

**UMA REVISÃO NARRATIVA SOBRE A POLUIÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS
E CARACTERIZAÇÃO DE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS**

**A NARRATIVE REVIEW ON WATER POLLUTION AND THE
CHARACTERIZATION OF HUMIC SUBSTANCES**

**UNA REVISIÓN NARRATIVA SOBRE LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA Y LA
CARACTERIZACIÓN DE SUSTANCIAS HÚMICAS**

 10.56238/revgeov17n2-023

José Edilson Gonçalves dos Santos

Doutorando em Química e Biotecnologia
Instituição: Universidade Federal de Alagoas (UFAL)
Endereço: Alagoas, Brasil
E-mail: joseedilsongoncalves@gmail.com
Orcid: 0000-0003-1283-1306

José Augusto Soares de Araújo

Doutorando em Química Biológica
Instituição: Universidade Regional do Cariri (URCA)
Endereço: Ceará, Brasil
E-mail: augusto.araujo@urca.br
Orcid: 0000-0003-4617-0067

Anielle dos Santos Brito

Doutora em Engenharia Civil
Instituição: Centro de Ensino Tecnológico – CENTEC
Endereço: Ceará, Brasil
E-mail: anielle.sbrito@gmail.com

Matheus Vieira Gonçalves

Graduado em Geografia
Instituição: Universidade Regional do Cariri (URCA)
E-mail: matheusv.g100@urca.br

Laryssa Suyane Vieira Gonçalves

Graduanda em Engenharia Ambiental
Instituição: Instituto Federal do Ceará (IFCE)
Endereço: Ceará, Brasil
E-mail: laryssasuyane777@gmail.com



Raimundo Nonato Pereira Teixeira

Doutor em Engenharia Civil
Instituição: Universidade Regional do Cariri (URCA)
Endereço: Ceará, Brasil
E-mail: raimundo.teixeira@urca.br
Orcid: 0000-0002-2931-5087

Wander Gustavo Botero

Doutor em Química
Instituição: Universidade Federal de Alagoas (UFAL)
Endereço: Alagoas, Brasil
E-mail: wander.botero@iqb.ufal.br
Orcid: 0000-0003-1845-6797

RESUMO

A poluição dos recursos hídricos em regiões semiáridas representa um relevante desafio ambiental, especialmente no Cariri cearense, inserido majoritariamente na bacia hidrográfica do Rio Salgado. O crescimento urbano desordenado, a precariedade do saneamento básico, o descarte inadequado de resíduos sólidos e a presença de atividades industriais têm contribuído para a degradação da qualidade das águas superficiais e subterrâneas da região. Nesse cenário, as substâncias húmicas, principais componentes da matéria orgânica natural, exercem papel fundamental na dinâmica ambiental, influenciando a mobilidade, a biodisponibilidade e a toxicidade de metais potencialmente tóxicos em sistemas aquáticos. O presente estudo consistiu em uma revisão narrativa da literatura, de abordagem qualitativa e caráter descritivo-analítico, com foco na bacia e microbacias do Rio Salgado. Foram analisados estudos nacionais e internacionais relacionados à qualidade da água, matéria orgânica natural, substâncias húmicas, metais potencialmente tóxicos e impactos antrópicos em ambientes semiáridos. Os resultados indicam que as substâncias húmicas apresentam comportamento ambíguo, atuando tanto como agentes complexantes naturais, capazes de reduzir a biodisponibilidade imediata de metais como cádmio, chumbo, cobre, cromo e níquel, quanto como facilitadoras do transporte desses contaminantes ao longo da bacia hidrográfica. Destaca-se a microbacia III do Rio Salgado, que apresenta condições críticas de contaminação associadas à elevada carga orgânica, presença de metais acima dos limites legais e influência de atividades galvanoplásticas. Conclui-se que a compreensão integrada dessas interações é essencial para subsidiar estratégias de monitoramento e gestão sustentável dos recursos hídricos no semiárido nordestino.

Palavras-chave: Substâncias Húmicas. Poluição Hídrica. Elementos Potencialmente Tóxicos. Rio Salgado.

ABSTRACT

Water pollution in semi-arid regions represents a significant environmental challenge, especially in the Cariri region of Ceará, which is located mainly in the Salgado River basin. Unplanned urban growth, inadequate basic sanitation, improper disposal of solid waste, and the presence of industrial activities have contributed to the degradation of the quality of surface and groundwater in the region. In this scenario, humic substances, the main components of natural organic matter, play a fundamental role in environmental dynamics, influencing the mobility, bioavailability, and toxicity of potentially toxic metals in aquatic systems. This study consisted of a narrative literature review, with a qualitative



approach and descriptive-analytical character, focusing on the Salgado River basin and its microbasins. National and international studies related to water quality, natural organic matter, humic substances, potentially toxic metals, and anthropogenic impacts in semi-arid environments were analyzed. The results indicate that humic substances exhibit ambiguous behavior, acting both as natural complexing agents, capable of reducing the immediate bioavailability of metals such as cadmium, lead, copper, chromium, and nickel, and as facilitators of the transport of these contaminants along the watershed. The Salgado III river microbasin stands out for presenting critical contamination conditions associated with high organic load, the presence of metals above legal limits, and the influence of electroplating activities. It is concluded that an integrated understanding of these interactions is essential to support monitoring strategies and sustainable management of water resources in the semi-arid Northeast of Brazil.

Keywords: Humic Substances. Water Pollution. Potentially Toxic Elements. Salgado River.

RESUMEN

La contaminación hídrica en regiones semiáridas representa un desafío ambiental significativo, especialmente en la región de Cariri, Ceará, ubicada principalmente en la cuenca del río Salgado. El crecimiento urbano no planificado, el saneamiento básico inadecuado, la disposición inadecuada de residuos sólidos y la presencia de actividades industriales han contribuido a la degradación de la calidad de las aguas superficiales y subterráneas en la región. En este contexto, las sustancias húmicas, principales componentes de la materia orgánica natural, desempeñan un papel fundamental en la dinámica ambiental, influyendo en la movilidad, biodisponibilidad y toxicidad de metales potencialmente tóxicos en los sistemas acuáticos. Este estudio consistió en una revisión narrativa de la literatura, con un enfoque cualitativo y descriptivo-analítico, centrada en la cuenca del río Salgado y sus subcuencas. Se analizaron estudios nacionales e internacionales relacionados con la calidad del agua, la materia orgánica natural, las sustancias húmicas, los metales potencialmente tóxicos y los impactos antropogénicos en ambientes semiáridos. Los resultados indican que las sustancias húmicas presentan un comportamiento ambiguo, actuando como agentes complejantes naturales capaces de reducir la biodisponibilidad inmediata de metales como el cadmio, el plomo, el cobre, el cromo y el níquel, y facilitando el transporte de estos contaminantes a lo largo de la cuenca. La microcuenca III del río Salgado se destaca por sus condiciones críticas de contaminación asociadas con una alta carga orgánica, la presencia de metales por encima de los límites legales y la influencia de las actividades de galvanoplastia. Se concluye que una comprensión integral de estas interacciones es esencial para respaldar las estrategias de monitoreo y la gestión sostenible de los recursos hídricos en el semiárido nordeste de Brasil.

