

CAPÍTULO 11

AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DO TRATAMENTO DE EFLUENTES DE UMA INDÚSTRIA DE REFRIGERANTES NO MUNICÍPIO DE VÁRZEA GRANDE-MT



<https://doi.org/10.22533/at.ed.3611125040411>

Data de aceite: 08/12/2025

Daniela Ferreira de Lima

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso – Campus Bela Vista, Mestrado Profissional em Química Tecnológica e Ambiental. Brasil

Yasmin Aparecida Martins de Godoy

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso – Campus Bela Vista, Mestrado Profissional em Química Tecnológica e Ambiental. Brasil

Rita de Cássia Silva Oliveira

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso – Campus Bela Vista, Mestrado Profissional em Química Tecnológica e Ambiental. Brasil

Fátima dos Santos Moreira

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso – Campus Bela Vista, Mestrado Profissional em Química Tecnológica e Ambiental. Brasil

Josias do Espírito Santo Coringa

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso – Campus Bela Vista, Mestrado Profissional em Química Tecnológica e Ambiental. Brasil

RESUMO: Contexto: A água é uma das principais matérias-primas em diversos ramos industriais, com destaque para a indústria de bebidas. Este estudo avaliou a sustentabilidade ambiental do sistema de tratamento de efluentes da indústria de refrigerantes em Várzea Grande-MT, por meio da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). Foram realizadas análises físico-químicas e biológicas do efluente, seguindo a metodologia “Standard Methods”, abrangendo parâmetros como pH, temperatura, condutividade, turbidez, cor, sólidos suspensos, DBO, DQO, metais (ferro, cobre, e níquel), nutrientes (nitrogênio total e nitrogênio amoniacial) e trihalometanos. Os resultados indicam eficiência no tratamento, com parâmetros dentro dos limites legais.

PALAVRAS-CHAVE: Indústria de bebidas. Avaliação do ciclo de vida. Efluentes Industriais.

LIFE CYCLE ASSESSMENT OF WASTEWATER TREATMENT AT A SOFT DRINK FACTORY IN THE MUNICIPALITY OF VÁRZEA GRANDE-MT

ABSTRACT :Context: Water is one of the main raw materials in various industrial sectors, especially the beverage industry. This study evaluated the environmental sustainability of the wastewater treatment system of a soft drink industry in Várzea Grande-MT, through Life Cycle Assessment (LCA). Physicochemical and biological analyses of the effluent were performed, following the "Standard Methods" methodology, covering parameters such as pH, temperature, conductivity, turbidity, color, suspended solids, BOD, COD, metals (iron, copper, and nickel), nutrients (total nitrogen and ammoniacal nitrogen), and trihalomethanes. The results indicate treatment efficiency, with parameters within legal limits.

KEYWORDS: Beverage industry. Life cycle assessment. Industrial wastewater.

INTRODUÇÃO

A água é fundamental em todas as etapas do ciclo de vida dos produtos industriais, especialmente na indústria de bebidas, resultando também na geração de resíduos líquidos.

O descarte de águas residuais provenientes da indústria e outras atividades podem contribuir com a poluição das águas superficiais. A poluição das águas representa um grande desafio ambiental, com consequências negativas a longo prazo, afetando tanto a saúde pública quanto o equilíbrio nos ecossistemas (D.O. Omole *et al.*, 2025).

O tratamento dos efluentes passam por diversas etapas, como: tratamento preliminar, momento no qual são removidos poluentes grosseiros por meio de processos físicos; tratamento primário, que são operações que dependem de processos físico-químicos, como a equalização da carga do efluente; tratamento secundário, etapa que realiza processos biológicos para a degradação da matéria orgânica, podendo ser subdividido em digestão aerobia e anaerobia; e tratamento terciário, etapa final que adota processos mais avançados para redução de poluentes remanescentes no efluente (Silva, 2021).

O monitoramento contínuo e eficaz dos sistemas de tratamento de águas residuais é essencial para assegurar que os efluentes não representem riscos ao meio ambiente e à saúde humana (A. Elsayed *et al.*, 2024).

