



ISSN: 2447-3359

REVISTA DE GEOCIÊNCIAS DO NORDESTE

*Northeast Geosciences Journal*

v. 7, nº 2 (2021)

<https://doi.org/10.21680/2447-3359.2021v7n2ID24607>



## VALE DO JAGUARIBE: UM OÁSIS EM PERIGO NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO – REVISÃO SISTEMÁTICA SOBRE CONTAMINAÇÃO AMBIENTAL E POTENCIAIS DANOS À BACIA E SEUS USUÁRIOS

**Roberta da Rocha Braga<sup>1</sup>; Eliana Reiko Matushima<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Doutoranda em Patologia Experimental e Comparada, Departamento de Patologia Veterinária, Universidade de São Paulo (USP), São Paulo/SP, Brasil.

Médica Veterinária, Laboratório de Patologia Silvestre/NUROF, Universidade Federal do Ceará(UFC), Fortaleza/CE, Brasil.

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-3646-7951>

Email: robertarocha@ufc.br

<sup>2</sup>Doutora em Patologia Experimental e Comparada, Departamento de Patologia Veterinária, Universidade de São Paulo (USP), São Paulo/SP, Brasil.

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-2526-7601>

Email: ermatush@usp.br

### Resumo

O Rio Jaguaribe é o maior curso d'água do Ceará, um dos estados do semiárido no qual os efeitos da seca são mais expressivos. Como solução para a escassez de água, o Governo tem atuado tentando perenizar suas bacias hidrográficas, dentre elas, a Bacia Hidrográfica do Rio Jaguaribe. A partir dos anos 1960, a construção de reservatórios e as políticas de incentivo ao desenvolvimento possibilitaram o início da agricultura irrigada no estado, trazendo grandes empresas multinacionais e a necessidade de intensa modernização para o incremento da produtividade agrícola. Nos últimos 15 anos, a preocupação com os efeitos da intensa atividade agrícola tradicional sobre o ambiente da Bacia Hidrográfica do Jaguaribe vem se mostrando em forma de artigos publicados sobre o acúmulo de agrotóxicos, metais pesados e hidrocarbonetos policíclicos aromáticos nas águas, sedimentos e organismos vivos do rio, além do aumento na prevalência de intoxicações agudas e casos de câncer na população de municípios da Bacia. O objetivo desta revisão foi quantificar e qualificar os estudos toxicológicos realizados na bacia do Rio Jaguaribe, expondo as espécies afetadas e discutindo sua importância num contexto de saúde animal, ambiental e humana, alertando para prováveis negligências com um importante manancial no nordeste brasileiro.

**Palavras-chave:** Ceará; contaminantes ambientais; ecotoxicologia.

**JAGUARIBE VALLEY: A THREATENED OASIS IN THE BRAZILIAN SEMIARID REGION – SYSTEMATIC REVIEW ON ENVIRONMENTAL CONTAMINATION AND POTENTIAL HAZARD TO THE BASIN AND ITS USERS**

### Abstract

The Jaguaribe River is the largest watercourse in Ceará, one of the semi-arid states of northeastern Brazil, in which the effects of seasonal droughts are most significant. To manage the water scarcity, the Government has tried to perpetuate hydrographic basins, including the Jaguaribe River Hydrographic Basin. Since the 1960s, the elaboration of policies and the construction of reservoirs has encouraged the beginning of irrigated agriculture in the state, bringing large multinational companies and the need for intense agribusiness modernization. Over the past 15 years, scientific papers have revealed the pesticides accumulation, heavy metals, and polycyclic aromatic hydrocarbons in the waters, sediments, and living organisms in the Jaguaribe Hydrographic Basin environment. Besides, the increase in the prevalence of acute intoxications and cancer concerns about severe harmful effects of the traditional agricultural activity in the population of municipalities within the Basin. The objective of the current work was to quantify and qualify the toxicological studies in the Jaguaribe River Basin, expose the affected species, and discuss their importance in a "One Health" context, alerting to neglectation issues involving this vital source in the northeast of Brazil.

**Keywords:** Ceará; environmental contaminants; ecotoxicology.

**VALLE DE JAGUARIBE: UN OASIS EN PELIGRO EN EL SEMIÁRIDO BRASILEÑO - REVISIÓN SISTEMÁTICA DE CONTAMINACIÓN AMBIENTAL Y POTENCIAL DE DAÑOS A ESTA CUENCA Y A SUS USUÁRIOS**

### Resumen

El río Jaguaribe es el curso de agua más grande de Ceará, uno de los estados de Brasil donde los efectos de la sequía son más

fuentes. Como solución a la escasez de agua, el Gobierno ha estado tratando de perpetuar sus cuencas hidrográficas, incluso la Cuenca Hidrográfica del río Jaguaribe. Desde la década de 1960, la construcción de embalses y las políticas de fomento del desarrollo han permitido el inicio de la agricultura de regadío en el estado, trayendo grandes empresas multinacionales y la necesidad de una intensa modernización para incrementar la productividad agrícola. En los últimos 15 años, la preocupación por los efectos de la intensa actividad agrícola tradicional en el medio ambiente de la Cuenca Hidrográfica del Jaguaribe se ha manifestado a través de artículos publicados sobre la acumulación de plaguicidas, metales pesados e hidrocarburos aromáticos policíclicos en las aguas, sedimentos y organismos vivos del río. También ha ocurrido un aumento de la prevalencia de intoxicaciones agudas y casos de cáncer en la población de los municipios de la Cuenca. El objetivo del trabajo actual fue cuantificar y calificar los estudios toxicológicos en la Cuenca del Río Jaguaribe, exponer las especies afectadas y discutir su importancia en un contexto de "Una Salud", alertando sobre temas de negligencia que involucran esta fuente vital en el noreste de Brasil.

**Palabras-clave:** Ceará; contaminantes ambientales; ecotoxicología.

## 1. INTRODUÇÃO

A demanda mundial por água tem crescido 1% ao ano desde 1980, especialmente atribuída ao aumento da população e à mudança nos perfis de produção e consumo. A expectativa atual é de que haja um incremento de 20 a 30% nessa demanda até o ano de 2050, pressionando mais ainda bilhões de pessoas que vivem em áreas com restrição hídrica (UNESCO, 2019). Segundo a organização não governamental WaterAid (2019) e a FAO (2019), o Brasil e parte dos países da América do Sul são considerados sob baixo risco de crise de escassez de água potável, porque concentram o maior manancial do mundo, com mais de 28% das fontes renováveis.

No Brasil, entretanto, a dívida de conter a maior fonte de água potável do mundo entra em conflito com a gestão do uso das bacias hidrográficas. Embora abundante, a água não é distribuída uniformemente entre as diferentes regiões do país, devido a diferenças geográficas, climáticas e ao uso indiscriminado. No início dos anos 90, as novas legislações estaduais para regulação do uso racional da água entraram em vigor progressivamente nos diferentes estados brasileiros, culminando com a Lei das Águas (Lei nº9.433/1997), que, baseada no protocolo de Dublin (1992), descentralizou a gestão da água e estabeleceu a Política Nacional de Recursos Hídricos (JOHNSON & KEMPER, 2005; LEGADO BRASIL, 2010).

O atualmente denominado "semiárido brasileiro" ocupa todo o centro da região Nordeste e norte da região Sudeste, apresentando forte insolação, temperaturas relativamente altas, irregularidade e escassez de chuvas, concentradas em períodos de três a quatro meses por ano, considerados insuficientes para suprir os mananciais locais. Os indicadores socioeconômicos são os piores do país, ainda atrelados a uma estrutura agrária arcaica, concentração de renda e má distribuição de terras (SILVA et al., 2010). Nesse contexto, o Ceará é um dos estados do semiárido no

qual os efeitos da seca são mais expressivos. Dentre as medidas de combate à seca, o Governo tem atuado tentando perenizar suas bacias hidrográficas, dentre elas, a bacia do Rio Jaguaribe (BRASIL, 2010).