Palabras clave: Sustancias Húmicas. Contaminación Del Agua. Elementos Potencialmente Tóxicos. Río Salgado.



1 INTRODUÇÃO

A crescente pressão antrópica sobre os recursos hídricos tem se consolidado como um dos principais desafios ambientais do século XXI, especialmente em regiões semiáridas, onde a disponibilidade hídrica é naturalmente limitada e a capacidade de autodepuração dos corpos d'água é reduzida (Dias, 2020). No Nordeste brasileiro, e em particular no estado do Ceará, a combinação entre crescimento populacional acelerado, urbanização desordenada, atividades industriais, práticas agropecuárias extensivas e deficiência histórica em saneamento básico tem contribuído para a degradação progressiva da qualidade das águas superficiais e subterrâneas (Dias; Matos, 2023). Nesse contexto, compreender os processos que controlam a dinâmica da poluição hídrica torna-se fundamental para subsidiar ações de gestão ambiental e proteção dos mananciais (Lago, 2025).

A região do Cariri cearense destaca-se como um importante polo socioeconômico do interior do estado, concentrando atividades urbanas, industriais e agrícolas que exercem pressão sobre os sistemas naturais (Oliveira, 2014). Inserida majoritariamente na bacia hidrográfica do Rio Salgado, afluente estratégico do Rio Jaguaribe, essa região apresenta cursos d'água de grande relevância ambiental e social, responsáveis pelo abastecimento humano, irrigação agrícola e manutenção de ecossistemas aquáticos (Pantalena; Maia, 2014). Contudo, diversos estudos têm apontado um quadro preocupante de degradação da qualidade da água nesses ambientes, associado principalmente ao lançamento de efluentes domésticos sem tratamento, à disposição inadequada de resíduos sólidos e à contribuição de efluentes industriais, com destaque para o setor galvanoplástico presente no Cariri (Rodrigues *et al.*, 2020).

A poluição hídrica nessa região não se limita à introdução de contaminantes isolados, mas envolve processos geoquímicos complexos que determinam a mobilidade, a persistência e a toxicidade dos poluentes no ambiente (AMAJU, 2022). Entre esses processos, destaca-se o papel da matéria orgânica natural, especialmente das substâncias húmicas, que constituem a fração mais estável e reativa da matéria orgânica presente em solos, sedimentos e águas naturais (Brito, 2022). As substâncias húmicas são formadas a partir da decomposição e transformação de resíduos vegetais e microbianos, resultando em macromoléculas ou associações supramoleculares ricas em grupos funcionais oxigenados, como carboxilas, fenóis e hidroxilas, capazes de interagir intensamente com íons metálicos e outros contaminantes (Barros Neto, 2025).

Do ponto de vista ambiental, as substâncias húmicas exercem papel ambíguo nos sistemas aquáticos sejam como agentes complexantes naturais, capazes de reduzir a biodisponibilidade e a toxicidade de metais potencialmente tóxicos, como chumbo, cádmio, cromo, níquel e zinco, frequentemente associados à poluição urbana e industrial (Leštan; Luo; Li, 2008). De outra forma, podem favorecer o transporte desses contaminantes ao longo da bacia hidrográfica, ampliando sua dispersão espacial e prolongando sua permanência no ambiente. Assim, a presença e as características



estruturais das substâncias húmicas influenciam diretamente o comportamento geoquímico dos poluentes, condicionando os riscos ambientais e à saúde humana (Evangelou; Ebel; Schaeffer, 2007).

Nesse sentido, o presente artigo tem como objetivo apresentar uma revisão narrativa sobre a poluição associada às substâncias húmicas no Cariri cearense, discutindo sua origem, características e importância ambiental, bem como sua interação com metais potencialmente tóxicos e outros indicadores de degradação da qualidade da água. Ao contextualizar os principais achados científicos disponíveis para a bacia do Rio Salgado e áreas adjacentes, busca-se contribuir para o entendimento dos processos geoquímicos que controlam a poluição hídrica regional e oferecer subsídios técnicos para o planejamento de ações de monitoramento, mitigação e gestão sustentável dos recursos hídricos no semiárido nordestino.

2 METODOLOGIA

O presente estudo consiste em uma revisão narrativa da literatura baseado em Matos et al. (2025), de abordagem qualitativa e caráter descritivo-analítico, cujo objetivo foi compreender o papel das substâncias húmicas na dinâmica da poluição hídrica no Cariri cearense.

O recorte espacial concentrou-se na bacia e microbacias hidrográfica do Rio Salgado e em suas microbacias, com ênfase em estudos relacionados à qualidade da água, matéria orgânica natural, substâncias húmicas, metais potencialmente tóxicos e impactos antrópicos em ambientes semiáridos (tabela 1).

Tabela 1: focos de análises de dados durante busca dos artigos

Objeto de análise	Área de estudo	Contribuição para a revisão
Substâncias húmicas em águas e sedimentos e sua interação com metais potencialmente tóxicos	Bacia do Rio Salgado (CE)	Fornecer base teórica e empírica sobre o papel das substâncias húmicas na mobilidade e complexação de metais
Caracterização ambiental e contaminação por metais	Microbacias do Rio Salgado (CE)	Contribui para a compreensão das fontes de poluição e dos impactos antrópicos nos recursos hídricos
Avaliação da qualidade da água por meio do Índice de Qualidade da Água (IQA)	Trechos monitorados e não monitorados do Rio Salgadinho, afluente do Rio Salgado (CE)	Permite analisar variações espaciais da qualidade da água e validar indicadores de monitoramento ambiental

Fonte: os autores (2025)

Utilizou-se para compor essa revisão bases de dados Google Scholar, Periódicos Capes e Web of Science, utilizando descritores em português e inglês combinados pelo operador booleano ‘AND’, dentre eles: “substâncias húmicas”, “matéria orgânica natural”, “qualidade da água”, “metais potencialmente tóxicos”, “poluição hídrica”, “semiárido”, “Cariri cearense” e “Rio Salgado”.



2.1 CRITÉRIOS DE INCLUSÃO E EXCLUSÃO

Foram desconsiderados estudos indisponíveis para download, duplicados ou sem foco direto com a temática proposta. Após isso, o material selecionado foi analisado de forma qualitativa, considerando conceitos centrais, métodos, principais resultados e implicações ambientais. As informações foram organizadas em eixos temáticos conforme a tabela 2.

