



II-77 – REMOÇÃO NATURAL DE COLIFORMES EM ESGOTO DOMÉSTICO POR MEIO DE LODOS ATIVADOS – UM ESTUDO DE CASO COMPARATIVO

Arlindo Soares Räder⁽¹⁾

Engenheiro Químico formado pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Mestre em Engenharia Química e Engenheiro de Segurança do Trabalho pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Responsável Técnico pelo tratamento de água e esgoto da COMUSA – Serviços de Água e Esgoto de Novo Hamburgo. Doutorando no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC) da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS).

Luciana Paulo Gomes⁽²⁾

Engenheira Civil formada pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS). Mestre em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Universidade de São Paulo (USP). Doutora em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela USP. Professora do PPGEC/UNISINOS.

Aline Bauer Lacerda⁽³⁾

Engenheira Química formada pela Universidade Luterana do Brasil (ULBRA). Química Industrial formada pela Universidade Luterana do Brasil (ULBRA). Mestre em Materiais e Processos Industriais pela Universidade FEEVALE. Formação Técnica em Química pela Fundação Liberato. Responsável Técnica pelo tratamento de água e esgoto da COMUSA – Serviços de Água e Esgoto de Novo Hamburgo.

Ester Souza Lopes⁽⁴⁾

Bióloga formada pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS). Especialista em Vigilância em Saúde Ambiental pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Mestre e Doutora em Microbiologia Agrícola e do Ambiente pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Responsável Técnica pelo tratamento de esgoto da COMUSA – Serviços de Água e Esgoto de Novo Hamburgo.

Geraldo Tadeu da Silva Thiesen⁽⁵⁾

Engenheiro Mecânico pelo Instituto Federal Sul-Riograndense (IFSUL). Mestre em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Especialização em Gestão de Pessoas pela Universidade de Santa Cruz do Sul (UNISC). Formação Técnica em Química pela Fundação Liberato. Atuando há mais de 10 anos em Saneamento como Técnico em Tratamento de Água e Esgoto e atualmente como Encarregado de Tratamento de Água na COMUSA -Serviços de Água e Esgoto de Novo Hamburgo.

Endereço⁽¹⁾: Av. Coronel Travassos, 287 – Bairro Rondônia – Novo Hamburgo – RS – Brasil – CEP 93.415-000 – Tel.: +55 (51) 3036 1124 – e-mail: arader@comusa.rs.gov.br

RESUMO

A Resolução CONSEMA n.º 355/2017 dispõe sobre os critérios e padrões de emissão de efluentes líquidos para as fontes geradoras que lancem seus efluentes em águas superficiais no Estado do Rio Grande do Sul – Brasil. Quanto maior a vazão de lançamento de efluente nas águas superficiais, mais restritivo é o padrão de coliformes a ser cumprido. O presente trabalho mostra que é possível atingir remoções de coliformes totais (CT) e *Escherichia coli* (*E. coli*), em esgoto doméstico, previstas na legislação ambiental brasileira, sem uso de desinfecção química ou radiação ultravioleta, por meio do processo de tratamento lodos ativados (LA). Para tanto, são apresentadas as eficiências de remoção de CT e *E. coli*, monitorados entre setembro de 2021 a setembro de 2022, nas Estações de Tratamento de Esgotos denominadas Mundo Novo (ETE MN), Parque Residencial Novo Hamburgo (ETE PRNH), Jardim da Figueira (ETE JF) e Jardim do Sol (ETE JS), localizadas no município de Novo Hamburgo e pertencentes a COMUSA – Serviços de Água e Esgoto de Novo Hamburgo. A amostragem e exames microbiológicos foram realizados com frequência quinzenal durante o período monitorado. Essas quatro estações apresentam em comum o processo de tratamento do tipo lodos ativados (LA) em nível secundário, com previsão de remoção de aproximadamente 70 a 80% de DBO e vazão máxima prevista em Licença Ambiental de Operação (LO) da ordem de até 900m³.d⁻¹ (maior valor de vazão previsto entre as estações consideradas no presente trabalho referente à ETE PRNH). Após monitoramento das estações e análise dos resultados, pode-se concluir que todas as estações atingiram eficiências médias de remoção superiores a 92% para CT e *E. coli* de modo natural, apenas com o processo

biológico de LA, ou seja, livre de aplicação de produtos químicos desinfetantes e/ou uso de lâmpadas de radiação ultravioleta.

PALAVRAS-CHAVE: Coliformes totais; *Escherichia coli*; Lodos Ativados; Estação de Tratamento de Esgoto, Meio Ambiente.

INTRODUÇÃO

A tecnologia de Lodos Ativados (LA) é mundialmente reconhecida e amplamente utilizada para o tratamento de efluentes de origem doméstica ou sanitária (fezes, urina e águas de lavagem em geral) e industrial. Pode-se dizer que LA é o floco produzido num esgoto bruto ou decantado pelo desenvolvimento de zoogleias (agregado de microrganismos associados à substância mucilaginosa), na presença de oxigênio dissolvido (O_2), e acumulado em concentração suficiente graças ao retorno de outros flocos previamente formados (JORDÃO e PESSÔA, 2014). A Figura 1 mostra a estrutura típica de um floco de LA.

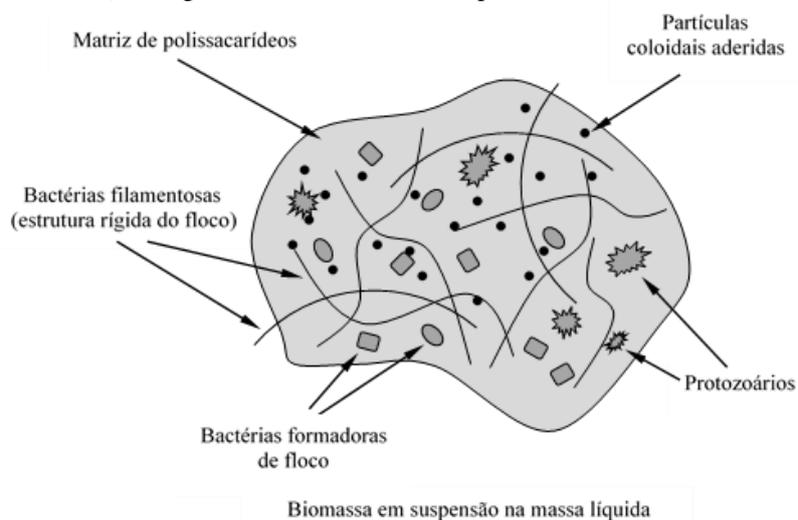


Figura 1: Estrutura típica de um floco de LA. Fonte: adaptado de VON SPERLING (1996, 2012), NUNES (2012).

A tecnologia LA necessita de alto grau de mecanização quando comparado a outros sistemas de tratamento, implicando em uma operação mais sofisticada e, conseqüentemente, exige maior consumo de energia elétrica (VON SPERLING, 2014). Conforme NUNES (2012), VON SPERLING (2014) e JORDÃO e PESSÔA (2014), algumas das características dos LA são: exigência de pequeno requisito de área para sua implantação, elevado grau de eficiência de remoção de matéria orgânica, flexibilidade operacional, necessidade de análises físico-químicas e microbiológicas frequentes para controle do processo, operadores qualificados para a operação e custos operacionais estão associados ao consumo de energia elétrica, consumo de químicos (quando necessário) e capacitações periódicas dos responsáveis pela operação.

OBJETIVO

O objetivo do presente trabalho consiste em demonstrar que é possível atingir remoções de coliformes totais (CT) e *Escherichia coli* (*E. coli*), em esgoto doméstico, previstas na legislação ambiental brasileira, no presente caso Resolução CONSEMA n.º 355/2017, sem uso de desinfecção química ou radiação ultravioleta, por meio do processo de tratamento LA. Para tanto, são apresentadas as eficiências de remoção de CT e *E. coli*, monitorados entre setembro de 2021 a setembro de 2022, nas Estações de Tratamento de Esgotos denominadas Mundo Novo (ETE MN), Parque Residencial Novo Hamburgo (ETE PRNH), Jardim da Figueira (ETE JF) e Jardim do Sol (ETE JS), todas localizadas no município de Novo Hamburgo e pertencentes a COMUSA – Serviços de Água e Esgoto de Novo Hamburgo.

