

SABERES AMBIENTAIS E INTERDISCIPLINARIDADE:

PANORAMA DAS PESQUISAS DO PPGMA-IFCE



ORGANIZADORAS:
MÔNICA MARIA SIQUEIRA DAMASCENO
MIRARAYA PAULA DELIMA
JOAMIRA PEREIRA DE ARAÚJO




Quipá
Editora

SABERES AMBIENTAIS E INTERDISCIPLINARIDADE:

PANORAMA DAS PESQUISAS DO PPGMA-IFCE



Mônica Maria Siqueira Damasceno
Mira Raya Paula de Lima
Joamira Pereira de Araújo
(Organizadoras)

**SABERES AMBIENTAIS E INTERDISCIPLINARIDADE:
PANORAMA DAS PESQUISAS DO PPGMA-IFCE**

1ª Edição

Quipá Editora
2026

Copyright © dos autores e autoras. Todos os direitos reservados.

Esta obra é publicada em acesso aberto. O conteúdo dos capítulos, os dados apresentados, bem como a revisão ortográfica e gramatical são de responsabilidade de seus autores, detentores de todos os Direitos Autorais, que permitem o download e o compartilhamento, com a devida atribuição de crédito, mas sem que seja possível alterar a obra, de nenhuma forma, ou utilizá-la para fins comerciais.

Conselho Editorial

Dra. Anny Kariny Feitosa, IFCE

Dr. Carlos Wagner Oliveira, UFCA

Dra. Érica PCL Machado, UFRN

Dra. Elaine Carvalho de Lima, IFTM

Dra. Fernanda Pereira Martins, IFG

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

S115 Saberes ambientais e interdisciplinaridade : panorama das pesquisas do PPGMA-IFCE / Organizado por Mônica Maria Siqueira Damasceno, Mira Raya Paula de Lima e Joamira Pereira de Araújo. — Iguatu, CE : Quipá Editora, 2026.

203 p. : il.

ISBN 978-65-5376-534-4

DOI 10.36599/qped-978-65-5376-534-4

1. Tecnologias ambientais. 2. Educação ambiental. 3. Desenvolvimento ecológico. I. Damasceno, Mônica Maria Siqueira. II. Lima, Mira Raya Paula de. III. Araújo, Joamira Pereira de. IV. Título.

CDD 363.7

Elaborada por Rosana de Vasconcelos Sousa — CRB-3/1409

Obra publicada pela Quipá Editora em março de 2026.

Quipá Editora
www.quipaeditora.com.br
@quipaeditora

PREFÁCIO

A presente obra reúne capítulos oriundos das pesquisas desenvolvidas pela primeira turma do Programa de Pós-graduação em Meio Ambiente (PPGMA) do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE)/Campus Juazeiro do Norte. O PPGMA é um programa de natureza interdisciplinar, avaliado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) na Área Interdisciplinar, cuja primeira avaliação ocorreu no quadriênio 2021–2024, período dedicado à implantação, consolidação acadêmica e estruturação de suas atividades de ensino, pesquisa e extensão.

O programa encontra-se inserido na região da Chapada do Araripe cearense, área de elevado potencial socioambiental, caracterizada por sua diversidade ecológica, relevância geocientífica e complexidade socioeconômica. Nesse contexto, a oferta de um curso de pós-graduação *stricto sensu* no interior do Estado do Ceará assume papel estratégico, contribuindo para a interiorização da formação acadêmica avançada, a descentralização da produção científica e a promoção do desenvolvimento regional sustentável.

A área de concentração do PPGMA, Tecnologias Ambientais e Desenvolvimento Sustentável, fundamenta-se na articulação entre conhecimento científico, inovação tecnológica e práticas socioeducativas, estruturando-se em duas linhas de pesquisa: Desenvolvimento de Tecnologias Ambientais e Educação Ambiental e Desenvolvimento Ecológico. Os capítulos que compõem esta coletânea refletem essas diretrizes, contemplando abordagens teóricas, metodológicas e aplicadas relacionadas às temáticas ambientais contemporâneas.

Dessa forma, este livro constitui um importante registro da produção científica inicial do PPGMA, evidenciando sua contribuição para a formação de recursos humanos qualificados e para o avanço do conhecimento interdisciplinar em meio ambiente, especialmente em contextos territoriais marcados por desafios e potencialidades socioambientais.

Antonio Júnior Alves Ribeiro
Coordenador do PPGMA/IFCE

APRESENTAÇÃO

O livro *Estudos ambientais interdisciplinares: panorama das pesquisas da primeira turma do PPGMA/IFCE* reúne produções acadêmicas desenvolvidas no âmbito do Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente (PPGMA) do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE), campus Juazeiro do Norte, e marca um momento especial: o registro das pesquisas realizadas pela **primeira turma do mestrado**.

Organizada por professoras doutoras que integram o corpo docente permanente do PPGMA, a obra expressa o compromisso do Programa com a formação crítica, a pesquisa aplicada e a produção de conhecimento comprometida com os desafios socioambientais contemporâneos, especialmente aqueles vivenciados no contexto do semiárido nordestino.

Os capítulos que compõem o livro dialogam com as duas linhas de pesquisa do Programa: **Desenvolvimento de Tecnologias Ambientais e Educação Ambiental e Desenvolvimento Ecológico**, evidenciando o caráter interdisciplinar que orienta o PPGMA. As investigações transitam por temas como gestão e tratamento de resíduos, qualidade da água, reúso de efluentes, biotecnologias ambientais, monitoramento ambiental, urbanização, desigualdades socioespaciais, educação ambiental, infância, inclusão e as múltiplas relações entre natureza, cultura e sociedade.

Ao reunir estudos que articulam ciência, tecnologia, educação e práticas socioambientais, esta coletânea revela não apenas a diversidade temática das pesquisas desenvolvidas, mas também a maturidade acadêmica dos discentes e o papel fundamental da orientação docente na consolidação do Programa. Trata-se, portanto, de um panorama das pesquisas que vêm sendo construídas no PPGMA, reafirmando sua relevância científica e social e seu compromisso com a sustentabilidade, o desenvolvimento ecológico e a responsabilidade socioambiental.

As organizadoras

SUMÁRIO

PREFÁCIO	
APRESENTAÇÃO	
CAPÍTULO 1	08
SUSTENTABILIDADE HÍDRICA – REÚSO DE EFLUENTES DOMÉSTICOS TRATADOS NA IRRIGAÇÃO AGRÍCOLA	
CAPÍTULO 2	21
MAPEAMENTO, VALIDAÇÃO DE REQUISITOS E GERÊNCIA DE PROJETOS PARA O DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA DE GESTÃO E AUDITORIA DE RESÍDUOS NOS EMPREENDIMENTOS	
CAPÍTULO 3	34
FITOTOXICIDADE DO EFLUENTE GERADO PELA LAVAGEM DE GARRAFÕES DE ÁGUA MINERAL	
CAPÍTULO 4	48
MAPEAMENTO DA ACESSIBILIDADE E DAS PRÁTICAS INCLUSIVAS EM ESPAÇOS NATURAIS DE ESCOLAS MUNICIPAIS DE JUAZEIRO DO NORTE/CE	
CAPÍTULO 5	65
ROMARIAS E MEIO AMBIENTE – UMA ANÁLISE SOBRE O CONTEXTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS EM JUAZEIRO DO NORTE/CE	
CAPÍTULO 6	76
QUALIDADE DE ÁGUA DE PONTOS DE HIDRATAÇÃO VOLTADOS PARA O TURISMO RELIGIOSO	
CAPÍTULO 7	89
POTENCIAL DO USO DO LODO DE ESGOTO COMO BIODISSÓLIDO NA CIDADE DE CRATO/CE	
CAPÍTULO 8	105
BIORREMEDIAÇÃO DE CORANTES TÊXTEIS: USO DE MICRORGANISMOS COMO SOLUÇÕES AMBIENTAIS	

CAPÍTULO 9	118
GESTÃO CONSORCIADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NO CEARÁ: DESAFIOS E PERSPECTIVAS	
CAPÍTULO 10	131
URBANIZAÇÃO, GÊNERO E DESIGUALDADES SOCIOESPACIAIS – QUE RELAÇÕES PODEMOS DESENVOLVER?	
CAPÍTULO 11	145
AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL DE UM SISTEMA IOT ACÚSTICO PARA MONITORAMENTO DE ATIVIDADES DE DESMATAMENTO	
CAPÍTULO 12	160
A PRODUÇÃO ACADÊMICA NACIONAL SOBRE O ENTRELAÇAMENTO EDUCAÇÃO FÍSICA ESCOLAR E EDUCAÇÃO AMBIENTAL	
CAPÍTULO 13	172
A CRIANÇA, A NATUREZA E A LENTE – COMO A LITERATURA RETRATA A INTERAÇÃO COM O AMBIENTE NATURAL E A FOTOGRAFIA	
CAPÍTULO 14	189
ENTRE O VERDE E O MOVIMENTO – O PAPEL DA NATUREZA NO DESENVOLVIMENTO MOTOR DE CRIANÇAS COM T21	

CAPÍTULO 1

SUSTENTABILIDADE HÍDRICA – REÚSO DE EFLUENTES DOMÉSTICOS TRATADOS NA IRRIGAÇÃO AGRÍCOLA

*Mariana Bezerra Arrais
Germário Marcos Araújo*

INTRODUÇÃO

A escassez de recursos hídricos constitui uma realidade marcante, no semiárido brasileiro, especialmente na Região Nordeste, onde a irregularidade pluviométrica e a limitação da disponibilidade de água comprometem a sustentabilidade da agricultura local (Gonçalves *et al.*, 2023). O cenário regional reflete uma problemática global: o aumento de desastres climáticos é um indicador de que as mudanças do clima vêm intensificando a vulnerabilidade socioambiental. Esses fenômenos ampliam os riscos à segurança alimentar, à saúde humana e à estabilidade econômica, sobretudo em populações expostas à degradação ambiental e à escassez hídrica recorrente (Leonel; Tonetti, 2021).

Nessas áreas onde a água torna-se um recurso restrito, a irrigação configura-se como prática indispensável para garantir a produtividade agrícola (ANA, 2021). Contudo, esse setor representa o maior consumidor de água doce em escala mundial, utilizando cerca de 70% dos recursos disponíveis (Ventura *et al.*, 2019). Tal demanda exerce forte pressão sobre mananciais naturais, agravando a crise hídrica e contribuindo para a sobrecarga de aquíferos; a redução de volumes de rios e lagos; e o aumento dos custos ambientais e econômicos associados à extração de água. Ecossistemas historicamente resilientes, como o Pantanal e a Amazônia, têm perdido a capacidade de regeneração devido ao ciclo combinado de secas severas, desmatamento e intensificação agrícola.

Diante da crescente necessidade de estratégias alternativas para suprir a demanda hídrica, o reúso de efluente doméstico tratado emerge como solução promissora tanto para o saneamento básico quanto para a agricultura irrigada. Essa prática reduz a pressão sobre fontes convencionais de água doce; evita o descarte inadequado de efluentes em corpos hídricos; e fornece nutrientes essenciais ao solo e às plantas, promovendo fertilização natural e ganhos ambientais significativos (Rolim *et al.*, 2016; ANA, 2021). Estudos demonstram que a matéria orgânica e os nutrientes encontrados em efluentes tratados podem melhorar as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, aumentando sua capacidade de retenção hídrica e contribuindo para o crescimento e desenvolvimento das culturas (Santos, 2024; Cavalcante *et al.*, 2020).

Nesse contexto, o reúso agrícola de efluentes tratados constitui uma estratégia eficaz e menos suscetível às oscilações climáticas, especialmente em regiões marcadas por elevada variabilidade

pluviométrica. Ao reduzir a dependência de água potável na irrigação e diminuir os custos de produção por meio da substituição parcial ou total de fertilizantes químicos, essa prática contribui para o fortalecimento da segurança hídrica, da sustentabilidade agrícola e da conservação ambiental. Assim, apresenta-se como estratégia fundamental para mitigar riscos associados à desertificação, à perda de produtividade e à insegurança alimentar, em um cenário marcado pela intensificação dos eventos climáticos extremos.

Após esta introdução, desenvolve-se uma revisão bibliográfica em que são discutidas as produções científicas analisadas ao longo deste estudo, seguida da apresentação dos procedimentos metodológicos e resultados obtidos. Por fim, são apresentadas as considerações finais desta pesquisa, acompanhadas das referências utilizadas.

O presente estudo teve como objetivo sistematizar, analisar e comparar os principais benefícios, riscos e as implicações práticas associados ao reúso de efluentes domésticos tratados na agricultura, com ênfase em regiões caracterizadas pela escassez hídrica, como o semiárido brasileiro. Intencionou-se compreender como essa prática pode contribuir para as sustentabilidades hídrica e produtiva, bem como identificar os desafios técnicos, ambientais e sanitários que condicionam sua adoção segura.

A metodologia empregada consistiu em uma revisão bibliográfica, estruturada a partir da seleção, leitura e análise crítica de artigos científicos, dissertações, teses, relatórios técnicos e documentos institucionais publicados nos últimos 10 anos. A busca foi realizada em bases de dados nacionais e internacionais, considerando estudos que abordam a qualidade do efluente tratado; seus efeitos no solo e nas plantas; a viabilidade agrônômica do reúso; os riscos associados; e o panorama regulatório. Essa abordagem permitiu reunir evidências consolidadas e identificar lacunas de conhecimento relevantes para orientar futuras pesquisas e práticas de manejo.

REVISÃO DE LITERATURA

O REÚSO

Em regiões áridas e semiáridas, a prática da irrigação enfrenta desafios estruturais decorrentes da limitação natural de recursos hídricos, agravada pela elevada demanda do setor agrícola. No Brasil, a agricultura é grande consumidor da água, segundo a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), com um total de 50,5% de toda a água doce extraída (ANA, 2023). A irrigação é uma prática agrícola que visa suprir a necessidade hídrica das plantas, de acordo com a ANA (2017), sendo

essencial em regiões semiáridas e como forma de atender às necessidades das culturas em períodos de escassez de água.

O reúso de efluentes domésticos tratados, ou águas residuais tratadas, configura-se, assim, como estratégia central para ampliar a disponibilidade hídrica destinada à irrigação, ao transformar um subproduto do saneamento em insumo produtivo. Além de oferecer fonte complementar de água, sua utilização se articula com os princípios contemporâneos de sustentabilidade, ao otimizar o uso dos recursos, diminuir a dependência de água potável e fortalecer a resiliência dos sistemas agrícolas sob estresse hídrico.

Outro aspecto relevante é o valor agrônômico desses efluentes, ricos em nutrientes essenciais ao crescimento vegetal, como nitrogênio, fósforo e potássio. O uso de águas residuais tratadas pode reduzir a necessidade de fertilizantes minerais, proporcionando ganhos econômicos aos produtores (Amaral; Pedreiro, 2023) e contribuindo para a melhoria das propriedades físicas e químicas do solo (Guimarães *et al.*, 2018; Rolim *et al.*, 2016). Esse potencial tem motivado diversos países localizados em regiões áridas e semiáridas a integrar o reúso em seus planos de gestão hídrica, utilizando a fertirrigação como instrumento estratégico para manter a produtividade agrícola e conservação dos recursos naturais.

A discussão sobre o reúso de efluentes domésticos tratados na irrigação insere-se em um contexto mais amplo de compromissos globais voltados à mitigação da crise climática e à gestão sustentável dos recursos hídricos. A Conferência das Partes (COP)30, sediada no Brasil, reforça a urgência de ações que promovam adaptação climática, especialmente em regiões vulneráveis, como áreas áridas e semiáridas, onde a escassez hídrica já compromete a segurança alimentar e a resiliência socioambiental (Brasil, 2024). Nesse sentido, o reúso de águas residuais tratadas dialoga diretamente com metas e acordos internacionais⁸, alinhando-se ao Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 6, em especial, à meta 6.3 da Agenda 2030, que propõe reduzir a poluição hídrica e ampliar o reúso seguro de águas residuais (GT Agenda 2030, 2015)

Além disso, essa prática está em consonância com o Acordo de Paris, que estimula estratégias de adaptação capazes de reduzir vulnerabilidades climáticas (UNFCCC, 2015), com o Marco de Sendai para Redução de Riscos de Desastres, ao contribuir para minimizar riscos decorrentes de secas prolongadas (UNDRR, 2015), e com a Nova Agenda Urbana, que incentiva a gestão eficiente de recursos e a economia circular (ONU-Habitat, 2016). Assim, o reúso agrícola de efluentes tratados não apenas atende aos compromissos internacionais de mitigação e adaptação climática, como também constitui ferramenta estratégica para fortalecer a segurança hídrica, a saúde pública e a sustentabilidade produtiva em escala global.

Potencial agrônômico e ambiental do reúso de efluentes tratados

A integração do reúso de águas residuárias à irrigação agrícola reduz a pressão sobre mananciais superficiais e subterrâneos, permitindo que a água potável seja destinada a usos prioritários, como o abastecimento humano e a dessedentação animal (Silva; Utsumi; Santos, 2023). Além disso, constitui uma fonte hídrica mais estável, aumentando a resiliência dos sistemas produtivos em relação à irregularidade pluviométrica e às oscilações climáticas.

Sob a perspectiva agrônômica, o reúso destaca-se pelo aporte de macro e micronutrientes essenciais, como nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio, que conferem ao efluente tratado potencial para substituir, parcial ou totalmente, a adubação mineral (Batista *et al.*, 2017; Meireles *et al.*, 2025; Lima *et al.*, 2019). Resultados observados em diferentes culturas comprovam essa eficiência, incluindo a substituição completa de fertilizantes em feijão (Freitas *et al.*, 2018); reduções expressivas na adubação potássica do algodão; e economia total de nitrogênio e fósforo em sistemas de cana-de-açúcar (Gonçalves *et al.*, 2019).

Conseqüentemente, registram-se ganhos produtivos significativos em culturas como milho, melancia, algodão e palma forrageira (Azevedo Junior *et al.*, 2020; Lima *et al.*, 2019; Mola *et al.*, 2024; Salgado *et al.*, 2018). Paralelamente, o reúso pode melhorar propriedades físicas e químicas do solo, elevando a matéria orgânica, a retenção hídrica e os teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} , sem promover salinização, quando manejado adequadamente (Dantas *et al.*, 2018; Gonçalo Filho *et al.*, 2020; Gonçalves *et al.*, 2020). Do ponto de vista ambiental, o direcionamento do efluente tratado para uso agrícola reduz o lançamento de cargas poluidoras em corpos d'água, e assim contribui para mitigar a eutrofização e preservar a biota aquática.

O reúso agrícola de efluentes tratados, por sua vez, configura-se como prática estratégica em regiões de escassez hídrica, contribuindo de forma simultânea para a segurança alimentar, a conservação ambiental e o aumento da eficiência produtiva.

Implicações práticas e potenciais impactos do reúso de efluentes tratados

A irrigação agrícola com água residuária tratada traz reconhecidos benefícios ambientais e produtivos, porém, envolve um conjunto de limitações que exige manejo criterioso e monitoramento contínuo. Entre os principais desafios, destacam-se aqueles associados à qualidade do solo, à saúde pública e aos aspectos operacionais de uso.

O efluente tratado, frequentemente, apresenta concentrações elevadas de sólidos dissolvidos totais, especialmente de íons – como sódio, magnésio, potássio, cálcio e cloreto –, que podem provocar aumento da salinidade e alterar o potencial osmótico do solo (Muscarella *et al.*, 2024). Além do risco

de salinização, a elevada concentração de sódio pode induzir sodicidade e degradação estrutural do solo, com dispersão de argilas, redução da condutividade hidráulica e diminuição da permeabilidade (Oliveira *et al.*, 2016). Essas alterações comprometem a aeração do solo e o desenvolvimento radicular, resultando em limitações agronômicas importantes.

Os riscos sanitários constituem outro conjunto relevante de desafios. Mesmo após o tratamento, a água residuária pode conter microrganismos patogênicos, além de contaminantes emergentes – como fármacos, produtos de higiene e microplásticos –, que apresentam potencial de bioacumulação e efeitos tóxicos ainda pouco compreendidos (Yalin *et al.*, 2023).

Em termos operacionais, a irrigação com efluentes pode provocar entupimentos em sistemas de irrigação por gotejamento, devido ao alto teor de sólidos suspensos, matéria orgânica e precipitados minerais, demandando manutenções frequentes e tratamento complementar da água (Mendonça *et al.*, 2020; Silva *et al.*, 2015).

Por fim, a inexistência de regulamentação nacional consolidada para o reúso agrícola, no Brasil, limita a padronização de parâmetros de qualidade, o monitoramento e a gestão de riscos, ao contrário do que ocorre em países que já dispõem de normas específicas e protocolos obrigatórios. Assim, embora a irrigação com efluentes tratados represente uma alternativa promissora para a sustentabilidade hídrica e a eficiência agrícola, sua aplicação segura depende de controles técnicos rigorosos, avaliação de riscos, manejo adequado do solo e da água e políticas públicas que orientem sua implementação de forma responsável.

REGULAÇÃO NACIONAL DO REÚSO DE ÁGUA: LIMITES, DESAFIOS E PERSPECTIVAS

A aplicação agrícola de águas residuárias requer tratamento prévio adequado, de modo a assegurar a segurança alimentar, proteção ambiental e estabilidade do sistema solo-planta. A utilização de efluentes sem controle rigoroso pode resultar em salinização, acúmulo de metais pesados e surgimento de microrganismos patogênicos, exigindo monitoramento sistemático da qualidade da água e do solo para garantir eficiência e segurança operacional.

No Brasil, o arcabouço regulatório permanece fragmentado. O Marco Legal do Saneamento – Lei n. 14.026/2020 e as Resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama) n. 430/2011 e n. 357/2005 – tratam do lançamento de efluentes, mas não estabelecem parâmetros específicos para o reúso agrícola (Conama, 2011). A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), na NBR n. 12.209, aborda aspectos de tratamento, porém não define critérios de qualidade para diferentes modalidades de reúso. Iniciativas estaduais, como a Resolução do Conselho Estadual do Meio

Ambiente (Coema) n. 02/2017 (Ceará), configuram esforços isolados e insuficientes para compor uma diretriz nacional abrangente (Ceará, 2017).

Em contraste, países e blocos internacionais possuem regulamentações consolidadas. A União Europeia (UE) adota o Regulamento 2020/741, que estabelece requisitos mínimos de qualidade e planos obrigatórios de gestão de riscos para o reúso agrícola (Tratamento de Água, 2023). Nos Estados Unidos da América (EUA), estados como a Califórnia aplicam a Title 22, referência global por suas exigências detalhadas de monitoramento e qualidade da água (California Code of Regulations, 2015). Internacionalmente, a abordagem sanitária fundamenta-se em avaliações formais de risco, seguindo diretrizes da Organização Mundial da Saúde (OMS).

Enquanto o cenário internacional exhibe maturidade regulatória, com parâmetros robustos de qualidade, avaliação contínua de riscos e monitoramento obrigatório, o Brasil ainda carece de política específica e integrada para o reúso agrícola. Apesar disso, quando realizado em conformidade com boas práticas e padrões técnicos, o reúso de efluentes constitui estratégia relevante para a conservação hídrica, eficiência agrônômica e sustentabilidade ambiental.

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este estudo foi desenvolvido a partir do método de revisão bibliográfica sistemática, com foco na modalidade de revisão integrativa. Para Botelho *et al.* (2011), esse método permite a organização, síntese e discussão crítica de determinado tema de pesquisa, extrapolando a simples sumarização de textos ao integrar diferentes tipos de estudos e evidências disponíveis na literatura.

Dessa forma, objetivou-se analisar o estado da arte relativo ao reúso de efluentes domésticos tratados na agricultura, a fim de responder à pergunta central que norteou esta investigação: diante do cenário de crescente escassez hídrica, em que a irrigação agrícola representa a maior parcela do consumo global de água doce, em que medida a implementação de sistemas de reúso de água (efluentes tratados) constitui uma alternativa técnica, econômica e ambientalmente sustentável para assegurar a irrigação sem comprometer o abastecimento humano?

A estratégia de busca compreendeu as bases Scopus e Web of Science, selecionadas por suas amplas coberturas de periódicos internacionais e pelo rigor na indexação científica. Foram empregados os termos *irrigation*, *treated domestic sewage*, *treated wastewater* e *wastewater reuse*, todos no idioma inglês, pois, conforme indicação de Silva *et al.* (2024), as bases científicas internacionais utilizam predominantemente critérios de indexação anglo-saxões, o que garante maior amplitude e precisão na recuperação de estudos relevantes.

Além das bases indexadas, também foram consultados documentos institucionais, diretrizes técnicas e relatórios de organismos nacionais e internacionais, incluindo publicações da ANA; do Ministério do Meio Ambiente (MMA); do Instituto Reúso de Água; da OMS; da Organização das Nações Unidas (ONU), (Agenda 2030, ODS 3 e ODS 6); do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), bem como marcos globais relacionados ao tema, como o Acordo de Paris, a Nova Agenda Urbana (ONU-*Habitat*) e o Marco de Sendai para Redução de Riscos de Desastres. Também foram analisadas regulamentações internacionais específicas de reúso.

Para a seleção do material destinado ao estudo, foram definidos critérios de inclusão e exclusão que garantiram a pertinência temática e a atualidade das evidências utilizadas. Foram incluídas publicações dos últimos 10 anos, de livre acesso nas plataformas consultadas, que abordassem diretamente o reúso de efluentes tratados na agricultura, seus impactos no solo e nas culturas, bem como os aspectos de qualidade da água, riscos sanitários e manejo agrônômico. Também foram considerados estudos experimentais; estudos de caso; relatórios técnicos; diretrizes normativas; e documentos oficiais relevantes sobre o tema, assegurando a construção de um *corpus* bibliográfico abrangente e coerente com os objetivos da pesquisa.

Foram excluídos estudos anteriores ao recorte temporal definido; materiais sem acesso integral; publicações que tratassem do reúso de água em contextos não agrícolas; documentos focados exclusivamente no tratamento de esgoto, sem discutir sua aplicação na irrigação; e conteúdo sem fundamentação científica, como opiniões, textos não revisados por pares e materiais de mídias informais. A aplicação desses critérios resultou em uma base teórica sólida, atual e confiável, que ofereceu suporte consistente para as análises desenvolvidas ao longo deste trabalho.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os estudos analisados evidenciam que a irrigação com efluentes domésticos tratados apresenta efeitos expressivos sobre o crescimento vegetal, a produtividade das culturas, a fertilidade do solo e a dinâmica das comunidades microbianas, configurando-se como alternativa relevante para regiões sujeitas à escassez hídrica. De modo geral, os resultados indicam que o efluente tratado atua simultaneamente como fontes hídrica e nutricional, embora sua aplicação contínua exija avaliação sistemática dos impactos físico-químicos e biológicos. No âmbito agrônômico, verificou-se que a utilização do efluente promoveu incremento significativo na biomassa e produtividade em culturas.

As plantas de tomate obtiveram melhor resultado, em comparação com água de torneira (Muscarella *et al.*, 2024); a irrigação com efluente tratado aumentou significativamente a biomassa vegetal em milho e lavanda (Mola *et al.*, 2024); a complementação da irrigação com efluente tratado

proporcionou o crescimento e a produção satisfatória da palma forrageira (Azevedo Junior *et al.*, 2020); a cana-de-açúcar apresentou maior produtividade em ciclos de rebrota em comparação ao tratamento não irrigado (Gonçalves *et al.*, 2019).

A concentração com 80% de efluente na irrigação do eucalipto melhorou o acúmulo de nitrogênio em folhas e caules (Silva *et al.*, 2015); na melancia, foram obtidos frutos com tamanho e peso superiores às médias nacionais e estaduais (Salgado *et al.*, 2018); e o girassol ornamental, irrigado com a concentração 100% de efluente, obteve resultados semelhantes aos das plantas com rega convencional (Gonçalves *et al.*, 2020).

Contudo, alguns cultivos apresentaram respostas dependentes da concentração do efluente, como foi o caso da pimenta amarela, na qual as concentrações elevadas reduziram a produtividade (Fonseca *et al.*, 2019). Nenhuma concentração de esgoto doméstico obteve contribuição significativa nas variáveis analisadas da produção de pimenta biquinho (Gomes Filho *et al.*, 2021)

Do ponto de vista nutricional, o efluente tratado contribuiu para a elevação dos teores de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio, nas plantas, demonstrando potencial para substituir parcial, ou totalmente, os fertilizantes minerais, em culturas como algodão e cana-de-açúcar (Gonçalves *et al.*, 2019; Lima *et al.*, 2019). Além disso, as qualidades físico-química e microbiológica de frutos irrigados com efluente tratado, como o mamão e a pimenta-dedo-de-moça, mantiveram-se dentro dos padrões estabelecidos, sem patógenos indicativos, especialmente quando empregada a irrigação localizada, que reduz o contato entre efluente e parte comestível do produto (Batista *et al.*, 2017; Oliveira *et al.*, 2019).

Em relação ao solo, observou-se aumento da fertilidade, pois o efluente contribuiu para o aporte de nutrientes com incremento de carbono orgânico; nitrogênio mineral; e cátions trocáveis, a exemplo de cálcio e magnésio. Em alguns estudos, ocorreu a mitigação da acidez, com aumento do pH e redução do alumínio trocável em planossolo (Meireles *et al.*, 2025). Entretanto, os efeitos adversos potenciais também foram identificados, especialmente relacionados à salinidade e sodicidade. No cultivo da cana-de-açúcar, o uso contínuo da água residuária elevou as concentrações de sódio (Gonçalves *et al.*, 2019) e a condutividade elétrica do solo no cultivo de girassol (Dantas *et al.*, 2018), ainda que, na maioria dos casos, sem ultrapassar limites críticos para classificação como solo salino ou sódico. A distribuição dos nutrientes no perfil revelou maior acúmulo na camada superficial, o que está associado ao tipo de irrigação e ao sistema radicular predominante nas culturas avaliadas.

No que se refere aos aspectos microbiológicos do solo, a irrigação com efluente tratado alterou a composição e a atividade da microbiota, promovendo o aumento de grupos associados à ciclagem de nutrientes como *Proteobacteria* e *Actinobacteria*, (Mola *et al.*, 2024), microrganismos importantes para a degradação de proteínas e fixação de nitrogênio e fósforo, e intensificar a respiração microbiana.

Tais alterações sugerem estímulo à atividade biológica, embora mudanças prolongadas na estrutura da comunidade possam demandar monitoramento para evitar possíveis desequilíbrios ecológicos.

De forma integrada, os resultados demonstram que o reúso agrícola de efluentes tratados apresenta elevado potencial para incrementar a produtividade e melhorar atributos químicos e biológicos do solo, ao mesmo tempo em que se configura como estratégia eficiente de conservação hídrica. Entretanto, sua adoção segura requer manejo criterioso, considerando-se os riscos de salinização, acúmulo de elementos específicos e eventuais limitações microbiológicas.

Assim, práticas de monitoramento contínuo da qualidade da água, do solo e da planta, bem como a adequação das lâminas de irrigação e a análise da composição do efluente, tornam-se fundamentais para garantir que os benefícios superem os riscos e que o reúso seja implementado de formas técnica e sustentável, conforme recomendações das normas brasileiras vigentes e de diretrizes internacionais.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A revisão de literatura permitiu sistematizar um conjunto de evidências científicas que reafirmam o potencial do reúso de efluentes domésticos tratados como estratégia eficaz para ampliar a disponibilidade hídrica, elevar a produtividade agrícola e promover o uso mais eficiente de recursos naturais. De forma consistente, os estudos analisados demonstram que o efluente tratado atua simultaneamente como fontes hídrica e nutricional, proporcionando melhorias nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, além de favorecer o desempenho de diversas culturas agrícolas. Entretanto, os riscos associados, incluindo salinização, acúmulo de sódio, surgimento de contaminantes emergentes e desafios microbiológicos, reforçam a necessidade de monitoramento contínuo, manejo adequado e adoção de tecnologias apropriadas.

No cenário internacional, observa-se evidente maturidade regulatória, com normas consolidadas baseadas em avaliação de riscos e padrões claros de qualidade da água. Em contraste, o Brasil ainda carece de uma diretriz nacional unificada que contemple o reúso agrícola de forma abrangente, o que limita a expansão segura dessa prática. Mesmo assim, as experiências mostram que, quando executado sob critérios técnicos, o reúso agrícola pode contribuir de maneira decisiva para a segurança hídrica, a sustentabilidade produtiva e a mitigação dos impactos decorrentes da variabilidade climática, dialogando diretamente com compromissos globais.

Desse modo, conclui-se que o reúso de efluentes domésticos tratados representa uma alternativa promissora e necessária para regiões sujeitas à escassez hídrica, desde que acompanhado de planejamento adequado, capacitação técnica e arcabouço normativo consistente. As evidências

apontam para a importância de políticas públicas integradas, investimentos em infraestrutura e ampliação das pesquisas sobre riscos emergentes, de modo a assegurar que os benefícios agronômicos e ambientais superem os potenciais impactos adversos.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (Brasil). **Atlas irrigação: uso da água na agricultura irrigada**. Brasília, DF: Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (Brasil). **Atlas irrigação: uso da água na agricultura irrigada**. 2. ed. Brasília, DF: Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico(ANA), 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (Brasil). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: informe anual 2023**. Brasília, DF: Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), 2024. Disponível em: https://biblioteca.ana.gov.br/sophia_web/acervo/detalhe/101813. Acesso em: 10 nov. 2025.

AMARAL, Sergio da Silva; PEDREIRO, Marcelo Rodrigues de Matos. Rede coletora de esgoto sustentável: reúso dos efluentes tratados. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**. São Paulo, v. 9, n.10, out. 2023. DOI: <https://doi.org/10.51891/rease.v9i10.11682>

AZEVEDO JUNIOR, Manoel Simões de *et al.* Growth and Biomass Production of Prickly Pear in the Second Cycle Irrigated with Treated Domestic Sewage. **Bioscience Journal**, v. 36, n. 1, p. 51– 60, 1º jan. 2020.

BATISTA, Adriana Alves *et al.* Quality in Papaya Fruit Produced with Treated Domestic Sewage. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 1, 2017. DOI: <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20170008>

BOTELHO, Louise Lira Roedel; CUNHA, Cristiano Castro de Almeida; MACEDO, Marcelo. O método da revisão integrativa nos estudos organizacionais. **Gestão e Sociedade**, v. 5, n. 11, p. 121– 136, 2011.

CALIFORNIA CODE OF REGULATIONS. **Title 22**, 2015. Disponível em: California Code of Regulations. Acesso em: 15 out. 2055.

CAVALCANTE, Kellison Lima *et al.* Análise físico-químico da qualidade de efluentes para fins de reúso na irrigação no município de Iguatu/CE. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 10, p. 81778 – 81794, 2020.

CEARÁ (Estado). Resolução Coema n. 02, de 2 de fevereiro de 2017. Dispõe sobre padrões e condições para lançamento de efluentes líquidos gerados por fontes poluidoras. **Diário Oficial do Estado**, Fortaleza, 21 fev. 2017. Disponível em: <https://www.semace.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/46/2019/09/COEMA-02-2017.pdf>. Acesso em: 4 nov. 2025.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução Conama n. 430, de 13 de maio de 2011**. Dispõe sobre as condições e os padrões de lançamento de efluentes; complementa e altera a Resolução n. 357, de 17 de março de 2005, do Conama. Disponível em:

https://www.suape.pe.gov.br/images/publicacoes/CONAMA_n.430.2011.pdf. Acesso em: 4 nov. 2025.

DANTAS, Daniel da Costa *et al.* Cultivation of Sunflower Irrigated with Domestic Sewage Treated in Quartzarenic Neosol. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias/ Brazilian Journal of Agricultural Sciences**, v. 13, n. 2, p. 1– 6, 2018.

FREITAS, Cley Anderson Silva de *et al.* Use Of Treated Sewage as Water and a Nutritional Source For Bean Crops. **Revista Caatinga**, v. 31, n. 2, p. 487– 494, 2018.

GOMES FILHO, Raimundo Rodrigues *et al.* Reuse of Treated Domestic Sewage for Biquinho Pepper Cultivation. **Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias UNCuyo**, v. 53, n. 1, p. 176 –181, 7 jul. 2021.

GONÇALO FILHO, Francisco *et al.* Nutrient Support via Fertigation with Domestic Effluent and Growth of cotton. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 41, n. 4, p. 1.135, 13 maio 2020.

GONÇALVES, Ivo Zution *et al.* Nutritional Balance and Production of Sugarcane Irrigated with Treated Wastewater Through Subsurface Drip. **Irrigation Science**, v. 37, n. 2, p. 207 – 217, 2019.

GONÇALVES, Karoline Santos *et al.* Growth and Production of Ornamental Sunflower Irrigated with Dilutions of Treated Domestic Sewage. **Bioscience Journal**, v. 36, n. 5, p. 1535 –1543, 2020.

GONÇALVES, Suellen Teixeira Nobre *et al.* Evaluation of Drought Indexes in the Hydrological Monitoring of Strategic Reservoirs in Ceará, Brazil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 38, e38230018, 2023. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0102-77863810018>

GRUPO DE TRABALHO DA SOCIEDADE CIVIL. **Agenda 2030**. Objetivo 6 – Assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todas e todos. Disponível em: <https://gtagenda2030.org.br/ods/ods6/>. Acesso em: 12 out. 2025.

GUIMARÃES, T. R. F. C. S.; COSTA, J. P. N.; MEDEIROS, J. F. Uso de água de esgoto doméstico tratado na produção de sorgo soca. **Water Resources and Irrigation Management**, v.7, n.1, p.17, 2018.

LEONEL, Lays; TONETTI, Adriano Luiz. Wastewater Reuse for Crop Irrigation: Crop Yield, Soil and Human Health Implications Based on Giardiasis Epidemiology. **Science of the Total Environment Elsevier**, v. 775, n. 9, 145883, 2021. DOI:10.1016/j.scitotenv.2021.145833

LIMA, Breno Leonan de Carvalho *et al.* Agronomic Performance of Colored Cotton Influenced by Irrigation with Treated Domestic Sewage and Potassium Fertilization in Semi-Arid Region of Brazil. **Dyna**, v. 86, n. 210, p. 74 – 80, 2019.

MEIRELES, Denisvaldo A. de *et al.* Treated Wastewater Irrigation Enhances Plant Biomass, Soil Fertility, and Rhizosphere Microbial Activity in C4 and CAM Species Grown on a Degraded Planosol. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 197, n. 7, p. 804, 2025.

MENDONÇA, Rafael Barcelos *et al.* Lawn Irrigation with Domestic Wastewater by Subsurface Drip or Sprinkling. **Ornamental Horticulture**, v. 26, n. 3, p. 486 – 498, 2020.

MOLA, Magkdi *et al.* Short-Term Effect of Reclaimed Water Irrigation on Soil Health, Plant Growth and the Composition of Soil Microbial Communities. **Science of The Total Environment**, v. 949, 175107, 2024. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2024.175107.

MUSCARELLA, Sofia Maria *et al.* Water Reuse of Treated Domestic Wastewater in Agriculture: Effects on Tomato Plants, Soil Nutrient Availability and Microbial Community Structure. **Science of the Total Environment**, v. 928, p. 172259, 2024.

OLIVEIRA, Henrique Fonseca E. de *et al.* Production of Pepper Under Different Concentrations of Treated Sewage Effluent. **Chemical Engineering Transactions**, v. 75, p. 205 – 210, 2019.

OLIVEIRA, Pedro Carlos Pacheco de *et al.* Soil Chemistry after Irrigation with Treated Wastewater in Semiarid Climate. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 40, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/18069657rbc20140664>.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. ONU-HABITAT. **Nova agenda urbana**. Quito: Conferência das Nações Unidas sobre Habitação e Desenvolvimento Urbano Sustentável – Habitat III, 2016. Disponível em: <https://habitat3.org/wp-content/uploads/NUA-Portuguese-Brazil.pdf>. Acesso em: 12 out. 2025.

REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL. Presidência da República. **COP30 no Brasil – Rumo à COP30**. Disponível em: <https://www.gov.br/planalto/pt-br/agenda-internacional/missoes-internacionais/cop28/cop-30-no-brasil>. Acesso em: 10 out. 2025.

ROLIM, Hosineide de Oliveira *et al.* Qualidade dos efluentes de sistemas de tratamento biológico UASB e UCT para reúso agrícola. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 9, n. 2, p. 393 – 914, 2016.

SALGADO, Vinícius Couto *et al.* Cultivo de melancia no semiárido irrigado com diferentes lâminas de esgoto doméstico tratado. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 23, n. 4, p. 727 – 738, 2018.

SANTOS, Ounísia Delgado *et al.* Wastewater as a Nutrient Source for Hydroponic Production of Lettuce: Summer and Winter Growth. **Agricultural Water Management**, v. 301, n. 481, 108966, 2024. DOI:10.1016/j.agwat.2024.108966

SILVA, Jéssika Santos; UTSUMI, Alex Garcez; SANTOS, Carla Eloísa Diniz dos. Potencial de utilização de água de reúso em polo nacional de agricultura irrigada. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 16, n. 3, p. 1175 – 1185, 2023.

SILVA, Letícia da Costa e *et al.* **Systematic Literature Reviews in Socio-Environmental Studies: Proposal for the Integrative Review Method**, v. 63, p. 295 –314, 2024. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/dma.v63i0.87363>

SILVA, Robson José *et al.* Cultivo de mudas de eucalipto irrigadas com esgoto doméstico tratado. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 20, n. 2, p. 323 – 330, 2015.

TRATAMENTO DE ÁGUA. COMISSÃO EUROPEIA. **Regulamento europeu e orientações para o reúso da água**. São Paulo, 23 jan. 2023. Disponível em: <https://tratamentodeagua.com.br/artigo/regulamento-europeu-reuso-agua/>. Acesso em: 10 nov. 2025

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE (UNFCCC). **The Paris Agreement**. Disponível em: <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement>. Acesso em: 12 out. 2025.

UNITED NATIONS OFFICE FOR DISASTER RISK REDUCTION (UNDRR). **What is the Sendai Framework for Disaster Risk Reduction?** Disponível em: <https://www.undrr.org/implementing-sendai-framework/what-sendai-framework>. Acesso em: 12 out. 2025.

VENTURA, Delia *et al.* How to Overcome Barriers for Wastewater Agricultural Reuse in Sicily (Italy)?. **Water**. v. 11, n. 2, p. 1 – 12, 2019.

YALIN, David *et al.* Mitigating Risks and Maximizing Sustainability of Treated Wastewater Reuse for Irrigation. **Water Research X**, v. 21, p. 100203, 2023.

SOBRE OS AUTORES DO CAPÍTULO

Nome: Mariana Bezerra Arrais

Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE)

Minicurrículo: Licenciada em Ciências Biológicas. Mestranda em Meio Ambiente pelo IFCE. Atua em pesquisas sobre reúso de efluente doméstico tratado na irrigação agrícola.

E-mail: mariana.arrais05@aluno.ifce.edu.br

Nome: Germário Marcos Araújo

Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE)

Min currículo: Professor Dr. em Engenharia Civil, área de concentração: Saneamento Ambiental. Professor titular do IFCE, *Campus* Juazeiro do Norte/CE. Atua em diversas áreas da Engenharia Sanitária e Ambiental, principalmente no tratamento e pós-tratamento de esgotos e reúso de água.

E-mail: germario@ifce.edu.br

CAPÍTULO 2

MAPEAMENTO, VALIDAÇÃO DE REQUISITOS E GERÊNCIA DE PROJETOS PARA O DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA DE GESTÃO E AUDITORIA DE RESÍDUOS NOS EMPREENDIMENTOS

Andréia Matos Brito

Janisi Sales Aragão

Marco André Santos Machado

Willy Brandt Francisco Ramalho Medeiros Costa

INTRODUÇÃO

O modelo de desenvolvimento econômico contemporâneo, marcado pelo consumo intensivo e descarte linear, impõe crescentes impactos socioambientais às cidades brasileiras, especialmente no que tange à geração, ao tratamento e à disposição inadequada de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU). Esses impactos não só afetam a saúde pública e o meio ambiente, como também agravam a precarização de um segmento socialmente vulnerável: os catadores de materiais recicláveis (Saueressig; Sellitto; Kadel Jr, 2021). Essa tendência de aumento exponencial na produção de RSU intensifica a pressão sobre os sistemas de gestão, que, muitas vezes, não conseguem acompanhar a crescente demanda por soluções eficientes e ambientalmente sustentáveis.

No entanto, a infraestrutura inadequada, a falta de conscientização ambiental e o investimento insuficiente somam-se como os principais problemas que afetam a gestão adequada dos resíduos sólidos. Muitas pessoas ainda têm o hábito de descartar os resíduos de forma incorreta, o que agrava os impactos negativos no meio ambiente.

Segundo a Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente (Abrema, 2024), a maior parte dos resíduos gerados no país, ou seja, 61%, acaba em aterros sanitários, muitos dos quais não estão em conformidade com as regulamentações ambientais. A reciclagem e a compostagem ainda são práticas pouco comuns, apesar dos benefícios ambientais e econômicos que oferecem.

Com relação aos resíduos gerados, coletados e reciclados, no Brasil, a Abrema (2024, p. 26-27 e 24-35) conta:

Em 2023, de acordo com o *Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2024* da Abrema, foi alcançado um total de aproximadamente 80,96 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos gerados no país, o que corresponde a cerca de 222 mil toneladas diárias. Com isso, cada brasileiro produziu, em média, 382kg de resíduos ao longo do ano. No Brasil, a maior parte dos resíduos coletados (58,5%) continua sendo encaminhada para aterros sanitários, totalizando cerca de 46,4 milhões de toneladas destinadas de forma ambientalmente adequada. Por outro lado, áreas de disposição inadequada,

como lixões e aterros controlados, ainda seguem em operação em diversas regiões do país e receberam aproximadamente 41,5% do total de resíduos coletados, o que equivale a cerca de 28,7 milhões de toneladas com destinação inadequada.

No Brasil, foi implementada, em 2010, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), com as diretrizes e metas para a gestão dos resíduos sólidos, incluindo a responsabilidade compartilhada entre os diferentes atores envolvidos, como empresas, governo e sociedade civil.

Apesar dos desafios, há iniciativas positivas em andamento no Brasil. Algumas cidades estão adotando práticas avançadas de gestão de resíduos, como a coleta seletiva, a implantação de usinas de reciclagem e a criação de programas de educação ambiental. Além disso, a sociedade civil, as empresas e Organizações não Governamentais (ONGs) estão cada vez mais engajadas na promoção de práticas sustentáveis de gestão de resíduos.

Há empresas do segmento ambiental que possuem soluções de *software* – VG Resíduos, Elo Verde e Net Resíduos – para otimizar as etapas de disposição, transporte, armazenamento e destinação ambientalmente adequada, parecidas com o que é proposto pela empresa Gestão Inteligente de Resíduos (GIR), com muitos anos de atuação no mercado e alguns diferenciais competitivos, que lhe dão um destaque a mais no mercado. O trabalho com o terceiro setor, a parceria com a academia, principalmente as de âmbitos públicos federal e estadual, o atendimento do pequeno ao grande gerador, e muitas outras parcerias estratégicas, a tornam uma *startup* que tende a crescer cada vez mais.

REVISÃO DE LITERATURA

Seguem, apontados, conceitos encontrados na literatura sobre o desenvolvimento de sistema de gestão e auditoria de resíduos nos empreendimentos.

ENGENHARIA DE *SOFTWARE*

Dentro da temática de mapeamento, levantamento de requisitos e gerência de projetos, executada pela empresa GIR e seus colaboradores, faz-se necessário aplicar conceitos da Engenharia de *Software*.

O mundo moderno não poderia existir sem o *software*. Infraestruturas e serviços nacionais são controlados por sistemas computacionais, e a maioria dos produtos elétricos inclui um computador e um *software* que o controla. A manufatura e a distribuição industriais são totalmente informatizadas, assim como o sistema financeiro. A área de entretenimento, incluindo a indústria da

música, jogos de computador, cinema e televisão, faz uso intensivo de *software*. Portanto, a engenharia de *software* é essencial para o funcionamento de sociedades nacionais e internacionais. Os sistemas de *software* são abstratos e intangíveis. Eles não são restringidos pelas propriedades dos materiais, nem governados pelas leis da física ou pelos processos de manufatura. Isso simplifica a engenharia de *software*, porque não há limites naturais para o potencial do *software*. No entanto, devido a essa falta de restrições físicas, os sistemas de *software* podem se tornar extremamente complexos de modo muito rápido, difíceis de entender e caros para alterar. Existem vários tipos de sistemas de *software*, desde os simples sistemas embutidos até os sistemas de informações complexos, de alcance mundial. Não faz sentido procurar notações, métodos ou técnicas universais para a engenharia de *software*, porque diferentes tipos de *software* exigem abordagens diferentes. Desenvolver um sistema de informações corporativo é totalmente diferente de desenvolver um controlador para um instrumento científico. Nenhum desses sistemas tem muito em comum com um jogo computacional com gráficos intensos. Todas essas aplicações precisam de engenharia de *software*, embora não necessitem das mesmas técnicas. Ainda existem muitos relatos e projetos de *software* que deram errado e resultaram em ‘falhas de *software*’. A engenharia de *software* é criticada por ser inadequada para o desenvolvimento moderno de *software* (Sommerville, 2011, p.11).

ENGENHARIA DE REQUISITOS DE *SOFTWARE*

A engenharia de requisitos é uma das etapas mais importantes no desenvolvimento de *software*, por exigir que a equipe defina tudo o que o sistema precisa fazer e em quais situações. Se os requisitos funcionais ou os não funcionais não estiverem bem definidos, o projeto já não começa bem. Com os sistemas ficando cada vez mais complexos, distribuídos e colaborativos, a engenharia de requisitos está sempre mudando, encontrando novos desafios e ajustando métodos (Bambazek; Groher; Seyff, 2023). Conforme observa Sommerville (2011, p. 83-87), falhas no levantamento e especificação de requisitos figuram entre as principais causas de insucesso em projetos de *software*, resultando em retrabalho, atrasos e aumento de custos.

O processo envolve atividades variadas, uma puxando a outra, divididas em algumas etapas, tal como a elicitación, análise, especificação, documentação, validação e o gerenciamento dos requisitos. Todas essas etapas são essenciais para garantir que o produto final realmente resolva o problema dos usuários e esteja alinhado com o que a organização almeja. Hoje em dia, a automação e as tecnologias – como a Inteligência Artificial (IA) e o processamento de linguagem natural –, possuem um papel cada vez maior, nesse campo, voltado a melhorar as atividades envolvidas (Cruz; Cruz, 2025; Pujiharto *et al.*, 2024).

Um levantamento feito por Mucha, Kaufmann e Riehle (2024) mostrou que as soluções automatizadas estão mais inseridas nas fases de análise e validação, principalmente para cortar custos

e evitar erros humanos. Outros estudos apontam que ainda falta levar essas abordagens sustentáveis para o dia a dia das empresas (Bambazek; Groher; Seyff, 2023).

PROCESSOS DE DESENVOLVIMENTO

Há vários métodos e processos para o desenvolvimento de um bom *software*, tais como: Rational Unified Process (RUP); Métodos Ágeis; Desenvolvimento Ágil e Dirigido a Planos; Desenvolvimento em Cascata; Extreme Programming (XP); dentre outros. Para fins de implementação na GIR, foram utilizados o Desenvolvimento Ágil e o Scrum.

Desenvolvimento ágil

Sommerville (2011) descreve o Desenvolvimento Ágil como uma abordagem de gerenciamento e desenvolvimento de projetos de *software* baseada em princípios colaborativos, flexíveis e iterativos. Diferente dos métodos tradicionais, o Desenvolvimento Ágil enfatiza a entrega de valor ao cliente de forma incremental, com foco na adaptação contínua aos requisitos em constante evolução.

Os valores do Desenvolvimento Ágil de *software*, conforme descrito no Manifesto Ágil (2001), elaborado por um grupo de profissionais de desenvolvimento de *software*, são fundamentais para orientar os princípios e as práticas ágeis (Maxim; Pressman, 2016).

Maxim e Pressman (2016, p. 76-77) apontam que o Manifesto Ágil gira em torno de quatro valores principais que mudaram a forma como é desenvolvido o *software* hoje. O Manifesto Ágil coloca as pessoas e suas iterações acima de processos e ferramentas; dá mais peso para o *software* funcionando do que para uma documentação imensa; prefere trabalhar com o cliente o tempo todo, em vez de seguir o contrato à risca. E, por fim, valoriza a capacidade de mudar de direção com rapidez, deixando de lado o apego a um plano fixo. Na prática, tudo isso aparece nos ciclos curtos e repetidos de trabalho, no papo constante entre a equipe e quem está interessado em priorizar, no projeto, o que realmente entrega valor e, claro, no uso de integração e testes o tempo inteiro para cortar riscos e trazer *feedback* rapidamente. A análise comparativa entre metodologias ágeis e os métodos tradicionais consta na Figura 1.

Figura 1 – Comparativo entre métodos ágeis e tradicionais

	TRADICIONAL	METODOLOGIAS ÁGEIS
Pressupostos fundamentais	Sistemas totalmente especificados, previsíveis, desenvolvidos a partir de um planejamento extensivo e meticuloso.	Software adaptativa e de alta qualidade; pode ser desenvolvido por equipes pequenas utilizando os princípios da melhoria contínua do projeto e testes orientados a rápida resposta a mudanças.
Controle	Orientado a processos	Orientado a pessoas
Estilo de gerenciamento	Comandar e Controlar	Liderar e Colaborar
Gestão do conhecimento	Explícito	Tácito
Atribuição de papéis	Individual - favorece a especialização	Times auto-organizáveis - favorece a troca de papéis
Comunicação	Formal	Informal
Ciclo de projeto	Guiado por tarefas ou atividades	Guiado por funcionalidades do produto
Modelo de desenvolvimento	Modelo de ciclo de vida (Cascata, Espiral, ou alguma variação)	Modelo iterativo e incremental de entregas
Forma / Estrutura organizacional desejada	Mecânica (burocrática com muita formalização)	Orgânica (Flexível e com incentivos a participação e cooperação social)

Fonte: PRIKLADNICKI, Rafael; WILLI, Renato; MILANI, Fabiano. **Métodos ágeis para desenvolvimento de *software***. Porto Alegre: Bookman, 2014.

Scrum

Dentro da Metodologia Ágil, utilizaremos o Scrum que, conforme Sutherland (2014), foi criado para ser uma forma mais rápida, eficaz e confiável de criar *softwares* para o setor de tecnologia. Ainda conforme Sutherland (2014, p. 28 – 29):

[...] a gerência quer duas coisas: controle e previsibilidade. O resultado disso é uma quantidade imensa de relatórios, gráficos e diagramas. Gastam-se meses no planejamento de todos os detalhes para que nenhum erro ocorra, o orçamento não estoure e tudo seja entregue no prazo. O problema é que esse cenário cor-de-rosa nunca se torna realidade. Todo o esforço investido no planejamento, na restrição de mudanças e na previsão do imponderável não serve para absolutamente nada. O Scrum questiona por que tanto tempo e esforço são gastos na realização de uma tarefa, e por que somos tão ruins para prever o tempo e o esforço que as atividades vão exigir.

Para que o Scrum seja posto em prática e permita colher os resultados esperados conforme a abordagem, é necessário que o Team Scrum, que é a equipe de desenvolvimento, tenha suas atividades e seus papéis bem claros no projeto. Dentro do Scrum, são definidos três papéis: Team (Time), Scrum

Master e Product Owner (Dono do Produto). O Team pode ser composto de três a nove pessoas que possuam as habilidades necessárias para executar as tarefas delegadas.

O Scrum Master detém a responsabilidade de manter a estrutura Scrum em funcionamento, no decorrer do processo, instruindo as equipes na utilização dele. Tudo o que diminua o ritmo de trabalho do time deve ser identificado e eliminado pelo Scrum Master. Já o Product Owner decide qual o trabalho a ser feito e mantém, sob seu controle, a lista de pendências e a ordem de execução delas. Segundo Sutherland (2014, p. 104):

[...] O Dono do Produto precisava ser capaz de dar à equipe o *feedback* do cliente em cada um dos Sprints. Eles precisavam passar metade do tempo conversando com as pessoas que estavam comprando o produto (coletando suas opiniões sobre o último lançamento ampliado e como aquilo agregava valor) e a outra metade com a equipe, criando as Pendências (mostrando a eles o que os clientes valorizaram e o que não valorizaram).

PROTOTIPAÇÃO DE TELAS

Usar métodos ágeis para gerenciar processos, projetos e equipes deixa clara a importância de o time se organizar bem no desenvolvimento de *software*. Antes de começar a programar, o time precisa criar protótipos das telas, definindo botões, cores e *layouts*, tudo para enxergar e validar como a interface vai ficar. Nessa fase, o Figma foi a principal ferramenta escolhida para construir a versão 2.0 do sistema.

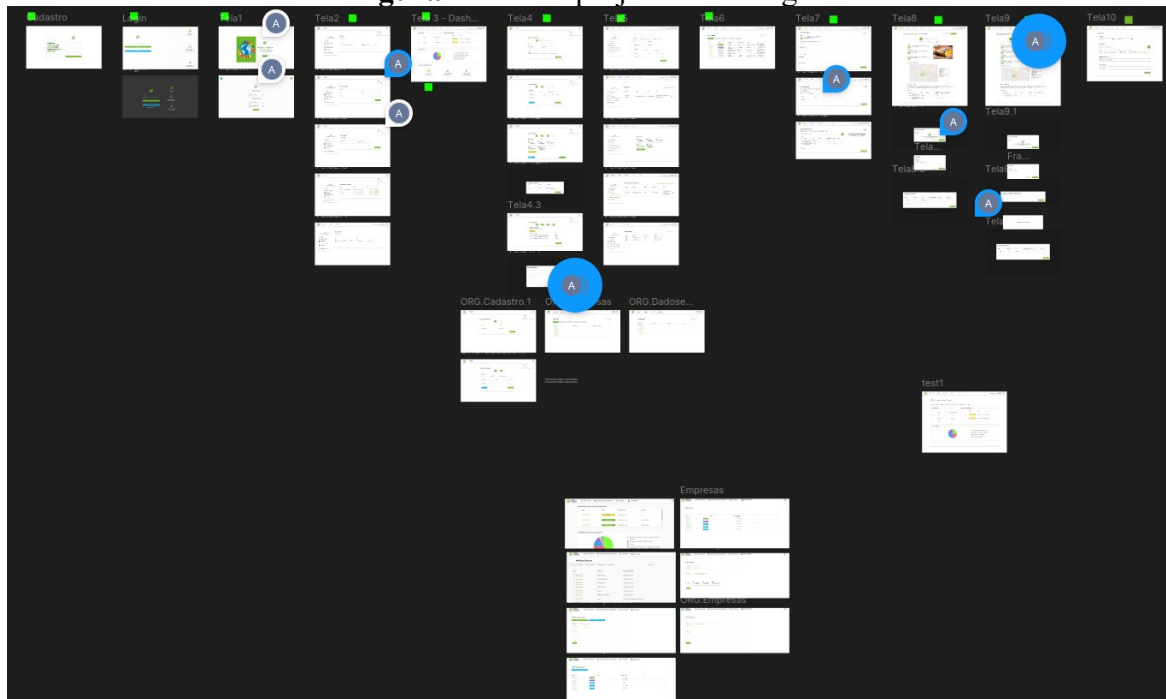
De uns anos para cá, o Figma virou referência em *design* de interfaces, pois permite a colaboração em tempo real e funciona direto na nuvem (Figma, 2024). Isso facilita muito, pois toda a equipe pode editar o mesmo arquivo ao mesmo tempo, o que agiliza as revisões e praticamente acaba com aquela troca interminável de *e-mails*. Há estudos mostrando que usar ferramentas colaborativas, como o Figma, acelera o projeto e deixa a equipe mais eficiente (GeeksforGeeks, 2024).

Além de prototipar, o Figma oferece simulações interativas de alta fidelidade e ainda integra direto com o desenvolvimento, o que ajuda a manter a consistência visual e a usabilidade (The Networked Pros, 2024). No projeto da GIR, o time criou 34 telas no Figma, todas aprovadas pelos gestores, antes de começar a codificação. Essa validação antecipada alinhou os fluxos, a identidade visual e as expectativas de todos os envolvidos.

O Figma não é perfeito, pois apresenta algumas limitações, especialmente quando o protótipo precisa de lógica condicional mais complexa ou dados dinâmicos (Dotolo, 2025; Petridis *et al.*, 2023).

Mesmo assim, foi fundamental para o sucesso da versão 2.0. A equipe conseguiu testar e ajustar o produto, evitando retrabalho e deixando o desenvolvimento mais ágil, conforme a Figura 2.

Figura 2 – Telas projetadas no Figma



Fonte: Elaboração própria (2025).

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este relatório é bem direto, pois traz uma proposta aplicada, totalmente qualitativa. O foco está em melhorar a forma como as equipes lidam com projetos de *software*, principalmente usando metodologias ágeis. Foi escolhido trabalhar com Scrum porque a equipe precisava dar um jeito no fluxo de trabalho, melhorar a conversa entre o time e entregar valor de verdade, de forma constante. Não é à toa que o Scrum virou referência entre *frameworks* ágeis, pois funciona especialmente para quem precisa de flexibilidade, e não pára de buscar melhorias (Schwaber; Sutherland, 2020).

Tudo começou a partir do que já existia, ou seja, a versão 1.0 do sistema, que nasceu rapidamente, sem muito planejamento e trouxe custos, pois logo apareceram problemas para manter o sistema, escalar e até para atender às novas demandas que surgiam. Diante desse cenário, a decisão foi clara, quanto a ser o momento de criar a versão 2.0, dessa vez com foco total em qualidade, organização e eficiência.

Para tirar isso do papel, o desenvolvimento da 2.0 aconteceu em quatro etapas principais:

- Diagnóstico da versão anterior em que o time levantou tudo o que estava dando errado, tanto nos pontos técnicos quanto na comunicação.
- Planejamento e definição do escopo, em que as entregas foram organizadas em *sprints* curtas, cada um assumiu seu papel – Product Owner, Scrum Master e Time de Desenvolvimento e o grupo passou a usar ferramentas colaborativas de forma frequente.
- Execução das atividades, que foi a fase de colocar as práticas ágeis em ação – reuniões diárias, revisões, retrospectivas. Tudo para manter o time alinhado e transparente (Soares *et al.*, 2023).
- Validação e ajustes antes de partir para a codificação mão na massa, assim, foram feitas a revisão dos protótipos, os testes de usabilidade e mantidas melhorias contínuas.

Trazer práticas ágeis para o projeto fez toda a diferença, pois ajudaram a superar as limitações da versão anterior e deram ao processo um ritmo mais previsível e muito mais colaborativo. Com o Scrum e ferramentas modernas, o time acompanhou cada etapa, fez revisões rápidas e adaptou o planejamento sempre que os requisitos mudavam. Essa virada trouxe agilidade, qualidade e, principalmente, deixou a equipe mais satisfeita. Esses fatores foram fundamentais para o sucesso da versão 2.0.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O desenvolvimento do Sistema GI-Resíduos foi iniciado no ano de 2019. Na equipe da GIR havia apenas um desenvolvedor de sistemas, que assumiu as funções de toda uma equipe de desenvolvimento de *software*, sendo um analista de sistemas, arquiteto de *softwares*, engenheiro de *softwares*, desenvolvedor de *softwares* e um testador de *softwares*.