O Rio Jaguaribe localiza-se cartograficamente entre 4°30' e 7°45' de latitude sul e 37°30' e 41°00' de longitude oeste. Nasce no município de Tauá, sudoeste do estado, e deságua no Oceano Atlântico, no litoral leste do Ceará, entre os municípios de Aracati e Fortim. Percorre 610 km de extensão e sua bacia ocupa quase 76 mil km<sup>2</sup>, o que representa mais de 50% da área total cearense. É dividida em cinco sub-bacias (do Alto / Médio / Baixo Jaguaribe, do Rio Salgado e do Rio Banabuiú), e atende a 80 municípios. Está inserido no bioma Caatinga, de relevo composto por planícies fluviais, Depressão Sertaneja e maciços residuais, com formações vegetais tipo savana-estepe e florestas estacionais. O clima, em maioria, se apresenta semiárido, com temperatura média anual de 27°C e índice pluviométrico por volta de 740mm por ano. Devido à ampla extensão, compreende várias áreas de transição climática e florística, ambientes mais úmidos e estratos herbáceos estacionais (GATTO, 1999; CEARÁ, 2009). A região do estuário é caracterizada como uma planície flúvio-marinha, onde predominam as florestas de manguezal, falésias e dunas, com clima tropical subúmido, classificado como parte do "litoral setentrional do Brasil" (AB'SABER, 2001).

Ao longo de muitas décadas, o gerenciamento das águas na região semiárida vem sendo desafiador para os governos e órgãos de gestão hídrica, pois as condições climáticas originais e o crescimento da densidade populacional aumentam a vulnerabilidade da região aos eventos de secas. Dentre as intervenções de caráter permanente que têm sido realizadas para atenuar os impactos econômicos, sociais e ambientais das secas, estão a construção de "açudes", reservatórios artificiais que modificaram a paisagem e permanecem sustentando a vida e as atividades produtivas do semiárido (BRASIL, 2017). A perenização do Rio Jaguaribe se deu pela construção de mais de quatro mil açudes, dentre os quais Orós, Banabuiú e Castanhão que comportam juntos cerca de 10 bilhões de m<sup>3</sup> de água, quase 80% de todo o volume da bacia (JOHNSON & KEMPER, 2004).

A partir dos anos 1960, a construção de reservatórios e as políticas de incentivo ao desenvolvimento possibilitaram o início da agricultura irrigada no estado. A implantação dos perímetros irrigados, nas décadas seguintes, trouxe grandes empresas multinacionais e necessidade de intensa modernização para o incremento da produtividade agrícola (PEREIRA & CUELLAR, 2015). O conceito capitalista da "Revolução Verde" influenciou os governos a criarem legislações específicas para liberação de crédito agrícola destinado à aquisição de equipamentos e insumos, dentre os quais os "agrotóxicos" (FREITAS & BOMBARDI, 2019).

Os agrotóxicos são compostos químicos utilizados para o controle de pragas (ou organismos indesejáveis) na agricultura, aumentando sua produtividade. Compreendem inseticidas, fungicidas, herbicidas, rodenticidas, moluscicidas, nematocidas dentre outros. Teoricamente, os agrotóxicos devem ser letais apenas para espécies-alvo; porém, na realidade do uso indiscriminado, acabam sendo tóxicos também para humanos, animais e meio ambiente em geral, fato que justifica a necessidade de controle rigoroso de seu uso (AKTAR et al., 2009). Metais pesados podem estar contidos em agrotóxicos, fertilizantes ou em

outros insumos, e podem causar danos ambientais. Dentre os efeitos à saúde humana e animal estão disrupção endócrina e suas consequências metabólicas, alterações neurológicas, desajustes reprodutivos e carcinogênese (GUPTA, 2007c).

Há pelo menos quinze anos, pesquisas vêm apontando para contaminação das áreas de agronegócio associadas aos perímetros irrigados do Jaguaribe, e impacto antrópico sobre o seu leito fluvial e marinho. Herbicidas, inseticidas e metais pesados já foram detectados em águas superficiais, profundas e em sedimentos, no organismo de peixes e de algumas espécies de invertebrados. Também foram realizados estudos epidemiológicos sobre intoxicação em seres humanos.

O objetivo desta revisão foi quantificar e qualificar os estudos toxicológicos realizados na bacia do Rio Jaguaribe, expondo as espécies afetadas e discutindo sua importância num contexto de saúde animal, ambiental e humana.

## 2. METODOLOGIA

Foi realizado um levantamento bibliográfico no Google Scholar, utilizando os descritores "Jaguaribe", "contaminação", "agrotóxicos", "metais", no período de setembro de 2019, com atualização em janeiro de 2020. Os resultados foram organizados em planilha e classificados de acordo com o tipo, ano de publicação, tema principal e secundário. Foi feita uma triagem das publicações relacionadas ao assunto, sendo incluídas todas aquelas que continham informações toxicológicas de interesse sobre a região da Bacia do Rio Jaguaribe. Foram excluídas as citações, as publicações sem relação direta com o tema e as dissertações ou teses que geraram artigos publicados em revistas indexadas, cujos conteúdos eram repetidos. Foi realizada estatística descritiva dos resultados e eventuais metanálises de dados publicados, incluindo teste do qui-quadrado, correlação e regressão linear, executados no software R v.3.6.1.

## 3. RESULTADOS

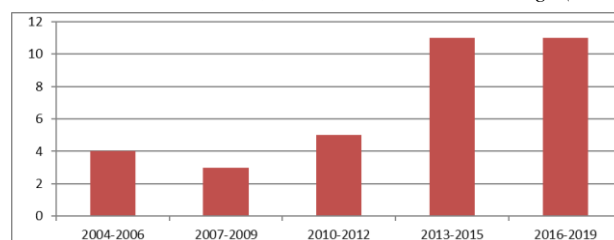
Foram retornados 183 títulos, entre artigos científicos, dissertações ou teses, e citações. Após a avaliação de conteúdo, foram incluídos 34 títulos, publicados entre 2003 e 2019, sendo 21 artigos de pesquisa, 6 dissertações de mestrado, 2 artigos de revisão, 1 resumo de evento científico, 1 projeto de pesquisa, 1 livro na íntegra, 1 capítulo de livro, e 1 relatório técnico. Os temas principais foram classificados como "agrotóxicos", "metais", "PAHs" (hidrocarbonetos policíclicos aromáticos) e "descritivos" (referindo-se a trabalhos de descrição geográfica, política, social ou econômica). Os temas secundários se referiram ao tipo de amostra estudada ou método, incluindo as águas, sedimentos, saúde humana, biomarcadores e análise de risco epidemiológico. Outros temas secundários incluíram relatórios e dossiês de gestão política e econômica (Tabela 1).

Tabela 1 - Classificação e distribuição das publicações selecionadas, por temas. Fonte: Braga (2019).

Tema	Primário				TOTAL	%
	Secundário	AGROTÓXICOS	METAIS	PAHS		
Águas		3	8	-	-	11 32,3
Sedimentos		2	1	1	-	4 11,7
Saúde Humana		7	-	-	-	7 20,5
Biomarcadores		-	4	-	-	4 11,7
Análise de Risco		3	-	-	-	3 8,8
Outros		-	-	-	5	5 14,7
<b>TOTAL</b>		<b>15</b>	<b>13</b>	<b>1</b>	<b>5</b>	<b>34 100,0</b>
<b>%</b>		<b>44,1</b>	<b>38,2</b>	<b>2,9</b>	<b>14,7</b>	<b>100,0</b>

O Gráfico 1 apresenta a frequência de publicações sobre o tema no período. O ano com maior número de publicações foi 2013 (n=7), especialmente estudos sobre acúmulo e distribuição de agrotóxicos e metais nas águas.

Gráfico 1 - Frequência de distribuição de publicações selecionadas sobre o tema, de 2004 a 2019. Fonte: Braga (2019).



### 3.1. Relatórios e publicações descritivas

Johnsson e Kemper (2004) coordenaram um projeto de pesquisa do Banco Mundial, do qual rendeu um dossiê sobre a situação (à época) da Bacia do Rio Jaguaribe, seus usuários, gestores, políticas públicas e estratégias de uso sustentável. Houve revisão de documentos primários e entrevistas com usuários. As principais questões da gestão eram a escassez de água da região semiárida e as secas recorrentes; o crescimento urbano e a construção de desvios do leito do rio para alimentar outras regiões; a qualidade da água e a contaminação ambiental; as enchentes periódicas, devido à irregularidade das precipitações, e a operação/manutenção inadequada da infraestrutura. Após análise da rede complexa de informações, concluíram que ainda existiam problemas na participação equilibrada dos usuários e na transparência das tomadas de decisões. Julgaram que os anos 80 e início dos anos 90 foram mais favoráveis a mudanças no modelo de gestão altamente ultrapassado, porque a época pós-ditadura tinha maior predisposição para a redemocratização e a descentralização. Apesar de haver ainda muito por fazer, a partir daquele ponto e mesmo que lentamente os autores concluíram que o processo estava em andamento e precisaria de mais integração para atingir melhores resultados.