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é uma ferramenta utilizada para realizar o levantamento de aspectos ambientais e sustentáveis nos processos de produção e na fabricação de produtos, abrangendo desde a concepção do produto até a elaboração de relatórios finais, com o intuito de demonstrar a importância, versatilidade e aplicação que a ACV tem na tomada de decisão quanto a assuntos ambientais (Z. El Haouat *et al.*, 2024).

Para a realização da ACV são utilizadas as diretrizes das normas ABNT NBR ISO 14040 que estabelece a "Gestão Ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura" e ABNT NBR ISO 14044 que estabelece "Gestão Ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Requisitos e orientações".

Ainda de acordo com a ABNT NBR ISO 14040 e ABNT NBR ISO 14044 a ACV é composta pelas seguintes fases de estudo: definição de objetivo e escopo; análise de inventário; avaliação de impactos; e interpretação.

MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo adotou abordagem mista combinando métodos quantitativos (para precisão dos resultados) e qualitativos (para interpretação contextual)

Foram realizadas pesquisas de campo e laboratório. Em campo foram coletadas informações para compreender o funcionamento atual do sistema de tratamento de efluentes e seu ciclo de vida.

A avaliação do ciclo de vida (ACV) foi conduzida com base nas diretrizes das Normas ABNT NBR ISO 14040 e ABNT NBR ISO 14044, que tratam dos princípios, estrutura, requisitos e orientações para a gestão ambiental.

As coletas foram realizadas em cinco pontos estratégicos (A a E) da estação de tratamento de efluentes (ETE), no mês de julho/2025. O procedimento experimental seguiu um fluxograma detalhado, desde a coleta até a análise laboratorial conforme segue:

Ponto A: Entrada do Efluente Bruto;

Ponto B: Após tratamento Primário;

Ponto C: Após tratamento anaeróbio (Reator UASB);

Ponto D: Após tratamento aeróbio (Sistema Aerado);

Ponto E: Após tratamento de cloração (Chicana);

Para a análise dos parâmetros das amostras de efluentes, foram utilizados como metodologia e diretrizes os métodos a seguir:

- pH, Temperatura: Utilizou-se para análise o aparelho pHmetro Marconi modelo MA-522;

- Condutividade: Utilizou-se para análise o aparelho condutivímetro Marconi modelo MA-521;

- Turbidez: Utilizou-se para análise o aparelho turbidímetro Hanna instruments modelo HI 93703 Microprocessor Turbidity Meter;

- Cor: Utilizou-se para análise o aparelho colorímetro Hanna instruments modelo HI 93727 Color of Water;

- Sólidos Suspensos, DBO, DQO, Ferro, Cobre, Níquel, Nitrogênio Total, Nitrogênio Ammoniacal: Utilizou-se para análise metodologia *Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater 24 Edition 2023*; Manual de Procedimento Hach,4a Edição, 2005; e

- Trihalometanos: Utilizou-se para análise metodologia VOC (Compostos Orgânicos Voláteis) EPA 8260D:2018, por meio da técnica de cromatografia gasosa-espectrometria de massas (GC/MS).

As amostras de efluentes foram coletadas em embalagem de polietileno e armazenadas para realização das análises dos parâmetros ambientais em laboratório.

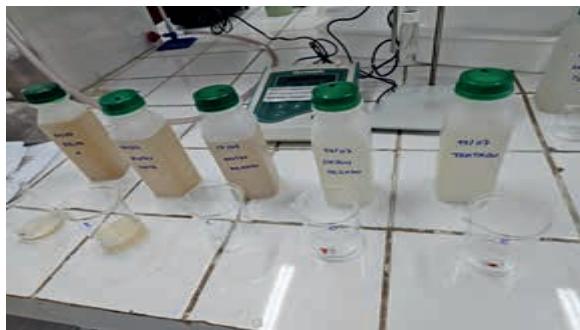


Figura 1: Amostras de Efluentes



Figura 2: Preparo de amostras para análise

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O ciclo de vida do processo de produção compreende as etapas de entrada, processamento e saída. Quanto a entrada ela é composta por: Água, de origem local, abastecido pelo Rio Cuiabá, passando pelo tratamento por meio da estação de tratamento de água antes do uso como matéria prima; Xarope, produzido localmente; Açúcar, abastecimento por usinas da região de Mato Grosso; Energia, de origem de rede de energia elétrica e gerador local; Produtos químicos; e Mão de obra local. Em seguida ocorre o processo de produção do refrigerante, resultando no produto final, e também em efluente líquido, emissões gasosas e resíduos sólidos.