A prática é bem comum em *startups* e pequenas empresas que estão em fases iniciais de negócios, e mantém duas ou três pessoas para muitas funções. Por ser um desenvolvedor de *softwares*, a sua principal qualificação era na construção dos sistemas, de forma que facilitassem as demandas que o mercado estava ofertando diante do cenário de gestão de RSU, e também realizou manutenções e correções de recorrentes erros. Com o passar dos meses, o sistema foi se tornando cada vez mais complexo devido às inúmeras funcionalidades que iam sendo requisitadas, desenvolvidas no tempo e na ordem estabelecida pelo próprio desenvolvedor.

O desenvolvimento do sistema tomou uma proporção tamanha, que outros desenvolvedores interessados em contribuir para a solução não conseguiam colaborar, pois a maneira como o sistema foi desenvolvido, sem a devida documentação, sem processos, sem o levantamento dos requisitos de forma prévia, e sem o uso de ferramentas de versionamento, resultou em várias falhas de *software*, que demoravam semanas para ser identificadas e corrigidas, o que, para uma empresa, significa perda de tempo e, conseqüentemente, perda de dinheiro e oportunidades de negócios.

Em 2021, esse único desenvolvedor de *software* da GIR saiu do time e com ele se foram todas as documentações e configurações do sistema que, até então, estavam documentadas apenas em sua mente, o que tornou a manutenibilidade e evolução da solução uma ação impossível de acontecer, tendo em vista que os novos desenvolvedores não conseguiram trabalhar sem documentação, o que foi bem crítico dentro do cenário de *software* apresentado.

Em agosto de 2022, a GIR possuía cinco desenvolvedores de *software*, dos quais dois eram *back-end* e três *front-end*, e decidiu-se dar continuidade ao sistema que já havia sido desenvolvido até aquele momento, agora utilizando a metodologia Scrum para gerenciamento da equipe. Por aproximadamente dois meses, o time tentou dar continuidade nos trabalhos, logrando êxito, até ser necessária a incrementação de um usuário administrador com uma visão panorâmica de tudo o que era transacionado dentro da solução. Na tentativa, foi feita uma análise da estrutura do código e das funcionalidades e rotinas que seriam reutilizadas e percebeu-se que a solução não tinha mais condições de escalar devido à falta de documentação. Diante disso, após algumas reuniões, foi decidido que seria construído um novo *software*, denominado Versão 2.0.

No mês de setembro de 2022, foi iniciada a construção da Versão 2.0, com o levantamento dos requisitos, da modelagem do banco de dados e definição das linguagens a serem utilizadas. O autor assumiu a função de Scrum Master, dentro do organograma Scrum. As demandas foram lançadas em Issues, por meio da plataforma GitHub e utilizados o Trello para que o Product Owner pudesse ter uma visão mais clara, fora de ferramentas específicas para programadores, como é o caso do GitHub, amplamente utilizado para acompanhar o progresso das tarefas, definir prazos, atribuir responsabilidades e manter um registro claro das atividades.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A engenharia de *software* desempenha papel fundamental no desenvolvimento de sistemas de *software* eficientes e confiáveis. Ao longo deste trabalho na GIR, foram explorados diversos aspectos dessa área, desde a análise de requisitos até a entrega e manutenção do *software*. Durante a pesquisa, foi possível perceber a importância de uma abordagem sistemática e estruturada na engenharia de *software*, ainda que, de forma pragmática, tornam todas, ou a maior parte das ações, efetivas.

A utilização de metodologias e processos adequados é essencial para garantir a qualidade do *software*, bem como atender às necessidades e expectativas de quem utilizará a plataforma. É importante salientar que tais metodologias e processos devem ser implantados desde o início do projeto visando ao mínimo de desperdício de tempo e, conseqüentemente, de recursos.

Além disso, foi identificada a importância da comunicação e colaboração entre os membros da equipe de desenvolvimento, bem como com todos os envolvidos no projeto, interna e externamente. Apesar de muitas vezes repetitivas, as *dailys* proporcionaram uma troca de informações clara e eficiente, o que é crucial para garantir o alinhamento de todos os envolvidos e o sucesso do projeto.

Com base nas pesquisas realizadas e análises feitas, a engenharia de *software* se mostra como disciplina essencial para o desenvolvimento de *software* de qualidade. Portanto, é fundamental que as organizações e profissionais da área invistam em processos, metodologias e técnicas da engenharia de *software*, para constantemente aprimorar seus conhecimentos e habilidades. Somente assim será possível enfrentar os desafios cada vez mais complexos do desenvolvimento de *software* e garantir a entrega de soluções de qualidade que atendam às necessidades dos usuários finais.

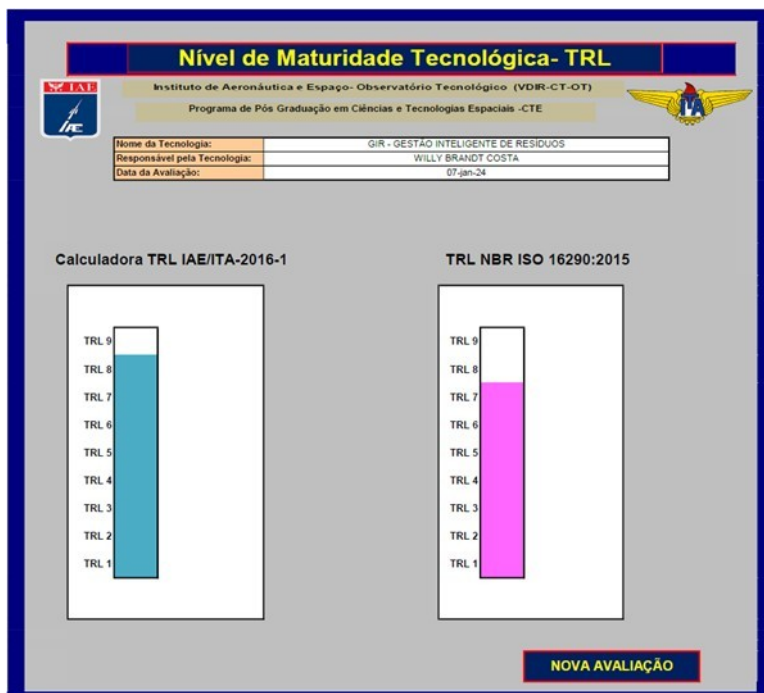
A projeção feita durante o processo de desenvolvimento da versão 2.0 alcançou os objetivos então traçados, desde o levantamento e a validação dos requisitos até a estruturação e organização da forma de trabalho e do time de desenvolvimento de *software*.

Para fins de avaliação do nível de maturidade tecnológica na empresa GIR, foi utilizada a Technology Readiness Level (TRL)/Nível de Maturidade Tecnológica, ferramenta essencial na avaliação do nível de maturidade tecnológica de uma *startup*. Originária da National Aeronautics and Space Administration (Nasa)/Administração Nacional de Aeronáutica e Espaço dos Estados Unidos da América (EUA) e adaptada para uso em diversos setores, a TRL é uma escala numérica de 1 a 9 que indica o estágio de desenvolvimento e a prontidão de uma tecnologia, desde sua concepção até a disponibilidade para o mercado.

A aplicação da TRL permite às *startups* compreenderem melhor em que fase seu produto ou serviço se encontra. Oferece critérios objetivos para avaliar o progresso tecnológico, ajudando os empreendedores a identificarem os desafios a serem superados em cada estágio. Esse modelo possibilita a mensuração de riscos e a definição de estratégias para o avanço do empreendimento.

Através da calculadora disponibilizada pelo Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE), a nota avaliativa da GIR nos padrões TRL IAE/ITA-2016-1 está entre 8 e 9 conforme a Figura 3. No nível 8, o sistema é real, completo e qualificado em voo por meio de testes e demonstração. Já na nota 9, trata-se da tecnologia madura, com o sistema já em operação e comprovado em todos os aspectos de sua missão operacional, com produção contínua.

Figura 3 – Avaliação TRL



Fonte: Calculadora TRL – Instituto de Aeronáutica e Espaço (2024).

A GIR encontra-se em um nível mais elevado, no que compete ao desenvolvimento de *software*, e pode evoluir cada vez mais. O time está bem estruturado, com desenvolvedores de *front-end* e de *back-end*. O sistema, conforme exibido na Figura 4, é comercializado como uma plataforma de serviço de assinatura mensal, e o *software* teve o seu devido registro no Inpi, em 2025.

Figura 4 – Tela inicial do sistema GI-Resíduos



Fonte: Elaboração própria, 2025.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE RESÍDUOS E MEIO AMBIENTE (ABREMA). **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**. 2024. Disponível em: <https://www.abrema.org.br/panorama/>. Acesso em: 4 set. 2025.

BAMBAZEK, P.; GROHER, I.; SEYFF, N. Requirements Engineering for Sustainable Software Systems: A Systematic Mapping Study. **Requirements Engineering**, v. 28, p. 481–505, 2023. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00766-023-00402-1>. Acesso em: 25 out. 2025.

BRASIL. Lei n. 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 3 ago. 2010. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acesso em: 19 jun. 2024.

CRUZ, A. M. C.; CRUZ, E. F. Artificial Intelligence Techniques for Requirements Engineering: A Comprehensive Literature Review. **Preprints.org**, 2025. Disponível em: <https://www.preprints.org/manuscript/202503.2259>. Acesso em: 20 out. 2025.

DOTOLO, Dylan. Beyond Clicks and Transitions: why Figma Prototypes are Dead. **Medium/Bootcamp**, 29 jan. 2025. Disponível em: <https://medium.com/design-bootcamp/beyond-clicks-and-transitions-why-figma-prototypes-are-dead-ca98fc071ce5>, Acesso em: 15 out. 2025

FIGMA. What is prototyping in design? **Figma Resource Library**, 2024. Disponível em: <https://www.figma.com/resource-library/what-is-prototyping/>

GEEKSFORGEEKS. Benefits of Using Figma for UI/UX Design. **GeeksforGeeks**, 2024. Disponível em: <https://www.geeksforgeeks.org/techtips/benefits-of-using-figma-for-ui-ux-design/>. Acesso em: 01 nov. 2025

MAXIM, B. R.; PRESSMAN, R. S. **Engenharia de software**: uma abordagem profissional. 8. ed., São Paulo: AMGH, 2016.

MUCHA, J.; KAUFMANN, A.; RIEHLE, D. A Systematic Literature Review of Pre-Requirements Specification Traceability. **Requirements Engineering**, v. 29, p. 119 –141, 2024. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00766-023-00412-z>. Acesso em: 4 nov. 2025.

PETRIDIS, Savvas; TERRY, Michael; CAI, Carrie J. PromptInfuser: How Tightly Coupling AI and UI Design Impacts Designers’ Workflows. Proceedings of the 2023 ACM/IEEE. **53rd International Conference on Software Engineering (ICSE’23)**, Melbourne, VIC, Australia, 2023. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/2310.15435>. Acesso em: 17 out. 2025

PRIKLADNICKI, Rafael; WILLI, Renato; MILANI, Fabiano. **Métodos ágeis para desenvolvimento de software**. Bookman Editora, 2014.

SAUERESSIG, Gislaine Gabriele; SELLITTO, Miguel Afonso; KADEL JR, Nelson. Papel das cooperativas de reciclagem no retorno de resíduos sólidos urbanos à indústria. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, [S. l.], v. 14, n. 2, p. 355 – 366, 2021. DOI: 10.17765/2176-

9168.2021v14n2e6537. Disponível em: <https://periodicos.unicesumar.edu.br/index.php/rama/article/view/6537>. Acesso em: 10 out. 2025.

SCHWABER, Ken; SUTHERLAND, Jeff. **The Scrum Guide: The Definitive Guide to Scrum – The Rules of the Game**. Scrum.org, 2020. Disponível em: <https://scrumguides.org/>

SOMMERVILLE, Ian. **Engenharia de Software**. Tradução Ivan Bosnic e Kalinka G. de O. Gonçalves. Revisão técnica Kechi Hirama. 9. ed., São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2011.

SUTHERLAND, Jeff. **Scrum: a arte de fazer o dobro de trabalho na metade do tempo**. Leya, 2014.

SOBRE OS AUTORES DO CAPÍTULO

Nome: Willy Brandt Francisco Ramalho Medeiros Costa

Instituição: Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE), *Campus Juazeiro do Norte*

Minicurrículo: Mestrando em Meio Ambiente, Tecnologias Ambientais – IFCE, *Campus Juazeiro do Norte*. Especialista em Energias Renováveis – Centec. Bacharel em Sistemas de Informação – IFCE, *Campus Crato*. Técnico em Informática Industrial – Teleporte Educacional. Atua desde 2014 com soluções tecnológicas e, desde 2019, com alternativas voltadas à gestão de resíduos e sustentabilidade.

E-mail: willy.brandt.francisco04@aluno.ifce.edu.br

Nome: Marco André Santos Machado

Instituição: Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE), *Campus Crato*.

Minicurrículo: Docente do IFCE, *Campus Crato*, desde 2017, na área de Metodologias e Técnicas da Computação, principalmente com Banco de Dados e Engenharia de *Software*. Possui Mestrado em Ciência da Computação pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) (2013). Bacharelado em Análise de Sistemas pela Universidade do Estado da Bahia (Uneb) (2010).

E-mail: marco.machado@ifce.edu.br

Nome: Andréia Matos Brito

Instituição: Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE).

Minicurrículo: Docente do IFCE desde 2015. Doutoranda em Ciência dos Materiais – Universidade Federal do Vale do São Francisco (Univasf). Mestra em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Especialista em Educação Matemática pela Universidade Regional do Cariri (Urca). Especialista em Energias Renováveis pelo Instituto Centro de Ensino Tecnológico (Centec). Bacharela em Engenharia de Produção Mecânica pela Urca. Licenciatura em Matemática pela Universidade Estadual do Ceará (Uece).

E-mail: andreia.matos@ifce.edu.br

Nome: Janisi Sales Aragão

Instituição: Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE), *Campus Juazeiro do Norte*.

Minicurrículo: Graduada em Engenharia de Pesca pela Universidade Federal do Ceará (UFC). Mestre em Ciências Marinhas Tropicais pelo Instituto de Ciências do Mar (Labomar-UFC). Doutora em Engenharia de Pesca pela UFC, com período sanduíche na Universidade de Aveiro/Portugal e Especialista em Docência na Educação Profissional Técnica de Nível Médio pelo IFCE. Professora no Curso de Engenharia Ambiental e Pesquisadora do Grupo de Pesquisa em Química, Microbiologia e Saneamento Ambiental do IFCE, *Campus Juazeiro do Norte*. Atua em ensino, pesquisa e extensão nas áreas de Ecotoxicologia e Resíduos Sólidos.

E-mail: janisi.aragao@ifce.edu.br

CAPÍTULO 3

FITOTOXICIDADE DO EFLUENTE GERADO PELA LAVAGEM DE GARRAFÕES DE ÁGUA MINERAL

*Andriely Tiburtino Leite Chaves
Ana Millene dos Santos Silva
Maria Fernanda da Cruz Silva
Janisi Sales Aragão*

INTRODUÇÃO

A água envasada tornou-se, nos últimos anos, uma categoria de produto com alto crescimento. No Brasil, em 2021, houve 4,7% de aumento no volume de produção de água mineral, em relação ao ano anterior (Abir, 2022). As indústrias responsáveis são constituídas, em sua maioria, por pequenas, micro e médias empresas, compondo 74,78% da produção brasileira (Rebob, 2022). É possível perceber que o segmento de indústrias de água mineral brasileiras apresenta tendência de crescimento, ao longo dos anos, com expectativa de cada vez mais ascensão ao mercado (Santos, 2022).

O processamento e envase de água mineral são caracterizados como um sistema composto de várias etapas sequenciais, que permitem obter um produto seguro, do ponto de vista das condições higiênico-sanitárias, quando são obedecidas (Margalho *et al.*, 2021).

Contudo, o crescimento do setor tem apresentado problemáticas ambientais, especialmente porque, nesse processo, são gerados efluentes contendo produtos químicos, que, quando não tratados, podem ser prejudiciais ao ambiente (Souza, 2022).

Vale salientar que o lançamento de efluentes industriais de estações de tratamento de esgoto está entre as maiores fontes de poluição no ambiente aquático (Rubinger, 2009). Os elementos tóxicos encontrados nos efluentes induzem a fitotoxicidade, inviabilizando seu uso, por exemplo, como fertilizante, pois é possível suprimir o crescimento vegetal, em vez de estimular (Nazari, 2020).

As análises físicas e químicas tradicionais, como demanda química de oxigênio, carbono orgânico total, sólidos, metais, e outras substâncias inorgânicas e orgânicas, na qual os limites são estabelecidos por legislações ambientais, não conseguem distinguir substâncias que afetam os corpos receptores. Logo, são inadequadas para avaliar o risco ambiental potencial (Chaparro; Pires, 2010).

Para avaliar a contaminação causada por tais efluentes, testes de toxicidade podem ser usados para determinar os possíveis efeitos do lançamento de uma carga poluidora nos ecossistemas, e avaliar, também, a eficiência de determinado tratamento quanto à remoção de agentes tóxicos (Guevara *et al.*, 2018).

A Resolução Conama n. 430/2011 apresenta a definição dos testes de toxicidade como métodos utilizados para avaliar e detectar a capacidade de um agente tóxico causar algum efeito nocivo, empregando organismos testes (Conama, 2011).

Nesse contexto, visando a abordar a problemática sobre a toxicidade de efluentes industriais, no presente trabalho, buscou-se avaliar a toxicidade do efluente gerado pela atividade de envase de uma empresa na lavagem dos garrafões de água mineral, antes e após tratamento por um sistema de decantadores, utilizando sementes de Couve (*Brassica oleracea*) e de Pepino (*Cucumis sativus*) para avaliar a fitotoxicidade.

REVISÃO DE LITERATURA

Segundo o Serviço Geológico do Brasil (SGB, 2025a), o Brasil está entre os cinco maiores produtores de água mineral envasada do mundo, superando a Alemanha e França, e ficando atrás apenas de China, Estados Unidos da América (EUA), Índia e Indonésia. E ainda, no Brasil, a produção de água mineral movimentou cerca de R\$ 10 bilhões por ano (dados pré-pandemia). Já em 2024, o Valor da Produção Mineral (VPM) da água mineral, em valores nominais, foi de R\$ 8,4 bilhões (Agência Nacional de Mineração, 2025).

No Paraná, um dos grandes produtores, a indústria da água mineral movimentou R\$ 341,28 milhões, em 2024, um incremento de 41% em relação ao ano anterior (R\$ 242,03 milhões). O montante é resultado da comercialização, no ano passado, de 487,57 milhões de litros, 28,7% a mais do que em 2023 (378,87 milhões) (Instituto Água e Terra, 2025).

Com o aumento da contaminação hídrica, aliada à falta de confiança dos consumidores no abastecimento público, tem aumentado a busca por água proveniente de fontes alternativas (Cunha *et al.*, 2012; Abouleish, 2016), como as águas envasadas. É observado, também, que o consumo de água engarrafada vem crescendo em todo o mundo, mesmo em locais onde a água da torneira é potável, pois esse hábito é influenciado por fatores como o gosto da água, a desconfiança na qualidade do abastecimento público, a falta de filtros domésticos, recomendações médicas, a praticidade e até questões de *status* social (Milanez; Souza; Bernardo, 2015; Muneme; Hall, 2019).

Diante disso, a Organização Mundial da Saúde (OMS, 2022), lançou diretrizes sobre a qualidade da água potável, estabelecendo normas que devem ser adotadas pelos países nos quais os órgãos governamentais controlem a qualidade dessas águas por meio de planos que possam garantir a segurança da saúde pública.

No Brasil, o arcabouço legal para a gestão e fiscalização da água mineral está vinculado a três órgãos federais: a Agência Nacional de Mineração (ANM) e o Conselho Nacional de Recursos

Hídricos (CNRH), responsáveis pela gestão e fiscalização da água na fonte; e a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa), responsável pela fiscalização da água engarrafada (SGB, 2025b).

A indústria de envase de água mineral, assim como muitas outras, geram efluentes no seu processo produtivo. Na utilização de garrafrões de plásticos de 20 L, os quais são retornáveis, ocorre a necessidade da lavagem e higienização e, para isso, normalmente, é utilizada, segundo Jayashantha (2020), uma solução alcalina cáustica (NaOH)/detergente e uma solução ácida e desinfetante.

Em relação ao Hidróxido de Sódio (NaOH), segundo a Ficha de Informação de Segurança de Produtos Químicos (FISPQ), da empresa química Sigma-Aldrich, no item da informação ecológica, a toxicidade desse produto para peixes (*Gambusia affinis*) com uma CL50 é de 125 mg/L, em 96 h, e para daphnias, uma CE50 de 40,38 mg/L, em 48 h de exposição. E segundo o Conjunto de Dados de Informações para Triagem da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OECD SIDS, 2002), o perigo do NaOH para o meio ambiente é causado pelo íon hidroxila, pois aumenta o pH do meio. Por esse motivo, o efeito do NaOH sobre os organismos depende da capacidade tampão do ecossistema aquático ou terrestre. Diante disso, é necessário o tratamento dos efluente gerados nas empresas de envase de água mineral antes do lançamento no corpo receptor.

TESTES DE FITOTOXICIDADE

Bioensaios utilizando diversos tipos de organismos vivos são amplamente realizados seguindo normas nacionais e internacionais. Inúmeras espécies da fauna e flora, tanto do ambiente terrestre como do aquático, pertencentes a todos os níveis tróficos, são utilizadas como organismos testes nesses bioensaios, como, por exemplo: as algas *Pseudokirchneriella subcapitata*, os microcrustáceos *Daphnia magna*, os peixes *Danio rerio*, as minhocas *Eisenia andrei*, assim como as sementes de vegetais superiores, como alface, couve, pepino, dentre outras.

O uso de plantas superiores como organismos testes tem aumentado, nos últimos anos (Barbero *et al.* 2001; Almeida *et al.* 2023; Li *et al.* 2024), visto que autores como Ratsch e Johndro (1984) demonstraram que a inibição do alongamento radicular é um indicador válido e sensível de toxicidade ambiental. Além do mais, esses testes apresentam vantagens, como serem simples, baratos e requererem pequenas quantidades de amostras (Priac, Badot, Crini, 2017; Coutinho *et al.*, 2021).

Existem, na literatura, vários trabalhos utilizando testes de fitotoxicidade para avaliar os mais diferentes tipos de amostras, tanto ambientais, substâncias isoladas ou efluentes. Como o trabalho de Lúcio *et al.* (2024), que os autores investigaram a qualidade dos efluentes gerados por um reator utilizado no tratamento de efluentes da indústria de laticínios, através do impacto na germinação de alface e pepino.

Em um estudo para avaliar a toxicidade de um efluente doméstico, bruto e tratado, por lagoas de estabilização, Silva *et al.* (2024) utilizaram sementes de couve. Os autores observaram efeitos adversos, na redução do alongamento radicular, nas amostras do efluente bruto (100%, 80% e 20%) e do efluente tratado (10% e 5%), indicando uma tendência à fitotoxicidade.

Priac, Badot, Crini (2017), testaram quatro tipos de água para controle negativo nos testes (destilada, mineral, osmose reversa e ultrapura) e, como resultados, não foram observadas diferenças significativas na taxa de germinação ou no alongamento radicular.

Diante disso, os testes de fitotoxicidade utilizando sementes de vegetais superiores são ferramentas úteis para avaliar a qualidade de efluentes, uma vez que as análises físico-químicas tradicionalmente realizadas, não conseguem distinguir quais substâncias afetam os sistemas biológicos, e não são suficientes para avaliar o potencial risco ambiental dos contaminantes.

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

COLETA DAS AMOSTRAS

As amostras de efluente bruto e tratado foram obtidas em uma indústria de envase de água mineral situada no município de Juazeiro do Norte/Ceará. As coletas foram realizadas no período de agosto a novembro de 2023, no turno da manhã, totalizando quatro testes. Foram coletados dois volumes de 1 L cada: o primeiro, correspondente ao efluente bruto, diretamente da máquina de lavagem dos garrafões (sanitizadora); e, o segundo, referente ao efluente tratado, no tanque de decantação localizado nas dependências da empresa (Figura 1).

Figura 1 - Pontos de coleta das amostras do efluente bruto e tratado em uma empresa de envase de água mineral



Fonte: Arquivo pessoal (2023).

TESTE DE FITOTOXICIDADE

Os testes de fitotoxicidade seguiram a metodologia estabelecida pela Agência de Proteção Ambiental Americana (EPA, 1996), com algumas adaptações, utilizando as sementes de pepino e couve adquiridas da marca Isla®. Todos os testes foram realizados em triplicata, utilizando água destilada como controle negativo e sulfato de zinco 1% como controle positivo.

No total, foram realizados quatro testes de fitotoxicidade para ambas as sementes, com as amostras de efluentes brutos e tratados nas concentrações de 100%, 50%, 25%, 12,5% e 6,25%.

As sementes foram acondicionadas em placas de Petri de 90 mm com água destilada, por 30 min, para a quebra de dormência. Em seguida, foram transferidas para placas de Petri forradas com papel filtro embebido com 3 mL das amostras, nas diferentes concentrações. Todos os testes foram realizados em triplicata, com 10 sementes, perfazendo 30 sementes por concentração. As placas fechadas, vedadas com parafilm e embaladas com papel alumínio, foram incubadas em estufa tipo B.O.D. por cinco dias (120 h) a uma temperatura de $25^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}$. Após esse período foi realizada a medição do alongamento das radículas com paquímetro digital e calculados o Índice de Crescimento Relativo (ICR) e Índice de Germinação (IG):

O ICR, alongamento das radículas (mm), foi calculado através da equação 3 (Zucconi *et al.*, 1981 *apud* Tiquia *et al.*, 1996):

$$ICR = \frac{CRa}{CRc} \quad \text{eq.(1)}$$

Onde:

CRa = comprimento da radícula na amostra;

CRc = comprimento da radícula no controle negativo.

Os efeitos da toxicidade, em termos de ICR, foram divididos em três categorias:

- a) Inibição da taxa de alongamento radicular: $ICR < 0,8$;
- b) Sem efeitos significativos: $0,8 \leq ICR \leq 1,2$;
- c) Estimulação da taxa de alongamento: $ICR > 1,2$.

O Índice de Germinação (%IG), relação entre o alongamento das radículas e germinação das sementes, em comparação ao controle negativo (%), calculado através da equação 2 (Tiquia *et al.*, 1996):

$$IG(\%) = \frac{\%GA \times \%ICR}{100} \quad \text{eq.(2)}$$

Onde:

GA = razão entre sementes germinadas na amostra e germinadas no controle.

Os efeitos da toxicidade, em termos do IG, foram divididos em três categorias:

a) Não fitotóxico: $IG > 80\%$;

Foram considerados válidos os testes com controle negativo com 65% de germinação e crescimento radicular de, no mínimo, 20 mm.

Após a verificação da normalidade, por meio do teste de Shapiro-Wilk, as respostas quanto à fitotoxicidade foram analisadas estatisticamente no *software* GradPad Prism, utilizando o teste Análise de Variância (Anova), seguido do pós-teste de Tukey ($P < 0,05$) para identificar quais concentrações diferem do controle negativo em cada um dos 4 testes realizados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme demonstrado na Tabela 1, os resultados obtidos nos testes de fitotoxicidade para as sementes de couve nos efluentes brutos e tratados, apresentaram, em sua maioria, valores de Índice de Germinação acima de 80%, com exceção nos testes 2, 3 e 4, nos quais apresentaram pontualmente valores abaixo dessa porcentagem.

Quanto ao ICR, em sua maioria, apresentaram valores próximos a 1, indicando que, nessas concentrações, os compostos dos efluentes bruto e tratado, não causaram efeitos significativos no alongamento das raízes, quando comparados ao controle.

Entretanto, em algumas concentrações, observou-se redução do ICR, o que causou efeitos de “inibição do crescimento”, com valores menores do que 0,8, indicando uma sensibilidade da espécie a compostos encontrados no efluente que afetam seu comprimento radicular. No entanto, não foi possível identificar um padrão consistente entre os testes e suas concentrações para a ocorrência do efeito, visto que apenas os testes 2 e 3 apresentaram esses valores para o efluente bruto, e o teste 4 para o efluente tratado.

Os efeitos inibitórios observados podem estar diretamente relacionados à composição química do efluente proveniente das lavagens de garrações de água mineral. O detergente alcalino clorado (produto usado pela indústria) contém agentes oxidantes e surfactantes, os quais contribuem para a geração de um efluente com altos níveis de condutividade e salinidade (Dai, *et al.*, 2025; Choque-Quispe *et al.*, 2021).

Após o efluente passar pelo tratamento (tanque de decantação), observou-se uma redução dos efeitos de toxicidade, quando comparado ao efluente bruto, sugerindo a eficiência do tratamento em reduzir essas substâncias que podem estar associadas à fitotoxicidade (Tabela 1).

Tabela 1 - Análise de fitotoxicidade de efluente bruto e tratado da lavagem de garrações de água mineral utilizando semente de couve.

Fitotoxicidade para semente de Couve (<i>Brassica oleracea</i>)					
		BRUTO		TRATADO	
		ICR	IG %	ICR	IG%
TESTE 1	100%	1,10	88,40	0,97	93,09
	50%	1,10	88,07	1,04	87,70
	25%	1,08	107,77	1,09	100,47
	12,50%	1,14	82,01	0,97	89,48
	6,25%	1,16	93,15	1,06	89,05
TESTE 2	100%	0,83	68,35	0,85	88,25
	50%	0,80	62,26	0,88	83,94
	25%	0,72	81,10	0,91	86,79
	12,50%	0,85	84,77	0,83	79,62
	6,25%	0,75	75,19	1,00	87,01
TESTE 3	100%	0,77	73,54	0,91	95,27
	50%	0,96	95,62	0,83	95,073
	25%	0,85	89,00	0,95	86,139
	12,50%	0,95	113,38	1,09	114,34
	6,25%	0,94	89,99	0,93	84,37
TESTE 4	100%	1,02	115,35	0,86	81,79
	50%	1,06	96,54	0,69	56,68
	25%	0,83	75,32	0,78	88,90
	12,50%	0,84	80,49	0,91	94,71
	6,25%	0,91	87,05	0,79	74,97

Legenda:

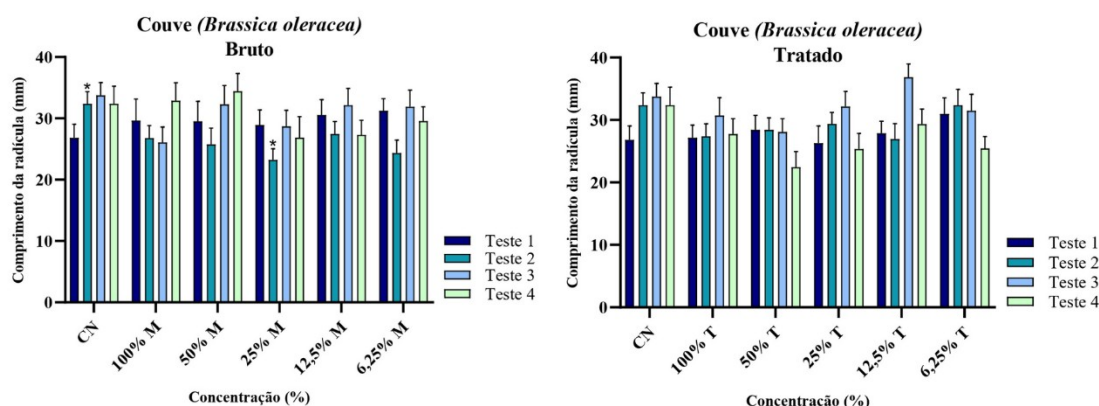
ICR: Inibição da taxa de alongamento radicular: $0 < \text{ICR} < 0,8$; estimulação da taxa de alongamento $> 1,2 \text{ ICR}$; sem efeitos significativos: $0,8 \leq \text{ICR} \leq 1,2$.

IG: Não fitotóxico: $\text{IG} > 80$; Vermelho indica IG e $\text{ICR} < 80\%$

Fonte: Autores (2025).

Conforme apresentado na Figura 2, as análises estatísticas demonstraram que, no efluente bruto, houve diferenças estatísticas entre o controle e as concentrações, de 25%, no teste 2, evidenciando os resultados obtidos nessa concentração da inibição do alongamento das radículas, enquanto no efluente tratado não foram observadas diferenças estatísticas significativas em relação ao controle, o que reforça a tendência observada anteriormente na redução da toxicidade após o tratamento.

Resultados semelhantes foram encontrados por Oliveira *et al.*, (2025), com sementes de couve, que apresentaram alta sensibilidade às amostras contaminadas com altos níveis de salinidade, fato justificado por serem sementes menores e mais delicadas, tornando-as mais suscetíveis à ação das substâncias contidas no meio.

Figura 2 - Comprimento da radícula (mm) das sementes de couve para o efluente bruto e tratado após a lavagem de garrações de água mineral em diferentes concentrações

Fonte: Autores (2025).

Legenda: (*) diferença significativa para $P < 0,05$ Anova seguida de tukey's ($p < 0,05$). (M) amostra de efluente bruto, máquina. (T) Amostra de efluente tratado.

Quanto às análises de pepino, na Tabela 2, é possível observar uma resposta semelhante às sementes de couve, no que se refere ao IG (%), mas sem efeito significativo na maioria das amostras para os efluentes bruto e tratado. Apenas em casos isolados (Teste 2, efluente bruto - 6,25%; Teste 3, efluente bruto - 12,5% e efluente tratado - 25%) apresentaram discreta redução no IG (%).

Em relação aos valores de ICR, é possível observar que, no efluente bruto do Teste 1, houve maior ocorrência de estímulo do crescimento de suas radículas, com valores superiores a 1,2 nas concentrações de 100%, 50%, 25%, 12,5% e 6,25%. O efluente tratado, por sua vez, apresentou valores mais uniformes sem efeitos significativos em suas concentrações, com divergência apenas em um valor pontual (Teste 3, efluente tratado - 25%).

Tabela 2 - Análise de Fitotoxicidade de efluente bruto e tratado da lavagem de garrações de água mineral utilizando sementes de pepino (*Cucumis sativus*).

Fitotoxicidade para semente de pepino (*Cucumis sativus*)

		BRUTO		TRATADO	
		ICR	IG %	ICR	IG%
TESTE 1	100%	1,33	128,07	1,15	107,27
	50%	1,09	112,61	1,05	90,56
	25%	1,22	104,88	1,14	106,58
	12,50%	1,23	93,46	1,13	104,91
	6,25%	1,32	118,16	1,02	94,94
TESTE 2	100%	0,98	90,785	1,07	114,26
	50%	1,00	89,453	1,02	90,95
	25%	1,09	93,468	1,27	122,24
	12,50%	1,16	115,76	1,06	105,52
TESTE 3	6,25%	0,99	77,631	1,00	96,85
	100%	1,13	122,42	0,94	93,51

TESTE 4	50%	1,03	106,91	0,90	89,59
	25%	0,89	88,69	0,82	75,28
	12,50%	0,94	79,19	0,98	101,68
	6,25%	1,06	88,87	1,00	116,39
	100%	0,99	98,64	0,84	83,98
	50%	1,06	115,59	0,99	107,50
	25%	1,10	114,32	1,04	121,85
	12,50%	0,99	111,91	1,11	121,05
	6,25%	0,91	91,19	1,06	114,82

Legenda:

ICR: Inibição da taxa de alongamento radicular: $0 < ICR < 0,8$; estimulação da taxa de alongamento $> 1,2$ ICR; sem efeitos significativos: $0,8 \leq ICR \leq 1,2$.

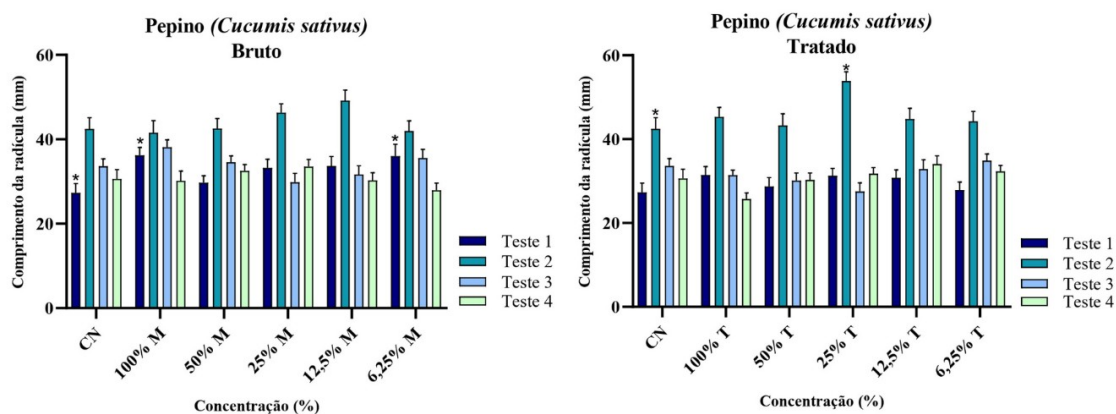
IG: Não fitotóxico: $IG > 80$; Vermelho indica IG e $ICR < 80\%$; Verde indica $ICR > 1,20$.

Fonte: Autores, (2025).

Quanto às análises estatísticas, na Figura 3, observamos a ocorrência de diferenças estatísticas no efluente bruto entre o controle e as concentrações de 100% e 6,25% no Teste 1. Essa alteração indica que, nessas concentrações, as alterações foram significativas no comprimento das radículas, sugerindo a ocorrência de um efeito estimulante no qual mesmo em baixas concentrações as substâncias potencialmente tóxicas promoveram um alongamento radicular em vez de inibi-las. Enquanto no efluente tratado, foi observada diferença estatística apenas entre o controle e a concentração de 25% no Teste 2, que também provocou o alongamento das radículas, estimulando o desenvolvimento da semente.

Essa resistência vegetal das sementes de pepino a efluentes também foi observado por Arsant *et al.* (2022). Após a exposição ao efluente hemodialítico bruto e tratado, a espécie apresentou os maiores índices de germinação e alongamento radicular entre as sementes testadas, evidenciando sua tolerância à matéria orgânica e elevados níveis de salinidade.

Figura 3 - Comprimento da radícula (mm) das sementes de pepino (*Cucumis sativus*) para o efluente bruto e tratado da lavagem de garraões de água mineral em diferentes concentrações



Fonte: Autores (2025).

Legenda: (*) diferença significativa para $P < 0,05$ Anova, seguida de tukey's ($p < 0,05$). (M) amostra de efluente bruto, máquina. (T) Amostra de efluente tratado.

Quando comparadas, observa-se que as sementes de couve apresentaram maior sensibilidade ao efluente com efeitos de inibição de crescimento pontuais, enquanto as sementes de pepino apresentaram tendência ao estímulo de seu crescimento. Essa variação, observada nas sementes, está diretamente relacionada aos níveis distintos de sensibilidade que cada organismo pode apresentar quando em contato com as substâncias em efluentes, conforme descrito por estudos anteriores (Peduto; Jesus; Kohatsu, 2019).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos nos ensaios de fitotoxicidade indicaram que o efluente bruto proveniente da lavagem de garrações de água mineral apresentou, nas sementes de couve, para algumas concentrações, inibição do seu crescimento radicular, enquanto nas de pepino demonstrou maior tolerância às substâncias do efluente.

No entanto, após o tratamento, observou-se uma redução nos efeitos tóxicos, evidenciando a eficiência na redução, ou remoção, dos contaminantes das amostras. Dessa forma, os resultados apontam que a aplicação de tratamento contribuiu para a atenuação da toxicidade do efluente e reforça a importância da utilização de diferentes organismos testes em avaliações ecotoxicológicas.

Recomendam-se estudos complementares com a aplicação de bioensaios envolvendo distintos organismos testes, bem como análises físico-químicas, a fim de monitorar e garantir o descarte ambiental seguro e correto.

REFERÊNCIAS

ABIR. Associação Brasileira das Indústrias de Refrigerantes e de Bebidas Não Alcoólicas. O setor de bebidas não alcoólicas comprometido com a agenda ESG. **Revista Abir**. Brasília, DF. Disponível em: https://abir.org.br/arquivos/Revista_Abir_2022.pdf. Acesso em: jun. 2024.

ABOULEISH, Mohamed Yehia Z. Avaliação dos níveis de flúor na água engarrafada e sua contribuição para problemas de saúde e dentários nos Emirados Árabes Unidos. **The Saudi dental journal**, v. 28, n. 4, p. 194-202, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sdentj.2015.09.003>.

AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO (ANM). **Anuário mineral brasileiro interativo**. 2025. Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjojODIyOWJlMTgtZTBiNi00ODFhLWJiOGEtYzlmOWM3MjhmMWQ4IiwidCI6ImEzMDgzZTIxLTc0OWItNDUzNC05YWZhLTU0Y2MzMTg4OTdiOCJ9>. Acesso em: out. 2025

ALMEIDA, M. C. *et al.* Influence of different concentrations of plasticizer diethyl phthalate (DEP) on toxicity of *Lactuca sativa* seeds, *Artemia salina* and Zebrafish. **Heliyon**, v. 9, n. 9, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e18855>.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 22. ed. Washington, D.C.: Apha, 2012.

ARSAND, Daniel *et al.* Avaliação do potencial fitotóxico, citotóxico e genotóxico de efluente hemodialítico. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 27, n. 2, p. 269-277, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-415220200320>

BARBERO, Paola *et al.* Assessment of Lake Orta sediments phytotoxicity after the liming treatment. **Journal of Limnology**, v. 60, n. 2, p. 269-276, 2001.

CHAPARRO, T. R.; PIRES, E. C. Estudios toxicologicos como herramienta para evaluar el desempeño de un reactor anaerobio de biomasa inmovilizada. **Dyna**, v. 77, n. 164, p. 284-291, 2010.

CHOQUE-QUISPE, D. *et al.* Study of the pollution by surfactants in a river of a high Andean micro basin. **Dyna**, v. 88, n. 217, p. 9-12, 2021.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente, 2011UBrasil, **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, 2011.

COUTINHO, A. V. S. *et al.* Toxicidade do efluente de açaí em sementes de Brassica Oleracea. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 14, n. 3, p. 743-752, 2021. DOI: <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2021v14n3e0000>.

CUNHA, H. F. A. *et al.* Qualidade físico-química e microbiológica de água mineral e padrões da legislação. **Revista Ambiente & Água**, v. 7, p. 155-165, 2012. DOI: <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1000>.

DAI, Jun *et al.* Avanços recentes em tecnologias de remoção de poluentes orgânicos para águas residuais de alta salinidade. **Water**, v. 17, n. 16, p. 2494, 2025. DOI: <https://doi.org/10.3390/w17162494>

FORTES, Ana Carolina Chaves; BARROCAS, Paulo Rubens Guimarães; KLIGERMAN, Débora Cynamon. A vigilância da qualidade da água e o papel da informação na garantia do acesso. **Saúde em Debate**, v. 43, n. spe3, p. 20-34, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/0103-11042019S302>.

GUEVARA, M. D. F. *et al.* Fitotoxicidade em águas residuárias domésticas utilizando sementes como bioindicadores. **Revista DAE**, v. 67, n. 216, p. 44-51, 2018.

HODGKISS, I. J. Effects of composting on phytotoxicity of spent pig-manure sawdust litter. **Environmental Pollution**, v. 93, n. 3, p. 249 – 56, 1996. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(96\)00052-8](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(96)00052-8).

INSTITUTO ÁGUA E TERRA (IAT). **Indústria da água mineral cresce 41% em 2024 e movimentou R\$ 341,2 milhões no Paraná**. 2025. Disponível em: <https://www.iat.pr.gov.br/Noticia/Industria-da-agua-mineral-cresce-41-em-2024-e-movimentou-R-3412-milhoes-no-Parana>. Acesso em: out. 2025.

JAYASHANTHA, E. T. **A review on cleaning and disinfection in food industry**. [S. l.]: Publicação independente, 2020. ISBN cP7SzBS09PEFdpCg. Disponível em:

https://www.researchgate.net/profile/Eranga-Jayashantha-2/publication/357054686_A_review_on_Cleaning_and_Disinfection_in_Food_industry/links/61b9f7ba63bbd9324295ee9c/A-review-on-Cleaning-and-Disinfection-in-Food-industry.pdf. Acesso em: out. 2025

LI, Y. *et al.* Toxic effects and mechanisms of engineered nanoparticles and nanoplastics on lettuce (*Lactuca sativa* L.). **Science of the Total Environment**, v. 908, p. 168421, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168421>.

LÚCIO, D. S. G. *et al.* Assessing the phytotoxicity of wastewater from the structured-bed hybrid baffled reactor (SBHBR) for agricultural reuse during the germination phase. **Science of the Total Environment**, v. 918, p. 170449, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.170449>.

MARGALHO, G. C. *et al.* Análises físico-químicas e microbiológicas da água mineral comercializada em galões de 20 litros na Cidade de Belém/Pará. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 14, p. e186101417294-e186101417294, 2021.

MILANEZ, T. V.; SOUZA, A.; BERNARDO, P. E. M. Nitrato e nitrito em água mineral envasada comercializada na cidade de São Paulo. **Boletim do Instituto Adolfo Lutz -Bial**, p. 12-14, 2015.

MUNENE, Abraham; HALL, David C. Factors influencing perceptions of private water quality in North America: a systematic review. **Systematic Reviews**, v. 8, n. 1, p. 111, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13643-019-1020-6>.

NAZARI, M. T. *et al.* Viabilidade da utilização do sobrenadante de cultivo algal como fertirrigante. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 9, p. 1057-1072, 2020. DOI: <https://doi.org/10.19177/rgsa.v9e020201057-1072>

OECD SIDS. **Sodium hydroxide. SIDS Initial Assessment Report**. Paris: Unep Publications; Siam 14, 26 - 28 mar. 2002. 112 p. Disponível em: <https://hpvchemicals.oecd.org/ui/handler.axd?id=4d5cda68-5a7d-4ab6-85ec-20a0fd6592ca>. Acesso em: nov. 2025.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE (OMS). Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first and second addenda. **Geneva**: World Health Organization, 2022. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.

PEDUTO, Thais Araujo Goya; JESUS, T. A. de; KOHATSU, Marcio Yukihiro. Sensibilidade de diferentes sementes em ensaio de fitotoxicidade. **Revista Brasileira de Ciência, Tecnologia e Inovação**, v. 4, n. 2, p. 200-212, 2019. DOI: <https://doi.org/10.18554/rbcti.v4i2.3698>.

PRIAC, A.; BADOT, P. M.; CRINI, G. Treated wastewater phytotoxicity assessment using *Lactuca sativa*: focus on germination and root elongation test parameters. **Comptes Rendus Biologies**, v. 340, p. 188 – 194, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.crv.2017.02.003>.

RATSCH, Hilman C.; JOHNDRO, Debra. Comparative toxicity of six test chemicals to lettuce using two root elongation test methods. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 6, n. 3, p. 267-276, 1986.

REBOB. Rede Brasil de Organismos de Bacias Hidrográficas. **Aproveitamento econômico de águas minerais**. 2022. Disponível em: <https://www.rebob.org.br/post/2020/07/10/aproveitamento-econ%C3%B4mico-de-%C3%A1guas-minerais>. Acesso em: maio. 2024.

RUBINGER, C. F. **Seleção de métodos biológicos para a avaliação toxicológica de efluentes industriais**. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

SANTOS, Juliene Lais Morais. **Acompanhamento do controle de qualidade e processo produtivo da água mineral San Valle**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Química) – Universidade Federal Rural do Semiárido, Mossoró, 2022.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (SGB). **Brasil está entre os maiores produtores de água mineral envasada do mundo**. 2025a. Disponível em: <https://www.sgb.gov.br/w/brasil-esta-entre-os-maiores-produtores-de-agua-mineral-ensitada-do-mundo>. Acesso em: out. 2025.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (SGB). **Legislação da água mineral no Brasil**. 2025b. Disponível em: <https://aguamineral.sgb.gov.br/legislacao.html>. Acesso em: out. 2025.

SILVA, A. M. S. *et al.* Phytotoxicity of Domestic Effluent Before and After Treatment by Stabilization Ponds. **Ecotoxicology and Environmental Contamination**, v. 19, n. 1, p. 50-60, 2024. DOI: <https://doi.org/10.5132/eec.2024.01.06>.

SOUZA, W. D. M. Problemas e tendências das águas envasadas no Brasil: uma análise socioambiental. **Educação e Pesquisa em Química**. v. 2, 2022. [S. l.], Editora Científica Digital, 2022. ISBN 978-65-5360-191-8.

TIQUIA, S. M.; TAM, N. F. Y.; HODGKISS, I. J. Effects of composting on phytotoxicity of spent pig-manure sawdust litter. **Environmental pollution**, v. 93, n. 3, p. 249-256, 1996.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. EPA. 1996. **OPPTS 850.4200** seed germination/root elongation toxicity test. April 1996, 6 p.

ZUCCONI, F.; PERA, A.; FORTE, M.; BERTOLDI, M. D. 1981. Evaluating toxicity of immature compost. *Biocycle* 22: 54 – 57. *In*: TIQUIA, S. M.; TAM, N. F. Y.;

SOBRE AS AUTORAS DO CAPÍTULO

Nome: Andriely Tiburtino Leite Chaves

Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE)

Minicurrículo: Graduada em Engenharia Ambiental e Sanitarista. Mestranda em Meio Ambiente pelo IFCE, *Campus Juazeiro do Norte*. Bolsista da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes).

E-mail: Tiburtino.andriely@gmail.com

Nome: Ana Millene dos Santos Silva

Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE)

Minicurrículo: Graduada em Engenharia Ambiental e Sanitarista. Mestranda em Meio Ambiente pelo IFCE, *Campus Juazeiro do Norte*. Bolsista da Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico.

E-mail: anasantostmillene@gmail.com

Nome: Maria Fernanda da Cruz Silva

Instituição: Universidade Federal do Cariri (UFCA)

Minicurrículo: Graduada em Engenharia Ambiental e Sanitária. Mestranda do Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento Regional Sustentável (Proder). Bolsista do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq)

E-mail: fernandacsilva56@gmail.com

Nome: Janisi Sales Aragão

Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE)

Minicurrículo: Graduada em Engenharia de Pesca pela Universidade Federal do Ceará (UFC). Mestre em Ciências Marinhas Tropicais pelo Instituto de Ciências do Mar (Labomar-UFC). Doutora em Engenharia de Pesca pela UFC, com período sanduíche na Universidade de Aveiro/Portugal. Especialista em Docência na Educação Profissional Técnica de Nível Médio pelo IFCE. Professora no Curso de Engenharia Ambiental. Pesquisadora do Grupo de Pesquisa em Química, Microbiologia e Saneamento Ambiental do IFCE, *Campus* Juazeiro do Norte. Atua no ensino, em pesquisa e extensão nas áreas de Ecotoxicologia e Resíduos Sólidos.

E-mail: janisi.aragao@ifce.edu.br

CAPÍTULO 4

MAPEAMENTO DA ACESSIBILIDADE E DAS PRÁTICAS INCLUSIVAS EM ESPAÇOS NATURAIS DE ESCOLAS MUNICIPAIS DE JUAZEIRO DO NORTE/CE

*Paula Veruska Alexandre de Lima
Profa. Dra. Joamira Pereira de Araújo
Profa. Dra. Mônica Maria Siqueira Damasceno*

INTRODUÇÃO

Os espaços naturais nas escolas desempenham papel fundamental na aprendizagem significativa, na saúde e no bem-estar das crianças. O contato cotidiano com a natureza estimula o desenvolvimento nos aspectos cognitivo, emocional e motor, favorecendo a criatividade e a cooperação (Chawla, 2015; Cunha *et al.*, 2022). No âmbito da educação inclusiva, ambientes verdes acessíveis tornam-se ainda mais relevantes, por promoverem interação, participação e pertencimento entre crianças com e sem deficiência (Pretty *et al.*, 2005; Liu *et al.*, 2020).

No Brasil, a inclusão é assegurada por bases legais como a Lei Brasileira de Inclusão (LBI) - Lei n. 13.146/2015, que define a acessibilidade como condição para o exercício pleno da cidadania, e pela Política Nacional de Educação Ambiental (PNEA) - Lei n. 9.795/1999, que valoriza os espaços naturais como ambientes formativos. Contudo, persiste um descompasso entre a legislação e a realidade estrutural das escolas públicas, especialmente nas regiões periféricas, onde a carência de infraestrutura e de manutenção ambiental compromete o uso pedagógico desses espaços (Carnaval, 2021).

Em Juazeiro do Norte/CE, muitas escolas possuem espaços naturais inacessíveis ou subutilizados, apesar de iniciativas, como hortas e arborização (Juazeiro do Norte, 2023). Nacionalmente, 37% das escolas brasileiras não têm áreas verdes estruturadas, evidenciando a necessidade de diagnósticos locais e planejamento inclusivo (Instituto Alana; MapBiomas, 2024; Todos pela Educação, 2024).

A partir desse contexto, este estudo justificou-se pela necessidade de compreender como a acessibilidade e a inclusão concretizam-se nos espaços naturais escolares e de que forma esses ambientes podem potencializar a aprendizagem e a convivência.

Surgiu, assim, a seguinte problemática: Como as escolas públicas municipais de Juazeiro do Norte/CE têm utilizado, ou deixado de utilizar, seus espaços naturais como ambientes de aprendizagem

acessíveis e inclusivos para crianças com deficiência? Com base nessa questão, o estudo teve como objetivo geral mapear e analisar as condições de acessibilidade e inclusão nos espaços naturais das escolas municipais de Juazeiro do Norte/CE. Especificamente, buscou-se: Identificar a presença e a tipologia desses espaços; Avaliar as condições de acessibilidade arquitetônica e ambiental conforme prevê a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) na Norma Brasileira (NBR) 9.050/2020 e a Lei Brasileira de Inclusão; Analisar as práticas pedagógicas inclusivas desenvolvidas; e Relacionar o perfil dos estudantes com deficiência às condições estruturais e pedagógicas observadas.

REVISÃO DE LITERATURA

A construção de uma escola inclusiva e sustentável requer a articulação entre dimensões educacionais, ambientais e sociais, reconhecendo a acessibilidade e o contato com a natureza como direitos complementares. Para Ainscow (2020) e Booth e Ainscow (2016), a inclusão deve transcender o acesso físico, promovendo culturas escolares baseadas na equidade e participação. Autores brasileiros, como Sasaki (2006) e Carvalho (2017), reforçam que a inclusão é um processo contínuo de transformações social e pedagógica, orientado pela valorização da diversidade e eliminação de barreiras.

O marco legal brasileiro, consolidado pela Lei Brasileira de Inclusão, Lei n. 13.146/2015; a Lei n. 10.098/2000; e pelo Plano Viver sem Limite (Brasil, 2023), garante a igualdade de oportunidades e define parâmetros técnicos complementares à ABNT NBR 9050 (2020), que orienta a acessibilidade em edificações e espaços urbanos. Tais normativas fundamentam a criação de ambientes escolares acessíveis e inclusivos, com a articulação de infraestrutura e pedagogia.

A educação ambiental, quando associada à inclusão, constitui um caminho para a construção de valores éticos e sustentáveis. Abreu e Prezoto (2021) e Gadotti (2009) defendem que o contato com a natureza desperta empatia, pertencimento e responsabilidade coletiva. Nesse mesmo sentido, Acselrad (2002) introduz o conceito de justiça socioambiental, evidenciando que o acesso desigual a ambientes saudáveis reflete as mesmas desigualdades sociais urbanas. Essa visão converge com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 4 e 11 (ONU, 2015), que preveem uma educação inclusiva e cidades sustentáveis.

No contexto escolar, os espaços naturais funcionam como ambientes integradores de aprendizagem e cidadania. Brodin e Lindstrand (2006) apontam que o contato com a natureza favorece metodologias participativas e inclusivas; Bernardon *et al.* (2014) mostram que hortas escolares fortalecem o engajamento e a interdisciplinaridade; e Santos e Cordeiro (2023) ressaltam o potencial de áreas verdes acessíveis como instrumentos de inclusão e sensibilização ambiental.

Contudo, os desafios estruturais persistem. Estudos de Carnaval (2021) e Duarte (2019) evidenciam a carência de infraestrutura adequada, como: rampas, sinalização tátil e áreas verdes, especialmente em escolas municipais. Os relatórios do Todos pela Educação (2024) reforçam que a maioria das instituições ainda carece de espaços para atividades ao ar livre. Essa realidade revela a necessidade de políticas intersetoriais que integrem educação, meio ambiente e acessibilidade, em consonância com o Plano Viver sem Limite (Brasil, 2023) e com os diagnósticos territoriais de Alencar *et al.* (2017) e da Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2023).

Assim, a literatura mostra que os espaços naturais escolares são estratégicos para uma educação ambiental inclusiva e transformadora. Sua efetividade depende da superação de barreiras físicas e culturais, da gestão ambiental participativa e da consolidação de uma pedagogia socioambiental, que una o direito à educação e o direito à natureza como dimensões complementares da cidadania contemporânea.

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A pesquisa caracteriza-se como descritiva e exploratória, com abordagem quali-quantitativa, adequada à complexidade dos fenômenos educacionais e socioambientais investigados. Segundo Creswell e Creswell (2018), os métodos mistos integram dados qualitativos e quantitativos e proporcionam ampla e contextualizada compreensão da realidade. Assim, no estudo, buscou-se mapear e compreender as condições de acessibilidade e inclusão nos espaços naturais escolares, articulando observações empíricas, registros sistemáticos e interpretações teóricas.

O estudo foi realizado no município de Juazeiro do Norte, situado no sul do Ceará, e integrante da Região Metropolitana do Cariri, ao lado de Crato e Barbalha. Reconhecido por sua relevância nos âmbitos cultural, religioso e educacional (Alencar *et al.*, 2017), o município abriga cerca de 280 mil habitantes (IBGE, 2023) e apresenta forte expansão urbana, com desafios de infraestrutura e desigualdades entre bairros centrais e periféricos.

A seleção das escolas baseou-se em critérios de inclusão que priorizaram unidades urbanas com Ensino Fundamental I; alunos com deficiência; e existência de espaços naturais, excluindo unidades rurais, sem matrícula inclusiva, ou em reforma, a fim de representar e analisar as relações entre infraestrutura, práticas pedagógicas e inclusão.

A coleta de dados, entre março e junho de 2025, incluiu visitas *in loco*, observações, registros fotográficos e entrevistas com gestores e docentes do Atendimento Educacional Especializado, sistematizando as informações em fichas baseadas nos critérios de acessibilidade da ABNT NBR 9050 (2020).

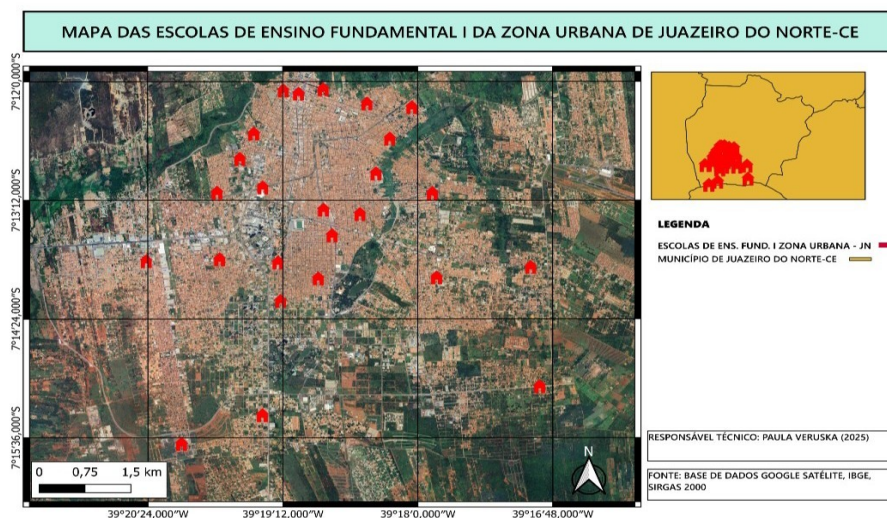
Os dados quantitativos foram tratados no aplicativo Excel e ambiente RStudio, enquanto os qualitativos seguiram a análise de conteúdo (Bardin, 2016), originando três categorias: acessibilidade arquitetônica, uso pedagógico dos espaços naturais e práticas inclusivas. Essa triangulação metodológica (Triviños, 2017) assegurou consistência às análises. A pesquisa foi aprovada pelo Comitê de Ética do Instituto Federal de Educação (IFCE) (Parecer n. 7.606.456) e autorizada pela Secretaria Municipal de Educação, com garantia de sigilo e ética.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

DISTRIBUIÇÃO TERRITORIAL E CARACTERIZAÇÃO GERAL DAS ESCOLAS

O mapeamento contemplou 25 escolas municipais de Ensino Fundamental I localizadas na zona urbana de Juazeiro do Norte/CE, distribuídas entre diferentes bairros e contextos socioambientais. Na Figura 1, é apresentada a distribuição espacial das escolas mapeadas.

Figura 1 - Mapa de distribuição das 25 Escolas Municipais de Ensino Fundamental I da Zona Urbana de Juazeiro do Norte/CE



Fonte: Paula Veruska (responsável técnico) via Base de dados do IBGE; Sirgas, 2000; Google Satélite.

O mapa da Figura 1 demonstra maior concentração de escolas nas áreas centrais do município e distribuição mais dispersa nas zonas periféricas, refletindo desigualdades territoriais e socioambientais que influenciam o acesso e a qualidade dos espaços escolares.

Dessa forma, o mapeamento permitiu identificar padrões de distribuição e uso dos espaços naturais escolares, fornecendo uma base empírica para as análises subsequentes sobre acessibilidade,

inclusão e potencial pedagógico dos ambientes com natureza, no contexto urbano de Juazeiro do Norte/CE.

CONDIÇÕES ESTRUTURAIS E AMBIENTAIS DAS ESCOLAS MAPEADAS

As visitas ocorreram entre os meses de março e junho de 2025, período em que foram aplicados questionários; realizadas observações diretas registros fotográficos e anotações em fichas de campo. A coleta permitiu identificar aspectos relativos à infraestrutura física, conservação ambiental e utilização pedagógica dos espaços naturais, compondo um diagnóstico detalhado das condições estruturais das escolas da rede municipal urbana (Tabela 1).