Tabela 2: estruturação das principais discussões em torno da presente revisão

Eixo temático	Descrição
Caracterização ambiental da bacia do Rio Salgado	Análise dos aspectos físicos, hidrológicos e ambientais que influenciam a dinâmica hídrica da bacia
Fontes de poluição hídrica no Cariri cearense	Identificação das principais pressões antrópicas e naturais responsáveis pela degradação da qualidade da água
Propriedades e relevância ambiental das substâncias húmicas	Discussão sobre origem, composição, comportamento geoquímico e papel ecológico das substâncias húmicas
Interação entre substâncias húmicas e metais potencialmente tóxicos	Avaliação dos mecanismos de complexação, mobilidade e biodisponibilidade dos metais no ambiente aquático
Implicações para a qualidade da água e a gestão dos recursos hídricos	Análise dos efeitos ambientais dessas interações e subsídios para o monitoramento e a gestão hídrica

Fonte: os autores (2025)

3 RESULTADOS

3.1 SUBSTÂNCIAS HÚMICAS E SEU IMPACTO NA NATUREZA

Entende-se por matéria orgânica natural (MON) toda matéria orgânica existente nos reservatórios ou ecossistemas naturais, excetuando-se a matéria orgânica viva e dos compostos produzidos pela ação humana. De acordo com Oliveira (2007) e Azevedo (2009) a MON é amplamente distribuída nos solos, águas naturais e sedimentos. Carboidratos, aminoácidos e hidrocarbonetos e lipídios representam de 20% da MON nos ecossistemas naturais e consistem em compostos orgânicos com estrutura química definida. Os outros 80% correspondem a uma mistura complexa de vários compostos com estrutura química indefinida e relativamente resistente à degradação, são as substâncias húmicas (Rocha *et al.*, 2009).

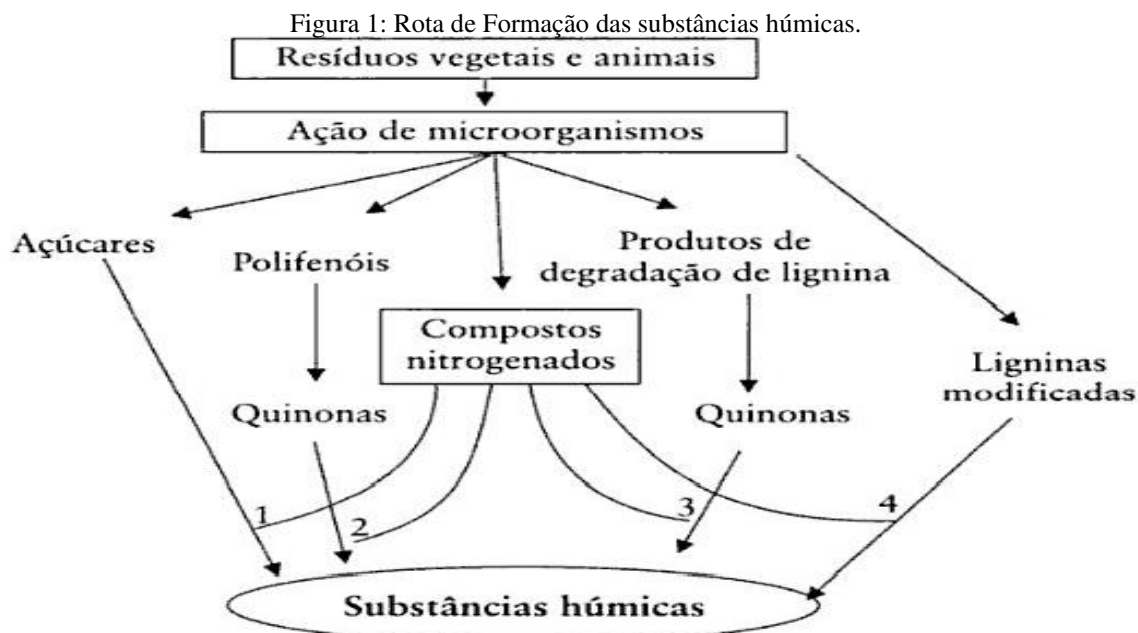
A matéria orgânica natural é resultado da mistura de componentes provenientes da degradação de plantas e animais em vários estágios de decomposição e da atividade de microrganismos (Stevenson, 1994). De acordo com o mesmo autor, a matéria orgânica desempenha função essencial no balanço de carbono, sustentabilidade ambiental e nas condições climáticas, sendo, por isso, fundamental à manutenção da homeostase de fatores biológicos, propriedades químicas e físicas do meio (Chang *et al.*, 2014) e na capacidade de tamponamento (Picollo, 2012; Zhao *et al.*, 2013).

A MON é constituída de substâncias com características químicas e físicas bem definidas como carboidratos, aminoácidos, proteínas e ácidos orgânicos de baixa massa molecular; no entanto, a maior quantidade de matéria orgânica de sedimentos consiste em substâncias húmicas, que não possuem estruturas bem definidas (Santos, 2014).



Já para substâncias húmicas (SH), elas são classificadas de acordo com a Sociedade Internacional de Substâncias Húmicas (International Humic Substances Society – IHSS) como sendo misturas complexas e heterogêneas de materiais polidispersos formados por reações bioquímicas e químicas durante a decomposição e transformação de restos vegetais e microbianos (fig. 4). Rosa *et al.*, (2005) definem humificação como a transformação de matéria macromorfologicamente identificável em compostos amorfos, que engloba as mudanças que ocorrem em resíduos vegetais ou MOS. Santos (2014), afirma que a humificação é responsável por possibilitar a alteração de estruturas químicas da MO por meio da degradação de resíduos orgânicos via lixiviação, trituração e catabolismo.

As características das SH podem variar dependendo da origem e tempo de formação do material (Chin *et al.*, 1998) e esses processos ainda são estudados. Na Figura 2 estão representadas as prováveis rotas para a formação das substâncias húmicas: excreção, secreção e os processos intermediários da decomposição de organismos (Winter *et al.*, 2007).



Fonte: Rocha (2003).

O conhecimento em relação à estrutura química das substâncias húmicas ainda é incipiente, no entanto, com base nas suas características de solubilidade podem ser definidas e fracionadas operacionalmente com base na sua solubilidade em meio aquoso. e são classificadas como: ácidos húmicos (AH) o qual consta da fração solúvel em extrato alcalino, que precipita após acidificação; ácidos fúlvicos (AF) que corresponde a fração solúvel em qualquer faixa de pH; e humina, definida como a fração insolúvel em qualquer intervalo de pH (IHSS, 2007; Mohinuzzaman *et al.*, 2020; Tang *et al.*, 2014). Alguns autores ainda acrescentam o ácido himatomelânico como componente das SH. O quadro traz resumo dos componentes das substâncias húmicas, com suas respectivas definições baseada na solubilidade (Tabela 3).



Tabela 3: componentes das substâncias húmicas.