METODOLOGIA UTILIZADA

Para a elaboração do presente trabalho, a amostragem e os exames microbiológicos foram realizados com frequência quinzenal durante o período monitorado. Essas quatro estações apresentam em comum o processo de tratamento do tipo LA em nível secundário, com previsão de remoção de aproximadamente 70 a 80% de DBO e vazão máxima prevista em licença ambiental de operação (LO) da ordem de até 900m³.d⁻¹ (maior valor de vazão previsto entre as estações consideradas no presente trabalho referente à ETE PRNH). As vazões médias observadas na prática, no período considerado, mostram-se inferiores às vazões máximas previstas nas Licenças Ambientais de Operação das estações em tela. A coleta do efluente bruto foi realizada diretamente na entrada das estações. A coleta do efluente tratado foi efetuada diretamente na saída do tratamento. As metodologias analíticas utilizadas estão de acordo com o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, de autoria das instituições *American Public Health Association (APHA)*, *American Water Works Association (AWWA)* e *Water Environment Federation (WEF)*, (APHA et al., 2017), e Procedimentos Laboratoriais da COMUSA, a saber, Substrato Enzimático ONPG-MUG, referência 9223 SMEWW 23rd Ed. (2017). O Laboratório de Controle de Qualidade (LCQ) da COMUSA apresenta cadastro na Fundação Estadual de Proteção Ambiental do Estado do Rio Grande do Sul (FEPAM – RS), desde o ano de 2008, como Laboratório de Análises Ambientais (Certificado de Cadastro de Laboratório de Análises Ambientais atualizado e em vigor CCLAAM n.º 00008/2020 – DL), contemplando parâmetros físico-químicos e microbiológicos de interesse para controle de águas subterrâneas, controle de águas superficiais e controle de efluentes líquidos. Possui Certificado de Reconhecimento pela Rede Metrológica do Estado do Rio Grande do Sul, por estar de acordo com os requisitos da norma técnica ABNT NBR ISO/IEC 17025:2017, para Ensaios Químicos, Ensaios Biológicos e Amostragem, para os parâmetros monitorados nas amostras de efluentes sanitários e corpos hídricos receptores (Certificados n.º 25801, 25802 e 25803 para Ensaios Químicos, Biológicos e Amostragem, respectivamente). Adicionalmente, o LCQ apresenta Licença Ambiental de Operação (LO n.º 082/2020 – DLA atualizada e em vigor), emitida pela Secretaria Municipal de Meio Ambiente de Novo Hamburgo (SEMAM-NH).

Todas as estações apresentam Licença Ambiental de Operação (LO) emitida pela SEMAM-NH, a saber, LO n.º 098/2022 – DLA (vazão máxima permitida 630m³.d⁻¹, população atendida 5.000 habitantes), LO n.º 071/2022 – DLA (vazão máxima permitida 900m³.d⁻¹, população atendida 6.000 habitantes), LO n.º 163/2018 - DLA (vazão máxima permitida 166m³.d⁻¹, população atendida 1.104 habitantes) e LO n.º 014/2021 - DLA (vazão máxima permitida 133m³.d⁻¹, população atendida aproximadamente 565 habitantes) para ETE MN, ETE PRNH, ETE JF e ETE JS, respectivamente.

RESULTADOS OBTIDOS

As Tabelas 1 a 4 apresentam os resultados de CT, *E. coli* e cálculo da eficiência de remoção para a ETE MN, ETE PRNH, ETE JF e ETE JS. As datas consideradas, tanto nas tabelas quanto nas figuras, na sequência, referem-se a coletas realizadas na primeira e na segunda quinzena de cada mês. Nesse sentido, as datas apresentadas são o dia 1º e o dia 15 de cada mês, para representar a coleta e análise da primeira e segunda quinzenas, respectivamente.

Tabela 1: Resultados de análise de CT, *E. coli* e cálculo da eficiência de remoção para a ETE MN.

| ETE Mundo Novo | | | | | | |
|----------------|------------------------|----------------|----------------|--|----------------|----------------|
| | Coliformes totais (CT) | | | <i>Escherichia coli</i> (<i>E. coli</i>) | | |
| | Esgoto bruto | Esgoto tratado | Eficiência (%) | Esgoto bruto | Esgoto tratado | Eficiência (%) |
| 01/09/2021 | 120.330.000 | 1.986.300 | 98% | 36.540.000 | 488.400 | 99% |
| 15/09/2021 | 38.730.000 | 816.400 | 98% | 21.420.000 | 275.500 | 99% |
| 01/10/2021 | 61.310.000 | 727.000 | 99% | 20.640.000 | 387.300 | 98% |
| 15/10/2021 | 54.750.000 | 1.732.900 | 97% | 26.130.000 | 686.700 | 97% |
| 01/11/2021 | 111.990.000 | 2.419.000 | 98% | 23.820.000 | 686.700 | 97% |

| | | | | | | |
|------------|-------------|-----------|------|------------|-----------|------|
| 15/11/2021 | 72.700.000 | 1.553.100 | 98% | 30.760.000 | 686.700 | 98% |
| 01/12/2021 | 92.080.000 | 395.000 | >99% | 15.000.000 | 75.000 | >99% |
| 15/12/2021 | 68.670.000 | 4.106.000 | 94% | 16.070.000 | 1.467.000 | 91% |
| 01/01/2022 | 92.080.000 | 1.187.000 | 99% | 68.670.000 | 836.000 | 99% |
| 15/01/2022 | 155.310.000 | 1.664.000 | 99% | 22.240.000 | 1.019.000 | 95% |
| 01/02/2022 | 241.960.000 | 1.050.000 | >99% | 57.940.000 | 327.000 | 99% |
| 15/02/2022 | 198.630.000 | 2.359.000 | 99% | 57.940.000 | 884.000 | 98% |
| 01/03/2022 | 120.330.000 | 2.909.000 | 98% | 23.820.000 | 1.086.000 | 95% |
| 15/03/2022 | 141.360.000 | 2.851.000 | 98% | 41.060.000 | 1.334.000 | 97% |
| 01/04/2022 | 92.080.000 | 1.309.000 | 99% | 24.810.000 | 355.000 | 99% |
| 15/04/2022 | 77.010.000 | 1.723.000 | 98% | 9.320.000 | 393.000 | 96% |
| 01/05/2022 | 36.540.000 | 538.000 | 99% | 7.030.000 | 158.000 | 98% |
| 15/05/2022 | 21.430.000 | 420.000 | 98% | 6.700.000 | 201.000 | 97% |
| 01/06/2022 | 23.820.000 | 249.000 | 99% | 11.060.000 | 98.000 | 99% |
| 15/06/2022 | 46.110.000 | 495.000 | 99% | 26.030.000 | 213.000 | 99% |
| 01/07/2022 | 34.480.000 | 771.000 | 98% | 10.390.000 | 279.000 | 97% |
| 15/07/2022 | 30.760.000 | 613.000 | 98% | 15.150.000 | 265.000 | 98% |
| 01/08/2022 | 21.420.000 | 369.000 | 98% | 8.840.000 | 218.000 | 98% |
| 15/08/2022 | 19.180.000 | 120.000 | 99% | 7.540.000 | 63.000 | 99% |
| 01/09/2022 | 41.060.000 | 309.000 | 99% | 23.820.000 | 160.000 | 99% |
| 15/09/2022 | 32.550.000 | 3.255.000 | 90% | 19.560.000 | 1.354.000 | 93% |

Tabela 2: Resultados de análise de CT, *E. coli* e cálculo da eficiência de remoção para a ETE PRNH.