Entre 2007 e 2010, a Assembleia Legislativa do Estado do Ceará coordenou a articulação de mais de 80 instituições de abrangência estadual ou regional a fim de discutirem a garantia de fornecimento de água de qualidade para as futuras gerações

cearenses. Esse movimento, conhecido como “Pacto das Águas”, gerou 6 livros-relatórios, contemplando a situação dos recursos hídricos e a criação de um plano estratégico de implementação de políticas públicas (CEARÁ, 2010). Dentre as publicações, destacou-se o Caderno Regional da Sub-Bacia do Médio Jaguaribe (CEARÁ, 2009), que foi apresentada como “o resultado de um grande esforço (...) que reuniu, de forma resumida, as informações essenciais para orientar o planejamento das ações necessárias nesta bacia”. Contemplou as informações gerais de cunho geográfico e geopolítico; oferta, qualidade, demanda e balanço hídrico; aspectos socioeconômicos, além das ações de desenvolvimento e gestão das águas. Trata-se de uma publicação ricamente ilustrada com mapas, gráficos e tabelas, e que traz, em suas páginas finais, quadros-resumos da pactuação regional, com a aplicação de toda a teoria que foi levantada e discutida em referência à bacia do Médio Jaguaribe no Pacto das Águas. A aplicação prática mostra: uma questão a ser resolvida; o que fazer/como/quem/quando; as parcerias; os instrumentos de execução/formalização, e o comitê fiscalizador.

Sobre o Comitê Gestor da Sub-Bacia do Alto Jaguaribe, Oliveira e Uchôa (2013) compilaram e publicaram as ações realizadas. O Comitê realizou 16 reuniões ordinárias (trimestrais) e 7 extraordinárias, entre 2006 e 2010. O conteúdo das reuniões foi a descentralização do uso dos recursos hídricos oriundos da sub-bacia, conflitos entre usuários, cobrança de uso, fiscalização e campanhas educativas quanto a conservação da água e demais recursos naturais. Dentro das campanhas educativas, o tema “efeitos do uso de produtos químicos” também esteve presente. Os autores ressaltaram também a importância da gestão participativa neste comitê, no qual a maioria dos membros (60%) era da sociedade civil, incluindo usuários moradores dos entornos da sub-bacia, e 40% eram representantes técnicos de instituições públicas municipais e estaduais.

Pantaleña e Maia (2014) fizeram um levantamento histórico da ocupação da região da Bacia do Jaguaribe e relacionaram os potenciais impactos ambientais aos diferentes ciclos econômicos que vêm ocorrendo desde o século XVII. O ciclo agropastoril é o mais longo e vem contribuindo com desmatamento da Caatinga; erosão do solo e das margens do rio; diminuição da vazão; desgaste dos recursos superficiais e profundos; redução da qualidade da água por poluentes, e aumento de salinidade. A exploração mineral, o turismo, a produção de energia eólica e a aquicultura são processos mais recentes, mas também contribuem com desmatamento, erosão e poluição do manancial.

### 3.2. Análise de contaminação ambiental por agrotóxicos

Antes do que foi registrado mediante análises químicas de amostras de água e sedimento, autores realizaram análise de risco para contaminação por agrotóxicos no Vale do Jaguaribe através de modelos matemáticos. Milhome et al. (2009) levantaram informações sobre o perímetro irrigado Jaguaribe-Apodi, no Baixo Jaguaribe, onde há mais de 200 pequenos produtores e 20 empresas dedicadas à fruticultura irrigada de algodão, ata, banana, feijão, goiaba, graviola, mamão, manga, milho, soja e uva, e são utilizados mais de 30 tipos de agrotóxicos, com destaque para inseticidas (organofosforados, seguidos por piretroides e carbamatos). Segundo levantamentos de análise de risco pelos critérios de triagem da Agência de Proteção Ambiental dos

Estados Unidos (EPA), 36 a 60% dos princípios avaliados foram considerados contaminantes em potencial de águas superficiais e/ou subterrâneas, baseando-se em características físico-químicas dos compostos (solubilidade em água, coeficiente de adsorção à matéria orgânica, solubilidade de gás-líquido, meia-vida na água e no solo), nas regiões do Alto e Médio Jaguaribe, sendo determinada uma lista de compostos prioritários para monitoramento ambiental na região (MILHOME et al., 2009; GAMA et al., 2013; PINHEIRO et al., 2016).

Foi avaliada a ocorrência de agrotóxicos em amostras de águas superficiais e profundas no perímetro irrigado Jaguaribe-Apodi, municípios de Quixeré e Limoeiro do Norte, na região do Baixo Jaguaribe. Avelino et al. (2013) detectaram 14,2% de amostras contaminadas, sendo as maiores frequências dos inseticidas Imidacloprida e Clotianidina, e do herbicida Atrazina. Milhome et al. (2015) detectaram 100% de contaminação em amostras de águas superficiais e 62% em águas profundas, em concentrações globais de 1.1-17.3 µg/L e n.d.-8.9 µg/L, respectivamente. Os fungicidas Propiconazol e Difenconazol foram os mais frequentes e com maiores concentrações em águas superficiais, seguidos pelo inseticida organofosforado Clorpirifós e pela Atrazina. Sousa et al. (2016), avaliaram amostras de água de 10 reservatórios ao longo do estado do Ceará, e detectaram em 60% deles nível de Atrazina 5-6 vezes superior ao limite convencionado pelo Ministério da Saúde, incluindo 7.0-8.0 µg/L de Atrazina em amostras dos reservatórios do Vale do Jaguaribe. Oliveira et al. (2016) investigaram o destino de inseticidas organoclorados utilizados nos perímetros irrigados da Bacia do Jaguaribe. Foram detectadas concentrações preocupantes de Heptacloro e Lindano em amostras de sedimentos de zona fluvial e estuarina, que foram considerados particularmente alarmantes no domínio estuarino, pelo risco ecológico à microbiota local.

Não foi recuperado nenhum artigo sobre concentrações de agrotóxicos nos tecidos de biomarcadores (vertebrados ou invertebrados) no Vale do Jaguaribe.

### 3.3. Efeitos dos agrotóxicos sobre a saúde humana

No ano de 2009, um grupo de pesquisadores do Departamento de Saúde Comunitária da Universidade Federal do Ceará (DSC-UFC), coordenado por Rigotto, iniciou um projeto de levantamento epidemiológico na população do Baixo Jaguaribe exposta a agrotóxicos. O município de Limoeiro do Norte, no Baixo Jaguaribe, ganhou notoriedade nos anos 2000 devido ao aumento do número de intoxicações agudas humanas registradas pela Secretaria Estadual de Saúde. Em Limoeiro, está instalada truma grande empresa de fruticultura, que explora a cultura do abacaxi em larga escala para consumo interno e exportação, com uso de maquinário agrícola, mão de obra barata e amplo emprego de agrotóxicos (RIGOTTO & MATOS, 2009). Alexandre (2009) entrevistou 75 trabalhadores agrícolas da região, levantando características socioeconômicas e profissionais, hábitos de vida, histórico familiar, conhecimentos sobre exposição aos compostos químicos em agricultura, e submetendo-os a exames clínico-laboratoriais. Todos os entrevistados reconheceram o uso de agrotóxicos na rotina profissional e 94% deles admitiram ter tido contato direto, numa frequência de exposição de mais de 8 horas diárias; 60% referiram já ter passado mal no trabalho, e 53% correlacionaram tais episódios à exposição aos agrotóxicos

(ALEXANDRE, 2009). Os achados clínicos apontaram para 63% de sintomas neurológicos (cefaleia, confusão mental, tremores, lapso de memória) e 45% irritação ocular, que, segundo nossa metanálise foram significativamente maiores que o esperado ( $\chi^2 = 13.782$ ,  $p=0.001017$ ). Os exames laboratoriais mostraram que 48% tiveram alterações nas enzimas hepáticas. Embora tenha realizado o perfil dos trabalhadores, o autor não correlacionou estatisticamente os achados com a exposição aos agrotóxicos. Executamos um teste de correlação e uma regressão linear para tentar investigar o aumento da relação TGO/TGP ao longo dos meses de exposição. Segundo nossa metanálise, apesar de haver uma tendência de aumento linear temporal, o modelo não foi suficiente para tentar explicar a relação, visto que existem vários outros fatores que podem concorrer para a alteração das enzimas hepáticas ( $R^2=14,62\%$ ,  $p=0,0872$ ). Em estudo de caso-controle, Rigotto et al. (2013) detectaram tendência crescente e significativa de mortalidade por neoplasias e mortalidade fetal no grupo-caso (Russas, Limoeiro do Norte e Quixeré), com uma taxa 1.76 maior de hospitalizações e 1.38 maior de mortalidade por neoplasias do que no grupo-controle. Diógenes (2017) observou que a clientela rural da Previdência Social cearense tem 5 vezes mais risco de receber benefícios por neoplasias que a clientela urbana, sendo 57% de trabalhadores do sexo masculino, destacando-se os municípios de Icó, Limoeiro do Norte e Russas com as maiores taxas de benefícios. As mais prevalentes são neoplasias de pele, seguidas por neoplasias hematológicas. Barbosa et al. (2019) avaliaram possível associação de câncer infantojuvenil com populações dos perímetros irrigados, através de dados do Registro Hospitalar de Câncer (RHC) do estado do Ceará. Foi observado um aumento de 16% na tendência temporal das taxas de mortalidade por neoplasias na região do Baixo Jaguaribe, considerada a mais alta entre as regiões não metropolitanas avaliadas.