Tabela 1 – Caracterização geral das escolas mapeadas

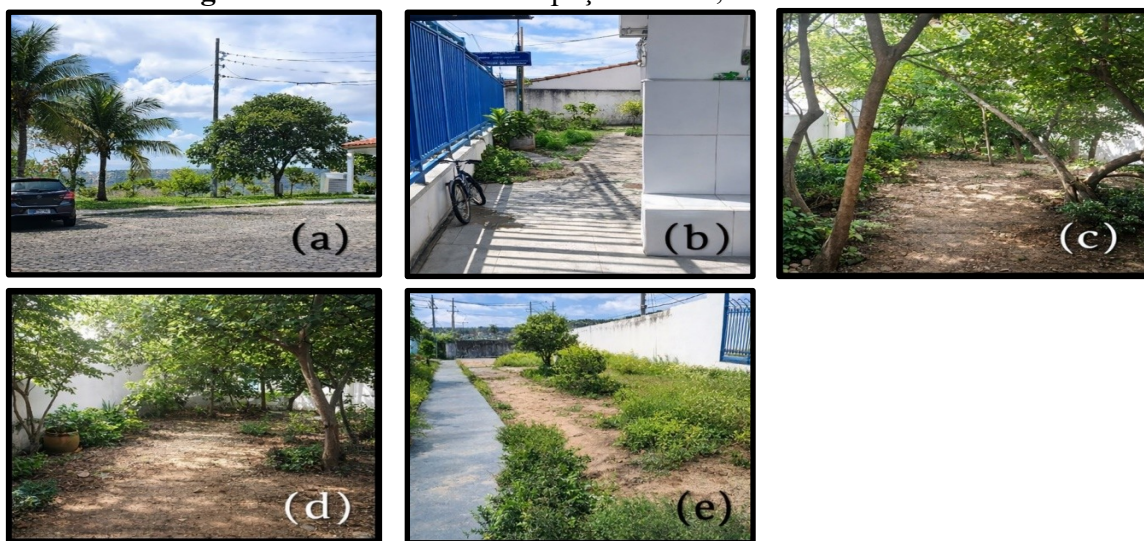
Nº	Escola	Bairro	Espaço Natural	Tipologia do Espaço Natural	Observações
1.	A	Lagoa Seca	Sim	Árvores em espaço aberto	Não há acessibilidade
2.	B	Pio XII	Sim	Jardim	Não há acessibilidade
3.	C	Pio XII	Sim	Horta/Jardim	Não há acessibilidade
4.	D	Limoeiro	Sim	Horta	Não há acessibilidade
5.	E	São José	Sim	Espaço com vegetação espontânea	Não há acessibilidade
6.	F	Frei Damião	Sim	Árvores na entrada	Sem atividades no espaço
7.	G	João Cabral	Sim	Praça com algumas plantas	Sem atividades no espaço
8.	H	Timbaúba	Sim	Árvores na entrada	Sem atividades no espaço
9.	I	Pirajá	Sim	Árvores na entrada	Sem atividades no espaço
10.	J	Salesianos	Sim	Jardim	Sem atividades no espaço
11.	K	Campo Alegre	Não	-	Não há espaços verdes
12.	L	Vila Fátima	Não	-	Não há espaços verdes
13.	M	Salesianos	Não	-	Não há espaços verdes
14.	N	São Miguel	Não	-	Não há espaços verdes
15.	O	Centro	Não	-	Não há espaços verdes

16.	P	Novo Juazeiro	Sim	Espaços com árvores/Pomar	Com atividades no espaço
17.	Q	Triângulo	Sim	Praça /Bosque	Com atividades no espaço
18.	R	Frei Damião	Sim	Jardim/ Pátio com árvores	Com atividades no espaço
19.	S	Salesianos	Sim	Jardim/ Horta medicinal	Com atividades no espaço
20.	T	Centro	Sim	Jardim/ Pomar	Com atividades no espaço
21.	U	Salesianos	Sim	Jardim/ Horta	Com atividades no espaço
22.	V	Tiradentes	Sim	Jardim/Pátio arborizado	Com atividades no espaço
23.	W	Pirajá	Sim	Pátio cimentado com uma árvore	Com atividades no espaço
24.	X	Lagoa Seca	Sim	Espaços com árvores/Jardim	Com atividades no espaço
25.	Y	João Cabral	Sim	Horta	Com atividades no espaço

Fonte: Pesquisa de Campo (Paula Veruska, 2025).

A predominância de escolas com áreas verdes demonstra um potencial significativo para o desenvolvimento de práticas pedagógicas inclusivas em contato com a natureza. Contudo, na análise de campo, observou-se que a maior parte desses espaços ainda se encontra subutilizada ou inacessível, sem acessibilidade arquitetônica e de planejamento pedagógico voltado à inclusão. Esse cenário pode ser observado na Figura 2 que exemplifica escolas com áreas verdes, porém sem condições adequadas de acessibilidade.

Figura 2 - Ambientes com espaços verdes, mas sem acessibilidade



Legenda: (a) Escola A; (b) Escola B; (c) Escola C; (d) Escola D; (e) Escola E
 Fonte: Pesquisa de Campo (Paula Veruska, 2025).

A imagem ainda ilustra o contraste entre a vegetação e a falta de infraestrutura acessível, reforçando o argumento de que ter áreas naturais não garante, por si só, uma realidade inclusiva. Verificou-se que muitos espaços verdes são mantidos espontaneamente por iniciativas individuais, situação semelhante à descrita por Bernardon *et al.* (2014), que apontam a falta de pessoal e manutenção como causas da desativação de hortas escolares.

Observou-se, ainda que dez escolas desenvolvem atividades inclusivas em ambientes naturais. Esses espaços favorecem a convivência, aprendizagem sensorial e integração social, em conformidade com o princípio da igualdade de condições de acesso e permanência na escola, previsto na Constituição Federal (CF, 1988) e na Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência (LBIPD) n. 13.146/2015. As imagens da figura 3 reforçam a categoria de escolas que desenvolvem atividades pedagógicas em seus espaços naturais, promovendo, assim, a inclusão de todas as crianças.

Figura 3 - Escolas com atividades pedagógicas em seus espaços naturais



Legenda: (p) Escola P; (q) Escola Q; (r) Escola R; (s) Escola S; (t) Escola T; Legenda: (u) Escola U; (v) Escola V; (x) Escola X; (y) Escola Y. Fonte: Pesquisa de Campo (Paula Veruska, 2025).

Por outro lado, cinco escolas não apresentam espaços naturais, o que limita as possibilidades de contato com o meio ambiente e restringe vivências pedagógicas inclusivas voltadas à educação ambiental. Outras cinco, embora disponham de áreas verdes, ainda não asseguram condições adequadas de acessibilidade física, contrariando as diretrizes da Lei n. 10.098/2000 e do Decreto n. 5.296/2004. Além disso, outras cinco possuem espaços naturais identificados, mas sem uso pedagógico sistematizado, o que comprova a necessidade de maior integração entre as dimensões ambiental e inclusiva no contexto escolar.

Na imagem da figura 4 mostra-se o grupo das escolas classificadas como “sem espaços naturais”.

Figura 4 - Escolas sem espaços naturais, com falta total de áreas verdes

Legenda: (k) Escola K; (l) Escola L; (m) Escola M; (n) Escola N; (o) Escola O;

Fonte: Pesquisa de Campo (Paula Veruska, 2025)

Esse conjunto de resultados reforça o desafio de transformar os ambientes naturais em territórios educativos acessíveis, capazes de promover aprendizagens significativas, convivência e equidade no cotidiano escolar.

Na figura 5 ilustra-se o conceito de subutilização pedagógica, tornando visível o que o texto analisa em termos quantitativos e normativos da ausência de integração entre espaço natural e prática educativa.

Figura 5 - Escolas com espaços verdes, mas sem atividades pedagógicas associadas

Legenda: (f) Escola F; (g) Escola G; (h) Escola H; (i) Escola I; (j) Escola J.

Fonte: Pesquisa de Campo (Paula Veruska, 2025).

O cenário descrito reforça que, embora exista um número expressivo de escolas com ambientes naturais, a efetiva inclusão, tanto ambiental quanto arquitetônica, ainda encontra barreiras estruturais e pedagógicas. A ampliação de políticas públicas, como as previstas no Plano Viver sem Limite (2011) e no Novo Plano Viver sem Limite (2023), é fundamental para garantir que a acessibilidade se consolide não apenas como adequação física, mas um valor educativo e social que promova o direito à natureza e à aprendizagem para todos.

IDENTIFICAÇÃO E TIPOLOGIA DOS ESPAÇOS NATURAIS

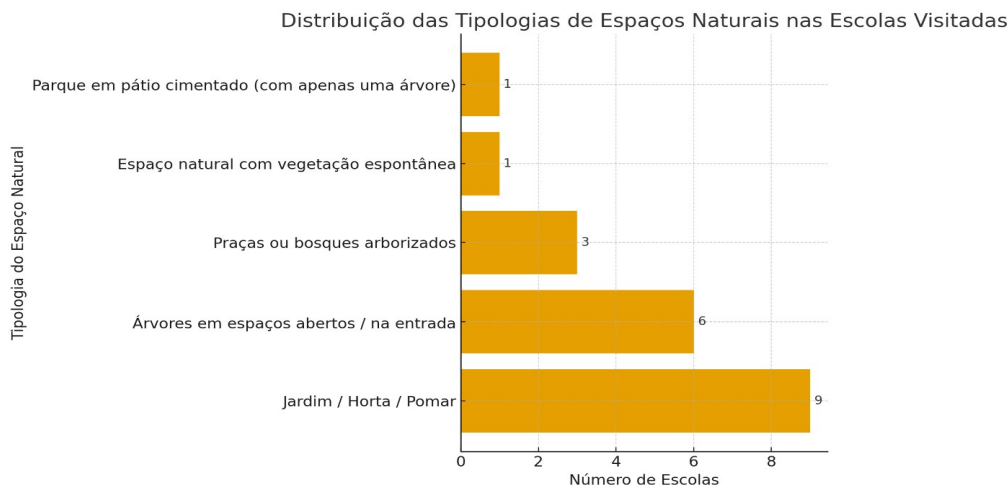
Na Tabela 2, apresenta-se a distribuição das tipologias de espaços naturais identificadas nas escolas, o que permite observar a diversidade de ambientes verdes existentes e seu potencial educativo.

Tabela 2 - Distribuição das tipologias observadas nas escolas visitadas

Tipologia do Espaço Natural	Escolas Correspondentes	Quantidade de Escolas
Jardim / Horta / Pomar	B; C; D; S; T; U; V; X; Y	9
Árvores em espaços abertos / na entrada	A; F; H; I; P; X	6
Praças ou bosques arborizados	G; Q; V	3
Espaço natural com vegetação espontânea	E	1
Parque em pátio cimentado (com apenas uma árvore)	W	1
Total de escolas com áreas verdes	—	20

Fonte: Dados da Pesquisa de Campo (Paula Veruska, 2025).

Essa variedade revela o potencial dos ambientes naturais escolares como espaços de aprendizagem, convivência e inclusão, especialmente quando associados a práticas de educação ambiental e socialização entre crianças com e sem deficiência (Chawla, 2015; Cunha *et al.*, 2022). Na Figura 6, a distribuição de espaços permitiu visualizar a predominância de determinadas configurações ambientais.

Figura 6 - Tipologia dos espaços naturais das escolas visitadas

Fonte: Dados da Pesquisa de Campo (Paula Veruska, 2025).

Constata-se que nove escolas possuem jardins, hortas ou pomares, tipologias mais associadas à educação ambiental, as quais, quando planejadas de formas acessível e participativa, promovem aprendizagem sensorial, desenvolvimento motor e socialização, conforme a Lei n. 9.795/1999.

Em seguida, observa-se que seis escolas possuem árvores em espaços abertos, ou na entrada, que cumprem funções de sombreamento, embelezamento e convivência, ainda que nem sempre integradas à prática pedagógica. Já três apresentam praças ou bosques arborizados. Por fim, observa-

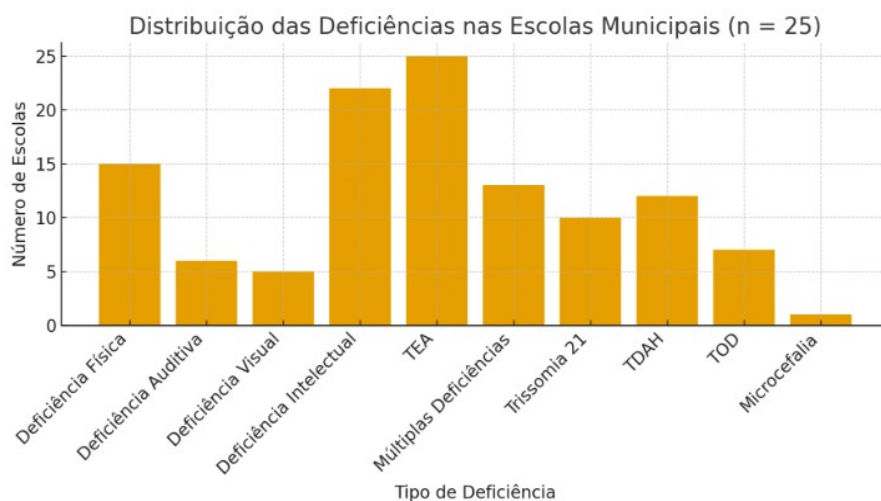
se que uma das escolas dispõem de vegetação espontânea e uma possui parques cimentados com apenas uma árvore. Esses resultados indicam que, embora a maioria das escolas já disponha de áreas naturais, persistem desafios relacionados à manutenção, acessibilidade e prática pedagógica nesses espaços. Esse cenário contraria os princípios da Lei n. 10.098/2000, que dispõe sobre a promoção da acessibilidade, e na LBI (Lei n. 13.146/2015), que garante o direito ao uso equitativo dos espaços públicos.

CONDIÇÕES DE ACESSIBILIDADE E PERFIL DOS ESTUDANTES COM DEFICIÊNCIA

A análise das 25 escolas municipais urbanas de Juazeiro do Norte/CE revelou um panorama heterogêneo, em relação à presença de estudantes com deficiência e às condições de acessibilidade física e pedagógica. As observações diretas e os registros de campo demonstraram que as instituições acolhem alunos com múltiplas deficiências, as quais exigem diferentes tipos de apoio, adaptações e metodologias inclusivas.

O gráfico da Figura 7 demonstra com mais clareza, a distribuição dos tipos de deficiências nas escolas mapeadas.

Figura 7 - Distribuição das deficiências nas escolas municipais de Juazeiro do Norte/CE



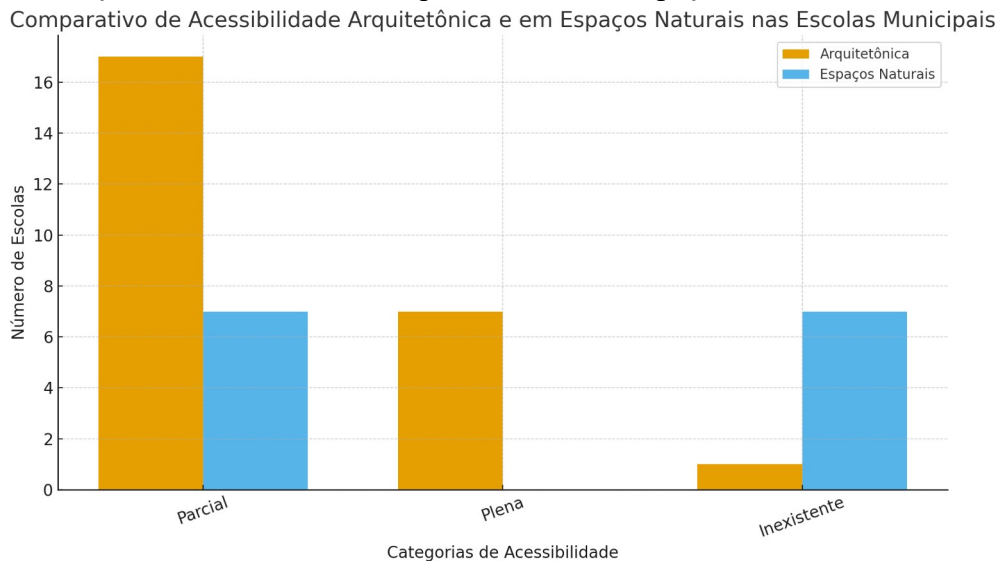
Fonte: Dados da Pesquisa de Campo (Paula Veruska, 2025).

Os dados demonstram que o Transtorno do Espectro Autista (TEA) é a condição mais recorrente, seguido de deficiência intelectual. Em seguida, destacam-se a Deficiência Física, as Múltiplas Deficiências, o TDAH e a Trissomia 21. Porém, a significativa presença de estudantes com

deficiência não se traduz, necessariamente, em infraestrutura. As visitas permitiram observar contrastes marcantes entre a inclusão pedagógica e as barreiras físicas, sobretudo nos espaços naturais escolares que nem sempre estão adaptados para o uso igualitário.

Assim observado, na Figura 8, são apresentadas as condições de acessibilidade identificadas durante o mapeamento, considerando rampas, caminhos pavimentados, corrimãos, piso tátil e sinalização.

Figura 9 - Condições de acessibilidade arquitetônica e em espaços naturais das escolas mapeadas



Fonte: Dados da Pesquisa de Campo (Paula Veruska, 2025).

As condições estruturais demonstram que poucas escolas possuem acessibilidade plena. A maioria apresenta acessibilidade parcial, geralmente restrita às áreas internas, enquanto os pátios e jardins, fundamentais para a educação ambiental e o convívio entre as crianças, dependem de adaptações manuais realizadas por professores, funcionários e alunos. Outras realizam ajustes improvisados, ou não possuem qualquer adaptação formal.

Essas ações comunitárias revelam uma forma de inclusão colaborativa, em que os comprometimentos pedagógico e coletivo substituem a ausência de políticas estruturais consistentes. Como destaca Ainscow (2020), a inclusão escolar não se limita à eliminação de barreiras físicas, mas requer transformações cultural e institucional voltadas à participação plena de todos os estudantes.

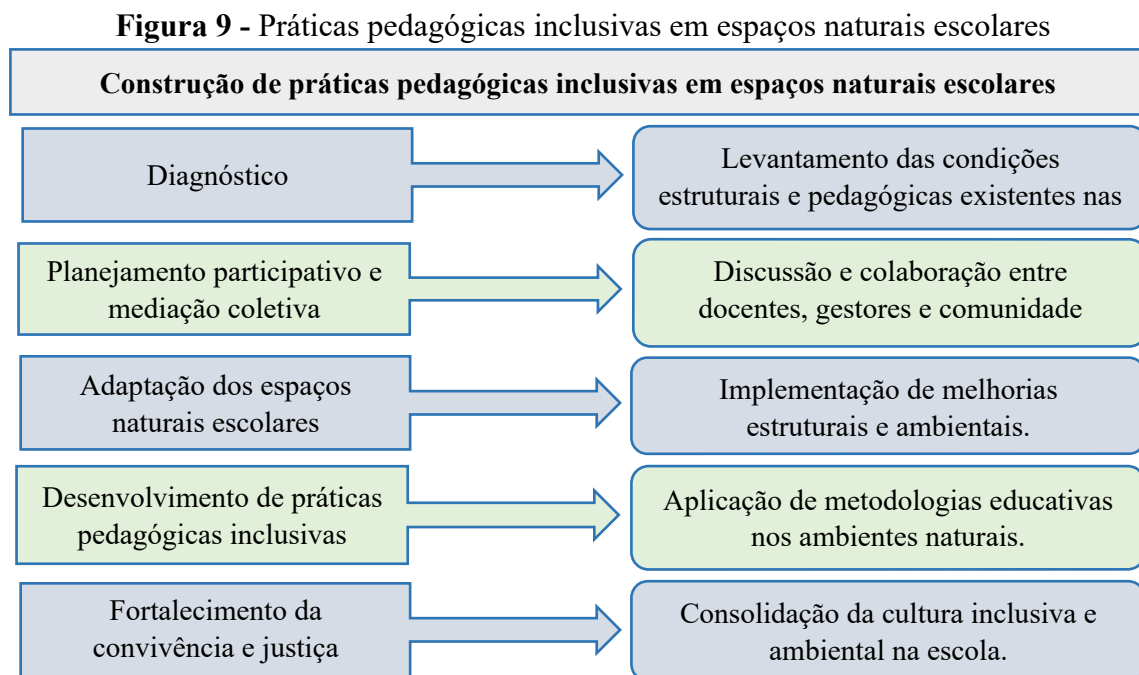
Esses resultados confirmam a análise de Sasaki (2006) e Carvalho (2017), para os quais a acessibilidade deve integrar dimensões arquitetônicas, pedagógicas e atitudinais, articulando esforços da gestão, dos docentes e da comunidade.

Em síntese, o diagnóstico realizado nas escolas municipais de Juazeiro do Norte/CE revela avanços pontuais, mas também desafios persistentes para consolidar a efetiva inclusão socioambiental.

PRÁTICAS PEDAGÓGICAS INCLUSIVAS E JUSTIÇA SOCIOAMBIENTAL NOS ESPAÇOS NATURAIS ESCOLARES

A análise das escolas demonstrou diferentes realidades em relação à presença e ao uso pedagógico dos espaços naturais. Enquanto parte das instituições desenvolve atividades educativas nesses ambientes, outra parcela não dispõe de áreas verdes estruturadas ou apresenta espaços sem manutenção e sem acessibilidade. Essa diversidade permite estabelecer uma analogia entre três cenários: escolas que utilizam seus espaços naturais de forma pedagógica; escolas que possuem áreas verdes, mas não as utilizam; e escolas que não possuem qualquer desses ambientes.

Esses contrastes comprovam o desafio da inclusão socioambiental no contexto urbano, em que desigualdades territoriais e estruturais influenciam diretamente a efetivação do direito ao ambiente e à aprendizagem. Nesse contexto, o fluxograma da Figura 9 representa o processo de construção de práticas pedagógicas inclusivas em espaços naturais escolares, destacando as etapas de transformação desses ambientes em territórios de convivência e equidade.



Fonte: Elaborado pelas autoras com base em Booth e Ainscow (2016), Freire (1996), Gadotti (2009), Brodin e Lindstrand (2006), Chawla (2015), Acselrad (2002), Santos e Cordeiro (2023) e ABNT NBR 9050 (2020).

No modelo, propõe-se que a construção de práticas inclusivas comece pelo diagnóstico das condições estruturais e pedagógicas, seguido do planejamento participativo e da adaptação dos espaços

naturais com metodologias inclusivas, cujo resultado seja o fortalecimento da convivência e justiça socioambiental como apresentado na Tabela 3.

Essa perspectiva converge com Brodin e Lindstrand (2006), ao afirmarem que o contato acessível com a natureza amplia a aprendizagem e o desenvolvimento, e com Cosco e Moore (2019), que destacam que ambientes naturalizados inclusivos promovem o envolvimento e a participação equitativa de todas as crianças.

Tabela 3 - Práticas pedagógicas inclusivas e princípios de justiça socioambiental

Aspectos	Descrição e Fundamentos Teóricos	Autores de Referência
Ressignificação do espaço natural	O ambiente natural escolar é compreendido como espaço de pertencimento e desenvolvimento integral, superando a função recreativa e assumindo papéis pedagógico e social	Brodin; Lindstrand (2006); Cosco; Moore (2019)
Práticas pedagógicas acessíveis	O contato com a natureza, mediado por metodologias inclusivas, amplia os desenvolvimentos cognitivo, motor e socioemocional das crianças	Brodin; Lindstrand (2006); Anaby <i>et al.</i> (2013)
Educação ao ar livre inclusiva	Valoriza o envolvimento ativo e equitativo de todas as crianças em atividades que estimulam cooperação, sensorialidade e consciência ambiental	Chawla (2015); Cunha <i>et al.</i> (2022)
Justiça socioambiental e direito ao espaço	O acesso equitativo aos espaços naturais é interpretado como um direito ambiental e educacional, reforçando a dimensão ética da inclusão	Acselrad (2002); Santos; Cordeiro (2023)

Fonte: Elaborada pelas autoras com base em: Brodin; Lindstrand (2006); Cosco; Moore (2019); Anaby *et al.* (2013); Chawla (2015); Cunha *et al.* (2022); Acselrad (2002); Santos; Cordeiro (2023).

Essa perspectiva reforça que ambientes naturais inclusivos favorecem a aprendizagem, o desenvolvimento e a participação equitativa de todas as crianças (Brodin; Lindstrand, 2006; Cosco; Moore, 2019).

As figuras e os quadros demonstram que a inclusão socioambiental nas escolas depende da acessibilidade física, da intencionalidade pedagógica e do compromisso coletivo, consolidando a educação ambiental inclusiva como via para uma escola de equidade, cidadania e pertencimento.

CONCLUSÃO

O mapeamento das escolas municipais urbanas de Juazeiro do Norte/CE evidenciou um cenário heterogêneo quanto à efetivação da acessibilidade e da inclusão em espaços escolares com a natureza. Embora a maioria das unidades possua ambientes como hortas, pomares, jardins ou pátios arborizados, grande parte desses espaços apresenta manutenção precária, acessibilidade parcial ou inexistente e uso pedagógico restrito. Essa realidade reforça a necessidade de políticas públicas mais efetivas para integrar infraestrutura, inclusão e sustentabilidade no ambiente escolar.

As análises mostraram que apenas dez escolas desenvolvem práticas pedagógicas inclusivas em seus espaços naturais, enquanto as demais permanecem sem articulação entre educação ambiental e práticas de inclusão. Persistem barreiras físicas, pedagógicas e culturais, que limitam o direito das crianças com deficiência à convivência plena e ao contato com a natureza. Apesar disso, iniciativas comunitárias e docentes, observadas em algumas escolas, demonstram o potencial transformador das ações locais e o papel da escola como território de justiça socioambiental.

Conclui-se que a acessibilidade em ambientes naturais escolares deve ser reconhecida como um direito socioambiental e educativo, cuja efetivação depende do envolvimento coletivo de gestores, professores e comunidade. Entre as estratégias necessárias, estão a requalificação ambiental acessível, a formação continuada de docentes em educação ambiental inclusiva e o monitoramento permanente das condições de acessibilidade das escolas. Somente por meio dessa integração será possível consolidar espaços verdadeiramente inclusivos, sustentáveis e promotores do bem-estar e da cidadania de todas as crianças.

REFERÊNCIAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9050**: acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamento urbanos. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

ABREU, M. R. de; PREZOTO, H. H. S. O papel da educação ambiental no ensino inclusivo. **Revista Biológica**, v. 2, n. 1, 2021.

ACSELRAD, H. **Justiça ambiental e construção social do risco**. Rio de Janeiro: Relume Dumará, 2002.

AINSCOW, M. Lutando pela equidade na educação: o legado de Salamanca. **Education Sciences**, v. 10, n. 9, p. 1–13, 2020.

AINSCOW, M. Promoção da inclusão e da equidade na educação: lições de experiências internacionais. **Nordic Journal of Studies in Educational Policy**, v. 6, n. 1, p. 7–16, 2020.

ALENCAR, C. *et al.* **Juazeiro do Norte**: cidade da gente - estudos regionais: ensino fundamental II. Fortaleza: Didáticos Editora, 2017. ISBN 978-8568157-09-1

BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. Lisboa: Edições 70, 2016.

BERNARDON, R. *et al.* Hortas escolares no Distrito Federal, Brasil: experiências com jardins em escolas públicas. **Revista de Nutrição**, Campinas, v. 27, n. 2, p. 205-216, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/1415-52732014000200009>

BOOTH, T.; AINSCOW, M. **Índice de inclusão**: desenvolvendo a aprendizagem e a participação nas escolas. 4. ed. Bristol: Centre for Studies on Inclusive Education, 2016.

BRASIL.[Constituição (1988)]**Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF: Senado Federal, 1988.

BRASIL. **Novo plano viver sem limite**. Brasília, DF: Ministério dos Direitos Humanos e da Cidadania, 2023.

BRASIL. Lei n. 10.098, de 19 de dezembro de 2000. Estabelece normas gerais e critérios básicos para a promoção da acessibilidade das pessoas portadoras de deficiência ou com mobilidade reduzida. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 20 dez. 2000.

BRASIL. Lei n. 13.146, de 6 de julho de 2015. Institui a Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 7 jul. 2015.

BRASIL. Lei n. 9.795, de 27 de abril de 1999. Dispõe sobre a educação ambiental, institui a Política Nacional de Educação Ambiental e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 28 abr. 1999.

BRODIN, J.; LINDSTRAND, P. Educação ao ar livre para todos: abordagens pedagógicas inclusivas para a natureza. **International Journal of Inclusive Education**, v. 10, n. 4, p. 371–389, 2006.

CARNAVAL, M. M. Desigualdades de infraestrutura escolar e seus efeitos na qualidade da educação básica brasileira. **Educação e Pesquisa**, São Paulo, v. 47, e237913, p. 1–24, 2021. DOI: [10.1590/S1678-4634202147237913](https://doi.org/10.1590/S1678-4634202147237913).

CARVALHO, R. E. **Inclusão**: o paradigma da diversidade. São Paulo: Cortez, 2017.

CHAWLA, L. Benefícios do contato com a natureza para crianças. **Journal of Planning Literature**, v. 30, n. 4, p. 433-452, 2015. DOI: [10.1177/0885412215595441](https://doi.org/10.1177/0885412215595441).

CRESWELL, J. W.; CRESWELL, J. D. **Projeto de pesquisa**: abordagens qualitativa, quantitativa e de métodos mistos. 5. ed. Thousand Oaks: Sage Publications, 2018.

CUNHA, A. A. *et al.* A conexão com a natureza em parques urbanos brasileiros e sua contribuição para o bem-estar da população e para o desenvolvimento infantil. **Sociedade & Natureza**, v. 34, e65411, 2022. DOI: [10.14393/SN-v34-2022-65411](https://doi.org/10.14393/SN-v34-2022-65411).

DUARTE, M. R. T. Condições de infraestrutura das escolas brasileiras: uma realidade carente. **Education Policy Analysis Archives**, v. 27, n. 149, p. 1-29, 2019. DOI: <https://doi.org/10.14507/epaa.27.3536>

FREIRE, P. **Pedagogia da autonomia**: saberes necessários à prática educativa. São Paulo: Paz e Terra, 1996.

GADOTTI, M. **Educação e sustentabilidade**: um novo paradigma educacional. São Paulo: Cortez, 2009.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Censo Demográfico 2022: Resultados do universo*. Rio de Janeiro: IBGE, 2023. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/ce/juazeiro-do-norte.html> .Acessado em: 30 de maio de 2025

INSTITUTO ALANA; MAPBIOMAS. **O acesso ao verde e a resiliência climática nas escolas das capitais brasileiras**. São Paulo: Instituto Alana, 2024. Disponível em: <https://alana.org.br/pesquisa-verde-nas-escolas/> . Acesso em: 22 de junho de 2025.

JUAZEIRO DO NORTE (CE). **Núcleo de educação ambiental implanta hortas em escolas municipais**. Juazeiro do Norte: Prefeitura Municipal, 2023. Disponível em: <https://www.juazeironorte.ce.gov.br/informa/26414/n-cleo-de-educa-o-ambiental-implanta-hortas-em-esc>. Acesso em: 30 out. 2025.

LIU, H. *et al.* As relações entre parques urbanos, atividade física dos residentes e benefícios para a saúde mental: um estudo de caso de Pequim, China. **Journal of Environmental Management**, v. 190, p. 223–230, 2017. DOI: 10.1016/j.jenvman.2016.12.058

LIU, Y.; ZHANG, J.; LI, X. A relação entre espaços verdes urbanos e a atividade física e a saúde mental das crianças: uma revisão sistemática. **Landscape and Urban Planning**, v. 197, p. 103773, 2020. DOI: 10.1016/j.landurbplan.2020.103773

MINAYO, M. C. S. **O desafio do conhecimento**: pesquisa qualitativa em saúde. 14. ed. São Paulo: Hucitec, 2012.

ONU. ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Objetivos do desenvolvimento sustentável**: ODS 4 e ODS 11. Nova York, 2015.

PREFEITURA MUNICIPAL DE JUAZEIRO DO NORTE. **Informações institucionais**. Juazeiro do Norte/CE, 2025.

PRETTY, J.; PEACOCK, J.; SELLENS, M.; GRIFFIN, M. The Mental and Physical Health Outcomes of Green Exercise. **International Journal of Environmental Health Research**, v. 15, n. 5, p. 319-337, 2005. DOI: 10.1080/09603120500155963.

SANTOS, L. C. de; CORDEIRO, I. J. D. Inclusão e acessibilidade de pessoas com deficiência em espaços naturais: perspectivas e possibilidades em unidades protegidas do Recife/PE. **Contribuciones a las Ciencias Sociales**, v. 16, n. 4, p. 1694–1714, 2023.

SASSAKI, R. K. **Inclusão**: construindo uma sociedade para todos. Rio de Janeiro: WVA, 2006.

TODOS PELA EDUCAÇÃO. **Anuário brasileiro da educação básica**: Capítulo 12 – Infraestrutura escolar. São Paulo: Todos pela Educação, 2024. Disponível em: <https://anuario.todospelaeducacao.org.br/2024/capitulo-12-infraestrutura.html>. Acesso em: 30 out. 2025.

SOBRE AS AUTORAS DO CAPÍTULO

Nome: Paula Veruska Alexandre de Lima

Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE).

Minicurrículo: Graduada em Pedagogia pela Universidade Estadual do Acaraú (UVA) e em Letras pela Faculdade Estácio. Especialista em Ensino Infantil e Fundamental pela Faculdades Integradas de Patos (FIP). Professora da rede municipal de Crato/CE e Juazeiro do Norte/CE. Mestranda pelo Programa de Pós-graduação em Meio Ambiente (PPGMA), IFCE, *Campus* Juazeiro do Norte. Pesquisa acessibilidade e inclusão escolares.

E-mail: paula.veruska67@aluno.ifce.edu.br

Nome: Joamira Pereira de Araújo

Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE).

Minicurrículo: Doutora em Educação Física pelo Programa Associado de Pós-Graduação em Educação Física da Universidade de Pernambuco (UPE) e da Universidade Federal da Paraíba (UFPB). Professora de Educação Física no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba (IFPB) *Campus* João Pessoa e professora do Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente (PPGMA) do IFCE, *Campus* Juazeiro do Norte,

E-mail: joamira@ifce.edu.br

Nome: Mônica Maria Siqueira Damasceno

Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE)

Minicurrículo: Doutora em Ciências: Ambiente e Desenvolvimento (Universidade Vale do Taquari - Univates). Pós-doutorado na Universidade de Aveiro (Portugal). Mestre em Saúde da Infância e da Adolescência. Professora do IFCE, *Campus* Juazeiro do Norte. Docente do PPGMA.

E-mail: siqueiramonica@ifce.edu.br

CAPÍTULO 5

ROMARIAS E MEIO AMBIENTE – UMA ANÁLISE SOBRE O CONTEXTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS EM JUAZEIRO DO NORTE/CE

*Cícera Vanessa Lins Ferreira
Mira Raya Paula de Lima*

INTRODUÇÃO

A sociedade atual sofre com as consequências da grave crise ambiental e produção de resíduos, cujos impactos negativos para a natureza e saúde humana aumentaram, a partir do fenômeno da urbanização (Acselrad, 2010). Nesse contexto, no levantamento feito em 2022 a Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente (Abrema) identificou que mais de 30 milhões de toneladas de lixo não tiveram destinação correta, no Brasil (ABREMA, 2023).

Esse fator acabou gerando a contaminação dos ecossistemas, em especial do solo, das águas, do ar e a proliferação de vetores, como insetos e roedores capazes de multiplicar doenças. Além disso, observam-se, no mundo, contextos voltados ao racismo ambiental, intrinsecamente relacionado à existência dos lixões (Jesus, 2022).

Ainda de acordo com o mesmo Censo de 2022, da Abrema, 61,1% dos resíduos, que equivalem a aproximadamente 44 milhões de toneladas de rejeitos, tiveram adequada disposição final, no país (ABREMA, 2023). Isso significa que, de alguma forma, há um esforço para a melhoria do gerenciamento de resíduos e a expectativa é que, com o decorrer do tempo, a situação possa evoluir.

A gestão de resíduos sólidos aponta características que trazem em sua bagagem grandes desafios para o mundo todo, os quais acabam afetando a sustentabilidade em seus três pilares: ambiental, social e econômico (Ikhlayel, 2018; Purvis; Mao; Robinson, 2018). O Brasil, por exemplo, enfrenta inúmeros desafios, no que concerne ao gerenciamento de resíduos sólidos (Szigethy; Antenor, 2020).

Para superar a problemática dos resíduos sólidos em questão, são essenciais abordagens robustas, que tratem de políticas públicas eficazes; investimentos em infraestrutura; mudanças comportamentais; e educação ambiental. Estratégias voltadas à reciclagem e reutilização, a efetivação de sistemas de coleta seletiva, a erradicação de lixões, e a construção de aterros sanitários eficientes, são necessárias para uma gestão mais sustentável dos resíduos. Afinal, para que a gestão de resíduos sólidos seja sustentável, é necessário que possam ser recuperados, reciclados e reutilizados, e não acumulados (Bello; Al-Ghouti; Abu-Dieyeh, 2022). De acordo com Pereira e

Curi (2013, p.169),

a disposição inadequada dos resíduos sólidos urbanos corrobora para o aumento da degradação ambiental, pois é sabido que estes resíduos dispostos de maneira inadequada causam, sob o ponto de vista ambiental, a poluição do solo, do ar e das águas subterrâneas, através da emissão de gases e do chorume provenientes da decomposição da matéria orgânica.

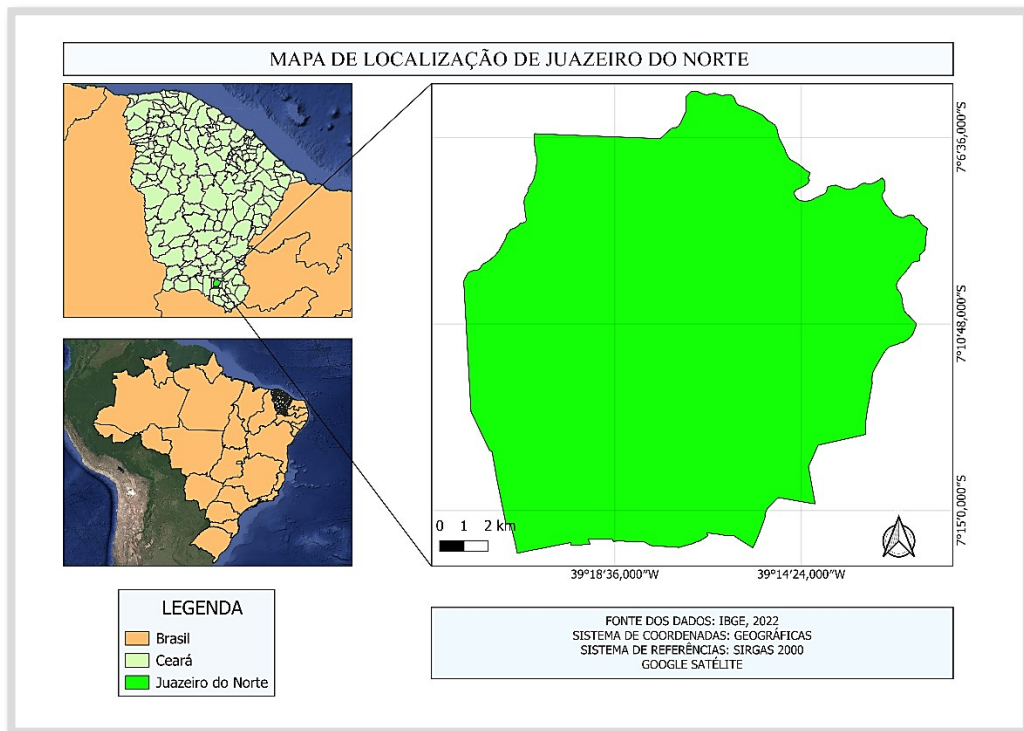
Nesse sentido, é necessário um olhar mais aprofundado sobre as características e os processos que denotam as atividades destinadas ao gerenciamento de resíduos e seus resultados.

Segundo Rodrigues *et al.* (2018), é importante, diante dessa perspectiva, direcionar os olhares à gestão pública relacionada com a gestão de resíduos sólidos, pois a administração municipal detém a responsabilidade de vislumbrar o desenvolvimento de seus direcionamentos, processos e estratégias, focando a energia no crescimento de cidades inteligentes e sustentáveis. Ante o exposto, possíveis alternativas podem ser adotadas para o desenvolvimento do município.

Em consonância com o panorama da Abrema (2023), sobre o Censo 2022, a coleta de resíduos nas regiões do país em parâmetro comparativo, as Regiões Sul e Sudeste mantiveram melhor desempenho do que a média nacional, pois mais de 70% dos resíduos tiveram adequada destinação final (aterros sanitários), enquanto o Centro-Oeste registrou apenas 43,6%, e as Regiões Norte e Nordeste menos de 38%, portanto, abaixo da média nacional.

Nesse sentido, em abrangência estadual, “O Ceará ainda enfrenta desafios relevantes na gestão de resíduos sólidos, como o encerramento de lixões, a redução do envio a aterros sanitários, o aumento das taxas de reciclagem e a incorporação de tecnologias para valorização material e energética” (SCIDADES, 2025, p. 1). Desafios que precisam ser superados.

Para além das questões apontadas, a cidade de Juazeiro do Norte, localizada no estado do Ceará (Figura 1), com cerca de 287 mil habitantes, de acordo com a Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022), é marcada por sua identidade turística e de fé, por parte da população local e de seus visitantes.

Figura 1 – Mapa de localização de Juazeiro do Norte/CE

Fonte: Arquivo pessoal.

O fenômeno da romaria é tido como referência, em peregrinação religiosa, como forma da expressão de fé e devoção. A romaria está vinculada a contextos espirituais e religiosos com destino para locais consagrados e venerados. Dessa forma, pessoas viajam, tanto em grupo quanto individualmente, com suas devoções, para visitar locais sagrados, como igrejas, basílicas, santuários (Sanchis, 2006).

O padre Cícero Romão Batista, por exemplo, é conhecido por sua referência religiosa e o marco do Milagre da Hóstia, ministrada por ele à beata Maria Madalena do Espírito Santo de Araújo. Esse marco colaborou para a ocorrência da primeira romaria, em Juazeiro do Norte, em julho de 1889, na festa do Precioso Sangue de Cristo. A romaria foi dirigida por monsenhor Monteiro, que comunicou o milagre (Braga, 2007). Desde então, o município recebe milhares de pessoas para suas romarias e tornou-se referência em cultura e fé, pois suas festividades religiosas, inclusive as romarias, tornaram-se muito populares em todo o Brasil .

O elevado número de visitantes, portanto, acaba impactando diretamente na geração de resíduos sólidos. Considerado esse cenário, é de interesse social a busca por alternativas que possam mitigar esses impactos.

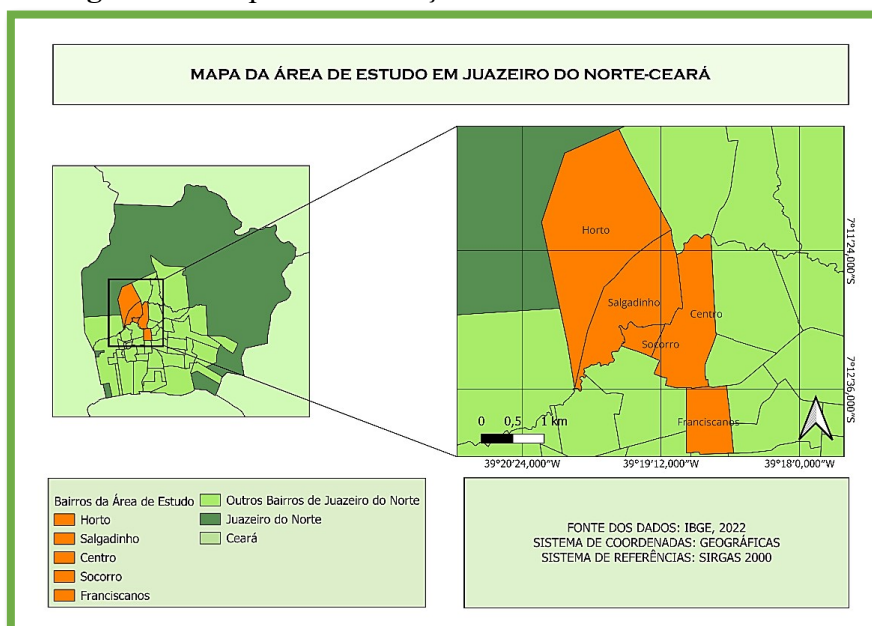
Neste trabalho, delineiam-se os seguintes objetivos: Analisar se há conhecimento sobre a coleta seletiva, por parte dos participantes deste estudo, e averiguar os aspectos que beneficiam ou dificultam a utilização da coleta seletiva durante os períodos sazonais de romarias.

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este trabalho é considerado de natureza aplicada, com caráter de abordagens qualitativa e quantitativa. O método utilizado abrangeu a aplicação de 90 questionários, com a inclusão de homens e mulheres, com idades acima de 18 anos, da população local e de visitantes da cidade de Juazeiro do Norte/CE.

A área de estudo definida, conforme representado na Figura 2, abrangeu cinco bairros de Juazeiro do Norte/CE (Socorro, Franciscanos, Centro, Salgadinho e Horto), locais que apresentam o maior índice de movimentação de pessoas durante os períodos sazonais de romarias que ocorrem no município.

Figura 2 – Mapa de localização dos bairros da área de estudo



Fonte: Arquivo pessoal.

Antes de iniciar a aplicação dos questionários, foi necessário obter a Avaliação do Comitê de Ética para aprovar a proposta, e aplicar os questionários aos participantes. Cada questionário foi acompanhado do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), conforme orientações do

Comitê de Ética. Os questionários elencaram pontos voltados aos resíduos sólidos, ao meio ambiente e afins.

Os questionários foram ofertados em três das principais romarias de Juazeiro do Norte/CE: Memória da Morte do Padre Cícero (20 de julho de 2025); Nossa Senhora das Dores (10 a 15 de setembro de 2025); e Finados (29 de outubro a 2 de novembro de 2025). As datas de cada romaria foram confirmadas segundo a Lei n. 16.927, de 9 de julho de 2019 (Diário Oficial de 10 de julho de 2019), (Ceará, 2019).

Na Tabela 1 está representado o período da aplicação dos questionários e a quantidade aplicada por romaria. Somando-se as três romarias, o público da pesquisa totalizou 90 pessoas entrevistadas (comunidade local e visitantes do município).

Tabela 1 – Organização do quantitativo de questionários aplicados por romaria e seus respectivos períodos de aplicação

Nº	Romarias	Ano	Período da Aplicação dos Questionários	Quantidade de Questionários Aplicados por Romaria
1	Memória da Morte do Padre Cícero	2025	17 a 19 de julho de 2025	30 Questionários
2	Nossa Senhora das Dores	2025	10 a 12 de setembro de 2025	30 Questionários
3	Finados	2025	29 a 31 de outubro de 2025	30 Questionários

Fonte: Dados da pesquisa.

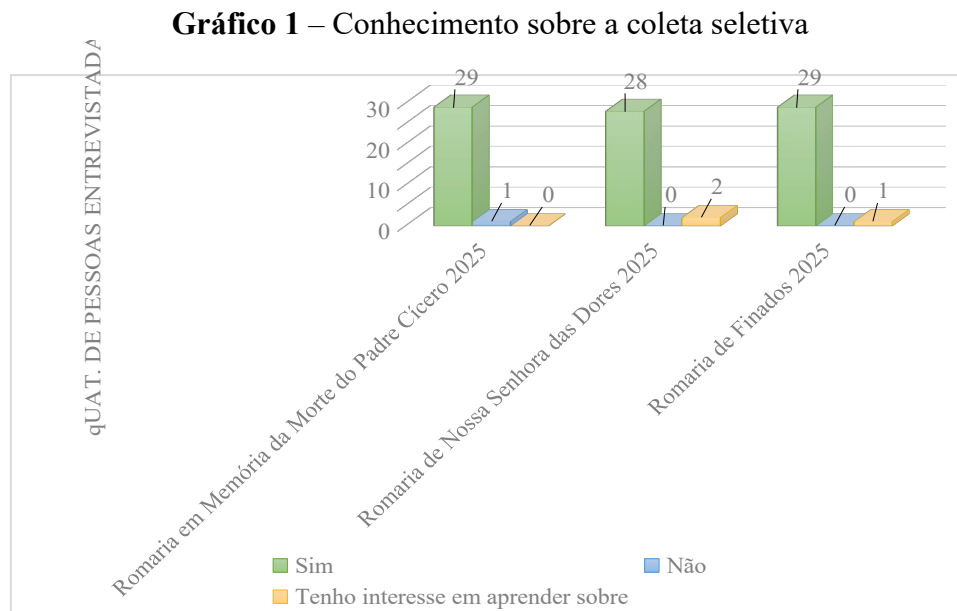
Os dados colhidos a partir da aplicação dos questionários, foram averiguados e interpretados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As romarias de Juazeiro do Norte/CE são, em sua essência, a composição de muitos fatores, sejam eles sociais, econômicos e ambientais, e, partindo desse viés, o conhecimento sobre fatores ambientais ganha força, principalmente quando há questões voltadas ao conhecimento da população sobre as alternativas e ferramentas direcionadas ao adequado gerenciamento de resíduos sólidos.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei n. 12.305/2010) apresenta, em seu conteúdo, algumas alternativas que podem ser utilizadas para mitigar os impactos ambientais, são elas: a Coleta Seletiva, a Logística Reversa e a Educação Ambiental (Brasil, 2010).

Nesse sentido, na análise das informações colhidas pelos questionários, foi possível detectar que a maioria dos participantes tem conhecimento sobre a Coleta Seletiva, conforme se apresenta no (Gráfico 1).



Fonte: Dados da pesquisa.

Segundo Jacobi (2003 p. 198), “A educação ambiental deve ser vista como um processo de permanente aprendizagem que valoriza as diversas formas de conhecimento e forma cidadãos com consciência local e planetária”. E, de fato, quando as pessoas têm conhecimento sobre o seu papel na sociedade, principalmente como cidadão imbuído de consciência ambiental, já é um ponto positivo.

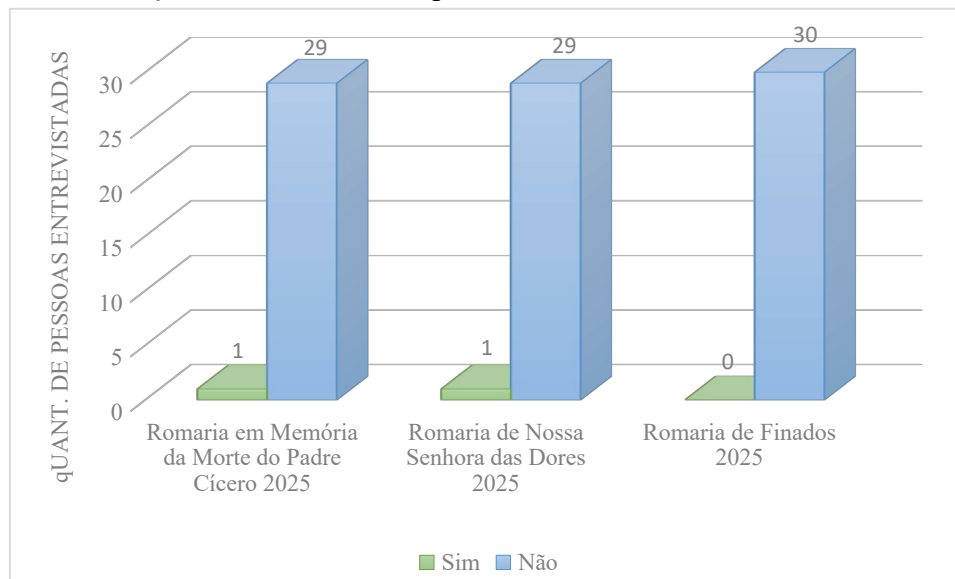
As iniciativas relacionadas à Coleta Seletiva proporcionam a participação cidadã, além do envolvimento da comunidade no tocante à conscientização pública sobre a gestão de resíduos (Gutberlet, 2016).

No entanto, para obter um excelente desempenho ambiental, as relações não necessitam somente do conhecimento da sociedade, embora seja fundamental. Mas devem incluir também as parcerias com as instituições públicas e particulares, as políticas públicas eficientes, dentre outros aspectos importantes (Marx, 2019).

Partindo dessa vertente, outra questão interessante e de importante análise é se o público local e visitante de Juazeiro do Norte/CE utilizou a Coleta Seletiva para o descarte de resíduos, durante toda a romaria, e o resultado é que a maioria das pessoas não utilizou essa prática para o descarte de seus materiais, conforme representado no (Gráfico 2).

Esse resultado indica uma série de fatores, dentre eles, sobre aspectos voltados a disposição de lixeiras.

Gráfico 2 – Utilização da coleta seletiva para o descarte de resíduos durante toda a romaria



Fonte: Dados da Pesquisa.

Segundo Rada *et al.* (2018), a Coleta Seletiva é considerada uma alternativa estratégica em um modelo de gestão de resíduos. No entanto, durante o período da aplicação dos questionários, observou-se uma quantidade maior de lixeiras comuns dispostas nos ambientes públicos, e, por conseguinte, as pessoas acabavam utilizando-as em sua maioria.

Ainda durante a aplicação dos questionários das primeiras romarias (Romaria em Memória da Morte do Padre Cícero e Romaria de Nossa Senhora das Dores), percebeu-se, na análise observacional, que os bairros da área de estudo se encontravam mais limpos, quando comparados ao contexto da terceira romaria (Romaria de Finados) que é considerada, pela Prefeitura Municipal de Juazeiro do Norte (2025), “um dos maiores eventos de fé do Nordeste”.

Nesse sentido, os resultados indicaram que, embora o público participante tenha conhecimento sobre a Coleta Seletiva, a maioria dos entrevistados não utilizou as lixeiras destinadas, tendo em vista que o quantitativo de lixeiras comuns é maior nos bairros da área de estudo. Um exemplo que pode ser mencionado é a Praça Padre Cícero, que está localizada no Centro de Juazeiro do Norte/CE, e é a mais conhecida entre a população local e a visitante, nela, há apenas à disposição de lixeiras comuns, conforme apresentado na (Figura 3).

O fator de geração dos resíduos sólidos está presente além de Juazeiro do Norte, pois “ a geração dos diversos tipos de resíduos é uma realidade e o seu crescimento é uma realidade, não somente no Brasil”(Silva; Fugii; Santoyo, 2023, p. 664). Nesse sentido, Dias (2012) afirma que destinar adequadamente os resíduos sólidos, no Brasil, é um desafio de domínio coletivo e que há uma relação direta entre geração de resíduos e desenvolvimento econômico.

Figura 3 – Lixeira comum disposta na Praça Padre Cícero

Fonte: Arquivo pessoal.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste estudo, identificou-se que as ações de descarte de resíduos sólidos nas romarias apresentam pontos que ainda devem ser melhorados, principalmente no tocante ao uso da Coleta Seletiva. A análise dos dados mostrou que há o uso constante de lixeiras comuns, e isso dificulta o processo de separação dos materiais recicláveis. Esses resultados intensificam a necessidade de repensar como deve ser o gerenciamento dos resíduos durante os eventos religiosos que concentram grande quantidade de pessoas.

Para além das questões apontadas, a ausência de lixeiras da Coleta Seletiva em lugares nos quais o fluxo de pessoas é maior, compromete a eficiência dos processos de separação de materiais recicláveis. O descarte de resíduos sólidos nas lixeiras comuns pode ocasionar a contaminação de potenciais resíduos que poderiam ser destinados à reciclagem. Com a contaminação, esses resíduos são direcionados ao aterro, intensificando, dessa forma, os impactos ambientais locais, como a contaminação do solo, da água e ar, além de favorecer a proliferação de vetores e doenças.

Ponto fundamental é que a maioria dos participantes conhece a Coleta Seletiva e isso representa o prévio grau de informação e entendimento que todos têm. Ademais, a pesquisa aprofunda sobre a importância da participação mútua, isto é, da aliança que deve existir entre o poder público, as organizações, a população local e osromeiros, com o intuito de adotarem práticas mais ideais e sustentáveis.

Conclui-se que a implementação de pontos de coleta seletiva, principalmente nos bairros de maior circulação de pessoas, durante as romarias, seria de extrema relevância, além das campanhas de

conscientização e das parcerias com as Associações de Catadores que já atendem à solicitação de alguns bairros centrais de Juazeiro. Essas alternativas estratégicas podem transformar positivamente o gerenciamento dos resíduos.

REFERÊNCIAS

ABREMA. Panorama dos resíduos sólidos no Brasil. [S.l.: S.n.]. Disponível em: https://www.abrema.org.br/wp-content/uploads/dlm_uploads/2024/03/Panorama_2023_P1.pdf. Acesso em: 28 out. 2024.

ACSELRAD, Henri. Ambientalização das lutas sociais – o caso do movimento por justiça ambiental. **Estudos Avançados**, v. 24, n. 68, p. 103–119, 2010.

BELLO, Adewale S.; AL-GHOUTI, Mohammad A.; ABU-DIEYEH, Mohammed H. Sustainable and long-term management of municipal solid waste: a review. **Bioresource Technology Reports**, v. 18, p. 101067, 2022.

BRAGA, Antônio Mendes da Costa. **Padre Cícero**: sociologia de um padre: antropologia de um santo. Tese (Doutorado)- Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Filosofia e Ciências Humanas. Programa de Pós-graduação em Antropologia social. Porto Alegre, 2007.

BRASIL. Lei n. 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei n. 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília, DF: **Diário Oficial da União**, 2010. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/12305.htm. Acesso em: 12 fev. 2024.

CEARÁ. Lei n. 16.927, de 9 de julho de 2019. Ficam incluídas, no Calendário Oficial de Eventos do Estado do Ceará, as datas de Romarias do município de Juazeiro do Norte. **Diário Oficial do Estado**, Fortaleza/CE, 10 jul. 2019. Disponível em: <https://belt.al.ce.gov.br/index.php/legislacao-do-ceara/datas-comemorativas/item/6703-lei-n-16-927-de-09-07-19-d-o-10-07-19>. Acesso em: 30 jul. 2024.

DIAS, Sylmara Gonçalves. O desafio da gestão de resíduos sólidos urbanos. **GV-executivo**, v. 11, n. 1, p. 16-20, 2012.

GUTBERLET, J. Regenerating cities with community-based inclusive waste management practices. **WIT Transactions on Ecology and the Environment**, v. 204, p. 57–63, 2016.

IKHLAYEL, Mahdi. Development of management systems for sustainable municipal solid waste in developing countries: a systematic life cycle thinking approach. **Journal of Cleaner Production**, Japan, v. 180, p. 571–586, 2018.

IBGE. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades e estados**: Juazeiro do Norte, 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/ce/juazeiro-do-norte.html>. Acesso em: 30 abr. 2024.

JACOBI, Pedro Roberto. Educação ambiental, cidadania e sustentabilidade. **Cadernos de Pesquisa**, v. 118, n. 118, p. 189 – 205, 2003.

JESUS, Victor de. Racismo ambiental, navios de lixo e quarto de despejo: a geopolítica neocolonial ambientalmente tóxica do descarte de resíduos nos países “lixeiros do mundo”. **Revista da Associação Brasileira de Pesquisadores(as) Negros(as) (ABPN)**, [S. l.], v. 14 (ed. esp.), p. 25–51, 2022.

MARX, Axel. Public-private partnerships for sustainable development: exploring their design and its impact on effectiveness. **Sustainability** 2019, v. 11, n. 4, 2019.

PEREIRA, Suellen Silva; CURI, Rosires Catão. Modelos de gestão integrada dos resíduos sólidos urbanos: a importância dos catadores de materiais recicláveis no processo de gestão ambiental. *In*: LIRA, Waleska Silveira; CÂNDIDO, Gesinaldo Ataíde (orgs.). **Gestão sustentável dos recursos naturais: uma abordagem participativa**. Campina Grande: EduePB, 2013. p. 149–172.

PREFEITURA MUNICIPAL DE JUAZEIRO DO NORTE. Romaria de Finados deve reunir mais de 350 mil fiéis em Juazeiro do Norte. **Ascom**, 2025. Disponível em: <https://www.juazeirodonorte.ce.gov.br/informa/31406/romaria-de-finados-deve-reunir-mais-de-350-mil-fi->. Acesso em: 7 nov. 2025.

PURVIS, Ben; MAO, Yong; ROBINSON, Darren. Three pillars of sustainability: in search of conceptual origins. **Sustainability Science** (2019), v. 14, p. 681– 695, 2018.

RADA, Elena Cristina *et al.* Selective Collection Quality Index for Municipal Solid Waste Management. **Sustainability** 2018, v. 10, n. 1, 2018.

RODRIGUES, A. P. *et al.* Developing criteria for performance assessment in municipal solid waste management. **Journal of Cleaner Production**, v. 186, p. 748–757, 2018.

SILVA, Christian Luiz da; FUGII, Gabriel Massao; SANTOYO, Alain Hernández. Proposta de um modelo de dinâmica de sistemas da gestão de resíduos sólidos urbanos domiciliares: um estudo aplicado a Curitiba (Brasil) à luz da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, v. 19, n. 1, p. 663–686, 2023.

SANCHIS, Pierre. Peregrinação e romaria: um lugar para o turismo religioso. **Ciencias Sociales y Religión / Ciências Sociais e Religião**, Porto Alegre, v. 8, n. 8, p. 85–97, 2006.

SCIDADES, Secretaria das Cidades. **Ceará e Suécia promovem encontro internacional para fortalecer gestão sustentável de resíduos sólidos** – Secretaria das Cidades. Disponível em: <https://www.cidades.ce.gov.br/2025/10/17/ceara-e-suecia-promovem-encontro-internacional-para-fortalecer-gestao-sustentavel-de-residuos-solidos/>. Acesso em: 10 nov. 2025.

SZIGETHY, Leonardo; ANTENOR, Samuel. **Resíduos sólidos urbanos no Brasil: desafios tecnológicos, políticos e econômicos**. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/cts/pt/central-de-conteudo/artigos/artigos/217-residuos-solidos-urbanos-no-brasil-desafios-tecnologicos-politicos-e-economicos>. Acesso em: 30 abr. 2024.

SOBRE AS AUTORAS DO CAPÍTULO

Nome: Cicera Vanessa Lins Ferreira

Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE), *Campus Juazeiro do Norte*.

Minicurrículo: Graduada em Administração pelo Centro Universitário Doutor Leão Sampaio (Unileão). Especialista em Docência do Ensino Superior pela Unileão. Mestranda do Programa de Pós-graduação em Meio Ambiente pelo IFCE, *Campus Juazeiro do Norte*. Bolsista da Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (Funcap).

E-mail: ciceravanessa325@gmail.com

Nome: Mira Raya Paula de Lima

Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE), *Campus Juazeiro do Norte*.

Minicurrículo: Graduada em Tecnologia em Processos Químicos pelo IFCE. Mestre em Tecnologia e Gestão Ambiental pelo IFCE. Doutora em Química Biológica pela Universidade Regional do Cariri (Urca). Professora no IFCE, *Campus Juazeiro do Norte*.

E-mail: mira.raya@ifce.edu.br

CAPÍTULO 6

QUALIDADE DE ÁGUA DE PONTOS DE HIDRATAÇÃO VOLTADOS PARA O TURISMO RELIGIOSO

*Janáina Bezerra Leandro de Andrade
Mira Raya Paula de Lima
Germário Marcos Araújo*

INTRODUÇÃO

A oferta de água potável constitui um elemento essencial para a saúde pública, indispensável para a prevenção de doenças transmitidas pela água e promoção de condições adequadas de saneamento. Contudo, assegurar a qualidade da água tem se tornado um desafio cada vez maior, diante de fatores como a contaminação por agentes químicos e biológicos e os impactos das mudanças climáticas. Fenômenos extremos, como secas e enchentes, podem afetar diretamente as fontes hídricas, elevando a concentração de poluentes e favorecendo a disseminação de microrganismos patogênicos, o que aumenta a vulnerabilidade dos sistemas de abastecimento (Nascimento *et al.*, 2024).