| ETE Parque Residencial Novo Hamburgo (ETE PRNH) | | | | | | |
|--|-------------------------------|-----------------------|-----------------------|---|-----------------------|-----------------------|
| | Coliformes totais (CT) | | | <i>Escherichia coli</i> (<i>E. coli</i>) | | |
| | Esgoto bruto | Esgoto tratado | Eficiência (%) | Esgoto bruto | Esgoto tratado | Eficiência (%) |
| 01/09/2021 | 57.940.000 | 1.223.000 | 98% | 15.150.000 | 292.000 | 98% |
| 15/09/2021 | 120.330.000 | 3.255.000 | 97% | 13.540.000 | 959.000 | 93% |
| 01/10/2021 | 61.310.000 | 2.046.000 | 97% | 14.210.000 | 512.000 | 96% |
| 15/10/2021 | 129.970.000 | 857.000 | 99% | 15.760.000 | 279.000 | 98% |
| 01/11/2021 | 64.880.000 | 1.789.000 | 97% | 17.890.000 | 495.000 | 97% |
| 15/11/2021 | 86.640.000 | 1.354.000 | 98% | 9.880.000 | 209.000 | 98% |
| 01/12/2021 | 72.700.000 | 3.654.000 | 95% | 11.690.000 | 1.046.000 | 91% |
| 15/12/2021 | 64.880.000 | 6.867.000 | 89% | 23.590.000 | 1.723.000 | 93% |
| 01/01/2022 | 141.360.000 | 8.164.000 | 94% | 19.180.000 | 1.670.000 | 91% |
| 15/01/2022 | 241.960.000 | 4.884.000 | 98% | 13.340.000 | 909.000 | 93% |
| 01/02/2022 | 141.360.000 | 1.376.000 | 99% | 64.880.000 | 548.000 | 99% |
| 15/02/2022 | 104.620.000 | 8.664.000 | 92% | 12.960.000 | 1.624.000 | 87% |
| 01/03/2022 | * | * | * | * | * | * |
| 15/03/2022 | 48.840.000 | 2.359.000 | 95% | 7.080.000 | 521.000 | 93% |
| 01/04/2022 | 92.080.000 | 1.658.000 | 98% | 28.510.000 | 410.000 | 99% |
| 15/04/2022 | 48.840.000 | 8.164.000 | 83% | 11.530.000 | 776.000 | 93% |

| | | | | | | |
|------------|------------|-----------|-----|------------|-----------|-----|
| 01/05/2022 | 30.760.000 | 4.352.000 | 86% | 4.730.000 | 563.000 | 88% |
| 15/05/2022 | 36.540.000 | 1.860.000 | 95% | 5.730.000 | 624.000 | 89% |
| 01/06/2022 | 29.090.000 | 7.270.000 | 75% | 5.730.000 | 1.860.000 | 68% |
| 15/06/2022 | 54.750.000 | 6.867.000 | 87% | 7.100.000 | 959.000 | 86% |
| 01/07/2022 | 81.640.000 | 3.654.000 | 96% | 38.730.000 | 1.017.000 | 97% |
| 15/07/2022 | 23.590.000 | 3.654.000 | 85% | 5.040.000 | 520.000 | 90% |
| 01/08/2022 | 36.540.000 | 6.867.000 | 81% | 13.140.000 | 1.210.000 | 91% |
| 15/08/2022 | 24.810.000 | 2.046.000 | 92% | 6.370.000 | 259.000 | 96% |
| 01/09/2022 | 43.520.000 | 4.352.000 | 90% | 8.390.000 | 767.000 | 91% |
| 15/09/2022 | 29.090.000 | 4.884.000 | 83% | 11.780.000 | 987.000 | 92% |

Nota: * dado não disponível.

Tabela 3: Resultados de análise de CT, *E. coli* e cálculo da eficiência de remoção para a ETE JF.

| ETE Jardim da Figueira (ETE JF) | | | | | | |
|---------------------------------|------------------------|----------------|----------------|--|----------------|----------------|
| | Coliformes totais (CT) | | | <i>Escherichia coli</i> (<i>E. coli</i>) | | |
| | Esgoto bruto | Esgoto tratado | Eficiência (%) | Esgoto bruto | Esgoto tratado | Eficiência (%) |
| 01/09/2021 | 23.590.000 | 261.300 | 99% | 7.170.000 | 57.300 | 99% |
| 15/09/2021 | 36.540.000 | 1.299.700 | 96% | 11.060.000 | 235.900 | 98% |
| 01/10/2021 | 32.550.000 | 435.200 | 99% | 8.010.000 | 93.300 | 99% |
| 15/10/2021 | 43.520.000 | 178.900 | >99% | 9.100.000 | 62.400 | 99% |
| 01/11/2021 | 34.480.000 | 67.000 | >99% | 7.380.000 | 23.100 | >99% |
| 15/11/2021 | 48.840.000 | 260.300 | 99% | 14.390.000 | 25.300 | >99% |
| 01/12/2021 | 68.670.000 | 613.100 | 99% | 10.140.000 | 129.600 | 99% |
| 15/12/2021 | 51.720.000 | 435.200 | 99% | 7.890.000 | 111.900 | 99% |
| 01/01/2022 | 21.870.000 | 416.000 | 98% | 4.570.000 | 151.500 | 97% |
| 15/01/2022 | 155.310.000 | 461.100 | >99% | 17.220.000 | 73.300 | >99% |
| 01/02/2022 | 61.310.000 | 1.986.300 | 97% | 16.640.000 | 517.200 | 97% |
| 15/02/2022 | * | * | * | 15.290.000 | 1.119.900 | 93% |
| 01/03/2022 | 77.010.000 | 108.600 | >99% | 17.890.000 | 21.800 | >99% |
| 15/03/2022 | 104.620.000 | 387.300 | >99% | 34.480.000 | 86.000 | >99% |
| 01/04/2022 | 29.090.000 | 201.400 | 99% | 9.900.000 | 22.600 | >99% |
| 15/04/2022 | 54.750.000 | 816.400 | 99% | 26.130.000 | 90.900 | >99% |
| 01/05/2022 | 10.190.000 | 816.400 | 92% | 1.090.000 | 29.200 | 97% |
| 15/05/2022 | 17.890.000 | 1.986.300 | 89% | 3.410.000 | 228.200 | 93% |
| 01/06/2022 | 26.130.000 | 613.100 | 98% | 13.740.000 | 137.600 | 99% |
| 15/06/2022 | * | * | * | * | * | * |
| 01/07/2022 | 38.730.000 | 686.700 | 98% | 9.870.000 | 61.200 | 99% |
| 15/07/2022 | 21.870.000 | 248.100 | 99% | 5.460.000 | 26.900 | >99% |
| 01/08/2022 | 21.870.000 | 410.600 | 98% | 5.040.000 | 116.200 | 98% |
| 15/08/2022 | 17.230.000 | 62.700 | >99% | 9.050.000 | 10.900 | >99% |
| 01/09/2022 | 43.520.000 | 547.500 | 99% | 7.540.000 | 39.300 | 99% |
| 15/09/2022 | 34.480.000 | 50.400 | >99% | 4.640.000 | 5.200 | >99% |

Nota: * dado não disponível.

