



II- 871 -BIOMASSA ALGAL: IMPACTO NA DESINFECÇÃO DE EFLUENTES DE LAGOAS DE MATURAÇÃO NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

Islândia Nádia da Silva de Alcântara ⁽¹⁾

Graduanda em Engenharia Ambiental e Sanitária pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE) campus Juazeiro do Norte.

Karine Rodrigues Santana Felix ⁽²⁾

Graduanda em Engenharia Ambiental e Sanitária pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE) campus Juazeiro do Norte.

Jadyni Ester Matos e Silva ⁽³⁾

Graduanda em Engenharia Ambiental e Sanitária pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE) campus Juazeiro do Norte.

Germário Marcos Araújo ⁽⁴⁾

Tecnólogo em Recursos Hídricos/Saneamento Ambiental (CENTEC Cariri). Mestre em Engenharia Sanitária pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Doutor em Saneamento Ambiental pela Universidade Federal do Ceará (UFC). Professor do IFCE campus Juazeiro do Norte.

Yannice Tatiane da Costa Santos ⁽⁵⁾

Tecnóloga em Gestão Ambiental pelo Instituto Federal do Ceará – Campus Fortaleza. Mestra em Engenharia Sanitária pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Doutora em Química Biológica pela Universidade Regional do Cariri (URCA). Professora do Instituto Federal do Ceará- Campus Juazeiro do Norte.

Endereço ⁽¹⁾: Avenida Plácido Aderaldo Castelo, 1646. Planalto. Juazeiro do Norte - CE. CEP: 63.040-540. -
Tel: (88) 2101-5343 - e-mail: Islania.nadia.silva07@aluno.ifce.edu.br .

RESUMO:

Sistemas de maturação, que utilizam a radiação ultravioleta (UV) para desinfecção são reconhecidos por sua alta eficiência na remoção de patógenos, como cistos de protozoários, ovos de helmintos e coliformes termotolerantes. No entanto, a presença de turbidez, resultante de altas concentrações de partículas em suspensão, pode proteger os patógenos da radiação UV, reduzindo a eficácia da desinfecção. Ambientes ricos em nutrientes, como nitrogênio e fósforo, promovem o crescimento de macro e microalgas, que, embora possam ajudar na remoção de nutrientes indesejados, também podem aumentar a turbidez e, conseqüentemente, interferir no processo de desinfecção. Assim sendo, com o intuito de avaliar a eficiência da desinfecção da lagoa de maturação a partir da remoção de Coliformes Termotolerantes (CTT) e *Escherichia coli* (EC), e sua relação com a presença microalgas e parâmetros de monitoramento no sistema de lagoas de estabilização da ETE Malvas, localizado no município de Juazeiro do Norte-CE. O estudo foi realizado através de análises laboratoriais para avaliar a influência das microalgas na etapa de desinfecção com os parâmetros de pH, Turbidez, Acidez Total, Alcalinidade Total, Oxigênio Dissolvido, Clorofila “a”, Sólidos Suspensos Totais, Coliformes Termotolerantes e *Escherichia coli*, conforme metodologias padrões do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. E conforme os parâmetros analisados a lagoa estudada não atende ao padrão de lançamento da Resolução Coema n° 02/2017 para coliformes termotolerantes, e mesmo não atendendo para Clorofila “a” e Sólidos Suspensos Totais, esses não comprometem a atividade de desinfecção da lagoa. Porém com os valores de pH abaixo de 9 e carga residual de matéria orgânica proveniente da má remoção das lagoas anteriores tornam o ambiente inóspito, resultando em uma desinfecção inapropriada.

PALAVRAS-CHAVE: Lagoas de maturação, Desinfecção, Coliformes termotolerantes, *Escherichia coli*, Radiação ultravioleta.

INTRODUÇÃO



Sistemas de lagoas de maturação representam soluções de desinfecção economicamente viáveis e altamente eficazes, quando devidamente planejados e operados, alcançando uma eficiência de remoção em torno de 100% em relação a cistos de protozoários, ovos de helmintos e altas taxas de remoção de coliformes termotolerantes (SPERLING.V, 2002). De forma geral, esses sistemas são compostos por três a quatro lagoas em série, ou uma única lagoa com chicanas, possuindo profundidade inferior comparada a outros tipos de lagoas presentes no tratamento de efluente, com o intuito de otimizar o processo de desinfecção por meio da radiação UV (MOREIRA, 2005).