Freitas e Bombardi (2017) revisaram a literatura relacionada a contaminações e intoxicações nos perímetros irrigados do Ceará, especificamente no Baixo Jaguaribe, elaborando mapas epidemiológicos, através de dados do Sistema de Notificação de Agravos (SINAN) e do Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS). Os resultados mostraram que, nos perímetros de Morada Nova, Jaguaruana, Tabuleiro de Russas e Jaguaribe-Apodi, as intoxicações agudas por agrotóxicos podem chegar a 26 casos/100 mil habitantes. Essa casuística é 10-30 vezes maior se comparada às zonas urbanas, e se repete em outros perímetros irrigados do estado, podendo chegar até 75 casos/100 mil habitantes. O Projeto de Lei estadual nº 18/2015 (aprovado em dezembro/2018) propôs uma série de novas normas de aquisição, uso, armazenamento e transporte de agrotóxicos no estado, além de proibir a pulverização aérea nas áreas cultivadas. Este projeto veio para substituir a antiga Lei nº 1478/2009, conhecida como Lei Zé Maria Tomé, referência ao ativista que denunciava o abuso de agrotóxicos pelas empresas do agronegócio, e grilagem de terras no perímetro Jaguaribe-Apodi; lei esta que foi revogada pela Câmara Municipal de Limoeiro do Norte em 2010, logo após o assassinato do ativista (FREITAS & BOMBARDI, 2017).

Não apenas as grandes empresas fazem uso de agrotóxicos em sua produção. Em assentamentos de reforma agrária no município de Russas, 37% dos agricultores de subsistência confirmaram utilizar um ou mais princípios químicos em suas pequenas lavouras policultoras temporárias. Desses, mais de 20%

informaram já ter sofrido intoxicação aguda por compostos organofosforados, referindo tonturas, dores de cabeça, mal estar generalizado, fraqueza, prurido na pele e falta de apetite. Nenhum deles buscou serviço de saúde, aguardando melhora espontânea da intoxicação (CASTRO, 2008).

### 3.4. Detecção de metais pesados na Bacia do Rio Jaguaribe

Lacerda et al. (2004) estimaram as emissões anuais dos metais pesados de maior impacto ambiental: Zinco (Zn), Cobre (Cu), Chumbo (Pb) e Cádmio (Cd). Concluíram que as emissões antrópicas de Cu são as mais preocupantes, compreendendo mais de 9 toneladas/ano despejadas na Bacia do Jaguaribe, presumindo que 95% sejam provenientes de atividades agropecuárias.

Nobre et al. (2018) investigaram metais em água e sedimentos de um aquífero aluvionar no município de Itaipaba, no Baixo Jaguaribe. O município possui fazendas de carcinicultura e ausência de esgotamento sanitário para a população, que ainda utilizava (por ocasião do estudo) fossas sépticas. Encontraram altos teores de Al (0.7 e 1.8 mg/L) e Pb (11-68 µg/L) em um dos poços amostrados, acima dos permitidos pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente.

As demais publicações sobre metais pesados no Baixo Jaguaribe compreenderam estudos sobre o leito fluvial final e zonas de estuário do grupo de pesquisa do Instituto de Ciências do Mar (Labomar-UFC). Esses estudos incluíram os impactos antropogênicos da erosão, despejo de efluentes e carcinicultura praticada na região. Lopes (2006) comparou as concentrações de Cu e Zn em água e sedimentos de viveiros de camarão com diferentes idades e observou um concentrações de até 8mg/g de Cu e até 68.5mg/g de Zn, sem diferença significativa em relação ao tempo de uso dos viveiros. O excesso de metais nos viveiros poderia afetar o metabolismo dos camarões, além de torná-los potenciais fontes de contaminação alimentar. Concluiu que o enriquecimento de Zn nos viveiros era majoritariamente proveniente de fontes antrópicas. Soares (2011) estudou os teores de mercúrio (Hg) dissolvido (~5.4ng/L), particulado (~0.6ng/L) e total (~11.9ng/L) no gradiente fluviomarinho do estuário do Rio Jaguaribe. Os achados sugeriram que o Hg provinha principalmente do continente, e, nos intervalos entre as marés, grande quantidade estava ficando retida na zona de estuário. Apesar dos valores encontrados não classificarem o Jaguaribe como rio impactado pelo Hg, estimou-se que sua fração biodisponível fosse representativa o suficiente para causar impacto na cadeia trófica, e que a concentração de Hg total poderia causar efeitos crônicos para a biota aquática local. Lacerda et al. (2011; 2013) concluíram que era esperada uma maior exportação de Hg particulado (1.8-12.6 mg/s) do rio para o estuário durante as chuvas. Além disso, razões para aquicultura, fertilizantes e cal conteriam impurezas que contribuiriam para a carga total de Hg nos viveiros, podendo chegar a 230mg Hg Total/hectare/ciclo. Apesar das preocupações citadas, Lacerda et al. (2017) calcularam que apenas 0.15% do Hg que é despejado no estuário anualmente corresponde a resíduos da carcinicultura. Da-Silva-Dias et al. (2013) compararam a influência das estações seca e chuvosa nos teores de Cu, Zn, Fe (Ferro) e Al (Alumínio) em matéria particulada suspensa na zona estuarina. Concluíram que Cu, Fe e Al eram de origem litogênica, devido à maior erosão que ocorre nessa época; e que seus teores médios tiveram

correlação positiva com as chuvas. Já o Zn mostrou teores mais altos na estação seca, e mostrou-se correlacionado com fontes antropogênicas.

### 3.5. Avaliação de toxicidade em biomarcadores

Valentim Neto (2004) demonstrou preocupação com a saúde do Caranguejo-Uçá (*Ucides cordatus*) natural do estuário do Jaguaribe, uma vez que, no período seco do ano 2000, pescadores relataram relevante aumento de sua mortalidade dentre de várias outras espécies de organismos estuarinos. Ciente da potencial influência dos resíduos tóxicos sobre a saúde da fauna aquática do Baixo Jaguaribe, o autor investigou a histologia dos órgãos principais e os parâmetros da água, e fez um bioensaio observando a influência dos efluentes de carcinicultura sobre amostra de indivíduos vivos durante 30 dias. Os achados não apontaram para alterações morfológicas orgânicas nos caranguejos, portanto não foi possível evidenciar impacto sobre a espécie nesse experimento. Também não foi possível sugerir uma causa para o aumento da mortalidade de anos anteriores, pois possíveis aumentos de toxicidade podem ter sido pontuais e dissipados pelos fluxos flúvio-marinheiros e pluviosidade posterior.

Peres (2012) investigou biomarcadores invertebrados e suas diferentes influências no acúmulo de metais nos sedimentos de três estuários cearenses. No estuário do Jaguaribe, observou que a colonização por moluscos bivalves *Mytella* spp. favoreceu o acúmulo de Fe, Al e Mn (Manganês) nos perfis sedimentares até 15cm de profundidade. Já em áreas colonizadas pelos caranguejos *Uca* spp., os teores de Fe e Al se mostraram menores nos sedimentos, principalmente até 10cm de profundidade, o que possivelmente se dá pelo fenômeno da “bioturbação”, capacidade que tem os caranguejos de oxidar sedimentos devido a seus hábitos alimentares. Foram observadas influências semelhantes para os teores de Cu, Zn e Pb, por bivalves e caranguejos. A origem dos metais foi estimada com quantificação das áreas não colonizadas e uso de matrizes de correlação. A conclusão foi que Fe, Cu, Zn e Pb mostraram-se altamente correlacionados entre si, portanto sua origem e/ou mecanismo de deposição deveriam ser as mesmas, diferentes de Al e Mn.

