

MONITORAMENTO FÍSICO-QUÍMICO E MICROBIOLÓGICO DE EFLUENTES DE CURTUME *WET-BLUE*: EFICIÊNCIA DE TRATAMENTO E IMPLICAÇÕES AMBIENTAIS

*Enzo Guzzo Duz*¹; *Luana Ramira da Costa*²; *Rodrigo Bahia Pereira*³; *Johannes Gérson Janzen*⁴
& *Graziele Ruas*⁵

RESUMO – A qualidade da água em áreas urbanas é um fator de grande importância para assegurar a segurança hídrica da população. Em países em desenvolvimento, que normalmente contam com sistemas de tratamento de efluentes ineficientes ou insuficientes, este problema se torna ainda mais relevante. Em países como Brasil, Índia, Paquistão e Bangladesh, uma atividade econômica comum é o curtimento de couro. Apesar da grande relevância econômica do setor, a atividade tem grande potencial poluidor, principalmente pela produção de efluente com alta toxicidade, elevada taxa de matéria orgânica e valores elevados de metais pesados, principalmente o cromo, que, em sua forma hexavalente (Cr VI), é altamente tóxico e cancerígena. Utilizando dados de entrada e saída de um sistema de tratamento instalado em um curtume em operação na cidade de Campo Grande (MS), este trabalho avalia a qualidade dos dados, sua adequação com os valores encontrados em outras pesquisas e os potenciais impactos nos meios bióticos, físicos e na saúde humana. Destacam-se, adicionalmente, as correlações entre os parâmetros analisados e a importância da busca de novos métodos de tratamento mais eficientes e acessíveis a regiões em desenvolvimento.

Palavras-Chave – Efluentes industriais; curtume; qualidade da água

ABSTRACT– Water quality in urban areas is a relevant issue to ensure water security of the population. In developing countries, which normally have wastewater treatment systems that are ineffective or insufficient, this problem becomes even more significant. In countries such as Brazil, India, Pakistan or Bangladesh, a widespread economic activity is leather tanning. Despite the economic importance of this sector, this activity has high pollution potential, mainly due to the generation of effluents with high toxicity, elevated organic load and substantial concentration of heavy metals, particularly chromium, which, in its hexavalent form (Cr VI) is highly toxic and carcinogenic. Using data from the influent and effluent of a treatment system installed in an

¹) Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Engenharia (UNESP), enzo.duz@unesp.br

²) Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia (UFMS), luanaramira@gmail.com

³) Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia (UFMS), rodrigoeamb@gmail.com

⁴) Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia (UFMS), johannes.janzen@ufms.br

⁵) Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Engenharia (UNESP), graziele.ruas@unesp.br

operational tannery in the city of Campo Grande (MS), this work assesses data quality, its alignment with values reported in previous research as well as the potential impacts on biotic and physical environments and human health. Additionally, the correlations among the analyzed parameters are highlighted, emphasizing the importance of seeking new, more efficient, and accessible treatment methods for developing regions.

Key-words – Industrial effluents; tannery; water quality

INTRODUÇÃO

A degradação da qualidade da água em áreas urbanas é um problema recorrente e presente em grande parte dos centros urbanos, principalmente em países em desenvolvimento, cujos sistemas de tratamento de efluente nem sempre são eficientes e suficientes para atender à demanda. Além dos impactos ambientais, a qualidade da água tem influência em outras atividades econômicas e na saúde da população (Assegide *et al.*, 2022). A importância desta temática é destacada também nos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODSs), publicados pela Organização das Nações Unidas (ONU), com destaque para o ODS 6 - Água Potável e Saneamento (ONU, 2015).

O curtimento de couro é uma atividade econômica de relevância, principalmente em países em desenvolvimento como Índia, Paquistão, Brasil e Bangladesh. No caso específico destas indústrias, ocorre a produção de efluentes com elevadas taxas de matéria orgânica, poluentes inorgânicos, sólidos em suspensão, e, inclusive, metais pesados, que são utilizados nos processos industriais (Bhardwaj *et al.*, 2023). Dentre os metais pesados, destaca-se o Cromo, tanto em sua forma trivalente (Cr III) e hexavalente (Cr VI), sendo a última tóxica e cancerígena. O cromo é utilizado no processo *wet-blue*, empregado em diversas indústrias do ramo, devido à facilidade do processo e à confecção de produtos finais com qualidade satisfatória (Monira e Mostafa, 2023).