Essa vulnerabilidade torna-se ainda mais evidente em áreas de clima tropical, as quais, muitas vezes, carecem de infraestrutura adequada para o tratamento, monitoramento e a distribuição contínua da água. Nesses contextos, as populações atendidas ficam mais expostas a riscos sanitários. Situações de destaque ocorrem em locais com grande concentração de pessoas e intenso fluxo populacional, onde a demanda por água segura é alta e variável. O fornecimento de água potável configura-se como um fator essencial para o desenvolvimento nos aspectos econômico, social e regional (Reis; Amado; Benvenuti, 2024).

O Brasil apresenta extensa oferta de água potável, mas a captação e distribuição não acontecem de forma igual em todas as regiões do país. O Nordeste brasileiro é uma região do país com médias de temperatura anual entre 20°C a 28°C (Silva *et al.*, 2025). As doenças relacionadas ao calor, bem como a demanda pela adequada distribuição de água potável torna-se crescente (Nunfam *et al.*, 2019). O monitoramento da qualidade de qualquer ponto de água ofertada à população e o acompanhamento de possíveis alterações, ao longo do ano, é fundamental para manter a segurança da população local e de eventuais visitantes.

A cidade de Juazeiro do Norte está localizada no sul do estado do Ceará, integrando a região do Cariri, que se situa no centro da Região Nordeste do Brasil (Estatística, 2025). Esse município representa importante polo religioso, que atrai um número expressivo de visitantes (romeiros),

oriundos de diversas áreas, rurais e urbanas, que se somam à população local. Durante os períodos de romaria, a demanda por pontos de hidratação públicos em centros religiosos aumenta drasticamente, sobrecarregando a infraestrutura existente e elevando o potencial de risco à saúde coletiva. A avaliação da qualidade da água, nesses pontos é, portanto, crucial, para subsidiar medidas de vigilância e controle (Figueiredo, 2021).

Diante do exposto, o objetivo deste capítulo foi avaliar a qualidade microbiológica da água destinada ao consumo humano em quatro pontos de hidratação públicos, localizados em centros religiosos de grande circulação, na cidade de Juazeiro do Norte/CE.

REVISÃO DE LITERATURA

QUALIDADE DE ÁGUA E SAÚDE PÚBLICA

A relação entre qualidade da água e saúde pública é historicamente reconhecida. Surtos epidêmicos decorrentes de água contaminada foram decisivos para o avanço das políticas de saneamento no século XX (WHO, 2017). Atualmente, persistem os desafios ligados às contaminações microbiológica, química e emergente, agravados pelas mudanças climáticas e pela degradação ambiental (FAO, 2021).

A contaminação microbiológica decorre da presença de coliformes, vírus e protozoários, frequentemente associados a falhas na desinfecção e à infiltração em redes antigas (Faria *et al.*, 2021). Já a contaminação química deriva da existência de metais pesados, agrotóxicos e compostos orgânicos persistentes. Em áreas rurais, a falta de saneamento básico expõe comunidades a níveis alarmantes de nitratos e resíduos farmacêuticos (IBGE, 2021).

Estudos recentes destacam a emergência de microplásticos e disruptores endócrinos, substâncias com efeitos tóxicos cumulativos e ainda pouco compreendidos (Barceló *et al.*, 2021). Esses contaminantes desafiam os métodos convencionais de tratamento, demandando inovações tecnológicas e regulamentares. A literatura defende a adoção da abordagem “Uma Só Saúde” (One Health), que reconhece a interconexão entre saúde humana, animal e ambiental (FAO, 2021).

A vigilância descentralizada, no Brasil, ainda é incipiente. Muitos municípios não dispõem de laboratórios credenciados ou de sistemas digitais de registro. Em eventos de massa, como as romarias, os riscos multiplicam-se: o armazenamento temporário e o transporte inadequado de água criam condições propícias para a proliferação bacteriana (Alves *et al.*, 2019).

Além do aspecto técnico, a vulnerabilidade social é um fator agravante. Comunidades de baixa renda, frequentemente, recorrem a fontes alternativas não monitoradas, ampliando a exposição a

contaminantes. Assim, a gestão da água deve ser compreendida como questão de justiça ambiental e determinante social da saúde.

PARÂMETROS DE POTABILIDADE E REGULAÇÃO

A definição dos parâmetros que determinam a potabilidade da água resulta de um longo processo de evolução científica, tecnológica e regulatória. O controle desses parâmetros visa a garantir que a água distribuída para o consumo humano não contenha substâncias ou microrganismos em concentrações capazes de causar efeitos adversos à saúde. Essa vigilância, portanto, se apoia em princípios de toxicologia, microbiologia, engenharia sanitária e políticas públicas (World Health Organization, 2022).

Os parâmetros de potabilidade se dividem em três amplas categorias: microbiológicos, físico-químicos e organolépticos. Cada um reflete um conjunto de riscos e propriedades da água que, em conjunto, formam o conceito de qualidade.

A Portaria de Consolidação n. 5/2017, do Ministério da Saúde, que sucedeu a Portaria n. 2.914/2011, estabelece os limites máximos permitidos para substâncias e microrganismos, baseando-se em padrões de aceitação internacional. Define, ainda, a frequência mínima de amostragem, os métodos analíticos e as responsabilidades de cada ente federativo (Brasil, 2017).

Os parâmetros microbiológicos são considerados os mais críticos, pois a existência de microrganismos patogênicos indica falha no processo de tratamento ou contaminação na rede de distribuição. O principal indicador é a detecção de *Escherichia coli*, que sinaliza contaminação fecal recente. Os coliformes totais, embora não necessariamente patogênicos, indicam possível deterioração da qualidade e risco de proliferação bacteriana (Faria *et al.*, 2021).

Além desses, organismos como *Clostridium perfringens*, *Enterococos* e *Pseudomonas aeruginosa* são monitorados em situações especiais, especialmente em sistemas alternativos de abastecimento e águas engarrafadas (WHO, 2022). A não detecção desses microrganismos é requisito para classificar a água como potável.

Os parâmetros físico-químicos, por sua vez, englobam um conjunto mais amplo e complexo de indicadores. Entre os mais importantes, estão o pH, a turbidez, a cor aparente, a condutividade elétrica, o cloro residual livre, e a temperatura.

O pH expressa a acidez ou alcalinidade da água e influencia diretamente a eficiência da desinfecção por cloro. O intervalo ideal, segundo o Ministério da Saúde, é o pH de 6,0 a 9,5. Valores fora desse limite podem causar corrosão das tubulações, dissolução de metais e alteração do sabor (Brasil, 2017).

A turbidez, que mede as partículas em suspensão, é um dos parâmetros mais importantes para a avaliação do tratamento. Altos níveis de turbidez reduzem a eficiência da cloração e protegem microrganismos de ação desinfetante. O limite máximo permitido no Brasil é de cinco Unidades de Turbidez Nefelométrica (NTU) (Fioravanti *et al.*, 2022).

A cor aparente e a temperatura são parâmetros de aceitação estética, mas também indicam degradação orgânica e a presença de substâncias húmicas. A condutividade elétrica reflete a quantidade total de íons dissolvidos, e é útil para monitorar a intrusão salina e poluição por efluentes (Barceló *et al.*, 2021).

O cloro residual livre é um dos parâmetros mais sensíveis e fundamentais para a segurança microbiológica. O Ministério da Saúde recomenda manter concentração mínima de 0,2 mg/L em toda a rede de distribuição e não exceder 5 mg/L. A ausência de cloro residual indica risco de recontaminação e proliferação bacteriana (WHO, 2022).

Outro conjunto de parâmetros refere-se aos metais e elementos traço. O chumbo, mercúrio, arsênio, cádmio e níquel são reconhecidos por sua alta toxicidade e potencial carcinogênico. Seus limites máximos variam entre 0,001 e 0,01 mg/L, conforme o metal e a norma de referência (EPA, 2020). A contaminação por metais pode ocorrer tanto por origem natural – em solos ricos em minerais metálicos – quanto por atividades industriais, mineração e corrosão de tubulações antigas (ANA, 2023).

Entre os compostos inorgânicos, destacam-se os nitratos e nitritos, derivados de fertilizantes e esgoto doméstico. Quando ingeridos, podem causar metemoglobinemia em crianças, além de potenciais efeitos cancerígenos (EPA, 2020). O limite máximo permitido de nitrato é de 10 mg/L, expresso como nitrogênio, e o de nitrito é de 1 mg/L.

Os Compostos Orgânicos Voláteis (COVs), como benzeno, tolueno, xileno e tricloroetileno, estão relacionados à poluição industrial e são monitorados por sua toxicidade aguda e crônica. O benzeno, por exemplo, é reconhecido como carcinogênico humano, com limite máximo de 0,005 mg/L (World Health Organization, 2022).

Nos últimos anos, cresce o interesse pelos contaminantes emergentes. Esses compostos, ainda não contemplados em todas as legislações, incluem fármacos, hormônios sintéticos, microplásticos, nanomateriais e compostos perfluorados (PFAS). Estudos indicam que mesmo concentrações na faixa de nanogramas por litro podem afetar organismos aquáticos e, potencialmente, a saúde humana (Barceló *et al.*, 2021). Países como Canadá, Alemanha e Japão já estabeleceram limites provisórios para PFAS, enquanto o Brasil ainda realiza estudos de avaliação de risco (ANA, 2023).

Os parâmetros radiológicos são menos discutidos, mas relevantes, em regiões com geologia específica ou uso de água subterrânea profunda. A radiação alfa e beta total, bem como a presença de

radionuclídeos, como o radônio e o urânio, devem ser monitoradas conforme padrões internacionais. A OMS recomenda limites de 0,1 mSv/ano de dose efetiva total (WHO, 2022).

Os parâmetros organolépticos – sabor, odor e aparência – têm papel importante na aceitação da água pela população. Embora não representem, por si só, riscos diretos à saúde, são indicadores de qualidade e percepção social do serviço de abastecimento. A perda de confiança na água da rede pode levar ao aumento do consumo de água engarrafada e, paradoxalmente, à exposição a outros riscos (Unesco, 2021).

A comparação internacional dos padrões de potabilidade revela diferenças importantes. A OMS, por meio das Guidelines for Drinking-water Quality, adota uma abordagem baseada em risco, que considera o contexto local, o tipo de manancial e as tecnologias disponíveis (World Health Organization, 2022). Já a Agência de Proteção Ambiental (EPA), dos Estados Unidos da América (EUA), estabelece limites vinculantes, baseados em estudos toxicológicos e epidemiológicos, com foco na proteção de grupos vulneráveis. A União Europeia, por sua vez, revisou sua Diretiva de Água Potável em 2021, introduzindo o princípio da precaução e o conceito de “abordagem de toda a cadeia”, que inclui desde a proteção das fontes até o ponto de consumo (European Union, 2021).

No Brasil, a legislação é tecnicamente consistente, mas enfrenta desafios de implementação e atualização. O processo de revisão normativa é lento e dependente de comissões técnicas interministeriais. Além disso, há disparidades significativas na capacidade analítica entre laboratórios públicos e privados. Muitos municípios não possuem infraestrutura laboratorial adequada para cumprir a frequência mínima de análises exigida (ANA, 2023).

A acreditação laboratorial conforme a norma ISO/IEC 17025 é um requisito fundamental para garantir a confiabilidade dos resultados. Essa norma estabelece critérios para competência técnica, rastreabilidade metrológica e controle de qualidade interno. No entanto, o número de laboratórios acreditados ainda é insuficiente para atender à demanda nacional (Fioravanti *et al.*, 2022).

O avanço tecnológico tem permitido o desenvolvimento de métodos analíticos mais sensíveis e específicos, como cromatografia líquida acoplada à espectrometria de massas (LC-MS/MS), cromatografia gasosa, espectroscopia de absorção atômica e técnicas de fluorescência. Essas ferramentas são essenciais para detectar contaminantes em concentrações muito baixas, antes indetectáveis pelos métodos clássicos.

Paralelamente, a estatística aplicada ao controle de qualidade tem se tornado parte essencial do monitoramento da potabilidade. O uso de ferramentas de Controle Estatístico de Processo (CEP) e modelos de análise multivariada permite identificar desvios operacionais e prever falhas nos sistemas de tratamento (Barceló *et al.*, 2021).

A integração dos dados de qualidade da água em sistemas nacionais e regionais é um desafio de governança. O Sistema de Informação da Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano (Sisagua), coordenado pelo Ministério da Saúde, representa um avanço significativo, mas ainda sofre com subnotificações e inconsistências nos registros (ANA, 2023).

Por fim, é essencial destacar a importância da transparência e comunicação com a sociedade. A divulgação periódica dos resultados de monitoramento, em linguagem acessível, fortalece o controle social e estimula a confiança nos serviços públicos. Países que adotam práticas de *open data* e relatórios públicos de qualidade da água tendem a apresentar maior adesão da população às políticas de vigilância (Unesco, 2021).

Assim, a regulação da potabilidade da água é uma construção dinâmica, que combina conhecimento técnico, vigilância institucional e participação social. O constante aprimoramento dos parâmetros e das metodologias analíticas é condição indispensável para enfrentar os novos desafios trazidos pelos contaminantes emergentes, pelas mudanças climáticas e pela intensificação da urbanização.

A consolidação de um sistema de controle eficaz requer, portanto, investimento contínuo em pesquisa, inovação e capacitação técnica. Apenas a partir dessa base científica e institucional é possível assegurar que a água distribuída à população brasileira atenda plenamente aos princípios de segurança, equidade e sustentabilidade.

JUAZEIRO DO NORTE E AS ROMARIAS

Juazeiro do Norte, localizada na região do Cariri, sul do estado do Ceará, é reconhecida como um dos maiores polos de religiosidade popular do Brasil. A cidade é fortemente marcada pela devoção ao padre Cícero Romão Batista, figura central do catolicismo nordestino, e por suas tradicionais romarias, que atraem anualmente milhões de fiéis vindos de diversas partes do país. Esse fenômeno de fé e mobilidade humana, profundamente enraizado na cultura regional, constitui também desafios logístico e sanitário para a administração pública, especialmente no que se refere ao abastecimento e à qualidade da água.

A dinâmica das romarias transforma Juazeiro do Norte em um espaço urbano temporariamente expandido. Durante os períodos de festividades religiosas – como a Romaria das Candeias (fevereiro), a Romaria de Finados (novembro) e a Romaria do Padre Cícero (julho) –, o município chega a receber entre 300 mil e 500 mil peregrinos em poucos dias (Vasconcelos *et al.*, 2015). Essa multiplicação populacional provoca um aumento abrupto no consumo de água, na geração de resíduos e na demanda por saneamento, ultrapassando frequentemente a capacidade instalada dos sistemas públicos.

O sistema de abastecimento de Juazeiro do Norte é administrado pela Companhia de Água e Esgoto do Ceará (Cagece) e depende majoritariamente do Açude Castanhão, além de mananciais complementares subterrâneos. Em períodos de estiagem, a escassez de chuvas reduz o volume armazenado, exigindo o transporte de água por caminhões-pipa e a instalação de reservatórios móveis em pontos estratégicos da cidade (ANA, 2023). Embora garantam o abastecimento, essas soluções emergenciais ampliam os riscos de contaminação microbiológica, pois envolvem múltiplas etapas de coleta, transporte e armazenamento.

A vigilância sanitária local enfrenta limitações estruturais para monitorar a qualidade da água durante os períodos de romaria. A coleta de amostras é dificultada pela dispersão geográfica dos pontos de abastecimento temporário e a alta rotatividade dos consumidores. O número de técnicos e a capacidade laboratorial municipal muitas vezes são insuficientes para acompanhar o ritmo das demandas (Faria *et al.*, 2021).

Com ênfase na dimensão epidemiológica, estudos realizados na região apontam correlação entre períodos de romaria e aumento temporário de casos de doenças gastrointestinais e dermatológicas, associadas à ingestão de água de origem duvidosa ou à exposição a condições precárias de higiene (Vasconcelos *et al.*, 2015). Esses surtos não configuram epidemias amplas, mas revelam falhas pontuais na cadeia de segurança hídrica, especialmente no manuseio e distribuição da água em recipientes não esterilizados.

Além da infraestrutura física, há uma dimensão simbólica intrínseca ao modo como os romeiros percebem e utilizam a água. Para muitos, a água adquire valor ritual e sagrado, associada a bênçãos, milagres e purificação. Fontes e poços vinculados à memória do padre Cícero são frequentados por peregrinos que acreditam em suas propriedades curativas. Essa relação simbólica, embora culturalmente significativa, pode gerar riscos sanitários quando leva ao consumo de águas não tratadas (Vasconcelos *et al.*, 2015).

Diante desse cenário, é fundamental reconhecer que o problema da qualidade da água, em Juazeiro do Norte, não é apenas técnico, mas sociocultural. A efetividade das políticas de vigilância depende da capacidade de comunicação entre saberes científicos e saberes populares. A educação sanitária, quando mediada por agentes locais e religiosos, tem mostrado maior sucesso na promoção de práticas seguras, como a desinfecção doméstica com hipoclorito de sódio e o uso de recipientes limpos e tampados (Fioravanti *et al.*, 2022).

As romarias também evidenciam o conceito de pressão urbana temporária, caracterizado pelo aumento súbito da densidade populacional e pelo colapso momentâneo da infraestrutura. Esse fenômeno, descrito em estudos urbanos, é comum em cidades-santuário. ao redor do mundo, como

Fátima (Portugal), Lourdes (França) e Guadalupe (México). Em todas essas localidades, observam-se desafios similares de abastecimento e saneamento durante eventos religiosos (Unesco, 2021).

O diferencial de Juazeiro do Norte é que o evento não se limita a uma semana ou a uma data específica. O fluxo de romeiros ocorre praticamente ao longo de todo o ano, criando um regime de pressão contínua e cíclica sobre o sistema hídrico. Isso requer um planejamento mais sofisticado e permanente, que considere a sazonalidade das visitas e a variabilidade climática da região semiárida.

As mudanças climáticas representam um fator agravante. O semiárido nordestino é altamente sensível à variabilidade pluviométrica, e os cenários projetados pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) indicam maior frequência de secas e redução da recarga hídrica subterrânea. Assim, Juazeiro do Norte tende a enfrentar pressões ainda maiores sobre seus recursos hídricos, o que torna indispensável o uso racional e o reúso de água (ONU, 2022).

A gestão da água em eventos de massa exige estratégias de planejamento intersetorial. Órgãos municipais, estaduais e federais devem atuar em conjunto, envolvendo setores de saúde, meio ambiente, turismo e segurança. Em Juazeiro do Norte, essa articulação tem avançado gradualmente, com a criação de comitês temporários de gestão durante as romarias, integrando a Cagece, a Vigilância Sanitária, a Secretaria de Meio Ambiente e o Corpo de Bombeiros. No entanto, a falta de protocolos formais e a descontinuidade institucional entre as edições das romarias ainda comprometem a efetividade das ações (ANA, 2023).

A literatura especializada propõe o uso de Planos de Segurança da Água (PSA) adaptados a eventos religiosos e contextos de aglomeração. Esses planos devem contemplar o mapeamento de riscos, a definição de responsabilidades e o estabelecimento de fluxos de comunicação entre gestores e fornecedores de água (World Health Organization, 2022). A aplicação dessa metodologia, em Juazeiro do Norte, poderia melhorar a eficiência do monitoramento e reduzir a vulnerabilidade sanitária.

Outra estratégia promissora é o uso de tecnologias portáteis de diagnóstico rápido, como *kits* colorimétricos e sensores de cloro residual, que permitem análises imediatas em campo. Essa abordagem descentralizada facilita o controle em locais de difícil acesso e reduz o tempo de resposta em caso de contaminação. Aliada à coleta de dados por dispositivos móveis, essa metodologia pode alimentar sistemas digitais de vigilância em tempo real, aprimorando a tomada de decisão (Alves *et al.*, 2019).

Além da vigilância técnica, é essencial compreender as redes de confiança e mediação social que operam durante as romarias. A fé, a religiosidade e o senso de comunidade desempenham papel importante na disseminação de informações e comportamentos. Nesse contexto, líderes religiosos e organizadores das romarias são aliados estratégicos das políticas públicas. Experiências em outros

países demonstram que a integração entre fé e saúde pública fortalece o engajamento comunitário e amplia a adesão a práticas seguras (Unesco, 2021).

A educação sanitária contextualizada é, portanto, uma ferramenta indispensável. Campanhas de conscientização que utilizem a simbologia religiosa – como a ideia da “água abençoada que também deve ser limpa” – têm mais poder de convencimento e penetração social. Essa estratégia respeita a cultura local e transforma a fé em um vetor de saúde pública.

Do ponto de vista econômico, as romarias representam importante motor de desenvolvimento regional. O turismo religioso movimentava o comércio, os serviços e a hotelaria, gerando renda e empregos. Contudo, o crescimento desordenado da cidade e a ausência de infraestrutura adequada geram externalidades ambientais, como acúmulo de resíduos sólidos e sobrecarga dos sistemas de drenagem (IBGE, 2022). A gestão da água deve, portanto, integrar o planejamento urbano e o ordenamento territorial, de modo a equilibrar desenvolvimento e sustentabilidade.

Há também um aspecto ético-político no debate sobre o direito à água durante as romarias. A responsabilidade pelo abastecimento não pode ser vista apenas como atribuição técnica, mas como dever do Estado em garantir condições dignas aos peregrinos, que, temporariamente, passam a integrar o tecido social da cidade. A universalização do acesso à água segura, mesmo que temporária, é expressão prática do direito humano à água reconhecido pela ONU (ONU, 2022).

Nesse sentido, Juazeiro do Norte constitui um laboratório natural para a aplicação de políticas de gestão integrada de recursos hídricos, saneamento e saúde pública. O aprendizado obtido nesse contexto pode subsidiar outras cidades que enfrentam situações semelhantes, como Aparecida (SP), Trindade (GO) e Canindé (CE).

O fortalecimento da capacidade local de monitoramento, associado à inovação tecnológica e à participação social, é o caminho para transformar o desafio das romarias em oportunidade de aprimoramento institucional. Em vez de um evento crítico e emergencial, as romarias podem se tornar um exercício permanente de gestão adaptativa, onde ciência, fé e cidadania se encontram em favor da saúde coletiva.

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O estudo foi realizado no Município de Juazeiro do Norte/CE, localizado na Região Metropolitana do Cariri, no sul do estado, com população estimada de 286.120 habitantes, e 1.105,62 hab/km² e extensão territorial de 258,788 km² (IBGE, 2022). A seleção da área justifica-se por sua relevância como polo de turismo religioso. Foram definidos quatro pontos de amostragem em locais de expressiva concentração de visitantes e peregrinos, como santuários, museus e igrejas, selecionados

por seus significativos valores religioso, histórico, cultural, e, principalmente, pelo elevado número de pessoas que transitam nesses ambientes. Os pontos amostrais estão descritos na Tabela 1.

Tabela 1 – Pontos amostrais dos locais de hidratação

Pontos	Características	Localização
P1	Ponto de hidratação (bebedouro) Área verde do Museu Casa do Pe. Cícero.	Museu Casa do Pe. Cícero – Bairro Centro – JN
P2	Ponto de hidratação (bebedouro) Praça interna da Igreja de São Francisco	Santuário de São Francisco das Chagas – Bairro Franciscanos – JN
P3	Ponto de hidratação (Pote) Museu Vivo	Casarão do Padre Cícero – Colina do Horto – Bairro Horto – JN
P4	Ponto de hidratação (bebedouro) Centro de apoio ao romeiro	Santuário Basílica de Nossa Senhora das Dores – Bairro Centro – JN

Fonte: Autores (2025).

As coletas de amostras de água para consumo foram realizadas durante o período da manhã, entre 8h e 10h30, nos dias 2 de junho e 26 de agosto de 2025. Nos pontos de coleta com torneiras, o procedimento seguiu um protocolo padrão que incluiu a higienização do bocal com etanol 70% e o escoamento prévio da água por cinco minutos para garantir a representatividade da amostra. No ponto amostral P4, onde a água era disponibilizada em um recipiente cerâmico (pote) de uso coletivo, a coleta foi realizada com o auxílio de uma concha previamente esterilizada. As amostras foram armazenadas em frascos de vidro estéreis previamente preparados. Imediatamente após a coleta, todas as amostras foram mantidas sob refrigeração (4°C a 8°C) em caixas isotérmicas e transportadas ao Laboratório de Microbiologia Ambiental (Lamam) para a determinação dos parâmetros de coliformes totais e *Escherichia coli*, seguindo as recomendações dos Métodos Padrões descritos no Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (Apha, 2017).

RESULTADOS E DISCUSSÃO OU RELATO DE EXPERIÊNCIAS

Na Tabela 2 são apresentados os valores de coliformes totais e *Escherichia coli* obtidos nas duas amostragens, e comparados com os limites estabelecidos pela Portaria GM/MS n. 888/2021, que

determina a ausência de coliformes totais e de *Escherichia coli* em amostras como critério de potabilidade da água para consumo humano (Brasil, 2021).

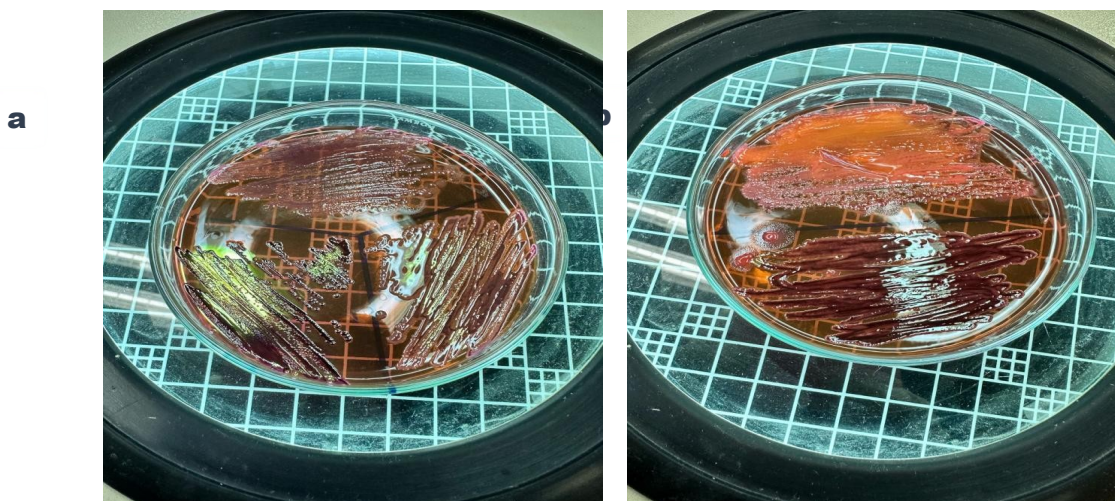
Tabela 2 – Dados descritivos dos parâmetros avaliados nas amostras de água e limites estabelecidos pela Portaria n. 888/2021

Pontos	Coliformes Totais		VMP	<i>Escherichia coli</i>		VMP
	Primeira Coleta	Segunda Coleta		Primeira Coleta	Segunda Coleta	
Ponto 1	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Ponto 2	Presente	Presente		Presente	Presente	
Ponto 3	Presente	Presente		Presente	Presente	
Ponto 4	Ausente	Ausente		Ausente	Ausente	

Fonte: Autores, 2025.

A Figura 1 apresenta a imagem da placa de petri para os resultados das análises microbiológicas dos pontos P2 e P3, que apontaram resultados com presença para coliformes totais e *Escherichia coli*. A contaminação microbiológica evidenciada com os resultados de *Escherichia coli* sugerem contaminação fecal e o potencial de veiculação de patógenos. Isso pode estar relacionado à falta de tratamento de água oferecida à população nos pontos de hidratação, ou pela falta de higiene dos próprios usuários, que podem contaminar a água e os sistemas de fornecimento, como torneiras e copos.

Figura 1 – *Escherichia coli* nos pontos P2 (a) e no P3 (b)



Fonte: Autores (2025).

Na Tabela 1 observa-se que os pontos P1 e P4, nas duas coletas (junho e agosto), apresentaram valores dentro dos padrões de potabilidade estabelecidos pela Portaria n. 888/2021.

Alguns fatores podem contribuir para a presença de microrganismos nos pontos P2 e P3, tais como, fluxo intenso de visitantes; falta de manutenção dos reservatórios de água; localização dos pontos próximos às fontes de contaminação, como, por exemplo, banheiros, observada nas visitas *in loco*. Enquanto que os pontos P1 e P4, por não apresentarem contaminação por coliformes totais e *Escherichia coli*, acredita-se, que recebam, possivelmente, manutenção adequada para uma distribuição de água segura.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A qualidade da água nos pontos analisados diverge significativamente, indicando diferentes níveis de risco à saúde dos consumidores. Os pontos P1 e P4 mantiveram-se em conformidade com os padrões de potabilidade estabelecidos pela Portaria n. 888/2021 em ambas as coletas (junho e agosto), sugerindo que recebem manutenção adequada e oferecem água segura para o consumo.

Em contrapartida, os pontos P2 e P3 revelaram contaminação por coliformes totais e *Escherichia coli*. A presença de *Escherichia coli*, um indicador de contaminação fecal recente, evidencia uma séria ameaça à saúde dos usuários, elevando o risco de transmissão de doenças de veiculação hídrica. Fatores como fluxo intenso de visitantes; proximidade a fontes de contaminação, como banheiros; e a provável ausência de manutenção adequada dos reservatórios, são apontados como possíveis causas para a contaminação nesses locais. Portanto, ações de monitoramento, manutenção e fiscalização são urgentes e necessárias para garantir a segurança da água e proteger a saúde da população.

Essa temática precisa ser discutida com a sociedade para que sejam instalados pontos de hidratação com água de qualidade para o fornecimento.

SOBRE OS AUTORES DO CAPÍTULO

Nome: Janaina Bezerra Leandro de Andrade

Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE)

Minicurrículo: Tecnóloga em Segurança no Trabalho pela Universidade Pitágoras (2018), com especialização em Gestão de Pessoas. Mestranda em Meio Ambiente pelo IFCE, Campus Juazeiro do Norte, atua na linha de pesquisa em Desenvolvimento de Tecnologias Ambientais. Atualmente é servidora do IFCE, campus Juazeiro do Norte.

E-mail: janaina.andrade03@aluno.ifce.edu.br

Nome: Mira Raya Paula de Lima

Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE)

Minicurrículo: Tecnóloga em Processos Químicos (2010). Mestrado em Tecnologia e Gestão Ambiental pelo IFCE (2013). Doutora em Química Biológica pela Universidade Regional do Cariri

(URC, 2023). Professora efetiva do IFCE, Campus Juazeiro do Norte. Atua na área de química ambiental e simulações por dinâmica molecular.

E-mail: mira.raya@ifce.edu.br

Nome: Germário Marcos Araújo

Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE)

Minicurrículo: Graduação em Recursos Hídricos/Saneamento Ambiental (2001). Mestrado em Engenharia Sanitária (2004). Doutorado em Engenharia Civil – Recursos Hídricos (2016). Atuou como professor em diversas instituições, incluindo Instituto Federal do Tocantins (IFTO) e IFCE. Atualmente é professor titular e coordenador do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária do IFCE, Campus Juazeiro do Norte, com experiência em tratamento e reúso de água, esgotos e resíduos sólidos.

E-mail: germario@ifce.edu.br

CAPÍTULO 7

POTENCIAL DO USO DO LODO DE ESGOTO COMO BIOSSÓLIDO NA CIDADE DE CRATO/CE

*Francisco Tiago Marques de Sousa
Ana Clarice Rocha Araújo
Germário Marcos Araújo
Yannice Tatiane da Costa Santos*

INTRODUÇÃO

O Marco Legal do Saneamento – Lei n. 14.026/2020 –, ampliou as metas de universalização do esgoto até 2033, aumentando a expectativa de investimentos no setor, inclusive com a construção de novas redes coletoras, bem como estações de tratamento de esgoto. Com tal intento, espera-se também o aumento da produção inevitável do lodo. No Brasil, sua destinação mais comum ainda é o aterro sanitário, prática cara e que desperdiça o potencial agronômico e energético do material (Amaral; Aisse; Possetti, 2020). No Crato/CE, a situação é semelhante: com a chegada da Empresa Ambiental Crato (Grupo Aegea), em 2022, a cobertura de esgotamento subiu de 3% para 32,8% (Ambiental Crato, 2023), aumentando a necessidade de manejo sustentável do lodo.

O reaproveitamento como biofósforo reduz custos operacionais e o uso de fertilizantes químicos, beneficiando a agricultura familiar. Como o tratamento e a disposição podem representar até 60% das despesas das Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) (Moreira *et al.*, 2019; Pereira; Garcia, 2017), o uso agrícola surge como alternativa viável. Em 2022, o Brasil consumiu 8% dos fertilizantes mundiais, sendo 80% importados (Correio Braziliense, 2025), o que reforça a importância da adoção de soluções locais e sustentáveis.

Pesquisas indicam que o biofósforo melhora a fertilidade e a microbiota do solo, elevando a produtividade de culturas como o feijão-caupi (Lopes *et al.*, 2020). No Cariri, onde predomina a agricultura familiar, o potencial agronômico é evidente, mas o descarte em aterros ainda prevalece, refletindo barreiras institucionais e técnicas.

Assim, com este estudo, avaliou-se o potencial do lodo gerado pela ETE Seminário; sua classificação, conforme a Resolução Conama n. 498/2020 e a viabilidade de uso agrícola, identificando os principais fatores que limitam essa prática.

REVISÃO DE LITERATURA

A RIQUEZA POTENCIAL DO LODO DE ESGOTO E UMA LEGISLAÇÃO FAVORÁVEL

O lodo de esgoto apresenta elevado potencial como condicionador do solo, por ser rico em matéria orgânica e nutrientes essenciais ao desenvolvimento vegetal. Quando aplicado de forma adequada, contribui para a recuperação de solos degradados e para o aumento das produtividades agrícola e florestal (Navas *et al.*, 1999; Tamanini *et al.*, 2008; Zuba Junio *et al.*, 2013). Sua fração seca possui entre 60% e 75% de matéria orgânica (Tera Ambiental, 2022), cuja decomposição eleva o teor de húmus e o aporte de elementos indispensáveis ao crescimento das plantas (Almeida, 2007).

Almeida (2007) ainda descreve que, entre os macronutrientes primários, destacam-se: nitrogênio (N), fundamental ao crescimento; fósforo (P), associado ao enraizamento e floração; e potássio (K), que aumenta a resistência das plantas a estresses. Nos macronutrientes secundários, incluem-se cálcio (Ca), importante para raízes e brotos; magnésio (Mg), ativador de enzimas da fotossíntese; e enxofre (S), atuante no metabolismo energético. Quanto aos micronutrientes, o lodo fornece boro (B), manganês (Mn), cobre (Cu), molibdênio (Mo) e zinco (Zn), todos associados a processos vitais, como formação de frutos, fotossíntese, metabolismo do nitrogênio e síntese de proteínas.

A aplicação do lodo tratado pode enriquecer o solo com nutrientes e favorecer o crescimento de culturas, como o milho (Weil; Brady, 2017). Na Tabela 1, ilustra-se esse potencial, apresentando os valores de nutrientes encontrados em amostra de lodo da ETE Três Marias, em Juazeiro do Norte/CE levantados por Santos (2023).

Tabela 1 – Valores encontrados em lodo da ETE Três Marias

Parâmetros	Valor Médio Encontrado (g/kg)	Desvio Padrão
Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK)	25,8	3,1
Nitrato	10,6	1,3
Fósforo total	0,40	23,7
Cálcio	1,5	0,1
Sódio	1,3	0,14
Magnésio	6,17	*
Matéria Orgânica	504,9	37,9
Carbono Orgânico	333	133,4

Fonte: Santos (2023).

O lodo de esgoto tem potencial para uso agrícola, comprovado por estudos que destacam seu valor nutricional (Sousa *et al.*, 2020). Contudo, o uso contínuo pode levar ao acúmulo de metais pesados e à contaminação ambiental (Fernandes; Pierro; Yamamoto, 1993). Assim, é indispensável sua caracterização prévia, pois só é considerado bioestabilizado quando atende à Resolução Conama n. 498/2020.

AGRICULTURA FAMILIAR NO BRASIL, NO CEARÁ E NO CRAJUBAR

A Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) realizou o Censo Agropecuário 2017 com o objetivo de retratar a realidade do Brasil Agrário, considerando suas inter-relações com atores, cenários, modos e instrumentos de ação. Os dados foram captados com base nas premissas sugeridas no Programa de Censo Agropecuário Mundial 2020, elaborado pela Organização das Nações Unidas (ONU) para a Agricultura e Alimentação (FAO), em 2016; as categorizações da Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE) 2.0, elaborada pela Fundação IBGE, em 2007, e conforme à Clasificación Industrial Internacional Uniforme de todas las Actividades Económicas (CIIU) (IBGE, 2017). Cerca de 77% dos estabelecimentos foram classificados como de Agricultura Familiar e responsáveis por 23% do valor da produção, ocupando 23% da área total dos estabelecimentos agropecuários. O Censo Agropecuário de 2017 registrou 5.073.324 estabelecimentos rurais no Brasil, dos quais 77% eram de agricultura familiar (IBGE, 2017). No Ceará, essa categoria representa 75,5% das propriedades e 39,6% do valor da produção agropecuária estadual (IBGE, 2017). A agricultura familiar ocupa 3,34 milhões de hectares, ou 48,4% da área rural do estado (Ipece, 2022). No Crajubar – região que contempla os municípios de Crato, Juazeiro do Norte e Barbalha – há 6.531 estabelecimentos, dentre os quais 4.932 são familiares, e somam 32.539,89 hectares (IBGE, 2024).

DA LITERATURA À PRÁTICA DO USO

Com a Lei n. 14.026/2020, a ampliação da coleta e do tratamento de esgoto no país tende a aumentar a geração de lodo. Na agricultura, esse material apresenta potencial como condicionador do solo, por ser rico em matéria orgânica e nutrientes, favorecendo a fertilidade, a estrutura e a retenção de água, além de reduzir custos com adubação (Zuba Junio *et al.*, 2013; Nogueira *et al.*, 2013; Pereira; Garcia, 2017). Entretanto, seu uso requer cautela, devido ao risco de contaminação por metais pesados, patógenos e compostos persistentes.

Apesar dos benefícios, o lodo ainda é majoritariamente destinado a aterros, devido à falta de programas e investimentos em reaproveitamento, e, também, pela simplicidade operacional que supera

o funcionamento de uma Usina de Gerenciamento de Lodo (UGL) (Andreoli; Fernandes; Sperling, 2014; Gonçalves; Mol, 2021; Rietow *et al.*, 2022; Amaral; Rietow; Aisse, 2021). A Resolução Conama n. 498/2020 exige caracterização e UGL licenciadas para uso agrícola. Assim, foi realizada pesquisa na Cagece e Ambiental Crato para quantificar a produção e identificar iniciativas de reúso ou alternativas ao aterro.

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

COLETA DO LODO TRATADO

As amostras de lodo tratado foram coletadas na ETE Seminário, situada no Crato/CE (S 7°13'39,52''; W 39°24'21,37''), que trata cerca de 31 L·s⁻¹ de esgoto doméstico. O sistema é composto por gradeamento, caixa de areia, tanque de equalização, reator Upflow Anaerobic Sludge Blanket (Uasb), quatro filtros aerados, decantador, tanque de contato e seis leitos de secagem. O lodo permanece cerca de 25 dias nos leitos; recebe Óxido de Cálcio (CaO) e é destinado ao Aterro Sanitário Ambipar, em Juazeiro do Norte/CE, a 16 quilômetros da estação. As coletas ocorreram pela manhã (7h – 8h), nos meses de janeiro, fevereiro e abril.

As amostras foram coletadas em diferentes profundidades, homogêneas, quarteadas e enviadas ao Laboratório de Engenharia Ambiental e Sanitária (Leas)/IFCE, *Campus Juazeiro do Norte*, para análises físico-químicas e microbiológicas, com temperatura medida *in loco*. As Figuras 1a, 1b, 2a e 2b mostram a área de estudo, e as Figuras 3a, 3b, 4a, 4b e 4c indicam a coleta e o armazenamento do lodo.

Figura 1 – Entrada (a) e área interna da ETE Seminário, Crato/CE (b)



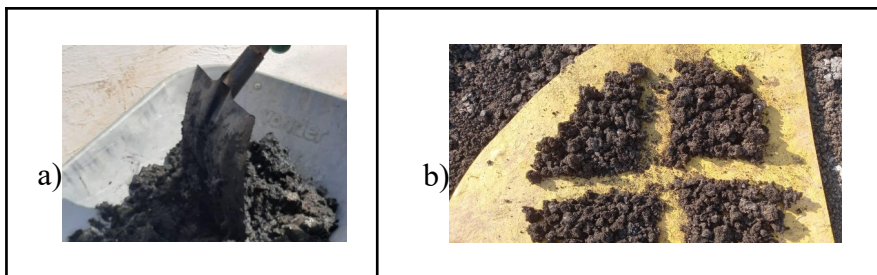
Fonte: Autores (2025).

Figura 2 – Leitões de secagem da ETE – 6 leitões de secagem apresentando lodo em diferentes estágios (a) e desaguamento (b)



Fonte: Autores (2025).

Figura 3 – Homogeneização (a) e quartejamento (b) do lodo para retirada da amostra



Fonte: Autores (2025).

Figura 4 – Mosaico da amostra devidamente coletada (a), depositada em balde (b) com tampa (c) e pronta para transporte até o laboratório



Fonte: Autores (2025).

CARACTERIZAÇÃO DO LODO COLETADO

Para a caracterização do lodo coletado, foram feitas as determinações de diversos parâmetros (físico-químicos e microbiológicos), como constam no Quadro 1.

Quadro 1 – Parâmetros analisados, metodologias e referências

PARÂMETRO	MÉTODO	REFERÊNCIA
Caracterização físico-química		
Temperatura °C	Termômetro - <i>in loco</i>	APHA (2012)

Sólidos totais, fixos e voláteis (mg.L ⁻¹)	Gravimétrico - mufla a 500±5°C	ABNT NBR 10664 (1989)
Nitrogênio (mgN.L ⁻¹)	Destilação Micro-Kjeldahl	APHA (2012) EMBRAPA (1997)
Fósforo (mgP.L ⁻¹)	Espectrofotométrico - ácido ascórbico	APHA (2012) EMBRAPA (2017)
Matéria orgânica (%)	Gravimétrico - combustão com aquecimento programado	EMBRAPA (2017)
Caracterização microbiológica		
CTT (NMP.gST ⁻¹)	Tubos múltiplos	APHA (2012)
<i>Escherichia coli</i> (NMP.gST ⁻¹)		
Viabilidade de ovos de helmintos (ovos viáveis)	Centrifugação, filtragem e microscopia (10x, 40x)	USEPA (2003)

Fonte: Elaborado pelos autores (2025), adaptado da ABNT (1989), Apha (2012), Embrapa (1997), Embrapa (2017), Usepa (2003).

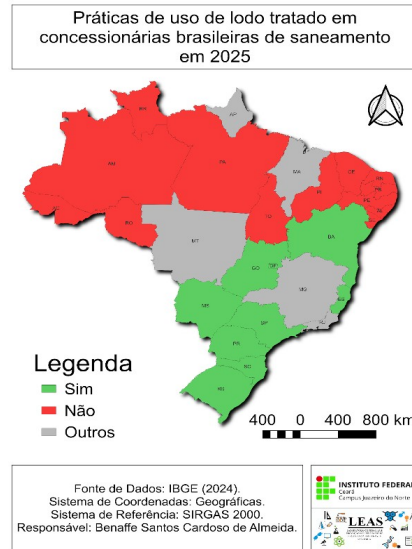
LEVANTAMENTO DA PRODUÇÃO DE LODO

Os dados foram repassados mediante solicitação de ofício e *e-mail* institucionais para requisitar os dados quantitativos de produção de lodo, custos com tratamento, transporte e do aterro sanitário. Todos os dados foram coletados com base nos meses de janeiro, fevereiro, março e abril de 2025.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

USO DO LODO COMO BIOSSÓLIDO

Apesar dos apontamentos bibliográficos quanto aos benefícios do uso de biossólidos, a experiência prática brasileira ainda é escassa, e os programas e as políticas implementadas de forma sistemática compõem uma realidade ainda rara. A Figura 1 ilustra quais estados brasileiros, de alguma forma, conduziram atividades com o uso do lodo de esgoto para práticas agrícolas.

Figura 5 – Situação dos estados brasileiros sobre as práticas do uso do lodo na agricultura.

Fonte: Autores (2025).

No Centro-Oeste, destaca-se o uso agrícola no Distrito Federal, onde a Companhia Ambiental de Saneamento do Distrito Federal (Caesb) aplica cerca de 400 t/dia de lodo durante o período seco, em parceria com agricultores (Caesb, 2025). Em Goiás, a SaneaGO destina aproximadamente 160 t/dia a áreas agrícolas e de pastagem (SaneaGO, 2025). No Mato Grosso do Sul, a Aegea MS/Empresa de Saneamento de Mato Grosso do Sul (Sanesul) reaproveita 100% do lodo das ETEs do Programa MS Pantanal, destinando 20% a agricultores familiares (Aegea MS/Sanesul, 2025).

No Nordeste, o uso ainda é limitado: Alagoas aplica o lodo na produção de tijolos ecológicos (Casal, 2025); a Bahia mantém projeto piloto em cafeicultura (Embasa, 2024 – 2025); e o Maranhão registrou compostagem parcial em 2017, sem atualizações (CaeMA/BRK Ambiental, 2025). No Norte, apenas o Amapá possui estudo de viabilidade em andamento (Caesa/CSA Equatorial, 2025).

No Sudeste, as iniciativas são pontuais: reúso orientado no Espírito Santo (Cesan, 2025); uso em parques, em Minas Gerais (Copasa, 2025); produção de mudas no Rio de Janeiro, (Cedae, 2025), e biofertilizante em São Paulo, desde 2017, com apoio da Universidade Estadual Paulista (Unesp) e da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (Cetesb) (Sabesp/Cetesb, 2021–2025).

Na Região Sul apresenta maior consolidação: no Paraná, a Companhia de Saneamento do Paraná (Sanepar) opera cerca de 40 UGLs e destina ~50% do lodo à agricultura (Sanepar, 2025); no Rio Grande do Sul, na Companhia Riograndense de Saneamento (Corsan) a compostagem é cerca de

600 t/mês (Corsan, 2024–2025); e, em Santa Catarina, a Companhia Catarinense de Águas e Saneamento (Casan)/Riovivo transforma ~18 mil t/ano em adubo, distribuído gratuitamente (Casan/Riovivo, 2025).

Não há registro de iniciativas em Mato Grosso, Ceará, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte, Sergipe, Acre, Amazonas, Pará, Rondônia, Roraima e Tocantins (Cagece, 2025; Cagepa, 2025; Compesa, 2025; Agespisa, 2025; CAERN, 2025; Deso, 2025; Saneacre, 2025; Cosama, 2025; Cosanpa, 2025; Caerd, 2025; Caer, 2025; Saneatins/BRK, 2025).

Constata-se forte desigualdade regional, com o Paraná como principal referência nacional. Estima-se que o país produza entre 150 e 220 mil t/ano de lodo, majoritariamente destinado a aterros, tendência que deve crescer com a ampliação do saneamento (Rodrigues *et al.*, 2021).

A prática do uso do biossólido, em Crajubar, não é institucionalizada, bem como não se tem registros de qualquer aplicação que não seja o encaminhamento ao aterro sanitário.

CARACTERIZAÇÃO MICROBIOLÓGICA E FÍSICO-QUÍMICA DO LODO

A higienização do lodo por meio da calagem mostra que o processo é eficiente na redução da carga microbiana, tanto em coliformes termotolerantes (CTT) quanto em *Escherichia coli* (*E. coli*). Conforme consta na Resolução Conama n. 498/2020, para classificar-se como biossólido Classe B, os valores máximos permitidos são até 10^6 NMP/g de sólidos totais para *E. coli*.

Os resultados (Tabela 2) – $7,82 \times 10^5$ NMP/g para CTT e $4,48 \times 10^3$ NMP/g para *E. coli* – ficaram abaixo dos limites da Classe B, confirmando o lodo como biossólido Classe B, adequado para uso controlado na agricultura.

Tabela 2 – Resultados de Coliformes Termotolerantes (CTT) e *E. Coli*

Amostras	Coliformes Termotolerantes (NMP/gST)	<i>Escherichia coli</i> (NMP/gST)
1	1,37E+06	< 3
2	1,21E+06	9,52E+02
3	2,87E+05	2,10E+04
Média Geométrica	7,82E+05	4,48E+03

Fonte: Autores (2025).

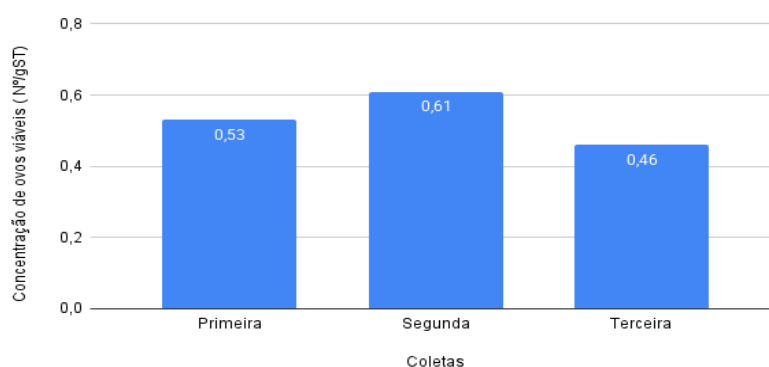
Nas três coletas, foram identificados ovos viáveis com membrana íntegra e conteúdo celular visível. Os principais grupos encontrados (Tabela 3) foram *Ascaris lumbricoides*, *Ancylostoma* spp., Ancilostomídeo, *Hymenolepis nana* e *Toxocara* spp.

Tabela 3 – Quantidade de grupos de helmintos encontrados nas amostras de lodo calado

Amostra	Grupo	N. de ovos encontrados
1	<i>Ancylostoma</i> spp	8
	<i>Toxocara</i> spp	10
2	<i>Ancylostoma</i> spp	8
	<i>Hymenolepis nana</i>	2
	<i>Ascaris lumbricoides</i>	12
3	<i>Ancylostoma</i> spp	4
	<i>Ascaris lumbricoides</i>	8

Fonte: Autores (2025).

Com base na concentração de ovos totais = n. de ovos totais/AP (amostra processada em gramas) x ST (sólidos totais em %), obteve-se a concentração de ovos viáveis por grama de amostra seca (Figura 3).

Figura 13 – Viabilidade de ovos de helmintos

Fonte: Autores (2025).

Nas três coletas amostradas e analisadas, o valor calculado foi inferior a 1 ovo viável/g de ST. Assim sendo, o material atende ao padrão previsto na Resolução Conama n. 498/2020 para aplicação controlada, como biossólido, na agricultura.

Os resultados dos teores de Umidade, Sólidos Totais, Sólidos Totais Voláteis, Sólidos Totais Fixos, Nitrogênio Total Kjeldahl, Fósforo Total e Matéria Orgânica podem ser visualizados na Tabela

4. As temperaturas ficaram compreendidas entre a mínima de 26,4°C e a máxima de 30,2°C, apresentando uma oscilação máxima, da menor para a maior, de 3,8°C.

Tabela 4 – Resultados encontrados

Amostras	Umidade %	ST (g/kg)	STV (g/kg)	STF (g/kg)	NTK (mgN/kg de MS)	PT (mgP/kg de MS)	MO (g/kg de MS)
1	9,3	907	677,5	229,9	35937,50	1107,53	●
2	14,5	855	724,2	131,1	5887,52	860,14	31,53
3	40,3	597	522,6	74,5	19112,97	3512,86	16,6

Fonte: Autores (2025).

Conforme a Tabela 4, as médias obtidas foram: 21,37% de umidade, 786,33 g/kg de sólidos totais (ST), 641,43 g/kg de sólidos totais voláteis (STV), 145,17 g/kg de sólidos totais fixos (STF), 20.312,66 mg/kg de nitrogênio total (NTK), 1.826,84 mg/kg de fósforo total (PT) e 24,07 g/kg de matéria orgânica (MO). O teor médio de umidade (21,37%) encontra-se dentro da faixa ideal (21%–35%) para manuseio e uso agrícola (Andreoli; Fernandes; Sperling, 2014). Observa-se variação significativa entre as amostras, especialmente quanto ao NTK e ao PT, indicando heterogeneidade do material. Os elevados teores de nitrogênio, sobretudo nas amostras 1 e 3, reforçam o potencial agrônomo do lodo, que, associado à presença de matéria orgânica, favorece a liberação gradual de nutrientes e contribui para a melhoria das propriedades químicas e estruturais do solo.

PRODUÇÃO DE LODO

A quantidade gerada, destinação e os custos de transporte de lodo tratado entre os meses de janeiro a abril de 2025, para a ETE Seminário, estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Produção de lodo e despesas com a disposição final em aterro sanitário da ETE Seminário – Crato/CE entre os meses de janeiro e abril de 2025

Item	Unidade	Quantidade	Custo unitário(R\$)	Custo total (R\$)
Lodo produzido	T	8,08	-	-
Caçambas locadas	Und	4	500,00	2.000,00
Aterro Ambipar	T	8,08	210,00	1,696,80
Transporte (04 trajetos/17,01km)	Km	68,04	16,00	1,088,64
Total (R\$)	-	-	-	4.785,44

Fonte: Autores (2025).

Em 120 dias, a produção média foi de 2,02 t/mês e o custo médio para a disposição de R\$ 1.196,86/mês, equivalendo a uma estimativa anual de 24,24 t/ano e R\$ 14.362,32/ano. Esses valores podem variar conforme fatores sazonais, como chuvas, crescimento urbano e expansão dos serviços de saneamento. Tais valores são estimativas preliminares, que devem ser completadas em um levantamento de, no mínimo, 1 ano, após a publicação deste capítulo. Contudo, esse quantitativo prévio anima iniciativas de destinação do biossólido para aplicação nas proximidades da estação, com, por exemplo, o cultivo de mudas de espécies de plantas ornamentais e frutíferas, abastecendo os programas de manutenção dos viveiros municipais, ou distribuição para produtores rurais com retirada na própria estação.

É válido ressaltar que a ETE ainda precisa adequar sua estrutura para processar esse lodo para distribuição como biossólido no sentido da organização de uma Usina de Gerenciamento de Lodo, que atenda aos aspectos de controle de qualidade, bem como o armazenamento, empacotamento para distribuição, a rotulagem e as orientações de aplicação mediante os teores de nutrientes e matéria orgânica verificados. Gastos com esses setores não foram levantados, por este estudo, sendo fundamental uma análise de viabilidade financeira para elucidar a implementação da prática do uso de biossólido na realidade da ETE Seminário.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo foi conduzido na ETE Seminário, localizada no município do Crato/CE, e apontou que o lodo gerado apresenta potencial para ser classificado como biossólido Classe B, segundo a Resolução Conama n. 498/2020, embora ainda sejam necessárias análises complementares de metais pesados. O uso desse material como biofertilizante representa uma alternativa sustentável para o manejo de resíduos e o aumento da fertilidade do solo; contudo, sua aplicação na região é limitada pela falta de UGLs, pela escassez de investimentos e resistência dos agricultores, que o associam ao esgoto bruto.

A inexistência de iniciativas no Ceará, especialmente no Crajubar, reflete barreiras estruturais e institucionais. A inexistência de UGLs licenciadas impede o cumprimento da Resolução Conama n. 498/2020, levando o lodo aos aterros sanitários. Apesar dos altos custos, o aterro ainda é a alternativa mais simples para as operadoras, que evitam a complexidade do manejo do biossólido. A falta de programas de extensão nos municípios e o desconhecimento técnico dos produtores também contribuem para o descarte, desperdiçando o potencial agrícola do material

Para incentivar sua adoção, recomenda-se o desenvolvimento de ações de educação ambiental e extensão rural, em parceria com a Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Ceará (Ematerce) e Secretarias Municipais de Agricultura, incluindo áreas demonstrativas e capacitações técnicas. Assim, o uso do biossólido pode se consolidar como alternativa viável para práticas agrícolas mais sustentáveis e a gestão adequada dos resíduos urbanos.

REFERÊNCIAS

AEGEA MATO GROSSO. **A empresa**. Disponível em: <https://www.aegeamt.com.br/>. Acesso em: 21 jul. 2025.

ALMEIDA, M. R. A. **Influência do uso do lodo de esgoto na distribuição das substâncias húmicas do solo**. 2007. Dissertação (Mestrado em Química Analítica) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2007.

AMARAL, K. G. C.; AISSE, M. M.; POSSETTI, G. R. C. Análise do custo de ciclo de vida do tratamento e destinação final do lodo e biogás de ETE com reator Uasb. **Revista DAE**, v. 68, n. 226, p. 6-17, 2020.

AMARAL, K. G. C. do; RIETOW, J. C.; AISSE, M. M. Avaliação do ciclo de vida ambiental de uma ETE que emprega filtro biológico percolador, de baixa taxa, como pós-tratamento de um reator UASB e diferentes alternativas de gerenciamento de lodo. **Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 16, n. 3, e2648, 2021.

AMBIENTAL CRATO. **Ambiental Crato comemora 1 ano de operação**. Crato, 8 ago. 2023. Disponível em: <https://ambientalcrato.com.br/>. Acesso em: 17 set. 2025.

AMBIENTAL MS PANTANAL SPE S.A.; ORGANICS BIOFERTILIZANTES; SEMADESC; AGRAER. **Parceria transforma lodo de esgoto em fertilizante orgânico**. 11 jun. 2024. Disponível em: <https://ambientalmspantanal.com.br/>. Acesso em: 10 jul. 2025.

AMBIENTAL MS PANTANAL SPE S.A.; SANESUL. **Equipe técnica visita MS Pantanal para conhecer reaproveitamento do lodo**. Campo Grande, 30 ago. 2024. Disponível em: <https://ambientalmspantanal.com.br/>. Acesso em: 15 jul. 2025.

APHA; AWWA; WEF. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 22. ed. Washington, DC, 2012.

ANDREOLI, C.; FERNANDES, F.; SPERLING, M. V. **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final**. 2. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2014.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10664 – Águas: Determinação de resíduos sólidos – Método gravimétrico**. Rio de Janeiro, 1989.

BERTONCINI, E. I. *et al.* Effects of sewage sludge amendment on the properties of Brazilian oxisols. **Bioresource Technology**, v. 99, p. 4972–4979, 2008. DOI: 10.1016/j.biortech.2007.09.024.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama). **Resolução n. 498, de 6 de outubro de**

2020. Brasília, DF, 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/conama/resolucoes>. Acesso em: 21 mar. 2025.

BRASIL. **Lei n. 14.026, de 15 de julho de 2020**. Altera a Lei n. 11.445/2007 (Diretrizes do Saneamento Básico). Brasília, DF, 2020. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/114026.htm. Acesso em: 21 mar. 2025.

BRK AMBIENTAL. **Nossa atuação**. 2025. Disponível em: <https://www.brkambiental.com.br/nossa-atuacao>. Acesso em: 12 jul. 2025.

BRK AMBIENTAL. **Lodo de esgoto de Rio Claro vira adubo orgânico**. 2024. Disponível em: <https://www.brkambiental.com.br/rio-claro/solucao-sustentavel-lodo-do-esgoto>. Acesso em: 13 jul. 2025.

CAEMA. Companhia de Saneamento Ambiental do Maranhão. **Portal institucional**. Disponível em: <https://www.caema.ma.gov.br/>. Acesso em: 21 jul. 2025.

CAER. Companhia de Águas e Esgotos de Roraima. **Portal institucional**. Disponível em: <https://www.caer.com.br/>. Acesso em: 11 jul. 2025.

CAERD. Companhia de Águas e Esgotos de Rondônia. **Portal institucional**. Disponível em: <https://caerd.ro.gov.br/>. Acesso em: 11 jul. 2025.

CAERN. Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte. **Portal institucional**. Disponível em: <https://www.caern.com.br/>. Acesso em: 11 jul. 2025.

CAESA. Companhia de Água e Esgoto do Amapá. **Portal institucional**. Disponível em: <https://caesa.portal.ap.gov.br/>. Acesso em: 16 jul. 2025.

CAESB. Companhia de Saneamento do Distrito Federal. **Tratamento de lodo e destinação**. Disponível em: <https://www2.caesb.df.gov.br>. Acesso em: 10 jul. 2025.

CAGECE. Companhia de Água e Esgoto do Ceará. **Portal institucional**. Disponível em: <https://www.cagece.com.br/>. Acesso em: 10 jul. 2025.

CAGEPA. Companhia de Água e Esgotos da Paraíba. **Portal institucional**. Disponível em: <https://www.cagepa.pb.gov.br/>. Acesso em: 10 jul. 2025.

CASAL. Companhia de Saneamento de Alagoas. **Portal institucional**. Disponível em: <https://www.casal.al.gov.br/>. Acesso em: 10 jul. 2025.

CETESB. **Aplicação de lodos de tratamento biológico em solo: diretrizes e critérios**. 2. ed. São Paulo, 2021. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/residuossolidos/>. Acesso em: 10 jul. 2025.

COMPESA. Companhia Pernambucana de Saneamento. **Portal institucional**. Disponível em: <https://servicos.compesa.com.br/>. Acesso em: 21 jul. 2025.

CORREIO BRAZILIENSE. **Lodo de esgoto se torna fertilizante e fortalece o agronegócio**. 2025. Disponível em: <https://www.correiobraziliense.com.br/economia/2025/01/7028722-lodo-de-esgoto-se-torna-fertilizante-e-fortalece-o-agronegocio.html>. Acesso em: 17 set. 2025.

COSAMA. Companhia de Saneamento do Amazonas. **Portal institucional**. Disponível em: <https://cosama.am.gov.br/>. Acesso em: 14 jul. 2025.

COSANPA. Companhia de Saneamento do Pará. **Portal institucional**. Disponível em: <https://www.cosanpa.pa.gov.br/>. Acesso em: 14 jul. 2025.

DESO. Companhia de Saneamento de Sergipe. **Portal institucional**. Disponível em: <https://www.deso-se.com.br/>. Acesso em: 11 jul. 2025.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997, p. 89-92.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. Brasília, DF, 2017, p. 397-400.

FERNANDES, F.; PIERRO, A. C.; YAMAMOTO, R. Y. Produção de fertilizante orgânico por compostagem do lodo de ETE. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, DF, v. 28, n. 5, p. 564-574, 1993.

GONÇALVES, D. B.; MOL, M. P. G. Destinação final de lodo de esgoto: revisão e apoio à decisão. **Revista Aidis de Ingeniería y Ciencias Ambientales**, v. 14, n. 1, p. 90, 2021.

IBGE. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Agropecuário 2017: Resultados Definitivos**. 2024. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censoagropecuario>. Acesso em: 23 nov. 2024.

IBGE. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Crato (CE) – Pesquisa**. 2024. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ce/crato>. Acesso em: 24 nov. 2024.

IGUA SANEAMENTO. **Agreste Saneamento**. Disponível em: <https://igua.com.br/agreste>. Acesso em: 8 set. 2025.