A análise do ciclo de vida do processo produtivo evidenciou entradas indicados na (FIGURA 3): como água tratada, xarope, açúcar, energia elétrica, produtos químicos e mão de obra local, resultando em produto final, efluente líquido, emissões gasosas e resíduos sólidos. O tratamento de efluentes, realizado em ETE, apresentou como entradas efluente bruto, energia e reagentes químicos, gerando efluente tratado, biogás (CH_4 e CO_2), lodo e resíduos sólidos.

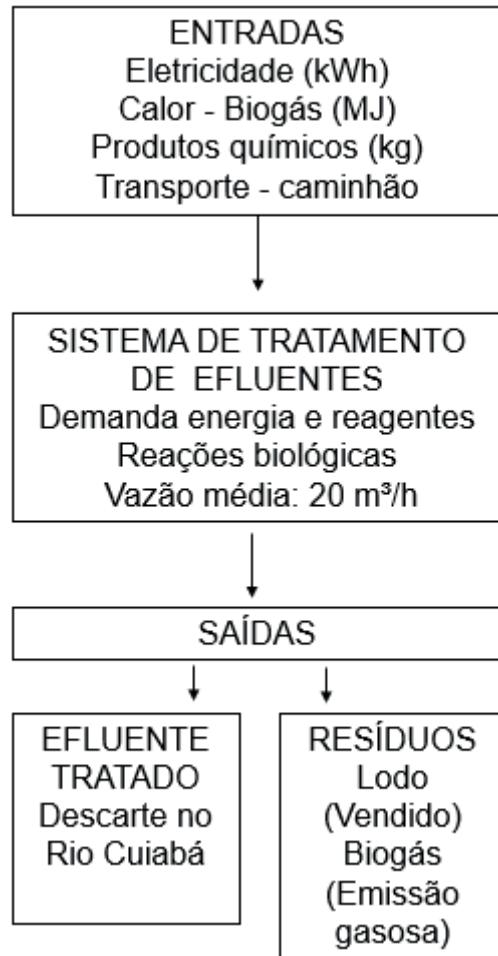


Figura 3: Fluxo ACV processo produtivo da indústria.

Foram analisadas amostras de efluentes, em todas as etapas da ETE, conforme Tabela 1.

Os resultados demonstram significativa redução de DBO, DQO, sólidos suspensos, metais e nutrientes ao longo das etapas do tratamento (ver Gráfico 1). Todos os parâmetros finais estão dentro dos limites estabelecidos pela legislação (CONAMA 430/2011 e 357/2005).

Redução dos Parâmetros ao Longo das Etapas do Tratamento

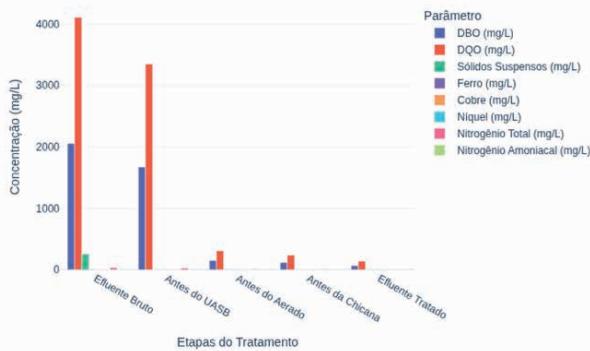


Gráfico 1: Redução dos Parâmetros ao Longo das Etapas do Tratamento.

A variação do pH ao longo do processo evidencia a eficiência na correção da acidez do efluente (ver Gráfico 2).