Tabela 4: Resultados de análise de CT, *E. coli* e cálculo da eficiência de remoção para a ETE JS.

| ETE Jardim do Sol (ETE JS) | | | | | | |
|----------------------------|------------------------|----------------|----------------|--|----------------|----------------|
| | Coliformes totais (CT) | | | <i>Escherichia coli</i> (<i>E. coli</i>) | | |
| | Esgoto bruto | Esgoto tratado | Eficiência (%) | Esgoto bruto | Esgoto tratado | Eficiência (%) |
| 01/09/2021 | * | * | * | * | * | * |
| 15/09/2021 | 81.640.000 | 77.100 | >99% | 11.690.000 | 5.200 | >99% |
| 01/10/2021 | 19.560.000 | 48.840 | >99% | 3.740.000 | 1.850 | >99% |
| 15/10/2021 | * | * | * | * | * | * |
| 01/11/2021 | 27.550.000 | 1.299.700 | 95% | 7.940.000 | 770.100 | 90% |
| 15/11/2021 | 13.330.000 | 620.000 | 95% | 850.000 | 63.000 | 93% |
| 01/12/2021 | 38.730.000 | 28.800 | >99% | 4.960.000 | 4.100 | >99% |
| 15/12/2021 | * | * | * | * | * | * |
| 01/01/2022 | 29.090.000 | 30.760 | >99% | 7.170.000 | 2.560 | >99% |
| 15/01/2022 | 72.700.000 | 12.033 | >99% | 7.380.000 | 605 | >99% |
| 01/02/2022 | 24.196.000 | 57.940 | >99% | 14.136.000 | 11.190 | >99% |
| 15/02/2022 | * | * | * | 1.872.000 | 6.131 | >99% |
| 01/03/2022 | 6.488.000 | 24.890 | >99% | 2.187.000 | 3.830 | >99% |
| 15/03/2022 | 24.196.000 | 38.730 | >99% | 4.884.000 | 2.160 | >99% |
| 01/04/2022 | 24.196.000 | 77.010 | >99% | 4.106.000 | 6.700 | >99% |
| 15/04/2022 | 24.196.000 | 30.760 | >99% | 4.884.000 | 2.160 | >99% |
| 01/05/2022 | 24.196.000 | 200 | >99% | 855.000 | 100 | >99% |
| 15/05/2022 | 12.997.000 | 198.630 | 98% | 5.794.000 | 6.160 | >99% |
| 01/06/2022 | 19.863.000 | 43.520 | >99% | 2.500.000 | 1.950 | >99% |
| 15/06/2022 | 19.863.000 | 104.620 | 99% | 3.436.000 | 3.410 | >99% |
| 01/07/2022 | 24.196.000 | 12.960 | >99% | 7.701.000 | 750 | >99% |
| 15/07/2022 | 24.196.000 | 155.310 | 99% | 9.208.000 | 4.570 | >99% |
| 01/08/2022 | 129.970.000 | 46.110 | >99% | 17.930.000 | 3.550 | >99% |
| 15/08/2022 | * | * | * | * | * | * |
| 01/09/2022 | 8.390.000 | 172.500 | 98% | 3.270.000 | 33.600 | 99% |
| 15/09/2022 | 17.230.000 | 47.300 | >99% | 4.570.000 | 9.800 | >99% |

Nota: * dado não disponível.

Para melhor visualização e interpretação, optou-se por apresentar os resultados sob a forma de gráficos, considerando os ensaios quinzenais para CT e *E. coli*. O período considerado no presente trabalho inicia em setembro de 2021 e finaliza em setembro de 2022. As Figuras 2 a 9 ilustram as eficiências de remoção de CT e de *E. coli* observadas na ETE MN, ETE PRNH, ETE JF e ETE JS, respectivamente.

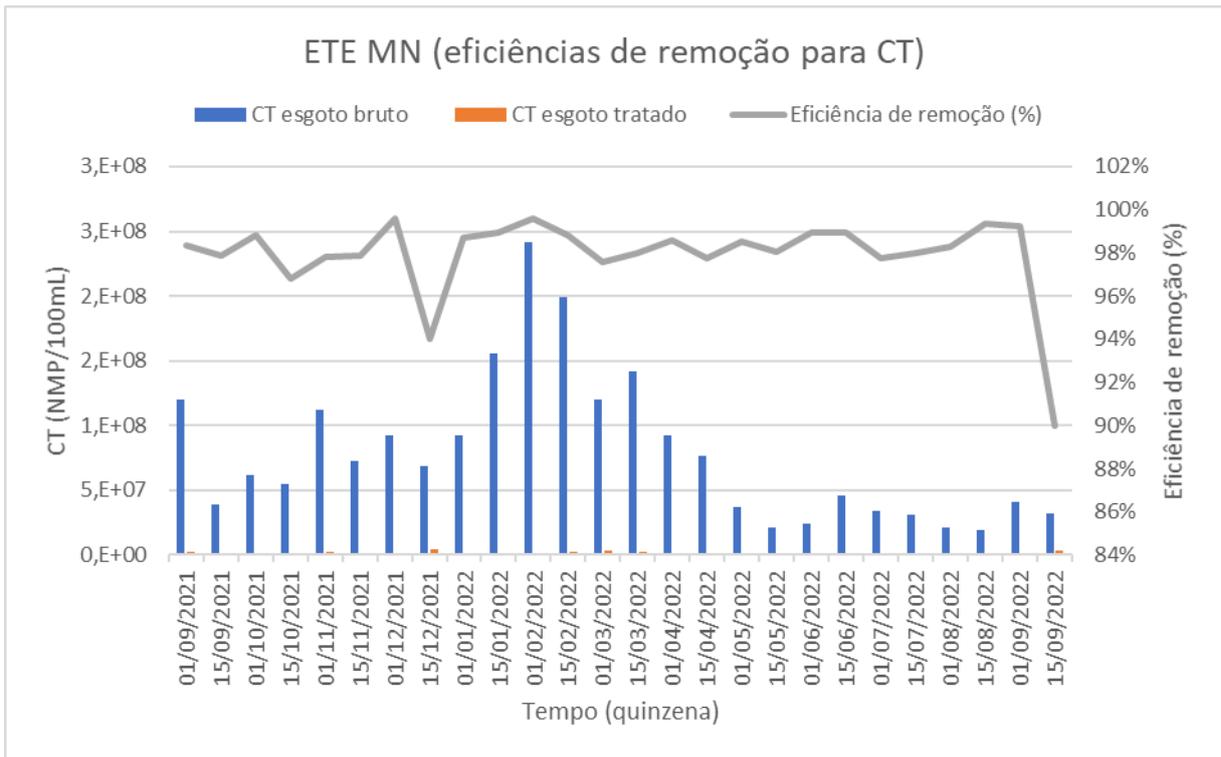


Figura 2: Eficiências de remoção de CT na ETE MN.

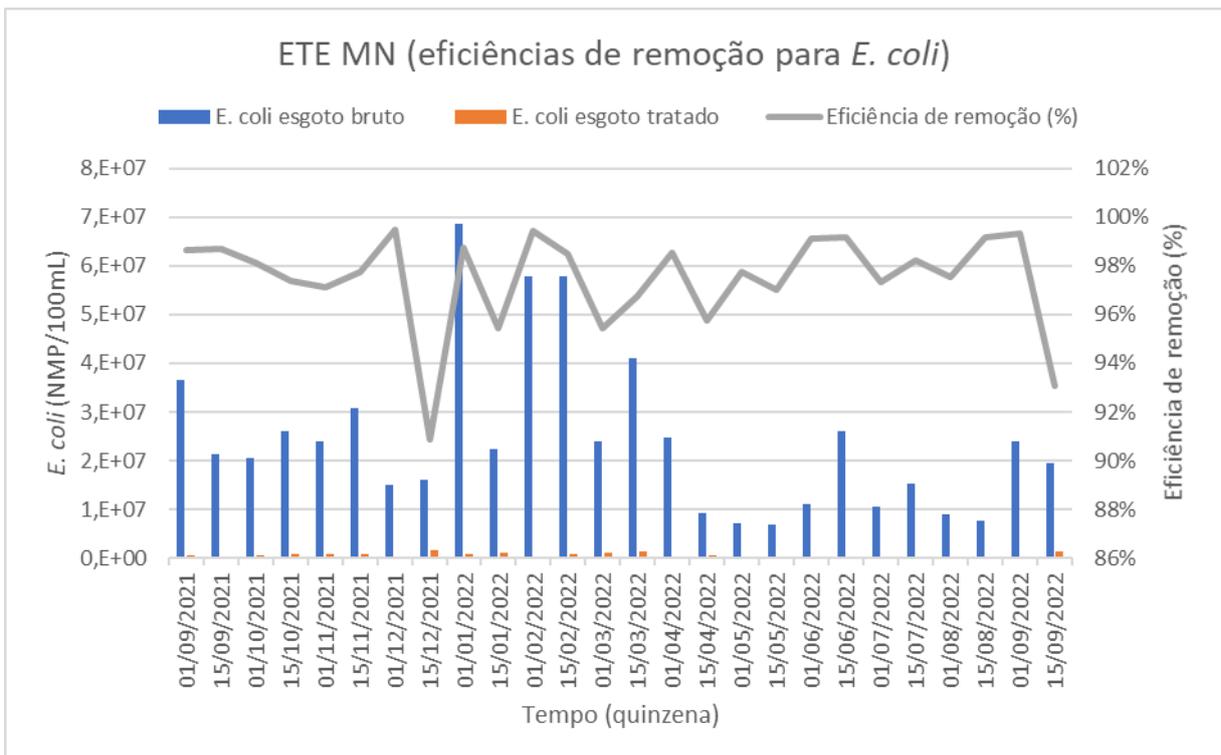


Figura 3: Eficiências de remoção de E. coli na ETE MN.