Segundo Gehling (2017), as lagoas de maturação devem chegar a 99% de eliminação dos coliformes, contudo os dados presentes no gráfico 1 expressam uma redução média de 97,5% de eficiência de remoção, valor extremamente baixa ao amplamente divulgada na literatura.

A energia proveniente da radiação ultravioleta é capaz de romper as ligações insaturadas do DNA, especialmente as bases nitrogenadas pirimídicas. Essas ligações quebradas propiciam a dimerização das pirimidinas adjacentes, resultando em sua união e formação de uma estrutura dupla. Esse processo de dimerização compromete a correta ligação das bases nitrogenadas com seus complementares no filamento oposto de DNA, podendo acarretar em erros durante a replicação do material genético e, conseqüentemente, na morte celular. Diante do exposto, a turbidez elevado do efluente pode propiciar a sobrevivência de patógenos, seja por proteção contra a radiação, dispersão inadequada ou penetração incompleta, prejudicando a eficácia da desinfecção e fomentando o desenvolvimento e crescimento de agentes patogênicos (CAVALCANTE, BATISTA e FERNANDES, 2019).

Ambientes aquáticos ricos em nutrientes como nitrogênio e fósforo são propícios ao desenvolvimento de macro e microalgas, possuindo esta situação pontos positivos e negativos quando se trata do tratamento de efluente doméstico, se por um lado as algas de modo a manter suas atividades metabólicas retiram dos efluentes nutrientes indesejados (MURAKAMI e RODRIGUES,2009). Contudo, podem atrapalhar o processo de desinfecção tendo em vista que contribuem significativamente para a turbidez do efluente.

O estudo realizado visou avaliar a eficiência da desinfecção de uma lagoa de maturação do Cariri Cearense, a partir da remoção de Coliformes Termotolerantes (CTT) e *Escherichia coli* (EC), e sua relação com a presença microalgas e parâmetros de monitoramento.

MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada na única lagoa de maturação de uma estação de tratamento de esgotos localizada em Juazeiro do Norte que trata esgotos domésticos com vazão média de 148 L/s. O sistema é composto por duas lagoas anaeróbias em paralelo, seguidas de duas lagoas facultativas, também em paralelo, e finalmente, apenas uma única lagoa de maturação com dimensões de 558,1 m em seu comprimento, 113,7 m de largura, e profundidade de 1,0 m.

As amostras foram coletadas na entrada e saída da lagoa de maturação, com intervalo de 15 dias, entre os meses de fevereiro a maio de 2024, em torno das 10 horas da manhã, por meio de recipiente plástico içado por corda, no vertedouro da lagoa. Os efluentes coletados foram dispostos em frascos plásticos âmbar de 2L e para as análises microbiológicas, em frascos de 200 ml devidamente esterilizados.

Os parâmetros analisados e suas respectivas metodologias aplicadas e referência estão descritas no Quadro 1:

Quadro 1: Metodologias analíticas e referência dos parâmetros aplicados no estudo.

Parâmetro	Metodologia	Referência
pH	Potenciômetro de bancada	APHA et al., (2012)
Turbidez (UT)	Turbidímetro de bancada	
Acidez total (mgCaCO ₃ /L)	Titulometria com NaOH 0,02 N	
Alcalinidade Total (mgCaCO ₃ /L)	Titulometria com H ₂ SO ₄ 0,02N	
Oxigênio Dissolvido (mgO ₂ /L)	Titulometria - Método de Winkler	
Clorofila "a" (µg/L)	Espectrometria - extração a frio com acetona 90%	
Sólidos suspensos totais (mg/L)	Gravimétrico	
Coliformes Termotolerantes (NMP/100mL)	Tubos múltiplos com Meio A1	
<i>Escherichia coli</i> (NMP/100mL)	Esfregaço em Meio EMB	

