSUTIYA, Milton Tomoyuki. Abastecimento de água. 3. ed. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2024.

WRIGHT, H. B.; CAIRNS, W. L. Desinfección de agua por medio de luz ultravioleta. In: Simposio Regional sobre Calidad del Agua: Desinfección Efectiva. Lima, Peru, p. 1–28.

OCEANUS CENTRO DE BIOLOGIA AMBIENTAL. Laudo de análise físico-química e microbiológica de água tratada. Barra Mansa, 2025.