A análise das Figuras 2 e 3 mostra que as menores eficiências de remoção atingidas pela ETE MN foram de 90% para CT na segunda quinzena de setembro de 2022 e de 91% para *E. coli* ocorrida na segunda quinzena de dezembro de 2021. Essas oscilações de eficiências mostraram-se dentro do esperado, visto que o

tratamento é do tipo biológico e sujeito a variações influenciadas pelas condições de entrada do esgoto bruto. Em todos os casos, considerando o valor médio de vazão observado no período ($287\text{m}^3.\text{d}^{-1}$), a ETE MN conseguiu atingir plenamente as eficiências de remoção de coliformes preconizado pela legislação. Em resumo, ETE MN, período de setembro de 2021 a setembro de 2022, vazão média $287\text{m}^3.\text{d}^{-1}$, eficiência de remoção média para CT de 98%, e eficiência de remoção média para *E. coli* de 97%.

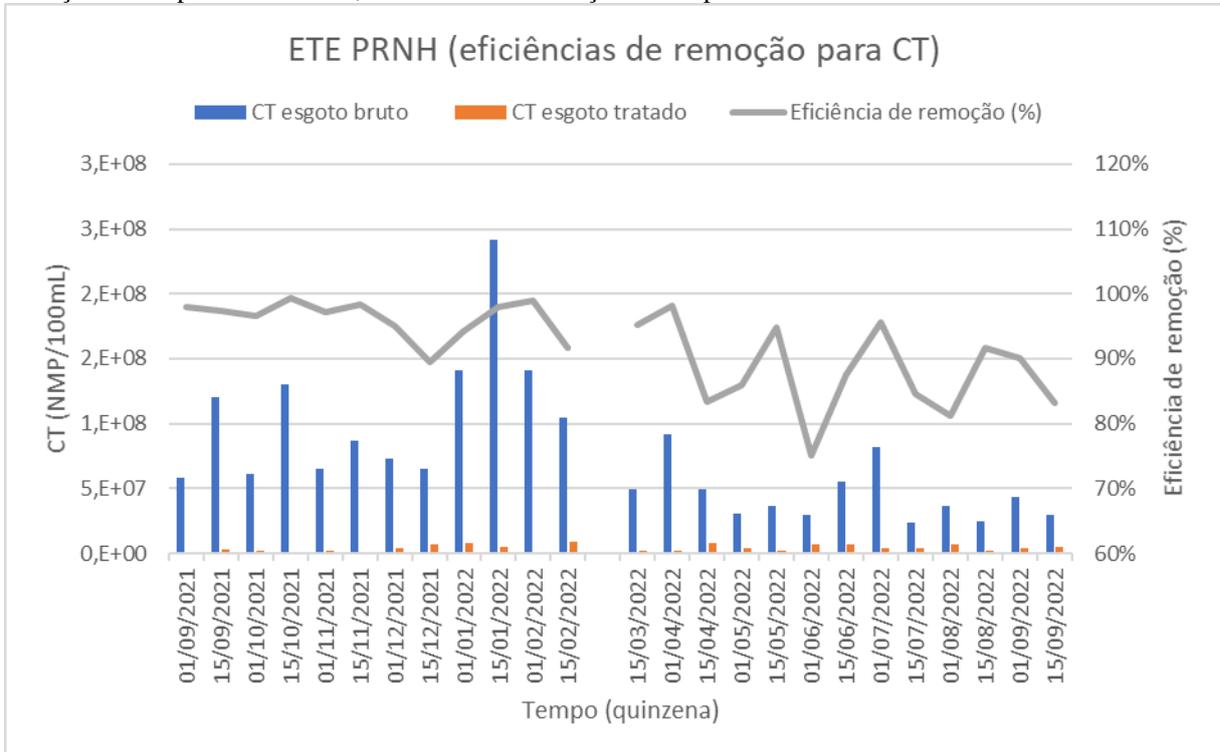


Figura 4: Eficiências de remoção de CT na ETE PRNH.

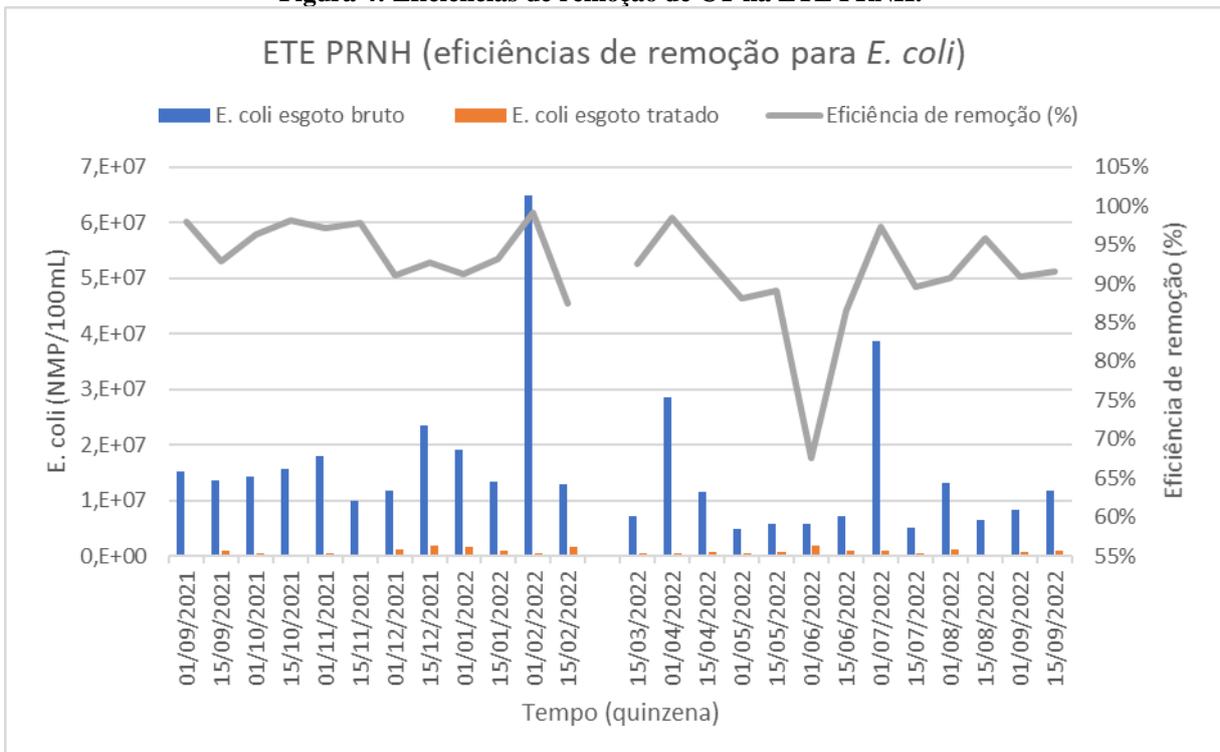


Figura 5: Eficiências de remoção de *E. coli* na ETE PRNH.