RESULTADOS OBTIDOS

Segundo a Resolução do Conselho Estadual do Meio Ambiente do estado do Ceará, COEMA n° 02/2017, a concentração de CTT não deve exceder 5000 CT/100 ml. A luz da literatura, esse padrão é prontamente alcançado por meio de lagoas de estabilização, técnica difundida mundialmente e majoritariamente em países tropicais e em desenvolvimento, por seu baixo custo de operação e clima favorável ao desempenho das atividades microbianas essenciais a degradação da matéria orgânica. Contudo, em meio a negligências operacionais ou de projeto, assim como intempéries ambientais o efluente final pode não se adequar a demanda exigida pelo órgão competente. Percebe-se que estação não atendeu ao padrão em nenhuma das amostragens processadas. Embora a concentração de EC tenha sido inferior, por ser um subgrupo pertencente aos termotolerantes, ainda sim, apresentou-se com remoções muito pequenas ao longo do tempo de detenção.

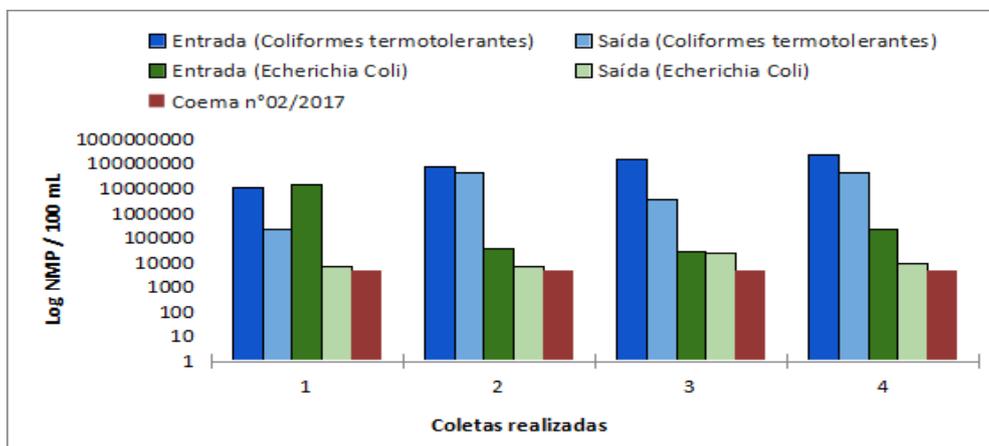


Figura 01: Concentração de Coliformes termotolerantes e *Escherichia Coli* na entrada e saída da lagoa de maturação. Fonte: Autores (2024)

Analisando sob o aspecto de unidades logarítmicas removidas, a redução foi ínfima para os dois grupos de bioindicadores, variando entre 0,24 a 1,18 unidades Log para CTT, e para EC um alcance ligeiramente melhor entre 0,08 a 3,3 unidades Log.

Vale (2006) ao monitorar três sistemas de lagoas responsáveis por tratar efluentes da cidade de Natal- RN, localizada no Nordeste Brasileiro, afirmou ter obtido dados de eficiência de remoção de coliformes termotolerantes entre 2 e 3 unidades logarítmicas, valores tipicamente esperados. Os projetos de dimensionamento de lagoa contam com uma remoção entre 2 a 4 unidades Log, obviamente alcançados com a atuação de mais de uma lagoa.



Sabe-se que a desinfecção em lagoas de maturação é um compilado de processos que deixam o ambiente aquático inóspito para a proliferação bacteriana, e por conseguinte, ocorre a morte dos bioindicadores avaliados. Como falado anteriormente, o pH básico, a escassez de alimento, a presença de predadores e a entrada de radiação ultravioleta, quando atuam conjuntamente são responsáveis pelo bom desempenho do sistema.

Os sistemas localizados na região do semiárido tem vantagem sobre a radiação ultravioleta devido a alta intensidade solar 5003 a 6558 ws/m².dia em média. Por ser um fenômeno eficiente, primeiramente pensou-se que a turbidez em demasia da coluna d'água estivesse atrapalhando a entrada de luz e o alcance dela nas células bacterianas. Os teores de sólidos suspensos totais e Clorofila "a" estão ilustrados na Figura 02.