Termos	Definições
Humina	Fração do material orgânico presente no solo, de coloração escura, insolúvel em meios ácidos e alcalinos.
Ácidos Fúlvicos	Material orgânico colorido remanescente após a separação dos ácidos húmicos por precipitação em meio ácido.
Ácidos Húmicos	Material orgânico de coloração escura, extraível do solo por diferentes reagentes e insolúvel em meio ácido (pH < 2).
Ácido Himatomelânico	Fração dos ácidos húmicos solúvel em álcoois.

Fonte: Os autores (2025) Baseado em Baldotto; Baldotto (2014).

3.2 ESTRUTURA DAS SUBSTÂNCIAS HÚMICAS

As substâncias húmicas passaram a ser objeto principal de estudo para compreensão da dinâmica da matéria orgânica no solo desde a década de 70. Conhecimentos relacionados ao processo de formação, composição, características como cor e comportamento dessas substâncias no meio ambiente já são consensuais e estão bem relatados na literatura específica. No entanto, ainda não tem um modelo aceito por toda comunidade científica que explique a composição química, estrutura, forma e peso molecular dessas substâncias. Segundo Oliveira (2007), isto ocorre provavelmente, não apenas por causa da complexidade e heterogeneidade estrutural das SH, mas principalmente devido à falta de uma identidade estrutural genérica, a qual é fortemente influenciada pelo grau e mecanismo de decomposição.

A Sociedade Internacional de Substância Húmica (2021), descreve três modelos, sendo eles: o macromolecular, micelar e supramolecular. O modelo macromolecular foi proposto com base em análise de SH por técnicas analíticas de espectroscopia, degradação oxidativa pirólise e microscopia eletrônica que comprovaram elevada massa molecular, representando, possivelmente, uma macromolécula que apresentava cadeias alifáticas, funções oxigenadas, e compostos nitrogenados (Simpson et al., 2002) (fig. 2a). No referido modelo as variações conformacionais das SH são similares àquelas observadas nas macromoléculas biológicas, como proteínas, polissacarídeos, ácidos nucleicos e ligninas (SWIFT, 1999).

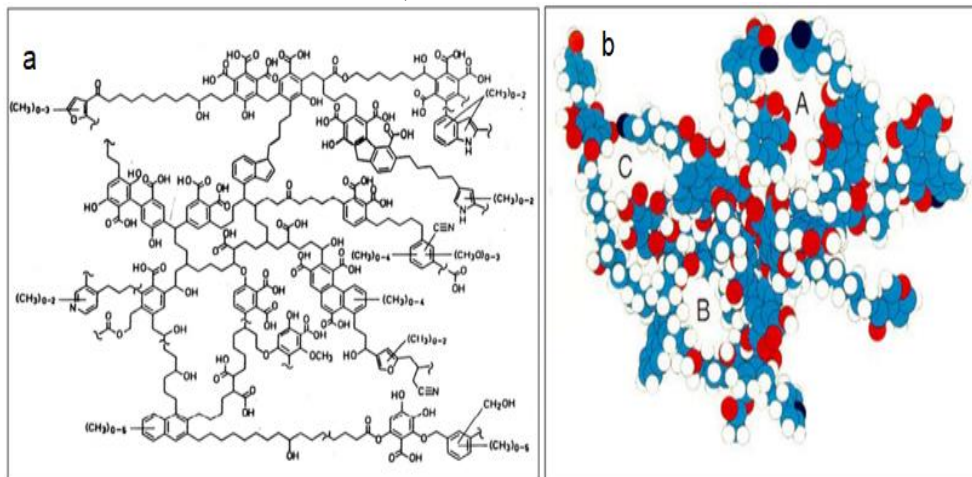
O modelo micelar concebido por Wershaw e Aiken (1985) e Wershaw (1993), defende que as SH constituem uma macroestrutura só aparente e que as propriedades macromoleculares são derivadas de associações de pequenas espécies moleculares em estruturas micelares ou pseudo-micelares envolvendo associações fracas de moléculas não polares como ácidos graxos, longas cadeias alifáticas de hidrocarbonetos, ésteres e compostos similares à suberina (cera sintetizada pelas células mortas das plantas vasculares com crescimento secundário).

Schulten e Schnitzer (1997) propuseram o modelo supramolecular, uma estrutura para as SH baseada na proposta de que substâncias húmicas seriam macromoléculas orgânicas, com características similares às macromoléculas biológicas, como proteínas, polissacarídeos, ácidos nucleicos e lignina,



com espaços vazios na estrutura (fig. 2A). Esses espaços vazios poderiam interagir com várias substâncias presentes no ambiente como pesticidas, metais e alguns minerais.

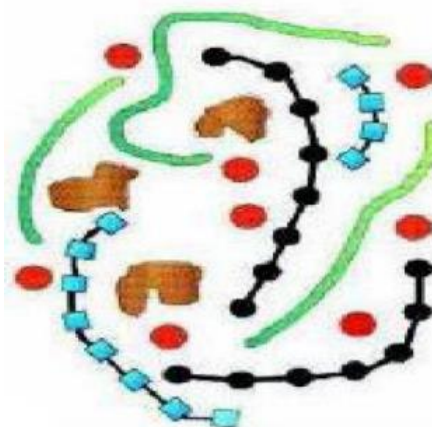
Figura 2: Modelo proposto para a SH com estrutura macromolecular. a) Modelo supramolecular de ácido húmico proposto por Schulten e Schnitzer (1993). b) As letras A, B e C representam os espaços “vazios” na molécula. , C = azul, O = vermelho, N = azul escuro e H = branco.



Fonte: Schulten e Schnitzer (1997).

O conceito de supramolecularidade, proposto por Piccolo (2001) propõe que as SH não são macromoléculas. De acordo com o referido modelo, as SH são formadas por moléculas pequenas e heterogêneas de várias origens, auto-organizadas em conformações supramoleculares, o que explicaria o elevado tamanho molecular das SH. Simpson et al., (2002), propuseram um modelo estrutural (Fig. 3) para ilustrar como as principais estruturas identificadas nas SH poderiam formar um agregado na presença de cátions metálicos de ocorrência natural nos ecossistemas terrestres.

Figura 3: Modelo de estrutura supramolecular para ácido húmico. As unidades vermelhas representam os cátions metálicos, as azuis os polipeptídeos, as pretas os polissacarídeos, as verdes as cadeias alifáticas e as marrons os fragmentos aromáticos provenientes da lignina.



Fonte: Simpson *et al.*, (2002).



O modelo supramolecular é o mais aceito por pesquisadores que compõem a IHSS (IHSS, 2007). Contudo, de acordo com Baldotto; Baldotto (2014), tanto as estruturas macromoleculares quanto as supramoleculares estão sendo debatidas por esta associação de modo que ambas apresentam evidências e bases teóricas para a sua postulação.