IPECE. Instituto de Pesquisas Econômicas e Sociais do Ceará. **Informe n. 220, 20 dez. 2022**. Disponível em: <https://www.ipece.ce.gov.br/>. Acesso em: 22 nov. 2024.

LOPES, P. A. P. *et al.* Produção e qualidade microbiológica de cultivares de feijão-caupi após adubação residual com lodo de esgoto. **Rev. Caatinga**, Mossoró, v. 33, n. 1, p. 21–30, jan./mar. 2020.

MOREIRA, S. F. *et al.* O lodo de ETE como alternativa para recuperação de solo degradado. **Brazilian Applied Science Review**, v. 3, n. 3, p. 1564 – 1585, 2019.

NAVAS, A.; MACHÍN, J.; NAVAS, B. Use of biossolids for vegetation recovery in degraded soils. **Bioresource Technology**, v. 69, p. 199-205, 1999.

NOGUEIRA, T. A. R. *et al.* Sewage sludge to sugarcane: short-term soil and contamination effects. **Journal of Environmental Management**, v. 114, p. 168–177, 2013.

PEREIRA, A. C. A.; GARCIA, M. L. Disposição de lodo de ETE de indústria alimentícia no solo: estudo de caso. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 22, n. 3, p. 531-538, 2017.

REVISTA DAE. **ONU divulga trabalho da Sanepar sobre uso de lodo na agricultura**. Disponível em: <https://www.revistadae.com.br/>. Acesso em: 17 set. 2025.

RIETOW, J. C. *et al.* Aproveitamento do biogás produzido em reatores anaeróbios Uasb para a secagem térmica de lodos de ETEs. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 27, n. 2, p. 347-356, mar./abr. 2022.

RODRIGUES, M. M. *et al.* Sewage sludge in organomineral fertilizers: risks e reciclagem de nutrientes. **Journal of Cleaner Production**, v. 313, 2021.

SANEAMENTO HOJE. **Corsan adota práticas que garantem ciclo sustentável**. 30 ago. 2024.

SANEPAR. ONU divulga trabalho da Sanepar sobre uso de lodo na agricultura. **Revista DAE**, 6 out. 2016. Disponível em: <https://www.revistadae.com.br/>. Acesso em: 11 set. 2025.

SANEPAR. **Programa de destinação agrícola do lodo de esgoto**. Curitiba, 2024-2025. Disponível em: <https://site.sanepar.com.br> . Acesso em: 14 jul. 2025.

SANTOS, S. P. dos. Gestão sustentável de lodo de esgoto para aplicação como fertilizante organomineral: contribuições para a economia circular. *In*: JORNADA PRODER, 7., 2023, Juazeiro do Norte. **Anais [...]**. Juazeiro do Norte: Universidade Federal do Cariri, 2023.

SOUSA, A. N. de *et al.* Produção de mudas de Moringa oleifera em diferentes concentrações de lodo de esgoto tratado com calcário. **Diversitas Journal**, v. 5, n. 3, p. 1504-1522, 2020. DOI: 10.17648/diversitas-journal-v5i3-958. Acesso em: 21 mar. 2025.

TAMANINI, C. R.; MOTTA, A. C. V.; ANDREOLI, C. V.; DOETZER, B. H. Land reclamation recovery with the sewage sludge use. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 51, n. 4, p. 643-655, 2008.

WEIL, R. R.; BRADY, N. C. **The nature and properties of soils**. 15. ed. Harlow: Pearson Education, 2017.

ZUBA JUNIO, G. R. *et al.* Produtividade de milho adubado com composto de lodo de esgoto e fosfato natural de Gafsa. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 7, p. 706-712, 2013.

SOBRE OS AUTORES DO CAPÍTULO

Nome: Francisco Tiago Marques de Sousa

Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE), *Campus Juazeiro do Norte*.

Minicurrículo: Mestrando em Meio Ambiente pelo IFCE, *Campus Juazeiro do Norte/CE*. Servidor público estadual na Agência de Defesa Agropecuária do Estado do Ceará (Adagri) na função de agente fiscal estadual agropecuário.

E-mail: tiago.marques@adagri.ce.gov.br

Nome: Yannice Tatiane da Costa Santos

Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE), *Campus Juazeiro do Norte*.

Minicurrículo: Professora do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária. Coordenadora do Laboratório de Engenharia Ambiental e Sanitária (Leas) do IFCE. Líder do Grupo de Pesquisa em Química, Microbiologia e Saneamento Ambiental. Desenvolve pesquisas em caracterização de lodos de esgoto, tratamento e monitoramento da qualidade da água e de efluentes.

E-mail: yannice@ifce.edu.br

Nome: Ana Clarice Rocha Araújo

Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE), *Campus Juazeiro do Norte*.

Minicurrículo: Graduanda em Engenharia Ambiental e Sanitária pelo IFCE, *Campus Juazeiro do Norte*.

E-mail: clarice.rocha14@aluno.ifce.edu.br

Nome: Germário Marcos Araújo

Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE), *Campus Juazeiro do Norte*.

Minicurrículo: Graduação em Recursos Hídricos/Saneamento Ambiental (2001). Mestrado em Engenharia Sanitária (2004). Doutorado em Engenharia Civil – Recursos Hídricos (2016). Atuou como professor em diversas instituições, incluindo Instituto Federal do Tocantins (IFTO) e IFCE. Atualmente é professor titular e coordenador do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária do IFCE, *Campus Juazeiro do Norte*, com experiência em tratamento e reúso de água, esgotos e resíduos sólidos.

E-mail: germario@ifce.edu.br

CAPÍTULO 8

BIORREMEDIAÇÃO DE CORANTES TÊXTEIS: USO DE MICRORGANISMOS COMO SOLUÇÕES AMBIENTAIS

*Renan de Sousa Araujo
Francisco Clark Nogueira Barros*

INTRODUÇÃO

A água é recurso natural essencial para os seres vivos e para diversos setores econômicos em todo o mundo. A deterioração da qualidade dos corpos hídricos é problema crescente de escala mundial. Esse fenômeno está relacionado a diversos fatores, como crescimento da população, mudanças climáticas e à contaminação da água pela agricultura e por atividades industriais (Sannino *et al.*, 2023).

A qualidade da água, recurso natural imprescindível, está sendo comprometida devido à poluição e degradação ambiental decorrentes de atividades antrópicas, que ocasionam contaminações provenientes do despejo de resíduos domésticos, agrícolas e industriais em corpos hídricos. Essa contaminação impacta diretamente na qualidade de vida das pessoas e na manutenção dos ecossistemas aquáticos (Rios; Batista; Crystello, 2024; Haseena *et al.*, 2017).

Dentre as atividades industriais com potencial de contaminação de corpos hídricos, especial ênfase deve ser aplicado à indústria têxtil, setor que desempenha papel significativo no desenvolvimento econômico de qualquer país. No entanto, é responsável por mais da metade do consumo global de corantes sintéticos, figurando entre os setores mais poluentes, com efluentes caracterizados por conterem sais orgânicos e inorgânicos, corantes e metais pesados (Wang *et al.*, 2022; Fatima *et al.*, 2020; Mia *et al.*, 2019).

REVISÃO DE LITERATURA

EFLUENTES DA INDÚSTRIA TÊXTIL

A indústria têxtil gera efluentes com alta concentração de compostos químicos perigosos e persistentes, incluindo corantes, produtos químicos, compostos aromáticos, formaldeído e fluorocarbonos, substâncias que provocam impactos prejudiciais ao meio ambiente, à saúde humana, bem como aos organismos aquáticos (Periyasamy, 2024).

Em escala mundial, anualmente, são produzidos aproximadamente 7×10^7 toneladas de corantes sintéticos, dos quais cerca de 10% são descartados no meio ambiente como efluentes após o tingimento e processamento, o que representa ameaça à vida humana e aos sistemas aquáticos. Em sua maioria, os corantes não são de fácil degradação, o que acaba inibindo o processo fotossintético nos ecossistemas aquáticos (Benkhaya; M'Rabet; El Harfi, 2020; Berradi *et al.*, 2019; Md. Moinuddin Sheam *et al.*, 2021). No cenário global, a China é o principal país exportador de produtos têxteis, seguido pela União Europeia, Índia, Turquia e Estados Unidos da América (EUA) (OMC, 2023).

O setor têxtil brasileiro é a maior cadeia têxtil completa do Ocidente, possuindo cerca de 25,3 mil unidades produtivas formais em todo o país, possibilitando a geração de 1,30 milhão de empregos formais, ocupados em 60% por mão de obra feminina, revelando-se, desse modo, um setor de reconhecida importância para a economia nacional (Abit, 2024).

Devido ao crescimento da indústria têxtil, a necessidade de métodos para a remoção de poluentes de corantes em sistemas de águas residuais geradas pela indústria aumentou, tendo em vista que mesmo pequena quantidade de corante na água pode ser tóxica para os seres humanos e organismos aquáticos. Assim, a remoção de corantes de águas residuais torna-se ambientalmente importante (None Nagraj *et al.*, 2024; Zare *et al.*, 2015).

Por ter complexa estrutura molecular e possuir difícil degradação, a remoção de corantes torna-se um desafio (Chaves; Carvalho; Oliveira, 2022). Os corantes têxteis, por não se ligarem firmemente aos tecidos, podem ser lançados sem tratamento prévio em ecossistemas aquáticos, como rios, lagos, oceanos, lagoas e córregos, e o potencial ecotoxicológico apresenta consequências graves para os organismos vivos (Solís *et al.*, 2012; Lalnunhlimi; Krishnaswamy, 2016; Khadhri *et al.*, 2019; Parmar *et al.*, 2022). Notadamente, os processos produtivos da indústria têxtil exigem grandes quantidades de água, gerando cerca de 50 L a 100 L de água residual por quilo de tecido produzido (Arslan-Alaton *et al.*, 2008).

Atualmente, empresas de produção têxtil vêm implementando práticas sustentáveis, visando à competitividade no mercado, que tem priorizado produtos advindos de processos sustentáveis, de modo a reduzir a pegada ecológica, assim cumprindo os objetivos ambientais e sociais previstos em legislações específicas (Moreira *et al.*, 2023).

CARACTERIZAÇÃO DOS CORANTES UTILIZADOS NA INDÚSTRIA TÊXTIL

O uso de corantes data da era da Idade da Pedra, período marcado pelas primeiras pinturas em cavernas. Desde então, os corantes contribuíram para o desenvolvimento simbólico e social das civilizações, associados com hierarquia, poder e liderança, em algumas civilizações. A adoção dos

pigmentos sintéticos revolucionou a indústria de corantes e, devido ao baixo custo, seu uso se espalhou para diferentes setores da indústria (Ardila-Leal *et al.*, 2021).

O aumento mundial na utilização de corantes sintéticos vem trazendo maior complexidade para a qualidade das águas residuais (Moreira, 2017; Rai, 2005; Zollinger, 2003). Embora o percentual de corantes liberados em efluentes, pelas indústrias têxtil, alimentar, farmacêutica, cosmética e de papel, não seja conhecido, os efeitos tóxicos e as implicações ecológicas dessa liberação em corpos hídricos são reconhecidamente prejudiciais (Ardila-Leal *et al.*, 2021).

Esses compostos são considerados poluentes orgânicos persistentes, devido à sua resistência a tratamentos convencionais, como coagulação, oxidação biológica, adsorção, troca iônica e oxidação química, o que, conseqüentemente, leva à contaminação do meio ambiente (Moreira, 2017; Rai, 2005; Zollinger, 2003). A estabilidade dos corantes sintéticos e sua difícil degradação devido à estrutura molecular complexa, potencializa os riscos à saúde humana e de animais (Banerjee, Chattopadhyaya, 2017; Bhatia *et al.*, 2017; Soni *et al.*, 2020).

Os corantes ácidos são substâncias de caráter aniônico, solúveis em água e portadores de um a três grupos sulfônicos. A afinidade do corante com a fibra deve-se às ligações iônicas formadas. Esses corantes são constituídos por substâncias com estrutura química baseada em compostos azo, antraquinona, triarilmetano, azina, xanteno, ketonimina, nitro e nitroso, que contribuem para ampla faixa de coloração e grau de fixação. Comumente, são utilizados em lã, *nylon*, seda, acrílicos modificados, cosméticos, couro e papel (Guaratini; Zanoni, 2000; Gupta; Suhas, 2009; Chaves; Carvalho; Oliveira, 2022).

Os corantes básicos são substâncias químicas solúveis em água que produzem cátions coloridos em solução e, por isso, são chamados também de corantes catiônicos. São usados para fins medicinais e no tingimento de papel, poliéster e lã. As principais classes químicas são: triarilmetano, cianina, tiazina, oxazina e acridina (Akbari *et al.*, 2002; Gupta; Suhas, 2009).

Os corantes reativos contêm um grupo eletrofílico (reativo) que tem capacidade de formar ligação covalente com grupos hidroxila das fibras celulósicas, com grupos amino, hidroxila e tióis das fibras proteicas e, também, com grupos amino das poliamidas. Geralmente, são utilizados em algodão e outras fibras celulósicas e contêm as funções azo e antraquinona como grupos cromóforos (Guaratini; Zanoni, 2000)

Os corantes diretos são solúveis em água e capazes de tingir fibras de celulose a partir de interações de Van der Waals. Esses corantes contêm mais de um grupo azo e são aplicados em algodão, papel, couro e *nylon* (Alcântara; Daltin, 1996; Gupta; Suhas, 2009).

Os corantes azoicos são os mais utilizados no mundo, em razão de sua estabilidade, simplicidade e custo-benefício de sua síntese e a diversidade de cores geradas em comparação com os

corantes naturais. São corantes insolúveis em água e sintetizados sobre a fibra durante o tingimento. É um método de tingimento de alto padrão de fixação e alta resistência à luz e umidade (Guaratini; Zanoni, 2000; Saratale *et al.*, 2009).

Os corantes de enxofre são insolúveis em água e utilizados em fibras celulósicas. Para sua aplicação, é necessário adicionar um redutor químico, como hidrossulfito de sódio. Uma desvantagem dessa classe de corante é a geração de resíduos altamente poluentes (Alcântara; Daltin, 1996; Guaratini; Zanoni, 2000).

Geralmente, são corantes utilizados para tintura de fibras proteicas e poliamida. No processo de tintura, é explorada a capacidade de interação entre o metal e os grupamentos funcionais com pares de elétrons livres, como aqueles contidos nas fibras proteicas. A desvantagem é a alta quantidade de metal (cromo) nas águas de rejeitos (Guaratini; Zanoni, 2000).

Os corantes de cuba insolúveis em água e utilizados em algodão e fibras celulósicas, após redução com hidrossulfito de sódio em meio alcalino, transformam-se em composto solúvel (Gupta; Suhas, 2009; Alcântara; Daltin, 1996).

Os corantes dispersivos compõem uma classe de corantes insolúveis em água usados em fibras de celulose e outras fibras hidrofóbicas. Geralmente, esses corantes contêm grupos azo, antraquinona e nitro (Guaratini; Zanoni, 2000; Gupta; Suhas, 2009).

Já os corantes branqueadores são utilizados com o intuito de diminuir a tonalidade amarelada das fibras têxteis no estado bruto. São comercializados nas formas de pó, pasta e líquidos, e requerem o uso de tensoativos para homogeneizar e acelerar a umectação do tecido durante o tingimento (Guaratini; Zanoni, 2000; Alcântara; Daltin, 1996).

IMPACTOS AMBIENTAIS DOS CORANTES SINTÉTICOS

Devido às suas vantagens sobre os corantes naturais, os corantes sintéticos tornaram-se prevalentes. No entanto, sua produção levou ao aumento da poluição ambiental, especialmente em águas subterrâneas, por meio de processos de advecção, dispersão e retardo (Chan *et al.*, 2024). De acordo com Tahir *et al.* (2021), os corantes sintéticos usados na indústria têxtil são responsáveis pela Demanda Química de Oxigênio (DQO); pelos Sólidos Dissolvidos Totais (SDT); os Sólidos Suspensos Totais (SST) e a persistência da cor nas águas. Tal fato pode provocar sérios impactos nos corpos d'água, como o rápido consumo de oxigênio dissolvido, ao inibir a penetração da luz solar nas camadas mais profundas da água, resultando em sérios danos ambientais e na morte de organismos encontrados no corpo d'água (Garg; Tripathi, 2017).

A poluição por corantes é um preocupante problema no mundo, por afetar a saúde dos ecossistemas, e, assim, demandar soluções sustentáveis e econômicas (Tripathi *et al.*, 2023). O consórcio de culturas de microrganismos, aliado a tecnologias avançadas, é uma importante abordagem para o melhoramento de processos para biorremediação em corantes azo, promovendo o decréscimo de poluentes e estabelecendo um modelo para práticas industriais responsáveis e alinhadas ao avanço científico (Sharma *et al.*, 2024).

MÉTODOS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES TÊXTEIS

Diversas técnicas podem ser utilizadas para remover corantes, a fim de mitigar seu impacto no meio ambiente. Dentre os processos físico-químicos, constam a coagulação e floculação; adsorção; filtração por membrana; os processos oxidativos avançados; a ozonização; fotocatalise; o processo Fenton; e processo Foto-Fenton (Hachemaoui *et al.*, 2020; Oliveira; Chaves; Carvalho; Oliveira, 2022).

Samsami *et al.* (2020), em seus estudos, evidenciaram que as tecnologias físicas, químicas e biológicas apresentam desvantagens, vantagens e limitações, quando utilizadas para remover corantes em efluentes, o que pode ser otimizado e ter mais eficiência, a partir de processos híbridos e/ou integrados.

O uso de tecnologias convencionais tem se mostrado ineficiente, e os métodos apresentam alto custo (energia elétrica e requisitos químicos) e baixa eficiência, que geram grandes volumes de lodo e provocam a ineficiência na remoção de corantes e toxicidade dos efluentes tratados (Singh; Arora, 2011).

Os corantes podem ser tratados a partir de processos físicos, químicos e biológicos, porém, esses tratamentos não conseguem remover por completo todos os poluentes dos corantes residuais de indústrias têxteis, assim, é necessário desenvolver metodologias com mais eficiência na remoção de contaminantes e redução de custos de operação e espaço (Islam *et al.*, 2023; Moyo; Makhanya; Zwane, 2022).

Os métodos físico-químicos são utilizados no processo de tratamento de efluentes. No entanto, o tratamento biológico é menos nocivo ao meio ambiente; gera baixo lodo inorgânico; baixos custos de trabalho; mineraliza/estabiliza por completo o corante têxtil; não exige grandes áreas; e obtém eficiência em menor tempo (Holkar *et al.*, 2016; Routoula; Patwardhan, 2020; Shi *et al.*, 2021).

Abordagens biotecnológicas, aliadas a métodos físico-químicos, apresentam melhorias na descoloração de corantes e identificação de metabólitos, de maneira que o uso de biorreatores de membrana e tratamentos híbridos surgem como alternativas promissoras e acessíveis para a remoção

de diferentes classes de corantes (Costa *et al.*, 2025). Desse modo, microrganismos, como bactérias, leveduras e fungos filamentosos, têm demonstrado resultados com alta relevância na degradação de misturas de corantes azo (Balachandran; Sabumon, P. C., 2025).

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este estudo consistiu em uma revisão integrativa de literatura e teve como objetivo analisar e sintetizar o conhecimento científico disponível sobre a biorremediação de corantes têxteis por microrganismos. O estudo foi conduzido de acordo com a metodologia descrita por Lakatos e Marconi (2003).

Foram realizadas buscas nas plataformas Google Acadêmico, Web of Science, Scopus, PubMed, ScienceDirect e Scientific Electronic Library On-Line (SciELO), utilizando as combinações de palavras-chave “biorremediação”, “corantes têxteis”, “microrganismos”, “biodegradação” e “tratamento biológico”. As buscas contemplaram publicações disponíveis, prioritariamente, em inglês, sem delimitação inicial de período, mas de artigos publicados nos últimos 10 anos, a fim de garantir a atualidade dos dados.

Os critérios de inclusão abrangeram a relevância dos trabalhos para o tema da biorremediação de corantes têxteis e a clareza na descrição dos microrganismos utilizados; mecanismos de degradação; e resultados obtidos. Foram incluídos artigos originais e revisões bibliográficas pertinentes ao tema. Excluíram-se trabalhos duplicados, artigos com informações insuficientes sobre os processos biológicos, e estudos cujo foco não estivesse diretamente relacionado à biorremediação de corantes. A análise dos artigos selecionados foi realizada de forma descritiva e comparativa, para identificar o estágio atual do conhecimento e as tendências na literatura científica sobre o uso de microrganismos na degradação e remoção de corantes provenientes de efluentes têxteis.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os impactos adversos causados por efluentes industriais, em especial os efluentes têxteis, podem ser atenuados ou eliminados com pesquisas que possibilitem o uso adequado de tecnologias para seu tratamento (Kamida *et al.*, 2007). Nesse sentido, a biorremediação pode ser importante ferramenta usada para descolorir, transformar ou mineralizar os corantes têxteis a partir da utilização da biomassa de plantas, bactérias e fungos (Lellis *et al.*, 2019).

O uso de processos microbianos e enzimáticos em águas residuais demonstra ser um processo viável para o tratamento de efluentes industriais por fornecerem adequadas condições dentro dos

processos biológicos (Jamee; Siddique, 2019). Assim, a biorremediação evoluiu como um método ambientalmente sustentável, economicamente viável e eficiente para o tratamento de efluentes têxteis (Udarshan *et al.*, 2022).

O potencial dos microrganismos abre nova abordagem, que segue padrões mais verdes e ecologicamente corretos para a biorremediação de águas residuárias industriais que contenham diversos corantes sintéticos (Tomar *et al.*, 2023). A degradação/remoção de corantes de efluentes feitas pelo ciclo microbiano depende de microrganismos que degradam/descolorem a pigmentação com estruturas químicas diversas (Rajhans *et al.*, 2021). A descoloração de corantes por meio de cepas microbianas tem sido frequentemente considerada uma solução economicamente viável, tecnologicamente em expansão, devido à sua relação custo-benefício e compatibilidade ecológica (Robinson *et al.*, 2001; Kalyani *et al.*, 2009).

Uma alternativa para a biorremediação na indústria têxtil consiste na utilização de bactérias, algas e células mortas como adsorventes, com baixo custo e eficiência para tratar efluentes têxteis, devido ao potencial de biossorção de microalgas e bactérias. Devido à sua extensa área de superfície e a existência de grupamentos químicos em suas paredes celulares, esses microrganismos apresentam muitos locais para adsorção eletrostática do corante (Sudarshan *et al.*, 2023).

A utilização de bactérias em processos de tratamentos de corantes têxteis demonstrou resultados promissores, pois o corante foi total ou parcialmente degradado. O uso dessa tecnologia depende diretamente do estabelecimento de condições ótimas, como pH, temperatura, concentração do corante, concentração de glicose como cosubstrato, dentre outras (Ikram *et al.*, 2022a; Ikram *et al.*, 2022b; Khandare *et al.*, 2023).

Ao utilizar a cepa bacteriana *S. liquefaciens*, Haq *et al.* (2018), constatou-se que a descoloração dos pigmentos do corante Azure-B foi de 90%, após incubação de 48 horas a 30°C. Em seus estudos, Roy; Uttariya *et al.* (2018) compreenderam que o uso de células bacterianas imobilizadas pode ter melhor eficiência na descoloração das partículas de corantes, quando comparado a procedimentos individuais de biodegradação e sorção.

As lacases, enzimas com potencial para degradar corantes, têm ganhado destaque como alternativa ecológica e eficiente, atuando na oxidação de diversos compostos, incluindo corantes, reduzindo a carga poluente de maneira menos prejudicial ao meio ambiente. Pesquisas indicam que a aplicação de lacases pode ser solução viável para o tratamento de águas residuais contendo corantes sintéticos, ao oferecer uma abordagem mais sustentável (Ur Rahman *et al.*, 2024).

Muzaffar *et al.* (2020) destacam que a utilização do *Aspergillus niger* mostrou alta eficiência na biodegradação de corantes, como o verde malaquita, com 100% de degradação, no período de 24 horas. A lacase, produzida ao longo desse processo, demonstrou alta atividade na degradação do FG5,

em 48 horas. Além disso, as atividades da enzima aumentaram, com a concentração dos corantes, enfatizando o papel crucial que as enzimas microbianas possuem na degradação de corantes têxteis.

Em seus estudos, Alaguprathana *et al.* (2022) constataram que, para tornar os resultados favoráveis à degradação dos pigmentos do corante reactive black 5 (RB5), a cepa fúngica *A. flavus* pré-tratada deveria ser adicionada a um meio com condições ótimas, como: concentração do corante e biossorvente, pH, tempo de incubação e temperatura.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O potencial dos microrganismos como ferramentas biotecnológicas para o tratamento de efluentes industriais contaminados com corantes abre nova abordagem que segue padrões mais verdes e ecologicamente corretos. Assim, diversos grupos microbianos podem ser utilizados para promover a descontaminação de efluentes industriais poluídos.

Dentre os microrganismos utilizados em estratégias de biorremediação, os fungos se destacam por sua eficiência, redução de resíduos e viabilidade econômica, contribuindo com a sustentabilidade em longo prazo, de modo a beneficiar a indústria têxtil e os ecossistemas.

REFERÊNCIAS

ALAGUPRATHANA, M. *et al.* Sodium hydroxide pre-treated *Aspergillus flavus* biomass for the removal of reactive black 5 and its toxicity evaluation. **Environmental Research**, v. 214, p. 113859, 2022.

ALATON, I.; GURSOY, B. H.; SCHMIDT, J.-E. Advanced oxidation of acid and reactive dyes: effect of Fenton treatment on aerobic, anoxic and anaerobic processes. **Dyes and Pigments**, v. 78, n. 2, p. 117–130, ago. 2008.

ARDILA-LEAL, Leidy D. *et al.* A brief history of colour, the environmental impact of synthetic dyes and removal by using laccases. **Molecules**, v. 26, n. 13, p. 3813, 2021.

ARSLAN-ALATON, Idil; BETUL, Hande Gursoy; SCHMIDT, Jens-Ejbye. Advanced oxidation of acid and reactive dyes: effect of fenton treatment on aerobic, anoxic and anaerobic processes. **Dyes and Pigments** 78 (2): 117 – 30. <https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2007.11.001>.

ABIT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA TÊXTIL E DE CONFECÇÃO. **Perfil do setor**. Abit, 2024. Disponível em: <https://www.abit.org.br/cont/perfil-do-setor>. Acesso em: 10 nov. 2025.

BALACHANDRAN, B.; SABUMON, P. C. A comprehensive review on biodegradation of Azo dye mixtures, metabolite profiling with health implications and removal strategies. **Journal of Hazardous Materials Advances**, p. 100834 – 100834, 1º jul. 2025.

BANERJEE, S.; CHATTOPADHYAYA, M. C. Adsorption characteristics for the removal of a toxic dye, tartrazine from aqueous solutions by a low cost agricultural by-product. **Arabian Journal of Chemistry**, v. 10, p. S1629 – S1638, maio 2017.

BENKHAYA, S.; M'RABET, S.; EL HARFI, A. A review on classifications, recent synthesis and applications of textile dyes. **Inorganic Chemistry Communications**, v. 115, p. 107891, maio 2020.

BERRADI, M. *et al.* Textile finishing dyes and their impact on aquatic environs. **Heliyon**, v. 5, n. 11, p. e02711, nov. 2019.

BHATIA, D. *et al.* Biological methods for textile dye removal from wastewater: a review. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology**, v. 47, n. 19, p. 1836 – 1876, 2 out. 2017.

CHAN, Alfred *et al.* Environmental impact of synthetic dyes on groundwater in malaysia: sources, distribution, transport mechanisms, and mitigation strategies. **Tropical Aquatic and Soil Pollution**, v. 4, n. 2, p. 87 – 99, 2024. <https://doi.org/10.53623/tasp.v4i2.476>.

CHAVES, Nayane Oliveira; CARVALHO, Luana Caliandra Freitas; OLIVEIRA, Rosane Maria Pessoa Betânio. As principais técnicas utilizadas para remoção de corantes das águas residuais da indústria têxtil: uma revisão. **Revista Eletrônica Perspectivas da Ciência e Tecnologia**. ISSN: 1984 – 5693, v. 14, 2022. <https://doi.org/10.22407/1984-5693.2022.v14.p.e20221406>.

COSTA, R. *et al.* White rot fungi for biodegradation of dyes: potential for industrial uses – a review. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, 1º jan. 2025.

FATIMA, M. *et al.* Application of novel bacterial consortium for biodegradation of aromatic amine 2-ABS using response surface methodology. **Journal of Microbiological Methods**, v. 174, p. 105941–105941, 17 maio 2020.

HACHEMAOUI, M. *et al.* Composites beads based on Fe₃O₄@MCM-41 and calcium alginate for enhanced catalytic reduction of organic dyes. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 164, p. 468 – 479, 1º dez. 2020.

HAMAD, Mohammed T. M. H.; SAIED, Mona S. S. Kinetic studies of Congo red dye adsorption by immobilized *Aspergillus niger* on alginate. **Applied Water Science**, v. 11, p. 1–12, 2021.

HAQ, Izharul *et al.* Biodegradation of Azure-B dye by *Serratia liquefaciens* and its validation by phytotoxicity, genotoxicity and cytotoxicity studies. **Chemosphere**, v. 196, p. 58 – 68, 2018.

HASEENA, M. *et al.* Water pollution and human health. **Environmental Risk Assessment and Remediation**, v. 1, n. 3, 13 jul. 2017.

HOLKAR, Chandrakant R. *et al.* A critical review on textile wastewater treatments: possible approaches. **Journal of Environmental Management**, v. 182, p. 351 – 366, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.07.090>.

IKRAM, Muhammad *et al.* *Bacillus subtilis*: As an efficient bacterial strain for the reclamation of water loaded with textile azo dye, orange II. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 23, n. 18, p. 10637, 2022b.

IKRAM, Muhammad *et al.* Biodegradation of azo dye methyl red by *Pseudomonas aeruginosa*: optimization of process conditions. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 19, n. 16, p. 9962, 2022a.

ISLAM, Tarekul *et al.* Impact of textile dyes on health and ecosystem: a review of structure, causes, and potential solutions. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 30, n. 4, p. 9207 – 9242, 2023. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-24398-3>.

KALYANI, D. C. *et al.* Ecofriendly biodegradation and detoxification of Reactive Red 2 textile dye by newly isolated *Pseudomonas* sp. SUK1. **Journal of Hazardous Materials**, v. 163, n. 2 – 3, p. 735 – 742, 2009.

KHADHRI, Nisrine *et al.* Batch and continuous column adsorption of indigo carmine onto activated carbon derived from date palm petiole. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 7, n. 1, p. 102775, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2018.11.020>.

KHANDARE, Shrikant D. *et al.* Biodegradation and decolorization of trypan blue azo dye by marine bacteria *Vibrio* sp. JM-17. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 51, p. 102802, 2023.

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. **Fundamentos de metodologia científica**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2003.

LALNUNHLIMI, S.; KRISHNASWAMY, V. Decolorization of azo dyes (Direct Blue 151 and Direct Red 31) by moderately alkaliphilic bacterial consortium. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 47, n. 1, p. 39 – 46, jan. 2016. <https://doi.org/10.1016/j.bjm.2015.11.013>.

LELLIS, Bruno *et al.* Effects of textile dyes on health and the environment and bioremediation potential of living organisms. **Biotechnology Research and Innovation**, v. 3, n. 2, p. 275-290, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.biori.2019.09.001>.

MIA, R. *et al.* Review on various types of pollution problem in textile dyeing & printing industries of Bangladesh and recommendation for mitigation. **Journal of Textile Engineering & Fashion Technology**, v. 5, n. 4, 14 ago. 2019.

MD. MOINUDDIN SHEAM *et al.* Mycoremediation of reactive red HE7B dye by *Aspergillus salinarus* isolated from textile effluents. **Current Research in Microbial Sciences**, v. 2, p. 100056–100056, 2 ago. 2021.

MOREIRA, Francisca C. *et al.* Electrochemical advanced oxidation processes: a review on their application to synthetic and real wastewaters. **Applied Catalysis B: Environmental**, v. 202, p. 217-261, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2016.08.037>.

MOREIRA, L. *et al.* Sustainability as a Gateway to Textile International Markets: The Portuguese Case. **ProQuest**, p. 4669, 2023. <https://doi.org/10.3390/su15054669>.

MOYO, S.; MAKHANYA, B. P.; ZWANE, P. E. Use of bacterial isolates in the treatment of textile dye wastewater: a review. **Heliyon**, v. 8, n. 6, p. e09632, jun. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09632>.

MUZAFFAR, Husain Shoaab *et al.* Kinetic study of dyes degradation by *Aspergillus niger* in submerged fermentation. **Res J Chem Environ**, v. 24, n. 4, p. 16-24, 2020.

NONE NAGRAJ *et al.* Degradation of Dyes by Fungi: An Overview on Recent Updates. **The Microbe**, p. 100232–100232, 1 dez. 2024.

OLIVEIRA CHAVES, N.; CARVALHO, L. C. F.; OLIVEIRA, R. M. P. B. As principais técnicas utilizadas para remoção de corantes das águas residuais da indústria têxtil: uma revisão. **Revista Eletrônica Perspectivas da Ciência e Tecnologia**. ISSN: 1984-5693, v. 14, 23 dez. 2022.

PARMAR, Shubhangi *et al.* Microorganism: An ecofriendly tool for waste management and environmental safety. *In: Development in wastewater treatment research and processes*. **Elsevier**, 2022. p. 175-193. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85657-7.00001-8>.

PERIYASAMY, Aravin Prince. Recent advances in the remediation of textile-dye-containing wastewater: prioritizing human health and sustainable wastewater treatment. **Sustainability**, v. 16, n. 2, p. 495, 2024.

RAI, Harpreet Singh *et al.* Removal of dyes from the effluent of textile and dyestuff manufacturing industry: a review of emerging techniques with reference to biological treatment. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology**, v. 35, n. 3, p. 219-238, 2005. <https://doi.org/10.1080/10643380590917932>.

RAJHANS, Geetanjali *et al.* Degradation of dyes by fungi: an insight into mycoremediation. **Biotechnologia**, v. 102, n. 4, p. 445, 2021.

RIOS, B.; BATISTA, P. F. DA S.; CRYSTELLO, D. C. B. Impactos da poluição e alteração de habitat em ecossistemas de água doce: uma revisão bibliográfica. **Caderno Pedagógico**, v. 21, n. 8, p. e6568, 9 ago. 2024.

ROBINSON, Tim *et al.* Remediation of dyes in textile effluent: a critical review on current treatment technologies with a proposed alternative. **Bioresource Technology**, v. 77, n. 3, p. 247-255, 2001.

RODRIGUES, Kelly *et al.* Decolorization and Detoxification of Industrial Wastewater Containing Indigo Carmine by *Aspergillus niger* AN400 in Sequential Reactors. **Colorants**, v. 3, n. 1, p. 73-85, 2024.

ROUTOULA, Eleni; PATWARDHAN, Siddharth V. Degradation of anthraquinone dyes from effluents: a review focusing on enzymatic dye degradation with industrial potential. **Environmental Science & Technology**, v. 54, n. 2, p. 647-664, 2020. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b03737>.

ROY, Uttariya *et al.* Assessment on the decolourization of textile dye (Reactive Yellow) using *Pseudomonas* sp. immobilized on fly ash: Response surface methodology optimization and toxicity evaluation. **Journal of Environmental Management**, v. 223, p. 185-195, 2018.

SAMSAMI, Shakiba *et al.* Recent advances in the treatment of dye-containing wastewater from textile industries: Overview and perspectives. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 143, p. 138-163, 2020.

SANNINO, Filomena *et al.* A Novel Approach, Based on the Combined Action of Chitosan Hydrogel and Laccases, for the Removal of Dyes from Textile Industry Wastewaters. **Is (Basel, Switzerland)**, v. 9,1 41, 4 jan. 2023, <https://doi.org/10.3390/gels9010041>.

SARATALE, R. G. *et al.* Decolorization and biodegradation of textile dye Navy blue HER by *Trichosporon beigelii* NCIM-3326. **Journal of Hazardous Materials**, v. 166, n. 2-3, p. 1421-1428, 2009.

SHARMA, M. *et al.* Microorganisms-assisted degradation of Acid Orange 7 dye: a review. **International Journal of Environmental Science and Technology**, v. 21, n. 7, p. 6133-6166, 2024. <https://doi.org/10.1007/s13762-023-05438-y>.

SHI, Yaqi *et al.* Recent advances in the biodegradation of azo dyes. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 37, p. 1-18, 2021. <https://doi.org/10.1007/s11274-021-03110-6>.

SINGH, Garima; DWIVEDI, S. K. Mechanistic, adsorption kinetics and confirmatory study of Congo red dye removal by native fungus *Aspergillus niger*. **Biomass Conversion and Biorefinery**, p. 1 – 19, 2022.

SINGH, K.; ARORA, S. Removal of Synthetic Textile Dyes From Wastewaters: A Critical Review on Present Treatment Technologies. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology**, v. 41, n. 9, p. 807 – 878, 6 abr. 2011.

SOLÍS, Myrna *et al.* Microbial decolouration of azo dyes: a review. **Process Biochemistry**, v. 47, n. 12, p. 1723 – 1748, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2012.08.014>.

SONI, Sanju *et al.* Utilisation of cobalt doped Iron based MOF for enhanced removal and recovery of methylene blue dye from waste water. **Journal of Molecular Liquids**, v. 314, p. 113642, 2020.

SUDARSHAN, Shanmugam *et al.* Impact of textile dyes on human health and bioremediation of textile industry effluent using microorganisms: current status and future prospects. **Journal of Applied Microbiology**, v. 134, n. 2, p. 1xac064, 2023.

TOMAR, Tanu *et al.* Bioremediation of synthetic dyes from wastewater by using microbial nanocomposites: An emerging field for water pollution management. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 51, p. 102767, 2023.

TRIPATHI, Manikant *et al.* Recent strategies for the remediation of textile dyes from wastewater: a systematic review. **Toxics**, v. 11, n. 11, p. 940, 2023. <https://doi.org/10.3390/toxics11110940>.

UR RAHMAN, Mujeeb *et al.* Harnessing the power of bacterial laccases for xenobiotic degradation in water: A 10-year overview. **Science of the Total Environment**, p. 170498, 2024.

WANG, R. *et al.* Efficient removal of azo dyes by *Enterococcus faecalis* R1107 and its application in simulated textile effluent treatment. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 238, p. 113577, 15 jun. 2022.

WORLD TRADE ORGANIZATION (WTO). **World Trade Statistical Review**. Genebra: WTO, 2023. Disponível em: https://www.wto.org/english/res_e/booksp_e/wtsr_2023_e.pdf. Acesso em: 16 set. 2025.

ZARE, K. *et al.* Enhanced removal of toxic Congo red dye using multi walled carbon nanotubes: Kinetic, equilibrium studies and its comparison with other adsorbents. **Journal of Molecular Liquids**, v. 212, p. 266 – 271, dez. 2015.

ZOLLINGER, Heinrich. **Color Chemistry. Synthesis, Properties and Applications of Organic Dyes and Pigments**. 3rd revised edition. By Heinrich Zollinger. John Wiley; Sons, 2003.

SOBRE OS AUTORES DO CAPÍTULO

Nome: Renan de Sousa Araujo

Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE)

Minicurrículo: Engenheiro Sanitarista e Ambiental. Mestrando em Meio Ambiente pelo IFCE, *Campus Juazeiro do Norte*, atua em pesquisas sobre biotecnologia.

E-mail: renansousa1229@gmail.com

Nome: Francisco Clark Nogueira Barros.

Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE).

Minicurrículo: Doutor em Bioquímica pela Universidade Federal do Ceará (UFC) com período sanduíche na St George's University of London. Graduação em Ciências Biológicas. Mestrado em Bioquímica pela UFC. Professor efetivo do IFCE, *Campus JN*. Membro do PPG em Meio Ambiente do IFCE, *Campus Juazeiro do Norte*.

E-mail: clark@ifce.edu.br

CAPÍTULO 9

GESTÃO CONSORCIADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NO CEARÁ: DESAFIOS E PERSPECTIVAS

Leonardo Rodrigues de Sousa (Discente)

Flávio César Brito Nunes (Orientador)

Maria Gorethe de Sousa Brito (Coorientadora)

RESUMO

Discute-se a gestão consorciada de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) no Ceará, com ênfase nas dimensões de governança, financiamento, desempenho institucional e adoção de tecnologias ambientais. A partir de uma revisão crítica da literatura e de marcos regulatórios, foram examinados como os arranjos intermunicipais podem ampliar a capacidade técnica, as economias de escala e a qualidade do serviço, ao mesmo tempo em que enfrentam desafios de coordenação federativa, sustentabilidade econômico-financeira e limites operacionais. Elementos de desenho institucional – regras decisórias, participação social e mecanismos de *accountability* –, foram analisados, assim como fontes e modelos de financiamento; requisitos de implementação tecnológica, capacitação e educação ambiental. A discussão integrou experiências nacionais e internacionais para identificar fatores críticos de sucesso e pontos de atenção, destacando caminhos para elevar a efetividade dos consórcios no contexto do semiárido nordestino. Por fim, são apresentadas recomendações práticas para o aprimoramento da governança, da gestão econômica e operação, com vistas à universalização e sustentabilidade dos serviços de manejo de RSU.

Palavras-chave: Gestão consorciada; Resíduos sólidos urbanos; Governança; Financiamento; Tecnologias ambientais.

INTRODUÇÃO

A gestão consorciada de RSU desponta como alternativa estratégica e necessária diante da crescente crise ambiental e na esfera urbana enfrentada pelo Brasil. A destinação inadequada dos resíduos permanece como desafio da administração pública municipal, afetando diretamente o equilíbrio ambiental, a saúde coletiva e a sustentabilidade dos territórios.

De acordo com a Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2023), aproximadamente um terço dos municípios brasileiros ainda utiliza lixões como forma de disposição final, revelando que a gestão ambientalmente correta dos resíduos sólidos continua distante. A persistência de práticas arcaicas, mesmo após a implementação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei n. 12.305/2010, evidencia a dificuldade estrutural dos municípios em atender às metas estabelecidas pela legislação (Brasil, 2010).

No contexto cearense, a situação assume contornos ainda mais desafiadores. Segundo dados da Agência Reguladora do Estado do Ceará (Arce), de 2025, 80,9% dos municípios destinam seus resíduos a lixões e 15% das residências não contam com coleta regular.

Isso indica que mais de 390 mil famílias adotam práticas inadequadas, como queimar ou enterrar seus próprios resíduos, expondo-se a riscos ambientais e de saúde pública. Essa realidade reflete as limitações operacionais e financeiras de muitos municípios cearenses, que, de forma isolada, não dispõem de infraestrutura e recursos técnicos suficientes para atender às exigências da PNRS (MMA, 2022).

A criação de consórcios públicos intermunicipais, prevista na Lei n. 11.107/2005, surge como instrumento de cooperação federativa capaz de racionalizar custos e otimizar recursos na execução das políticas públicas. Ao possibilitar que municípios compartilhem estruturas administrativas e responsabilidades, os consórcios proporcionam ganhos de escala e maior eficiência na implementação de soluções integradas (Santos; Silva, 2022).

No campo ambiental, a gestão consorciada representa uma inovação institucional voltada a superar o isolamento municipal, promovendo o planejamento regionalizado e o desenvolvimento sustentável. A PNRS reforça essa diretriz, ao estimular arranjos coletivos para o manejo, tratamento e a destinação final ambientalmente adequada (Brasil, 2010).

No Estado do Ceará, a consolidação dos consórcios públicos voltados à gestão de resíduos foi impulsionada por um conjunto de fatores institucionais e normativos, como a criação da Lei estadual n. 16.032/2016 e o apoio técnico de órgãos estaduais, a exemplo da Secretaria das Cidades e da Superintendência Estadual do Meio Ambiente (Sema). Tais consórcios foram concebidos para promover a eficiência administrativa, economia de escala e modernização dos serviços públicos, alinhando-se às diretrizes nacionais de gestão integrada dos resíduos (Ipece, 2023).

Entretanto, a efetividade desses arranjos ainda é objeto de debate. Estudos apontam que a simples criação de consórcios não garante o sucesso das políticas de resíduos sólidos, pois é imprescindível a existência de estruturas administrativas consolidadas, fontes estáveis de financiamento e mecanismos de governança compartilhada (Oliveira; Costa; Barbosa, 2022).

A participação social emerge como elemento fundamental para o fortalecimento institucional desses modelos, especialmente quando há envolvimento de cooperativas de catadores, organizações civis e representantes comunitários nas etapas de planejamento e monitoramento (Santos; Silva, 2022).

Comparativamente, experiências bem-sucedidas nos estados de Santa Catarina e Minas Gerais oferecem parâmetros valiosos para análise. Santa Catarina destaca-se pela quase universalização da disposição em aterros sanitários licenciados e pela atuação coordenada entre os municípios, enquanto Minas Gerais apresenta metodologias consistentes de avaliação dos consórcios intermunicipais, conforme demonstram Ferreira e Jucá (2017).

O desafio foi compreender se os consórcios do Ceará têm conseguido cumprir seus objetivos legais e operacionais, promovendo a transição para uma gestão sustentável e eficiente dos resíduos. Como ressaltam Silva (2021) e Rempel (2021), o desenvolvimento sustentável exige abordagens intersetoriais e cooperativas, capazes de integrar dimensões ambientais, econômicas e sociais de forma equilibrada.

Dessa forma, neste capítulo, o propósito é analisar criticamente a trajetória e o panorama atual dos consórcios públicos intermunicipais de resíduos sólidos no Ceará, destacando avanços, desafios e perspectivas. Objetiva-se compreender até que ponto a regionalização tem sido efetiva na superação das limitações históricas da gestão municipal isolada e quais fatores estruturais condicionam o sucesso desses arranjos cooperativos.

REVISÃO DE LITERATURA

GESTÃO CONSORCIADA COMO INSTRUMENTO DA COOPERAÇÃO FEDERATIVA

A gestão consorciada configura-se como instrumento estratégico de cooperação federativa voltado a superar limitações estruturais e financeiras de municípios isolados. A Lei n. 11.107/2005, regulamentada pelo Decreto n. 6.017/2007, estabelece as bases legais para a criação de consórcios públicos, permitindo que União, Estados, Distrito Federal e Municípios unam esforços para a execução de políticas públicas compartilhadas. Essa modalidade de governança permite, por meio da cooperação, reduzir custos, otimizar recursos humanos e materiais, além de garantir eficiência na prestação de serviços essenciais, especialmente em áreas como saneamento básico, saúde e gestão ambiental (Ferreira; Jucá, 2017).

No âmbito da gestão de resíduos sólidos, os consórcios apresentam-se como alternativa para enfrentar desafios técnicos e econômicos da municipalização. A ação coletiva possibilita a integração de planejamento estratégico, execução operacional e monitoramento de metas, superando a

fragmentação administrativa que historicamente prejudica o desempenho isolado dos municípios (Philippi Jr.; Bruna, 2019).

Estudos internacionais recentes reforçam que consórcios intermunicipais que combinam governança participativa, financiamento sustentável e incorporação de tecnologias ambientais apresentam mais resiliência e efetividade na prestação de serviços públicos (Smith; Gonzalez, 2022). A integração dessas dimensões permite que decisões estratégicas sejam sustentadas por dados técnicos, recursos financeiros confiáveis e envolvimento social estruturado, garantindo continuidade e ampliação das políticas consorciadas (Li *et al.*, 2023).

A constituição de consórcios envolve a definição clara de natureza jurídica e a elaboração de protocolo de intenções que formalize objetivos, responsabilidades e fluxos de governança. Um consórcio bem estruturado deve incluir instâncias deliberativas, comitês de acompanhamento, regimento interno atualizado e mecanismos de prestação de contas periódica (Rempel, 2021). O engajamento técnico-político dos municípios consorciados é determinante para a sustentabilidade do arranjo, pois sua efetividade depende da continuidade administrativa, capacitação de servidores e do cumprimento de compromissos financeiros e operacionais.

No Ceará, a adoção de consórcios regionais possibilitou a redução de custos operacionais, o compartilhamento de maquinários e treinamento técnico unificado para operadores de coleta e tratamento de resíduos. Tais arranjos também promoveram a padronização de procedimentos e o fortalecimento de políticas públicas ambientalmente sustentáveis (Abrelpe, 2022).

REGIONALIZAÇÃO DA POLÍTICA DE RESÍDUOS SÓLIDOS – ESCALA, EQUIDADE E SUSTENTABILIDADE

A regionalização da política de resíduos sólidos constitui estratégia central para promover eficiência, equidade e sustentabilidade, sobretudo em estados com diversidades territorial, socioeconômica e cultural, como o Ceará. A PNRS – Lei n. 12.305/2010 – estabelece a gestão integrada e compartilhada como ferramenta essencial para alcançar melhores resultados na coleta, no transporte, tratamento e na disposição final dos resíduos (Brasil, 2010). Complementando essa diretriz, a Lei Estadual n. 16.032/2016 reforça a necessidade da formação de consórcios regionais, considerando critérios de proximidade geográfica, volume de resíduos gerado, capacidade técnica e aspectos socioambientais locais (Ceará, 2016).

A regionalização permite a economia de escala, ao possibilitar que municípios compartilhem recursos, infraestrutura e pessoal especializado, otimizando rotas de coleta, transporte e destinação final. Essa integração facilita a implementação de programas de coleta seletiva, unidades de compostagem e centros de triagem, além de estimular a cooperação entre órgãos municipais e estaduais de fiscalização e gestão (Conpam, 2012). Experiências internacionais recentes demonstram que arranjos consorciados que adotam a regionalização eficiente conseguem reduzir custos logísticos, ampliar cobertura e aumentar a adesão da população aos programas de reciclagem, refletindo em ganhos ambientais significativos (Smith; Gonzalez, 2022).

Do ponto de vista social, a regionalização deve considerar os arranjos próprios das comunidades, incluindo cooperativas de catadores, redes comunitárias e associações locais, que desempenham papel central na triagem, reciclagem e educação ambiental. A inclusão institucional desses atores não apenas fortalece a inclusão social, mas também melhora o desempenho operacional e aumenta a eficácia das políticas públicas (Torres *et al.*, 2021). A experiência de Santa Catarina, por exemplo, mostra que consórcios que formalizam a participação de catadores em conselhos gestores e comitês de acompanhamento alcançaram mais eficiência na coleta seletiva e índices superiores de reciclagem, ao mesmo tempo em que promovem o empoderamento social e a geração de renda local (Li *et al.*, 2023).

A definição de infraestrutura adequada, como estações de transbordo, unidades de triagem e aterros sanitários, depende de planejamento financeiro robusto; de decisões técnicas baseadas em dados; e do engajamento político-social dos municípios consorciados (UN-Habitat, 2022). A adoção de tecnologias de triagem automatizada, sistemas de rastreamento logístico e *softwares* de gestão integrada, permite melhorar o monitoramento e a avaliação do desempenho, mas sua efetividade só é alcançada com a capacitação contínua de operadores, participação dos catadores e a supervisão institucional ativa (Wang *et al.*, 2023).

A regionalização da política de resíduos sólidos deve ser compreendida como um arranjo sistêmico, em que governança, tecnologia, financiamento e participação social se influenciam mutuamente. A integração desses elementos é fundamental para que os consórcios não apenas existam formalmente, mas operem de maneira eficiente, sustentável e inclusiva, garantindo impactos positivos sobre o meio ambiente, a economia e sociedade local.

GOVERNANÇA, FINANCIAMENTO E DESEMPENHO INSTITUCIONAL DOS CONSÓRCIOS

A governança dos consórcios públicos de resíduos sólidos é um fator central para a efetividade da gestão consorciada, pois determina não apenas a execução operacional, mas também a sustentabilidade e legitimidade do arranjo. Uma estrutura de governança bem consolidada deve contemplar a participação paritária dos municípios, de instâncias deliberativas e comitês de acompanhamento capazes de assegurar a implementação das políticas acordadas (Rempel, 2021).

Regimentos internos claros; processos decisórios formalizados; e mecanismos transparentes de prestação de contas contribuem para a coordenação e o monitoramento das ações, reduzindo riscos de falhas administrativas e conflitos intermunicipais (OECD, 2022).

No contexto da gestão consorciada, a participação institucionalizada da sociedade civil é imprescindível. Conselhos, audiências públicas, comitês de acompanhamento e a inclusão formal de cooperativas de catadores e associações comunitárias permitem que decisões estratégicas sejam tomadas com base em múltiplos interesses, promovendo *accountability* e legitimidade social (UN-Habitat, 2022).

Estudos internacionais recentes (Li *et al.*, 2023) demonstram que consórcios que incorporam mecanismos de governança participativa apresentam mais efetividade na execução de planos de coleta seletiva, reciclagem e gestão de aterros sanitários, pois conseguem alinhar objetivos técnicos, financeiros e sociais de maneira integrada (Smith; Gonzalez, 2022).

O financiamento constitui outro desafio crítico e determinante para o desempenho institucional. A sustentabilidade financeira depende da regularidade das contribuições municipais, da arrecadação derivada da prestação de serviços e da captação de recursos externos, incluindo fundos estaduais, federais e internacionais.

A irregularidade nos repasses ou a dependência excessiva de recursos externos compromete o planejamento de médio e longo prazos, impactando a manutenção de infraestrutura, capacitação profissional e operação de unidades de tratamento (Abrelpe, 2022).

A inter-relação entre governança, financiamento e tecnologia é essencial para o sucesso do modelo consorciado. Por exemplo, investimentos em tecnologias de triagem, sistemas de rastreamento logístico e plataformas de gestão integrada só são eficazes se acompanhados de robusta governança e recursos financeiros suficientes.

Da mesma forma, a capacitação contínua de operadores e gestores, associada à participação ativa da sociedade civil, garante que os recursos tecnológicos e financeiros sejam utilizados de forma eficiente, promovendo resultados sustentáveis e equitativos (UN-Habitat, 2022).

Para avaliar o desempenho institucional, é necessário adotar indicadores claros e multidimensionais. Dentre eles, destacam-se: cobertura da coleta; frequência da destinação final adequada; índices de reciclagem; eficiência operacional; participação e engajamento da sociedade civil; transparência na gestão e satisfação dos municípios consorciados. A falta de indicadores padronizados dificulta a identificação de falhas e o aprimoramento contínuo do sistema (Li *et al.*, 2023).

TECNOLOGIAS AMBIENTAIS E LIMITES OPERACIONAIS NA GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

A gestão eficiente de RSU depende de tecnologias ambientais adequadas às realidades territorial e operacional dos municípios. Estruturas como galpões de triagem, unidades de compostagem, estações de transbordo e aterros sanitários permitem o tratamento adequado dos resíduos, a logística reversa e o incentivo à economia circular (Sema, 2019).

A eficácia dessas tecnologias está diretamente ligada à capacitação de operadores, ao engajamento social e à governança, e mostra que aspectos técnicos, sociais e institucionais são interdependentes (Wang *et al.*, 2023). A subutilização de estruturas, manutenção inadequada e persistência de lixões evidenciam a necessidade de articulação entre investimento tecnológico, capacitação e educação ambiental (Araújo; Souza, 2024).

Apesar do investimento em infraestrutura, diversos desafios operacionais comprometem a eficácia dos consórcios. Dentre eles, destacam-se a burocracia no licenciamento ambiental, a falta de operadores qualificados, a desinformação da população sobre práticas de separação e a desconexão entre planejamento e execução (Morais, 2017).

Em muitos casos, mesmo com unidades de tratamento construídas, observa-se a subutilização das estruturas, manutenção inadequada e persistência de lixões irregulares, evidenciando a necessidade de integrar planejamento, capacitação e educação ambiental para garantir a efetividade do modelo de gestão consorciada.

A operacionalização das tecnologias requer, portanto, articulação sistêmica, que vai desde a coleta até a destinação final, com acompanhamento e monitoramento constantes. A literatura destaca que a eficiência depende de políticas públicas que incentivem a inovação, sustentabilidade e capacitação profissional, alinhando investimentos em infraestrutura com treinamento de pessoal e conscientização ambiental das pessoas (Araújo; Souza, 2024).

EFETIVIDADE DOS CONSÓRCIOS PÚBLICOS DE RESÍDUOS NO CEARÁ – LIMITES, RESULTADOS E DESFIOS

A efetividade dos consórcios, no Ceará, ainda enfrenta desafios, apesar da existência de consórcios formalmente constituídos. Muitos municípios apresentam falhas na coleta seletiva, estruturas físicas subutilizadas, planos de gerenciamento desatualizados e ausência de cobrança de taxas de resíduos (IBGE, 2023).

Comparativamente, Minas Gerais possui consórcios avaliados por Ferreira e Jucá (2017) com metodologias de desempenho aplicadas, enquanto Santa Catarina apresenta elevado índice de aterros sanitários regularizados e regionalização quase universalizada. No Ceará, ainda com alta taxa de lixões, a constituição formal não garante eficiência operacional, reforçando a importância de integração entre governança, financiamento, tecnologia e arranjos sociais.

Para consolidar consórcios eficazes, é essencial investimento contínuo em planejamento estratégico, governança, capacitação, tecnologia, educação ambiental e mecanismos financeiros estáveis. Estudos recentes indicam que consórcios bem estruturados promovem a redução de impactos ambientais, eficiência logística e equidade na prestação de serviços (Nascimento *et al.*, 2025).

A heterogeneidade no desempenho dos consórcios manifesta-se em diferenças regionais significativas. Enquanto alguns consórcios apresentam avanços em cobertura, tecnologia e governança, outros permanecem em estágio embrionário, sem operação estruturada ou planos de ação atualizados. A falta de integração entre órgãos estaduais, como Sema e Arce, e administrações municipais, dificulta a padronização de processos e o monitoramento de metas, comprometendo a uniformidade do serviço e a consolidação de boas práticas (Cores, 2024).

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este estudo foi desenvolvido com uma abordagem qualitativa e de natureza bibliográfica, a fim de compreender o funcionamento, os desafios e as potencialidades da gestão consorciada de RSU no Ceará. A pesquisa qualitativa, segundo Minayo (2012), permite interpretar os fenômenos sociais

em sua complexidade, considerando o contexto e os significados atribuídos pelos sujeitos e pelas instituições envolvidas.

A investigação bibliográfica, conforme Gil (2022), consiste na análise de publicações já elaboradas sobre determinado tema, possibilitando a sistematização do conhecimento existente e a identificação de lacunas teóricas. Dessa forma, foram consultadas fontes secundárias, como livros, artigos científicos, legislações federais e estaduais, relatórios técnicos e documentos oficiais de órgãos públicos, especialmente da Sema, da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (Abrelpe) e do Ministério do Meio Ambiente (MMA).

O levantamento bibliográfico foi estruturado em quatro etapas principais:

Identificação e seleção das fontes – mapeamento de materiais acadêmicos e normativos sobre a gestão de resíduos e a formação de consórcios públicos;

Leitura exploratória e fichamento – análise inicial dos textos com o objetivo de identificar os principais conceitos e as abordagens;

Leitura interpretativa – articulação entre as teorias e as experiências de gestão consorciada, com ênfase no contexto cearense;

Análise e sistematização dos dados – síntese dos resultados obtidos, destacando aspectos de governança, sustentabilidade e desafios operacionais.

A análise dos dados seguiu a abordagem interpretativa, voltada para a identificação de padrões de efetividade, fatores condicionantes e boas práticas no contexto da gestão compartilhada dos RSU; a metodologia possibilitou a construção de uma visão abrangente sobre os consórcios intermunicipais cearenses, integrando as dimensões política, administrativa, econômica e ambiental.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados revelam que, embora o estado tenha alcançado progressos significativos na criação de consórcios intermunicipais e regionalização da gestão, a efetividade prática desses arranjos ainda se mostra limitada, sobretudo em razão de deficiências administrativas, instabilidade financeira e fragilidade na articulação entre os municípios consorciados.

Os dados da Arce, em 2025, indicam que mais de 80,9% dos municípios cearenses ainda utilizam lixões como destino final dos resíduos, o que demonstra a baixa efetividade das ações

consorciadas em relação à meta estabelecida pela PNRS, que prevê a eliminação dos lixões e a universalização de aterros sanitários ambientalmente adequados.

Nesse sentido, aproximadamente 15% das residências não possuem coleta regular, o que reforça as desigualdades regionais e a vulnerabilidade socioambiental de diversos territórios, especialmente nos pequenos municípios do interior (Arce, 2025).

Ao avaliar os 21 consórcios públicos intermunicipais formalizados no Ceará, foi possível constatar que a maioria se encontra em estágios iniciais de implementação, com baixa capacidade operacional e reduzida autonomia financeira. Em diversos casos, os consórcios ainda dependem de repasses pontuais do governo estadual ou de convênios federais, o que compromete a continuidade dos serviços e impede o planejamento de longo prazo.

Conforme apontam Ferreira e Jucá (2017), o sucesso dos consórcios depende diretamente da estabilidade das fontes de financiamento e da clareza na definição de competências e responsabilidades entre os entes consorciados. No caso cearense, observa-se que a inexistência de um modelo de governança estável e de instrumentos de monitoramento contínuo tem dificultado a consolidação das ações.

Em vários consórcios, as estruturas organizacionais são reduzidas e compostas por equipes técnicas limitadas, o que inviabiliza a execução de atividades de fiscalização, controle ambiental e educação ambiental. A carência de pessoal qualificado e programas de capacitação permanente, reflete a falta de institucionalização das práticas consorciadas, comprometendo a efetividade das políticas públicas.

Para Rempel (2021), a sustentabilidade das ações ambientais requer uma governança estruturada, capaz de articular políticas setoriais e promover a integração entre diferentes níveis de gestão pública.

A análise também demonstra que a regionalização isolada, sem a devida integração administrativa e o fortalecimento institucional dos municípios, não é suficiente para assegurar a eficácia dos consórcios. Em muitos casos, a simples criação de um consórcio não se traduz em ações efetivas no território.

A ausência de planos de gestão compartilhados, metas de desempenho e indicadores de monitoramento, impossibilita o acompanhamento sistemático dos resultados. Como destacam Ferreira e Jucá (2017), a regionalização só se torna eficiente quando acompanhada de mecanismos de governança cooperativa, com padronização de processos, conselhos deliberativos atuantes e instrumentos de controle social.

A maior parte ainda opera sob o paradigma tradicional de coleta e disposição final, sem aproveitamento energético ou reaproveitamento de materiais. Essa limitação está associada não apenas à falta de recursos, mas também à ausência de capacitação técnica e de incentivos para inovação (MMA, 2022).

A literatura aponta que a introdução de tecnologias ambientais depende de políticas de financiamento específicas, além de integração entre universidades, setor privado e poder público (Rempel, 2021).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A gestão consorciada de RSU no Ceará representa uma estratégia fundamental para fortalecer a cooperação intermunicipal e promover a sustentabilidade ambiental, sobretudo em um contexto marcado por limitações financeiras e estruturais dos municípios de pequeno e médio portes. A pesquisa demonstrou que, embora o estado apresente avanços institucionais importantes, ainda persistem desafios significativos na consolidação dos consórcios públicos intermunicipais como instrumentos efetivos de política pública.