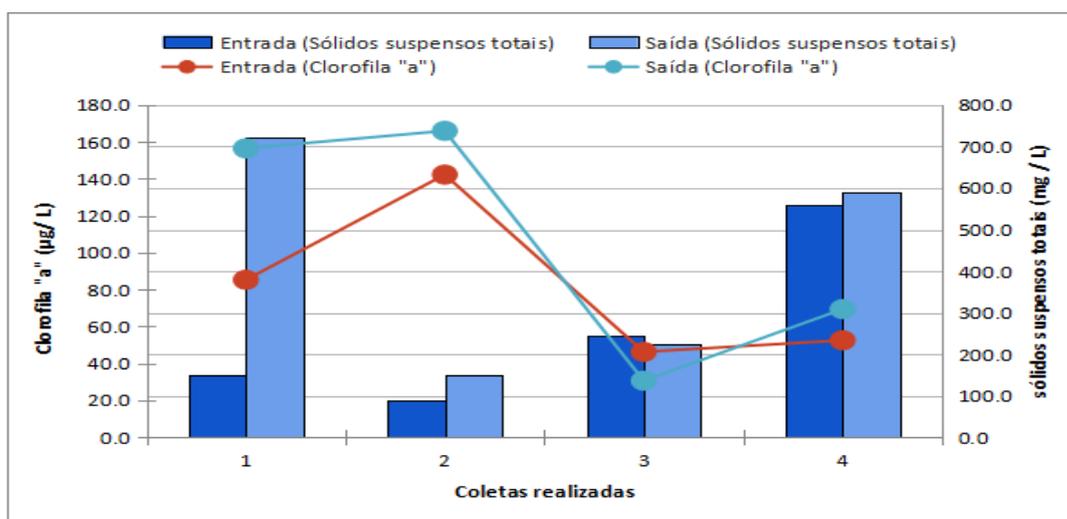


Figura 02: Sólidos suspensos totais e Clorofila "a" na entrada e saída da lagoa de maturação.
Fonte: Autores (2024).

O padrão de lançamento para os sólidos suspensos totais (SST) de 150 mg/L não pode ser usado para fins comparativos em virtude da amostra analisada não ter sido previamente filtrada em filtro com porosidade entre 0,7 e 1,0 µm, sendo este analisado no efluente final bruto. Porém, acredita-se que caso tenha sido, o efluente atenderia ao padrão visto a remoção principalmente das algas. Os valores de clorofila "a" variaram entre 46,3 a 142,3 µg/L para o afluente da lagoa, e entre 30,7 a 166,0 µg/L para o efluente final. D'Alessandro (2018) em um estudo de caso obteve valores de clorofila "a" entre 865 µg/L-1 e 1348,3 µg/L-1, por sua vez em um outro estudo em 2015 alcançou resultados entre 314,43µg/L-1 e 2567,80 µg/L-1. Apesar de não haver parâmetro para lançamento de efluente quanto a concentração de clorofila "a", os resultados obtidos em comparação aos citados acima e demais literaturas, mostra um excesso de algas no sistema avaliados.

Em uma observação comparativa simples, pode levar erroneamente a atribuir o mal desempenho do processo de desinfecção a não penetração dos raios ultravioleta por excesso de sólidos suspensos, para relacionar as variáveis: clorofila "a", sólidos suspensos totais, CTT e EC, foi feita a análise de correlação de Pearson com significância de 5% e intervalo de confiança de 95%. Os resultados seguem descritos na Tabela 1. Estatisticamente, percebe-se que não há nenhuma correlação entre essas variáveis, não apontando influência do teor de material suspenso na redução de bioindicadores.

Tabela 1: Correlação de Person entre as variáveis de SST e CTT - EC do efluente final da lagoa de maturação.