Entre muitas formas de identificação dessas substâncias temos Espectrometria de absorção da radiação UV/vis que incide diretamente nos cromóforos (grupos funcionais que contêm os elétrons que são excitados quando uma molécula absorve luz) responsáveis pela cor escura das substâncias húmicas que apesar não ter uma interação bem definida na literatura sugere-se uma combinação de vários tipos de estruturas e os mais comuns são mostrados na tabela 4 (Santos, 2006).

Tabela 4: Algumas moléculas com cromóforos que absorvem no comprimento UV, adaptado de Workman *et al.*, (1998).

Cromóforo	Comprimento de absorção
Alcinos (-C≡C-)	170
Nitrilos (R-C≡N)	160
Ácidos carboxílicos (R-C=O-OH)	200-210
Álcoois (R-OH)	180 (170-200)
Aminas (R-NH ₂)	195
Nitritos (R-NO ₂)	271
Grupo Azo (R-N≡N-R)	340

Fonte: Autor, 2023. Baseado em Almeida (2016).

3.3 IMPORTÂNCIA AMBIENTAL DAS SUBSTÂNCIAS HÚMICAS

As SH representam a principal forma de MO distribuída no planeta terra e são encontradas não apenas em solos, mas também em águas naturais, turfas, pântanos, sedimentos aquáticos e marinhos (Rocha; Rosa, 2020); tendo função crucial na homeostase ambiental através da mobilidade de diversas espécies metálicas no ambiente, influenciando na disponibilidade para as plantas (Arslan; Pehlivan, 2008; Rocha; Rosa, 2020;). A importância ambiental das SH é importante sob vários aspectos; um deles é a interação com cátions metálicos. Arselan; Penlivan (2008) explica que tal interação ocorre devido à variedade de grupos funcionais da estrutura das SH.

A interação das SH com compostos orgânicos antropogênicos é outra característica de grande importância ambiental. Tais substâncias como pesticidas e herbicidas tornam-se compostos mais facilmente degradáveis no ambiente quando interagem com as SH (Pantano, 2012). As SH também podem causar alguns efeitos benéficos ao solo como retenção de água mantendo a umidade e evitando erosão do solo; combinação com argilominerais, permitindo troca de gases e aumentando a permeabilidade; mineralização, disponibilizando nutrientes para o crescimento das plantas (Schulten; Sxhnutzer, 1995). Além das importâncias já citadas, As SH são o principal componente dos fertilizantes orgânicos, atuando como bioestimulantes na agricultura de hortaliças, promovendo a germinação de sementes, raízes, crescimento e desenvolvimento de plantas, e (Lipczynska-Kochany, 2018).

Vaccaro *et al.*, (2015) comprovaram que essas substâncias aumentam a produção de enzimas adenosinatrifosfatases (ATPase) vegetal; além de facilitar a absorção de nutrientes, influenciar na

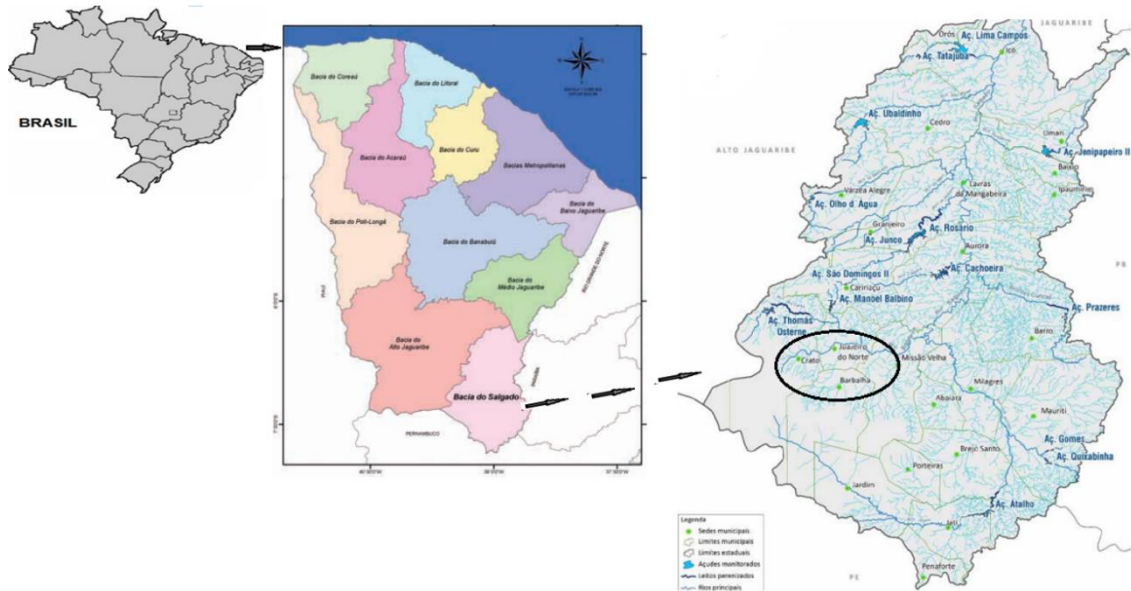


atividade de várias enzimas, as SH podem atuar aumentando ou inibindo a atividade enzimática. De acordo com Martins (2017) isso fez com que o emprego agrícola de produtos à base de SH como fertilizantes orgânicos, condicionadores de solo e estimuladores fisiológicos crescesse.

3.4 LOCALIZAÇÃO DAS SUB-BACIAS DO RIO SALGADO E SUAS PRESSÕES ANTRÓPICAS

A sub-bacia hidrográfica do Rio Salgado constitui uma das principais fontes de abastecimento da Bacia do Rio Jaguaribe, abrangendo uma área de drenagem de aproximadamente 12.865 km², o que corresponde a cerca de 8,25% do território do Estado do Ceará. Seu principal curso d'água é o Rio Salgado, com extensão total de 308 km, dos quais 270 km são perenizados, atravessando grande parte da região Sul do estado (COGERH, 2021) (Figura 1).

Figura 1: Localização da sub-bacia do Rio Salgado; destaque para Região Metropolitana do Cariri - RMC



Fonte: Adaptado de CEARÁ, 2020.

A sub-bacia está inserida em um macropolígono delimitado pelas coordenadas 6°00' a 7°50' de latitude Sul e 38°30' a 39°45' de longitude Oeste (Ribeiro, 2017). Em função de sua ampla extensão territorial, a sub-bacia do Salgado é subdividida em cinco microbacias, destacando-se a microbacia III, que engloba os municípios de Juazeiro do Norte, Barbalha, Crato, Cariri e Jardim. Essa microbacia concentra uma população total de 545.934 habitantes, com predomínio urbano, especialmente no município de Juazeiro do Norte, onde 96,07% da população reside em área urbana (IBGE, 2023).