Costa e Lacerda (2014) investigaram os teores de Hg em peixes consumidos em várias vilas ao longo do Baixo Jaguaribe. Foram detectados teores de Hg em amostras de músculo de 13 espécies, variando entre 0.1 – 107.5 ng/g, considerados abaixo do limite estabelecido pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). As maiores concentrações foram detectadas na musculatura de peixes carnívoros, demonstrando assim a “biomagnificação” através da cadeia trófica. Através de entrevistas, estimaram a exposição humana ao Hg através do consumo de peixe. Concluíram que, para as quantidades estimadas de consumo de peixe (mesmo estando acima do consumo em outras regiões), os teores de Hg encontrados naquele momento não ofereciam risco de toxicose à população ribeirinha do Baixo Jaguaribe. O mesmo grupo de pesquisa comparou os teores de Hg em músculos de espécies nativas livres e de espécies introduzidas, mantidas em fazendas de piscicultura no açude Castanhão, na região do Médio Jaguaribe. Os teores em peixes nativos foram estatisticamente maiores que em peixes cultivados, mas ainda considerados abaixo do limite preconizado pela ANVISA. Em um estudo prospectivo, Moura et al. (2018)

também avaliou acumulação de Hg na fauna estuarina, de 2007 a 2015. Foi observada uma diferença significativa nas concentrações de Hg em invertebrados com diferentes hábitos alimentares, sendo mais altas em crustáceos carnívoros; porém, em peixes, não foi observada diferença estatística entre diferentes hábitos alimentares. Novamente, os valores encontrados estavam abaixo do limite oficial, mas os pesquisadores acreditaram que as características hidroquímicas e hidrodinâmicas do ecossistema em questão, estariam contribuindo para crescente biodisponibilidade de Hg, que, a longo prazo, e com o maior consumo regional, poderiam causar distúrbios crônicos na fauna e na população humana consumidora.

### 3.6. Detecção de hidrocarbonetos aromáticos

Andrade et al. (2019) avaliaram 18 tipos de PAHs ao longo do curso do Baixo Jaguaribe. A concentração total variou de 0.6 – 3752.0 ng/g, mostrando padrão de distribuição espacial distinto entre as áreas, com as maiores concentrações em pontos de coleta no estuário. Esses achados classificaram o estuário do Jaguaribe como moderado a altamente contaminado (1000 – 5000 ng/g), segundo a EPA. Houve predomínio de compostos de alto peso molecular (com quatro ou mais anéis), incluindo pireno e fluoranteno. O Benzopireno, hidrocarboneto de alto peso molecular conhecido por seu efeito carcinogênico em animais de laboratório, foi detectado em baixas concentrações na zona estuarina. As combustões de biomassa doméstica e de carvão em olarias contribuíram mais na zona fluvial, enquanto possíveis vazamentos de combustível náutico contribuíram mais na zona estuarina.

Apesar de um empenho relativamente grande em medir o impacto ambiental e a qualidade da água da Bacia do Jaguaribe durante o período dessas publicações, nenhum trabalho ainda contemplou estudo de efeitos de contaminação ambiental sobre vertebrados terrestres da grande área do Jaguaribe.

## 4. DISCUSSÃO

A contaminação ambiental por agrotóxicos e PAHs (compostos químicos orgânicos) e metais pesados (elementos inorgânicos) causam uma complexa rede de efeitos indesejados, sendo necessário portanto ser abordada dentro do conceito interdisciplinar da “Saúde Única” (saúde humana – animal – ambiental). Os resíduos tóxicos da agricultura contaminam o solo e as águas, atingindo a microbiota e a macrofauna. Assim, viajam pelos organismos dentro da cadeia trófica, afetando a saúde de plantas, de invertebrados, animais vertebrados, até chegar aos humanos através da alimentação e da absorção orgânica por via tóxica. Diante disso, não é possível tratar apenas uma das vertentes da saúde.

Os compostos químicos denominados agrotóxicos começaram a ser produzidos nos anos 1950 na Índia, contribuindo amplamente para a expansão da agricultura, e tendo se expandido para todos os continentes nas décadas seguintes. Dentre os benefícios de seu uso estão o aumento da produtividade, a redução das perdas, o controle de vetores de doenças e aumento da qualidade alimentar. Entretanto, mesmo os mais modernos agrotóxicos, com espectro mais específico, podem ainda ser perigosamente tóxicos para humanos e animais, contaminando

alimentos e produtos alimentares, ar, águas superficiais e profundas, solos e vegetação. Ser perigoso para o ecossistema significa afetar os indivíduos da base da cadeia alimentar, como plantas e invertebrados, acumulando-se e causando danos para o sistema como um todo (AKTAR et al., 2009).

Sobre os agrotóxicos detectados em maior concentração no Vale do Jaguaribe, aqueles podem afetar humanos e animais, causando principalmente alterações no fígado, nos sistemas reprodutivo e nervoso. Os fungicidas triazóis podem causar hepatotoxicidade aguda e carcinogênese hepática. Além disso, Ilyushina et al. (2019) observaram inibição da eritropoiese em medula óssea de camundongos expostos a fungicidas triazóis.

A Atrazina e o Lindano funcionam como disruptores endócrinos, podendo causar feminização de indivíduos machos (pela expressão da aromatase) e toxicidade testicular. O Clorpirifós, dentre outros organofosforados, interfere na condutividade nervosa e na atividade da acetilcolinesterase, assim como estresse oxidativo no sistema nervoso central, podendo resultar em alterações neurocomportamentais. O Imidacloprida e a Clotianidina também podem alterar as reações colinérgicas, porém são considerados de alta margem de segurança por serem extremamente seletivos (GUPTA, 2007c). Além dos previamente listados, pesquisas mais recentes levantaram outros efeitos em humanos e animais. O Lindano e seus isômeros ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\delta$ -hexaclorobenzeno) foram detectados no soro de 96% de pacientes com Doenças de Parkinson, sendo o  $\beta$ -hexaclorobenzeno o componente estatisticamente mais associado (RICHARDSON et al., 2009). Navaratne et al. (2014) observaram mortalidade aguda em girinos expostos a 0.1 ppm de Clorpirifós. Outras pesquisas relataram que a Atrazina causou degeneração miocárdica e desorganização sinusoidal hepática, por via direta e através de disfunção iônica ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ ) em codornas, bem como falhas de desenvolvimento transgeracionais em ratos (LIN et al., 2016; McBIRNEY et al., 2017). Sun et al. (2016) observaram que o imidacloprida induziu adipogênese e resistência à insulina em camundongos, enquanto outros autores observaram efeitos crônicos subletais em comunidades de invertebrados, dentre as quais abelhas polinizadoras, afetando comportamento, alimentação e funções ecológicas (VAN DIJK et al., 2013; DIVELY et al., 2015; SUN et al., 2016; MILES et al., 2017).

A exposição ocupacional a agrotóxicos está relacionada com o risco aumentado de neoplasias hematológicas (linfoma não-Hodgkin, Leucemias e Mieloma Múltiplo); inclusive, níveis séricos de agrotóxicos não persistentes já foram significativamente correlacionados com contagens anômalas de células linfóides e mielóides em trabalhadores rurais no sul do Brasil (MERHI et al., 2007; PICCOLI et al., 2019). Mesmo a exposição a inseticidas ou herbicidas residenciais, os quais são utilizados em menores concentrações ou frequência, pode aumentar o risco de neoplasias infantojuvenis de 1.23-1.47 vezes, incluindo neuroblastomas, nefroblastomas e leucemias (CHEN et al., 2015).

Considerando a detecção de metais pesados no Rio Jaguaribe e em seu estuário, os efeitos sobre humanos e animais também causam inquietações. Os metais pesados em geral produzem toxicidade quando formam complexos com compostos celulares contendo S (enxofre), N (nitrogênio) e O (oxigênio), os quais inativam sistemas enzimáticos e modificam estruturas proteicas,

afetando o metabolismo em nível celular, podendo causar a morte das células. Os sistemas mais afetados são sistema nervoso central, gastrointestinal, cardiovascular, hematopoiético, renal e sistema nervoso periférico (SHARMA et al., 2014).

O Cu foi um dos metais cuja detecção causou maiores preocupações. As doses tóxicas são variáveis entre as diferentes espécies animais. Em intoxicações agudas, lesões hepáticas e renais graves costumam se manifestar em até 48 horas, geralmente letais (THOMPSON, 2007a). Os principais relatos de intoxicação crônica em animais envolvem as espécies bovina e ovina, quando se alimentam em solos, água e pastos contaminados por calda bordalesa (mistura de  $\text{CuSO}_4$  com ação fungicida), suplementos à base de Cu e esterco de aves e suínos (O'DELL, 1997).