	Clorofila "a" e SST	SST e CTT	Clorofila "a" e <i>E.coli</i> .	SST e <i>E.coli</i>
P-valor	0,8317	0,4816	0,135	0,584
R²	0,02833	0,2687	0,7483	0,173

Por outro lado, percebe-se que o pH da lagoa encontra-se distante da basicidade, conforme se almeja (Figura 03). Em ambientes aquáticos com atividade fotossintética recorrente como é o caso de sistemas de lagoas de estabilização é esperado um aumento do pH e acidez devido a remoção de CO_2 do meio líquido pelas algas. Em nenhuma das amostragens foi verificado pH próximo a 9,0, uma vez que se espera teores por volta de 10. Acredita-se que o sistema carbônico não se encontra com escassez de gás carbônico a ponto de a atividade fotossintética das algas requerer CO_2 da alcalinidade do meio, uma vez que esta se mantém estabilizada ao longo da lagoa de maturação. A diferença da concentração na entrada e saída é muito baixa, com variações entre 11 a 23%, e em algumas coletas, a alcalinidade superou a concentração de entrada.

A alcalinidade é descrita como a capacidade no meio neutralizar íons de H^+ , por sua vez a acidez é a neutralização de bicarbonato (HCO_3^-), carbonato (CO_3^{2-}) e hidróxido (OH^-) tal dinâmica influência diretamente no pH do meio.

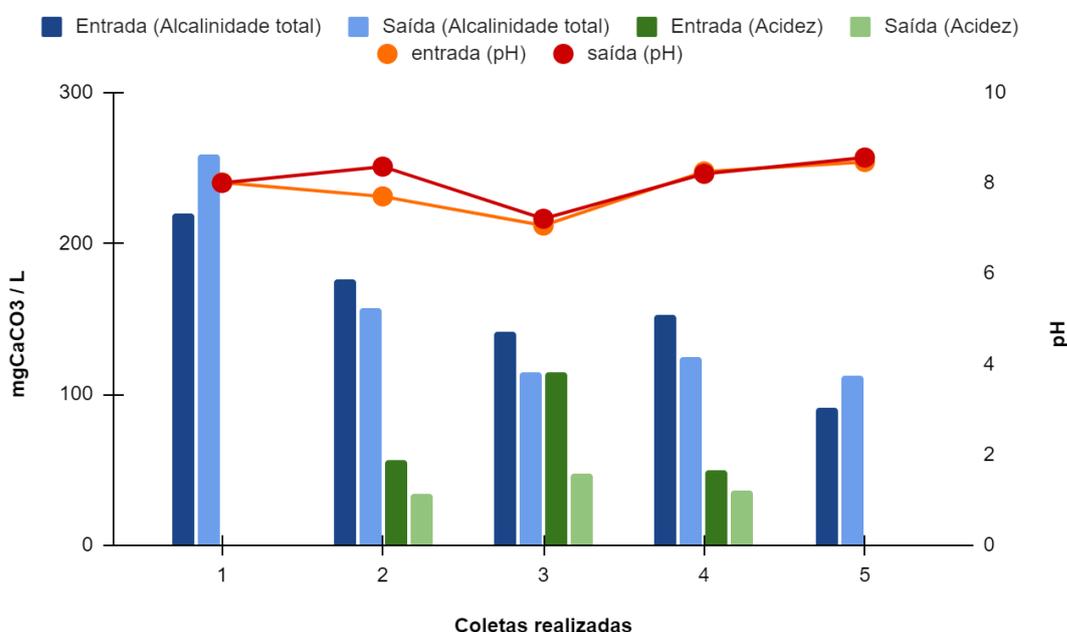


Figura 03: Alcalinidade total, Acidez total e pH.
fonte: Autores (2024)

Diante do exposto, acreditasse que o CO_2 requerido pelas algas para seu processo metabólico está sendo suprido pela respiração celular das bactérias aeróbias durante o processo de degradação de matéria orgânica, tendo em vista que não há a transformação e OH^- do sistema carbônico, levando a acreditar que há ainda concentração relevante de matéria orgânica na lagoa de maturação, apontando assim falha nos processos de tratamento anteriores.

A Tabela 02 compila o intervalo mínimo e máximo das concentrações de matéria orgânica em termos de DQO e DBO das amostras da entrada e saída da lagoa de maturação, com as amostras brutas e filtradas.

Observa-se que dentro da lagoa de maturação ainda há remoção efetiva de matéria orgânica biodegradável da fração sem as algas, que variaram entre 35 a 70% de eficiência. Ou seja, os microrganismos além de se encontrarem em um ambiente com pH próximo a neutralidade, somado a disponibilidade de alimento e oxigênio em excesso em virtude da atividade fotossintética das algas, cria um ambiente favorável à sua permanência, e detecção de altas concentrações no efluente final da lagoa.