Uma preocupação com os recursos hídricos dessa região é a carência de serviços de saneamento básico. De acordo com o último censo do IBGE (2023), nesses municípios o esgotamento sanitário está adequadamente instalado apenas numa pequena parcela dos domicílios Juazeiro do norte (47,2%), Crato (42,2%), Barbalha (17,8%), Jardim (36,5%), Cariri (16,0%) e Missão Velha (9,7%). O mais agravante é que a maior reserva de água subterrânea do estado do Ceará está situada na Bacia



sedimentar do Araripe, mais precisamente nos municípios de Barbalha, Crato, Juazeiro do Norte, Jardim e Missão Velha.

A ação antrópica como a retirada indiscriminada da mata ciliar dos afluentes do Rio Salgado está provocando o assoreamento dos riachos, rios e açudes, reduzindo o quantitativo de água ao longo dos vales; somado a isso se tem a ocupação desordenada das encostas da Chapada do Araripe, que causa impermeabilização dos terrenos e soterramento das nascentes (COGERH, 2020). O depósito de resíduos sólidos a céu aberto e o escoamento de esgotos sem tratamento prévio e resíduo das indústrias também causam sérios problemas ambientais na sub-bacia do referido rio (Ceará, 2008), principalmente nas três principais cidades da Região Metropolitana do Cariri (RMC), Crato, Juazeiro do Norte e Barbalha. Nesses municípios as nascentes dos afluentes do rio estão expostas e vulneráveis, sujeitas a infiltração de contaminantes.

O crescimento desordenado da população e a industrialização dos municípios abrangidos pelo Rio Salgado trouxeram consigo desafios e danos à manutenção da qualidade ambiental do referido rio e ao monitoramento da qualidade da água por parte dos órgãos públicos como Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos (COGERH), Secretaria Estadual do Meio Ambiente (SEMACE) e a Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE) realizado em poços artesianos, nascentes e grandes açudes e em parte subterrânea da bacia hidrográfica que abastecem os municípios.

3.5 CONTAMINAÇÃO POR METAIS POTENCIALMENTE TÓXICOS

Os metais potencialmente tóxicos, frequentemente denominados metais pesados, são elementos associados à poluição ambiental e à toxicidade para os seres vivos, geralmente caracterizados por número atômico superior a 20 e densidade maior que 6 g cm^{-3} , sendo majoritariamente metais de transição (Tan, 2009). Do ponto de vista químico, o termo é considerado impreciso, pois inclui também elementos não metálicos, como arsênio e selênio (Amaral Sobrinho *et al.*, 2009). A contaminação ambiental ocorre quando a concentração desses metais excede a capacidade de retenção do meio, tornando-os disponíveis para absorção por organismos ou para lixiviação e contaminação de águas subterrâneas (Bertoli, 2011).

A entrada desses contaminantes nas cadeias alimentares ocorre, principalmente, por meio da absorção por algas e plantas, com posterior bioacumulação ao longo dos níveis tróficos. Em humanos, a exposição pode causar danos ao sistema nervoso, fígado e rins, variando conforme solubilidade, mobilidade, biodisponibilidade e interações químicas com outros elementos (Benevides *et al.*, 2005). A suas implicações para bioacumulação e efeitos potencialmente tóxicos são descritas conforme a tabela 5.



Tabela 5: Implicações para bioacumulação e efeitos de elementos potencialmente tóxicos.

Metal	Principais fontes e ocorrência ambiental	Comportamento ambiental	Principais efeitos à saúde/ambiente
Cádmio (Cd)	Subproduto da refinação do zinco; uso de fertilizantes e herbicidas	Alta afinidade por matéria orgânica; concentra-se em horizontes superficiais do solo e sedimentos; maior adsorção em pH neutro a alcalino	Altamente tóxico; risco à biota aquática e terrestre; bioacumulação
Cobre (Cu)	Atividades naturais e antrópicas; aplicações industriais	Predominantemente na forma complexada na água; fortemente retido pela matéria orgânica do solo	Essencial em baixas concentrações; excesso causa danos hepáticos e renais
Cromo (Cr)	Atividades industriais (metalurgia, química) e fontes naturais	Cr ³⁺ : menos tóxico e pouco solúvel; Cr ⁶⁺ : altamente solúvel, móvel e persistente	Cr ⁶⁺ é carcinogênico e genotóxico; elevado risco ambiental e à saúde
Níquel (Ni)	Compostos naturais e atividades industriais	Mobilidade influenciada por pH e umidade; pode atingir águas subterrâneas	Compostos classificados como cancerígenos; dermatites e efeitos respiratórios
Chumbo (Pb)	Indústrias químicas, construção civil, ligas metálicas	Forte afinidade por matéria orgânica; acumula-se nas camadas superficiais do solo	Altamente tóxico; danos neurológicos; não há nível seguro de exposição
Zinco (Zn)	Fertilizantes, pesticidas e aplicações industriais	Acúmulo progressivo no solo com uso agrícola contínuo	Essencial em baixas concentrações; excesso pode causar impactos ambientais
Manganês (Mn)	Elemento naturalmente abundante; uso industrial e agrícola	Influenciado por processos geoquímicos e biológicos no solo	Essencial biologicamente; exposição crônica pode causar efeitos neurológicos

Fonte: os autores (2025)

3.6 ELEMENTOS POTENCIALMENTE TÓXICOS OCORRENTES NA MICROBACIA III DO RIO SALGADO

O destino adequado para os resíduos domésticos e industriais representa um desafio para a qualidade dos recursos hídricos e a qualidade do solo. Mesmo a Lei 12.305/2010 que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) que prevê a prevenção e a redução na geração de resíduos, tendo como proposta a prática de hábitos de consumo sustentável e um conjunto de instrumentos para propiciar o aumento da reciclagem e da reutilização dos resíduos sólidos e a destinação ambientalmente adequada dos rejeitos; poucos municípios atendem a legislação (Brasil, 2010).

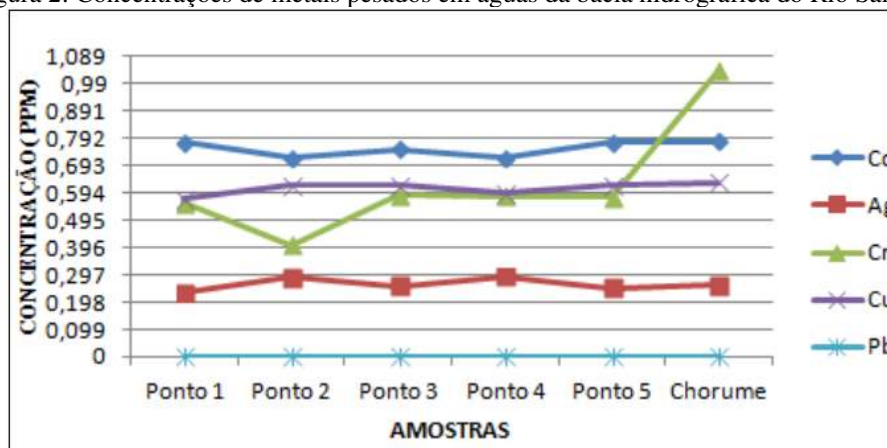


Algumas condições como topografia, geologia, regime e intensidade das chuvas interferem na produção de chorume e lixiviação do chorume que pode atingir águas superficiais e lençóis freáticos.