Existem diversas formas de tratamento para efluentes de curtume, que demonstram eficiência, dentre elas, podem ser citadas a precipitação química, que utiliza coagulantes para separação dos poluentes da fase líquida do efluente, porém há a geração de lodo contaminado, que necessita de descarte correto; a separação por membranas, é custoso e exige um sistema de tratamento antecedente com alta eficiência, por fim os sistemas biológicos têm se destacado como opção de tratamento, acessível, com menores custos e sustentável. As Ilhas Flutuantes (Floating Treatment Wetlands) já são empregadas no tratamento de efluentes domésticos e industriais (Di Luca *et al.*, 2023). Entretanto, o tratamento de efluentes com elevada toxicidade ainda apresenta limitações como custo, plantas adaptadas e necessidade de estudo e tratabilidade de efluentes

complexos e tóxicos, como o efluente de indústria de curtimento de couro in natura através do processo *wet blue*. .

Assim, neste trabalho, buscou-se caracterizar os efluentes brutos e tratados de uma indústria de curtimento de couro localizada na cidade de Campo Grande/MS. Buscando-se: i. caracterizar quanto a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO), sólidos (sólidos totais, sólidos dissolvidos totais e sólidos sedimentáveis), séries de nitrogênio (nitrogênio amoniacal, nitrito e nitrato), além de indicadores de contaminação fecal (*Escherichia coli*); ii. determinar eficiência da ETE da unidade industrial para remoção de todos os parâmetros monitorados; iii. averiguar se o efluente tratado cumpre os normativos para a disposição final (Resoluções CONAMA 430 e 357 (CONAMA, 2005; 2011); e por fim, iv. identificar os potenciais impactos ambientais decorrentes da ineficiência do tratamento e apontar oportunidades e desafios para a sustentabilidade do processo.

METODOLOGIA

As coletas das amostras foram realizadas entre agosto de 2024 e fevereiro de 2025, na entrada e saída do sistema de tratamento de uma indústria de curtimento de couro in natura, localizada em Campo Grande, Mato Grosso do Sul, na região Centro-Oeste do Brasil. A unidade industrial utiliza o processo de curtimento *wet-blue* que é caracterizado por duas etapas principais: i. Etapa preparatória (reidratação, calagem, depilação, descarna e divisão); e ii. Curtimento - Fase Wet Blue (Piquelagem e Curtimento ao Cromo). Cada etapa gera diferentes efluentes, mas na indústria eles são misturados e conduzidos para a Estação de Tratamento de Efluente (ETE), que é composta por floculadores, tanque de decantação, e lagoas de estabilização, alimentados continuamente.

O efluente bruto e tratado foi monitorado em termos de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda química de oxigênio (DQO), Nitrato (NO_2), Nitrito (NO_3), Nitrogênio Amoniacal (N-NH_4), Surfactantes, Sólidos Totais (ST), Sólidos Dissolvidos Totais (SDT), Sólidos Sedimentáveis (SS), pH, óleos e graxas totais, e *Escherichia coli*). As determinações foram realizadas pelo laboratório Biolaqua Ambiental (Campo Grande/MS) conforme o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* da Agência Ambiental Americana, (Environmental Protection Agency - EPA) (Lipps *et al.*, 2023). As coletas e determinações foram feitas mensalmente e os laudos foram emitidos pelo laboratório.

Os parâmetros de monitoramento foram extraídos dos laudos, organizados e processados utilizando o software R Studio (R Core Team, 2023), utilizando o ecossistema *tidyverse* (Wickham, 2023) com os pacotes *dplyr* e *tidyr*. Os dados foram verificados quanto à normalidade utilizando-se o teste de Shapiro-Wilk. Como os dados foram não-normais utilizou-se o teste não-paramétrico de Wilcoxon para avaliar as diferenças entre os valores de entrada e saída são estatisticamente significativas, (nível de significância de 5% ; $p < 0,05$).

Adicionalmente, foi avaliada a correlação entre os parâmetros através do teste de Spearman, As visualizações gráficas foram geradas utilizando os pacotes *ggplot2* e *stringer* (Wickham *et al.*, 2025) e a matriz de correlação foi gerada utilizando o pacote *corrplot* (Wei e Simko, 2025).