	DQO Bruta	DQO Filtrada	DBO Filtrada
Entrada	570,0 - 1093,3	211,8 - 426,7	157,8 - 180,3
Saída	270,0 - 680,0	112,4 - 320,0	46,6 - 118,0
Remoção (%)	38 - 53	25 - 47	35 - 70

Tabela 2: Concentrações de matéria orgânica na entrada e saída da lagoa de maturação.

CONCLUSÃO:

A lagoa de maturação estudada não atendeu em nenhuma das quatro amostragens ao padrão de lançamento da Resolução Coema n° 02/2017 para coliformes termotolerantes, com teores elevados desse bioindicador no efluente final.

Acredita-se que os teores de sólidos suspensos totais e clorofila “a” não comprometem a atividade de desinfecção do efluente da lagoa de maturação estudada, e tal ineficiência pode ser associada a presença residual da matéria orgânica na lagoa de maturação, esta não removida nas etapas anteriores, que, por fim, é degradada nesta situação pelas bactérias, cujo gás carbônico produzido pela respiração aeróbia é fonte suficiente para a atividade fotossintética das algas que não recorrem a alcalinidade como fonte deste gás, e por conseguinte, mantém o pH do meio próximo a neutralidade, tornando o meio menos inóspito a permanência dos bioindicadores, resultando em uma desinfecção inapropriada.

REFERÊNCIAS:

1. APHA – American Public Health Association. 1998. **Standard Methods for Examination of Water and Wastewater**. 20. Ed, Madrid: Ediciones Diaz de Santos S.A/American Public Health Association; American Water Works Association/Water Pollution Control Federation, Washington,USA.
2. CAVALCANTE, Fernanda Lima; BATISTA, Rafael Oliveira; FERNANDES, Cristiane do Nascimento. **Desinfecção solar de fluidos sanitários**. Natal: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte-Ifrn, 2019. 100 p. : il. ISBN: 978-85-94137-81-4
3. CONSELHO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE (Ceará). **Resolução Coema n° 2 de 02/02/2017**. Dispõe sobre padrões e condições para lançamento de efluentes líquidos gerados por fontes poluidoras no âmbito da Superintendência Estadual do Meio Ambiente - SEMACE. Fortaleza, 21 Fev. 2017.
4. D'ALESSANDRO, Emmanuel Bezerra; SAAVEDRA, Nora Katia. **Desempenho de uma lagoa de maturação na ETE de Trindade (GO): estudo de caso**. Universidade Federal de Goiás, Escola de Engenharia Civil, 2018.
5. D'ALESSANDRO, Emmanuel Bezerra; SAAVEDRA, Nora Katia. SANTIAGO, Mariângela Fontes. **Influência da sazonalidade em lagoas de estabilização**. Ingeniería Del Agua, v. 19, n. 4, p. 193, 2015.
6. Fundação Nacional de Saúde - FUNASA. **Manual prático de análise de água** / Fundação Nacional de Saúde . 4. ed. Brasília : Funasa, 2013. 150 p.
7. GEHLING, Gino. **Lagoas de Estabilização**. Rio Grande do Sul : Instituto de Pesquisas Hidráulicas-IPH, Departamento de Obras Hidráulicas, 2017.



8. MOREIRA, EA. **Quantificação dos mecanismos que afetam o pH em lagoas de polimento.** Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia, Campina Grande, 2005.
9. SPERLING, Marcos Von. **Lagoa de Estabilização: Princípio do tratamento biológico de águas residuárias.** 2.ed. Belo Horizonte: Departamento de engenharia sanitária e ambiental -DESA, 2002. 196 p. v. 3. ISBN 85-85266-06-6.
10. VALE, Milton Bezerra. **Avaliação da Eficiência da remoção da matéria orgânica e Microbiológicas de três sistemas de lagoas de estabilização em serie na grande Natal-RN.** Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Campina Grande. Programa de pós-graduação em engenharia sanitária, Rio grande do Norte, 2006.