Foram detectadas altas concentrações de Cu e Zn em viveiros de camarões na região do estuário do Rio Jaguaribe. Levantou-se que neste caso, esses camarões poderiam ser fonte de contaminação alimentar, uma vez que ocorre o acúmulo dos metais nos tecidos e a depuração via exoesqueleto. A intoxicação pelo Zn em humanos é considerada um evento raro, mais relacionado com ingestão acidental de grandes quantidades de suplementos; contudo, tem bastante gravidade, uma vez que promove estresse oxidativo metabólico e dispara a morte celular programada em diferentes tecidos, incluindo o sistema nervoso (PLUM et al., 2010). O Cd, cujos níveis foram considerados abaixo do limite legal estabelecido, nem por isso deve ser excluído dos monitoramentos, uma vez que a exposição crônica de ratos ao Cd, mesmo em baixos níveis, causou carcinogênese (LEE & WHITE, 1980), osteoporose e defeito de vascularização em ossos compactos (DURANOVA et al., 2014), distrofia do esmalte dentário (ŚWIETLIKA et al., 2019) e alterações inflamatórias na próstata (SANTANA et al., 2016). Em humanos, a exposição ocupacional tem sido relacionada a nefropatias e osteomalacia com osteoporose (HOOSE, 2007).

Segundo a Food and Drug American Agency (FDA), a acumulação de Hg em peixes para consumo não deve ultrapassar 1 ppm (GUPTA, 2007b), o que é considerado pela ANVISA (BRASIL, 2013) como 1.0mg/kg (peixes carnívoros) e 0.5mg/kg (peixes não-carnívoros). Mesmo em concentrações mínimas de 50 $\mu\text{g/g}$ , Amorim et al. (2000) encontraram correlação direta entre contaminação por metilmercúrio (metabólito do Hg inorgânico acumulado em peixes) e danos citogenéticos aos linfócitos periféricos em moradores de ilhas fluviais ao longo do Rio Amazonas. Em animais de laboratório, exposição crônica a metilmercúrio e fenilmercúrio, mesmo em níveis considerados baixos, pode causar danos aos rins, estômago e intestino grosso, alterações de pressão arterial e frequência cardíaca, anomalias de desenvolvimento e abortos, alterações espermáticas e espermatogênicas; em animais pecuários, além de alterações nos órgãos já citados, os sinais neurológicos mostraram-se mais evidentes (GUPTA, 2007b; BRASIL, 2013; GENCHI et al., 2017).

Os metais Al e Pb foram detectados em altas concentrações na água de um poço profundo na região do Baixo Jaguaribe. Ambos estão relacionados ao estresse oxidativo geral e anemia hipocrômica, e danos orgânicos dependem de em qual tecido eles se depositam em maior concentração; o Pb causa neurotoxicidade por ruptura da barreira hematoencefálica e alteração de neurotransmissores, em animais e humanos (THOMPSON,

2007b), enquanto o Al tem sido implicado como participante de doenças neurodegenerativas (GUPTA, 2007a).

Pireno e fluoranteno estão entre os PAHs detectados em maiores concentrações no Baixo Jaguaribe. Os PAHs em geral causam toxicidade aguda metabólica para organismos aquáticos e aves silvestres, exacerbada na presença de luz ultravioleta. Toxicidade crônica pode incluir carcinogênese e alterações de imunidade, reprodução e desenvolvimento (ABDEL-SHAIFY & MANSOUR, 2016). Em humanos, a exposição aguda a altos níveis de PAHs, dependendo da via de exposição, pode causar irritação ocular, náusea, vômito, diarreia e confusão mental (UNWIN et al., 2006). Efeitos crônicos compreendem catarata, insuficiências hepática e renal, disfunções respiratórias tipo asma, além de carcinogênese respiratória e digestória (OLSSON et al., 2010; DIGGS et al., 2011). O benzopireno, que também foi detectado no Baixo Jaguaribe, mas em níveis mais baixos, foi o primeiro dos PAHs com atividade carcinogênica a ser descoberto. Em animais experimentais, o benzopireno produziu câncer de pulmão, quando inalado; câncer de estômago, quando administrado na água de beber; e câncer de pele, através de administração tópica (ABDEL-SHAIFY & MANSOUR, 2016).

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através de toda a literatura revista foi possível perceber a importância do Rio Jaguaribe para o Ceará e para o Brasil, em termos de abastecimento de água, para consumo doméstico e industrial, para irrigação e para transporte, e para a manutenção ecossistêmica. Em síntese, para o progresso regional. Os contaminantes detectados foram discutidos à luz da “Saúde Única” (humana, animal e ambiental). Apesar de a maioria dos estudos concluir que os níveis de contaminação ainda são baixos (comparados a outros rios), agrotóxicos, metais e hidrocarbonetos podem causar danos irreparáveis à saúde humana, animal e ambiental a longo prazo, mesmo em baixas concentrações ou doses.

O monitoramento é imprescindível, o controle e as fiscalizações são inadiáveis e punições aos infratores devem ser postas em verdadeira prática. A conscientização e a educação ambiental dos usuários e população beneficiada devem ser contínuas. O uso indiscriminado de compostos químicos na agricultura deve ser combatido pelas autoridades e fiscalizada por todos.

## 6. REFERÊNCIAS

- AB´SABER, A.N. **Litoral do Brasil**. São Paulo: Metalivros; 2001. 286 p.
- ABDEL-SHAIFY, H. I.; MANSOUR, M. S. M. A review on polycyclic aromatic hydrocarbons: Source, environmental impact, effect on human health and remediation. **Egyptian Journal of Petroleum**, v. 25, n. 1, p. 107–123, mar. 2016.
- AKTAR, W.; SENGUPTA, D.; CHOWDHURY, A. Impact of pesticides use in agriculture: their benefits and hazards. *Interdisciplinary Toxicology*, v. 2, n. 1, p. 1–12, 1 mar. 2009.
- ALEXANDRE, S.F. Exposição a agrotóxicos e fertilizantes químicos: agravos à saúde dos trabalhadores no agronegócio do abacaxi em Limoeiro Do Norte-Ce. 2009. 154 f. Dissertação (Mestrado em Saúde Coletiva) – Faculdade de Medicina, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE, 2009.
- AMORIM, M. I. M. et al. Cytogenetic damage related to low levels of methyl mercury contamination in the Brazilian Amazon. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 72, n. 4, p. 496–507, 2000.
- ANDRADE, M. V. F. et al. Influence of sediment parameters on the distribution and fate of PAHs in an estuarine tropical region located in the Brazilian semi-arid (Jaguaribe River, Ceará coast). *Marine Pollution Bulletin*, v. 146, n. July, p. 703–710, 2019.
- AVELINO, F. F.; TEIXEIRA, Z. A.; PEREIRA, D. M. Análise de agrotóxicos em águas da chapada do apodi, ceará, brasil. In: *Revista Águas Subterrâneas*, Supl, São Paulo. Anais... São Paulo: 2013.
- BARBOSA, I. M. et al. Cancer among children and adolescents: Relationship with the poles of agricultural irrigation in the state of ceará, Brazil. *Ciencia e Saude Coletiva*, v. 24, n. 4, p. 1563–1570, 2019.
- BRASIL. Ministério da Educação. Indicadores socioeconômicos do Ceará 2010. Disponível em: [http://portal.mec.gov.br/setec/arquivos/pdf/indicad\\_ce.pdf](http://portal.mec.gov.br/setec/arquivos/pdf/indicad_ce.pdf). Acesso em: 26 out. 2019.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Agência Nacional das Águas. Reservatórios do Semiárido Brasileiro. Hidrologia, balanço hídrico e operação. Anexo C – Jaguaribe. Brasília: ANA, 2017. Disponível em <https://www.ana.gov.br/noticias/estudo-reservatorios/anexo-c-jaguaribe.pdf>. Acesso em: 08 nov. 2019.
- BRASIL. RDC nº 42 de 29 de Agosto de 2013. Dispõe sobre o Regulamento Técnico MERCOSUL sobre Limites Máximos de Contaminantes Inorgânicos em Alimentos. Brasília: Ministério da Saúde, Agência Nacional de Saúde, 2013. Disponível em: [http://portal.anvisa.gov.br/documents/33880/2568070/rdc0042\\_29\\_08\\_2013.pdf/c5a17d2d-a415-4330-90db-66b3f35d9fbd](http://portal.anvisa.gov.br/documents/33880/2568070/rdc0042_29_08_2013.pdf/c5a17d2d-a415-4330-90db-66b3f35d9fbd). Acesso em 28 Nov. 2019.
- CASTRO, M.G.G.M. Avaliação do Uso de Agrotóxicos e da Qualidade dos Recursos Hídricos nos Assentamentos de Reforma Agrária Bernardo Marin II e Mundo Novo, Município de Russas (CE): um estudo de caso. 2008, 80 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Saúde Pública) – Escola Nacional de Saúde Pública Sérgio Arouca, Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro-RJ, 2008.
- CEARÁ. Assembleia Legislativa. Caderno regional da sub-bacia do Médio Jaguaribe. Santana, E.W. (editor). Fortaleza: INESP; 2009. 102 p. Disponível em: <http://portal.cogerh.com.br/wp-content/uploads/2018/09/Bacia-do-Médio-Jaguaribe.pdf>. Acesso em: 19 set. 2019.