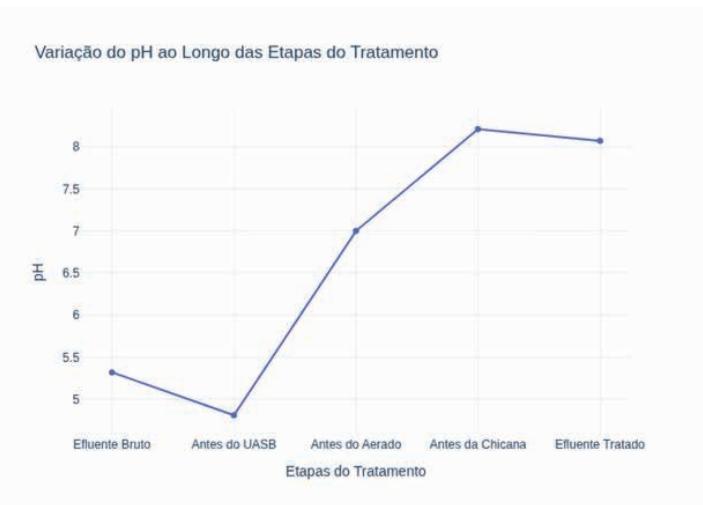


Gráfico 2: Variação do pH.

Os parâmetros de qualidade do efluente tratado indicaram DBO (67,04 mg/L) e DQO (139 mg/L) valores comparáveis aos reportados por Batistela Júnior (2024) na avaliação de tecnologias de tratamento para efluente de uma indústria cervejaria, encontrando resultados para o efluente tratado de 41 mg/L para DBO, e 182 mg/L para DQO. No entanto, no estudo do autor é utilizado apenas Reator anaeróbio com Lodo Ativado.

A adoção do sistema sequencial anaeróbio-aeróbio (UASB) demonstrou maior eficiência, corroborando estudos que apontam vantagens como integração simplificada, redução de impactos hídricos e economia operacional (Samuchiwal et al., 2023).

Também foram analisados metais como ferro total (Fe), cobre total (Cu) e níquel total (Ni), possivelmente oriundos de equipamentos ou tubulações. Conforme o CONAMA 430/2011 tem-se como limites para padrões de lançamento de efluentes: 15,0 mg/L Fe; 1,0 mg/L Cu; e 2,0 mg/L Ni. E o CONAMA 357/2005 0,1 mg/L Al para lançamentos em rios classe 2.

Os resultados demonstram que os parâmetros de Ferro, Cobre e Níquel encontram-se dentro do estabelecido pela legislação após o seu devido tratamento.

Quanto ao nitrogênio total e nitrogênio amoniacial (amônia), sua presença no efluente pode causar poluição por nutrientes, toxicidade para a vida aquática e eutrofização. Magalhães et al. (2022) destacam que a elevada carga orgânica do efluentes de bebidas, incluindo DBO, DQO, sólidos em suspensão, e os nutrientes como nitrogênio e fósforo, pode provocar proliferação de algas e alteração na microbiota aquática. Batistela Júnior (2024) reforça que a alta concentração de nitrogênio amoniacial, se liberado nos corpos d'água podem contribuir para a eutrofização.

Por fim, avaliou-se a formação de Trihalometanos (THMs), subprodutos da reação entre cloro residual livre e matéria orgânica durante a desinfecção. Águas com alta matéria orgânica, dureza e alcalinidade apresentam maior potencial para formação

O CONAMA não estabelece limites para THMs em efluentes, mas a Portaria GM/MS 888/2021 define para água potável o valor máximo de 0,1 mg/L. No efluente bruto, o resultado foi < 0,00200 mg/L, permanecendo inalterado após a cloração, portanto dentro dos limites recomendados.

CONCLUSÕES

O presente estudo permitiu compreender de forma detalhada o ciclo de vida da estação de tratamento de efluentes da indústria de refrigerantes, evidenciando as etapas do processo e sua relação com os impactos ambientais.

A análise baseada na Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), aliada à verificação dos parâmetros ambientais, demonstrou a eficiência das etapas de tratamento adotadas.

Além disso, o estudo contribuiu para ampliar o conhecimento sobre os efeitos da atividade industrial nos recursos hídricos e sobre a importância do monitoramento contínuo da qualidade dos efluentes.

Os resultados obtidos fornecem subsídios relevantes para estratégias de conservação dos recursos hídricos e para a melhoria das práticas de gestão ambiental na indústria.