A análise das Figuras 4 e 5 mostra que as menores eficiências de remoção atingidas pela ETE PRNH foram de 75% para CT e de 68% para *E. coli* ambas ocorridas na primeira quinzena de junho de 2022. Na primeira quinzena de março de 2022, não houve disponibilidade do resultado de análise. As oscilações de eficiências mostraram-se mais pronunciadas, mas dentro do esperado, visto que o tratamento é do tipo biológico e sujeito a variações influenciadas pelas condições de entrada do esgoto bruto e pelas manutenções ocorridas nos equipamentos aeradores da estação. Em todos os casos, considerando o valor médio de vazão observado no período ($814\text{m}^3.\text{d}^{-1}$), a ETE PRNH conseguiu atingir parcialmente as eficiências de remoção de coliformes preconizado pela legislação. Em resumo, ETE PRNH, período de setembro de 2021 a setembro de 2022, vazão média $814\text{m}^3.\text{d}^{-1}$, eficiência de remoção média para CT de 92%, e eficiência de remoção média para *E. coli* de 92%.

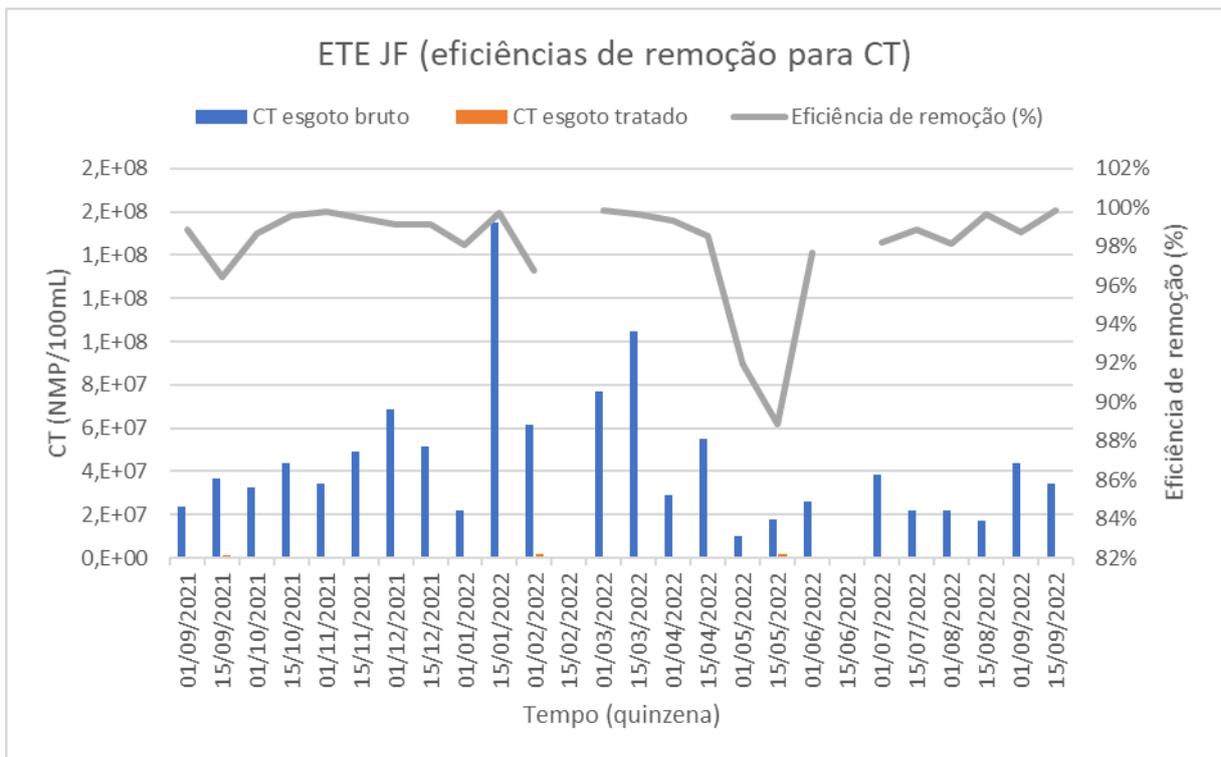


Figura 6: Eficiências de remoção de CT na ETE JF.

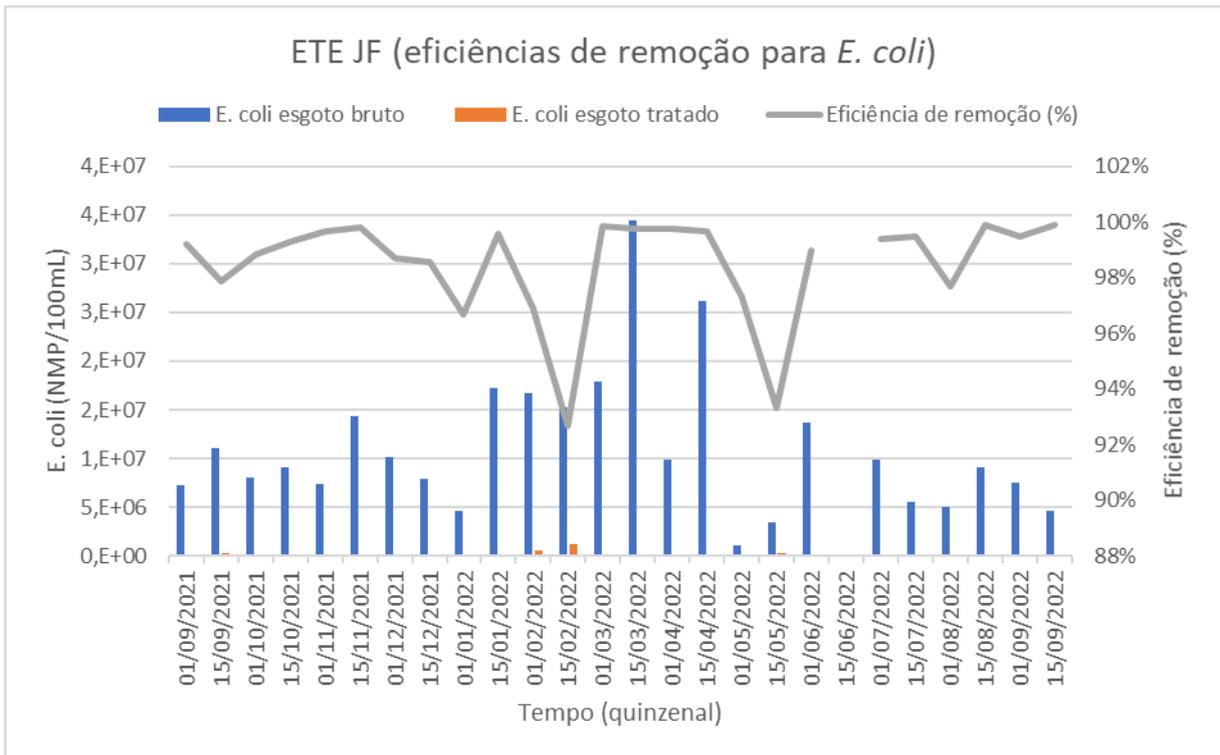


Figura 7: Eficiências de remoção de *E. coli* na ETE JF.

A análise das Figuras 6 e 7 mostra que as menores eficiências de remoção atingidas pela ETE JF foram de 89% para CT na segunda quinzena de maio de 2022 e de 93% para *E. coli* ocorridas na segunda quinzena de fevereiro e na segunda quinzena de maio de 2022. Na segunda quinzena de fevereiro de 2022, não houve disponibilidade do resultado de análise para CT. Na segunda quinzena de junho de 2022, não houve disponibilidade dos resultados de análise para CT e *E. coli*. As oscilações de eficiências mostraram-se dentro do esperado, visto que o tratamento é do tipo biológico e sujeito a variações influenciadas pelas condições de entrada do esgoto bruto. Em todos os casos, considerando o valor médio de vazão observado no período ($53\text{m}^3.\text{d}^{-1}$), a ETE JF conseguiu atingir plenamente as eficiências de remoção de coliformes preconizado pela legislação. Em resumo, ETE JF, período de setembro de 2021 a setembro de 2022, vazão média $53\text{m}^3.\text{d}^{-1}$, eficiência de remoção média para CT de 98%, e eficiência de remoção média para *E. coli* de 98%.