- CEARÁ. Assembleia Legislativa. Pacto das Águas (2010). Disponível em: <https://www.al.ce.gov.br/index.php/pacto-das-aguas>. Acesso em: 03 dez, 2019.
- CHEN, M. et al. Residential exposure to pesticide during childhood and childhood cancers: A meta-analysis. *Pediatrics*, v. 136, n. 4, p. 719–729, 2015.
- COSTA, B. G. B.; LACERDA, L. D. Mercury (Hg) in fish consumed by the local population of the Jaguaribe River lower basin, Northeast Brazil. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 21, n. 23, p. 13335–13341, 15 dez. 2014.
- DA SILVA DIAS, F. J.; MARINS, R. V.; MAIA, L. P. Impact of Drainage Basin Changes on Suspended Matter and Particulate Copper and Zinc Discharges to the Ocean from the Jaguaribe River in the Semiarid NE Brazilian Coast. *Journal of Coastal Research*, v. 290, p. 1137–1145, 30 set. 2013.
- DEFARGE, N.; SPIROUX DE VENDÔMOIS, J.; SÉRALINI, G. E. Toxicity of formulants and heavy metals in glyphosate-based herbicides and other pesticides. *Toxicology Reports*, v. 5, p. 156–163, 2018.
- DIGGS, D. L. et al. Polycyclic aromatic hydrocarbons and digestive tract cancers: a perspective. *Journal of environmental science and health. Part C, Environmental carcinogenesis & ecotoxicology reviews*, v. 29, n. 4, p. 324–57, out. 2011.
- DIÓGENES, S.S. (In)Visibilização das causas de câncer na zona rural de Limoeiro do norte, a vulnerabilização e os riscos do uso dos agrotóxicos. 2017, 173 f. Dissertação (Mestrado em Saúde Coletiva) – Faculdade de Medicina, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE, 2017.
- DIVELY, G. P. et al. Assessment of chronic sublethal effects of imidacloprid on honey bee colony health. *PloS one*, v. 10, n. 3, p. e0118748, 2015.
- DURANOVA, H. et al. Changes in compact bone microstructure of rats subchronically exposed to cadmium. *Acta Veterinaria Scandinavica*, v. 56, n. 1, p. 64, 24 dez. 2014.
- FAO. AQUASTAT - FAO's Global Information System on Water and Agriculture. Disponível em: <http://www.fao.org/aquastat/en/geospatial-information/global-maps-irrigated-areas/irrigation-by-country/country/BRA>. Acesso em: 16 ago. 2019.
- FREITAS, B. M. C.; BOMBARDI, L. M. A política nacional de irrigação e o uso de agrotóxicos no Brasil: contaminação e intoxicações no Ceará. *GEOgraphia*, v. 20, n. 43, p. 86, 16 out. 2018.
- GAMA, A. F.; DE OLIVEIRA, A. H. B.; CAVALCANTE, R. M. Inventário de agrotóxicos e risco de contaminação química dos recursos hídricos no semiárido cearense. *Química Nova*, v. 36, n. 3, p. 462–467, 2013.
- GATTO, L.C.S. Diagnóstico ambiental da bacia do rio Jaguaribe. Salvador: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística; 1999. 77 p. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv95788.pdf>. Acesso em: 26 out.2019.
- GENCHI, G. et al. Mercury Exposure and Heart Diseases. *International journal of environmental research and public health*, v. 14, n. 1, 2017.
- GUPTA, R. C. Aluminium. In: GUPTA, R. C. (Ed.). *Veterinary Toxicology. Basic and Clinical Principles*. New York: Academic Press, 2007. p. 411–417.
- GUPTA, R. C. Mercury. In: GUPTA, R. C. (Ed.). *Veterinary Toxicology. Basic and Clinical Principles*. 1st. ed. New York: Academic Press, 2007. p. 442–447.
- GUPTA, R. C. *Veterinary Toxicology – Basic and clinical principles*. 1st. ed. Academic Press, 2007. 1201p.
- HOOSE, S. B. Cadmium. In: GUPTA, R. C. (Ed.). *Veterinary Toxicology. Basic and Clinical Principles*. New: Academic Press, 2007. p. 421–426.
- ILYUSHINA, N. et al. Maximum tolerated doses and erythropoiesis effects in the mouse bone marrow by 79 pesticides' technical materials assessed with the micronucleus assay. *Toxicology reports*, v. 6, p. 105–110, 2019.
- JOHANSSON, R. M. F.; KEMPER, K. Institutional and policy analysis of river basin management: the Jaguaribe river basin, Ceara, Brazil. The World Bank, 2005. Disponível em: <http://elibrary.worldbank.org/doi/book/10.1596/1813-9450-3649>. Acesso em: 21 set. 2019.
- LACERDA, L. D. et al. Mercury Emission Factors from Intensive Shrimp Aquaculture and Their Relative Importance to the Jaguaribe River Estuary, NE Brazil. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, v. 87, n. 6, p. 657–661, 16 dez. 2011.
- LACERDA, L. D. et al. Mercury in Indigenous, Introduced and Farmed Fish from the Semiarid Region of the Jaguaribe River Basin, NE Brazil. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, v. 93, n. 1, p. 31–35, 12 jul. 2014.
- LACERDA, L. D. et al. Pluriannual Watershed Discharges of Hg into a Tropical Semi-Arid Estuary of the Jaguaribe River, NE Brazil. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 2013.
- LACERDA, L. et al. Contaminação por metais pesados e pesticidas nas bacias inferiores dos Rios Curimataú e Açú ( RN ) e Rio Jaguaribe ( CE ). Associação Brasileira dos Criadores de Camarão (ABCC), editors. Sociedade Internacional para Ecossistemas de Manguezal do Brasil (ISME/BR); Instituto de Ciências do Mar (LABOMAR-UFC); Associação Brasileira dos Criadores de Camarão (ABCC). Fortaleza; 2004. 1–59 p. Disponível em:

- [https://abccam.com.br/wp-content/uploads/2011/02/Metais\\_Pesados\\_ABCC.pdf](https://abccam.com.br/wp-content/uploads/2011/02/Metais_Pesados_ABCC.pdf). Acesso em 21 Set. 2019.
- LACERDA, L.D.; MARINS, R.V.; CAVALCANTE, M.S. Mercury mobilization due to global climate and regional land use changes in the Jaguaribe River Estuary, ne Brazil. 2017, p. 349-360. In: Botello AV, Villanueva S, Gutiérrez J, Rojas Galaviz, JL (eds.). Vulnerabilidad de las zonas costeras de Latinoamérica al cambio climático. UJAT, UNAM, UAC. 476 p. Disponível em: <https://www.redicomar.com/wp-content/uploads/2018/10/Vulnerabilidad-de-las-Zonas-Costeras-de-Latinoame%CC%81rica-al-Cambio-Clima%CC%81tico.pdf>. Acesso em 21 Set. 2019.
- LEE, J. S.; WHITE, K. L. A review of the health effects of cadmium. American journal of industrial medicine, v. 1, n. 3-4, p. 307-17, 1980.
- LEGADO BRASIL. Lei das Águas assegura a disponibilidade do recurso no País. 20 out. 2010. Disponível em <http://legado.brasil.gov.br/noticias/meioambiente/2010/10/ei-das-aguas-assegura-a-disponibilidade-do-recurso-no-pais>. Acesso em: 25 Out. 2019.
- LIN, J. et al. A novel mechanism underlies atrazine toxicity in quails (Coturnix Coturnix coturnix): triggering ionic disorder via disruption of ATPases. Oncotarget, v. 7, n. 51, p. 83880-83892, 20 dez. 2016.
- LOPES, D.V. Acúmulo de metais traço cobre (Cu) e zinco (Zn) em viveiros de cultivo de camarão (Litopenaeus vannamei). 2006. 86 f. Fortaleza. Dissertação (Mestrado em Ciências Marinhas Tropicais) – Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE, 2006.
- MCBIRNEY, M. et al. Atrazine induced epigenetic transgenerational inheritance of disease, lean phenotype and sperm epimutation pathology biomarkers. PloS one, v. 12, n. 9, p. e0184306, 2017.
- MERHI, M. et al. Occupational exposure to pesticides and risk of hematopoietic cancers: Meta-analysis of case-control studies. Cancer Causes and Control, v. 18, n. 10, p. 1209-1226, 2007.
- MILES, J. C. et al. Effects of clothianidin on aquatic communities: Evaluating the impacts of lethal and sublethal exposure to neonicotinoids. PloS one, v. 12, n. 3, p. e0174171, 2017.
- MILHOME, M. A. L. et al. Avaliação do potencial de contaminação de águas superficiais e subterrâneas por pesticidas aplicados na agricultura do Baixo Jaguaribe, CE. Eng Sanit Ambient, v. 14, n. 3, p. 363-372, 2009.
- MILHOME, M. A. L. et al. Influence the use of pesticides in the quality of surface and groundwater located in irrigated areas. International Journal of Environment Research, v. 9, n. 1, p. 255-262, 2015.
- MOURA, V. L.; COSTA, B. G. B.; LACERDA, L. D. Distribuição de mercúrio na fauna estuarina do Rio Jaguaribe - CE. Arquivos de Ciências do Mar, v. 51, n. 1, p. 49, 11 set. 2018.
- NAVARATNE, A.; JAYAWARDENA, U.; RAJAKARUNA, R. Toxicity of Propanil , Glyphosate , Chlopyrifos and Dimethoate on Asian Common Toad Duttaphrynus melanostictus ) and Common Hourglass Tree Frog ( Polypedates cruciger ) Empirical evidence ... Toxicity of Propanil , Glyphosate , Chlopyrifos and Dimethoate on. In: SETAC Asia Pacific Conference, September, Adelaide. Anais... Adelaide: 2014.
- NOBRE, M. E. da S. et al. Hydrochemical-environmental study of the low Jaguaribe alluvial aquifer, itaíçaba - Ceará. Revista do Instituto Geológico, v. 39, n. 3, p. 77-92, 2018.
- O'DELL, B. L. The concept of trace element antagonism: the Cu-Mo-S triangle (Dick, 1952-1954). The Journal of nutrition, v. 127, n. 5 Suppl, p. 1045S-1047S, maio 1997.
- OLIVEIRA, A. H. B. et al. The legacy of organochlorine pesticide usage in a tropical semi-arid region (Jaguaribe River, Ceará, Brazil): Implications of the influence of sediment parameters on occurrence, distribution and fate. Science of the Total Environment, v. 542, p. 254-263, 2016.
- OLIVEIRA, F. É. R. de; UCHÔA, H. de S. Gestão da sub-bacia hidrográfica do Alto Jaguaribe, no gerenciamento do comitê de 2006 a 2010. Revista Verde de Agroecologia e ..., n. 2010, 2013.
- OLSSON, A. C. et al. Occupational exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons and lung cancer risk: a multicenter study in Europe. Occupational and environmental medicine, v. 67, n. 2, p. 98-103, fev. 2010.
- PANTALENA, A. F.; MAIA, L. P. Marcas da ação antrópica na história ambiental do Rio Jaguaribe, Ceará, Brasil. Revista de Gestão Costeira Integrada, v. 14, n. 3, p. 459-468, 2014.
- PEREIRA, G. R.; CUELLAR, M. D. Z. Conflitos pela água em tempos de seca no Baixo Jaguaribe, Estado do Ceará. Estudos Avançados, v. 29, n. 84, p. 115-137, ago. 2015.
- PERES, T.F. Influência da biota na acumulação de metais pesados nos sedimentos superficiais do estuário do rio Jaguaribe, praia de Ponta Grossa e praia de Arpoeira, Ceará. 2012. 87 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Marinhas Tropicais) – Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE, 2012.
- PICCOLI, C. et al. Occupational exposure to pesticides and hematological alterations: A survey of farm residents in the South of Brazil. Ciência & Saúde Coletiva, v. 24, n. 6, p. 2325-2340, 2019.
- PINHEIRO, A. I. et al. Theoretical estimate and multiresidue analyze using spme-gc-it/ms/ms for management of pesticides in water of the rural zone of Ceará, Brazil. Revista Aedis, v. 9, n. 3, p. 386-398, 2016.

- PLUM, L. M.; RINK, L.; HAASE, H. The essential toxin: impact of zinc on human health. *International journal of environmental research and public health*, v. 7, n. 4, p. 1342–65, 2010.
- RICHARDSON, J. R. et al. Elevated serum pesticide levels and risk of Parkinson disease. *Archives of neurology*, v. 66, n. 7, p. 870–5, jul. 2009.
- RIGOTTO, R. M. et al. Trends of chronic health effects associated to pesticide use in fruit farming regions in the state of Ceará, Brazil. *Revista Brasileira de Epidemiologia*, v. 16, n. 3, p. 763–773, 2013.
- RIGOTTO, R.; PESSOA, VANIRA MATOS. Epidemiological study of the lower Jaguaribe Region population exposed to environmental contamination in the area of pesticides. *Actas em Saúde Coletiva*, v. 4, n. 4, p. 142–143, 2009.
- SANTANA, V. P. et al. Long-term effects of perinatal exposure to low doses of cadmium on the prostate of adult male rats. *International journal of experimental pathology*, v. 97, n. 4, p. 310–316, 2016.
- SHARMA, B.; SINGH, S.; SIDDIQI, N. J. Biomedical Implications of Heavy Metals Induced Imbalances in Redox Systems. *BioMed Research International*, v. 2014, p. 1–26, 2014.
- SILVA, P. C. G. et al. Caracterização do Semiárido brasileiro: fatores naturais e humanos. *Semiárido brasileiro: pesquisa, desenvolvimento e inovação*. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2010., p. 18–48, 2010. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/861906>. Acesso em: 19 set. 2019.
- SOARES, T.C.M. Variação sazonal, transporte e partição de hg no gradiente fluviomarinho do Rio Jaguaribe – CE. 2011. 102 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Marinhas Tropicais) – Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE, 2011.
- SOUSA, A. S. et al. Estimated Levels of Environmental Contamination and Health Risk Assessment for Herbicides and Insecticides in Surface Water of Ceará, Brazil. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, v. 96, n. 1, p. 90–95, 2016.
- SUN, Q. et al. Imidacloprid Promotes High Fat Diet-Induced Adiposity and Insulin Resistance in Male C57BL/6J Mice. *Journal of agricultural and food chemistry*, v. 64, n. 49, p. 9293–9306, 14 dez. 2016.
- ŚWIETLICKA, I. et al. The effect of cadmium exposition on the structure and mechanical properties of rat incisors. *PLOS ONE*, v. 14, n. 4, p. e0215370, 12 abr. 2019.
- THOMPSON, L. J. Copper. In: GUPTA, R. C. (Ed.). *Veterinary Toxicology. Basic and Clinical Principles*. New York: Academic Press, 2007. p. 427–429.
- THOMPSON, L. J. Lead. In: GUPTA, R. C. (Ed.). *Veterinary Toxicology. Basic and Clinical Principles*. New York: Academic Press, 2007. p. 438–441.
- UNESCO. *The United Nations World Water Development Report 2019 - Leaving no one behind*. Paris: UNESCO, 2019. Disponível em <https://www.unwater.org/publications/world-water-development-report-2019/>. Acesso em 25 Out. 2019.
- UNWIN, J. et al. An assessment of occupational exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons in the UK. *The Annals of occupational hygiene*, v. 50, n. 4, p. 395–403, jun. 2006.
- VALENTIM NETO, P.A. Possíveis causas da mortalidade do Caranguejo-Uçá (*Ucides cordatus* (LINNAEUS, 1763) no estuário do Rio Jaguaribe - Ceará. 2004. 78 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Marinhas Tropicais) – Instituto de Ciências do Mar – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE, 2004.
- VAN DIJK, T. C.; VAN STAALDUINEN, M. A.; VAN DER SLUIJS, J. P. Macro-invertebrate decline in surface water polluted with imidacloprid. *PloS one*, v. 8, n. 5, p. e62374, 2013.
- WATER AID. *Beneath the Surface : The State of the World ' s Water 2019*. p. 24, 2019. Disponível em <https://washmatters.wateraid.org/publications/beneath-the-surface-the-state-of-the-worlds-water-2019>. Acesso em: 25 out. 2019.

---

Recebido em: 30/03/2021

Aceito para publicação em: 23/05/2021