A avaliação de potenciais riscos para os meios bióticos, físicos e para as comunidades circundantes se deu por meio de busca bibliográfica sistemática de literatura internacional, utilizando a base de dados Scopus (Elsevier, 2026), com o *string* de busca “*tannery effluents*” and *impacts*. A comparação dos dados de saída do sistema com os padrões de lançamento foi realizada tendo como base as Resoluções 357 e 430 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

1. Caracterização do Efluente (Bruto e Tratado)

Na Tabela 1 são apresentados os valores médios e desvios padrões de todos os parâmetros monitorados no período (agosto de 2024 e fevereiro de 2025), observa-se desvios padrões elevados para todos os parâmetros tanto na entrada, quanto na saída.

As concentrações de *Escherichia coli*, Nitrato (como N) e Nitrito (como N) não tiveram diferenças estatísticas significativas entre os valores médios de entrada e saída da ETE, (nível de significância de 5%). O crescimento de *E. coli* por ser explicada pela alta turbidez e sólidos (ST, SDT, SS) do efluente o que dificulta os processos de remoção de *E. coli* em lagoas de estabilização, pois são induzidos, principalmente, por luz solar (foto-oxidação). Já as remoções dos demais parâmetros foram estatisticamente significativas no processo de tratamento da ETE da unidade industrial (Tabela 1).

Tabela 1 – Valores Obtidos. * Os valores em negrito não representam diferenças significativas entre os valores médios de entrada e saída.

Parâmetros	Unidade	Entrada	Saída	Eficiência Média Percentual (%)	p-valor*
		Média ± DP	Média ± DP		
DBO	mg/L	7.733,64 ± 4.904,05	116,97 ± 107,02	98,49	0,0021
DQO	mg/L	18.858,54 ± 10.897,90	217,09 ± 185,19	98,85	0,0006
DQO/DBO	--	2,44 ± 2,09	1,86 ± 2,32	-	-
Nitrato	mg/L	22,99 ± 36,55	4,27 ± 5,70	81,42	0,0526
Nitrito	mg/L	0,12 ± 0,09	0,12 ± 0,08	5,75	0,9435
Nitrogênio Am.	mg/L	268,97 ± 212,80	36,63 ± 50,56	86,38	0,0070
Surfactantes	mg/L	26,65 ± 45,91	1,18 ± 1,33	95,57	0,0067
SDT	mg/L	16.653,00 ± 19.446,63	847,43 ± 716,37	94,91	0,0006
SS	mg/L	512,86 ± 240,03	0,36 ± 0,19	99,93	0,0019
ST	mg/L	33.468,51 ± 18.637,14	855,57 ± 658,07	97,44	0,0006
pH	-	12,26 ± 0,55	7,81 ± 0,36	36,31	0,0021
Óleos e graxas totais	mg/L	619,70 ± 1.045,46	13,39 ± 6,75	97,84	0,0021
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 mL	9,29 ± 18,90	442.870,49 ± 1.171.683,98	-4.769.274,46	0,0828
<i>Escherichia coli</i>	log (NMP/100 mL)	0,97 ± 0,88	5,65 ± 1,15	-	-

DP: Desvio Padrão; DBO: Demanda Bioquímica de Oxigênio; DQO: Demanda Química de Oxigênio; SDT: Sólidos Dissolvidos Totais; SS: Sólidos Sedimentáveis; ST: Sólidos Totais; NMP: Número mais Provável.

A relação entre DQO e DBO (DQO/DBO) com valores inferiores a 2,5, indica que a matéria orgânica presente no efluente, tanto na entrada quanto na saída do sistema de tratamento, apresenta

elevada fração biodegradável e, portanto, é passível de ser tratada por meio de processos biológicos (Sperling, 2005).

2. Correlação

A matriz de Spearman (Figura 2) demonstra a correlação entre os parâmetros, sendo que valores próximos de 1 (ilustrados com tons mais próximos a azul) indicam correlações positivas, enquanto os valores mais próximos a -1 (ilustrados com tons avermelhados) indicam correlações negativas.