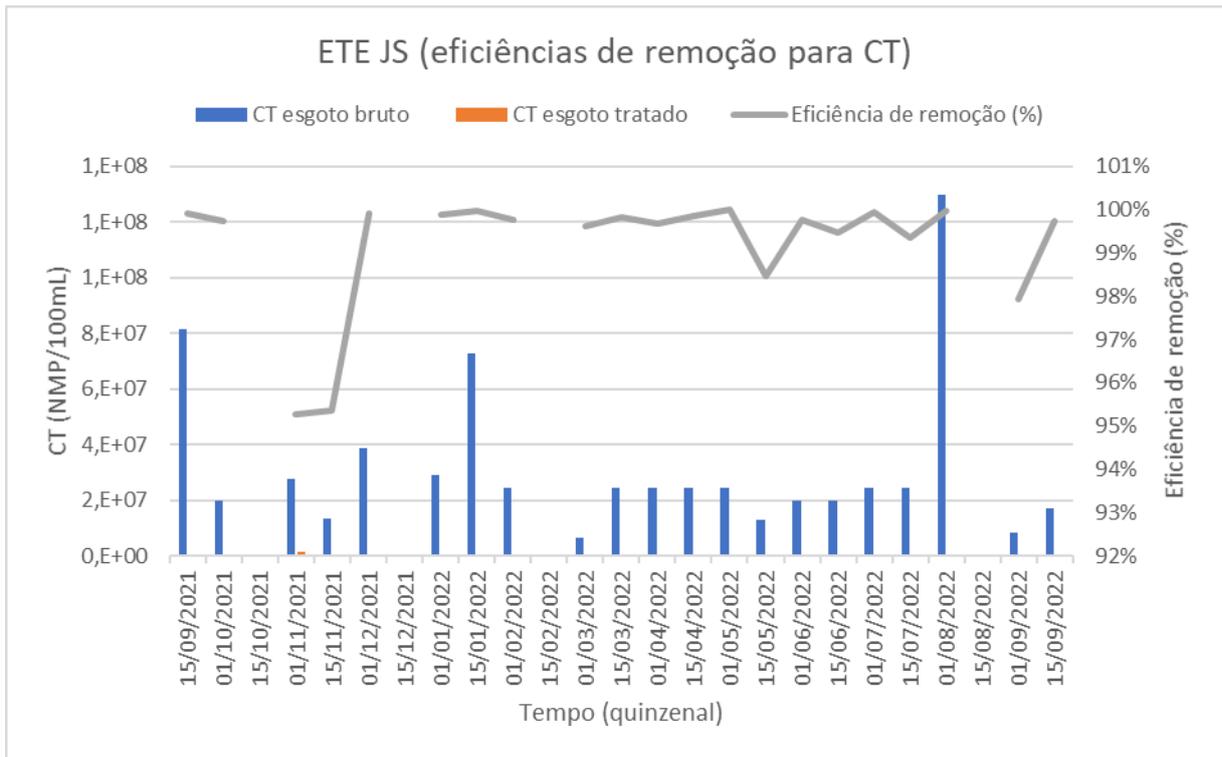


Figura 8: Eficiências de remoção de CT na ETE JS.

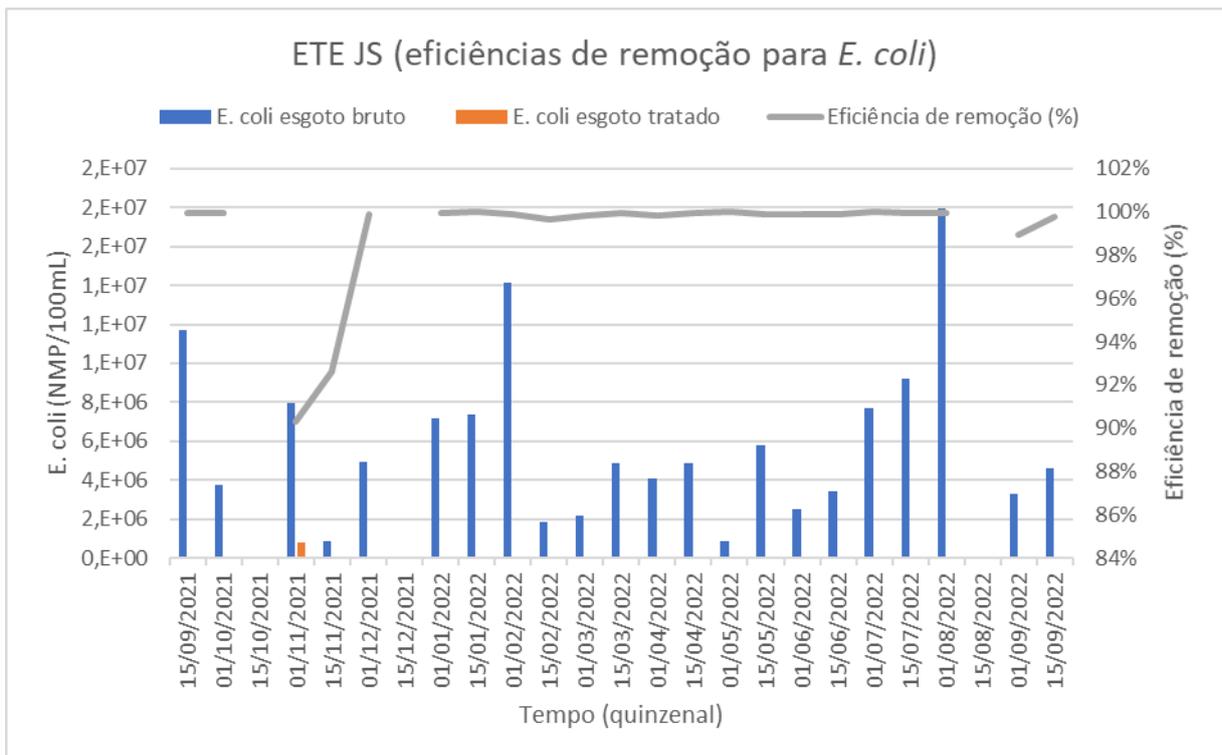


Figura 9: Eficiências de remoção de E. coli na ETE JS.

A análise das Figuras 8 e 9 mostra que as menores eficiências de remoção atingidas pela ETE JS foram de 95% para CT para o mês de novembro de 2021 e de 90% para *E. coli* ocorrida na primeira quinzena de novembro de 2021. Não houve disponibilidade dos resultados de análises para CT e *E. coli* na primeira

quinzena de setembro de 2021, na segunda quinzena de outubro de 2021, na segunda quinzena de dezembro de 2021 e na segunda quinzena de agosto de 2022. E, não houve disponibilidade dos resultados de análises para CT na segunda quinzena de fevereiro de 2022. As oscilações de eficiências mostraram-se dentro do esperado, visto que o tratamento é do tipo biológico e sujeito a variações influenciadas pelas condições de entrada do esgoto bruto. Em todos os casos, considerando o valor médio de vazão observado no período ($4\text{m}^3.\text{d}^{-1}$), a ETE JS conseguiu atingir plenamente as eficiências de remoção de coliformes preconizado pela legislação. Em resumo, ETE JS, período de setembro de 2021 a setembro de 2022, vazão média $4\text{m}^3.\text{d}^{-1}$, eficiência de remoção média para CT de 99%, e eficiência de remoção média para *E. coli* de 99%.

A Resolução CONSEMA n.º 355/2017 estabelece, em seu artigo 17, inciso II, o padrão de remoção de coliformes termotolerantes. No presente caso, esse padrão de descarte de efluente tratado refere-se à *E. coli*. O fator de conversão entre coliformes termotolerantes e *E. coli* é considerado e aceito como sendo unitário pelo órgão ambiental pertinente. O cálculo da eficiência de remoção de coliformes (CT e *E. coli*) foi efetuado de acordo com a equação 1:

$$E(\%) = [(P_{\text{bruto}} - P_{\text{tratado}})/P_{\text{bruto}}] \times 100 \quad (1)$$

Onde P significa o parâmetro microbiológico analisado, ou seja, CT e *E. coli*, para o esgoto bruto e para o esgoto tratado.