REFERENCIAS:

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). (2007). *NBR ISO 14064-1 – Gases de efeito estufa, parte 1: Especificação e orientação a organizações para quantificação e elaboração de relatórios de emissões e remoções de gases de efeito estufa.* Brasil.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). (2007). *NBR ISO 14064-2 – Gases de efeito estufa, parte 2: Especificação e orientação a projetos para quantificação, monitoramento e elaboração de relatórios das reduções de emissões ou da melhoria das remoções de gases de efeito estufa.* Brasil.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). (2007). *NBR ISO 14064-3 – Gases de efeito estufa: Especificação e orientação para a validação e verificação de declarações relativas a gases de efeito estufa.* Brasil.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). (2009). *NBR ISO 14040 – Gestão Ambiental: Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura.* Brasil.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). (2009). *NBR ISO 14044 – Gestão Ambiental: Avaliação do ciclo de vida – Requisitos e orientações.* Brasil.

Batistela Junior, P. R. (2024). *Análise de tecnologias de tratamento para efluente gerado por uma cervejaria.* Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental e Sanitária) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina.

Brasil. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). (2005). *Resolução nº 357, de 17 de março de 2005.* Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.

Brasil. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). (2011). *Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011.* Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes.

Brasil. Ministério da Saúde. Gabinete do Ministro. (2021). *Portaria GM/MS nº 888, de 04 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..

El Haouat, Z. et al. (2024). Environmental optimization and operational efficiency: Analysing the integration of life cycle assessment (LCA) into ERP systems in Moroccan companies. *Results in Engineering*, 22, 102131.

Elsayed, A. et al. (2024). Genetic programming expressions for effluent quality prediction: Towards AI-driven monitoring and management of wastewater treatment plants. *Journal of Environmental Management*, 356, 120510. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.120510>

Magalhães, G. G. S. et al. (2022). Tratamento de efluentes na indústria de cerveja: desafios e oportunidades. *CIAGRO.* Disponível em: <https://ciagro.instituoidv.org/ciagro2022/uploads/479.pdf>

Omole, D. O. et al. (2025). Assessment of urban and industrial effluents on a receiving stream using statistical and quality indices. *Scientific African*, 29, e02781. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2025.e02781>

Oliveira, D. K. et al. (2024). Monitoramento de trihalometanos (THMs) e da qualidade da água para abastecimento público da cidade de Cavalcante, Goiás. *Química Nova*, 47(4), e-20230116, 1–7. <https://doi.org/10.21577/0100-4042.20230116>

Samuchiwal, S. et al. (2023). Life cycle assessment of sequential microbial-based anaerobic-aerobic reactor technology developed onsite for treating textile effluent. *Environmental Research*, 234, 116545.

Silva, T. P. (2021). *Avaliação do desempenho do sistema de tratamento de efluentes de uma indústria de bebidas*. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Alimentos) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 52 f.

Parâmetro	Efluente Bruto	Antes do Reator UASB	Antes do Sistema Aerado	Antes da Chicana	Efluente Tratado
pH	5,32	4,81	7,0	8,21	8,07
Temperatura	21 °C	20,6 °C	20,5 °C	20,5 °C	20,7 °C
Condutividade	878,7 µS/cm	828,5 µS/cm	2034 µS/cm	2142 µS/cm	2150 µS/cm
Turbidez	185 NTU	106 NTU	87 NTU	3,21 NTU	3,16 NTU
Cor Verdadeira	800 PCU	700 PCU	310 PCU	80 PCU	80 PCU
Sólidos suspensos totais	252,00 mg/L			7 mg/L	3 mg/L
DQO	4.110,00 mg/L	3.350,00 mg/L	306,00 mg/L	236,00 mg/L	139,00 mg/L
DBO	2.055,50 mg/L	1.671,80 mg/L	149,06 mg/L	116,21 mg/L	67,04 mg/L
Ferro total	4,058 mg/L			2,461 mg/L	1,911 mg/L
Cobre total	0,035 mg/L			0,006 mg/L	0,005 mg/L
Níquel total	0,012 mg/L			0,008 mg/L	0,007 mg/L
Nitrogênio total	29,93 mg/L	24,17 mg/L	5,75 mg/L	5,67 mg/L	1,32 mg/L
Nitrogênio amoniacal Total	5,20 mg/L			< 0,60 mg/L	< 0,60 mg/L
Trihalometanos				< 0,00200 mg/L	< 0,00200 mg/L

Tabela 1. Análises das Amostras de Efluentes das Etapas da ETE.