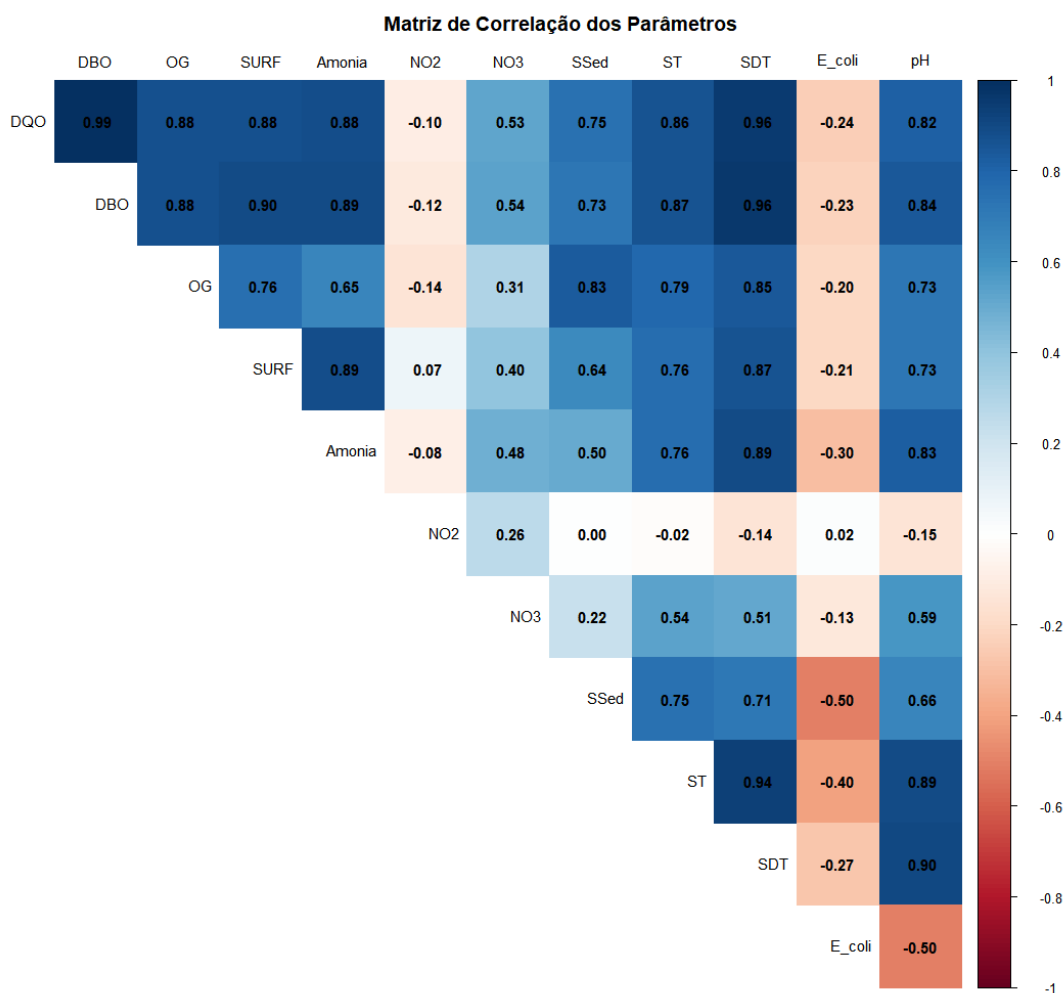


Figura 2 – Matriz de Correlação de Spearman.

DBO: Demanda Bioquímica de Oxigênio; DQO: Demanda Química de Oxigênio; OG: Óleos e Graxas; SURF: Surfactantes; Amonia: Nitrogênio Amoniacal; NO₂: Nitrito; NO₃: Nitrato; SDT: Sólidos Dissolvidos Totais; SSed: Sólidos Sedimentáveis; ST: Sólidos Totais.