A deposição de resíduos sólidos em lixões ou aterros controlados, onde o lixo é enterrado, é um risco para a qualidade da água do Rio Salgado. O descarte de resíduos sem coleta seletiva e em lixões ou aterro controlado é a forma predominante na região do Cariri. Não há aterro sanitário na região que abrange a referida microbacia III (Ceará, 2018) e o lixo doméstico rico em matéria orgânica é descartado com os demais resíduos. Maturana (2000), afirma que digestão da matéria orgânica sólida quando ocorre sem a presença de oxigênio pode formar o chorume rico em contaminantes, inclusive metais tóxicos (Maturama, 2000).

Sabiá *et al.*, (2015) em análises realizadas em 5 pontos da microbacia III do rio Salgado nos municípios de Crato, Juazeiro do Norte e Missão constatou presença dos metais pesados Cd, Ag, Cr, Cu e Ni (fig. 2) com valores de concentração acima dos parâmetros estabelecidos pelas Resoluções 357 e 430 do CONAMA. Os resultados foram atribuídos à infiltração e lixiviação de chorume dos lixões dessas cidades para o recurso hídrico.

Figura 2: Concentrações de metais pesados em águas da bacia hidrográfica do Rio Salgado



Fonte: Sabiá *et al.*, (2015).

3.7 SETOR DE GALVANIZAÇÃO NO CARIRI

O setor industrial galvanoplástico apresenta relativa importância pelo crescente número de produtos que se encontram disponíveis no mercado e requerem tratamento em sua superfície com cobertura metálica para promover sua funcionalidade (Delbianco *et al.*, 2008). Perez, Correia e Pires (2014) descrevem a galvanoplastia como processo de depositar diversas camadas metálicas sobre um objeto através da aplicação dos princípios fundamentais que reagem ao fenômeno da eletrólise, como reações de oxidação e redução. No processo galvanização metais não nobres são revestidos por outros mais nobres, geralmente para proteger contra a corrosão ou para fins estético-decorativos (Perez; Correia; Pires, 2014).

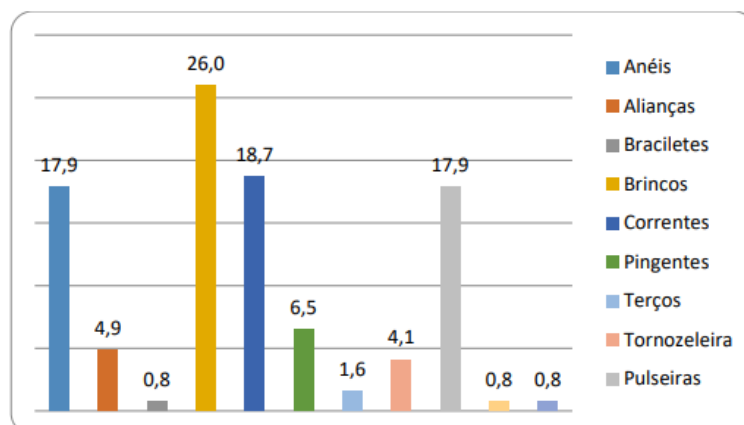


Calazans e Lima Júnior (2017) utilizando informações base de dados da Relação Anual de Informações Sociais (RAIS), disponibilizados pelo Ministério do Trabalho e Emprego (MTE); as informações do Comércio Exterior, do Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços (MDIC); bem como, as informações do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), fizeram análise estatística do setor industrial constataram que de Juazeiro do Norte teve um crescimento de 207,69% de 2006 a 2015 em relação ao quantitativo de estabelecimentos industriais de fabricação de artefatos de joalheria e ourivesaria e de bijuterias; Esses valores referem-se apenas as indústrias registradas formalmente Ministério do Trabalho. As pequenas empresas que não tem registros no MTE somam a maior parcela de produção do setor.

A cidade em 2015 estava na 8ª posição do ranking nacional dos principais Municípios na fabricação de artefatos de joalheria e ourivesaria e na 6ª posição na fabricação de bijuterias, conforme dados do RAIS. Ainda de acordo com o RAIS, em 2015, Juazeiro do Norte apresentava 476 indústrias, das quais 27 estavam vinculadas à atividade fabril de artefatos de joalheria, ourivesaria e bijuterias, que geravam de 352 a 748 empregos formais.

Em 2019, Belém *et al.*, (2019) considerando base de dados do SEBRAE acrescido de pesquisa de campo, constatou que o mercado de joias e folheados de Juazeiro do Norte já era considerado o 2º polo em distribuição, o 4º em produção de semijoias e acessórios folheados do Brasil e o principal do Nordeste, atendendo cerca de 80% dos estados, ficando atrás apenas de Limeira (SP). No referido ano a cidade paulista abrigava cerca de 450 empresas e representava 60% da produção de folheados no Brasil. Juazeiro do Norte contava com aproximadamente 40 fabricantes concorrendo diretamente com outro grande polo produtor em Itabaiana no estado de Sergipe (IBGM, 2015). Em Juazeiro do Norte e nas principais cidades da, a fabricação de folheados e bijuterias é caracterizada pela produção em pequena escala, dado o elevado valor agregado das peças (peças religiosas, medalhinhas de sacras etc.), sob moldes artesanais, e em micro e pequenos empreendimentos (especialmente em oficinas e trabalho autônomo), conforme representado por Cordeiro (2015) na figura 3.

Figura 3 Diversidades de produtos fabricados na aglomeração de joias e folheados em Juazeiro do Norte



Fonte: Cordeiro (2015).



Durante o processo de tratamento da superfície das peças (galvanoplastia) há geração de inúmeros problemas ambientais, pois os produtos utilizados são altamente tóxicos, gerando poluição atmosférica, resíduos sólidos e efluentes líquidos danosos ao meio ambiente. De acordo com Acharya, Kumar e Rafi (2018) mesmo em concentrações em torno de mili ou microgramas no ambiente a bioacumulação de metais pode ter o tempo de residência estimado entre 2 e 3 décadas. Na lista dos metais potencialmente tóxicos estão Cu, Fe, Mn, Mo, Co, Ni, Cd, Cr e Pb. Sendo Cr, Cd (II), Cu (II) e Zn (II) os mais presentes em resíduos da galvanização. Costa *et al.* (2017), relata que os metais pesados têm recebido atenção especial dentre os poluentes existentes, por se apresentarem como extremamente tóxicos, não degradados quimicamente e nem biologicamente, entrando nas cadeias alimentares e causando sérias complicações devido à magnificação trófica. Sendo exigência da legislação brasileira o tratamento de resíduos metálicos desse tipo antes do seu descarte final.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente revisão narrativa evidenciou que a poluição hídrica no Cariri cearense constitui um fenômeno complexo, fortemente condicionado pela interação entre pressões antrópicas intensas, características geoambientais do semiárido e processos geoquímicos mediados pela matéria orgânica natural, em especial pelas substâncias húmicas. Os resultados analisados demonstram que a bacia hidrográfica do Rio Salgado, especialmente suas microbacias mais urbanizadas, encontra-se sob significativo risco ambiental, refletido na degradação da qualidade da água, na presença recorrente de metais potencialmente tóxicos e no aporte excessivo de matéria orgânica de origem doméstica e industrial.