Os resultados evidenciaram que a efetividade da gestão consorciada está diretamente relacionada a uma governança estruturada, ao financiamento contínuo e à capacidade técnica consolidada. Consórcios que possuem planejamento estratégico, papéis institucionais definidos e fontes estáveis de custeio apresentam melhor desempenho e continuidade das ações, enquanto arranjos frágeis enfrentam instabilidade administrativa e baixa execução de projetos.

A participação social também se mostrou determinante para a sustentabilidade dos consórcios. A inclusão de catadores, associações comunitárias e organizações locais amplia a legitimidade e transparência da gestão, contribuindo para a consolidação de uma cultura de corresponsabilidade ambiental. No entanto, observou-se que a maioria dos consórcios ainda carece de mecanismos participativos permanentes, o que limita o potencial transformador dessa política.

A simples formação de consórcios não garante eficácia sem o fortalecimento da governança interfederativa e a adoção de claros indicadores de desempenho. A ausência de padronização e integração técnica entre os entes consorciados compromete a operacionalização dos sistemas regionais e o alcance das metas previstas pela PNRS (Lei n. 12.305/2010).

Conclui-se que o fortalecimento da gestão consorciada exige uma abordagem integrada, que articule as dimensões políticas, técnicas, sociais e econômicas. O estudo reforça que a consolidação dos consórcios depende não apenas da adesão formal dos municípios, mas da construção de uma

cultura de cooperação regional baseada em planejamento, participação e compromisso com a sustentabilidade. Assim, a experiência cearense pode servir de referência para o aprimoramento das políticas públicas ambientais em âmbito nacional, contribuindo para uma gestão mais eficiente, equitativa e sustentável dos RSU.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, A. L. de; SOUZA, W. de J. Ecoeficiência no gerenciamento de resíduos sólidos: impactos positivos das tecnologias. **Journal of Media Critiques**, v. 10, n. 26, p. e63, 2024. DOI: 10.17349/jmcv10n26-014.

BRASIL. Lei n. 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 3 ago. 2010.

CEARÁ. Lei estadual nº. 16.032, de 20 de junho de 2016. Institui a Política Estadual de Resíduos Sólidos no Estado do Ceará. **Diário Oficial do Estado do Ceará**, 29 jul. 2016.

CONPAM. CONSELHO NACIONAL DE POLÍTICAS AMBIENTAIS. **Relatório sobre gestão ambiental e consórcios intermunicipais**. Brasília: Conpam, 2012.

CORES. **Institucional**. 2024. Disponível em: <https://cpmrscaririoriental.ce.gov.br/institucional/>. Acesso em: 16 fev. 2025.

FERREIRA, L.; JUCÁ, R. **Avaliação de consórcios públicos intermunicipais em Minas Gerais: metodologias e resultados**. Belo Horizonte: UFMG, 2017.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2022.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Municípios 2023: 31,9% dos municípios brasileiros ainda despejam resíduos sólidos em lixões**.

SOBRE OS AUTORES DO CAPÍTULO

Nome: Leonardo Rodrigues de Sousa.

Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE).

Minicurrículo: Mestrando em Meio Ambiente pelo IFCE, *Campus Juazeiro do Norte*. Pesquisa gestão de resíduos sólidos e políticas públicas ambientais voltadas à sustentabilidade e ao desenvolvimento regional.

E-mail: leonardo.rodrigues81@aluno.ifce.edu.br

Nome: Flávio César Brito Nunes.

Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE).

Minicurrículo: Doutor em Engenharia de Processos na Instituição de Ensino Superior em Campina Grande (UFCG). Professor do IFCE e do Programa de Pós-graduação em Meio Ambiente. Atua nas áreas de Engenharia Elétrica, Simulação Computacional e Telemedicina, com experiência em desenvolvimento de projetos tecnológicos.

E-mail: flavio.nunes@ifce.edu.br

Nome: Maria Gorethe de Sousa Brito.

Instituição: Universidade Federal do Cariri (UFCA).

Minicurrículo: Doutora em Engenharia de Processos na Instituição de Ensino Superior em Campina Grande (UFCG). Professora da UFCA e pesquisadora em Saneamento Ambiental. Atua em tratamento de águas residuárias, controle da poluição e qualidade físico-química de recursos hídricos.

E-mail: gorethe.brito@ufca.edu.br

CAPÍTULO 10

URBANIZAÇÃO, GÊNERO E DESIGUALDADES SOCIOESPACIAIS – QUE RELAÇÕES PODEMOS DESENVOLVER?

*Suelen Saraiva da Cruz Alexandre
Nilene Matos Trigueiro Marinho*

INTRODUÇÃO

As desigualdades socioespaciais e de gênero no espaço urbano são analisadas com o intuito de entender as relações de poder e os processos de segregação que estruturam as cidades contemporâneas. Para isso, dialoga-se com a leitura eliasiana, especificamente com o texto *Os Estabelecidos e os Outsiders*, de Norbert Elias e John Scotson (2000).

Compreende-se que as urbes, não raras vezes, são hostis às mulheres; o próprio deslocar-se pode parecer perigoso à sua integridade físico-emocional. O transporte público pode causar incômodos, como assaltos, importunações e abusos. Por isso, as mulheres, principalmente as de baixa condição econômica, veem-se cerceadas de deslocar-se livremente, para acessar as possibilidades da cidade.

Dessa forma, define-se como questão central: Como acontecem as formas de produção e reprodução das desigualdades socioespaciais e de gênero no espaço urbano contemporâneo? Parte-se da hipótese de que o processo de urbanização desigual das cidades, ao gerar transformações no ambiente urbano, tende a aprofundar as desigualdades de gênero, uma vez que pode restringir o acesso das mulheres a determinados espaços públicos, em virtude do temor de violências que incidem sobre seus corpos.

É importante destacar que a desigualdade urbana não atinge todas as mulheres da mesma maneira. As que passam por múltiplas vulnerabilidades – baixa escolaridade, baixa renda, pertencentes a grupos racializados, principalmente mulheres negras – sofrem com mais intensidade os impactos do precário processo de expansão urbana.

No bojo desta discussão, é importante considerar a intersecção entre gênero, raça, classe social e território, evidenciando que o modelo urbano não apenas desconsidera essas especificidades, mas também evidencia estruturas de desigualdade que reproduzem a exclusão e violência mais intensas para mulheres em situação de maior vulnerabilidade social.

A discussão sobre as desigualdades urbanas, no Brasil e no mundo, tem se intensificado nas últimas décadas, revelando que o espaço urbano não é neutro, mas marcado por disputas, hierarquias e exclusões. Nesse cenário, a análise das relações de gênero emerge como fundamental para se compreender a produção e reprodução da segregação socioespacial, especialmente no que se refere à vulnerabilidade feminina.

Nessa perspectiva, as cidades são espaços marcados por tensões entre grupos dominantes, que atuam para preservar privilégios, e grupos marginalizados, que enfrentam condições adversas de exclusão socioespacial.

Na obra *Os Estabelecidos e os Outsiders* (2000), Norbert Elias e John Scotson apresentam fecunda lente teórica para essa reflexão, ao analisar uma pequena comunidade inglesa. A partir de um estudo etnográfico, os autores demonstram como os grupos estabelecidos produzem mecanismos de exclusão, estigmatização e dominação sobre os considerados *outsiders*. Apesar dos focos amostral e histórico específicos, o teor teórico da obra tem sido amplamente aplicado para analisar dinâmicas sociais em contextos variados, incluindo a vida urbana contemporânea.

Compreender as relações entre homens e mulheres como parte de uma dinâmica relacional entre grupos em posições desiguais de poder e reconhecimento permite evidenciar processos de estigmatização, exclusão e hierarquização, que estruturam o pertencimento social e se refletem tanto nas configurações urbanas, quanto nas vulnerabilidades específicas vivenciadas pelas mulheres.

Neste artigo, a proposta é discutir os processos de urbanização, gênero e segregação socioespacial, por meio de uma revisão de literatura. Objetiva-se compreender como se dão as desigualdades de gênero no espaço urbano, pontuando a necessidade de uma abordagem interseccional e de políticas públicas sensíveis às especificidades femininas.

GÊNERO E A SEGREGAÇÃO NO ESPAÇO URBANO: PRIMEIRAS APROXIMAÇÕES

Nas últimas décadas, a urbanização tem ocorrido em ritmo acelerado. Nesse contexto, é importante destacar que, no interior dela, há uma série de processos de exclusão e segregação econômico-social, que se expressam espacialmente, criando territórios marcados por desigualdades acentuadas.

Segundo Santos (2006, p. 208),

a expansão da urbanização e a maior importância do fenômeno urbano permitem compreender como as novas formas espaciais expressam, simultaneamente, a integração e a exclusão sociais. Essas contrarrazões se localizam, do ponto de vista social, entre os pobres, os migrantes, os excluídos.

Esse processo evidencia a fragmentação espacial e as contradições internas das cidades contemporâneas. A urbanização brasileira foi marcada por profundas contradições sociais. O crescimento acelerado e desordenado das cidades intensificou desigualdades e produziu territórios segregados, nos quais a precariedade dos serviços urbanos atinge, principalmente, os mais pobres.

Por sua vez, a urbanização, especialmente quando ocorre de forma desordenada e sem planejamento, contribui para a segregação socioespacial e, conseqüentemente, para o aprofundamento das desigualdades econômicas e sociais nas cidades. Bittencourt; Giannotti; Marques (2021, p. 5) complementam, afirmando que “as desigualdades socioespaciais não são apenas acumulativas, mas se retroalimentam, produzindo efeitos duradouros sobre a vida dos grupos marginalizados”.

Assim, a segregação cria territórios periféricos e empobrecidos, nos quais a falta de serviços públicos básicos, como creches, escolas, hospitais, transporte e segurança, aumenta a vulnerabilidade das mulheres, que são majoritariamente responsáveis pelo cuidado familiar.

Pesquisas demonstram que as mulheres vivenciam o espaço urbano de forma diferenciada. Sadeghi *et al.* (2023, p. 3) destacam que segurança, iluminação e visibilidade são condições fundamentais para favorecer a presença feminina em espaços públicos. “As mulheres apontam a insegurança como fator central que limita sua circulação e permanência”. Essa percepção demonstra que a presença feminina na cidade ainda é condicionada por elementos que delimitam quem “pertence” e quem “não pertence” ao espaço público.

Nessa perspectiva, o planejamento urbano não é pensado considerando a figura da mulher que acumula funções, para além das tarefas familiares executadas em ambiente doméstico, ocupando vagas no mercado de trabalho.

A percepção de insegurança nos bairros influencia significativamente a mobilidade e o uso do espaço público pelas mulheres, afetando suas práticas cotidianas e oportunidades de atividade física, sobretudo, em relação a fatores como criminalidade local e disponibilidade de espaços seguros (Krenichyn, 2004).

Assim, é necessário considerar a construção sociocultural dos gêneros. O resultado dessas construções reverbera no modo como mulheres e homens vivenciam, de modos diferentes, o espaço urbano. Logo, o gênero, a raça e classe são fatores que enquadram as mulheres em posições diferentes

de vulnerabilidade, e constam em diversos campos da sociedade, bem como na própria divisão sexual do trabalho.

[...] caracterizada principalmente pela atribuição da esfera produtiva aos homens e da esfera reprodutiva às mulheres. Tal divisão está alicerçada nos princípios da separação (há “trabalhos de homens” e “trabalhos de mulheres”) e da hierarquização (o trabalho produtivo é mais valioso que o reprodutivo). Essa designação histórica ainda possui reflexos na inserção da mulher no mercado produtivo e na sua carga de trabalho, uma vez que ela detém a maior parte das atribuições de tarefas do lar (Macêdo *et al*, 2020, p. 90, grifos no original).

Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) compõem uma agenda global da Organização das Nações Unidas (ONU) criada em 2015, como parte da Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, que consiste em 17 objetivos interligados que visam a orientar políticas públicas, iniciativas privadas e esforços da sociedade civil para promover o desenvolvimento econômico-social e ambiental, de forma equilibrada e inclusiva, até 2030.

O ODS 5 visa a "alcançar a igualdade de gênero e empoderar todas as mulheres e meninas" (ONU, 2015) e impõe a necessidade de combater as desigualdades estruturais, inclusive as reproduzidas no espaço urbano. Desse modo, políticas urbanas inclusivas devem considerar a interseccionalidade de gênero, raça e classe, para garantir o acesso equitativo aos direitos fundamentais, à segurança e às oportunidades, a fim de permitir que as mulheres sejam agentes ativos na construção dos territórios.

É importante considerar também o ODS 11, cuja meta é “tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis”. Assim, reconhece que a urbanização acelerada e desigual é um dos desafios contemporâneos, especialmente em países do Sul Global.

Articulado com os debates sobre gênero e segregação socioespacial, o ODS 11 evidencia que a sustentabilidade urbana não se limita à infraestrutura física, mas também envolve dimensões sociais e simbólicas do espaço, como o direito à cidade, à mobilidade segura para mulheres e ao acesso equitativo a bens urbanos.

Harkot (2018) advoga que o uso diferenciado da cidade encontra sua raiz histórica no conceito de gênero, que enfoca as relações sociais e os comportamentos designados com base no sexo, aos quais foram atribuídos os rótulos “masculino” e “feminino”, a partir dos quais a sociedade se constituiu.

Um planejamento urbano patriarcal e racista pode reforçar a divisão sexual do trabalho e a desigualdade de gênero, ao deslocar famílias, muitas vezes chefiadas por mulheres, para áreas periféricas, com altos índices de violência e precariedade. O conceito de Elias (2000) permite compreender como práticas e estruturas sociais, incluindo o planejamento urbano, podem reforçar

divisões simbólicas e materiais entre grupos sociais, consolidando relações desiguais de poder, exclusão e resistência, especialmente, em contextos de periferia ou de vulnerabilidade social.

Rodrigues (2017, p. 1) corrobora essa compreensão, afirmando:

pouco se fala sobre um planejamento urbano voltado para a perspectiva de gênero, sendo as mulheres historicamente excluídas da produção do espaço urbano, desde o advento das cidades, exclusão essa que se mantém hoje adaptada a uma sociedade patriarcal¹, hierarquizada e capitalista.

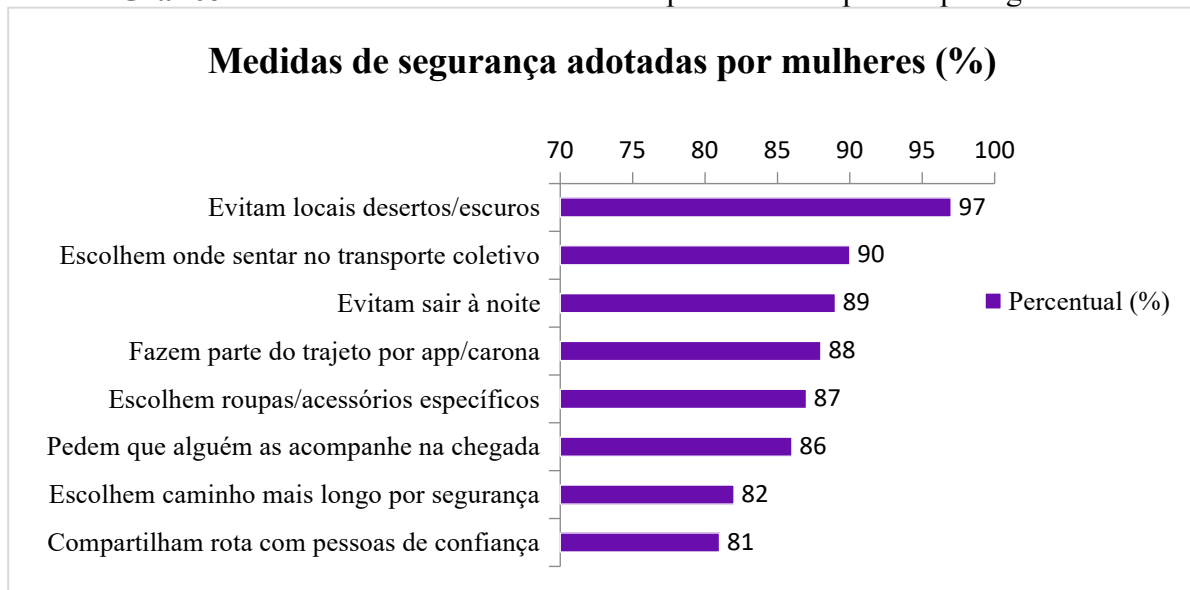
Por conta do medo da violência, as mulheres tendem a traçar mapas mentais dos locais públicos que lhes parecem ameaçadores, fruto de experiências próprias ou de informações recebidas de outras pessoas – além de sofrerem a constante ameaça de invasão de seus espaços pessoais, através de cantadas, assovios ou ataques físicos propriamente ditos (Harkot, 2018).

Esse cenário implica múltiplos deslocamentos pela cidade em um único dia, ao contrário da maioria dos homens, que, tradicionalmente, se deslocam mais linearmente, para o trabalho.

Segundo a pesquisa *Vivências e Demandas das Mulheres por Segurança no Deslocamento*, realizada pelo Instituto Patrícia Galvão, em parceria com o Instituto Locomotiva (2024), responsável por pesquisas qualitativas e quantitativas acerca da situação crítica que atinge as mulheres na sua condição de desigualdade de gênero, a autonomia delas fica comprometida após uma situação de violência. Com o intuito de se sentirem mais seguras, ao se deslocarem, a imensa maioria resolve adotar medidas individuais de proteção.

No Gráfico 1 listam-se medidas individuais de proteção adotadas por mulheres e evidencia uma resposta a experiências concretas de insegurança – como assédio, violência e medo de deslocamento.

¹ Patriarcado é compreendido como um sistema masculino de opressão das mulheres, caracterizado por uma economia domesticamente organizada que o sustenta, na qual as mulheres são objeto de satisfação sexual dos homens, reprodutoras de herdeiros, reprodutoras de trabalho e de novas reprodutoras. Patriarcado, então, representa o somatório de dominação e de exploração, que Saffioti (id., p. 6) entende como opressão e que, não obstante os avanços femininos, não teve sua base material destruída. Afinal de contas, as mulheres continuam sendo, sistematicamente, dominadas, exploradas e oprimidas (Osterne, 2007, p. 134)

Gráfico 1 – Medidas individuais adotadas por mulheres para se protegerem

Fonte: Pesquisa Vivências e Demandas das mulheres por Segurança no Deslocamento (Instituto Patrícia Galvão/Locomotiva, 2024). Adaptado pela autora

Tais medidas (evitar certos horários, alterar trajetos, buscar companhia, monitorar ambientes, usar aplicativos de localização, etc.) são respostas subjetivas e estratégicas a um contexto no qual o grupo feminino frequentemente ocupa a posição de *outsider*, em espaços públicos predominantemente "masculinizados" (Carvalho; Monti, 2019; Alexandre *et al.*, 2019).

Esses dados denotam a complexidade dos deslocamentos pela cidade e o quanto o espaço urbano pode ser hostil para esse público. Assim, cotidianamente, mulheres adotam estratégias individuais para tentar se proteger das mais variadas formas de violência.

Conforme Davis (2016), a violência sexista não é imanente dos homens, nem se perpetua por causa de um impulso incontrolável, mas é estrutural e reproduzida pelo conjunto da sociedade, cuja prática extrapola vontades individuais. Destarte, a diferença das posições de poder entre homens e mulheres advém de uma sociedade patriarcal, na qual as mulheres são objetos da opressão masculina (Saffioti, 2015).

O poder dos homens sobre os corpos femininos, bem como a ideia deles de que a mulher pode ser propriedade sua, violentam, traumatizam e matam mulheres, todos os dias, no Brasil (Fernandes; Oliveira, 2021).

Nessa perspectiva, é importante destacar os efeitos negativos dessa dinâmica, que tem se mostrado cada vez mais nociva. Loboda e Grotto (2024, p. 200) argumentam que

o aumento da violência urbana é multifacetado, resultante de diversos fatores interligados. Entre eles, destacam-se a desigualdade social, a ausência de políticas públicas eficazes para prevenção e combate à violência, a disseminação de drogas ilícitas e a urbanização acelerada.

Ainda, na ótica desses autores:

O processo de urbanização, muitas vezes, ocorre de maneira desordenada e sem um planejamento adequado. Isso pode resultar em um aumento do isolamento social e uma maior concentração de pobreza e marginalização em determinadas áreas urbanas, criando um ambiente propício para o surgimento e a proliferação da violência (Loboda; Grotto, 2024, p. 200).

Nessa perspectiva, de acordo com Cymbalista *et al.* (2008, p. 1),

o modelo de expansão urbana que resulta no inchaço das periferias sem infraestrutura, equipamentos públicos, qualidade urbanística e ambiental cerceia de forma mais intensa a circulação das mulheres expostas a um padrão de vida precário e marcado pela violência.

Ademais, Cymbalista *et al.* (2008) apontam que, nos bairros mais pobres, os poucos espaços públicos – normalmente campos de futebol ou quadras esportivas – são, na maior parte do tempo, apropriados pelos homens.

Assim, as mulheres estão, mais do que nunca, integradas à produção do espaço construído, mas permanecem invisíveis, nas atividades e funções que desempenham. Não usufruem a cidade, apenas a acessam em parte (Gonzaga, 2004).

Essa fala retrata o cotidiano de milhares de pessoas que enxergam a cidade como de difícil acesso, evidenciando que essa relação é excludente, haja vista que nem todos a acessam em sua totalidade, ou seja, sequer conseguem acessar os bens e serviços existentes. Gonzaga (2004) infere que, nas relações de classe, a mulher pertence a classes inferiores não só economicamente, mas, antes de mais nada, culturalmente, pelo fato de este ser um dos sustentáculos da ideologia dominante.

O patriarcado, ideologia construída e dominante, que chega ao seu apogeu em meados do século XII, desenvolveu um arcabouço de justificativas teóricas para embasar a produção do “caráter inferior” das mulheres. A mulher, já na instituição familiar, tem um papel real de subalternidade, embora não tenha sido sempre assim (Gonzaga, 2004, p.76, grifos no original).

Isso posto, é importante compreender, segundo Lefebvre (1991, p.60), que “a cidade passou por períodos críticos de desestruturações e reestruturações que se sucederam no tempo e no espaço”.

Com as mulheres não foi diferente. “As mulheres estavam e estão presentes na dinâmica deste processo de desenvolvimento da cidade” (Gonzaga, 2004, p. 73).

Neves e Alves (2020) consideram que, na atualidade, é indiscutível a invisibilidade das mulheres nas cidades brasileiras, em variados aspectos, principalmente quando se trata de planejamento urbano, o que interfere diretamente na apropriação e no uso dos espaços. Segundo Elias e Scotson (2000, p. 22), “a exclusão e a estigmatização dos *outsiders* pelo grupo estabelecido eram armas poderosas para que este último preservasse sua identidade e afirmasse sua superioridade, mantendo os outros firmemente em seu lugar”.

Ortiz *et al.* (2025, p. 8), ao analisarem bairros autoconstruídos em Cali/Colômbia, defendem que “ignorar identidades múltiplas no planejamento urbano perpetua exclusões e invisibilidades”. Essa perspectiva complementa o pensamento eliasiano, ao considerar que os *outsiders* não são homogêneos, mas múltiplos, e seus estigmas podem ser reforçados por diferentes marcadores sociais.

Em virtude desses fatores, a mulher acaba moldando seus comportamentos, a partir de condições de um espaço produzido pelos homens e para os homens, corroborando assim a segregação de gênero².

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Trata-se de uma revisão narrativa de literatura, voltada a responder à questão norteadora: Como o processo de urbanização desigual das cidades pode aprofundar as desigualdades entre os gêneros? A revisão narrativa foi escolhida por permitir a integração crítica e interpretativa de produções científicas diversas, possibilitando uma análise teórico-conceitual ampla das relações que podem ser estabelecidas entre gênero, urbanização e segregação socioespacial.

O levantamento bibliográfico foi realizado entre março e outubro de 2025, nas bases Scientific Electronic Library On-Line (SciELO), Web of Science, Scopus e Google Scholar. Os descritores empregados, em português, inglês e espanhol, foram: “gênero e urbanização”, “segregação socioespacial” e “vulnerabilidade feminina”. A combinação de termos em diferentes idiomas serviu

² Nesse contexto, o conceito de gênero passa a englobar todas as formas de construção social, cultural e linguística implicadas com os processos que diferenciam mulheres de homens, incluindo aqueles processos que produzem seus corpos dotados de sexo, gênero e sexualidade. O conceito de gênero privilegia, exatamente, o exame dos processos de construção dessas distinções – biológicas, comportamentais ou psíquicas - percebidas entre homens e mulheres; por isso, ele nos afasta de abordagens que tendem a focalizar apenas papéis e funções de mulheres e homens para aproximar-nos de abordagens muito mais amplas, que nos levam a considerar que as próprias instituições, os símbolos, as normas, os conhecimentos, as leis e as políticas de uma sociedade são constituídos e atravessados por representações (Scott, 1995; Louro, 1997; Meyer, 2006b *apud* Louro *et al.*, 2013, p. 18).

para ampliar a abrangência do levantamento e incluir produções internacionais que dialogassem com o contexto brasileiro, não se limitando a uma única região.

O período compreendido entre 2000 e 2025 foi adotado como recorte temporal. Essa delimitação justifica-se pelo caráter dinâmico e contínuo do processo de urbanização, marcado por transformações políticas, econômicas e tecnológicas, que influenciam diretamente a experiência urbana e as desigualdades de gênero. Assim, estudos recentes, que refletissem as novas dinâmicas sociais e urbanas, foram incorporados, sem desconsiderar obras clássicas, indispensáveis à fundamentação teórica.

Foram incluídos, ainda, estudos que abordassem as intersecções entre desigualdades de gênero e espaço urbano, no Brasil e em outros países; apresentassem texto disponível na íntegra; estivessem publicados entre 2000 e 2025; e contribuíssem para a análise das desigualdades urbanas na perspectiva de gênero.

Ao todo, foram identificados 61 artigos, na etapa inicial do levantamento bibliográfico. Após a aplicação dos critérios de inclusão e exclusão, como a pertinência temática, o recorte temporal, idioma, acesso ao texto completo e a aderência ao objetivo da pesquisa, a amostra final foi composta por 22 estudos.

Após a triagem, os estudos selecionados foram organizados em dois eixos temáticos: gênero e urbanização, que contempla pesquisas sobre mobilidade, participação social, políticas públicas e vivências femininas no espaço urbano; e segregação socioespacial e gênero, que aborda vulnerabilidades, exclusões territoriais e a produção desigual do espaço.

A análise do material foi conduzida segundo os princípios da análise de conteúdo, proposta por Minayo (2001, p. 74), entendida como

um conjunto de técnicas de análise das comunicações, que visa obter, por procedimentos sistemáticos e objetivos de descrição do conteúdo das mensagens, indicadores que permitam a inferência de conhecimentos relativos às condições de produção e recepção dessas mensagens.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A revisão de literatura apresentada demonstrou que a relação entre gênero, urbanização e segregação socioespacial pode ser interpretada com base na dialética estabelecidos/*outsiders*. Os estudos analisados revelam que mulheres em contextos urbanos periféricos são frequentemente

posicionadas como *outsiders*, que enfrentam tanto barreiras materiais (infraestrutura precária, falta de mobilidade, ausência de serviços), quanto simbólicas (estigmas, insegurança, violência).

Assim, evidencia-se que as mulheres são mais afetadas pelas desigualdades socioterritoriais. Se nossas cidades são desiguais, são diferentemente desiguais para homens e mulheres. Por sua vez, a pobreza urbana tem endereço, sexo e cor: mulheres, na maioria negras, chefes de família, que moram nas periferias (Cymbalista *et al.*, 2008). “Nesse sentido, o conceito de interseccionalidade se constitui em elemento estruturante de uma análise capaz de compreender a relação entre raça, gênero e classe em sua materialização no espaço urbano” (Monteiro, 2021, p. 5).

A falta de segurança e conforto é fator importante, que afeta o trânsito de figuras femininas em espaços públicos. Harvey *et al.* (2015) afirmam que as mulheres consideram os espaços urbanos menos seguros, com relação ao crime, do que os homens. A iluminação insuficiente contribui para que áreas públicas pareçam propícias para crimes, o que aumenta a sensação de risco e insegurança, especialmente para mulheres, que são mais vulneráveis a agressões e à violência sexual. Essa sensação de insegurança limita a liberdade de circulação feminina, afetando sua autonomia e a qualidade de vida (Sadeghi, 2023).

O caráter patriarcal, racista e capitalista do planejamento urbano determina a carência de serviços básicos – como creches, escolas, hospitais, moradia adequada, parques infantis, áreas verdes –, o que amplia a vulnerabilidade da vida cotidiana, impactando as mulheres que, em geral, são responsabilizadas pelo cuidado e pela produção da vida (Monteiro, 2021).

Para Santos e Ramos (2024, p. 227), “os espaços públicos devem ser democráticos e garantir segurança e acessibilidade, especialmente, para os grupos mais vulneráveis. No entanto, frequentemente, esses espaços são negligenciados em favor dos espaços privados de lazer”. Consequentemente, os espaços públicos tendem a se esvaziar, o que aumenta a sensação de insegurança.

Reafirma-se a necessidade de pensar políticas públicas urbanas que não apenas atenuem os sintomas da exclusão, mas enfrentem os mecanismos estruturais de estigmatização e desigualdade. Como sintetizam Ortiz *et al.* (2025, p. 15), “repensar o espaço urbano a partir da pluralidade das experiências sociais é condição essencial para construir cidades mais inclusivas”.

Denota-se, portanto, a necessidade de reverter modelos de urbanização que mantêm as mulheres vulneráveis à violência e precariedade, nos espaços periféricos, e de fomentar redes de solidariedade que facilitem sua autonomia e participação plena na vida urbana.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As análises apontam que mulheres, especialmente as que moram em periferias urbanas, vivenciam uma condição marcada pela sobreposição de desigualdades. Esse cenário reforça a necessidade de políticas públicas urbanas sensíveis ao gênero e atentas à interseccionalidade, capazes de enfrentar as múltiplas formas de estigmatização que estruturam as cidades brasileiras.

A teoria dos estabelecidos e dos *outsiders* oferece um quadro analítico para entender como as relações de poder sedimentam-se no espaço urbano e reforçam desigualdades de gênero.

A internalização dessas estruturas pela sociedade exige que os ODS 5 e 11, além de uma simples agenda de direitos, configurem-se como compromisso com a transformação dessas configurações sociais, econômicas e espaciais, garantindo justiça social, equidade e o fortalecimento das redes solidárias, imprescindíveis para o desenvolvimento sustentável das cidades.

As revisões na literatura indicam que os processos de urbanização desigual aprofundam as desigualdades socioespaciais, afetando particularmente mulheres que residem em periferias urbanas, cuja mobilidade e acesso a espaços públicos seguros permanecem limitados (Ortiz *et al.*, 2025).

Denota-se, também, a importância da interseccionalidade como ferramenta analítica, para demonstrar que gênero, classe social e território se sobrepõem para moldar experiências diferenciadas no espaço urbano. As estratégias individuais e coletivas adotadas por mulheres para enfrentar riscos cotidianos evidenciam lacunas estruturais que as políticas públicas ainda não conseguiram mitigar (Instituto Patrícia Galvão/Locomotiva, 2024).

No referido estudo, evidencia-se, portanto, a necessidade de pensar o espaço urbano sensível ao gênero, para que possa incorporar a participação feminina, considerando as múltiplas dimensões da desigualdade. É importante reconhecer que a revisão adotou um caráter narrativo, o que limita a abrangência das conclusões e exige confirmação empírica, especialmente, no que se refere à eficácia de políticas públicas.

Os achados revelaram a necessidade de investigações qualitativas, focadas no pertencimento simbólico, na estigmatização de gênero, nas narrativas de moradores(as). É necessário pensar políticas urbanas que não apenas mitiguem sintomas (habitação, transporte, segurança), mas também desafiem os mecanismos estruturais de exclusão.

Conclui-se que esse diálogo teórico é frutífero, mas ainda incipiente, demandando pesquisas que integrem de forma mais sistemática os referenciais da sociologia clássica e os aportes feministas contemporâneos. Essa articulação não apenas ampliará a compreensão das desigualdades urbanas, mas

também fornecerá subsídios para políticas públicas voltadas à promoção da equidade de gênero e ao direito à cidade.

REFERÊNCIAS

- ALEXANDRE, A. C. S. **A arte e ciência de cuidar**: valorização, estabelecidos e outsiders na autonomia do enfermeiro liberal. *Arte e ciência do cuidar: alteridade, estabelecidos e outsiders na autonomia do enfermeiro como profissional liberal*. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, 2019. <https://doi.org/10.9789/2175-5361.2019.v11i2.370-376>.
- BITTENCOURT, T. A.; GIANNOTTI, M. A.; MARQUES, E. C. L. Desigualdades espaciais cumulativas (e autorreforçadas): interações entre acessibilidade e segregação em quatro metrópoles brasileiras. **Environment and Planning B: urban analytics and city science**, 2020. <https://doi.org/10.1177/2399808320958426>.
- CARVALHO, G. D. D.; MONTI, E. M. G. D. **Olha que coisa mais linda? Quatro mulheres em mar de desafios**. Universidade Federal do Piauí, 2019. Disponível em: https://www.academia.edu/103732318/Olha_que_COISA MAIS_LINDA_Quatro_mulheres_num_mar_de_desafios. Acesso em: 1º out. 2025.
- CYMBALISTA, R. *et al.* Plano diretor participativo e o direito das mulheres à cidade. *In: Ser, fazer e acontecer: mulheres e o direito à cidade*. Rio de Janeiro: SOS Corpo – Instituto Feminista para a Democracia, 2008. p. 60–75. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/387745298_O_plano_diretor_participativo_e_o_direito_das_mulheres_a_cidade. Acesso em: 17 out. 2025.
- DAVIS, A. **Mulheres, raça e classe**. Tradução: Heci Regina Candiani. São Paulo: Boitempo, 2016.
- ELIAS, N.; SCOTSON, J. L. **Os estabelecidos e os outsiders**: sociologia das relações de poder a partir de uma pequena comunidade. Tradução de Vera Ribeiro. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 2000.
- INSTITUTO PATRÍCIA GALVÃO. **Vivências e demandas das mulheres por segurança no deslocamento**. São Paulo: Instituto Patrícia Galvão; Instituto Locomotiva, 2024. Disponível em: <https://dossies.agenciapatriciagalvao.org.br/dados-e-fontes/pesquisa/vivencias-e-demandas-das-mulheres-por-seguranca-no-deslocamento-instituto-patricia-galvao-instituto-locomotiva-2024/>. Acesso em: 1º abr. 2025.
- FERNANDES, D. B.; OLIVEIRA, G. M. **As mulheres e o direito à cidade**: investigando essa percepção. *Para Onde!?* Porto Alegre, v. 1, p. 152–171, 2021. DOI: 10.22456/1982-0003.117050. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/index.php/paraonde/article/view/117050>. Acesso em: 3 out. 2025.
- GONZAGA, T. O. **A cidade e a arquitetura também mulher**: conceituando a metodologia de planejamento urbano e dos projetos inovadores do ponto de vista de gênero. 2004. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/16/16131/tde-26082022-150751/pt-br.php>. Acesso em: 2 out. 2024.
- HARKOT, M. K. **A bicicleta e as mulheres**: mobilidade ativa, gênero e desigualdades socioterritoriais em São Paulo. São Paulo, 2018. 192p. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/331587408_A_Bicicleta_e_as_Mulheres_mobilidade_ativa_genero_e_desigualdades_socioterritoriais_em_Sao_Paulo. Acesso em: 8 jun. 2025.

HARVEY, C. *et al.* Efeitos do projeto esquelético da paisagem urbana na segurança percebida. **Landscape and Urban Planning**, v. 142, p. 18–28, 2015. Disponível em: https://scholar.google.com/scholar_lookup?journal=Landscape%20and%20Urban%20Planning&title=Effects%20of%20skeletal%20streetscape%20design%20on%20perceived%20safety&author=C%20Harvey&author=L%20Aultman-Hall&author=SE%20Hurley&author=A%20Troy&volume=142&publication_year=2015&pages=18-28. Acesso em: 5 out. 2025.

KRENICHYN, K. The relationship between neighborhood environment and physical activity in urban women [A relação entre o ambiente do bairro e a atividade física em mulheres urbanas]. **American Journal of Health Promotion**, v. 24, n. 1, p. 117–130, 2004. [https://doi.org/10.1016/S0272-4944\(03\)00053-7](https://doi.org/10.1016/S0272-4944(03)00053-7).

LEFEBVRE, H. **O direito à cidade**. São Paulo: Moraes, 1991.

LOBODA, C. R.; GROTO, C. Segregação urbana e violência: um olhar sobre as percepções de violência urbana e seus impactos na produção do espaço e na vida cotidiana dos moradores do Bairro Canaã em Uberlândia-MG. **Observatório: Revista Eletrônica de Geografia**, v. 15, n. 1, p. 196–218, 2024. <https://doi.org/10.14393/OREG-v15-n1-2024-74387>.

LOURO, G. L.; FELIPE, J. G. (orgs.). **Corpo, gênero e sexualidade: um debate contemporâneo na educação**. 9. ed. Petrópolis: Vozes, 2013.

MACÊDO, B. *et al.* Caracterização das diferenças no padrão de mobilidade de mulheres e homens nas grandes cidades brasileiras. **Transportes**, v. 28, n. 4, p. 89–102, 2020. <https://doi.org/10.14295/transportes.v28i4.2410>.

MINAYO, M. C. de S. **Análise qualitativa: teoria, passos e fidedignidade**. Petrópolis: Vozes, 2001.

MONTEIRO, P. G. A guerra dos homens e a vida das mulheres: as interfaces entre planejamento urbano, violência contra a mulher e segurança pública no Rio de Janeiro, Brasil. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais**, v. 23, 2021. <https://doi.org/10.22296/2317-1529.rbeur.202131>.

NEVES, Y. C.; ALVES, J. F. R. Entre distopias e utopias conjunturais: o lugar e o papel das mulheres das cidades brasileiras. **Revista Interdisciplinar**, v. 2, p. 235 – 253, dez. 2020. DOI:10.35699/2525-3263.2020.29017

ONU. Organização das Nações Unidas. **Transformar nosso mundo: uma agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável**. Nova York: Organização das Nações Unidas, 2025.

ORTIZ, C. *et al.* **Especializando a interseccionalidade: uma abordagem para o projeto de espaços públicos em bairros autoconstruídos em Cali, Colômbia**. **Urban Design International**, 2025. <https://doi.org/10.1057/s41289-024-00267-y>.

OSTERNE, M. S. F. **Violência nas relações de gênero e cidadania feminina**. Fortaleza: EdUECE, 2007.

RODRIGUES, C. F. A mulher no espaço público – uma reflexão sobre o processo de urbanização contemporâneo e da (não) participação das mulheres na produção do espaço. *In*: SEMINÁRIO INTERNACIONAL FAZENDO GÊNERO 11 e 13º CONGRESSO MUNDIAL DE MULHERES, Florianópolis, 2017. **Anais eletrônicos** [...]. Disponível em:

https://www.wwc2017.eventos.dype.com.br/resources/anais/1503025557_ARQUIVO_Amulhernoepacopublico_ClariceFR.pdf. Acesso em: 11 out. 2025.

SADEGHI, A. R. *et al.* Mulheres em um ambiente urbano seguro e saudável: principais prioridades ambientais para a presença das mulheres em espaços públicos urbanos. **BMC Women's Health**, v. 23, p. 163, 2023. DOI: 10.1186/s12905-023-02281-8.

SAFFIOTI, H. **Gênero, patriarcado e violência**. 2. ed. São Paulo: Expressão Popular, 2015.

SANTOS, M. **A natureza do espaço: técnica e tempo, razão e emoção**. 4. ed. 2. reimpr. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2006.

SANTOS, M. S.; RAMOS, L. L. A. Usos e apropriações femininas em espaços públicos: estudo de caso em duas praças de Vila Velha-ES. **Cadernos de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo**, São Paulo, v. 24, n. 2, p. 221-248, 2024. DOI: <https://doi.org/10.5935/cadernospos.v24n2p221-248>. Acesso em: 21 out. 2025.

SOBRE OS AUTORES DO CAPÍTULO

Nome: Suelen Saraiva da Cruz Alexandre

Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE).

Minicurrículo: Graduação em Serviço Social pelo Centro Universitário Doutor Leão Sampaio (Unileão). Especialista em Serviço Social, Políticas Públicas e Violência Doméstica. Atualmente, exerce o cargo de coordenadora do Centro de Referência da Mulher (CRM) de Juazeiro do Norte. Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente pelo IFCE.

E-mail: suelen.alexandre2025@gmail.com

Nome: Nilene Matos Trigueiro Marinho

Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE).

Minicurrículo: Graduação em Educação Física pela Universidade Federal do Cariri (Urca). Mestrado e doutorado em Educação pela Universidade Federal da Paraíba . Atualmente, é professora do Curso de Educação Física e do Mestrado em Meio Ambiente, do IFCE, *Campus* Juazeiro do Norte.

E-mail: nilene@ifce.edu.br

CAPÍTULO 11

AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL DE UM SISTEMA IOT ACÚSTICO PARA MONITORAMENTO DE ATIVIDADES DE DESMATAMENTO

*Anne Kelly de Souza Machado Borges
Dr. Maurício Soares de Almeida*

INTRODUÇÃO

O Brasil destaca-se mundialmente por abrigar seis biomas terrestres e a segunda maior área de cobertura florestal do planeta. Suas florestas exercem funções vitais na regulação climática, nos ciclos hidrológicos e na conservação da biodiversidade, prestando serviços ecossistêmicos indispensáveis à estabilidade ambiental global (Unep, 2024; Vié; Hilton-Taylor; Stuart, 2009). No entanto, o avanço do desmatamento ilegal compromete esses serviços, alterando regimes de chuva e provocando perda de biodiversidade, o que reforça a necessidade de estratégias eficazes de monitoramento e controle (FAO e Unep, 2020; Leal Filho *et al.*, 2025).

A expansão agropecuária permanece como principal vetor de desmatamento, especialmente nos biomas Cerrado, Pantanal e Caatinga. Este último, único bioma exclusivamente brasileiro, permanece como o menos monitorado e mais vulnerável a práticas ilegais, como evidenciado na Chapada do Araripe, onde o desmatamento avança mesmo sob a categoria de Área de Proteção Ambiental (APA), expondo fragilidades nas políticas de conservação (Gomes, 2022; MapBiomas, 2025; Seymour; Wolosin; Gray, 2022).

Embora os sistemas de sensoriamento remoto como o Programa de Monitoramento do Desmatamento da Amazônia (Prodes) e o Sistema de Detecção do Desmatamento em Tempo Real (Deter) sejam referências globais no monitoramento florestal, ainda enfrentam limitações, como a baixa resolução espacial, o tempo elevado de processamento e a dependência de condições atmosféricas favoráveis. Além disso, enfrentam dificuldades adicionais em biomas de vegetação mais fragmentada, como a Caatinga (Diniz; Souza *et al.*, 2015; Haq, Ali Jamshed *et al.*, 2024), o que reforça a necessidade de soluções tecnológicas complementares e mais responsivas.

Nesse contexto, tecnologias emergentes, como: Redes de Sensores sem Fio (WSN); Internet das Coisas (IoT); comunicação de longo alcance (Long Range – LoRa); e Inteligência Artificial (IA) têm se mostrado promissoras para o monitoramento distribuído e a detecção de atividades de desmatamento em tempo quase real (Almeida, Huang *et al.*, 2022; Haq, Ali Jamshed *et al.*, 2024; MapBiomas, 2024). Assim, nesta pesquisa, foi proposto o desenvolvimento de um protótipo IoT autônomo, de baixo custo, baseado em sensoriamento acústico e comunicação LoRa, voltado à

detecção de indícios de desmatamento ilegal, para contribuir com estratégias de fiscalização e fortalecer as políticas de proteção florestal no Brasil.

REVISÃO DE LITERATURA

SISTEMAS DE MONITORAMENTO DO DESMATAMENTO NO BRASIL

O monitoramento do desmatamento no Brasil teve início em 1988, com a criação do Prodes, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe), que utiliza imagens de média resolução (10m – 30m) para mapear taxas anuais na Amazônia Legal, consolidando o Brasil como referência global (Almeida *et al.*, 2020; Inpe, 2022; MapBiomias, 2025).

Em 2004, o Deter foi criado para emitir alertas rápidos, mas enfrenta limitações devido à baixa resolução e à interferência de nuvens (Diniz *et al.*, 2015; Inpe, 2022).

Apesar dos avanços, a falta de integração entre as bases de dados e as diferenças metodológicas dificultavam a visão unificada da perda de vegetação em escala nacional. Nesse contexto, o projeto MapBiomias foi criado para integrar e refinar esses dados com imagens de alta resolução e algoritmo de aprendizagem de máquina, cruzando alertas com o Cadastro Ambiental Rural (CAR) e os limites de Unidades de Conservação (UCs), oferecendo suporte à formulação de políticas públicas e ações de fiscalização (Coelho-Júnior *et al.*, 2022; MapBiomias, 2025).

Apesar dos avanços, esses sistemas ainda apresentam limitações como o tempo de processamento, que pode variar de 30 a 90 dias, restringindo seu uso a análises pós-ocorrência e dificultando atuação em flagrante. Além disso, essas metodologias foram concebidas para a Amazônia, apresentando baixa acurácia em regiões semiáridas, como a Caatinga, onde a vegetação rala e a sazonalidade reduzem a eficiência da detecção por satélite (Almeida *et al.*, 2020; Coelho-Júnior *et al.*, 2022a; MapBiomias, 2025).

IOT E REDES DE SENSORES NO MONITORAMENTO AMBIENTAL

A IoT conecta objetos físicos equipados com sensores e módulos de comunicação, capazes de coletar e transmitir informações ambientais em tempo real (IEEE, 2015; ITU-T, 2012). As Redes de Sensores sem Fio (Wireless Sensor Networks – WSN) operam de forma autônoma, transmitindo informações a uma central, ou entre si, e têm sido aplicadas ao monitoramento de temperatura, umidade, qualidade do ar, incêndios florestais e inundações (Haq *et al.*, 2024; Jamshed *et al.*, 2022; Sisodia *et al.*, 2023).

Essas redes proporcionam medições locais em áreas remotas, complementando o sensoriamento por satélite e possibilitando a detecção de fenômenos de curta duração, como atividades de desmatamento ilegal (Kocakulak; Butun, 2017; Kotian, 2025). Quando associadas a tecnologias de comunicação de longo alcance e baixo consumo, como as Redes de Longo Alcance e Baixa Potência (Low-Power Wide Area Network – LPWAN), ampliam o potencial de transmissão e autonomia dos sensores (Acharya *et al.*, 2024; BNDES, 2017).

TECNOLOGIAS LPWAN E LORA

As redes LPWAN foram projetadas para conectar dispositivos IoT distribuídos em grandes áreas, com baixo consumo energético e custo operacional. Entre as principais tecnologias, o LoRa destaca-se por operar em bandas livres (Industrial, Scientific and Medical – ISM), permitindo a criação de redes privadas e descentralizadas, ideais para regiões sem cobertura celular, como áreas rurais e florestais (Lokman *et al.*, 2024; Singh *et al.*, 2022).

A modulação Chirp Spread Spectrum (CSS) garante alta robustez contra interferências e baixo consumo energético, alcançando distâncias de até 15 quilômetros em campo aberto, o que torna o LoRa uma das soluções mais adequadas para aplicações IoT ambientais (Acharya *et al.*, 2024; Semtech, 2024).

MONITORAMENTO AMBIENTAL COM SENSORES ACÚSTICOS

O sensoriamento acústico, que permite identificar eventos por meio da análise de padrões sonoros, é amplamente utilizado em estudos de monitoramento da biodiversidade e na detecção de atividades ilegais de desmatamento (Haq *et al.*, 2024; Lahoz-Monfort; Magrath, 2021). Pesquisas recentes indicam acurácia de 85% a 99,6% na detecção sonora de corte de árvores e demonstram a viabilidade de sistemas IoT acústicos de baixo consumo (Andreadis; Giambene; Zambon, 2021; Haq *et al.*, 2024; Teixeira *et al.*, 2023).

Contudo, observa-se que grande parte dos estudos se concentra no desenvolvimento de algoritmos de classificação e reconhecimento de sons em ambientes controlados. Poucos são os testes voltados ao desempenho físico dos sensores ou à integração com redes de comunicação de longo alcance. Esse cenário evidencia uma lacuna relevante na literatura e reforça a necessidade de abordagens metodológicas que combinem investigação científica e desenvolvimento tecnológico, capazes de testar, em condições reais, soluções voltadas ao monitoramento ambiental.

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

ABORDAGEM METODOLÓGICA

A pesquisa caracterizou-se como aplicada, com abordagem mista, predominantemente qualitativa e caracteres exploratório e experimental. Adotou-se o método do Design Science Research (DSR), adequado a estudos que visam solucionar problemas práticos por meio da concepção e avaliação de artefatos tecnológico (Dresch; Lacerda; Antunes, 2015). Esse método foi articulado aos princípios da Engenharia de Sistemas – ISO/IEC/IEEE 15288:2023 –, assegurando rastreabilidade entre requisitos, decisões de projeto e validação do protótipo.

Adotando como referência o modelo de Dresch; Lacerda; Júnior (2015), as fases foram aplicadas de forma integrada: identificação do problema; revisão de literatura; definição de requisitos; projeto e desenvolvimento do artefato; e avaliação experimental. O fluxo metodológico compreendeu quatro etapas principais:

- (i) revisão sistemática, que fundamentou a definição dos requisitos;
- (ii) elaboração da arquitetura do sistema;
- (iii) desenvolvimento e integração do protótipo; e
- (iv) testes experimentais de validação.

REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA (REVISÃO DE ESCOPO)

A revisão foi conduzida como etapa integrante do método DSR, servindo de base para a definição dos requisitos e das decisões de projeto do sistema proposto. O procedimento seguiu as diretrizes da Prisma-ScR (Scoping Reviews) (Tricco *et al.*, 2018) e a estrutura População, Conceito, Contexto (PCC) (Aromataris *et al.*, 2024). A População (P) considerou os sistemas IoT baseados em sensores acústicos; o Conceito (C) abrangeu aspectos técnicos e metodológicos relacionados ao desenvolvimento, processamento e à comunicação; e o Contexto (C) envolveu aplicações voltadas à detecção de desmatamento ilegal.

Nas buscas, realizadas nas bases do Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE Xplore), dos portais Scopus e Web of Science (2015-2025), da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), foram considerados estudos que abordassem sensores acústicos integrados a sistemas IoT para detecção de desmatamento. Foram incluídos artigos de periódicos, conferências e livros em inglês, ou português, e excluídos os que tratassem de outras aplicações (biodiversidade; ruído urbano; ou algoritmos sem *hardware* físico).

Após a triagem e exclusão de duplicatas, 32 estudos foram selecionados. A análise mostrou que a maioria das pesquisas foca em algoritmos de classificação sonora, enquanto há escassez de investigações experimentais sobre o desempenho físico dos sensores e o alcance efetivo da captação acústica. Essa lacuna orientou o desenvolvimento do protótipo e os testes de desempenho conduzidos neste estudo.

DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA

Análise dos requisitos do sistema

A análise foi baseada na norma ISO/IEC/IEEE 29148:2018, contemplando as fases de identificação, elicitação e derivação. Esse processo teve como objetivo compreender o contexto de uso, as expectativas dos agentes envolvidos (*stakeholders*) e garantir que o sistema proposto atendesse às necessidades reais de aplicação, estabelecendo a base para o desenvolvimento do protótipo.

As principais necessidades foram identificadas a partir de dois grupos de *stakeholders*. Para a pesquisadora e desenvolvedora, destacaram-se a viabilidade e o baixo custo do protótipo; a reprodutibilidade dos resultados; a autonomia energética; a geração de dados empíricos sobre o alcance acústico. Já para o órgão de fiscalização ambiental, foram identificadas necessidades de monitoramento autônomo e contínuo, redução da dependência de inspeções manuais e confiabilidade dos alertas.

Com base nessas necessidades, foram derivados os requisitos do sistema: (i) captar e reconhecer sons característicos de atividades de desmatamento; (ii) processar localmente os sinais acústicos; e (iii) transmitir alertas de detecção via rede LoRa a um *gateway* central. Os requisitos não funcionais estabelecem as restrições e características de desempenho desejadas, incluindo: (i) baixo consumo energético e operação autônoma; (ii) baixo custo de implementação; e (iii) confiabilidade na comunicação. Esses requisitos orientaram as decisões de projeto e a definição da arquitetura do sistema.

Arquitetura do sistema

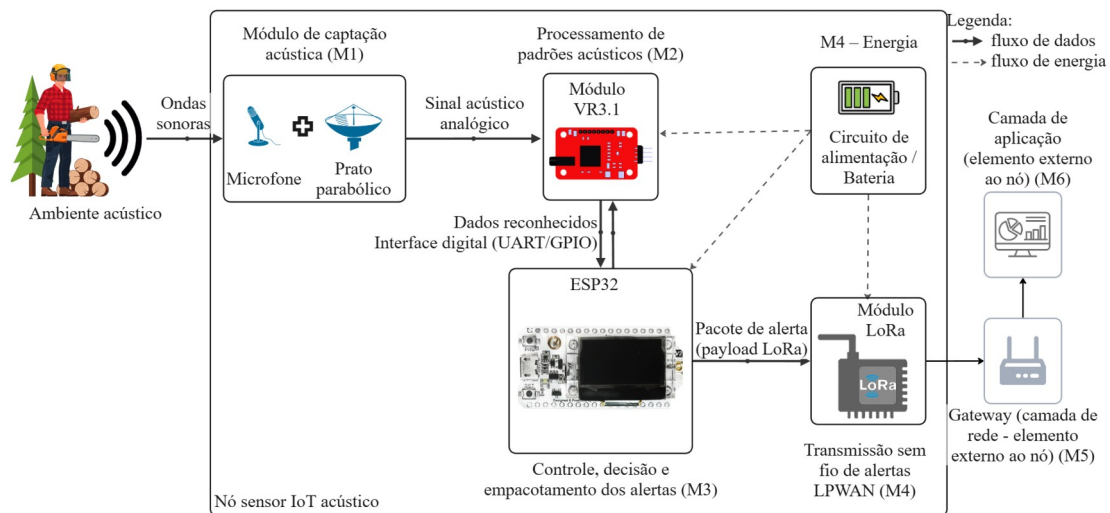
A arquitetura do sistema IoT acústico foi concebida com base nos padrões de arquitetura de referência (IEEE 2413:2019, 2020; ISO/IEC 30141:2024, 2024), que estruturam sistemas IoT em múltiplos domínios e pontos de vista. O modelo adotado contempla os pontos de vista funcional, conceitual e de recursos computacionais, e permite representar de forma integrada a relação entre os componentes físicos e lógicos do sistema.

A arquitetura geral foi planejada de forma modular, abrangendo todos os componentes funcionais de um sistema IoT, desde o nó sensor até o nível de aplicação. Entretanto, o foco do desenvolvimento e da avaliação experimental concentrou-se no nó sensor IoT acústico, considerando que esse representa os núcleos tecnológico e científico da pesquisa.

O sistema foi estruturado em três camadas principais: camada de dispositivo, camada de rede e camada de aplicação. A camada de dispositivo compreende o nó sensor IoT, que realiza a captação e o processamento local dos sinais sonoros, gerando alertas de detecção. A camada de rede é responsável pela transmissão dos dados via tecnologia LoRa, garantindo comunicação de longo alcance e baixo consumo energético. Por fim, a camada de aplicação corresponde ao *gateway* e à interface de monitoramento, destinados ao registro e à visualização dos alertas recebidos.

A arquitetura do sistema é composta por seis módulos interligados (M1-M4), conforme representado na Figura 1.

Figura 1 – Arquitetura do sistema IoT acústico



Fonte: Elaborada pelos autores (2025).

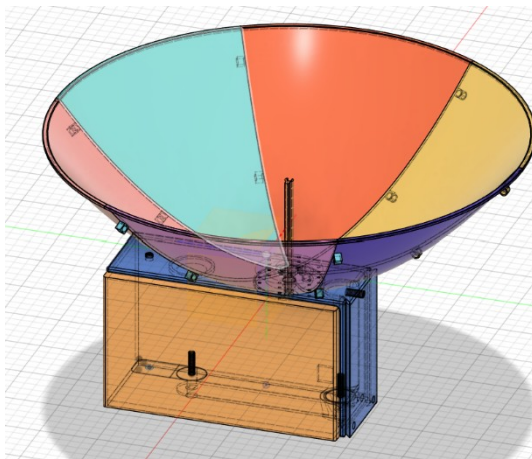
No Módulo 1, é realizada a captação acústica, pois é formado por um microfone acoplado a uma parabólica, que concentra e amplifica as ondas sonoras incidentes. No Módulo 2, ocorre o processamento de padrões acústicos por meio do componente Elechouse VR3.1, treinado para reconhecer sons de motosserra, que está associada a atividades de desmatamento. O Módulo 3, de controle e decisão, foi implementado com a placa Heltec WiFi LoRa 32 V2, que integra o microcontrolador ESP32 e o transceptor SX1276 LoRa, e permite o processamento local dos dados; a geração do alerta; e o empacotamento das informações para transmissão, com baixo consumo

energético e alta integração entre os módulos. No Módulo 4, concentra-se a comunicação sem fio, que utiliza a tecnologia LoRa para o envio dos pacotes de alerta ao *gateway*, e garantir a conectividade de longo alcance mesmo em áreas com restrições de rede. O Módulo 5 corresponde ao *gateway*, para a recepção e o registro dos alertas transmitidos, enquanto o Módulo 6 representa a camada de aplicação, dedicada à organização e visualização dos dados recebidos.

Montagem e integração do protótipo

O módulo de captação acústica foi projetado e construído a partir de conceitos clássicos de reflexão sonora empregados em sistemas parabólicos. Com base em parâmetros, como comprimento de onda; diâmetro de abertura; e posição focal, foi desenvolvido um modelo geométrico capaz de concentrar o som incidente sobre o microfone. A parábola foi modelada digitalmente e impressa em 3D em Ácido Polilático (PLA), utilizando os princípios de prototipagem rápida (Figura 2(a)).

Figura 2 – Protótipo do módulo de captação acústica



(a) Modelagem 3D da parabólica acústica



(b) Protótipo completo do nó sensor IoT acústico após a integração dos módulos

Fonte: Arquivo pessoal (2025).

O suporte do microfone foi incorporado ao modelo, garantindo o alinhamento com o ponto focal e a estabilidade do conjunto durante os ensaios. Essa solução alia simplicidade construtiva, baixo custo e aplicabilidade prática, representando uma alternativa inovadora para ampliar o alcance de captação de microfones convencionais.

Na etapa de integração de *hardware* e *software* embarcado, como o módulo Elechouse VR3.1 não dispunha de bibliotecas compatíveis com o microcontrolador ESP32, foi desenvolvido um *firmware* personalizado, implementado em linguagem C++ e estruturado em arquivos de cabeçalho e código-fonte (.h e .cpp), contendo classes e métodos específicos para comunicação serial e controle das funções do sistema. Essa adaptação possibilitou a operação integrada em um único microcontrolador (Heltec WiFi LoRa 32 V2), otimizando o consumo energético e reduzindo a complexidade do circuito.

Após a montagem e integração lógica, foram realizados testes de validação funcional em bancada, verificando o reconhecimento sonoro, a comunicação serial entre os módulos e o envio de pacotes LoRa simulados. A partir dessa configuração, o sistema foi preparado para os ensaios experimentais realizados em ambiente controlado e em campo, que constituem a etapa seguinte da pesquisa. A Figura 2(b) apresenta o protótipo completo do nó sensor IoT acústico, integrando os módulos de captação, processamento e transmissão, conforme a arquitetura definida.

Testes experimentais

Os testes experimentais foram conduzidos com o objetivo de validar o funcionamento do protótipo e avaliar o comportamento do sistema de captação acústica sob diferentes condições de propagação sonora. Os ensaios foram organizados em duas etapas: testes em ambiente controlado, para verificação funcional do sistema; e testes em ambiente aberto, para avaliar a captação sonora com e sem o uso da parábola acústica.

Na primeira etapa, em ambiente controlado, o objetivo foi verificar o reconhecimento do padrão sonoro da motosserra e a estabilidade da comunicação entre os módulos do sistema. O som foi reproduzido por meio de um alto-falante portátil com conexão Bluetooth, utilizando arquivos previamente tratados no *software* Audacity, com normalização do sinal, conversão para canal mono e recorte dos trechos de maior energia espectral. Nessa fase, o módulo Elechouse VR3.1 foi testado em conjunto com o Heltec WiFi LoRa 32 V2, validando o *firmware* personalizado desenvolvido para o controle e a comunicação serial entre os componentes.

A segunda etapa consistiu nos ensaios em ambiente aberto, realizados em uma área externa com características semelhantes a um ambiente natural, com algumas árvores, vegetação rala, ruídos ambientais e circulação de ar. O protótipo foi instalado em um suporte a 1,5m de altura em relação ao solo, com o microfone alinhado ao eixo da parábola. Os testes foram realizados em duas configurações distintas: (i) microfone sem a parábola acústica, e (ii) microfone acoplado à parábola de 40cm de diâmetro, desenvolvida e impressa em 3D em material PLA.

Figura 3 – Protótipo instalado em campo e modelo de motosserra utilizado durante os ensaios experimentais



Fonte: Arquivo pessoal (2025).

O som da motosserra foi emitido por um operador habilitado, utilizando gasolina da marca ZMAX Modelo ZMS58, devidamente licenciada para a operação. O procedimento experimental foi padronizado, de forma que, a cada distância definida em relação ao sensor (com incrementos regulares de 2m), a fonte sonora era acionada 10 vezes consecutivas, mantendo o mesmo ângulo e a mesma direção em relação à parábola. As respostas de detecção do módulo foram observadas e registradas manualmente para posterior análise comparativa.

Os ensaios em ambiente aberto ocorreram em dois dias distintos, sob condições atmosféricas monitoradas em campo. No primeiro dia, a velocidade média do vento foi de aproximadamente 14km/h, com temperatura de 29°C e umidade relativa de 41%. No segundo dia, registrou-se vento médio de 15km/h, temperatura de 30°C e umidade de 68%. Esses parâmetros foram anotados em planilha de observação com o registro de ruídos ambientais incidentes no entorno, como canto de pássaros, movimentação de folhas e sons de tráfego distante.

Os resultados das observações e medições realizadas nessas condições são apresentados e discutidos na próxima seção, de Resultados e Discussão, contemplando a análise comparativa do desempenho acústico do sistema.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

VALIDAÇÃO FUNCIONAL

O propósito da validação funcional foi confirmar o correto funcionamento dos módulos integrados e a estabilidade da comunicação entre os componentes do sistema. Durante os testes em bancada, o *firmware* personalizado desenvolvido para o controle e a comunicação serial entre o módulo Elechouse VR3.1 e a placa Heltec WiFi LoRa 32 V2 demonstrou desempenho estável e permitiu o processamento local e envio de comandos de forma confiável.