A correlação entre os parâmetros de DQO e DBO é forte e positiva, assim como os parâmetros de Sólidos Totais e Sólidos Totais Dissolvidos, que indicam que a maior parte dos sólidos presentes no efluente se encontram na forma dissolvida. A correlação positiva entre as séries nitrogenadas é esperada em sistemas alimentados de forma contínua, visto que a matéria orgânica é rapidamente degradada para amônia (representada pelo parâmetro de Nitrogênio Amoniacal) que é, em sequência metabolizada para nitrito e nitrato. Em sistemas em batelada, tal correlação pode se mostrar negativa. Adicionalmente, nota-se a correlação negativa entre os valores de pH e contagem de bactérias *Escherichia coli*, devido ao efeito inibidor do pH em faixas específicas e sua ação conhecida como fator indutor da remoção deste indicador fecal (Curtir *et al.*, 1992).

3. Potenciais Impactos Associados

A ineficiência do tratamento e o consequente despejo de efluentes domésticos e industriais pode causar diversos impactos ao meio ambiente, e consequências para as comunidades circundantes. Na Tabela 3 estão organizados os principais impactos causados e suas consequências.

Tabela 3 – Impactos Potenciais e Consequências

Meio	Impacto Potencial	Consequências	Referências
Biótico Aquático	Diminuição de Oxigênio Dissolvido na água (valores elevados de DBO e DQO)	Diminuição da população de peixes, danos ao ecossistema aquático	(Uttam <i>et al.</i> , 2025)
Saúde Humana	Contaminação por patógenos (<i>Escherichia coli</i>) e por metais pesados (Cr (VI))	Aumento da ocorrência de doenças gastrointestinais e câncer (Cr(VI))	(Dibal <i>et al.</i> , 2025)
Saúde Humana	Contaminação de águas subterrâneas	Contaminação por metais pesados e patógenos pelo consumo da água contaminada	(Faisal <i>et al.</i> , 2025)
Biótico (Aquático e Terrestre)	Citotoxicidade e Genotoxicidade	Aumento de alterações genéticas em animais e plantas	(Admas; Kerisew, 2022)

4. Disposição final

De acordo com as resoluções CONAMA 357 e 430, o valor médio de pH da saída do sistema está de acordo com o padrão de lançamento, bem como os valores de DBO, e óleos e graxas totais (valores inferiores a 120 e 100 mg/L, respectivamente). Entretanto, o valor médio de saída de Nitrogênio Amoniacal ultrapassa o limite de 20,0 mg/L. As resoluções não impõem valores limites para os demais parâmetros.

Portanto, ressalta-se a necessidade de complementar o sistema de tratamento presente na indústria, indica-se, nesse caso, sistemas biológicos, devido à alta biodegradabilidade da matéria orgânica, constatada pelos valores baixos da relação entre DBO e DQO e pela capacidade de remoção de *E. coli*. Portanto, recomenda-se a utilização de sistemas como: Lagoas Anaeróbias, Lagoas Facultativas, sistemas baseados em Microalgas, wetlands e Ilhas Flutuantes. Deste modo, ressalta-se a importância de métodos de tratamento mais eficientes e com menores custos e demandas de tecnologia avançada, para que se tornem viáveis em países periféricos e regiões isoladas, de forma a viabilizar a atividade econômica do curtimento de couro, porém, mitigando os impactos ambientais associados ao despejo irregular e ineficiência do tratamento dos efluentes gerados.

CONCLUSÃO

Utilizando dados de amostras coletadas na entrada e saída de um sistema de tratamento de efluentes localizado em uma indústria de curtimento de couro em operação, este trabalho avaliou as diferenças significativas entre os valores de entrada e saída do sistema, a eficiência de tratamento e os potenciais impactos do lançamento de efluentes com tratamento ineficiente. As análises estatísticas demonstraram valores médios elevados de DQO, DBO, nitrato, nitrito, nitrogênio amoniacal, sólidos dissolvidos, totais e em suspensão, e cromo na entrada do sistema, resultados condizentes com as caracterizações realizadas em outros estudos de indústrias em operação. Constatou-se também um aumento na contagem de bactérias após o tratamento, demonstrando a ineficiência do sistema implantado na remoção de patógenos, e é recomendado que haja um complemento do sistema de tratamento existente, podendo ser baseado em sistemas biológicos, devido à alta capacidade de biodegradação da matéria orgânica presente. Ademais, destacam-se os impactos negativos de despejo de efluentes de curtume encontrados em estudos internacionais e, desta forma, ressalta-se a importância de pesquisas com formas de tratamento mais eficientes e mais acessíveis tanto financeira quanto tecnologicamente.