As substâncias húmicas destacaram-se como componentes-chave na dinâmica ambiental regional, exercendo papel ambíguo nos sistemas aquáticos. Por um lado, atuam como agentes complexantes naturais, capazes de reduzir a biodisponibilidade imediata de metais como cádmio, cobre, cromo, níquel, chumbo, zinco e manganês. Por outro, favorecem a mobilidade e o transporte desses contaminantes ao longo da bacia, ampliando sua dispersão espacial e prolongando seu tempo de permanência no ambiente. Essa dualidade reforça a necessidade de compreender não apenas a presença dos metais, mas também sua forma química e interação com a matéria orgânica.

Os dados revisados indicam que a microbacia III do Rio Salgado apresenta condições particularmente críticas, associadas à elevada densidade populacional, à deficiência histórica de saneamento básico, à disposição inadequada de resíduos sólidos e à expressiva atividade industrial, com destaque para o setor galvanoplástico. A literatura aponta concentrações de metais acima dos limites estabelecidos pela legislação ambiental em diferentes trechos da bacia, evidenciando riscos tanto à integridade dos ecossistemas aquáticos quanto à saúde humana, especialmente considerando a relevância das águas superficiais e subterrâneas para o abastecimento regional.



O regime hidrológico típico do semiárido nordestino, marcado por longos períodos de estiagem, tende a intensificar os processos de concentração de poluentes, potencializando as interações entre metais, substâncias húmicas e sedimentos. Nesses contextos, a capacidade de autodepuração dos corpos d'água é reduzida, tornando os impactos ambientais mais persistentes e difíceis de mitigar. Tal cenário evidencia a vulnerabilidade dos recursos hídricos do Cariri frente às pressões antrópicas atuais e futuras.

Diante desse panorama, os resultados desta revisão reforçam a importância da incorporação do estudo das substâncias húmicas nos programas de monitoramento da qualidade da água, uma vez que essas substâncias influenciam diretamente a mobilidade, a biodisponibilidade e a toxicidade dos contaminantes. Além disso, destaca-se a necessidade urgente de investimentos em saneamento básico, gestão adequada de resíduos sólidos e controle de efluentes industriais, especialmente no setor galvanoplástico, como medidas fundamentais para a redução das cargas poluidoras na bacia do Rio Salgado.



REFERÊNCIAS

- AMAJU – Autarquia Municipal de Meio Ambiente de Juazeiro do Norte. **Levantamento sobre fabricantes licenciados de semijoias folheadas no município de Juazeiro do Norte**. Destinatária: Sheilla da Silva Melo Figueirêdo. Juazeiro do Norte, 9 set 2022. E-mail. Disponível em: sheillamel@hotmail.com. Acesso em: 27 out. 2023.
- BARROS NETO, J. **Análise das águas superficiais dos estuários da Paraíba: Diagnósticos ambientais e reflexões sobre sustentabilidade**. 2025. 313 f. Tese (Doutorado em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais – Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, Brasil, 2025).
- BRITO, A. S. **Influência do conteúdo orgânico na mobilidade de metais pesados em sedimentos do leito da rede de drenagem natural de microbacias urbanas no Cariri Cearense**. 2022. 122 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2022.
- DIAS, E. M. S. **Mudanças climáticas e recursos hídricos: percepções sobre riscos climáticos e capacidade adaptativa na região semiárida do Rio Grande do Norte, Brasil**. 2020. 136f. Dissertação (Mestrado em Estudos Urbanos e Regionais) - Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2020.
- DIAS, R.; MATOS, F. Impactos das mudanças climáticas nos recursos hídricos: desafios e implicações para a humanidade. **Revista Sociedade Científica**, v. 6, n. 1, 2023. Doi: 10.61411/rsc100003
- EVANGELOU, M. W. H.; EBEL, M.; SCHAEFFER, A. Chelate assisted phytoextraction of heavy metals from soil: Effect, mechanism, toxicity, and fate of chelating agents. **Chemosphere**, v. 68, n. 6, p. 989–1003, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2007.01.062>
- FIGUEIRÊDO, S. S. M. **Proposição de indicadores de sustentabilidade para indústria com atividade galvânica: uma abordagem com ênfase na gestão integrada das normas ISO 9001, ISO 14001 E ISO 45001**. (Tese) Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA), Universidade Federal da Paraíba, 2024.
- LAGO, C. M. **Os desafios para a aplicação da Lei 9.433/97 (Política Nacional de Recursos Hídricos) e o papel das novas tecnologias para sua efetividade diante das práticas agroindustriais potencialmente causadoras de degradação e poluição ambiental**. Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado para obtenção do grau de Bacharel no curso de Direito da Universidade do Extremo Sul Catarinense, UNESC. 2025.
- LEŠTAN, D.; LUO, C.-L.; LI, X.-D. The use of chelating agents in the remediation of metal-contaminated soils: A review. **Environmental Pollution**, v. 153, n. 1, p. 3–13, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2007.11.015>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749107005623>. Acesso em: 18 dez. 2025.
- OLIVEIRA, A. A. **O Cariri cearense: da ocupação do território à institucionalização da região metropolitana do Cariri**. 2014. 138 f. Dissertação (Mestrado em Economia Regional) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2014.
- PANTALENA, A. F.; MAIA, L. P. Marcas da ação antrópica na história ambiental do Rio Jaguaribe, Ceará, Brasil. **Revista de Gestão Costeira Integrada / Journal of Integrated Coastal Zone Management**, v. 14, n. 3, p. 459-469, 2014.



RODRIGUES, M. de F. S.; VELDHUIS, R.; GOMES, L. K. M.; MENEZES, J. M. C.; TEIXEIRA, R. N. P.; SILVA, J. H. Evaluation of the retentive capacity of toxic metals from galvanoplasty industries using ceramic matrices. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 9, n. 7, p. e679974616, 2020. DOI: 10.33448/rsd-v9i7.4616. Disponível em: <https://rsdjournal.org/rsd/article/view/4616>. Acesso em: 18 dec. 2025.