O sistema reconheceu de forma consistente o padrão sonoro da motosserra, previamente treinado, sem falhas de comunicação entre os módulos. Essa etapa também possibilitou verificar o correto sincronismo entre *hardware* e *software* embarcados, a autonomia de operação do nó sensor e a resposta imediata do microcontrolador à detecção de eventos acústicos. A partir desses resultados, confirmou-se que o protótipo atendia aos requisitos funcionais estabelecidos na fase de análise, validando tanto o processo de integração quanto a lógica de operação do nó sensor IoT acústico.

DESEMPENHO ACÚSTICO

A avaliação do desempenho acústico foi conduzida em ambiente aberto, comparando duas configurações experimentais: (i) microfone sem parábola e (ii) microfone acoplado à parábola de 40cm de diâmetro. No procedimento, foi quantificado o ganho de alcance promovido pela estrutura refletora sobre a detecção sonora.

Os resultados mostraram que, na configuração (i), o microfone foi capaz de detectar o som da motosserra até 10m de distância. Com o acoplamento da parábola, o alcance de detecção aumentou para 100m, representando ganho de uma ordem de magnitude ($10\times$).

Durante os ensaios, o vento mostrou-se a variável ambiental de maior influência sobre a estabilidade da captação sonora. Em condições mais ventosas, observou-se redução na consistência das detecções, associada à dispersão das ondas sonoras e ao ruído aerodinâmico incidente sobre o microfone. Apesar dessas variações, o sistema manteve comportamento estável, com reconhecimento sonoro consistente e operação contínua do microcontrolador. Essa etapa confirmou o correto funcionamento do módulo de reconhecimento VR3.1 integrado ao ESP32, demonstrando o atendimento aos requisitos de desempenho definidos na fase de projeto.

Esses resultados quantitativos evidenciam o impacto direto da configuração acústica sobre a sensibilidade do sistema, cujos efeitos físicos e implicações tecnológicas são discutidos na seção 3.5.

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O ganho de alcance obtido com o uso da parábola evidencia o efeito da concentração da energia sonora no ponto focal, que aumenta a intensidade do sinal captado e a sensibilidade do sistema. Esse resultado supera o desempenho dos sistemas descritos na literatura (Bandaranayake *et al.*, 2022; Lorenzo *et al.*, 2024; Teixeira *et al.*, 2023), demonstrando que a otimização física da captação pode ser tão relevante quanto os métodos de processamento digital na melhoria da detecção acústica.

Essa constatação reforça a importância de considerar os aspectos físicos e estruturais dos sensores como elementos determinantes do desempenho de detecção, abordagem pouco explorada na literatura, que tende a priorizar apenas o desenvolvimento de algoritmos de reconhecimento e classificação sonora (Aluvalu *et al.*, 2024; Andreadis; Giambene; Zambon, 2021).

Ao empregar materiais acessíveis e fabricação por prototipagem rápida (PLA impresso em 3D), o estudo demonstra que soluções de baixo custo podem alcançar resultados expressivos quando associadas a adequados princípios de engenharia acústica. Essa abordagem amplia o potencial de replicabilidade do sistema e sua aplicação em contextos de monitoramento ambiental, nos quais custo e manutenção são fatores críticos (Ayankoso *et al.*, 2024; Nguyen *et al.*, 2023).

A integração entre o módulo de reconhecimento sonoro (VR3.1) e o microcontrolador ESP32, por meio do *firmware* desenvolvido especificamente para esta pesquisa, permitiu que o nó sensor executasse o processamento local e a tomada de decisão autônoma, sem depender de uma unidade central. Essa configuração tende a otimizar o consumo de energia e reduzir o volume de dados transmitidos, características desejáveis em aplicações IoT para monitoramento ambiental em áreas remotas (Andreadis; Giambene; Zambon, 2021; Mutiara; Herman; Mohd, 2020). Além disso, está alinhada aos princípios de arquiteturas descentralizadas e de *edge computing* descritos nas normas IEEE 2413:2019 e ISO/IEC 30141:2024.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento e a validação do protótipo IoT acústico demonstraram a eficácia de uma solução simples e de baixo custo para ampliar o alcance de detecção sonora em sistemas de monitoramento ambiental. O conjunto formado por uma parábola impressa em 3D, um microfone de eletreto e o módulo VR3.1 apresentou desempenho consistente, alcançando 100m de detecção; valor superior aos registrados em estudos anteriores, que variam entre 20m e 30m. Esse resultado mostra

que é possível obter ganhos expressivos de alcance com soluções acessíveis e de fácil implementação, adequadas a contextos de pesquisa e monitoramento em campo.

A pesquisa também se destaca pela integração inédita de uma parábola acústica ao sistema de detecção sonora, aplicada à identificação de sons associados ao desmatamento. Além disso, o *firmware* desenvolvido especificamente para o módulo VR3.1, viabilizou a comunicação direta com o microcontrolador ESP32, criando uma interface de controle que assegura a troca de dados entre os módulos e o funcionamento autônomo do nó sensor. Essa integração representa uma contribuição tecnológica relevante para o avanço de soluções IoT ambientais de baixo custo e arquitetura modular.

Os resultados reforçam a viabilidade da proposta e abrem perspectivas para o aprimoramento do sistema, com testes futuros envolvendo a comunicação LoRa e a validação em ambientes florestais reais. A solução apresentada pode contribuir para o aperfeiçoamento dos sistemas de monitoramento do desmatamento ilegal, reduzindo o intervalo entre a ocorrência das atividades e a detecção em campo, e oferecendo uma ferramenta de apoio às ações de fiscalização ambiental descentralizadas e de respostas mais rápidas.

REFERÊNCIAS

ACHARYA, Gobinda Prasad et al. An efficient and low cost realization of LoRa based real-time forest protection system. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, v. 34, n. 3, p. 1452, 1 jun. 2024.

ALMEIDA, C. A. *et al.* Deforestation Monitoring in Different Brazilian Biomes: Challenges And Lessons. **ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v. IV-3/W2-2020, p. 47–52, 2020.

ALMEIDA, Jefferson Silva *et al.* EdgeFireSmoke: A Novel Lightweight CNN Model for Real-Time Video Fire–Smoke Detection. **IEEE Transactions on Industrial Informatics**, v. 18, n. 11, p. 7889–7898, nov. 2022.

ALUVALU, Rajanikanth *et al.* Komodo Dragon Mlipir Algorithm-based CNN Model for Detection of Illegal Tree Cutting in Smart IoT Forest Area. **Recent Advances in Computer Science and Communications**, v. 17, n. 6, set. 2024.

ANDREADIS, Alessandro; GIAMBENE, Giovanni; ZAMBON, Riccardo. Monitoring Illegal Tree Cutting through Ultra-Low-Power Smart IoT Devices. **Sensors**, v. 21, n. 22, p. 7593, 16 nov. 2021.

AROMATARIS, Edoardo *et al.* **JB1 manual for evidence synthesis**. [S.l.]: JBI, 2024.

AYANKOSO, Samuel *et al.* Development of Long-Range, Low-Powered and Smart IoT Device for Detecting Illegal Logging in Forests. **Journal of Dynamics, Monitoring and Diagnostics**, 23 ago. 2024.

BANDARANAYAKE, H. M. K. S. *et al.* GreenSoal: Illegal Tree Logging Detection System Using IOT. *In: IEEE*, 10 ago. 2022. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9915139/>.

BNDES. **Internet das coisas**: um plano de ação para o Brasil (Produto 8B - Plano de Ação - Capítulo Regulatório). *[S.l.: S.n.]*.

COELHO-JÚNIOR, Marcondes G. *et al.* Unmasking the Impunity of Illegal Deforestation in the Brazilian Amazon: A Call for Enforcement and Accountability. **Environmental Research Letters**, v. 17, n. 4, p. 041001, 1º abr. 2022.

DINIZ, Cesar Guerreiro *et al.* DETER-B: The New Amazon Near Real-Time Deforestation Detection System. **IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing**, v. 8, n. 7, p. 3619 – 3628, jul. 2015.

DRESCH, Aline; LACERDA, Daniel P.; JÚNIOR, José A. V. Antunes. **Design science research**: método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia. ISBN 978-85-8260-299-7. Porto Alegre: Bookman, 2015.

FAO; UNEP. The State of the World's Forests 2020. *[S. l.]*: FAO and Unep, 2020.

GOMES, Francisco Vladimir Silva. **Eficácia da criação da APA e da Floresta Nacional do Araripe na dinâmica de perda e fragmentação da cobertura vegetal no interior e entorno das unidades de conservação**. Dissertação (Mestrado) –Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2022.

HAQ, Bushra *et al.* Tech-Driven Forest Conservation: Combating Deforestation With Internet of Things, Artificial Intelligence, and Remote Sensing. **IEEE Internet of Things Journal**, v. 11, n. 14, p. 24551 – 24568, 15 jul. 2024.

IEEE. **Towards a definition of the Internet of Things (IoT)**. *[S. l.: S. n.]*. Disponível em: https://iot.ieee.org/images/files/pdf/IEEE_IoT_Towards_Definition_Internet_of_Things_Revision1_27MAY15.pdf. Acesso em: 17 nov. 2024.

IEEE 2413:2019. 2413-2019 – **IEEE Standard for an Architectural Framework for the Internet of Things (IoT)**. *[S. l.]*, IEEE, 2020.

INPE. **Metodologia utilizada nos sistemas prodes e deter**. 2. ed. atual. Disponível em: <http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34T/47GAF6S>. Acesso em: 9 nov. 2024.

ISO. IEC 30141:2024. Internet of things (IoT). **Reference architecture**: (ISO/IEC 30141:2024,IDT). *[S. l.]*: NEN, 2024.

ISO. IEC. IEEE 15288:2023. **ISO/IEC/IEEE International Standard – Systems and software engineering – System life cycle processes**. ISO. IEC. IEEE 15288:2023(E), p. 1–128, 2023.

ISO. IEC. IEEE 29148:2018. ISO. IEC. **IEEE International Standard – Systems and software engineering – Life cycle processes – Requirements engineering**. ISO. IEC. IEEE 29148:2018(E), p. 1 – 104, nov. 2018.

ITU-T. **Recommendation ITU-T Y.2060**: Overview of the Internet of things. *[S.l.]*: International Telecommunication Union, jun. 2012. Disponível em: <https://www.itu.int/ITU-T/recommendations/rec.aspx?rec=11559>. Acesso em: 17 nov. 2024.

JAMSHED, Muhammad Ali *et al.* Challenges, Applications, and Future of Wireless Sensors in Internet of Things: A Review. **IEEE Sensors Journal**, v. 22, n. 6, p. 5482–5494, 15 mar. 2022.

KOCAKULAK, Mustafa; BUTUN, Ismail. An overview of Wireless Sensor Networks towards internet of things. *In: IEEE*, jan. 2017.

KOTIAN, Abhijith L. *et al.* Guardians of the Green: A Review of AI, ML, and IoT Innovations Against Illegal Deforestation and Wildlife Poaching. *In: IEEE*, 17 jun. 2025.

LAHOZ-MONFORT, José J.; MAGRATH, Michael J. L. A Comprehensive Overview of Technologies for Species and Habitat Monitoring and Conservation. **BioScience**, v. 71, n. 10, p. 1038–1062, 4 out. 2021.

LEAL FILHO, Walter *et al.* Managing ecosystem services in the Brazilian Amazon: the influence of deforestation and forest degradation in the world’s largest rain forest. **Geoscience Letters**, v. 12, n. 1, p. 24, 2025.

LOKMAN, Muhammad Luthfi *et al.* LoRa Based IoT Enabled Sensor Networks for Plantations. **Journal of Engineering Technology and Applied Physics**, v. 6, n. 1, p. 16–24, 15 mar. 2024.

LORENZO, Ariel M. *et al.* Trees have Ears: An Acoustic Surveillance and TinyML-Based for Detecting Illegal Logging. *In: IEEE*, 11 dez. 2024.

MAPBIOMAS. **RAD2024**: Relatório Anual do Desmatamento no Brasil 2024. São Paulo, Brasil: [S.n.]. Disponível em: https://alerta.mapbiomas.org/wp-content/uploads/sites/17/2025/05/RAD2024_15.05.pdf. Acesso em: 31 out. 2025.

MUTIARA, Giva Andriana; HERMAN, Nanna Suryana; MOHD, Othman. Using Long-Range Wireless Sensor Network to Track the Illegal Cutting Log. **Applied Sciences**, v. 10, n. 19, p. 6992, 7 out. 2020.

NGUYEN, Phuong Quang *et al.* Design and Build a System for Illegal Logging Detection Based on Acoustic Signal and Automatic Warning Using LoRA Network. *In: IEEE*, 27 jul. 2023. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10227201/>.

SEMTECH. **LoRa® and LoRaWAN®**. Disponível em: <https://www.semtech.com/uploads/technology/LoRa/lora-and-lorawan.pdf>. Acesso em: 9 out. 2025.

SEYMOUR, Frances; WOLOSIN, Michael; GRAY, Erin. **Not Just Carbon**: Capturing All the Benefits of Forests for Stabilizing the Climate from Local to Global Scales. World Resources Institute, out. 2022.

SINGH, Rajesh *et al.* **Forest 4.0**: Digitalization of forest using the Internet of Things (IoT). *Journal of King Saud University – Computer and Information Sciences*, v. 34, n. 8, p. 5587–5601, set. 2022.

SISODIA, Shivani *et al.* AI Technologies, Innovations and Possibilities in Wildlife Conservation. *In: IEEE*, 14 mar. 2023. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10099721/>.

TEIXEIRA, Thiago Almeida *et al.* Development of a Monitoring System against Illegal Deforestation in the Amazon Rainforest Using Artificial Intelligence Algorithms. *In: Basel Switzerland: MDPI*, 15 nov. 2023.

TRICCO, Andrea C. *et al.* Prisma Extension for Scoping Reviews (Prisma-ScR): Checklist and Explanation. **Annals of Internal Medicine**, v. 169, n. 7, p. 467–473, 2 out. 2018.

UNEP. **Global Resources Outlook 2024 - Bend the trend**: Pathways to a Liveable Planet as Resource Use Spikes. Nairobi: [S. n.]. Disponível em: <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/44901>. Acesso em: 1 nov. 2024.

VIÉ, Jean-Christophe; HILTON-TAYLOR, Craig; STUART, Simon N. **Wildlife in a Changing World** – An Analysis of the 2008 IUCN Red List of Threatened Species. Gland, Switzerland: IUCN, 2009.

SOBRE OS AUTORES DO CAPÍTULO

Nome: Anne Kelly de Souza Machado Borges

Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE), *Campus Juazeiro do Norte*.

Minicurrículo: Engenheira Civil e Mestranda em Meio Ambiente pelo IFCE. Atua em pesquisa e desenvolvimento de sistemas IoT aplicados ao monitoramento ambiental, com foco em sensoriamento acústico e comunicação LoRa para detecção de desmatamento ilegal.

E-mail: anne.machado05@aluno.ifce.edu.br

Nome: Maurício Soares de Almeida

Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE), *Campus Juazeiro do Norte*.

Mini currículo: Graduado em Física pela Universidade Estadual do Ceará (UEC). Mestre em Engenharia Mecânica pela (UFC). Doutor em Física pela mesma instituição. Atua como professor no IFCE, com experiência em dinâmica de fluidos computacional, energias alternativas e ensino de física.

E-mail: mauricio.almeida@ifce.edu.br

CAPÍTULO 12

A PRODUÇÃO ACADÊMICA NACIONAL SOBRE O ENTRELAÇAMENTO EDUCAÇÃO FÍSICA ESCOLAR E EDUCAÇÃO AMBIENTAL

*Emmanuel Pereira de Souza
Amanda Raquel Rodrigues Pessoa*

INTRODUÇÃO

Este estudo analisa as pesquisas que tratam sobre o Educação Física relacionada com a Educação Ambiental. Procuramos saber como a questão da Educação Física relacionada com Educação Ambiental e Meio Ambiente é abordada na produção acadêmica nacional. Em que tempo, em que lugar e por quem foram realizadas. Procurando entender o aporte teórico adotado, a metodologia empregada na abordagem do tema, os principais resultados dessas pesquisas e as lacunas encontradas para possíveis trabalhos.

Neste sentido questiona-se: *Qual é o panorama da produção acadêmica nacional que trata do entrelaçamento entre Educação Física e Educação Ambiental nos trabalhos registrados no Catálogo de teses e dissertações e periódico da CAPES?*

Para alcançar as publicações relacionadas à Educação Física escolar, Educação Ambiental e Meio Ambiente, optou-se pela pesquisa de revisão bibliográfica, pois busca reunir, analisar e sintetizar estudos de diversas fontes e abordagens. Segundo Botelho, Cunha e Macedo (2011, p. 133), esse método permite o “[...] desenvolvimento da revisão da literatura no campo organizacional [...] possibilitar a síntese e análise do conhecimento científico já produzido sobre o tema investigado [...]”. Ademais, conforme os autores citados, esse método é fundamental para a coleta de informações sobre o tema pois permite uma avaliação mais precisa do material investigado.

Na revisão bibliográfica cada informação deve ser analisada cuidadosamente para perceber possíveis incoerências, bem como para garimpo de fontes diversas que possam auxiliar no entendimento dos conteúdos debatidos durante o processo de pesquisa (Gil, 2012). Portanto, a execução deste mapeamento se baseia na ideia de que o retorno ao objeto de estudo e às questões levantadas nas pesquisas, contribuirá para a orientação teórica e metodológica do estudo atual, além de proporcionar uma visão investigativa que contribuirá para o aprimoramento e organização do trabalho.

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A pesquisa se constitui em Revisão Bibliográfica que realizou seu levantamento de informações no Catálogo de Teses e Dissertações e Periódicos CAPES e periódico CAPES. A escolha dessas plataformas justifica-se por dispor de fontes de informação científica na área da educação e meio ambiente com publicações no âmbito nacional e internacional, facilitando o processo de recuperação de informação. Além disso são plataformas de reconhecimento acadêmico e possui vasta contribuição para as pesquisas nacionais.

Os descritores utilizados foram “Educação Física”, seguido do *booleano* AND e na sequência colocamos os descritores “Educação Ambiental”, ou “Meio Ambiente”. O recorte temporal abrangeu o período de 2014 a 2024, compreendendo, portanto, dez anos, para capturar estudos recentes, o que ultrapassa o recomendado por Luna (1999) para voltar atrás em tarefas de revisão.

Os processos de seleção e triagem dos trabalhos foram realizados através da leitura dos títulos, resumos e palavras-chave. O período estabelecido justifica-se pela ausência de materiais que tratem sobre a relação da Educação Física escolar com meio ambiente nas produções nacionais mais recentes.

Para conduzir esta fase do estudo, foram utilizados a organização proposta por Mendes, Silveira e Galvão (2008). Eles detalham as etapas para a realização deste tipo de pesquisa em fases: a) definição da hipótese ou problema de pesquisa; b) pesquisa bibliográfica; c) classificação dos estudos; d) análise dos estudos incluídos na revisão; e) interpretação dos resultados e f) síntese do conhecimento.

A primeira etapa consiste na identificação do tema, uma fase importante, pois auxiliará na construção da pesquisa. A segunda etapa apresenta os critérios de inclusão e exclusão das pesquisas, no qual passarão por análise para verificar quais serão incluídos. A terceira etapa busca extrair as informações dos estudos que foram incluídos. Portanto, é importante reunir e sintetizar de forma minuciosa cada informação.

A quarta etapa corresponde à avaliação das pesquisas que serão incluídos no levantamento de dados. É necessário organizar e avaliar cada estudo que se enquadram para serem incluídos. A quinta etapa exige a interpretação dos resultados. Em que buscamos verificar, investigar e interpretar, para fazer a aplicação na etapa seguinte. A sexta, engloba todas as anteriores, pois abrange os principais resultados encontrados, após análise dos estudos que foram incluídos. Para a seleção dos trabalhos utilizamos para cada fase os critérios presentes no quadro 1 a seguir:

Quadro 1 - Critérios de Elegibilidade

Fase	Descrição
Questão de Pesquisa	Como os pesquisadores vêm abordando o tema da Educação Física e as práticas de Educação Ambiental e meio ambiente a partir da produção acadêmica nacional vinculada aos programas de pós-graduação?
Critérios de Inclusão	Artigos, Teses e Dissertações com tema das áreas de Educação Física relacionada com as práticas de Educação Ambiental e meio ambiente, conforme os descritores estabelecidos.
Critérios de Exclusão	Leitura do título; língua do documento; está disponível na íntegra o recorte temporal; leitura do resumo e da produção na íntegra similaridade com o tema investigado.
Seleção do estudo e extração dos dados	Identificação do artigo original, leitura dos resumos conforme os critérios de inclusão e exclusão, leitura do artigo na íntegra

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Produções identificados no Catálogo de Teses e Dissertações da CAPES

Com ênfase nas pesquisas de pós-graduação *stricto sensu* o Catálogo de Teses e Dissertações da CAPES, possui grande acervo de qualificados nacionalmente. Na busca mantivemos foram previamente estabelecidos alguns descritores com o objetivo de orientar a atenção para trabalhos relacionados a Educação Ambiental e Educação Física.

Para garantir consistência na definição dos descritores, foi realizada uma busca com as palavras-chave “Educação Física”, “Educação Ambiental” e “Meio Ambiente”, utilizando os termos de pesquisa: “Educação Física” AND “Educação Ambiental” AND “Meio Ambiente”. Após a aplicação desses critérios, foram identificadas 26 teses e dissertações; em seguida, foram excluídos 8 trabalhos após leitura do título e resumo, 2 por indisponibilidade do texto completo e outros 2 após leitura integral por não estarem relacionados ao objetivo da pesquisa.

As pesquisas encontradas sobre o tema Educação Física e Educação Ambiental, estão ilustradas a seguir, no quadro 2:

Quadro 2 - Trabalhos encontrados com no Catálogo de Teses e Dissertações da CAPES

Nº	Título	Autor	Instituição	Ano
01	Por Entre Corpos, Vidas E Culturas: Um (Des) Encontro Entre A Educação Física Escolar A Educação Ambiental	Ribeiro	Mestrado em EDUCAÇÃO INSTITUIÇÃO DE ENSINO: UNIVERSIDADE DE SOROCABA	2004
02	Contribuições Dos Docentes De Educação Física Das Escolas Municipais De Petrópolis Sobre Uma Reflexão Curricular Para Uma Sociedade Sustentável	Porretti	Mestrado em CIÊNCIAS DA ATIVIDADE FÍSICA INSTITUIÇÃO DE ENSINO: UNIVERSIDADE SALGADO DE OLIVEIRA	2011
03	Subsídios Para Uma Proposta De Educação Física Voltada Para A Temática Ambiental: Inserções No Desenvolvimento Sustentável	Figueiredo	Mestrado em DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL INSTITUIÇÃO DE ENSINO: UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA	2002
04	Potencialidades Da Educação Física Escolar Para A Percepção Ambiental No Ensino Fundamental: Uma Contribuição Para A Educação Ambiental	Frajácomo e Cintrão	Mestrado em DESENVOLVIMENTO REGIONAL E MEIO AMBIENTE INSTITUIÇÃO DE ENSINO: UNIVERSIDADE DE ARARAQUARA	2008
05	Educação Física E Educação Ambiental: Uma Possibilidade De Diálogo Através Das Práticas Pedagógicas Cotidianas Com Crianças De 1ª A 4ª Séries.	Cardoso	Mestrado em EDUCAÇÃO Instituição de Ensino: UNIVERSIDADE DE SOROCABA	2007
06	A temática ambiental como proposta para aulas de Educação Física na 4ª série do ensino fundamental.	Lucentini	Mestrado em EDUCAÇÃO FÍSICA Instituição de Ensino: UNIVERSIDADE METODISTA DE PIRACICABA	2010
07	Ambientalização Curricular Na Formação Inicial Da Educação Física	Alves	Mestrado em DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE Instituição de Ensino: UNIVERSIDADE	2017

			FEDERAL DE SERGIPE	
08	Práticas Corporais De Aventura Nas Aulas De Educação Física: As Possibilidades Pedagógicas No 5º Ano Do Ensino Fundamental	França	Mestrado Profissional em Educação: Teoria e Prática de Ensino/ UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ,	2016
09	Educação Ambiental E As Práticas Corporais De Aventura Na Natureza: Práticas Pedagógicas Dos Professores De Educação Física De Petrolina (PE)	Alves	Mestrado Profissional em FORMAÇÃO DE PROFESSORES E PRÁTICAS INTERDISCIPLINARES /UNIVERSIDADE DE PERNAMBUCO, Petrolina Biblioteca	2021
10	O futuro das atividades físicas de lazer e recreação ligadas à natureza e a educação ambiental	Almeida	Mestrado em EDUCAÇÃO FÍSICA / UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA	2000
11	Relações entre educação ambiental e educação física um estudo na rede municipal de ensino de Curitiba	Abreu	Mestrado em EDUCAÇÃO / UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ	2010
12	A Natureza Visitada: Um Estudo de Caso na Cidade de Santa Teresa-ES	Silva	Mestrado em EDUCAÇÃO FÍSICA Instituição de Ensino: UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS,	2003
13	Ecoturismo E As Doenças De Transmissão Vetorial: Uma Abordagem Para Os Professores De Educação Física.	Ribeiro	Profissionalizante em CIÊNCIAS AMBIENTAIS Instituição de Ensino: UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ	2009

Fonte: Próprio autor (2025)

Produções identificadas no Periódico CAPES

Dando continuidade, o Periódico CAPES foi consultado, pela sua relevância, entretanto em termos de temporalidade, utilizando o recorte temporal de 10 anos (2014-2024) para o Periódico CAPES, pela necessidade de entender as pesquisas mais recentes publicadas no âmbito nacional.

As buscas no periódico utilizaram os mesmos descritores "Educação Física", "Educação Ambiental" e "Meio Ambiente". Os termos de pesquisa empregados foram: “Educação Física” *AND* “Educação Ambiental” *AND* “Meio Ambiente”. Após a aplicação foram identificados 129 artigos,

após filtro, foram excluídos 60 e após a utilização de todas as etapas outros 42 foram excluídos pelo fato de não estarem relacionados com o tema da pesquisa sendo analisados 16 estudos. Os 15 trabalhos selecionados estão no quadro 3.

Quadro 3 - Trabalhos encontrados com no Periódico Capes

Nº	Título	Autor	Instituição	Ano
01	O profissional de Educação Física e o meio ambiente: uma experiência de educação ambiental e a melhora da qualidade de vida dos moradores dos centros urbanos	Pereira <i>et al.</i>	Faculdade Mogiana do Estado de São Paulo, FMG.	2016
02	Práticas De Educação Ambiental Na Formação De Professores De Educação Física	Simões Neto e Rocha	Universidade Regional do Cariri – URCA	2018
03	Educação Física e a Biodiversidade: Uma Breve Revisão Bibliográfica	Viana <i>et al.</i>	Instituto Federal do Amapá	2022
04	Produto Educacional E-Book: Educação Física Na Prática Da Educação Ambiental	Simões Neto e Rocha	Universidade Regional do Cariri	2019
05	Construção De Brinquedos Nas Aulas De Educação Física: Educação Ambiental	Galindo e Silva	Centro Universitário do Norte Paulista (UNORP)	2019
06	As Práticas Corporais De Aventura Na Educação Física Escolar	Sousa e Araújo	Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN)	2016
07	Educação Ambiental E Ginástica Na Base Nacional Comum Curricular	Matias e Domingues	Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)	2021
08	Por Uma Educação Ambiental Crítica Na Educação Física Escolar	Leão Junior, Demizu e Royer	Universidade Estadual de Londrina (UEL)	2016
09	Reflexões De Uma Formação Docente: Educação Física Escolar Articulada Com Educação Ambiental	Silva	Secretaria Municipal de Educação do Rio de Janeiro (SME/RJ)	2021

10	Educação Física Escolar E Meio Ambiente: Um Estudo Em Escolas Do Campo Da Rede Municipal De Um Município Do Vale Do Taquari/RS/Brasil	Diehl e Neuenfeldt	Universidade do Vale do Taquari (UNIVATES)	2017
11	Educação Física Escolar E Seu Entrelaçamento Com A Educação Ambiental	Oliveira	Universidade Interamericana	2022
12	Educação Ambiental Ao Ar Livre: Intervenções Em Esportes Na Natureza	Cavasini <i>et al.</i>	Projeto PST/Navegar da Escola de Educação Física da UFRGS	2015
13	Educação Física, Ambiental E Inclusiva: : um relato de experiência interdisciplinar no desenvolvimento e apresentação de Jogos Sensoriais uma estudante com Deficiência Visual.	Oliveira e Melo	Instituto Federal de Pernambuco – Campus Garanhuns (IFPE – Campus Garanhuns).	2020
14	Educação Estético-Ambiental E Educação Física: Corpos No Contexto Escolar	Andrade, Schmidt e Montiel	Instituto Federal Sul-Rio-Grandense – Campus Pelotas (IFSul – Campus Pelotas).	2022
15	Nas Trilhas Do Parque Estadual De Vila Velha, (Paraná-Brasil): Entre Formas E Grafias Da Paisagem.	Araújo, Oliveira e Goes	Departamento de Geografia da Universidade Estadual de Londrina (UEL)	2020
16	A Importância Da Educação Superior Na Percepção E Compreensão De Universitários Do Curso De Educação Física Sobre As Alterações Climáticas.	Rosa <i>et al.</i>	Universidade de Franca (UNIFRAN)	2018

Fonte: Próprio autor (2025)

Contribuições e lacunas após levantamento das pesquisas sobre a Educação Física e Educação Ambiental

Após a análise realizamos a categorização das produções para identificação do Grupos Temáticos (GT). A produção das tabelas e do gráfico dos dados foi realizada no Excel 2021. Os resultados obtidos foram divididos e classificados nos seguintes critérios:

Tabela 01 - Classificação dos Grupos Temáticos.

GRUPO TEMÁTICO- GT	CARACTERÍSTICAS
EDUCAÇÃO FÍSICA ESCOLAR E SEU ENTRELACAMENTO COM A EDUCAÇÃO AMBIENTAL	Todos que envolvessem diretamente ou indiretamente os estudantes do ensino básico, onde o foco seja o estudante. Pesquisas com foco em apresentar dificuldades encontradas na escola. Excluindo desse grupo temático trabalhos relacionados a saúde mesmo que em ambientes escolares
EDUCAÇÃO FÍSICA E EDUCAÇÃO AMBIENTAL ESTRUTURA E CURRÍCULO	Estudos com o intuito de analisar a estrutura física ou curricular da escola (conteúdos e caracterização das aulas de Educação Física relacionada à Educação Física).
EDUCAÇÃO FÍSICA E EDUCAÇÃO AMBIENTAL NA FORMAÇÃO DE PROFESSORES	Trabalhos que relacionassem a prática pedagógica durante ou após a graduação.
LAZER	Trabalhos que englobassem promoção de políticas públicas ou estudos de identificação de lazer nas aulas de Educação Física relacionada à Educação Física.
SAÚDE EDUCAÇÃO FÍSICA EDUCAÇÃO AMBIENTAL FORMAÇÃO DE PROFESSORES	Todos os trabalhos que focassem na promoção ou na análise da saúde humana. Estudos que focassem na promoção ou na análise da saúde humana envolvendo os estudantes do ensino básico e superior.
OUTROS:	Trabalhos que não se encaixavam em nenhum dos grupos temáticos supracitados foram incluídos nessa classificação.

Fonte: Próprio autor (2025)

Notamos que o aumento na produção foi gradativo. No tocante as teses e dissertações no primeiro ano só foram produzidos uma dissertação e no ano mais recente três. Foram encontrados 13 dissertações e 15 artigos sobre a temática, isso nos apresenta a importância e capacidade que a Educação Física tem em se relacionar com as questões ambientais, pois além formar profissionais, estimula a produção científica contribuindo assim para a garantia de conhecimento.

Conforme podemos visualizar no gráfico apresentado na figura 4 anterior, nos últimos anos a temática do meio ambiente ganhou relevo nas pesquisas em Educação Física. Acreditamos que o cenário mundial de preocupação com as questões ambientais favoreceu o interesse pelo assunto, tendo um grande potencial de aprofundamento para os próximos anos, diante da degradação do planeta.

Quadro 4 - GTs, Autores e Quantidade de Teses, Dissertações e Artigos encartados

GRUPO TEMÁTICO – GT	TESES E DISSERTAÇÕES	ARTIGOS
EDUCAÇÃO FÍSICA ESCOLAR E SEU ENTRELACAMENTO COM A EDUCAÇÃO AMBIENTAL	6	8
EDUCAÇÃO FÍSICA E EDUCAÇÃO AMBIENTAL ESTRUTURA E CURRÍCULO	2	1
EDUCAÇÃO FÍSICA E EDUCAÇÃO AMBIENTAL NA FORMAÇÃO DE PROFESSORES	2	3
LAZER:	2	1
SAÚDE EDUCAÇÃO FÍSICA EDUCAÇÃO AMBIENTAL FORMAÇÃO DE PROFESSORES	1	1
OUTROS	0	2

Fonte: Dados da Pesquisa (2025)

Os trabalhos analisados revelam ser a temática do meio ambiente algo contemporâneo no campo da Educação Física. Com destaque para pesquisas que buscam aliar a educação escolar a educação ambiental. Sendo recorrente preocupação com pesquisas de intervenção que busquem apontar possibilidades de tratamento da temática na escola. Com predomínio de pesquisas qualitativas que se preocupam com análise críticas sobre meio ambiente, sustentabilidade e preservação ambiental.

Observamos que há uma inquietação com metodologias e organização curricular, o que demonstra uma preocupação com a inclusão da temática como conhecimento nas aulas de Educação Física. Nos chamou atenção a carência de estudos sobre a formação do professor para o tratamento da temática e mais especificamente sobre a forma como os professores entendem a temática e o tratamento dado por estes aos conhecimentos que se ligam ao meio ambiente.

Estes achados nos impulsionam a realizar o presente estudo. Por ter o foco no professor, na forma como percebe e realiza seu trabalho, nos desafios e enfrentamentos para avançar nas discussões em aula. Acreditamos que ao nos voltar para o docente abrimos espaço para conhecer o seu contexto, a sua história e as relações sociais que os atravessam para implantar reflexões ligadas a educação ambiental.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise realizada permitiu compreender de que maneira a relação entre a Educação Física e a Educação Ambiental vem sendo construída na produção acadêmica nacional. O estudo evidenciou

que, embora ambas as áreas apresentem relevância no campo educacional, o diálogo entre elas ainda é incipiente e pouco sistematizado, revelando um espaço importante para o avanço de investigações futuras.

Os resultados apontaram que as pesquisas que articulam essas temáticas geralmente surgem vinculadas a discussões sobre formação de professores, práticas pedagógicas e sustentabilidade, indicando um movimento ainda inicial de integração entre os campos. Observou-se que, em muitos casos, a Educação Ambiental é abordada de forma transversal, mas sem uma reflexão aprofundada sobre sua inserção no contexto da Educação Física escolar.

Do ponto de vista teórico-metodológico, as produções analisadas demonstram pluralidade de referenciais, variando entre abordagens críticas, construtivistas e socioambientais. No entanto, a maioria das pesquisas ainda carece de uma fundamentação teórica consistente que articule, de forma dialógica, os conceitos de corpo, movimento e natureza. Essa lacuna teórica reflete a necessidade de maior consolidação epistemológica da temática no campo da Educação Física.

Constatou-se também que há uma concentração temporal recente de estudos — especialmente a partir da década de 2010 — o que indica um crescimento do interesse por essa interface, impulsionado por discussões contemporâneas sobre sustentabilidade, ambientalização curricular e formação cidadã. Apesar desse avanço, o número de trabalhos ainda é reduzido frente à amplitude do tema, o que reforça a importância de novos estudos voltados à compreensão crítica e interdisciplinar dessa relação.

Dessa forma, esta pesquisa contribui ao reunir e sistematizar a produção acadêmica existente, oferecendo um panorama atualizado sobre o entrelaçamento entre Educação Física e Educação Ambiental no Brasil. Espera-se que este mapeamento estimule novas investigações que aprofundem o debate teórico e metodológico, promovendo práticas educativas que reconheçam o corpo, o movimento e o ambiente como dimensões indissociáveis na formação humana e na construção de uma sociedade mais sustentável.

REFERÊNCIAS

ABREU, Jéssica. *Educação Ambiental e Educação Física: um estudo de caso em escolas públicas de Curitiba*. 2010. Dissertação (Mestrado em Educação Física) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

ALMEIDA, Fernando Henrique de. *Educação Ambiental e atividades de lazer na natureza: perspectivas e impactos ambientais*. 2000. Dissertação (Mestrado em Educação Física) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000.

ALVES, André Luiz. *A Educação Ambiental na formação inicial dos cursos de Educação Física da Universidade Federal de Sergipe*. 2017. Dissertação (Mestrado em Educação Física) – Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2017.

ALVES, André Luiz. *Educação Ambiental e práticas corporais de aventura na natureza: integração nas práticas pedagógicas da Educação Física escolar*. 2021. Tese (Doutorado em Educação Física) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2021.

BARDIN, Laurence. *Análise de conteúdo*. São Paulo: Edições 70, 2011.

BOTELHO, L. L. R.; CUNHA, C. C. A.; MACEDO, M. O método da revisão integrativa nos estudos organizacionais. **Gestão e Sociedade**, v. 5, n. 11, p. 121-136, 2011. Disponível em: <https://ges.face.ufmg.br/index.php/gestoesociedade/article/view/1220/906> Acesso em: 20 de setembro de 2024.

BRASIL. *Base Nacional Comum Curricular*. Brasília, DF: Ministério da Educação, 2017.

BRASIL. *Lei nº 9.394, de 20 de dezembro de 1996*. Estabelece as diretrizes e bases da educação nacional. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 23 dez. 1996.

BRASIL. *Parâmetros Curriculares Nacionais: meio ambiente e saúde*. Brasília, DF: MEC/SEF, 1998.

Brasília: MEC, 1997. v. 7. BRASIL. Secretaria de Educação Fundamental. **Parâmetros Curriculares Nacionais. Educação Física**, 3º e 4º ciclos. Brasília: MEC, 1998. v. 7

CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior. *Catálogo de Teses e Dissertações*. Brasília, DF: CAPES, 2024. Disponível em: <https://catalogodeteses.capes.gov.br/>. Acesso em: 7 nov. 2025.

CARDOSO, Luiz Henrique. *Corpo, ecologia e amorosidade: uma leitura freireana da Educação Física e Educação Ambiental*. 2007. Dissertação (Mestrado em Educação Física) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

CARVALHO, Isabel Cristina de Moura. *Educação Ambiental: a formação do sujeito ecológico*. São Paulo: Cortez, 2000.

FIGUEIREDO, Danilo Sérgio de. *Educação Física e meio ambiente: perspectivas e práticas para a sustentabilidade*. 2002. Dissertação (Mestrado em Educação Física) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.

FRAJÁCOMO, Patrícia; CINTRÃO, Roseli. *Educação Física Escolar e meio ambiente: práticas corporais e revitalização pedagógica no ensino fundamental*. 2008. Dissertação (Mestrado em Educação Física) – Centro Universitário de Araraquara, Araraquara, 2008.

FRANÇA, Leila Cristina. *Práticas corporais de aventura na Educação Física escolar: possibilidades para a Educação Ambiental*. 2016. Dissertação (Mestrado em Educação Física) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

Galvão, M. N. C. (2007). *Educação ambiental nos assentamentos rurais do MST*. Editora Universitária UFPB.

GIL, C. A. *Pesquisa Social: Métodos e Técnicas de Pesquisa*. 6 ed. Atlas S. A., São Paulo, 2012. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/571712221/metodos-e-tecnicas-de-pesquisa> Acesso em: 02 de novembro de 2025.

IFCE. *Projeto pedagógico do curso de graduação em educação física (habilitações em licenciatura e bacharelado -abi)*. Juazeiro do Norte -Ce, 2021.

LUCENTINI, Carolina de Souza. *Educação Física e Educação Ambiental: uma proposta de intervenção pedagógica com alunos da 4ª série do ensino fundamental*. 2010. Dissertação (Mestrado em Educação) – Universidade Metodista de Piracicaba, Piracicaba, 2010.

PORRETTI, Fabíola Maria. *A Educação Ambiental nas práticas pedagógicas dos professores de Educação Física da rede municipal de Petrópolis (RJ)*. 2011. Dissertação (Mestrado em Educação) – Universidade Católica de Petrópolis, Petrópolis, 2011.

RIBEIRO, Mário Sérgio. *Ecoturismo e Educação Ambiental: uma abordagem sobre saúde e sustentabilidade no Litoral Norte Paulista*. 2009. Tese (Doutorado em Educação Física) – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Rio Claro, 2009.

RIBEIRO, Mário Sérgio. *Educação Física e Educação Ambiental: articulações e desafios para uma prática pedagógica crítica*. 2004. Dissertação (Mestrado em Educação Física) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

SILVA, João Batista da. *Ecoturismo e Educação Ambiental em Santa Teresa – ES: reflexões sobre práticas e contradições*. 2003. Dissertação (Mestrado em Educação Ambiental) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2003.

TARDIF, M.; LESSARD, C.; LAHAYE, L. *Os professores face ao saber: ensaio sobre o trabalho docente e a epistemologia da prática*. 2. ed. Petrópolis: Vozes, 1991.

TORALES, M. C. *Formação de professores e Educação Ambiental: desafios e possibilidades*. Curitiba: CRV, 2013.

INFORMAÇÕES SOBRE OS AUTORES DO CAPÍTULO

Nome: Emmanuel Pereira de Souza

Instituição: Instituto Federal do Ceará – IFCE

Mini currículo: Discente do Mestrado acadêmico em Meio Ambiente (PPGME), Áreas de atuação e interesses: Educação Física, história da Educação Física, memória, currículo, estudos sobre os aspectos pedagógicos do ensino da Educação Física e Educação Ambiental. Tem experiência em docência no Ensino Superior, Ensino Médio e Ensino Fundamental. Atualmente é professor na rede estadual de Ensino Médio do Ceará.

E-mail: emmanuelifcejua@gmail.com

Nome: Amanda Raquel Rodrigues Pessoa

Instituição: Instituto Federal do Ceará – IFCE

Mini currículo: Professora do IFCE-Juazeiro do Norte; Docente do Mestrado acadêmico em Meio Ambiente (PPGME), e do Mestrado Profissional em Educação Física em Rede Nacional (ProEF/IFCE). Lider do grupo de pesquisa GEPEECOS/IFCE e Pesquisadora colaboradora no Grupo de Pesquisa EDUCAS/UECE.

E-mail: amandaraquel@ifce.edu.br

CAPÍTULO 13

A CRIANÇA, A NATUREZA E A LENTE – COMO A LITERATURA RETRATA A INTERAÇÃO COM O AMBIENTE NATURAL E A FOTOGRAFIA

*Rodrigo Alencar Brasil
Mônica Maria Siqueira Damasceno
Lohanna Lopes Ferreira*

INTRODUÇÃO

A Trissomia do cromossomo 21 (T21) forma genética de deficiência intelectual mais comumente identificada e a principal causa de defeitos congênitos e condições médicas específica (Sherman, 2007 p.1). Esta condição acomete “1 a cada 800 bebês [que] nascem com T21” (Duarte, 2022, p. 28).

Trindade e Nascimento (2016) apontam que fatores extrínsecos ao da pessoa com T21, como o ambiente natural, permitem compreender como o contexto ambiental desempenha um papel crucial em seu processo de desenvolvimento. Para autores como Lima e Amorim (2006), as áreas verdes podem ser consideradas um tipo especial de espaços livres, onde o elemento fundamental de composição é a vegetação. Já Cunha *et al.* (2022) trazem a importância dos espaços verdes para a promoção da saúde e do bem-estar da população, e Damasceno; Mazzarino; Figueiredo (2022) apontam resultados de atividades no ambiente natural como catalisadoras de incontáveis aprendizagens.

Apresentar a fotografia como fomento para uma interconexão entre crianças e natureza é uma forma de estimular essas crianças em um ambiente verde. Para autores como Rios; Costa; Mendes (2016), o ângulo, a escolha do assunto, a composição e a orientação da câmera revelam mais sobre a cultura do fotógrafo do que sobre a cultura do objeto retratado. As fotografias são a transposição do que o sujeito está sentindo naquele instante. Assim, se, para os fotógrafos profissionais, a técnica utilizada conduz o expectador a um objetivo específico, para os amadores, como as crianças, a foto é capturada de forma instintiva, em busca dessa integração de homem-natureza.

Para esta revisão bibliográfica de literatura, que possui caracteres exploratório e qualitativo, objetivou-se levantar estudos que tratam de fotografia, espaços verdes e T21. O ponto de partida foi a

seguinte pergunta norteadora: Como vem sendo tratada, na literatura, a interação social e o humor de crianças com T21 em ambientes naturais e na fotografia? Para isso, foram definidas palavras-chaves e elaborada uma sintaxe de busca em portais de periódicos de pesquisas científicas.

Após a definição da questão central da pesquisa, estabeleceu-se um recorte temporal de 2015 a 2025, para a revisão, assegurando a relevância e atualidade dos estudos analisados. Essa delimitação permitiu priorizar produções científicas recentes, utilizando estudos mais antigos apenas para fundamentação teórica clássica e definições essenciais. Apesar do termo Síndrome de Down não ser mais utilizada, pelos pesquisadores, nesse ponto, foi necessária à inclusão, uma vez que esse processo de transição de nomenclatura é recente e o termo ainda é utilizado no âmbito acadêmico.

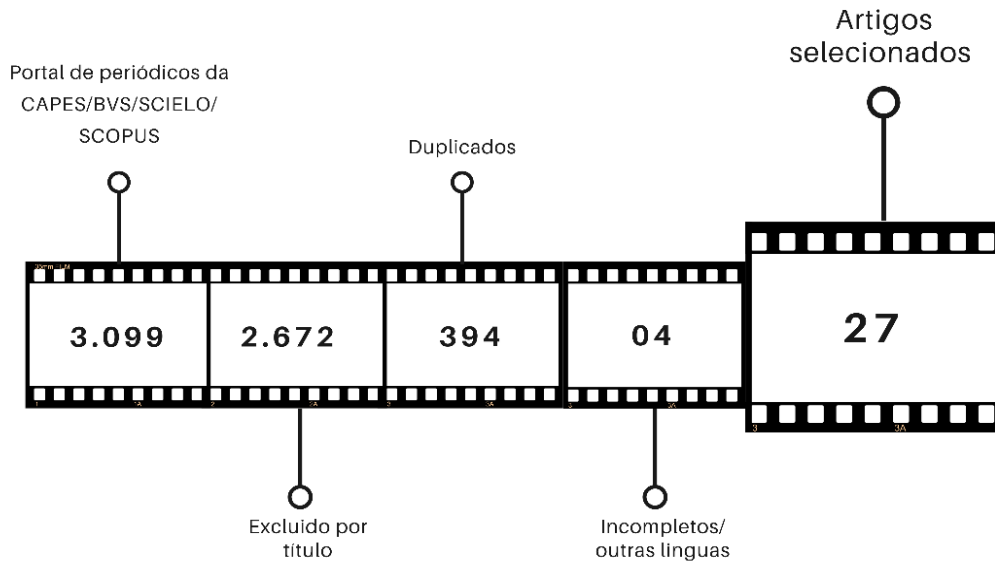
A busca ocorreu no Portal de Periódicos Scopus da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes); na Scientific Electronic Library On-line (SciELO); e Biblioteca Virtual em Saúde (BVS), do Ministério da Saúde, por artigos disponível desde 2001. Destaca-se a BVS por ser responsável pela veiculação das publicações bibliográficas produzidas pelo Ministério da Saúde, bem como de informações gerais na área de Ciências da Saúde (BVS, 2024). A sintaxe de busca envolveu termos como “T21”, “fotografia” e “interação social”. A localização dos artigos relacionados a essa temática, nas plataformas de busca, ocorreu no período de abril a setembro de 2025.

As palavras-chave utilizadas nas pesquisas foram: “Síndrome de Down” e “desenvolvimento social” | interação social; “Síndrome de Down” e “meio ambiente” | ecossistema | ecologia; “síndrome de down” e “natureza” | espaços verdes; “síndrome de Down” e “humor” | Emoção | sentimentos; “Síndrome de Down” e “fotografia” | imagem | vídeos. Os termos também foram pesquisados em inglês, assim como a expressão Síndrome de Down foi substituída por trissomia do 21. Para os achados, foi utilizado o Zotero uma ferramenta para organização e leitura dos artigos. Essa plataforma é gratuita e possibilita o gerenciamento de referências bibliográficas.

Para definir os critérios de inclusão dos artigos foram consideradas pesquisas que tratassem da inclusão de pessoas com T21 e possuíssem as palavras-chave no título. Quanto aos critérios de exclusão, foram considerados os artigos publicados em data anterior a 2015; os que tratassem de animais; ou não fossem realizadas em humanos; além de arquivos duplicados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na figura 1 constam os dados dos achados dos periódicos que contemplam a discussão desta proposta e que envolvem espaços verdes, socialização, humor, fotografia e T21.

Figura 1 – Busca nas bases de dados

Fonte: Autor (2025).

As buscas, nas bases de dados, foram feitas empregando os descritores ou palavras-chave já citadas na Introdução. Os artigos encontrados passaram por refinamento, considerando se a obra estava completa; se respeitava o tempo de dez anos – de 2015 a 2025 –; e se estava nos idiomas português, inglês ou espanhol.

Com o intuito de agilizar a leitura por título, foi utilizada a plataforma de Inteligência Artificial (IA) Rayyan (2025) “uma ferramenta poderosa projetada para ajudar pesquisadores a economizar tempo em revisões sistemáticas e bibliográficas. Após essa etapa, foram avaliados os resumos; na sequência, foi utilizada a plataforma Zotero, para a organização e leitura dos textos na íntegra. O “Zotero é uma ferramenta gratuita e fácil de usar para ajudar você coletar, organizar, anotar, citar e compartilhar pesquisas científicas” (Zotero, 2025). Foram excluídos os que não atendiam aos critérios definidos.

No Quadro 1, constam os 27 artigos finais, com seus achados, e, em seguida, a discussão sobre os textos selecionados.

Quadro 1 – Demonstrativo dos 27 artigos finais e seus principais achados

Nº	Ano	Título do Artigo/Obra	Base de Dados	Autores	Principais Informações/Achados
1	2015	Down syndrome Cognitive and behavioral functioning across the lifespan	BVS	Grieco <i>et al.</i>	Um artigo de Revisão que descreve o funcionamento cognitivo e comportamental em T21. Indivíduos com T21 exibem um fenótipo cognitivo único. As Funções Executivas (FE) são comprometidas (atenção, velocidade de processamento, inibição). Apresentam déficits na memória de trabalho verbal e memória auditiva de curto prazo. Outras comorbidades, como comprometimento sensorial e interrupção do sono, contribuem para as dificuldades. OS autores concluem que pessoas com T21 tem maiores probabilidade de desenvolver Alzheimer.
2	2015	Influência do entorno familiar no desempenho comunicativo de crianças com síndrome de Down	SciELO	Araújo <i>et al.</i>	Um estudo analítico de corte transversal que investigou como os Recursos do Ambiente Familiar (RAF) influenciam o desempenho comunicativo de crianças com T21. Verificou-se correlação positiva entre a diversidade de atividades de tempo livre e a função comunicativa "performativa". Rotinas diárias organizadas com horários definidos correlacionaram-se com maior uso do meio comunicativo "verbal", mas refletiram na redução de funções interativas (comentário, pedido de ação)
3	2015	Famílias com adolescente com síndrome de Down: apoio social e recursos familiares	Scopus	Silva <i>et al.</i>	Estudo que buscou descrever a dinâmica familiar, sentimentos frente ao diagnóstico e verificar a adequação do apoio social e recursos familiares para famílias com adolescentes com SD. Os resultados indicaram que as mães são as principais responsáveis pelos cuidados e que as famílias não possuíam níveis satisfatórios de apoio e recursos
4	2015	Pakistani mothers' and fathers' experiences and understandings of the diagnosis of Down syndrome for...	Scopus	Ahmed <i>et al.</i>	Publicação no <i>J Community Genet</i> , indicando um estudo sobre as experiências e compreensões de mães e pais paquistaneses em relação ao diagnóstico da Trissomia do 21 e como ocorreu o processo de aceitação
5	2016	A interação entre as pessoas com síndrome de Down e seus irmãos: um	Scopus	Batista <i>et al.</i>	Um estudo exploratório qualitativo, realizado por meio de entrevistas, com sete irmãos com desenvolvimento típico de pessoas com SD, visando analisar a interação e identificar a reação ao diagnóstico. Os irmãos

Nº	Ano	Título do Artigo/Obra	Base de Dados	Autores	Principais Informações/Achados
		estudo exploratório			vivenciaram sentimentos aversivos, inicialmente, mas passaram por processos de aceitação e confusão. O estudo sugere que o papel de cuidador é frequentemente desenvolvido pela relação irmão-irmão, não por atribuição direta dos pais
6	2016	Inteligência intrapessoal y desarrollo en las personas con síndrome de Down	BVS	Cabezas Gómez, R.	Aborda a inteligência intrapessoal e o desenvolvimento em pessoas com T21. Menciona o modelo de Planejamento Centrado na Pessoa (PCP) como uma ferramenta para a inclusão, citando exemplos de aplicação de suas ferramentas. A pesquisa versa sobre a visão da inteligência intrapessoal de Gardner
7	2016	El educador en el aula, un valor añadido a la inclusión educativa el aula itinerante	BVS	Luna Brosa, C.; Pardo Eudal, S.	O artigo fala sobre a atuação do educador na inclusão escolar. Destaca que as instruções verbais devem ser breves, claras, precisas, focadas em comportamento observável e positivas. A apresentação do conteúdo de aprendizagem deve ser adaptada, oferecendo diversas opções perceptivas (visual, auditiva, motora) e múltiplos meios para o aluno expressar o que aprendeu. Defende que, para uma escola de todos, faz-se necessária uma mudança cultural
8	2016	The profile of social functioning in children with Down syndrome	BVS	Næss <i>et al.</i>	Artigo que descreve o perfil de funcionamento social em crianças com SD. Menciona que, embora existam fraquezas nas capacidades sociais (como planejamento e resolução de problemas), crianças com SD demonstraram conhecimento de emoções no mesmo nível que controles pareados por idade mental, quando a capacidade linguística é controlada. O estudo utilizou o Pedi (Inventário de Avaliação Pediátrica de Incapacidade) para o escore total de capacidades sociais e o subteste Block Design (WIPPSI-III) para nível de habilidade mental não verbal
9	2017	Análise do desempenho de crianças com Síndrome de Down no ambiente de educação infantil	BVS	Anhão, P. P. G. (Tese de Doutorado)	Este é um estudo descritivo, observacional e não experimental que visou identificar, categorizar e analisar os comportamentos de crianças com T21 e pares com desenvolvimento típico (DT) em ambientes de educação infantil (Ribeirão Preto). Os dados indicaram que crianças com T21 apresentaram maior frequência de comportamentos de dificuldade (como

Nº	Ano	Título do Artigo/Obra	Base de Dados	Autores	Principais Informações/Achados
					funções psicomotoras e necessidade de auxílio físico/verbal) em comparação com o grupo DT, embora apresentem similaridade em categorias como realizar a mesma atividade e observar os pares
10	2017	Children with down syndrome sharing past personal event narratives with their teacher aides a pilot	Scopus	van Bysterveldt, A. K.; Westerveld, M. F.	Estudo piloto sobre crianças com T21 compartilhando narrativas de eventos pessoais passados com seus assistentes de professores. Utilizou fotografias (próprias e de protocolo) para eliciar as narrativas. Os resultados indicaram dificuldades significativas na produção de narrativas pessoais de qualidade em ambas as condições fotográficas. Os participantes viam as fotos, não as capturavam
11	2018	Conhecimento social e habilidades de raciocínio social em uma população neurotípica e em crianças com síndrome de Down	Scopus	Barisnikov, K.; Lejeune, F	Pesquisa analisou dois componentes do CE: a capacidade de reconhecer emoções em faces isoladas (CE receptivo) e a capacidade de entender emoções com base em um contexto social (conhecimento da situação emocional)
12	2018	Visual-graphic symbol acquisition in school age children with developmental and language delays	BVS	Sevcik <i>et al.</i>	Estudo sobre a aquisição de símbolos visual-gráficos (Blissymbols e Lexigrams) em crianças em idade escolar com atrasos de desenvolvimento e linguagem. A pesquisa mediu a compreensão e a produção desses símbolos. O resultado foi uma diferença modesta em sua capacidade de aprender símbolos arbitrários <i>versus</i> icônicos. Não houve diferenças se o item do vocabulário era desconhecido antes da experiência de aprendizagem do símbolo
13	2019	Parents' perspective on having a child with Down Syndrome in France	Scopus	Bertrand	Pesquisa que replicou um estudo anterior dos EUA (Skotko <i>et al.</i> , 2011a) para investigar as atitudes parentais (sentimento de ter um filho com T21) na França. O estudo utilizou análise de regressão múltipla para explicar 11 atitudes parentais (incluindo orgulho, amor e arrependimento), usando variáveis como problemas de saúde e dificuldades de aprendizagem da criança, e <i>status</i> marital dos pais. O resultado foi que a maioria dos entrevistados indicou que seu filho ou filha com T21 teve um impacto positivo em sua

Nº	Ano	Título do Artigo/Obra	Base de Dados	Autores	Principais Informações/Achados
					vida e na de sua família e que estavam felizes por terem um filho
14	2019	The quality of life is not strained: disability, human nature, well-being, and relationships	Scopus	Shea, M.	O artigo explora a relação entre deficiência e qualidade de vida criticando a Visão Comum de que a deficiência é um mal que reduz significativamente a QV de uma pessoa. O autor defende uma nova versão do Perfeccionismo (abordagem que liga o bem-estar ao florescimento da natureza humana). O Perfeccionismo Tradicional Aristotélico é criticado por priorizar bens racionalistas (raciocínio, autonomia), o que leva à implicação de que deficientes cognitivos graves não podem prosperar. Em contraste, o autor propõe o Perfeccionismo Centrado em Relacionamento, que prioriza as capacidades sociais da natureza humana e os bens do relacionamento pessoal. A tese central é que a Prosperidade do Deficiente pode ser acomodada e explicada porque a alta QV relacional geralmente compensa o mal-estar resultante da deficiência. Estudos empíricos indicam que 99% das pessoas com T21 estão felizes com suas vidas, uma porcentagem significativamente maior do que a população geral
15	2020	Change of subjective theories of teachers in their first experiences with Down syndrome students	Scopus	Bonilla <i>et al.</i>	Pesquisa qualitativa de estudo de caso de duas professoras com primeira experiência com alunos com T21, objetivando descrever o dinamismo e a mudança de suas teorias subjetivas (TS). As docentes concordaram nas mudanças de TS sobre a percepção da T21, estratégias pedagógicas e dificuldades. As TS mais citadas incluíam a ativação do papel maternal e a necessidade de capacitação autodidata devido à ausência de treinamento institucional. As conclusões destacam as mudanças em suas teorias subjetivas
16	2020	Dynamic Assessment in Preschoolers with Down Syndrome and Nonspecific Intellectual Disability	BVS	Naranjo, F. V.; Robles-Bello, M. A.	Estudo que examinou o desempenho cognitivo e o potencial de aprendizagem em pré-escolares com T21 e Deficiência Intelectual Não Específica (NSID). Verificou-se que o desempenho cognitivo de ambos os grupos melhorou significativamente após a intervenção. O grupo NSID apresentou ganhos particularmente significativos, especialmente

Nº	Ano	Título do Artigo/Obra	Base de Dados	Autores	Principais Informações/Achados
					em tarefas de memórias auditiva e visual, em comparação com T21
17	2020	Emociones, funciones parentales y expectativas en familias de personas con síndrome de Down	Scopus	Álvarez <i>et al.</i>	Estudo sobre emoções, funções parentais e expectativas em famílias de pessoas com T21, utilizando o Modelo Ecológico do Desenvolvimento Humano de Bronfenbrenner para a análise do discurso. As entrevistas com as mães abordaram reações ao diagnóstico, medos e comparações com outras situações. Para os autores, a conclusão foi que as emoções, expectativas de vida e funções parentais são o resultado dos aspectos individuais de cada membro, que, ao interagir com os demais, gera um intercâmbio bidirecional que os afeta
18	2022	Competencias socioemocionales en personas con síndrome de Down	Scopus	González <i>et al.</i>	Revisão documental que analisou a literatura científica sobre a promoção de competências socioemocionais para pessoas com T21 através de programas de inteligência e/ou educação emocional. Concluiu que o trabalho prático com esta população ainda é escasso, sendo a maioria dos programas apenas propostas
19	2022	Teacher's evaluation of the social skills and recreation activities of 10- to 12-year-old children w	Scopus	Myburg <i>et al.</i>	Estudo que avaliou as habilidades sociais e atividades recreativas de crianças de 10 a 12 anos, usando a Matson Evaluation of Social Skills with Youngsters (Messy) preenchida por professores. A Messy avaliou habilidades sociais inadequadas (Fator 1: ex. ameaça, raiva fácil, autoritário) e apropriadas (Fator 2). O estudo recomenda que futuras pesquisas comparem o Messy entre crianças com T21 e seus pares típicos, e também entre relatórios de professores e pais para mitigar vieses
20	2023	Health-related quality of life and family functioning of primary caregivers of children with down sy...	Scopus	Rozensztrauch <i>et al.</i>	Estudo sobre a qualidade de vida relacionada à saúde e ao funcionamento familiar dos cuidadores primários de crianças com T21. O estudo foi realizado com 52 pais de crianças com SD e utilizou questionários padronizados para avaliar a qualidade de vida das crianças e o impacto da condição na família. A qualidade de vida das crianças está associada à qualidade de vida dos pais
21	2023	As emoções e a socialização infantil: a pesquisa com crianças na	BVS	Bortoletto <i>et al.</i>	Artigo que apresenta reflexões teóricas e análises empíricas preliminares (observação participante em escolas) sobre emoções e socialização infantil. O referencial teórico conceitua emoções como conjuntos

Nº	Ano	Título do Artigo/Obra	Base de Dados	Autores	Principais Informações/Achados
		escola das infâncias			complexos de reações químicas e neurais que auxiliam a homeostase e a sobrevivência. Sugere que as emoções facilitam as interações entre as crianças, e que a socialização permite a conquista de um amplo conjunto de estados emocionais. Destaca a busca das crianças por processos de socialização, não impostos pelos adultos
22	2024	Avaliação e ensino de emoções com crianças e jovens adultos com autismo ou Síndrome de Down mediado pela família	BVS	Araújo <i>et al.</i>	Avaliou o reconhecimento (imitação, identidade e identificação) e a nomeação de emoções (positiva e negativa) em pessoas com Autismo ou T21, mediado pela família através de recursos tecnológicos. Os resultados da linha de base mostraram que participantes com T21 (P1, P4, P5) obtiveram padrões de resposta diferenciados, particularmente para o grupo de estímulos <i>emojis</i> (G3). Após o procedimento de ensino, houve maior número de acertos, sugerindo generalização do aprendizado de reconhecimento e nomeação de emoções, independente do gênero
23	2024	Gaze and tactile sense	Scopus	Prochnow, T.; Eilertsen, G.	Este artigo se concentra em facilitar a interação social. O estudo utiliza análise de conversação baseada em gravações de vídeo de interação natural durante várias atividades na escola. A amostra consiste em cinco crianças com SD e perda sensorial combinada e seus professores. Os resultados indicam que os alunos usam o olhar e a visão ativamente na interação com adultos e respondem ativamente ao uso comunicativo do olhar do outro
24	2024	Quality of life in children with Down syndrome and its association with parent and child demographic	BVS	Alrayes <i>et al.</i>	Estudo que investigou a qualidade de vida (QoL) em crianças com SD e sua associação com variáveis demográficas (idade parental, nível de escolaridade parental, situação financeira e gênero da criança). A situação financeira mostrou-se significativamente associada ao bem-estar físico. O estudo analisou cinco domínios de QoL: físico, psicológico, autonomia/relação parental, bem-estar social/pares e ambiente escolar/aprendizagem
25	2025	Caregivers' experience of having a child with Down	Scopus	Zhang <i>et al.</i>	Meta-síntese qualitativa sobre as experiências e necessidades de cuidadores (mães, pais, avós, irmãos) de crianças com T21. O processo de busca incluiu diversos

Nº	Ano	Título do Artigo/Obra	Base de Dados	Autores	Principais Informações/Achados
		syndrome a meta-synthesis			bancos de dados utilizando termos como ‘Down syndrome’, ‘Caregivers’, ‘Experience’, e ‘Qualitative Research’. Os achados de estudos incluídos referem-se à adaptação das famílias à criança, ao papel parental e à sociedade. Os principais temas foram: Pressão na alimentação (<i>feeding pressure</i>). Esperança na educação. e estigma social. Pressão psicológica. Carga de cuidado. Carga familiar. Adaptação familiar e crescimento pessoal
26	2025	Parental expectations for their children with developmental disabilities a systematic scoping review	Scopus	Washington -Nortey <i>et al.</i>	Revisão de escopo sistemática sobre expectativas parentais para seus filhos com deficiências de desenvolvimento. Os resultados sugerem que diversos fatores relacionados à criança, aos pais e à sociedade influenciam as expectativas parentais. Por sua vez, as expectativas parentais podem impactar os resultados tanto para os pais quanto para os filhos
27	2025	How do children with intellectual disabilities empathize in comparison to typically developing children?	Scopus	Simon; Nader-Grosbois	O estudo investigou a empatia (afetiva, cognitiva e comportamental) em crianças com Deficiência Intelectual (DI) comparando-as com crianças com desenvolvimento típico (TD). No segundo Estudo (focado em T21), as Crianças foram percebidas por seus pais como sendo mais atentas aos sentimentos dos outros e apresentando mais contágio emocional do que crianças com DI inespecífica e crianças TD pareadas por idade de desenvolvimento típico. Os estudos destacam a existência de atrasos e diferenças nas várias dimensões da empatia em crianças com deficiência intelectual e síndrome de Down, sugerindo a necessidade de considerar essas especificidades em intervenções

Fonte: Dados da pesquisa (2015).