AGRADECIMENTOS - Agradecemos à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela Bolsa de Mestrado concedida a Enzo Guzzo Duz (Código de Financiamento 001, Processo 88887.178170/2025-00), à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), Brasil (Processo nº 2020/15434-0) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Brasil (Processo: 406589/2025-9).

REFERÊNCIAS

- ADMAS, T.; KERISEW, B. (2022). “*Assessment of Cytotoxicity and Genotoxicity Potential of Effluents from Bahir Dar Tannery Using Allium cepa*”. *Advances in Public Health*, v. 2022, n. 1, p. 5519304.
- ASSEGIDE, E. *et al.* (2022). “*Impacts of Surface Water Quality in the Awash River Basin, Ethiopia: A Systematic Review*”. *Frontiers in Water*, v. 3, 29 mar. 2022.
- BHARDWAJ, A.; KUMAR, S.; SINGH, D. (2023). “*Tannery effluent treatment and its environmental impact: a review of current practices and emerging technologies*”. *Water Quality Research Journal*, v. 58, n. 2, p. 128–152.
- BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. (2005) “*Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005*”. *Diário Oficial da União*, 18 mar. 2005. Disponível em: <https://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=450>. Acesso em: 13 maio. 2026
- BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. (2011). “*Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011*”. *Diário Oficial da União*, 16 maio 2011. Disponível em: <https://conama.mma.gov.br/index.php?option=com_sisconama&task=documento.download&id=26119> . Acesso em: 13 maio. 2026
- CURTIS, T. P.; MARA, D. D.; SILVA, S. A. (1992). “*Influence of pH, oxygen, and humic substances on ability of sunlight to damage fecal coliforms in waste stabilization pond water*”. *Applied and Environmental Microbiology*, 58(4), 1335–1343. Disponível em: <https://doi.org/10.1128/aem.58.4.1335-1343.1992>. Acesso em: 13 nov. 2026.
- DIBAL, I. J. *et al.* (2025). “*Integrated Risk Assessment of Tannery Effluents using Multivariate Pollution Indices and Health Metrics in Naraguta, Nigeria*”. *Scientific Reports*, v. 15, n. 1, p. 39746, 13 nov. 2025.
- ELSEVIER (2026). “*Scopus: abstract and citation database*”. Disponível em: <scopus.com>. Acesso em: 13 maio. 2026
- FAISAL, M. S. *et al.* (2025). “*Impact of Tannery Effluents on Groundwater Quality and Human Health in Kasur, Pakistan*”. *Water, Air, & Soil Pollution*, v. 236, n. 15, p. 971.

LIPPS, W. C. *et al.* (2023). *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 24th edition ed. Washington: American Public Health Association.

LUCA, G. A. Di *et al.* (2023). “Cr(III) and Cr(VI) removal in floating treatment wetlands (FTWs) using *Typha domingensis*”. *International Journal of Phytoremediation*, v. 25, n. 13, p. 1819–1829.

MONIRA, U.; MOSTAFA, M. G. (2023). “Leather industrial effluent and environmental concerns: a review”. *Sustainable Water Resources Management*, v. 9, n. 6, p. 181.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. (2015). “Objetivo 6: Assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todas e todos”. Nova York, ONU, , 2015. Disponível em: <un.org>. Acesso em: 13 maio. 2026.

R CORE TEAM (2023). “R: A Language and Environment for Statistical Computing”. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing.

SPERLING, M. V. (2005). *Introdução à Qualidade Das Águas E Ao Tratamento De Esgotos*. [S.l.]: Editora UFMG, 2005.

UTTAM, S. *et al.* (2025). “Assessing the Environmental Impact Due to the Influence of Tannery Effluent on Water Quality”. *Chemistry Africa*, v. 8, n. 10, p. 5635–5651.

WEI, T.; SIMKO, V. (2024). *corrplot: Visualization of a Correlation Matrix*. [S.l.].

WICKHAM, H. (2023). *tidyverse: Easily Install and Load the Tidyverse*. [S.l.].

WICKHAM, H. *et al.* (2025). *ggplot2: Create Elegant Data Visualisations Using the Grammar of Graphics*. [S.l.].

WICKHAM, H. (2025). *stringr: Simple, Consistent Wrappers for Common String Operations*. [S.l.: S.n.].