ANÁLISE DOS RESULTADOS

A Tabela 5 apresenta as médias para os valores de vazão e os resultados de eficiência de remoção para CT e *E. coli* para cada uma das quatro estações sob estudo, para o período de setembro de 2021 a setembro de 2022.

Tabela 5: Médias para os valores de vazão e os resultados de eficiência de remoção para CT e *E. coli* para cada uma das quatro estações sob estudo, para o período de setembro de 2021 a setembro de 2022.

| ETE | Vazão média ($\text{m}^3.\text{d}^{-1}$) | Eficiência média (%) | |
|------|--|----------------------|----------------|
| | | CT | <i>E. coli</i> |
| MN | 287 | 98 | 97 |
| PRNH | 814 | 92 | 92 |
| JF | 53 | 98 | 98 |
| JS | 4 | 99 | 99 |

As ETE MN, ETE JF e ETE JS atingiram plenamente o padrão de tratamento microbiológico preconizado pelas licenças ambientais de operação e legislação ambiental pertinente, Resolução CONAMA n.º 430/2011 e Resolução CONSEMA n.º 355/2017, livre de aplicação de produtos químicos desinfetantes e/ou uso de lâmpadas de radiação ultravioleta no processo, considerando as médias dos valores de vazão observadas no período.

A ETE PRNH conseguiu atingir parcialmente o padrão de tratamento microbiológico preconizado pela licença ambiental de operação e legislação ambiental Resolução CONSEMA n.º 355/2017, livre de aplicação de produtos químicos desinfetantes e/ou uso de lâmpadas de radiação ultravioleta no processo.

Cabe ressaltar que as ETEs analisadas apresentam diferentes tecnologias de fornecimento de ar. A ETE MN apresenta aeração mecânica superficial sobre flutuadores (aeradores mecânicos superficiais com fluxo ascendente). As ETEs JF e JS apresentam aeração por ar difuso (difusores de membranas de bolhas finas). A ETE PRNH apresenta aeração superficial promovida por aeradores de superfície aspirados (aeradores mecânicos superficiais com fluxo descendente). Não se pretende, no presente trabalho, comparar diferentes tipos de sistemas de aeração, apenas se menciona que as estações consideradas no presente trabalho possuem aspectos de projeto e construtivos diferentes, baseadas em diferentes tecnologias de sistemas de aeração, bem

como vazões de tratamento distintas e modos de operação distintos. Adicionalmente, as quatro estações citadas no presente trabalho foram projetadas, construídas e entraram em operação em diferentes épocas, sendo a mais antiga a ETE MN e a mais recente a ETE JS. O foco do presente trabalho é apenas mostrar que é possível a remoção de coliformes, conforme preconizado pela legislação ambiental brasileira, considerando a eficiência global das estações (entrada e saída), as quais fazem uso do processo de tratamento denominado LA, sem uso de desinfecção química ou radiação ultravioleta.

A COMUSA presta contas periodicamente junto ao órgão ambiental competente, conforme preconizado nas referidas Licenças Ambientais de Operação de cada uma das estações consideradas no presente trabalho, apresentando todos os resultados de análises e relatórios técnicos operacionais. O órgão ambiental pertinente acompanha o funcionamento das estações mediante inspeções periódicas e análise documental. A COMUSA está estudando alternativas para melhorar as eficiências de remoção de coliformes termotolerantes na ETE PRNH.

CONCLUSÕES

A tecnologia LA quando adequadamente projetada, operada e monitorada permite a redução de CT e *E. coli* naturalmente, sem exigir unidades adicionais construídas em separado para efetuar a desinfecção por meio de aplicação de produtos químicos ou utilização de lâmpadas de radiação ultravioleta. Pelo fato de a remoção de coliformes ocorrer naturalmente, livre da aplicação de produtos químicos e/ou uso de lâmpadas de radiação ultravioleta, entende-se como natural observar oscilações nas eficiências de remoção ao longo do período considerado. Essas oscilações podem se mostrar mais ou menos pronunciadas, dependendo das condições de entrada do esgoto bruto às estações, dependendo dos valores de vazões de alimentação observadas às estações (se aquém ou se próximo à vazão máxima considerada no projeto), pequenas paradas para permitir manutenções (preventivas e corretivas) nos equipamentos misturadores e aeradores, por exemplo. De fato, essas oscilações mostraram-se presentes, conforme discutido nas seções anteriores. Das quatro estações consideradas no presente trabalho, que apresentam processo de tratamento do tipo LA (ponto comum entre as quatro estações), apenas a ETE PRNH, com vazão média de $814\text{m}^3\cdot\text{d}^{-1}$, atingiu parcialmente as eficiências de remoção estabelecidas na licença ambiental de operação, Resolução CONAMA n.º 430/2011 e Resolução CONSEMA n.º 355/2017, enquanto as ETEs MN, ETE JF e ETE JS atingiram plenamente as eficiências de remoção previstas nas licenças ambientais de operação e legislação ambiental (Resolução CONAMA n.º 430/2011 e Resolução CONSEMA n.º 355/2017). A ETE PRNH, quando comparada às ETEs MN, JF e JS, que apresentam vazões de tratamento aquém das vazões de projeto, a ETE PRNH apresenta vazão de tratamento próxima à vazão de projeto, com média de $814\text{m}^3\cdot\text{d}^{-1}$ (projetada para $900\text{m}^3\cdot\text{d}^{-1}$). Esse fator pode estar associado para o menor potencial de remoção de coliformes dessa estação.

A ETE PRNH, mesmo atingido parcialmente o padrão de tratamento, com eficiências médias de remoção de 92%, resultados esses muito promissores, pois foram alcançados com manobras operacionais e livre de químicos e livre de uso de radiação ultravioleta. Todas essas informações são de conhecimento do órgão ambiental competente. Para considerações futuras, estuda-se alternativas operacionais para melhorar a eficiência de remoção de coliformes termotolerantes na ETE PRNH. Ainda, não se descarta a possibilidade de aplicação futura de material químico de tratamento, do tipo ácido peracético (mistura estabilizada de peróxido de hidrogênio, ácido acético e água), por exemplo, como agente desinfetante a ser dosado na estação, para melhorar as condições de remoção de coliformes para a ETE PRNH.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à COMUSA – Serviços de Água e Esgoto de Novo Hamburgo pela disponibilização dos dados das ETEs MN, PRNH, JF e JS. Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC) da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. American Public Health Association (APHA); American Water Works Association (AWWA); Water Environment Federation (WEF). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 23rd Edition, Washington, DC, 2017.
2. Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR ISO/IEC 17025: Requisitos gerais para a competência de laboratórios de ensaio e calibração. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.
3. Brasil. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução n.º 430, de 13 de maio de 2011, “*Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução n.º 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA*”.
4. Guimarães, J. R.; Nour, E. A. A. *Tratando Nossos Esgotos: Processos que Imitam a Natureza*. Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola. Edição Especial. Maio. 2001.
5. Jordão, E. P.; Pessôa, C. A. *Tratamento de Esgotos Domésticos*. Rio de Janeiro. 7ª Edição. 2017.
6. Nunes, J. A. *Tratamento Biológico de Águas Residuárias*. 3ª Edição. Aracaju: Gráfica Editora J. Andrade. 2012
7. Rio Grande do Sul. Conselho Estadual do Meio Ambiente. Resolução n.º 355, de 13 de julho de 2017, “*Dispõe sobre os critérios e padrões de emissão de efluentes líquidos para as fontes geradoras que lancem seus efluentes em águas superficiais no Estado do Rio Grande do Sul*.”
8. Von Sperling, M. *Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias – Princípios Básicos do Tratamento de Esgotos*. 1ª Edição. Volume 2. Belo Horizonte. Editora UFMG. 1996.
9. Von Sperling, M. *Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias - Lodos Ativados*. 3ª Edição. Volume 4. Belo Horizonte. Editora UFMG. 2012.
10. Von Sperling, M. *Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias – Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos*. 4ª Edição. Volume 1. Belo Horizonte. Editora UFMG. 2014.