Os anos com maiores produções foram 2015 e 2016, com quatro publicações cada, seguidos por 2020; 2024 e 2025, com três publicações anuais. Já nos anos de 2017; 2018; 2019; 2022; e 2023 constam duas publicações em cada sobre o tema. Apenas no ano de 2021 não há registro de publicação.

Foi identificado um grande volume de resultados, ao cruzar os termos fotografia, vídeo, imagem e T21, contudo, apenas três discussões respondiam à pergunta de partida. O primeiro, uma

tese, trouxe “que visou identificar, categorizar e analisar os comportamentos de crianças com T21” (Anhão, 2017); o segundo, um estudo piloto que utilizou a fotografia como percurso de acesso à experiência para ser compartilhado com seus professores e assistentes de sala de aula (Van Bysterveldt; Westerveld, 2017); o terceiro utiliza análise de conversação baseada em gravações em vídeo de interações naturais durante diversas atividades na escola (Prochnow; Eilertsen, 2024).

De forma geral, com o resultado dos 27 artigos selecionados, foi possível analisar seus achados, identificando as convergências e divergências em relação à trissomia do cromossomo do 21. A análise concentrou-se nos seguintes eixos temáticos: 1. Capacidade de Interação Social e Ambiente de Inclusão; 2. Habilidades Cognitivas e de Aprendizagem, 3. Desenvolvimento Socioemocional.

1. Capacidade de Interação Social e Ambiente de Inclusão

A literatura apresenta que a inclusão escolar é fundamental para o desenvolvimento das crianças com T21. O consenso entre os autores é que o repertório de comportamentos sociais dessas crianças é semelhante ao de seus pares. Conforme afirma Anhão (2017, p. 76), “Crianças com T21 desempenham os mesmos comportamentos que seus pares de Desenvolvimento Típico quando inseridas em diversos ambientes da educação infantil no ensino regular, diferenciando-se apenas na frequência”. Autores como Luna Brosa; Pardo Eudal (2016) reforçam essa ideia, destacando as vantagens significantes da inclusão, cujas desvantagens mínimas podem ser superadas pelo esforço coletivo.

Entretanto, as obras analisadas revelam importante divergência. Apesar da semelhança no repertório, o funcionamento social de crianças com T21 é considerado uma fraqueza, se comparado aos seus pares. Næss *et al.* (2017) apontam que, embora participem do ambiente social, as crianças com T21 apresentam mais problemas de interação. Esse fato torna a área social um campo que pode ser explorado por meio de intervenções, especialmente porque esse funcionamento está diretamente ligado às habilidades linguísticas.

A análise não é homogênea, pois, estudos como o de Næss *et al.* (2017), mesmo apontando fraqueza, não encontram diferenças significativas em brincadeiras interativas. Essa característica, em contextos específicos de interação social, pode indicar que o desempenho de crianças com T21 pode não ser visto como um déficit, mas sim um atraso no desenvolvimento, o que torna passível de ser trabalhado e aprimorado por meio de intervenções direcionadas.

Habilidades Cognitivas e de Aprendizagem

Nesse eixo, a literatura apresenta forte convergência em relação às fraquezas cognitivas de indivíduos com T21. É amplamente estabelecido que, nos domínios do funcionamento cognitivo, há

um padrão consistente de déficits no processamento de informações verbais e na memória de curto prazo. Grieco *et al.* (2015) destacam que essa fraqueza é maior do que a observada para a capacidade cognitiva geral. Essa limitação é corroborada por outros estudos, como os de Valencia Naranjo; Robles-Bello (2020) que enfatizam as limitações significativas da memória de curto prazo na modalidade verbal, contrastando com o desempenho da memória visual adaptada ao seu desenvolvimento.

Oferecer estímulos que abordem essas fraquezas contribui para o desenvolvimento das pessoas com T21. Por meio de uma diversificação no currículo, é possível implantar tais estímulos, afinal, desde a primeira infância é essencial que a criança seja estimulada pedagogicamente, enfatizando aspectos cognitivos como percepção, atenção, memória e linguagem (Anhão, 2017). Ainda segundo Grieco *et al.* (2015), o desenvolvimento da linguagem, portanto, depende e contribui para funções cognitivas mais globais. Por isso, estimular crianças com T21 por meio da fotografia pode ser uma estratégia eficaz para promover habilidades cognitivas e comunicativas.

Desenvolvimento Socioemocional

No terceiro eixo, a literatura traz convergência em torno do suporte social e acompanhamento para lidar com o diagnóstico de T21, uma vez que a necessidade de adaptação se assemelha, entre algumas famílias (Batista; Duarte; Cia, 2016). Estudos como os de Cabezas Gómez (2016) e (Grieco *et al.*, 2015) apontam suporte quando se trata do sujeito, corroborando com a pesquisa de (Rozensztrauch *et al.*, 2023), ao apontar que a qualidade de vida do indivíduo e a dos pais possuem correlação positiva.

Os achados apresentam contradição no que tange à percepção social e realidade familiar. Embora o senso comum aponte que pessoas com deficiência geralmente têm vidas de baixa qualidade (Shea, 2019), a literatura estudada contesta essa visão. Estudo como o de Cabezas e Gómez (2016) apresenta um dado de que a maioria das pessoas com T21, com 12 anos ou mais, informou que viviam vidas felizes e plenas, enquanto os pais apontaram ter boa perspectiva de vida, mesmo com filhos diagnosticados de T21. Um estudo francês, por exemplo, apontou que 99% dos pais amam seus filhos com T21 (Bertrand, 2019), o que contraria esse estigma social e fortalece a importância de obterem informações precisas e claras ao receberem o diagnóstico.

A literatura mostra que o desenvolvimento socioemocional dos indivíduos ocorre em vários contextos, evidenciando as relações complexas. A análise dos artigos revela a aplicabilidade do modelo bioecológico de Bronfenbrenner, para o qual o desenvolvimento é influenciado pelos sistemas interconectados, e esse desenvolvimento da criança é moldado por processos proximais ou interações iterativas entre a criança e seus agentes de socialização (Washington-Nortey; Ohayagha; Serpell, 2025). Do microssistema familiar, que oferece suporte emocional diário, como apontam Pereira;

Oliveira (2015), as interações estabelecidas no sistema familiar são as que trazem mais considerações significativas ao desenvolvimento infantil. Na escola, seus pares colaboram para a construção de habilidades sociais. Essa inter-relação contínua é essencial, pois a eficácia depende do mesossistema – a interação entre o microsistema familiar e a escola – e o exossistema – fatores externos como a disponibilidade de recursos e terapias –, que influencia o bem-estar e desenvolvimento do indivíduo.

Em resumo, os artigos selecionados tratam da dinâmica familiar; investigam o impacto do diagnóstico, o papel da escola e dos cuidadores; além da relação familiar e do apoio social. Também abordam a qualidade de vida das pessoas com T21 e suas famílias. Esses estudos focam no desenvolvimento social, especialmente na capacidade de reconhecer e expressar emoções, bem como nas habilidades de comunicação das pessoas com T21. Os autores discutem estratégias pedagógicas, como o uso de atividades adaptadas e apoio individualizado, para efetivar a inclusão escolar, considerando os aspectos cognitivos e de aprendizagem.

A variedade de temas abordados nos artigos subsidia uma compreensão ampla dos desafios e avanços na vida das pessoas com T21, envolvendo desde o ambiente familiar até a inclusão escolar, e o maior número de estudos foi sobre os aspectos socioemocionais e de comunicação. Após a leitura completa dos artigos, não foram identificadas pesquisa que abordassem espaços verdes e T21.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta revisão bibliográfica aponta a complexidade, quando se trata do acompanhamento das pessoas com T21. Os achados convergem, ao indicarem fraquezas cognitivas, como a memória de curto prazo; e divergências quanto às forças relativas, como o repertório de comportamentos sociais em ambientes de inclusão. A compreensão dessas nuances é fundamental para o desenvolvimento do indivíduo.

Já em resposta à pergunta norteadora que versou sobre a interconexão de natureza, fotografia e crianças com T21, constatou-se lacuna significativa na literatura científica. Os estudos que envolvem vídeo e fotografias foram desenvolvidos em áreas e ambientes internos das escolas, sem abordar interação em contextos naturais de forma integrada.

Desta forma, este artigo justifica-se por sua originalidade, ao propor um novo campo de investigação sobre as potencialidades da inclusão de crianças com T21. Acredita-se que a metodologia que apresenta a prática da fotografia em ambientes naturais possa contribuir para o avanço de estudos de temas como T21, bem-estar e educação ambiental inclusiva.

REFERÊNCIAS

AHMED, Kiran Jan *et al.* Pakistani mothers' and fathers' experiences and understandings of the diagnosis of Down syndrome for their child. **Journal of Community Genetics**, [s. l.], v. 6, n. 1, p. 47 – 53, 2015.

ALRAYES, Nuha *et al.* Quality of life in children with Down syndrome and its association with parent and child demographic characteristics: Parent-reported measures. **Mol Genet Genomic Med**, [s. l.], v. 12, n. 1, p. e2337 – e2337, 2024.

ÁLVAREZ, Fidji Danaé Pérez *et al.* Emociones, funciones parentales y expectativas en familias de personas con síndrome de Down. **Anuario de Psicología/The UB Journal of Psychology**, [s. l.], v. 50, n. 2, p. 79 – 86, 2020.

ANHÃO, Patricia Pafaro Gomes. **Análise do desempenho de crianças com Síndrome de Down no ambiente de educação infantil**. 2017. 118 f. [s. l.], 2017. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/22/22133/tde-27112017-201336/publico.PATRICIAPAFAROGOMESANHAO.pdf>.

ARAÚJO, Patrícia Pereira de *et al.* Avaliação e ensino de emoções com crianças e jovens adultos com autismo ou síndrome de down mediado pela família. **Psicol. Ciênc. Prof.** [s. l.], v. 44, p. e258093 – e258093, 2024.

BARISNIKOV, Koviljka; LEJEUNE, Fleur. Social knowledge and social reasoning abilities in a neurotypical population and in children with Down syndrome. **PLoS One**, [s. l.], v. 13, n. 7, p. e0200932–e0200932, 2018.

BATISTA, Bruna Rafaela de; DUARTE, Márcia; CIA, Fabiana. A interação entre as pessoas com síndrome de Down e seus irmãos: um estudo exploratório. **Ciência & Saúde Coletiva**, [s. l.], v. 21, p. 3091 – 3099, 2016.

BERTRAND, Remi. Parents' perspective on having a child with Down Syndrome in France. **American Journal of Medical Genetics Part A**, [s. l.], v. 179, n. 5, p. 770 – 781, 2019.

BONILLA, María de los Ángeles *et al.* Change of subjective theories of teachers in their first experiences with Down syndrome students. **Información Tecnológica**, [s. l.], v. 31, n. 3, p. 51–64, 2020.

BORTOLETTO, Denise *et al.* As emoções e a socialização infantil: a pesquisa com crianças na escola das infâncias. **Revista Educação e Infâncias**, [s. l.], v. 2, n. 3, p. e-31934, 2023.

BRONFENBRENNER, Urie.; MORRIS, Pamela A. The bioecological model of human development. *In*: DAMON, W.; LERNER, R. M. (eds.). **Handbook of child psychology: theoretical models of human development** (6th ed., v. 1, p. 793-828). Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2006.

CABEZAS-GÓMEZ, Diana. Inteligencia intrapersonal y desarrollo en las personas con síndrome de Down. **Rev. Síndr. Down**, [s. l.], p. 116 – 130, 2016.

CUNHA, André Almeida *et al.* A conexão com a natureza em parques urbanos brasileiros e sua contribuição para o bem-estar da população e para o desenvolvimento infantil. **Sociedade & Natureza**,

[s. l.], v. 34, n. 1, 2022. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/sociedadennatureza/article/view/65411>. Acesso em: 1º jul. 2025.

DAMASCENO, Mônica Maria Siqueira; MAZZARINO, Jane Marcia; FIGUEIREDO, Aida. Vivências com a natureza e os limites invisíveis: contatos primordiais entre projetos educativos no Brasil e em Portugal. **Educação** [s. l.], p. e105/1-36, 2022.

DUARTE, Alex. **Atualiza**: síndrome de down / Trissomia do 21. Canoas, RS: Cromossomo 21, 2022.

FERREIRA, Lohanna Lopes; SANTOS, Sthefany Maria Gomes dos; VANALI, Renan Costa. **Nível de atividade física de pessoas com trissomia do cromossomo 21**: um estudo de revisão.

GONZÁLEZ, Octavio C. Garcia; MAYA, Alan J. González; GROSS, Emma V. Roth. Competencias socioemocionales en personas con síndrome de Down. **Siglo Cero. Revista Española sobre Discapacidad Intelectual**, [s. l.], v. 53, n. 4, p. 149 – 164, 2022.

GRIECO, Julie *et al.* Down syndrome: cognitive and behavioral functioning across the lifespan. **Am J Med Genet C Semin Med Genet**, [s. l.], v. 169, n. 2, p. 135 – 49, 2015.

LIMA, Valéria; AMORIM, Margarete Cristiane da Costa Trindade. A importância das áreas verdes para a qualidade ambiental das cidades. **Formação (On-line)**, [s. l.], v. 1, n. 13, 2006. Disponível em: <https://revista.fct.unesp.br/index.php/formacao/article/view/835>. Acesso em: 7 maio 2025.

LUNA BROSA, Cristina; PARDO EUDAL, Elena. El educador en el aula, un valor añadido a la inclusión educativa: el aula itinerante. **Rev. Síndr. Down**, [s. l.], p. 51 – 58, 2016.

MYBURG, Cara-Mari; KRIEL, Cindy; STEVENS, cYolanda. Teacher's evaluation of the social skills and recreation activities of 10- to 12-year-old children with Down Syndrome. **South African Journal for Research in Sport, Physical Education and Recreation**, [s. l.], v. 44, n. 2, p. 63 – 80, 2022.

NÆSS, Kari-Anne B. *et al.* The profile of social functioning in children with Down syndrome. **Disabil Rehabil**, [s. l.], p. 1320 – 1331, 2017.

NARANJO, Nieves Valencia; ROBLES-BELLO, María Auxiliadora. Dynamic assessment in preschoolers with down syndrome and nonspecific intellectual disability. **Psicol. educ. (Madr.)**, [s. l.], v. 26, n. 2, p. 101 – 107, 2020.

PEREIRA, Leticia Viana; OLIVEIRA, Erika Maria Parlato. Influência do entorno familiar no desempenho comunicativo de crianças com síndrome de Down. **Revista Cefac**, [s. l.], v. 17, p. 177 – 183, 2015.

PROCHNOW, Romy Regina; EILERTSEN, Lill-Johanne. Gaze and tactile sense. **Journal of Interactional Research in Communication Disorders**, [s. l.], v. 15, n. 2, p. 92 – 118, 2024.

RIOS, Sadraque; COSTA, Jean Oliveira; ARAÚJO. Mário; MENDES, V. L. P. S. The photography as technique and object of study in qualitative research. **Discursos Fotográficos**, [s. l.], v. 12, n. 20, p. 98 – 120, 2016.

ROZENSZTRAUCH, Anna *et al.* Health-related quality of life and family functioning of primary caregivers of children with down syndrome. **Frontiers in Psychiatry**, [s. l.], v. 14, 2023. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/psychiatry/articles/10.3389/fpsy.2023.1267583/full>. Acesso em: 26 jul. 2025.

SEVCIK, Rose A. *et al.* Visual-graphic symbol acquisition in school age children with developmental and language delays. **Augment Altern Commun**, [s. l.], v. 34, n. 4, p. 265–275, 2018.

SHEA, Matthew. The quality of life is not strained: disability, human nature, well-being, and relationships. **Kennedy Institute of Ethics Journal**, [s. l.], v. 29, n. 4, p. 333–366, 2019.

SHERMAN, Stephanie L. *et al.* Epidemiology of Down syndrome. **Mental Retardation and Developmental Disabilities Research Reviews**, [s. l.], v. 13, n. 3, p. 221–227, 2007.

SILVA, Alexsandro José da; CHAVES, Eduardo Batista Gomes. Inclusão escolar - O que é? Por quê? Como fazer?. **RECIMA21 - Revista Científica Multidisciplinar** - ISSN 2675-6218, [s. l.], v. 4, n.12, p. e4124501, 2023.

SILVA, Nara Liana Pereira; OLIVEIRA, Larissa Dias; ROOKE, Mayse Itagiba. Famílias com adolescente com síndrome de Down: apoio social e recursos familiares. **Avances en Psicología Latinoamericana**, [s. l.], v. 33, n. 2, p. 269 – 283, 2015.

SIMON, Poline; NADER-GROSBOIS, Nathalie. How do children with intellectual disabilities empathize in comparison to typically developing children?. **Journal of Autism and Developmental Disorders**, [s. l.], v. 55, n. 5, p. 1754 – 1769, 2025.

SITE: RAYYAN. **Rayyan**: AI-powered systematic review management platform. Disponível em: <https://www.rayyan.ai/>. Acesso em: 21 out. 2025.

SITE: ZOTERO | SEU ASSISTENTE PESSOAL DE PESQUISA. Disponível em: <https://www.zotero.org/>. Acesso em: 29 set. 2025.

TRINDADE, André Soares; NASCIMENTO, Marcos Antônio do. Avaliação do desenvolvimento motor em crianças com síndrome de down. **Revista Brasileira de Educação Especial**, v. 22, n. 4, p. 577 – 588, dez. 2016.

VAN BYSTERVELDT, Anne K.; WESTERVELD, Marleen F. Children with down syndrome sharing past personal event narratives with their teacher aides: a pilot study. **International Journal of Disability, Development and Education**, [s. l.], v. 64, n. 3, p. 249 – 269, 2017.

WASHINGTON-NORTEY, Melissa; OHAYAGHA, Chimdindu; SERPELL, Zewelangi. Parental expectations for their children with developmental disabilities: a systematic scoping review. **Journal of Child and Family Studies**, [s. l.], v. 34, p. 1114 – 1134, 2025.

ZHANG, XN; ZHANG, S.; LIU, CY *et al.* Experiência de cuidadores de crianças com síndrome de Down: uma metassíntese. **BMC Nurs**, v. 24, n. 66, 2025.

SOBRE OS AUTORES DO CAPÍTULO

Nome: Rodrigo Alencar Brasil

Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE), *Campus Juazeiro do Norte*.

Minicurrículo: Mestrando em meio ambiente pelo IFCE, *Campus Juazeiro do Norte*. Especialista em Tradução Audiovisual Acessível/Audiodescrição pela Universidade Estadual do Ceará (Uece). Tecnólogo em Análise e Desenvolvimento de Sistemas pelo Centro Universitário Unileão. Técnico em Audiovisual do IFCE, *Campus Juazeiro do Norte*. Experiência na área de fotografia e audiovisual.

E-mail: rodrigo.alencar@ifce.edu.br

Nome: Dra. Mônica Maria Siqueira Damasceno

Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE), *Campus Juazeiro do Norte*.

Minicurrículo: Pós-doutora pelo Departamento de Educação e Psicologia da Universidade de Aveiro Pt. Doutora em Ciências: Ambiente e Desenvolvimento, pela Universidade do Vale do Taquari (Univates). Mestre em Saúde da Infância e da Adolescência. Pedagoga e especialista em Psicologia Aplicada à Educação e Especialista em Saúde Mental. Professora no IFCE, *Campus Juazeiro do Norte*.

E-mail: siqueira.monica@ifce.edu.br

Nome: Lohanna Lopes Ferreira

Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE), *Campus Juazeiro do Norte*.

Minicurrículo: Graduada em Educação Física pelo Centro Universitário Doutor Leão Sampaio, laureada da turma. Especialista em Educação Física Escolar e recreação pela Faculdade Faveni. Mestranda em Meio Ambiente pelo IFCE, *Campus Juazeiro do Norte*. Pós-graduanda em Docência do Ensino Superior pelo Centro Universitário Doutor Leão Sampaio (Unileão) com enfoque em PcD e Inclusão.

E-mail: lohannaferreira32@gmail.com

CAPÍTULO 14

ENTRE O VERDE E O MOVIMENTO – O PAPEL DA NATUREZA NO DESENVOLVIMENTO MOTOR DE CRIANÇAS COM T21

*Lohanna Lopes Ferreira
Mônica Maria Siqueira Damasceno
Rodrigo Alencar Brasil*

INTRODUÇÃO

A relação entre a criança com Trissomia do Cromossomo 21 (T21) e a natureza vai muito além dos benefícios propostos aos aspectos físicos. O ambiente natural oferece estímulos múltiplos: o toque das folhas, o som dos pássaros e o cheiro das flores impulsionam os sentidos, promovendo o desenvolvimento da percepção e comunicação. As partes soltas encontradas nesses ambientes naturais – galhos, areias e água – costumam ser mais fascinantes do que aparelhos de brincar prontos para o uso (Janke *et al.*, 2022).

O desenvolvimento motor é compreendido como um processo contínuo, no qual as transformações são adquiridas, organizadas e aperfeiçoadas ao longo da vida e fazem com que uma alteração leve a outra (Rebelo, 2019). Desde o nascimento, o corpo apresenta respostas espontâneas, movimentos rudimentares, que vão se transformando progressivamente, ou seja, o desenvolvimento é uma ação que se inicia na concepção e se interrompe com a morte (Gallahue *et al.*, 2013).

No decorrer da infância, desenvolve-se uma “conversa” entre o ambiente e o corpo. Quando a criança passa a experimentar posturas, expressar sentimentos por meio de gestos, e manipular objetos nos ambientes que as estimulem – parques, brinquedos e natureza –, as habilidades motoras são favorecidas e aparecem no seu tempo. O ambiente passa a influenciar o desenvolvimento do indivíduo, em um processo de reciprocidade (Bronfenbrenner, 1996).

O indivíduo com T21 possui características próprias, que diferem geneticamente de um indivíduo típico, como hipotonia muscular, articulações mais flexíveis e força muscular diminuída (Winders *et al.*, 2019). Esses fatores afetam, conseqüentemente, seu desenvolvimento, contribuindo para o aparecimento tardio de marcos, como sentar-se, engatinhar e caminhar. Observa-se uma seqüência de conquistas semelhante à das demais crianças, porém, em ritmo diferente. As transformações da infância até a maturidade, enquanto crescem, é surpreendente pelas equivalências e diferenças notadas. Tentar compreender o que se apresenta como universal e, ao mesmo tempo, individual, é complexo (Clark; Metcalfe, 2002).

Portanto, compreender o desenvolvimento motor em crianças com T21 é entender que o processo de aquisição de habilidades segue seu próprio ritmo. Assim, faz-se necessária uma análise mais aprofundada para compreender como o ambiente pode ser um espaço potencializador, no qual os estímulos e as interações se tornam uma forma de comunicação e conquista do próprio corpo. Nessa perspectiva, este estudo teve como objetivo explicar sobre as contribuições que a literatura oferece sobre o papel da natureza no desenvolvimento motor em crianças com T21.

Como metodologia, foi realizada uma revisão integrativa de literatura com análise descritiva e abordagem qualitativa. A revisão integrativa envolve um método que reúne e analisa de forma sistemática estudos já realizados sobre determinado tema, possibilitando a síntese do conhecimento existente e a elaboração de conclusões fundamentadas. Assim, configura-se como uma metodologia de pesquisa consistente, baseada em evidências e amplamente reconhecida no meio científico (Souza *et al.*, 2010; Crossetti, 2012).

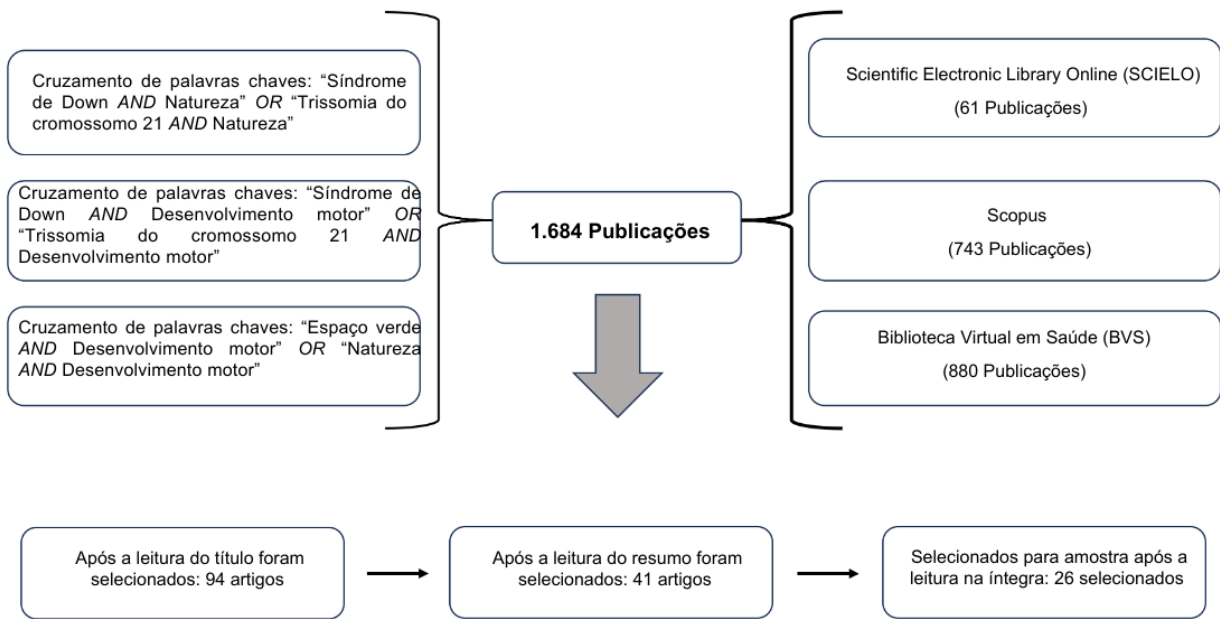
A revisão integrativa de literatura inicial foi orientada pela seguinte pergunta: Que contribuições a literatura oferece sobre o papel da natureza no desenvolvimento motor em crianças com Trissomia do Cromossomo 21?

No preceito de inclusão, foram conceituadas publicações entre os anos de 2015 a 2025; artigos que continham uma ou mais palavras-chave no título e no resumo; e artigos completos. E os preceitos de exclusão abrangeram as publicações duplicadas e anteriores a 2015.

Os descritores aplicados para a investigação e busca de pesquisa foram: “Trissomia do cromossomo 21 *AND* Natureza”; “Trissomia do cromossomo 21 *AND* Desenvolvimento motor”, “Espaço Verde *AND* Desenvolvimento motor *OR* Natureza *AND* Desenvolvimento motor”. Durante as buscas, notou-se escassez de estudos relativos à terminologia “Trissomia do cromossomo 21”, por estar sendo empregada recentemente, então, foi substituída e usada também a terminologia “Síndrome de Down”. Além disso, os foram utilizados os mesmo termos na língua inglesa.

Para localizar os artigos relacionados a essa temática, as buscas foram concentradas na Scientific Electronic Library Online (SciELO); Biblioteca Virtual em Saúde (BVS); e base de dados Scopus. O período da análise abrangeu os meses de abril a julho de 2025.

Os dados foram sintetizados, categorizados e discutidos, com base na literatura pertinente. Na Figura 1, consta a estrutura ilustrativa do processo de seleção dos estudos relacionados aos benefícios proporcionados pela interação entre ambiente natural e indivíduos com T21.

Figura 1 - Fluxograma representando os passos para a triagem e seleção dos artigos

Fonte: Autora (2025).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As buscas nas bases de dados foram conduzidas a partir das palavras-chaves mencionadas. Os artigos localizados passaram por um processo de triagem e foram considerados apenas os que estavam completos, publicados entre os anos de 2015 a 2025, e redigidos em português, inglês ou espanhol.

Para a busca de dados, foi realizada a leitura dos artigos completos, para identificar e analisar se contemplavam a pergunta norteadora, assim, foram selecionados 26 artigos para representar a amostra da revisão. Verificou-se que, durante a seleção dos artigos, os principais motivos para a exclusão das publicações foram o fato de prevalecer apenas um único tema; por exemplo, T21, mas não incluir desenvolvimento motor ou a natureza. Outro fato foi, principalmente, o desvio da temática do estudo.

A língua inglesa foi o idioma que prevaleceu, entre os artigos selecionados. As maiores incidências de publicações ocorreram entre 2015 – com cinco artigos –, e 2017 e 2019, ambos com quatro artigos cada. Constatou-se um pico recente de publicações entre 2020 e 2022, cada ano com três artigos.

Para proporcionar um olhar mais sistematizado sobre a abordagem dessa revisão, no Quadro 1 demonstra-se a síntese dos artigos selecionados conforme os critérios de inclusão, acompanhada de seus respectivos anos de publicação, bem como as principais contribuições identificadas.

Quadro 1 – Artigos selecionados conforme os critérios de inclusão; seus respectivos anos de publicação; e as principais contribuições identificadas

Nº	Ano	Autor (es)	Título	Principais Resultados
1	2015	Ferreira Vasques, A. T.; Lamônica, D. A. C.	Motor, linguistic, personal and social aspects of children with Down Syndrome	O estudo comparou crianças com Síndrome de Down (SD) e com Desenvolvimento Típico pareadas por idade mental e constatou que o grupo SD apresentou atraso no desenvolvimento neuropsicomotor, desde o equilíbrio cervical até a marcha independente. O desempenho foi significativamente inferior no grupo SD nas áreas motora-adaptativa, de linguagem e motora grossa, sendo, a linguagem, a área mais prejudicada
2	2015	Malak, R. <i>et al.</i>	Delays in motor development in children with Down Syndrome	Este estudo examinou a função motora grossa e o equilíbrio funcional em 79 crianças com SD que recebiam fisioterapia. O Desenvolvimento Motor (DM) estava atrasado, com a posição em pé sendo a habilidade mais difícil de ser alcançada no primeiro ano de vida. Verificou-se uma correlação positiva significativa entre o equilíbrio funcional e as pontuações gerais da função motora grossa, particularmente as habilidades mais avançadas (andar, correr, pular)
3	2015	Anunciação, L. M. R. L. <i>et al.</i>	Educação Infantil e Práticas Pedagógicas para o Aluno com Síndrome de Down: O Enfoque no Desenvolvimento Motor	Utilizando um estudo de caso com uma criança de 3 anos com SD, o objetivo foi identificar seu nível de Desenvolvimento Motor (DM) e intervir com estratégias pedagógicas. A intervenção, baseada em mediação pedagógica lúdica em ambiente de Educação Infantil, levou o aluno a avançar sua idade motora de 1-2 anos para 2-3 anos no pós-teste
4	2015	Schott, N.; Holfelder, B.	Relationship between motor skill competency and executive function in children with Down's Syndrome	Comparou crianças com SD e Desenvolvimento Típico (DT) e confirmou déficits em Funções Executivas (controle da atenção, supressão de resposta, distração) e habilidades motoras (locomotoras e controle de objetos) no grupo SD. Foi encontrada uma correlação positiva e forte entre o desempenho motor e as funções executivas, mas apenas no grupo SD
5	2015	Cardoso, A. C. N.	Motor performance	Estudo longitudinal que comparou o Desenvolvimento Motor de bebês (2-4 meses) e crianças (2 anos) com SD

Nº	Ano	Autor (es)	Título	Principais Resultados
		<i>et al.</i>	of children with Down syndrome and typical development at 2 to 4 and 26 months	e Desenvolvimento típico. Bebês com SD apresentaram escores motores brutos significativamente inferiores. Aos 2 anos, as crianças SD mantiveram escores mais baixos, especialmente em tarefas complexas que exigem velocidade, co-contracção e controle postural. O desempenho motor precoce foi altamente preditivo do desempenho motor posterior
6	2016	Trindade, A. S.; Nascimento, M. A.	Avaliação do Desenvolvimento motor em Crianças com Síndrome de Down	O estudo avaliou o Desenvolvimento Motor (DM) de sete crianças com Síndrome de Down (9 – 11 anos), usando a Escala de Desenvolvimento Motor (EDM). O DM geral foi considerado muito inferior ao esperado para a idade cronológica. A Motricidade Fina foi a categoria que apresentou menor prejuízo na maioria dos casos, enquanto a Organização Temporal foi a categoria mais deficitária, seguida pelo Esquema Corporal e Equilíbrio
7	2016	Scapinelli, D. F. <i>et al.</i>	Evaluation of functional capabilities in children with Down Syndrome	Avaliou as habilidades funcionais de 10 crianças com Síndrome de Down (SD) e 10 com desenvolvimento normal. O grupo SD apresentou desempenho funcional significativamente menor em autocuidado, mobilidade e função social. O grupo SD também exigiu maior assistência do cuidador em autocuidado e mobilidade
8	2016	Tavares, E. D. <i>et al.</i>	Influence of biological and sociocultural variables on children motor development aged 7 – 9 years	Investigou a influência de variáveis biológicas e socioculturais no desempenho motor de 129 crianças com desenvolvimento típico. Constatou que o Desenvolvimento Motor (DM) geral foi muito pobre em 79,8% da amostra. Meninos apresentaram melhores resultados nas habilidades de controle de objetos. As variáveis socioculturais não se correlacionaram com o DM, mas influenciaram as características biológicas, indicando uma natureza interativa entre fatores biológicos e contextuais
9	2017	Guzmán-Muñoz, E. E. <i>et al.</i>	Control postural en niños, adolescentes y adultos con Síndrome de Down	Analisou o controle postural em crianças, adolescentes e adultos com Síndrome de Down (SD) em comparação com Desenvolvimento Típico (DT). Indivíduos com SD apresentaram déficit no controle postural e baixo desenvolvimento dessa habilidade. No grupo DT, o controle postural melhora e atinge o auge na idade adulta, mas, no grupo SD, não houve diferença significativa entre as faixas etárias
10	2017	Kim, H. I. <i>et al.</i>	Motor and cognitive developmental profiles in children with Down Syndrome	Investigou o Desenvolvimento Motor (DM) e perfis cognitivos em 78 crianças com Síndrome de Down (SD). Concluiu que crianças com SD seguem a mesma sequência de DM, mas levam o dobro do tempo para atingir os marcos motores em comparação com crianças saudáveis. No entanto, não foi encontrada correlação estatisticamente significativa entre o DM precoce e a função cognitiva posterior

Nº	Ano	Autor (es)	Título	Principais Resultados
11	2017	Herrero, D. <i>et al.</i>	The motor repertoire in 3 - to 5 month old infants with Down Syndrome	Descreveu o repertório motor em 47 bebês com Síndrome de Down (SD) (3-5 meses). O Motor Optimality Score (MOS) foi significativamente mais baixo (mediana 13) do que em bebês com resultado neurológico normal (mediana 26). Observou-se alta taxa (70%) de movimentos agitados aberrantes (anormais ou ausentes) e posturas atípicas. Fatores de risco perinatais não estiveram relacionados a esses déficits motores na idade de 3-5 meses
12	2018	Aoki, S. <i>et al.</i>	Developmental trend of children with Down's Syndrome – How do sex and neonatal conditions influence their developmental patterns?	Estudo longitudinal com 158 crianças com Síndrome de Down (SD). A velocidade de desenvolvimento é mais lenta do que em crianças típicas em todos os domínios, sendo o da Linguagem-Social o mais lento. Meninas com SD desenvolveram-se significativamente mais rápido em habilidades cognitivas não verbais e de linguagem do que meninos. Baixo peso ao nascer e cardiopatia congênita tiveram um impacto negativo significativo no desenvolvimento dos meninos, especialmente nas habilidades cognitivas não verbais
13	2018	Capio, C. M. <i>et al.</i>	Fundamental movement skills and balance of children with Down Syndrome	Examinou a proficiência em Habilidades Motoras Fundamentais (HMF/FMS) e a Capacidade de Equilíbrio Estático (COP) em crianças com Síndrome de Down (SD). A proficiência em HMF foi fortemente associada à capacidade de equilíbrio no grupo SD. Uma intervenção de 10 sessões baseada em HMF com redução de erros melhorou significativamente a proficiência em HMF e o equilíbrio estático
14	2019	Lysklett, O. B. <i>et al.</i>	Motor competence and physical fitness among children attending nature preschools and traditional preschools	Comparou a Competência Motora (CM) e a Aptidão Física (AF) em crianças de pré-escolas naturais (PN) e tradicionais (PT). Não houve diferenças significativas na CM entre os grupos. Crianças em PT tiveram pontuações totais de AF significativamente melhores, além de desempenho superior em testes de corrida, especialmente entre meninos
15	2019	Alesi, M.; Battaglia, G. B.	Chapter Six - Motor development and Down Syndrome	Argumenta que o atraso no Desenvolvimento Motor (DM) na Síndrome de Down (SD) é multifatorial. O DM e o Quociente de Inteligência (QI) têm forte correlação, indicando que a proficiência motora inferior limita a autonomia. Discute a "hipótese do atraso" <i>versus</i> a "hipótese da variabilidade interindividual". O uso da Atividade Física Adaptada é crucial para promover o DM, a inclusão social e as funções

Nº	Ano	Autor (es)	Título	Principais Resultados
				executivas na SD
16	2019	Kabisch, N. <i>et al.</i>	Urban natural environments and motor development in early life	Analisou a associação entre ambientes naturais urbanos e déficits no Desenvolvimento Motor (DM) em crianças. Maiores espaços verdes públicos e natureza composta estiveram significativamente associados a um menor risco de déficits no DM. O efeito protetor foi principalmente evidente ao usar métricas de uso do solo que indicam acesso público aos espaços, e não o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada
17	2019	Winders <i>et al.</i>	A schedule of gross motor development for children with Down syndrome	Forneceu um cronograma de Desenvolvimento Motor Grosso (DMG) para 509 crianças com Síndrome de Down (SD). Argumenta que é inadequado usar as normas de desenvolvimento típicas para SD. Não houve diferença estatisticamente significativa entre os sexos na idade de aquisição em todas as 44 habilidades. A idade de aquisição dos marcos permaneceu estável ao longo de 29 anos de coleta de dados, apesar dos avanços nos cuidados médicos
18	2020	Patel, L. R. <i>et al.</i>	Chapter Five - Defining behavioral challenges in Down Syndrome utilizing a multidimensional dynamic approach: Implications for treatment intervention	Propõe uma abordagem multidimensional para avaliar desafios comportamentais (CB) na Síndrome de Down (SD). Argumenta que déficits sensório-motores e motores são componentes centrais na avaliação dos CB. CB comuns estão relacionados a déficits em Funções Executivas e planejamento motor. A avaliação deve integrar fatores médicos (como apneia do sono) e neuro desenvolvimentais para um tratamento eficaz
19	2020	Zakaria, W. H. W.; Hasan, H.	Fundamental Motor Skills Proficiency in Children with Down Syndrome	Avaliou a proficiência em habilidades motoras fundamentais em 33 crianças com Síndrome de Down (SD). Constatou baixa proficiência motora na maioria dos subtestes, incluindo coordenação bilateral, equilíbrio e força. Não encontrou diferença significativa no desempenho motor entre os sexos. Encontrou uma correlação positiva moderada entre a velocidade/agilidade de corrida e a coordenação dos membros superiores
20	2020	Rebello <i>et al.</i>	Desenvolvimento Motor da Criança: relação entre Habilidades Motoras Globais, Habilidades Motoras	Analisou a relação entre Habilidades Motoras e Idade em 405 crianças com desenvolvimento típico. Encontrou correlações positivas entre Idade, Motricidade Global (MG) e Motricidade Fina (MF). A correlação entre Idade e MF foi mais forte (moderada) do que entre Idade e MG (pequena). Sugere que o DM das habilidades Globais requer maior atenção e intervenção do que as habilidades Finas, que se desenvolvem melhor com o crescimento

Nº	Ano	Autor (es)	Título	Principais Resultados
			Finas e Idade	
21	2021	Pignato, S. <i>et al.</i>	Estágio de natureza e conhecimento motor no ensino fundamental. Ensino de educação física em ambiente aberto	Propõe a Educação em Movimento ao Ar Livre como uma abordagem pedagógica para o ensino de educação física no Ensino Fundamental. Argumenta que o ambiente natural é um cenário ideal para o movimento, a brincadeira, e para o desenvolvimento de habilidades motoras mais complexas, coordenação e processos de socialização em um contexto sustentável e inclusivo
22	2021	Albuquerque <i>et al.</i>	Association between motor competence and executive functions in children	Investigou a associação entre Competência Motora (CM) e Funções Executivas (FEs) em 152 crianças típicas. Encontrou uma correlação significativa e média entre CM e FEs. Esta correlação foi mais forte em crianças mais jovens do que nas mais velhas. A CM foi preditiva do desempenho das FEs em todos os participantes e nas crianças mais novas, mas não nas mais velhas
23	2022	Specht <i>et al.</i>	Comparison of Motor Difficulties Measured in the First Year of School among Children Who Attended Rural Outdoor or Urban Conventional Kindergartens	Comparou o risco de Dificuldades Motoras (DM) em crianças de jardins de infância (JI) ao ar livre (OK) <i>versus</i> JI convencionais (CK). Observou-se que crianças OK vinham de famílias significativamente mais ricas (maior escolaridade materna). Nos modelos ajustados por <i>Status</i> Socioeconômico (SES), não foram encontradas evidências de menor risco de DM no grupo OK em comparação com o CK. Sugere que os resultados positivos anteriores podem ser explicados por viés de seleção (famílias mais ricas escolhem OK)
24	2022	Jain, P. D. <i>et al.</i>	Gross motor dysfunction and balance impairments in children and adolescents with Down syndrome: a systematic review	Revisão sistemática sobre Desenvolvimento Motor (DM) e déficits de equilíbrio em indivíduos com Síndrome de Down (SD). Confirma atrasos motores significativos devido a alterações neuromusculares e estruturais. Indivíduos com SD exibem deficiência na função motora grossa e equilíbrio precário
25	2023	Macías Lima, A. <i>et al.</i>	Estimular el desarrollo físico-motriz	O objetivo foi modelar atividades/técnicas inclusivas para estimular o Desenvolvimento Motor (DM) grosso e fino em crianças com Síndrome de Down (SD). A

Nº	Ano	Autor (es)	Título	Principais Resultados
			y coordinado: una necesidad en los niños/as con SD	implementação da proposta promoveu o DM, a comunicação, o desenvolvimento cognitivo e a qualidade de vida, alcançando um nível qualitativamente superior nos movimentos da motricidade grossa e fina
26	2024	Idamokoro, M. <i>et al.</i>	Positive effects of a 9 week programme on fundamental movement skills of rural school children	Avaliou os efeitos imediatos e sustentáveis de um programa de Habilidades Motoras Fundamentais (HMF) de 9 semanas em 93 crianças rurais. A intervenção teve efeitos positivos, imediatos e sustentáveis significativos nas Habilidades Locomotoras, Habilidades com Bola e no Índice Motor Grosso (IMG), com grandes tamanhos de efeito. Embora o grupo controle tenha melhorado inicialmente, o grupo de intervenção demonstrou melhoria maior e sustentada

Fonte: Dados da pesquisa (2025).

Os estudos analisados foram organizados em três grupos temáticos, definidos a partir das convergências conceituais e metodológicas observadas entre os autores: (1) Caracterização e etiologia do desenvolvimento motor na T21; (2) Intervenção e práticas pedagógicas no desenvolvimento motor; e (3) Influência de fatores socioambientais e biológicos no desenvolvimento. A seguir, cada grupo é apresentado e discutido em sua respectiva categoria.

Caracterização e Etiologia do Desenvolvimento Motor na T21

Nessa primeira categoria, a caracterização e etiologia do desenvolvimento motor traz contextos que abordam os aspectos biológicos, fatores clínicos e déficits posturais cognitivos e funcionais que influenciam o desempenho motor de indivíduos com T21. Nesta seção, são apresentados os fatores que influenciam o perfil motor e as principais limitações observadas na literatura especializada com seus respectivos autores.

Os artigos que tratam do desenvolvimento motor de crianças com T21, apontam que existe um atraso significativo. Kim *et al.* (2017) e Winders *et al.* (2019) corroboram que, mesmo possuindo ou seguindo uma sequência de desenvolvimento de crianças típicas, levariam o dobro do tempo para atingir os mesmos marcos. Kim *et al.* (2017), alega que o indivíduo com T21 anda de forma independente, geralmente, aos 28 meses; um atraso significativo se comparado com o desenvolvimento de indivíduos típicos.

Os estudos voltados à origem desse atraso são largamente discutidos: Alesi; Battaglia (2019); Lamônica e Ferreira-Vasques (2015); Jain *et al.* (2022) estão de acordo que a hipotonia muscular e a

hipermobilidade articular são condições diretamente ligadas à deficiência muscular. Lamônica e Ferreira-Vasques (2015) ressaltam, ainda, que esses fatores biomecânicos estão diretamente relacionados às anormalidades estruturais e funcionais do sistema nervoso. Além disso, Malak *et al.* (2015); Alesi e Battaglia (2019) evidenciam que a hipoplasia do cerebelo é um agente determinante nos problemas da coordenação, do controle axial e equilíbrio.

Com o envelhecimento, o indivíduo com T21 apresenta déficit no controle postural e baixa capacidade no seu desenvolvimento, assim, concordam os autores Guzmán-Muñoz *et al.* (2017) e Jain *et al.* (2022), estando ligados diretamente com o estudo de Malak *et al.* (2015) que enfatiza uma relação direta entre o desenvolvimento motor e o equilíbrio postural, pois encontraram uma associação importante entre a escala de equilíbrio postural e a medida de função motora grossa. Portanto, esses achados mostram a significância de haver ações direcionadas ao refinamento do equilíbrio e do controle postural desde os anos iniciais da vida, levando em conta que as limitações podem impactar na eficácia das atividades diárias.

Cardoso *et al.* (2015) e Herrero *et al.* (2017) debatem sobre o repertório motor na primeira infância. Cardoso *et al.* (2015) encontraram, na aplicação do Teste de Desempenho Motor Infantil, escores baixos em bebês com T21, quando comparados com bebês de desenvolvimento típico. O que interliga com um dos resultados de Herrero *et al.* (2017) quando observaram uma heterogeneidade no repertório motor de bebês com T21; entretanto, ao comparar com crianças com resultados neurológicos normais, detectaram otimização nos resultados significativamente menor. Outros fatores também podem ter impacto no desenvolvimento. Aoki *et al.* (2018) e Kim *et al.* chegaram a um consenso de que o baixo peso ao nascer e a cardiopatia congênita têm efeito negativo.

As pesquisas científicas indicam interdependência entre o desenvolvimento motor e os processos cognitivos, fazendo com que o aperfeiçoamento das habilidades motoras exerça influência, de forma positiva, nas funções cognitivas. Como apontam Albuquerque *et al.* (2022) e Schott e Holfelder (2015), existe uma correlação positiva entre o córtex pré-frontal e o cerebelo, o que explica a competência motora e as funções executivas.

Patel *et al.* (2020) descrevem que indivíduos com T21 possuem desafios maiores nas questões comportamentais, além disso, deixam claro que os desafios referem-se aos déficits cognitivos e ao processamento sensorio-motor. Também destacam o comprometimento severo da linguagem expressiva, o que acarreta problemas comportamentais graves, como agressão. Com esses achados, é notório que déficits cognitivos, motores e de linguagem estão entrelaçados, e que são necessárias intervenções direcionadas e eficazes para reduzir os desafios comportamentais.

Intervenção e Práticas Pedagógicas no Desenvolvimento Motor

Na segunda categoria, são retratadas ações pedagógicas que podem ser voltadas ao desenvolvimento motor, contemplando estudos que investigam estratégias educacionais, atividades físicas e abordagens psicomotoras direcionadas à promoção das habilidades motoras de crianças com T21. Nessa categoria, é enfatizada a importância da atuação docente e de adaptações metodológicas no processo de ensino e aprendizagem.

Na obra analisada, Anunciação *et al.* (2015) abordam a ludicidade; o ato de brincar; como elemento propulsor do desenvolvimento, pois quando trabalhada de forma organizada, pode levar a avanços, e demonstraram, de forma estruturada no seu estudo de caso, um avanço. Ou seja, a intervenção precoce, através da ludicidade, pode promover a melhoria na funcionalidade do desenvolvimento motor.

As produções analisadas evidenciam que o indivíduo necessita agir de forma independente, criar aos poucos sua autonomia, principalmente indivíduos atípicos, onde os pais criam uma “bolha”, uma superproteção. Os autores Scapinelli *et al.*, (2016) e Anunciação *et al.*, (2015) discutem que as intervenções contribuem como fator preponderante na instigação precoce, amenizando a necessidade de ajuda nas habilidades diárias oferecidas pelo cuidador. Ainda relataram que o grupo com T21 obteve menor resultado significativo nas funcionalidades do autocuidado, da mobilidade e função social.

Estudos indicam que o contexto lúdico e as estratégias motoras podem reverter as limitações por meio de intervenções com metodologias eficazes atuando como direcionamentos clínico e educacional. Capio *et al.* (2018) defendem que, nas abordagens realizadas para a T21, haja uma redução de erros para que se torne benéfico, pois contorna as limitações da memória dos trabalhos verbal e visuoespacial. Os resultados encontrados no estudo de Idamokoro *et al.* (2024) afirmam o que os autores acima citados defendem, de que as intervenções de curta duração, voltadas para as habilidades motoras fundamentais, tiveram efeitos positivos imediatos e sustentáveis nas habilidades locomotoras e no índice motor geral.

Influência de Variáveis Socioambientais e Biológicas

Por fim, na terceira categoria, é abordada, de forma ampla, a influência dos fatores socioambientais e biológicos no desenvolvimento global. São discutidas variáveis contextuais, como ambiente familiar, oportunidades de estimulação e condições de saúde, que interferem no desenvolvimento motor quanto no cognitivo e socioafetivo das crianças com T21.

Estendendo o foco além das características da T21, os estudos mostram elementos fundamentais para o desenvolvimento motor, como o ambiente natural e a composição corporal. Almeida *et al.* (2020) e Tavares *et al.* (2016) acreditam que exista uma relação positiva com a idade. Além disso, Tavares *et al.* (2016) encontraram, nos estudos, que o percentual de gordura corporal foi a variável com correlação mais forte e negativa com o desempenho motor.

Nesse eixo, os autores percebem que o desenvolvimento motor é dinâmico. Ao ter contato com áreas verdes, surgem oportunidades para se movimentar livremente, aprimorar a interação social e os estímulos. Kabisch *et al.* (2019) relatam que encontraram ambientes naturais urbanos associados a um menor risco de déficits no desenvolvimento motor. Ou seja, os espaços verdes em ambientes urbanos atuam como moderadores ambientais.

Em resumo, após analisados, os estudos evidenciaram que o desenvolvimento motor de crianças com T21 é afetado por inúmeros fatores biológicos, pedagógicos e ambientais. Retratam a importância da oferta de novas oportunidades de movimento em contextos naturais, além das intervenções e práticas pedagógicas direcionadas à estimulação motora. Além disso, os autores destacam que, para obter resultados significativos em relação ao desenvolvimento motor global e à autonomia das crianças com T21, é necessário o contato com a natureza aliado a práticas educativas e constantes estímulos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os achados, até o momento, apontam para uma lacuna expressiva na produção científica que explore a interface entre natureza, inclusão, desenvolvimento motor e T21, o que reforça a pertinência deste estudo. Não foram encontrados estudos que trabalhassem com a temática de forma integrada. Quando abordado, o assunto aparece apenas de maneira fragmentada, seja em pesquisas sobre desenvolvimento motor ou sobre experiências em ambientes naturais, sem analisar de forma combinada a relação entre ambos.

Diante disso, conclui-se que o contato diário com ambientes naturais atua como mediador no processo de desenvolvimento motor da criança com T21, proporcionando oportunidades de movimentos que auxiliam na coordenação e autonomia. Além dos estímulos oferecidos ao desenvolvimento físico, potencializa aspectos socioafetivos e cognitivos, reforçando o papel da natureza como elemento de inclusão e aprendizado. Assim, recomenda-se que futuras pesquisas ampliem essa discussão, considerando abordagens interdisciplinares que integrem práticas pedagógicas, intervenções motoras e o uso de espaços verdes como estratégias de promoção do desenvolvimento global.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, Maicon Rodrigues; RENNÓ, Giovanna Vargas Consoli; BRUZI, Alessandro Teodoro *et al.* Association between motor competence and executive functions in children. **Applied Neuropsychology: Child**, v. 11, n. 3, p. 495 – 503, 2022.
- ALESI, M.; BATTAGLIA, G. Motor development and Down syndrome. **International Review of Research in Developmental Disabilities**, v. 56, p. 169 – 211, 2019.
- ANUNCIÇÃO, L. M. R. L. *et al.*, Teaching practices for students with Down syndrome and childhood education: a focus on motor development. **Revista Brasileira de Educação Especial**, v. 21, n. 2, p. 229 – 244, 2015.
- AOKI, S. *et al.* Developmental trend of children with Down's syndrome – How do sex and neonatal conditions influence their developmental patterns? **Brain and Development**, v. 40, n. 3, p. 181 – 187, 2018.
- BRONFENBRENNER, U. **A ecologia do desenvolvimento humano: experimentos naturais e planejados**. Porto Alegre: Artes Médicas, 1996.
- CAPIO, C. M. *et al.*, Fundamental movement skills and balance of children with Down syndrome. **J Intellect Disabil Res**, p. 225 – 236, 2018.
- CARDOSO, A. C. das N. *et al.*, Motor performance of children with Down syndrome and typical development at 2 to 4 and 26 months. **Pediatr Phys Ther**, p. 135 – 41, 2015.
- CLARK, J.; METCALF, J. S. The mountain of motor development: a metaphor. **Motor Development: research and review**, v. 2, p. 62 – 95, 2002.
- CROSSETTI, M. G. O. Revisão integrativa de pesquisa na enfermagem o rigor científico que lhe é exigido. **Revista Gaúcha de Enfermagem**, v. 33, n. 2, p. 8 – 9, 2012. D. Acesso em: 5 jul. 2025.
- FERREIRA-VASQUES, A. T.; LAMÔNICA, D. A. C. Motor, linguistic, personal and social aspects of children with Down syndrome. **Journal of Applied Oral Science**, v. 23, n. 4, p. 424 – 430, 2015.
- GALLAHUE, D. L. *et al.* **Compreendendo o desenvolvimento motor: bebês, crianças, adolescentes e adultos**. 7.ed. Porto Alegre: AMGH, 2013.
- GUZMÁN-MUÑOZ, E. E. *et al.* Control postural en niños, adolescentes y adultos con síndrome de Down. **Revista Médica Internacional sobre el Síndrome de Down**, v. 21, n. 1, p. 12 – 16, 2017.
- HERRERO, D. *et al.* The motor repertoire in 3 – to 5 – month old infants with Down syndrome. **Research in Developmental Disabilities**, v. 67, p. 1 – 8, 2017.
- IDAMOKORO, M. *et al.* Positive effects of a 9-week programme on fundamental movement skills of rural school children. **South African Journal of Childhood Education**, v. 14, n. 1, 2024.
- JAIN, P. D. *et al.* Gross motor dysfunction and balance impairments in children and adolescents with Down syndrome: a systematic review. **Clinical and Experimental Pediatrics**, v. 65, n. 3, p. 142 – 149, 2022.

JANKE E. *et al.* A comparison of children's play and non-play behavior before and after schoolyard greening monitored by video observations. **Journal of Environmental Psychology**, v. 80, p. 101760, 2022.

KABISCH, N. *et al.* Urban natural environments and motor development in early life. **Environmental Research**, v. 179, 2019.

KIM, H. I. *et al.* Motor and cognitive developmental profiles in children with Down syndrome. **Annals of Rehabilitation Medicine**, v. 41, n. 1, p. 97, 2017.

LYSKLETT, O. B. *et al.* Motor competence and physical fitness among children attending nature preschools and traditional preschools. **International Journal of Play**, v. 8, n. 1, p. 53 – 64, 2019.

MACÍAS L. A. *et al.* Estimular el desarrollo físico-motriz y coordinado: una necesidad en los niños/as con sd. **Conrado**, v. 19, n. 91, p. 72 – 79, 2023.

MALAK, R. *et al.* Delays in motor development in children with Down syndrome. **Medical Science Monitor**, v. 21, p. 1904 – 1910, 2015.

PATEL, L. R. *et al.* Defining behavioral challenges in Down syndrome utilizing a multidimensional dynamic approach: Implications for treatment intervention. *In: International Review of Research in Developmental Disabilities*. [s. l.]: Academic Press Inc., 2020, v. 58, p. 187 – 218.

PIGNATO, S. *et al.* Stage of nature and motor knowledge in the primary school. Teaching physical education in an open environment. **Journal of Physical Education and Sport**, v. 21, p. 606 – 611, 2021.

REBELO, M. *et al.* Desenvolvimento motor infantil: relação entre habilidades motoras globais, habilidades motoras finas e idade. **CPD**, Murcia, v. 20, n. 1, p. 75 –85, abr. 2020. Disponível em: http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1578-84232020000100007&lng=es&nrm=iso. Epub 29-jun-2020.

SCAPINELLI, D. F. *et al.* Evaluation of functional capabilities in children with Down syndrome. **Fisioterapia em Movimento**, v. 29, n. 2, p. 335 – 342, 2016.

SCHOTT, N.; HOLFELDER, B. Relationship between motor skill competency and executive function in children with Down's syndrome. **Journal of Intellectual Disability Research**, v. 59, n. 9, p. 860 – 872, 2015.

SOUZA, Rachel de *et al.* Integrative review: what is it? How to do it? **Einstein** (São Paulo), v. 8, p. 102 – 106, 2010.

SPECHT, Ina Olmer; LARSEN, Sofus Christian; ROHDE, Jeanett Friis *et al.* Comparison of motor difficulties measured in the first year of school among children who attended rural outdoor or urban conventional kindergartens. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 19, n. 21, 2022.

TAVARES, E. D. *et al.* Influência de variáveis biológicas e socioculturais no desenvolvimento motor de crianças com idades entre 7 e 9 anos. **Motricidade**, v. 12, p. 76 – 84, 2016.

TRINDADE, A. S.; NASCIMENTO, M. A. D. Avaliação do desenvolvimento motor em crianças com síndrome de Down. **Revista Brasileira de Educação Especial**, v. 22, n. 4, p. 577 – 588, dez. 2016. <https://doi.org/10.1590/s1413-65382216000400008>.

WINDERS, P. *et al.* A schedule of gross motor development for children with Down syndrome. **Journal of Intellectual Disability Research**, v. 63, n. 4, p. 346 – 356, 2019.

ZAKARIA, W. H. W. *et al.* Fundamental motor skills proficiency in children with down syndrome. **Pertanika Journal of Social Sciences and Humanities**, v. 28, n. 3, p. 2465 – 2475, 2020.

SOBRE OS AUTORES DO ARTIGO

Nome: Lohanna Lopes Ferreira

Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE), *Campus Juazeiro do Norte*.

Minicurrículo: Graduada em Educação Física pelo Centro Universitário Doutor Leão Sampaio (UniLeão), laureada da turma. Especialista em Educação Física Escolar e recreação pela Faculdade Faveni. Atualmente, mestranda em Meio Ambiente pelo IFCE, *Campus Juazeiro do Norte*. Pós-graduanda em Docência do Ensino Superior pela UniLeão com enfoque em Pessoa com Deficiência (PcD) e Inclusão.

E-mail: lohannaferreira32@gmail.com

Nome: Dra. Mônica Maria Siqueira Damasceno

Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE), *Campus Juazeiro do Norte*.

Minicurrículo: Pós-doutora pelo Departamento de Educação e Psicologia da Universidade de Aveiro/Portugal. Doutora em Ciências: Ambiente e Desenvolvimento, pela Universidade do Vale do Taquari (Univates). Mestre em Saúde da Infância e da Adolescência. Pedagoga e especialista em Psicologia Aplicada à Educação e Especialista em Saúde Mental. Professora no IFCE, *Campus Juazeiro do Norte*.

E-mail: siqueira.monica@ifce.edu.br

Nome: Rodrigo Alencar Brasil

Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE), *Campus Juazeiro do Norte*.

Minicurrículo: Mestrando em Meio Ambiente pelo IFCE, *Campus Juazeiro do Norte*. Especialista em Tradução Audiovisual Acessível/Audiodescrição pela Universidade Estadual do Ceará (Uece). Tecnólogo em Análise e Desenvolvimento de Sistemas pelo Centro Universitário Doutor Leão Sampaio (UniLeão). Técnico em Audiovisual no IFCE, *Campus Juazeiro do Norte*. Experiência nas áreas de fotografia e audiovisual.

E-mail: rodrigo.alencar@ifce.edu.br

ISBN 978-655376534-4



9

786553

765344